

اولویت بندی مناطق جهت کنترل فرسایش و تولید رسوب ناشی از زمین لغزش با روش تحلیل

سلسله مراتبی (AHP) (مطالعه موردی: حوضه آبخیز اوغان، استان گلستان)

سید هادی موسوی خسروی^۱، عاطفه پشگانی^{۲*}، علی ارومیه‌ئی^۳

پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۰۴/۱۰

دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۰۲/۱۰

چکیده

بررسی عوامل موثر در وقوع زمین لغزش‌های یک منطقه و پهنه بندی خطر حاصل از آن‌ها می‌تواند تاثیر مثبتی در مدیریت خسارات ناشی از این پدیده داشته باشد. در این پژوهش با هدف اولویت بندی مناطق جهت کنترل فرسایش و تولید رسوب ناشی از زمین لغزش، با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) اقدام به تهیه نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش در حوضه آبخیز اوغان شد. ابتدا تاثیر عوامل اثر گذار در وقوع زمین لغزش از طریق ارتباط دادن آن‌ها با لایه پراکنش زمین لغزش‌ها، شناسایی شد و پس از تهیه تمامی لایه‌های اطلاعاتی مورد نظر، همه این لایه‌ها با استفاده از نرم افزار Arc GIS همپوشانی و در انتها، نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش ترسیم شد. همچنین وسعت پهنه‌های مختلف خطر و تعداد زمین لغزش‌های رخ داده در آن‌ها محاسبه و بر اساس آن مشخص شد که پهنه بندی خطر زمین لغزش در این حوضه با روش AHP از دقت بالایی برخوردار است و با شرایط موجود انطباق دارد. پروفیل توپوگرافی A-A' نشان داد که مناطق با خطر بسیار زیاد که عمدتاً مربوط به نهشته‌های لسی هستند، در دره‌هایی که شیب میانگین ۶ تا ۱۱ درجه دارند و در تراز ارتفاعی کمتر از ۱۱۰۰ متر واقع می‌باشند، قرار دارند.

کلیدواژه‌ها: فرسایش، پهنه بندی، زمین لغزش، مدل AHP، حوضه آبخیز اوغان

۱. فارق‌التحصیل کارشناسی ارشد زمین شناسی مهندسی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان

۲. فارق‌التحصیل کارشناسی ارشد زمین شناسی مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران Atefe473P@gmail.com

۳. عضو هیات علمی گروه زمین شناسی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

* مسئول مکاتبات

۱. مقدمه

در جهان و ایران صورت گرفته است. حجازی و همکاران (۱۴۰۱) با استفاده از مدل‌های فازی در ترکیب با GIS، خطر وقوع زمین‌لغزش را در حوضه آبریز رودخانه سراجو پهنه-بندی کردند و طی آن مشخص شد که مناطق دارای زمین‌لغزش خیلی پرخطر، مساحتی به اندازه ۲۴۶۱ هکتار را به خود اختصاص می‌دهد که نیازمند مطالعات آبخیزداری و حفاظت از خاک می‌باشد. استروکوا (Strokova, 2022) نقشه حساسیت زمین‌لغزش در منطقه زغال‌دار الگا در کشور روسیه را با استفاده از دو رویکرد تحلیل آماری و تحلیل سلسله مراتبی تهیه کرد؛ نتایج این پژوهش مشخص کرد که تنها ۴ درصد از منطقه مورد مطالعه حساسیت بسیار بالایی نسبت به وقوع زمین‌لغزش دارد. شریعت جعفری (۱۳۸۷) ارزیابی ریسک ویژه زمین‌لغزش در بخشی از البرز جنوبی را بررسی کرد و با توجه به دقت بالای نتایج بدست آمده، استفاده آن‌ها را در طرح‌های توسعه و آمایش سرزمین‌های خاص و کاربری‌های حساس توصیه کرد. نیکودل و همکاران (۱۳۸۹) به بررسی خطر زمین‌لغزش به روش AHP در ساحل دریای خزر پرداختند و طی آن به این نتیجه رسیدند که عوامل لیتولوژی، شیب و گسل از جمله مهم‌ترین عوامل موثر در وقوع زمین‌لغزش در آن منطقه می‌باشد. غفوری و همکاران (۱۳۹۳) با رویکرد چند معیاره فازی، پتانسیل زمین‌لغزش در مخزن سد خاکی پلرود را بررسی کردند. آن‌ها دریافتند که مدل نسبت فراوانی، مدل ساده و خوبی برای محاسبه شاخص حساسیت زمین‌لغزش متغیرها می‌باشد. بلالی و همکاران (۱۳۹۵) در مطالعه‌ای تحت عنوان پهنه‌بندی استعداد زمین‌لغزش با استفاده از روش منطق فازی در بخشی از حوضه آبخیز نکارود به این نتیجه

زندگی بشر از ابتدا همواره دست‌خوش خطرات طبیعی بوده است. یک واقعیت اساسی در مورد این سوانح این است که در مواجهه با چنین سوانحی در لحظه وقوع، کار چندانی نمی‌توان انجام داد، در حالی که آثار آن‌ها را با برنامه‌ریزی از قبل می‌توان خنثی کرد یا به حداقل رساند (Lizarralde, 2008). یکی از سوانح طبیعی که باعث آسیب‌پذیری مناطق می‌شود، زمین‌لغزش است. زمین‌لغزش باعث تشدید فرسایش، تخریب جنگل‌ها، اراضی زراعی، مسدود نمودن رودخانه‌ها و تشکیل سدهای طبیعی و تخریب پروژه‌های عمرانی می‌شود. در مناطق شمالی کشور به علت شرایط خاص اقلیمی، زمین‌شناسی، توپوگرافی و همچنین برخی از عوامل انسانی مانند تغییر کاربری اراضی و همچنین احداث شبکه راه‌های ارتباطی، درصد وقوع زمین‌لغزش‌ها نسبت به سایر نقاط کشور بیشتر بوده و هرساله خسارات مالی فراوانی در قالب فرسایش خاک، تخریب راه‌های ارتباطی و تخریب بناهای ساختمانی متوجه این مناطق می‌باشد.

در روزهای پایانی سال ۱۳۹۷ و هفته‌های اول سال ۱۳۹۸ بارش گسترده در سطح استان گلستان باعث جاری شدن رواناب و پس از آن آب گرفتگی قسمتی‌های وسیعی از استان و ایجاد سیل شد. در مناطق کوهستانی و کوهپایه‌ای، زمین‌لغزش به اشکال گوناگون رخ داد. بیشترین تهدید متوجه زمین‌های کشاورزی، راه‌های دسترسی و بافت روستاها بود. در این پژوهش بیشترین حجم از مناطق رانشی شناسایی شده در حوضه آبخیز اوغان، ناشی از وقوع باران‌های سیل‌آسای مذکور می‌باشد. در شکل ۱ و ۲ بخشی از آثار مخرب پدیده زمین‌لغزش در منطقه نشان داده شده است.

در سال‌های اخیر مطالعات گسترده‌ای در مورد علل، درجه و پهنه‌بندی خطر، نحوه تثبیت و نحوه پیشگیری زمین‌لغزش‌ها



شکل ۱. نمونه‌ای از زمین‌لغزش دایره‌ای ایجاد شده در نهشته‌های لسی در محدوده روستای فارسینان (واقع در حوضه آبخیز مورد مطالعه) در پی باران‌های سیل‌آسای سال ۱۳۹۸ - در این زمین‌لغزش تخریب اراضی کشاورزی و تولید رسوب کاملاً مشهود است.

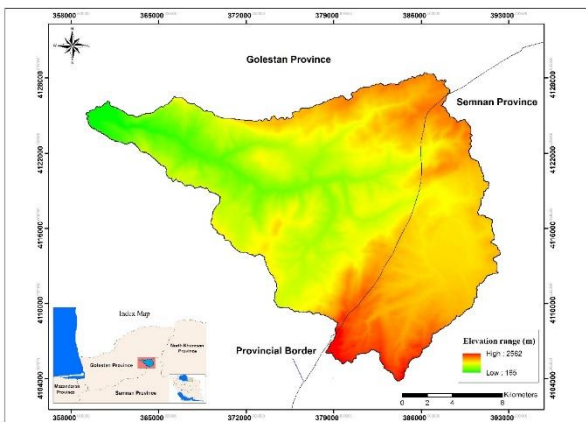
روش AHP در نرم افزار GIS پرداخته و به این نتیجه رسیده است که به ترتیب عوامل زمین‌شناسی، خاک‌شناسی، عناصر خطی، شیب، بارش، کاربری اراضی و ارتفاع، به عنوان مهمترین عوامل موثر در وقوع پدیده زمین‌لغزش می‌باشند. فرداد و همکاران (۱۳۹۰) درمورد پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از روش‌های منطق فازی و شبکه عصبی مصنوعی مطالعه‌ای انجام دادند و طی آن به این نتیجه رسیدند که در روش فازی با دخالت نظر کارشناس خبره و انتخاب بهینه عملگرد فازی، نتیجه‌ای منطبق‌تر بر محیط طبیعی حاصل می‌شود. خولار و همکاران (Khullar et al, 2000) با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی، نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در شمال هند را تهیه و بیان کردند که نقشه تهیه شده با زمین‌لغزش‌های رخ داده در این منطقه مطابقت دارد. کومک (Komac, 2006) نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش را با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی و روش آماری چند متغییره در اسلونی تهیه نمود. در این پژوهش مناطقی که از

رسیدند که نقشه استعداد زمین‌لغزش تهیه شده با استفاده از تابع عضویت مثلثی، با شاخص جمع کیفی (۰/۴۱۴۸) دارای دقت و صحت بالایی در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. بیسواجی (Biswajeet, 2010) به ارزیابی پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی پرداخت و بعد از پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با هر دو روش لجستیک و روش شبکه عصبی مصنوعی به این نتیجه رسید که نتایج حاصل از روش شبکه عصبی مصنوعی از روش لجستیک بهتر و دقیق‌تر است. در این مطالعه ۹۸٪ از لغزش‌های رخ داده در واحدهایی با سازندهای زمین‌شناسی حساس به هوازدگی، بدون پوشش و با شیب بالا رخ داده است. شیوانی (Shivani, 2010) پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش به روش شبکه عصبی مصنوعی را انجام داد و طی آن به این نتیجه رسیده است که عوامل شیب، جهت شیب و سنگ‌شناسی به عنوان عوامل موثر در زمین‌لغزش می‌باشند. امیر احمدی (۱۳۸۹) به پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش چلاو آمل با استفاده از

شکل ۲. خسارت ناشی از وقوع پدیده زمین لغزش در روستای صفی آباد (تصویر بالا) و روستای حسین آباد (تصویر پایین) واقع در حوضه آبریز مورد مطالعه

۲. موقعیت جغرافیایی و زمین شناسی حوضه آبخیز مورد مطالعه

حوضه آبخیز مورد مطالعه با وسعت ۴۶۴۹۲ هکتار یکی از حوضه های آبخیز بزرگ گرگانرود می باشد.



شکل ۳. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

این حوضه آبخیز در مختصات 00° و $11'$ و 37° تا $00''$ و $12'$ و 37° عرض شمالی $40'$ و $44'$ تا 55° و 55° طول شرقی و در جنوب شرقی شهرستان گالیکش واقع شده است (شکل ۳).

بر اساس تقسیم بندی کلی واحدهای ساختمانی و حوضه های رسوبی، محدوده مورد مطالعه، در پهنه البرز قرار دارد و شامل سازندهای زیر می باشد:

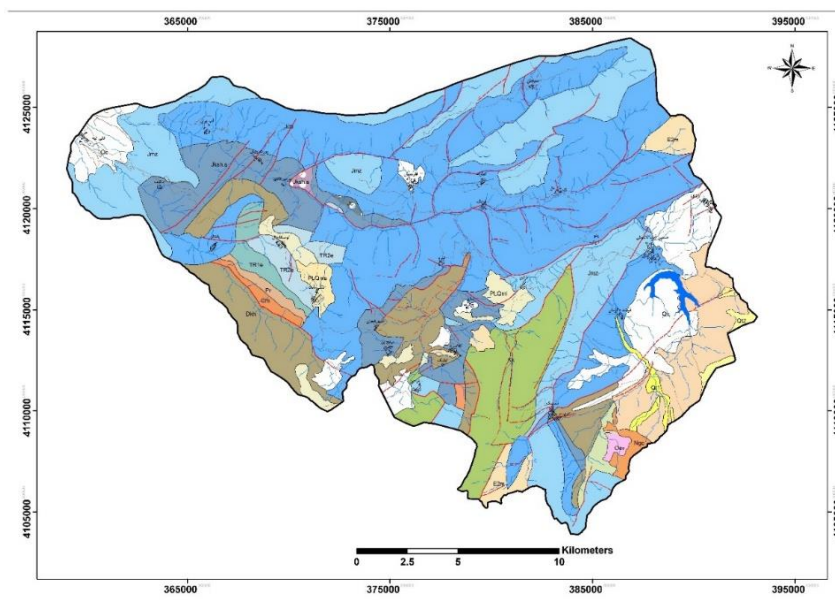
- نهشته های پالئوزوییک: شامل سازندهای لشکرک، خوش بیلاق، مبارک، روته و واحد آندزیت بازالت.

- نهشته های مزوزوییک: شامل سازندهای الیکا، کشف رود، چمن بید، مزدوران و کلات.

- نهشته های سنوزوییک: شامل سازندهای پسته لیق، واحد E_2^m ، واحد Ng^c ، واحد Ng^m ، واحد PLQ_c^m ، واحد PLQ^m ، واحد Q_c ، واحد Q^{t1} ، واحد Q^{t2} و واحد Q_c .

نظر حساسیت وقوع زمین لغزش بالا هستند ارتباط نزدیکی با پراکندگی مسیر راه ها دارند. (حجازی و رنجبریان شادباد، ۱۳۹۳) نقشه پهنه بندی زمین لغزش را با استفاده از روش LNRFF و ارزش اطلاعاتی در محیط سامانه اطلاعات جغرافیا برای منطقه لانگن در استان گانسو چین تهیه کردند. نتایج نشان داد که روش ارزش اطلاعاتی، بیشتر برای مکان هایی که دارای زمین لغزش فعال بوده اند، کارایی دارد. یالچین (Yalcin, 2008) نقشه حساسیت زمین لغزش در حوضه آردیس ترکیه را با سه روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، فاکتور وزنی (W_f) و شاخص آماری (W_i) تهیه نمود و به این نتیجه رسید که روش AHP، مناطق دارای زمین لغزش را نسبت به دو روش دیگر در حوضه مورد مطالعه بهتر نشان می دهد. وان (Wan, 2009) با استفاده از سیستم پشتیبانی تصمیم گیری فضایی به استخراج عوامل اصلی زمین لغزش برای تهیه نقشه حساسیت زمین لغزش در تایوان پرداخت. بدناریک (Bednarik et al, 2010) با استفاده از توزیع دومتغیره آماری به ارزیابی حساسیت زمین لغزش در منطقه کارل اونری در اسلوکی پرداختند و برای محاسبه وزن لایه های مورد بررسی، از شاخص آنتروپی استفاده کردند. ژانگ و همکاران (Zhang et al, 2012) در مطالعه ای به پهنه بندی خطر زمین لغزش بر اساس مدل توزیع چند وزنی در مناطق ساحلی جنوب شرق چین پرداختند، بر اساس نتایج این پژوهش، این مدل روش مناسبی برای پهنه بندی خطر زمین لغزش می باشد.





Era	Period	Lithology	Label	Color	Legend
CENOZOIC	QUATERNARY	clay	Qc		
		Low level, young terrace deposits	Q2		
		High level, old vally terrace deposits	Q1		
	QUATERNARY-NEOGENE	Brownish mudstone and siltstone	PLQms		
		Brownish mudstone and siltstone with fresh water limestone (loess)	PLQmc		
	NEOGENE	Red to brownish marl, siltstone and sandstone with intercalations of conglomerate	Ngm		
Red to brownish, thick - bedded, wellrounded, poorly sorted, polygenetic conglomerate		Ngc			
PALEOGENE	Pale-yellow to pinkish marl, thin to meddium - bedded argillaceous limestone and red sandstone	E2m			
	Red, polygenetic, meddium to thick - bedded, well rounded, poorlysorted conglomerate (Pesteligh Sm.equi.)	Pec			
MESOZOIC	CRETACEOUS	Buff to pinkish, thick - bedded to massive glauconitic limestone (kalat Fm)	Kk		
		Pale - grey, thick - hedded to massive cherty limestone (Mozduran Fm.)	Jmz		
	JURASSIC	Pale - grey to cream, thin to meddium - bedded argillaceous limestone with marl intercalations (Chamanbid Fm.)	Jeb		
		Greenish - grey shale with intercalations of sandstone (Kashafrud Fm.)	Jksh.s		
		Thick - hedded to massive, well rounded, polygenetic conglomerate (Kashafrud Fm.)	Je		
	TRIASSIC	White, well rounded, well sorted, well consolidated, monomictic, quartzon conglomerate (Kashafrud Fm.)	Jkc		
Pale - grey to pale - yellow, thick - bedded cherty dolomite (Elika Fm.)		TR2c			
PALEOZOIC	PERMIAN	Pale - red, thin - bedded to thick - bedded calcareous siltyshale, argillaceous limestone, sandy limestone, limestone and quartzarenite (Elika Fm.)	TR1c		
		Grey to dark grey, meddium - bedded limestone (Ruteh limestone)	Pr		
	CARBONIFEROUS	Dark grey, thin to meddium - bedded, cherty limestone and dolomitic limestone (Moharak Fm.)	Cm		
	DEVONIAN	Grey, thin to thick - bedded fossiliferous limestone, shale and gypsum (Khosh yeilagh Fm.)	Dkh		
	ORDOVICIAN-SILURIAN	Andesitic basalt	Osv		
	ORDOVICIAN	Green, micaceous silty shale, sandstone and quartzarcite (equi. Lashkerak Fm.)	Osh		

شکل ۴. نقشه زمین شناسی حوضه آبخیز مورد مطالعه (اقتباس از نقشه زمین شناسی دوزین، ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰)

۳. بررسی ناپایداری های دامنه ای در حوضه آبخیز اوغان

پس از مطالعه تصاویر ماهواره ای و بازدیدهای صحرایی، تعداد ۵۵۱ زمین لغزش در سطح حوضه آبخیز اوغان شناسایی شد.

بیشترین حجم از حرکات زمین در حوضه آبخیز اوغان، مربوط به نهشته های لسی می باشد. این رسوبات بیشتر از ذرات دانه ریز در حد سیلت و رس تشکیل شده اند که به صورت معلق توسط جریان باد حمل شده و پس از کاهش سرعت رسوب می کنند (موسوی حرمی، ۱۳۹۱). ترکیب اصلی لس های حوضه آبخیز مورد مطالعه عمدتاً کوارتز،

به طور کلی لیتولوژی سازندهای منطقه را می توان به سه گروه تقسیم بندی کرد. گروه اول سنگ های رسوبی شیمیایی (غیر تبخیری) شامل آهک و دولومیت، گروه دوم سنگ های رسوبی آواری شامل کنگلومرا، ماسه سنگ، سیلت استون، مادستون، شیل و مارن و گروه سوم رسوبات جوان کواترنری شامل رسوبات آبرفتی و لس ها (رسوبات بادی) می باشند. شکل ۴ نقشه زمین شناسی حوضه آبخیز مورد مطالعه را نشان می دهد.

(احمدی، ۱۳۸۵). در فرایند پهنه‌بندی منطقه، می‌بایست معیارهای مختلفی مورد ملاحظه قرار گیرد، بنابراین کاربرد روش‌هایی که قادر به تامین معیارهای مورد نظر باشند، ضروری است (پناهنده و همکاران، ۱۳۸۸). مدل تحلیل سلسله مراتبی (AHP) گزینه‌های مختلفی را در تصمیم‌گیری دخالت داده و امکان تحلیل حساسیت روی معیارها و زیرمعیارها را دارد. علاوه بر این، این مدل بر مبنای مقایسه زوجی بنا نهاده شده که قضاوت و محاسبات را تسهیل می‌کند. این مدل همچنین میزان سازگاری و ناسازگاری تصمیم را نشان می‌دهد که از مزایای ممتاز در تصمیم‌گیری چند معیاره می‌باشد (پیرمرادی، ۱۳۸۶).

۴-۱. بررسی عوامل موثر در وقوع زمین‌لغزش

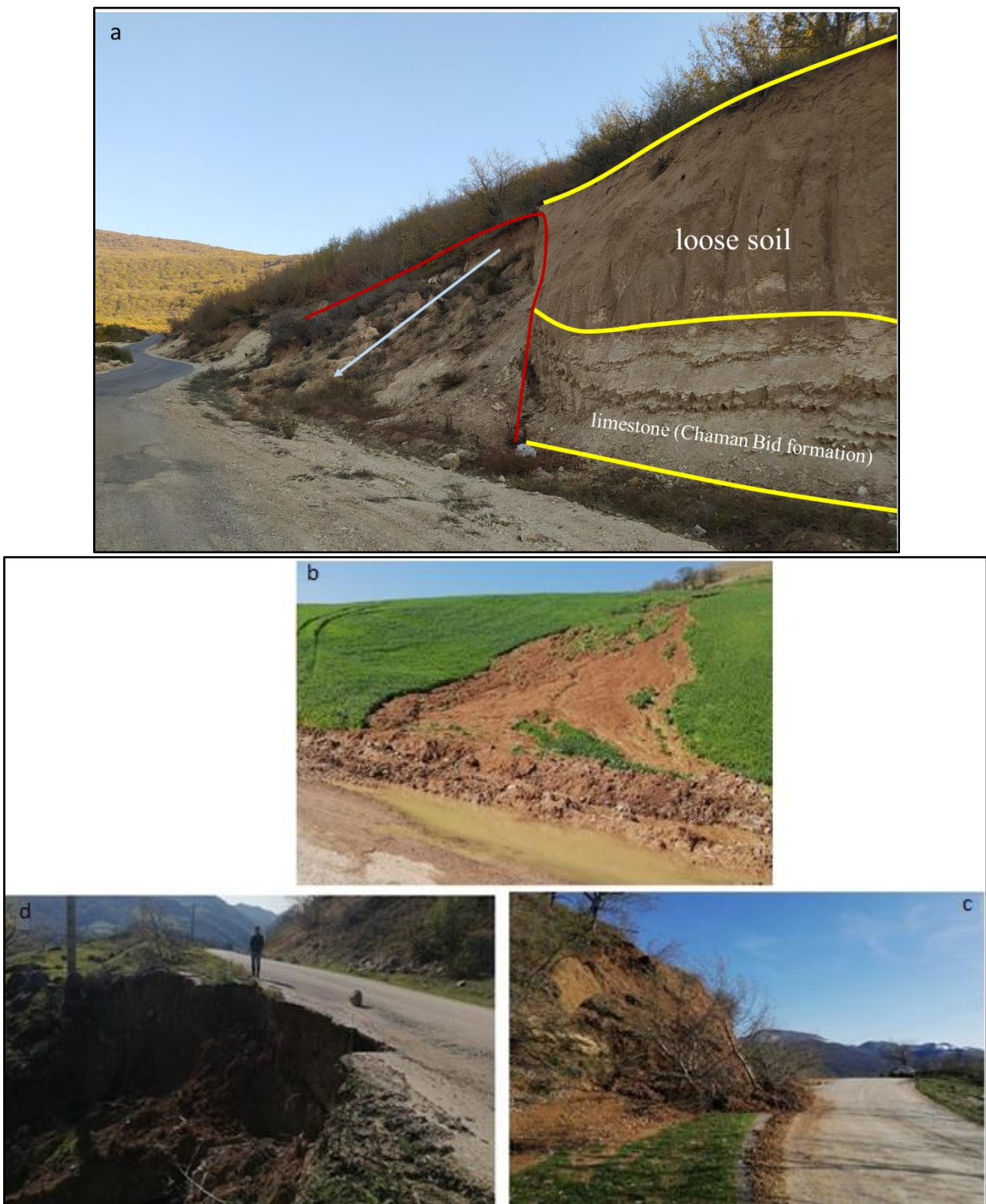
متداول‌ترین روش بررسی عوامل موثر در وقوع زمین‌لغزش توجه به مورفومتری زمین‌لغزش‌های موجود در داخل حوضه از طریق بازدیدهای میدانی می‌باشد. در بازدیدهای میدانی توجه به مواردی از قبیل موقعیت زمین‌لغزش‌ها، ساختار سنگ‌شناسی، جنس خاک، نوع کاربری اراضی در محدوده زمین‌لغزش، پوشش گیاهی، شیب و جهت دامنه، عناصر خطی (جاده سازی، شبکه آبراهه‌ها، گسل‌ها و ...) ارتفاع منطقه و ... الزامی بوده و کارشناس مربوطه می‌تواند

فلدسپات، میکا، کلسیت و کانی‌های رسی می‌باشد. سه اکسید سیلیسیم، آلومینیم و کلسیم بیشتر از ۷۵٪ ترکیب آن‌ها را تشکیل می‌دهند. ساختار این نوع لس‌ها از دو جزء اسکلت دانه‌ای و سیمان بین دانه‌ها تشکیل شده است. سیمان عموماً از نوع رس و آهک است. این خاک‌ها عمدتاً از دسته خاک‌های غیرچسبنده و دارای ساختمان لانه زنبوری هستند (رضایی، ۱۳۹۴).

در محدوده مورد مطالعه، زمین‌لغزش از نوع دایره‌ای بیشتر در رسوبات لسی به وقوع پیوسته است. زمین‌لغزش از نوع روانه گلی عموماً در خاک‌های برجا و کم‌عمق منطقه که در شیب زیاد قرار دارند رخ داده است. زمین‌لغزش انتقالی در واحدهای سنگی که شیب لایه‌بندی در آن‌ها در جهت رویه شیروانی است و یا در طبقات خاکی متراکم به وقوع پیوسته است. حرکات ریزشی زمین معمولاً در واحدهای سنگی و در پی گسترش سیستم شکستگی‌ها رخ داده است (شکل ۵).

۴- مواد و روش‌ها

روش بکار رفته برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه آبخیز اوغان روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) می‌باشد. این روش بر پایه مقایسه زوجی عوامل موثر در وقوع زمین‌لغزش‌ها و زیرعامل‌های مربوط به عوامل اصلی استوار بوده است. در این روش ابتدا با وزن دهی به تک تک عوامل موثر در نظر گرفته شده برای پهنه‌بندی و سپس امتیازدهی به هر کدام از کلاس‌های مربوط به هر یک از عوامل، ضرایبی به دست خواهد آمد که بر اساس آن‌ها مدل نهایی ارائه می‌شود



شکل ۵. نمونه‌ای از زمین‌لغزش ایجاد شده در طبقات لسی (a)، نمونه‌هایی از زمین‌لغزش از نوع روانه گلی (b)، دایره‌ای (c) و انتقالی (d) در حوضه آبخیز اوغان

زمین‌لغزش‌ها پی ببرد.

با بررسی این عوامل تا حدودی به عوامل موثر در وقوع

تبدیل آن‌ها به مقادیر کمی از قضاوت‌های شفاهی (نظر کارشناسی) استفاده می‌شود، به طوری که تصمیم گیرنده ارجحیت یک عامل را نسبت به علل دیگر (به صورت جدول ۱) در نظر گرفته و این قضاوت‌ها را به مقادیر کمی بین ۱ الی ۹ تبدیل می‌نماید. واضح است که محدوده اعداد کمی شده صرفاً بر اساس نظر کارشناسی بوده و متخصص مربوطه می‌تواند محدوده اعداد کمی را به صورت تجربی و با بررسی کارهای مشابه تعیین نماید که در اینجا مقادیر کمی ۱ الی ۹ در نظر گرفته شده است.

جدول ۱. مقادیر ترجیحات یا قضاوت‌های شفاهی در سیستم ۹

تایی برای مقایسه زوجی

Numerical value	Preferences (verbal judgment)
9	Completely more desirable
7	Very strong desirability
5	strong desirability
3	A little more desirable
1	Equal desirability
8, 6, 4, 2	Priorities between factors

۵-۱-۱. محاسبه وزن با مقدار اثربخشی هر یک از عوامل مختلف موثر در زمین لغزش

برای تعیین وزن هر یک از معیارهای شش‌گانه، ماتریس 6×6 به صورت جدول ۲ تعریف گردید. سپس با مقایسه دو به دو عناصر ماتریس مربوطه، استفاده از جدول ۱، نظر کارشناسی و مقایسه لایه تهیه شده برای هر عامل با لایه زمین لغزش‌های رخ داده، نسبت به تهیه اشل ۹ تایی تعیین شده در جدول ۱ اقدام گردید. به عنوان مثال عنصر ۱ و یک ماتریس مورد نظر (ستون ۱، ردیف ۱) نشانگر اولویت معیار خاک‌شناسی به معیار خاک‌شناسی است که دارای اولویت یا اهمیت یکسانی نسبت به هم می‌باشند و عددی که برای این اولویت در جدول ۲ ذکر شده است برابر ۱ می‌باشد. همانطور که مشاهده می‌شود قطر این ماتریس ۱ است که نشان‌دهنده اهمیت یکسان معیارها بر خود می‌باشد. به عنوان مثال اولویت یا اهمیت شیب به شیب یا ارتفاع به ارتفاع عدد ۱ است. نیمه چپ ماتریس به این شکل تکمیل شده است و نیمه راست آن

۴-۲. اولویت بندی عوامل موثر

با توجه به متفاوت بودن درجه اهمیت عوامل موثر در ایجاد زمین لغزش‌ها، شناسایی و اولویت‌بندی درست عوامل نیز الزامی است. بنابراین با در نظر گرفتن پارامترهایی مانند درصد سطح لغزش‌یافته مربوط به هر کلاس، عوامل و نحوه پراکنش زمین لغزش‌های هر کلاس (پراکنده یا تجمعی) و با توجه به بازدیدهای صحرائی، مهمترین عوامل موثر در وقوع زمین لغزش‌های حوضه اوغان به ترتیب اولویت به صورت زیر شناسایی شدند:

خاک‌شناسی، طبقات ارتفاعی، فاصله از آبراهه، شیب، فاصله از راه و اقلیم.

۴-۳. تهیه نقشه پراکنش زمین لغزش‌ها

با بررسی تصاویر ماهواره‌ای در بازه‌های زمانی مختلف و مقایسه آن‌ها با یکدیگر و همچنین بازدیدهای میدانی صورت گرفته، مناطقی که مورفولوژی آن‌ها زمین لغزش را نشان می‌داد مشخص و در نهایت نقشه پراکنش زمین لغزش‌ها تهیه گردید (تعداد ۵۵۱ زمین لغزش شناسایی شده است). سپس این نقشه در محیط نرم افزار Arc GIS رقومی شده تا به عنوان یک لایه برای تعیین عوامل موثر در وقوع زمین لغزش‌ها جهت تلفیق و قطع دادن با لایه‌های دیگر آماده باشد.

۴-۴. تهیه نقشه‌های عوامل موثر

نقشه‌های مربوط به شش عامل موثر که قبلاً به آن‌ها اشاره شد، در نرم افزار Arc GIS تهیه شد و به منظور کمی کردن عوامل با توجه به قابلیت‌های مربوط به هر نقشه به چند کلاس طبقه‌بندی شدند.

۵. نتایج

۵-۱. پهنه بندی حوضه آبخیز اوغان با استفاده از روش تحلیل

سلسله مراتبی (AHP)

در این روش ابتدا به منظور تعیین ارجحیت عوامل مختلف و

معکوس نیمه چپ می‌باشد. به این صورت که اگر اولویت خاک‌شناسی به طبقات ارتفاعی $\frac{1}{2}$ خواهد بود. خاک‌شناسی به طبقات ارتفاعی ۲ باشد، اولویت یا اهمیت

جدول ۲. ماتریس وزن دهی به معیارها

Climate	Distance from road	Slope	Distance from channel	Elevation ranges	Pedology	Description
5	4	3	3	2	1	Pedology
4	3	2	2	1	$\frac{1}{2}$	Elevation ranges
3	2	2	1	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{3}$	Distance from channel
2	2	1	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{3}$	Slope
1	1	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{4}$	Distance from road
1	1	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{5}$	Climate

در این پژوهش از روش تقریبی (میانگین حسابی) استفاده شده است.

این روش شامل سه مرحله زیر است:

۱) مقادیر هر یک از ستون‌ها را با هم جمع می‌کنیم (جدول ۳). به عنوان مثال برای ستون اقلیم به صورت زیر عمل می‌گردد:

مجموع ستون اقلیم برابر است با:

$$1 + 1 + 2 + 3 + 4 + 5 = 16$$

جدول ۳. محاسبه مجموع اولویت هر یک از ستون‌ها

Climate	Distance from road	Slope	Distance from channel	Elevation ranges	Pedology	Description
5	4	3	3	2	1	Pedology
4	3	2	2	1	$\frac{1}{2}$	Elevation ranges
3	2	2	1	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{3}$	Distance from channel
2	2	1	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{3}$	Slope
1	1	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{4}$	Distance from road
1	1	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{5}$	Climate
16	13	9	7.33	4.58	2.62	Total

حال جهت نرمال‌سازی و محاسبه وزن و اولویت‌های نسبی هر گزینه از ماتریس مقایسه زوجی (جدول ۲)، چندین روش پیشنهاد شده است که اهم آن‌ها عبارتند از:

- روش حداقل مربعات معمولی
- روش حداقل مربعات لگاریتمی
- روش بردار ویژه
- روش تقریبی

۲) تقسیم هر عنصر از ماتریس به جمع کل ستون همان عنصر (جدول ۴). به عنوان مثال برای ۱، ۱ به صورت زیر خواهد

بود.

$$i_{1,1} = 1 \div 2.62 = 0.38$$

جدول ۴. محاسبه ضریب اولویت بدون بعد در هر ستون

Climate	Distance from road	Slope	Distance from channel	Elevation ranges	Pedology	Description
0.31	0.31	0.33	0.41	0.44	0.38	Pedology
0.25	0.23	0.22	0.27	0.22	0.19	Elevation ranges
0.19	0.15	0.22	0.14	0.11	0.13	Distance from channel
0.13	0.15	0.11	0.70	0.11	0.13	Slope
0.06	0.08	0.06	0.70	0.07	0.10	Distance from road
0.06	0.08	0.06	0.05	0.05	0.08	Climate

۳

محاسبه متوسط عناصر در هر سطر: وزن خاک شناسی برابر است با:

به عنوان مثال متوسط سطر و یا وزن نسبی معیار به صورت

زیر محاسبه می شود (جدول ۵):

$$a_1 = \frac{0.38 + 0.44 + 0.41 + 0.33 + 0.31 + 0.31}{6} = 0.3633 \cong 0.36$$

بنابراین وزن هر کدام از معیارها در مورد خطر وقوع

زمین لغزش در منطقه مورد مطالعه که حاصل زنده کردن

متوسط سطرهای جدول ۵ است به شرح زیر می باشد:-

خاک شناسی: $a_1 = 0.36$

- طبقات ارتفاعی: $a_2 = 0.23$

- فاصله از آبراهه: $a_3 = 0.16$

- شیب: $a_4 = 0.12$

- فاصله از راه: $a_5 = 0.07$

- اقلیم: $a_6 = 0.06$

۵-۱-۲. امتیاز دهی به هر کدام از شاخص های عوامل شش گانه

برای اندازه گیری هر کدام از معیارهای شش گانه فوق،

شاخص هایی تعیین می گردد. به این منظور، با استفاده از

درصد زمین لغزش های رخ داده در گستره هر کدام از

شاخص های مربوط به عوامل، می توان این شاخص ها را بین

صفر تا ۱۰۰ به طور نسبی وزن دهی کرد. بدین صورت که

برای طبقه ای که بیشترین درصد زمین لغزش رخ داده را دارا

باشد وزن نسبی ۱۰۰ نسبت داده می شود و متناسب با آن برای

هر کدام از شاخص های بعدی با توجه به مقادیر درصد

زمین لغزش های رخ داده در آنها وزن های متفاوتی نسبت داده

می شود. به عنوان نمونه مقادیر به دست آمده برای عامل

طبقات ارتفاعی به صورت زیر است:

شاخص ۶۰۰ الی ۱۱۰۰ متر که بیشترین سطح لغزش یافته را داراست (۳۸۵ لغزش): $M = 100$

• شاخص ۱۳۰ الی ۶۰۰ متر (۸۳ لغزش): $M = 21/6$

• شاخص ۱۱۰۰ الی ۱۶۰۰ متر (۱۴ لغزش): $M = 3/6$

• شاخص بالاتر از ۱۶۰۰ متر فاقد زمین لغزش: $M = 0$

برای محاسبه وزن نسبی هر یک از شاخص ها می توان از رابطه (۱) استفاده کرد:

$$a = \frac{X_i}{X_i \max} \times 100 \quad (1)$$

عامل = a

به عنوان نمونه برای محاسبه وزن نسبی شاخص طبقات

ارتفاعی ۱۳۰ الی ۶۰۰ متر به صورت زیر عمل می‌کنیم:

Xi = تعداد لغزش‌ها در هر شاخص

Xi max = حداکثر Xi محاسبه شده برای شاخص‌ها

$$a = \frac{X_i}{X_i \max} \times 100 \rightarrow \frac{83}{385} \times 100 = 21.6$$

۱-۳- ارائه مدل و پهنه‌بندی حوضه

زمین‌لغزش محاسبه کرد. در اینجا این ضریب با نماد M نشان داده می‌شود. محدوده M محاسبه شده برای مناطق مختلف بین ۰ تا ۱۰۰ متغیر است. در صورتی که $M = 0$ باشد، نشانگر عدم وجود خطر زمین‌لغزش بوده و در صورتی که $M = 100$ باشد، نشانگر حداکثر ریسک یا خطر زمین‌لغزش می‌باشد.

بر اساس رابطه (۱)، محاسبه وزن نسبی تمامی شاخص‌های معیارهای شش‌گانه صورت گرفت که در جدول ۶ تا ۱۱ آورده شده است. حال پس از ضرب وزن هر معیار در شاخص مورد نظر و جمع این اعداد که در رابطه (۲) ارائه شده است، می‌توان ضریب خطر یا ریسک منطقه را نسبت به وقوع پدیده

$$M = a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + a_4x_4 + a_5x_5 + a_6x_6 \quad (2)$$

با جایگذاری مقادیر (a_1 تا a_6) ضرایب وزن محاسبه شده از جدول ۵ که پیش از این بدست آمده‌اند، می‌توان مدل نهایی را به صورت زیر نوشت:

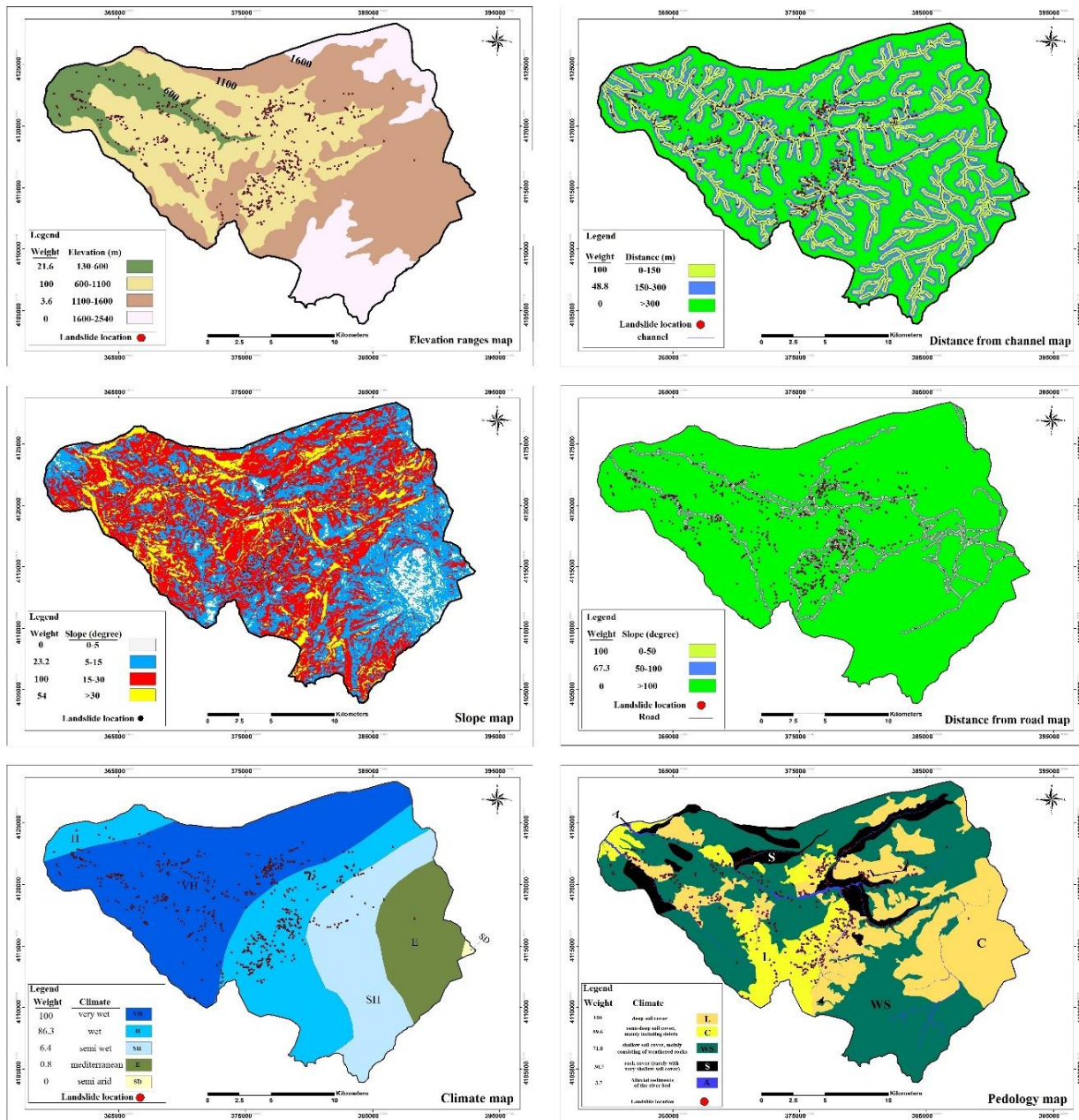
$$M = 0.36x_1 + 0.23x_2 + 0.16x_3 + 0.12x_4 + 0.07x_5 + 0.06x_6 \quad (3)$$

جدول ۵. محاسبه وزن هر یک از عوامل

Average	Climate	Distance from road	Slope	Distance from channel	Elevation ranges	Pedology	Description
0.36	0.31	0.31	0.33	0.41	0.44	0.38	Pedology
0.23	0.25	0.23	0.22	0.27	0.22	0.19	Elevation ranges
0.16	0.19	0.15	0.22	0.14	0.11	0.13	Distance from channel
0.12	0.13	0.15	0.11	0.70	0.11	0.13	Slope
0.07	0.06	0.08	0.06	0.70	0.07	0.10	Distance from road
0.06	0.06	0.08	0.06	0.05	0.07	0.08	Climate

صورت گرفته است (جدول ۱۲). نقشه عوامل شش‌گانه با وزن شاخص‌های مربوط به آن‌ها در شکل ۶ نشان داده شده است.

فاکتورهای x_1 تا x_6 به ترتیب مربوط به وزن نسبی شاخص‌های عوامل خاک‌شناسی، طبقات ارتفاعی، فاصله از آبراه، شیب، فاصله از راه و اقلیم می‌باشند. پهنه‌بندی حوضه آبخیز مورد مطالعه در برابر خطر وقوع زمین‌لغزش در ۴ کلاس "بی‌خطر، خطر کم، خطر زیاد و خطر بسیار زیاد"



شکل ۶. نقشه عوامل شش گانه با وزن شاخص‌های مربوط به آنها

جدول ۶. محاسبه وزن نسبی عامل خاک‌شناسی

(Weight of pedology factors) x_1	Soil type
100	Deep soil cover
89.6	Semi-deep soil cover, mainly including debris
71.8	Shallow soil cover, mainly consisting of weathered rocks
30.7	Stone cover (rarely with very shallow soil cover)
3.7	Alluvial sediments of the river bed

جدول ۱۰. محاسبه وزن نسبی عامل فاصله از آبراهه

(Weight of distance from channel factors) x_3	Distance from channel (m)
100	0-150
48.8	150-300

جدول ۱۱. محاسبه وزن نسبی عامل فاصله از آبراهه

(Weight of distance from road factors) x_5	Distance from road (meter)
100	0-50
67.3	50-100

جدول ۷. محاسبه وزن نسبی عامل طبقات ارتفاعی

(Weight of elevation ranges factors) x_2	Elevation ranges above sea level (m)
21.6	130-600
100	600-1100
3.6	1100-1600
0	>1600

جدول ۱۲. کلاس‌بندی زمین‌لغزش بر اساس روش AHP

Risk level	Score	Grading class (M)
Safe	0-25	1
Low risk	25-50	2
High risk	50-75	3
Very high risk	75-100	4

جدول ۸. محاسبه وزن نسبی عامل شیب

(Weight of slope factors) x_4	Slope (Degree)
0	0-5
23.2	5-15
100	15-30
54	30-67

جدول ۹. محاسبه وزن نسبی عامل اقلیم

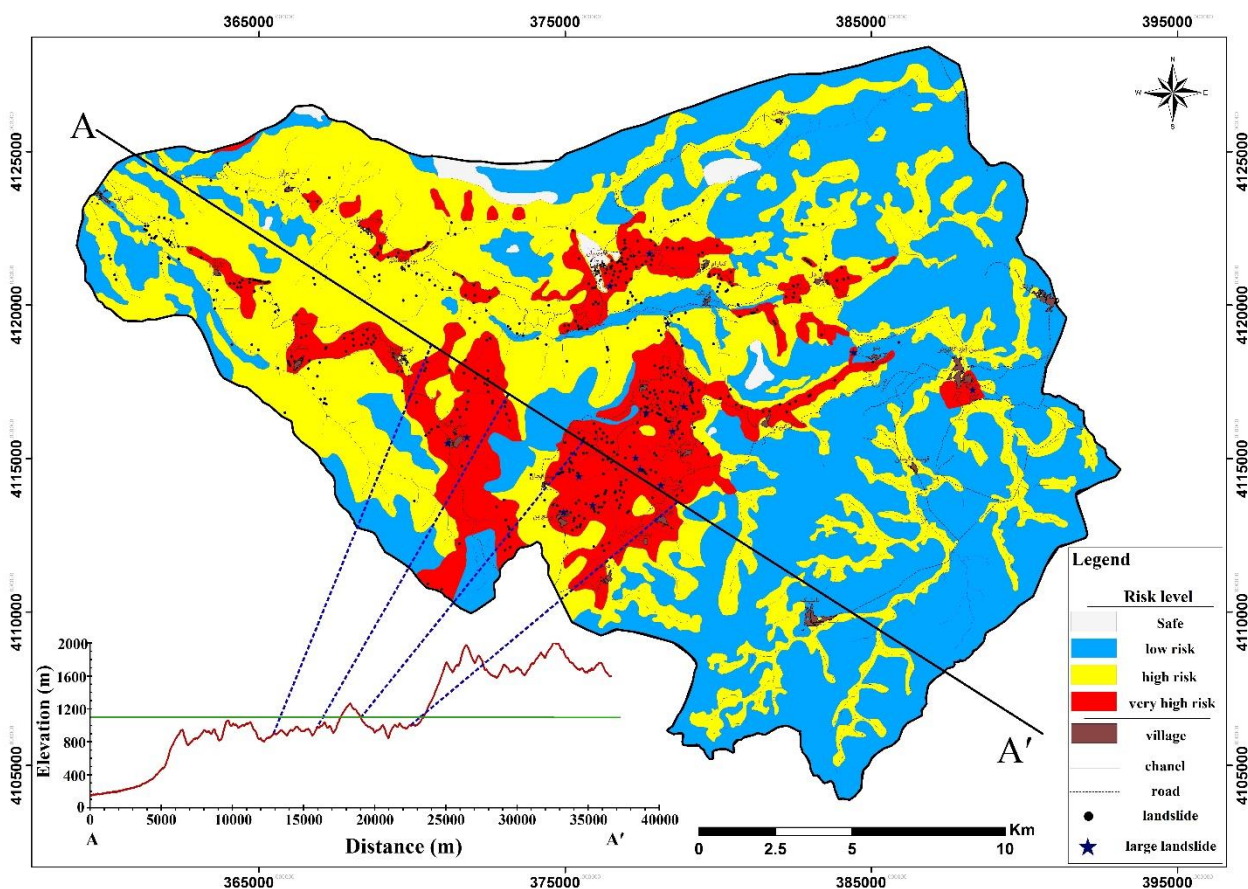
(Weight of climate factors) x_6	Climate
100	very wet
86.3	wet
6.4	semi wet
0.8	mediterranean
0	semi arid

۵-۱-۴. مراحل تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در نرم-

افزار Arc GIS

پس از تهیه نقشه‌های رستری مورد نیاز شامل نقشه خاک‌شناسی، طبقات ارتفاعی، فاصله از آبراهه، شیب، فاصله از راه و اقلیم، وزن‌دهی آن‌ها بر پایه مدل تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و با استفاده از نرم افزار ArcGIS انجام شد. سپس عمل همپوشانی لایه‌ها در این نرم‌افزار صورت پذیرفت و با استفاده از رابطه (۳)، در نهایت نقشه‌ی خطر ناپایداری دامنه‌ای منطقه مورد مطالعه تهیه‌گردید (شکل ۷). در شکل ۸ نمودار درصد وقوع خطر زمین‌لغزش در حوضه آبخیز مورد مطالعه ترسیم شده است.

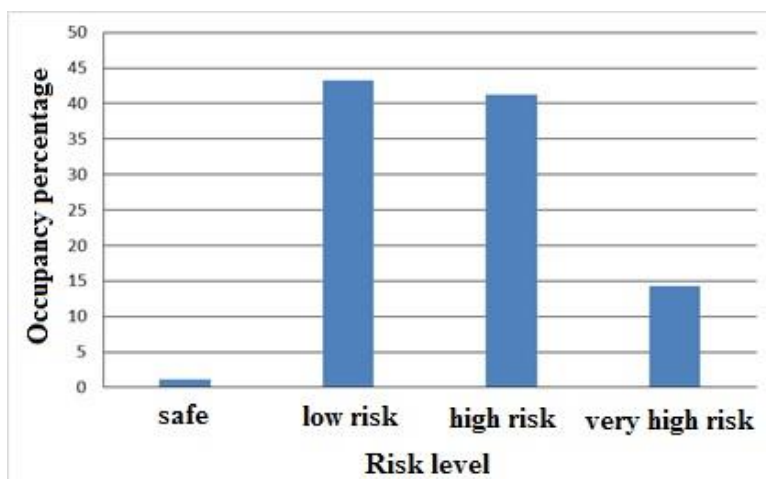
در حوضه آبخیز مورد مطالعه، زمین‌لغزش‌هایی که در فواصل بیش‌تر از ۳۰۰ متر از آبراهه‌ها و بیش‌تر از ۱۰۰ متر از مسیر راه‌ها رخ داده‌اند، مستقل از تاثیر این عوامل می‌باشند. از این-رو، در بررسی عامل "فاصله از آبراهه" فواصل کمتر از ۳۰۰ متر و در بررسی عامل "فاصله از مسیر راه" فواصل کمتر از ۱۰۰ متر مدنظر قرار گرفته‌است.



شکل ۷. نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه آبخیز اوغان به روش تحلیل سلسه مراتبی و پروفیل توپوگرافی A-A'

جدول ۱۳. مساحت و درصد پهنه‌های لغزشی در حوضه آبخیز مورد مطالعه

Whole of watershed	Very high risk	High risk	Low risk	Safe	Risk level
46492.0	6653.8	19172.2	20127.4	538.7	Area (hectares)
100.0	14.3	41.2	43.3	1.2	Percent

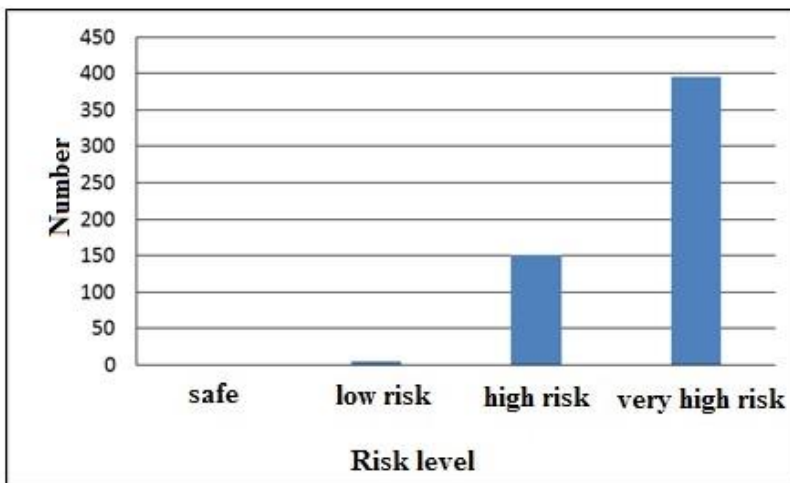


شکل ۸. نمودار درصد وقوع خطر زمین‌لغزش در حوضه آبخیز اوغان به روش تحلیل سلسله مراتبی

همان‌گونه که در جدول ۱۴ و شکل ۹ نشان داده شده است، میزان همپوشانی ناپایداری‌ها در حوضه آبخیز اوغان با نقشه پهنه‌بندی خطر به روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) انطباق مناسبی را نشان می‌دهد.

جدول ۱۴. درصد زمین‌لغزش‌های به وقوع پیوسته در درجات مختلف خطر، در حوضه آبخیز اوغان

Very high risk	High risk	Low risk	Safe	Degree of risk
393	151	5	0	Number
71.7	27.4	0.9	0.0	Percent



شکل ۹. تعداد زمین‌لغزش‌های به وقوع پیوسته در درجات مختلف خطر در حوضه آبخیز اوغان

۶- بحث

به ذکر است بر اساس مطالعات اوتق (۱۳۷۰)، منشا این رسوبات بیابان‌های جنوب ترکمنستان بوده، در نتیجه جهت وزش بادهای حامل آن‌ها در منطقه مورد مطالعه، می‌تواند شمال غرب به جنوب شرق باشد. صحت این نتایج را می‌توان در پراکنش زمین‌لغزش‌های شناسایی شده و نقشه پهنه‌بندی خطر ترسیم شده جست‌وجو کرد؛ جایی که ۹۸/۵ درصد از زمین‌لغزش‌های شناسایی شده و ۹۸/۳ درصد از مناطق با خطر زمین‌لغزش بسیار زیاد در تراز ارتفاعی کمتر از ۱۱۰۰ متر قرار دارند (حداکثر ارتفاع در حوضه آبخیز اوغان ۲۵۰۰ متر می‌باشد). در نتیجه می‌توان بیان کرد که در حوضه آبخیز اوغان، بحرانی‌ترین و در عین حال مستعدترین لیتولوژی از نظر فرسایش‌پذیری و تولید رسوب ناشی از وقوع زمین‌لغزش، مربوط به نهشته‌های لسی می‌باشد که در شرایطی مطابق با آنچه که پیشتر بیان شد رسوب کرده‌اند.

بیشترین حجم از مناطق با خطر زمین‌لغزش بسیار زیاد مربوط به نهشته‌های لسی می‌باشد. پس از بررسی موقعیت پروفیل توپوگرافی 'A-A' در نقشه پهنه‌بندی رسم شده (شکل ۷)، مشخص شد که مناطق با خطر بسیار زیاد که عمدتاً مربوط به نهشته‌های لسی هستند، در دره‌هایی که شیب میانگین ۶ تا ۱۱ درجه دارند و در تراز ارتفاعی کمتر از ۱۱۰۰ متر واقع می‌باشند، قرار دارند. این شرایط می‌تواند مربوط به مکانیسم رسوبگذاری لسی‌ها باشد؛ زیرا این بادرفت‌های سیلنتی برای نهشته شدن نیاز به بستری با شیب ملایم داشته و از طرفی طبق شواهد موجود، گویا سامانه حامل این رسوبات توان رساندن آن‌ها به تراز ارتفاعی بالاتر از ۱۱۰۰ متر را نداشته است. به همین دلیل در حوضه آبخیز اوغان، پس از عبور از لبه‌ها و برجستگی‌های تکتونیکی (که تراز ارتفاعی ۱۱۰۰ متر را در خود جای داده‌اند) به سمت بالادست، دیگر اثری از نهشته‌های لسی نمی‌بینیم (حتی در مناطق با شیب ملایم). لازم

۷- نتیجه گیری

در این مقاله به منظور اولویت بندی مناطق جهت کنترل فرسایش و تولید رسوب ناشی از زمین لغزش، نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی ترسیم شد. بر اساس این نقشه، مناطق حوضه آبخیز اوغان از نظر ریسک خطر پذیری زمین لغزش به چهار پهنه بی خطر، خطر کم، خطر زیاد و خطر بسیار زیاد تقسیم بندی شده اند. همچنین وسعت پهنه های مختلف خطر و تعداد زمین لغزش های رخ داده در آن ها محاسبه و نمودار مربوطه رسم گردید. بر این اساس وسعت پهنه بی خطر $538/7$ هکتار و تعداد زمین لغزش های شناسایی شده در آن ۰ عدد، وسعت پهنه با خطر کم $20127/4$ هکتار و تعداد زمین لغزش های شناسایی شده در آن ۵ عدد، وسعت پهنه با خطر زیاد $19172/2$ هکتار و تعداد زمین لغزش های شناسایی شده در آن ۱۵۱ عدد و وسعت پهنه با خطر بسیار زیاد $6653/8$ هکتار و تعداد زمین لغزش های شناسایی شده در آن ۳۹۵ عدد می باشد.

منابع

- امیر احمدی، ا.، ۱۳۸۹. پهنه بندی خطر زمین لغزش با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی، مطالعه موردی: حوضه آبخیز چلاو آمل، فصل نامه علمی-پژوهشی انجمن جغرافیای ایران، سال هشتم.
- اونق، م.، ۱۳۷۰. بررسی تحول ژئومورفولوژیک حوضه آبخیز قره سو (گرگان)، رساله دوره دکتری جغرافیای طبیعی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، صفحه ۱۱۵.
- احمدی، ا.، ۱۳۸۵. بررسی نقش اقلیم در حرکت دامنه های در ارتفاعات شمال خراسان با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیای (GIS) جهت کنترل بلایای طبیعی و راهکارهای مقابله با آن، پایان نامه دکتری، دانشگاه تربیت معلم تهران.
- بلالی، ف.، وهاب زاده، قربان، پورقاسمی، حمیدرضا، فروزانفر، میلاد، ۱۳۹۵. پهنه بندی استعداد زمین لغزش با استفاده از روش منطق فازی (مطالعه موردی: بخشی از حوضه آبخیز نکارود): مجله انجمن زمین شناسی مهندسی ایران، جلد نهم، شماره ۳ و ۴، صفحه ۱۹ تا ۳۰.
- پناهنده، م.، بهروز، ا.، آریامن، ق.، قنبری، ف.، ۱۳۸۸. کاربرد روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) در مکانیابی جایگاه دفن پسماند شهر سمنان، مجله سلامت و محیط، فصلنامه علمی و پژوهشی انجمن علمی بهداشت محیط ایران، دوره دوم، شماره چهارم، زمستان ۱۳۸۸.
- پیرمرادی، ع.، ۱۳۸۶. دومین کنفرانس بین المللی شهرداری الکترونیک، وزارت کشور، سازمان شهرداری های کشور.
- حجازی، ا.، جوادی، م.، موسوی کجاباد، ن.، ۱۴۰۱. ارزیابی و پهنه بندی خطر زمین لغزش با استفاده از منطق فازی (مطالعه موردی: حوضه آبریز رودخانه سراجو): فصلنامه علمی-پژوهشی جغرافیا و برنامه ریزی منطقه ای، سال دوازدهم، شماره ۴، ص: ۱۷۸-۱۹۱.
- حجازی، ا.، رنجریان شادباد، م.، ۱۳۹۳. شناسایی عوامل موثر و پهنه بندی خطر زمین لغزش در بخش غربی حوضه آبریز سرند چای، پژوهش های ژئومورفولوژی کمی، سال سوم، شماره ۳، زمستان ۱۳۹۳، صفحه ۱۱۴ - ۱۲۹.

این امر نشان دهنده آن است که پهنه بندی خطر زمین لغزش در حوضه آبخیز اوغان با روش تحلیل سلسله مراتبی از دقت بالایی برخوردار است و با شرایط موجود انطباق دارد. همچنین مشخص شد در این حوضه آبخیز، مناطق با خطر وقوع زمین لغزش زیاد و بسیار زیاد عمدتاً دارای شیب متوسط ۱۰ تا ۳۸ درجه می باشند و در محدوده ارتفاعی ۳۰۰ تا ۱۱۰۰ متر، اقلیم خیلی مرطوب و مرطوب و فاصله ۱۵۰ متری از آبراهه قرار دارند. پس از بررسی موقعیت پروفیل توپوگرافی A-A' در نقشه پهنه بندی رسم شده، مشخص شد که مناطق با خطر بسیار زیاد که عمدتاً مربوط به نهشته های لسی هستند، در دره هایی که شیب میانگین ۶ تا ۱۱ درجه دارند و در تراز ارتفاعی کمتر از ۱۱۰۰ متر واقع می باشند، قرار دارند. در نتیجه پیشنهاد می شود در جهت مدیریت کنترل فرسایش و تولید رسوب ناشی از زمین لغزش در حوضه آبخیز اوغان توجه به این مناطق در اولویت قرار گیرد.

- رضایی، حامد.، ۱۳۹۴. شناسایی مخاطرات زمین در نهشته‌های لسی و روش‌های مقابله با آن: معاونت پژوهشی و فناوری دانشگاه گلستان، گزارش نهایی و طرح تحقیقاتی.
- سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، نقشه زمین‌شناسی دوزین، ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰.
- شریعت جعفری، م.، ۱۳۸۷. ارزیابی ریسک ویژه زمین‌لغزش در بخشی از البرز جنوبی: مجله انجمن زمین‌شناسی مهندسی ایران، جلد اول، شماره ۳ و ۴، صفحه ۱ تا ۱۴.
- غفوری، م.، لشکری پور، غ.، دهبان ایوان استخری، م.، زارع صفت، م.، سیار، ا.، ۱۳۹۳. ارزیابی پتانسیل زمین‌لغزش در مخزن سد خاکی پلرود با رویکرد چندمعیاره فازی: مجله انجمن زمین‌شناسی مهندسی ایران، جلد هفتم، شماره ۱ و ۲، صفحه ۱ تا ۱۴.
- فرداد، م.، آل شیخ، ع.، حکیم‌پور، ف.، وفایی نژاد، ع.، ۱۳۹۰. پهنه‌بندی حساسیت خطر زمین‌لغزش با روش‌های منطق فازی شبکه عصبی، مطالعه موردی منطقه مال خلیفه، پانزدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران.
- موسوی حرمی، ر.، ۱۳۹۱. رسوب شناسی، انتشارات به‌نشر، ص ۲۸۹.
- نیکودل، م.، ارومیه‌ای، ع.، ستایشی راد، محمد رسول.، ۱۳۸۹. بررسی خطر زمین‌لغزش به روش AHP در ساحل دریای خزر، محدوده نوشهر تا رامسر: مجله انجمن زمین‌شناسی مهندسی ایران، جلد سوم، شماره ۱ و ۲، صفحه ۱ تا ۱۴.

Bednarik, M., Magulova, B., Matys, M., Marschalko, M., 2010. Landslide susceptibility Assessment of the Kral'ovany–Liptovský Mikuláš Railways case study, *Physics and Chemistry of the Earth*, 35 (3-5): 162 – 171.

Biswajeet, P., 2010. Landslide Susceptibility Assessment and Factor Effect Analysis: Back Propagation Artificial Neural Networks and Their Comparison With Frequency Ratio and Bivariate Logistic Regression Modeling Original Research Article, *Environmental Modeling & Software*, 25(6): 747-759.

Khullar, V. K., Sharam, R. P., & Paramanik, K. 2000. A GIS approach in the landslide zone of Lawngthlia in southern Mizoran. In *Landslide, proceeding of the 8th international symposium on landslides*, Vol. 3: 1461-1472.

Komac, M., 2006. A landslide susceptibility model using the Analytical Hierarchy process method and multivariate statistic in per alpine Slovenia, *Geomorphology*, 74(1-4): 17 – 28.

Lizarralde, G., 2008. The challenge of low-cost housing for disaster prevention in small municipalities. In 4th International i-Rec Conference 2008. Building resilience: achieving effective post-disaster reconstruction.

Wan, S., 2009. A spatial decision support system for extracting the core factors and thresholds for landslide susceptibility map, *Engineering Geology*, 108 (3-4): 237 – 251.

Shivani, C., 2010. Landslide Susceptibility Zonation Through Ratings Derived From Artificial Neural Network Original Research Article. *International Journal of Applied Earth Observation and Geo information*, 12 (5): 340-350.

Strokova, L., 2022. Landslide susceptibility zoning in surface coal mining areas: a case study Elga field in Russia. *Arabian Journal of Geosciences*, 15(2), pp.1-17.

Yalcin, A., 2008. 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.

Zhang, W., Wang, W., Xia, Q., 2012. Landslide Risk Zoning Based on contribution of rate stack Method, *Energy Procedia*, vol. 16: 178 – 183