ارزیابی کارآیی مدل‌های پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در حوزه آبخیز سد لتیان

محمدعلی فتاحی اردکانی[۱]، جعفر غیومیان[۲]، نادر جلالی[۲]
۱- مدیریت آبخیزداری استان تهران،۲- مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری

تاریخ: دریافت ۸۱/۴/۱۵ پذیرش ۸۲/۲/۱۰

چکیده

پهـــنه‌بندی خطر زمین لغزش با روش‌های متفاوتی صورت می‌گیرد، و بسیاری از این روشها بر اساس شرایط خاص مناطق مورد بررسی بنا می‌شود. برای ارزیابی کارآیی تعدادی از روشهای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش، در حوزهٔ آبخیز سد لتیان، با توجه به تنوع سازندهای زمین شناسی با ویژگی‌های زمین‌شناسی مهندسی، توپوگرافی، ژئومورفولوژیکی و بارندگی مختلف انتخاب گردید. لایه‌های اطلاعاتی شامل زمین شناسی، فاصله از گسلهای فعال، طبقات ارتفاعی، شیب، وجه شیب، بارندگی و پوشش گیاهی تهیه شدند. بیش از ۱۵۰ زمین لغزش و پهنـــهٔ لغزشی مورد شناسایی قرار گرفت و نقشهٔ پراکنش زمین لغزشها برای منطقه تهیه شد: بنابر آنالیز داده‌ها، عوامل مؤثر در ناپایداری شیبها مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند، همچنین با مد نظر قرار دادن پارامترهای مؤثر در وقوع ناپایداریها درحوزهٔ سدلتیان، روشهای نیلسن، تراکم سطح، ارزش اطلاعاتی و وزن متغیرها جهت پهنه‌بندی خطر زمین لغزش به کار بسته شد. نتایج نشان می‌دهد که روشهای وزن متغیرها و ارزش اطلاعاتی با دقت‌هایی در حدود ۹۹/۷ و۹۹/٤ درصد از میان مدلهای انتخاب شده، برای استفاده در مناطق مشابه حوزهٔ آبخیز سد لتیان در البرز مرکزی کاراترین روشها هستند. بعلاوه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در این حوزه نشان می‌دهد که حریم گسلهٔ مشا میان دماغهٔ تارسنان، مناطق جنوب‌غربی زرد بند تا حاجی‌آباد و شمال ارتفاعات توچال، در بستر آبخیزهای آهار، از پهنه‌های مستعد وقوع لغزشند. تغییر کاربری اراضی و احداث جاده‌های دسترسی روستایی بر روی دامنه‌های پر شیب، در سالهای اخیر، وقوع چندین لغزش را باعث شده است.

مقدمه

تا قبل از سال ۱۳٦۹ تحقیقات و مطالعات محدودی در خصوص زمین لغزش، در کشور،

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1382.1.1.2.3]

صورت پذیرفته است. خسارات سنگین ناشی از وقوع زمین لغزشها دراثر زلزله منجیل– رودبار باعث شد که تحقیقات و مطالعات پراکنده‌ای توسط محققان و دانشجویان، درخصوص زمین‌لغزش، بالاخص پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش شروع شود. از طرف دیگر نام‌گذاری دهۀ ۹۰ به عنوان دهۀ مقابله با بلایای طبیعی مقدمه‌ای شد که کمیته بلایای طبیعی در وزارت کشور تشکیل شود و تعدادی پروژه تحقیقاتی در این خصوص تصویب گردد.

سالهاست که پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش درسطح بین‌المللی و ملی مورد توجه محققان قرارگرفته است. به طورمثال «Van western»[۱۹] ضمن ارائه کاربرد سیستمهای اطلاعات جغرافیایی در پهنه‌بندی خطرزمین‌لغزش، روشهای مختلف پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش و محدودیتها و مزایای هر روش را به تفصیل مورد تجزیه و تحلیل قرار داده است.

از آن پس «Aulitzry»[۱۳] پهنه‌بندی خطرزمین‌لغزش درمناطق کوهستانی را با روش تجربی و به شیوۀ مدل اطلاعاتی توسط «Wu» [۲۰] و با استفاده از مدل احتمالات توسط «Lee و همکاران» [۱۷] انجام گرفت، و«Juang و همکاران [۱٦] و Dodagodar و همکاران [۱۵]» با استفاده از تئوری فازی همین کار را انجام دادند.

دربارۀ پهنه‌بندی خطرزمین لغزش در کشور، تحقیقات پراکنده‌ای صورت گرفته است که بیشترآنها درقالب پایان نامه‌های دانشجوئی وطرحهای تحقیقاتی بوده است.«حافظی مقدس[۳]، شریعت‌جعفری [۸] و حائری [۲]» با استفاده از چندین روش تجربی کارایی این روش را مورد بررسی قرار داده‌اند. «حق‌شناس»[٤] تحلیل ممیزی[۱] را روشی کارا، در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش درحوزۀ آبخیز سد طالقان شناخت. «مهدویفر [۱۱]، غیومیان و همکاران» [۱۰] به ترتیب پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در مناطق خورش رستم خلخال و رودبار را با استفاده از مجموعه‌های فازی به انجام رسانیدند. هردو تحقیق از مناسب بودن این روش در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در مقیاس‌های بزرگ حکایت می‌کند.

«نیک‌اندیش»[۱۲] بررسی نقش عوامل هیدرواقلیم در وقوع حرکات توده‌ای درحوزۀ کارون میانی و پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در این حوزه را ارائه داده است. انطباق نقشۀ رسوب‌زایی و نقشۀ پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش و ارتباط نزدیک میان رتبه خطر و میزان رسوب‌زایی از نتایج مهم این تحقیق بوده است.

۱-Discriminant Analysis

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1382.1.1.2.3]

«سیارپور [۷] و جلالی [۱]» پهنه‌بندی پتانسیل خطر زمین‌لغزش را به ترتیب در بخشی از جنوب خلخال و منطقهٔ طالقان، با استفاده از چندین روش تجربی و آماری به انجام رسانیدند.

پژوهشکدهٔ حفاظت خاک و آبخیزداری طرح جامعی را با عنوان "ارزیابی روشهای پهنه‌بندی خطرزمین لغزش درکشور" ارائه کرده است. برای این طرح چند پروژهٔ تحقیقاتی درحوزه‌های آبخیز کشور با مقیاس۵۰/۰۰۰: ۱ درحال انجام گرفتن است. علاوه برآن کمیته مقابله با بلایای طبیعی کشور، طرحهای تحقیقاتی دیگری درخصوص پهنه‌بندی خطر زمین لغزش را در دست اجرا دارد.

با اینکه تحقیقات متعددی در زمینهٔ پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش، به انجام رسیده است، این بررسیها به صورت پراکنده بوده و عمدتاً جهت پهنه‌بندی روش واحدی انتخاب گردیده است. هدف از این پژوهش ارزیابی چندین روش پهنه‌بندی خطرزمین‌لغزش، درحوزهٔ آبخیز سد لتیان (البرزمرکزی) با مقیاس ۵۰۰۰۰: ۱ است و معرفی مناسب‌ترین روشی است که می‌تواند برای حوزه‌های مشابه مورد استفاده قرار گیرد.

منطقه مورد مطالعه

حـوزهٔ آبخیز سد لتیان با مساحت۶۹۶۸۳هکتار میان طولهای جغرافیایی۲۲ و°۵۱ تا´۵۱ و°۵۱ شمالی و عرض جغرافیایی´۴۵ و°۳۵ تا ´۵۰ و°۳۶ شرقی واقع شده است. این حوزه از شمال به حوزهٔ آبخیز سد لار، از غرب به حوزهٔ آبخیز کرج، از جنوب به حوزهٔ آبخیز شمال تهران و از شرق به حوزهٔ آبخیز دماوند محدود می‌شود. حداکثر ارتفاع درحوزه، ۴۳۲۵ متردرکوه ولدر بالدر و حداقل ارتفاع ۱۵۰۰ متر از سطح دریا در محل خروجی سد لتیان است. این حوزه در ناحیهٔ کوهستانی سرد و مدیترانه‌ای تا نیمه صحرایی سرد واقع شده است. متوسط نزولات سالیانه حوزه حدود ۵۷۳ میلی‌متر است که از این مقدار ۱۹۱ میلی‌متر آن به صورت برف است.

حوزه آبخیز سد لتیان دردامنهٔ جنوبی البرز(البرزمرکزی) قرار گرفته است. زمین‌شناسی این منطقه توسط محققان مختلفی مورد بررسی قرارگرفته است و تعداد زیادی از مقاطع تیپ سازندها درآن واقع شده است[۱۴]، [۱۵]، [۱۶].سازندهای باروت(کامبرین آغازی) قدیمی‌ترین سازند دارای رخنمون در منطقه مورد مطالعه است. سازند هزار دره و نهشته‌های عهد حاضر جدیدترین رخنمون‌های منطقه مورد بررسی را تشکیل می‌دهند.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1382.1.1.2.3]

پراکنش زمین‌لغزش‌ها

زمین‌لغزش‌های حوزهٔ سد لتیان از طریق بررسی عکس‌های هوایی با مقیاس‌های ۲۰۰۰۰: ۱ و ۵۵۰۰۰: ۱ استخراج گردیدند. جهت ثبت لغزش‌های کوچک و نیز لغزش‌هایی که پس از تهیه عکس‌های هوایی به وقوع پیوسته‌اند بررسی‌های صحرایی صورت گرفت. در طی این مراحل ۱۵۰ زمین‌لغزش و پهنهٔ لغزشی شناسایی گردیدند و بر روی نقشه توپوگرافی با مقیاس ۵۰۰۰۰: ۱ ترسیم شدند. شکل ۱ پراکنش لغزش‌ها در منطقهٔ مورد بررسی را نشان می‌دهد. از مجموع لغزش‌های ثبت شده ۱۲۵ مورد مربوط به لغزش‌های منفرد و ۲۵ مورد پهنهٔ لغزشی هستند. بررسی نشان می‌دهد درحوزهٔ آبخیز سد لتیان که ۳/۰۵ درصد ازکل سطح این حوزه آبخیز درگیر لغزش شده است.

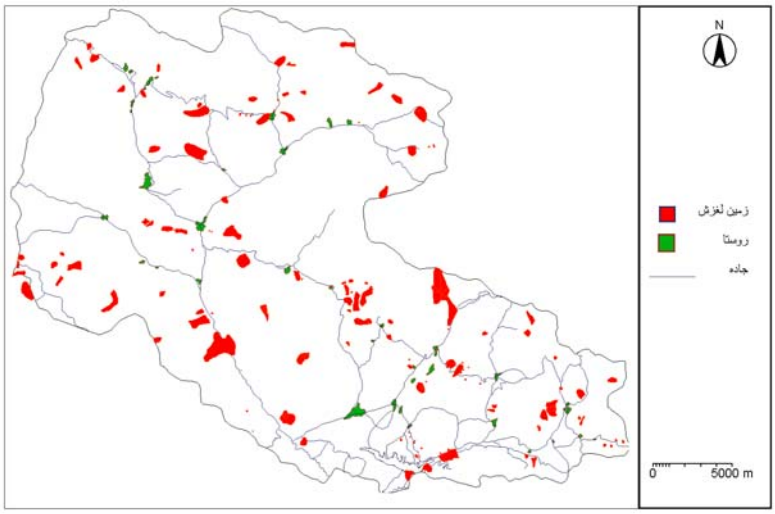
بررسی عوامل مؤثر در وقوع زمین لغزش در منطقه

با توجه به تجربیات به‌دست آمده از بررسیهای صحرایی و بازدیدهای میدانی و مطالعهٔ منابع، از میان همهٔ عوامل مؤثر در وقوع لغزشها، چند عامل به عنوان عوامل اصلی مؤثر ایجاد زمین‌لغزش در منطقه شناخته شدند. لازم به ذکر است عواملی که در کل منطقه تأثیر یکسانی داشته‌اند در پهنه‌بندی مورد توجه قرار نگرفته‌اند؛ به عنوان مثال، نقش زیرشویی رودخانه در ایجاد زمین‌لغزشهای منطقه، علی‌رغم نقش زیاد آن، به‌دلیل تأثیر یکسان شاخص مناسبی برای تمایز مناطق پرخطر از کم خطر محسوب نمی‌گردند. در این تحقیق نقشهٔ پارامترهای مؤثرشامل زمین‌شناسی، فاصله از گسل، شیب،وجه شیب، طبقات ارتفاعی ، میزان بارندگی و درصد پوشش گیاهی تهیه شدند.

نقشهٔ زمین‌شناسی با استفاده از نقشهٔ زمین‌شناسی تهران و آمل و تدقیق در آنها از طریق بررسی عکسهای هوایی و بررسی‌های میدانی تهیه گردید. نقشهٔ فاصله از گسل با مد نظرقرار دادن گسل‌های اصلی شامل (گسلهای مشأ، فشم، گرمابدر و شمال تهران) تهیه گردید. نقشهٔ شیب و طبقات شیب از طریق رقومی نمودن نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس ۵۰۰۰۰: ۱ به صورت رقومی تهیه گردید. نقشهٔ میزان بارندگی تهیه شده برای مطالعات جامع آبخیزداری سد لتیان به عنوان لایهٔ اطلاعاتی بارندگی مورد استفاده قرار گرفت. داده‌های ماهواره‌ای تصویر سنجنده TM سال ۱۹۸۸ مورد پردازش قرار گرفت و نقشهٔ شاخص پوشش گیاهی فراهم شد.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1382.1.1.2.3]



شکل ۱: پراکنش زمین لغزشهای حوزه آبخیز سد لتیان

کلیهٔ نقشه‌های عوامل مؤثر در محیط یک سامانه اطلاعات جغرافیایی مدیریت و جهت تجزیه و تحلیل ساماندهی شدند.

پهنه بندی خطر زمین‌لغزش

روشهای مختلفی جهت پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش معرفی شده‌اند. هر روشی دارای مزایا و محدودیتهایی است. جزئیات مربوط به روشهای مختلف پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش توسط «Van westen »[۱۹] ارائه شده است.

با توجه به نقشه‌های پارامترهای مؤثر تهیه شده، نیازیهای مدلهای مختلف پهنه‌بندی به داده‌ها و امکان نظارت و کنترل مراحل اجراء، در روشهای آماری دو متغیره، در این تحقیق از روش‌های آماری تراکم سطح[۱] ارزش اطلاعاتی[۲] ، وزن متغیرها[۳] استفاده گردید. علاوه بر آن روش نیلسن(٤) به عنوان روش تجربی که مورد توجه محققان کشور واقع گردیده نیز مورد استفاده قرار گرفت.

نقش عوامل مختلف بر وقوع زمین‌لغزشها در حوزه سد لتیان

پس از تهیه نقشه‌های عوامل مؤثر،این نقشه‌ها با نقشه پراکنش زمین‌لغزشها قطع داده شدند.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-30]

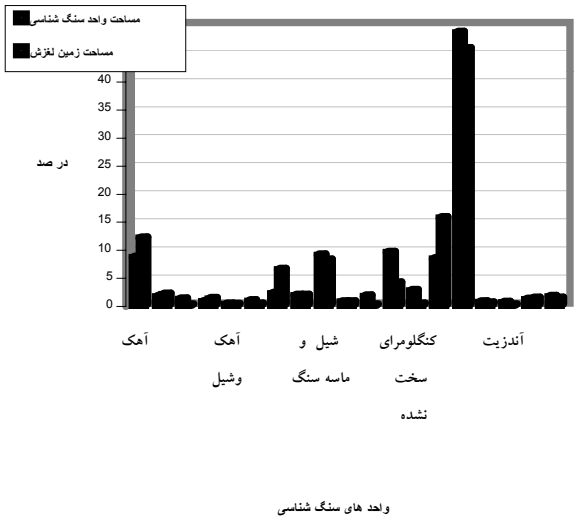
[DOR: 20.1001.1.22286837.1382.1.1.2.3]

در دامه نقش هر پارامتر در وقوع لغزشها در حوزهٔ سد لتیان مورد تجزیه و تحلیل قرارمی‌گیرد.

زمین‌شناسی

بررسی سازندهای زمین‌شناسی نشان می‌دهد که نهشته‌های کواترنر، سازندهای شمشک، قرمز، الیکا دارای بیشترین سطح لغزیده و سازندهای لالون، میلا، ولکانیک‌های کرتاسه، فجن و ولکانیک کرج دارای هیچگونه لغزشی نیستند و از پایدارترین سازندهای حوزهٔ آبخیزند. از لحاظ سنگ‌شناسی، سنگهای توف، شیل، نهشته‌های آبرفتی و واریزه‌ای، ماسه‌سنگ، مارن و سیلتستون و ماسه‌سنگ و آهک مارنی دارای بیشترین سطح لغزیده و در سنگهای آهک و دولومیت، ماسه‌سنگ کوانریتی و آندزیت هیچگونه لغزشی رخ نداده است.

شکل۲ نقشه عامل سنگ شناسی در وقوع لغزشها را نشان می‌دهد .



شکل ۲: توزیع واحد های سنگ شناسی و سطح زمین لغزش ها در حوزه آبخیز سد لتیان

فاصلهٔ گسل

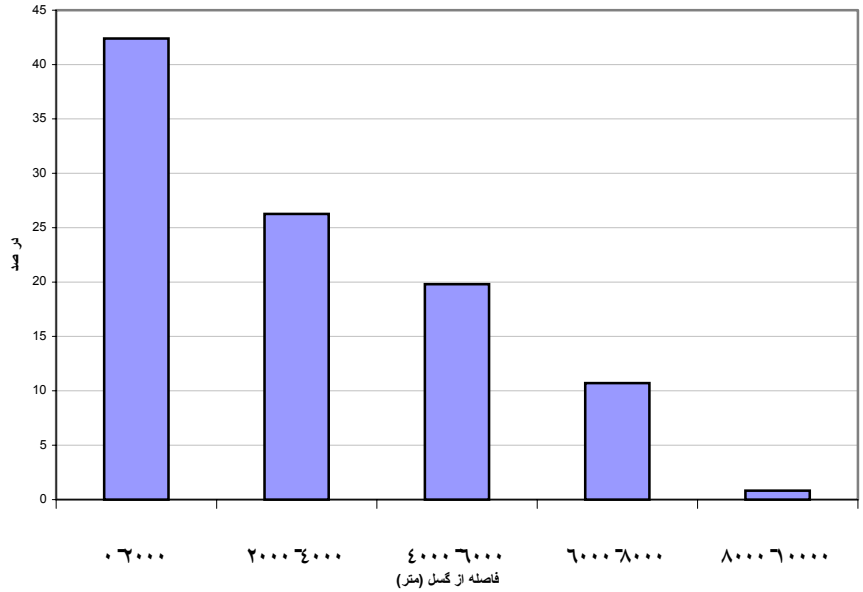
به کارگیری فاصلهٔ گسل به عنوان عامل مهم در ایجاد زمین‌لغزش به دلیل نقش مهم

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1382.1.1.2.3]

گسل‌های فعال در به وجود آوردن ریز لرزه‌ها و همچنین تأثیر غیر مستقیم در خردشدگی مصالح و هوازدگی آنها و در نتیجه کاهش مقاومت برشی مصالح بوده است. در شکل ۳ درصد زمین‌لغزش‌های حوزه نسبت به فاصله ازگسل‌های فعال و بنیادین منطقه نشان داده شده است.

چنانکه مشاهده می‌شود نزدیک به۴۳ درصد زمین‌لغزش‌های به وقوع پیوسته در فاصلهٔ تا ۲ کیلومتری از گسل‌های اصلی واقع شده‌اند.



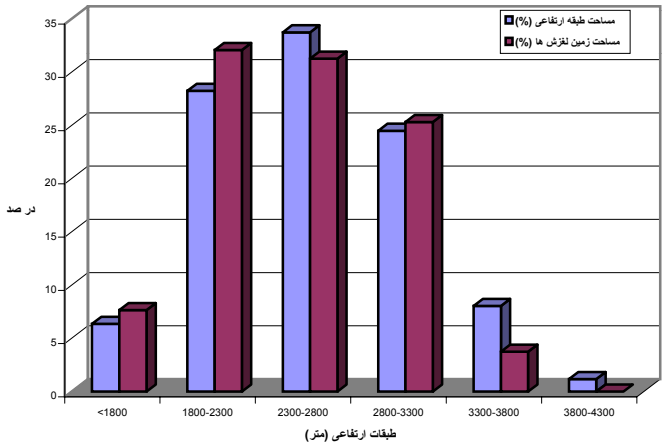
شکل ۳: ارتباط فاصله از گسل‌های اصلی و سطح زمین لغزش ها در حوزه آبخیز سد لتیان

طبقات ارتفاعی

تغییرات ارتفاع در حوزه از ۱۶۰۰ متر در دریاچهٔ سد لتیان تا ۴۳۰۰ متر در خط‌الرأسها متغیر است. چنانکه در شکل۴ مشخص است بیشترین ارتفاعات حوزه در محدودهٔ $^{\circ}$۲۳ – $^{\circ}$۲۸ متر قرار دارند. ارتفاعات بیشتر از ۳۸۰۰ متر و کمتر از ۱۸۰۰ متر درصد کمی از حوزه را اشغال کرده‌اند. انطباق نقشهٔ توزیع زمین‌لغزشها و نقشه هیپسومتریک نشان می‌دهد که آستانهٔ ارتفاع جهت وقوع زمین‌لغزشها از ۱۷۰۰ متر و غالباً بین ۱۸۰۰ تا ۳۲۰۰ متر است.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1382.1.1.2.3]



شکل ٤ : توزیع طبقات ارتفاعی و سطح زمین لغزش ها در حوزه آبخیز سد لتیان

طبقات شیب و درجه شیب

بررسی نقشه شیب نشان می‌دهد که بیش از۷۷ درصد حوزهٔ آبخیز لتیان، دارای شیب بیشتر از ۱۵ درصد است و بیشترین شیب حوزه در کلاس ٤۰ تا ٦۰ درصد قرار گرفته است. بیشترین سطح لغزیده در شیب‌های میان ٤۰ تا ٦۰ درصد و۳۰ تا ٤۰ درصد قرار دارند. مجموعاً نزدیک به ٦۲ درصد از سطوح لغزیده دارای شیبی میان۳۰ تا ٦۰ درصد باشد(شکل۵).

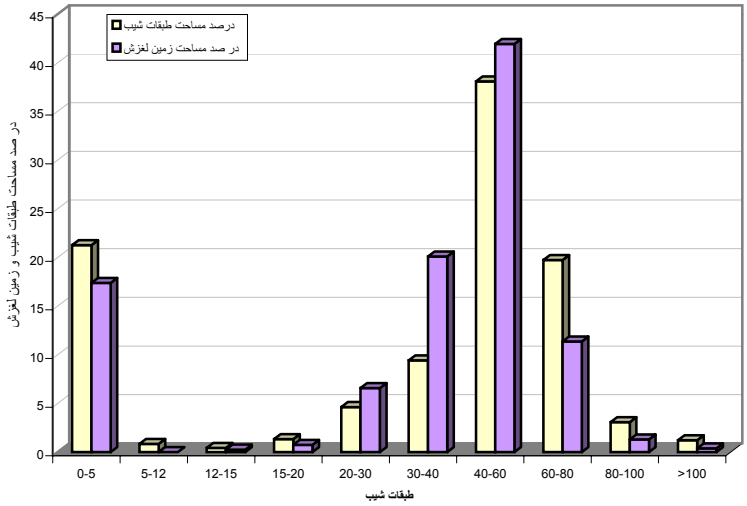
توزیع زمین‌لغزشها در وجوه دامنه منطقه نشان می‌دهد که تقریباً زمین‌لغزشها به صورت مناسبی در طبقات مختلف وجه دامنه پراکنده شده‌اند. به طور نسبی حدود ۲۹ درصد از زمین‌لغزشها در هر دو جهت عمومی شمال و جنوب واقع شده‌اند حدود ۱۸ درصد از سطح زمین‌لغزشها نیز در طبقهٔ بدون وجه جای گرفته‌اند. به صورت جزئی‌تر، توزیع زمین‌لغزشها به ترتیب در جهات شرق، شمال شرقی، جنوب غرب و جنوب بیشتر از جهات فرعی دیگرند و در جهات فرعی جنوب شرق، شمال غرب کمتر توزیع شده‌اند. در مجموع باید گفت تأثیر بارندگی دریافتی دامنه‌های رو به جنوب با رطوبت بیشتردر دامنه‌های رو به شمال در وقوع زمین‌لغزشهای منطقه تقریباً با هم برابرند

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1382.1.1.2.3]

میزان بارندگی

وجود شرایط ذاتی مستعد برای وقوع زمین‌لغزشها، مانند جنس مصالح، باعث می‌گردد تا با افزایش میزان بارندگی و رطوبت امکان وقوع زمین‌لغزشها افزایش یابد. با این افزایش سطح لغزش یافته نیز افزایش می‌یابد. در حالی که با افزایش بارندگی سالیانه بیش از ۷۰۰ میلی‌متر، مجدداً سطح لغزش یافته کاهش می‌یابد که البته به نوبهٔ خود به نوع بارش نیز برمی‌گردد. با افزایش ارتفاع، نوع بارش از باران به برف تغییر می‌یابد و نیز از میزان مصالح سست کم می‌شود و بر میزان مصالح مقاوم، نظیر آهکها و دولومیت‌ها، افزوده می‌گردد.



شکل ۵ : توزیع طبقات شیب و سطح زمین لغزش‌ها در حوزه آبخیز سد لتیان

بیشترین سطح لغزیده در طبقات بارش۷۰۰-۶۰۰ و ۶۰۰-۵۰۰ میلی‌متر دیده می‌شود، چنانکه ٦٥ درصد از زمین‌لغزشها در طبقه بارش میان ۵۰۰ تا ۷۰۰ میلی‌متروواقع شده‌اند (شکل ٦).

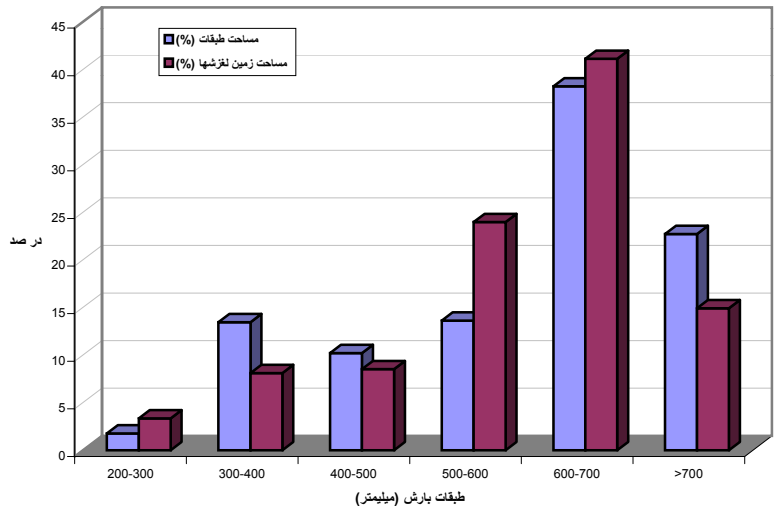
درصد پوشش گیاهی

از نظر کاربری در حوزهٔ آبخیز سد لتیان، ٤ نوع کاربری عمده زراعت دیم و آبی، مرتع، جنگل، باغات دیده می‌شود. حدود ۸/۵ درصد از سطح حوزه را اراضی باغی و جنگلی و ۱/۵

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1382.1.1.2.3]

درصد را مرتع و اراضی زراعی آبی و دیم تشکیل داده است. حدود ۵ درصد از زمین‌لغزشها در اراضی باغی– جنگلی و ۹۵ درصد دیگر در پوشش گیاهی مرتعی و زراعی رخ داده‌اند.

بیشترین لغزشها در مراتع با پوشش میان ۱۰ تا ۱۵ درصد روی داده‌اند و با افزایش درصد پوشش مرتعی مقدار لغزش کاهش می‌یابد. حدود ۹۰ درصد زمین‌لغزشها در اراضی مرتعی با پوشش میان ۱۰ تا ۲۵ درصد واقع شده‌اند.



شکل ٦ : توزیع طبقات بارش و سطح زمین لغزش‌ها درحوزه آبخیز سد لتیان

تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین لغزش

با توجه به نتایج به‌دست آمده از بررسی تأثیر پارامترهای مؤثر بر وقوع زمین لغزش در حوزهٔ سد لتیان، پارامتر وجه دامنه به دلیل تأثیر یکسان طبقات وجه دامنه دروقوع زمین‌لغزشها، در تحلیل‌های بعدی مورد توجه قرار نگرفت.

نقش هریک از پارامترهای مؤثردر روشهای آماری لحاظ شد و مدلهای مربوط اجرا گردید. نتایج به دست آمده از اجرای روشهای ذکر شده برای پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در ادامه کار، مورد بحث قرار گرفته است.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1382.1.1.2.3]

روش نیلسن و همکاران

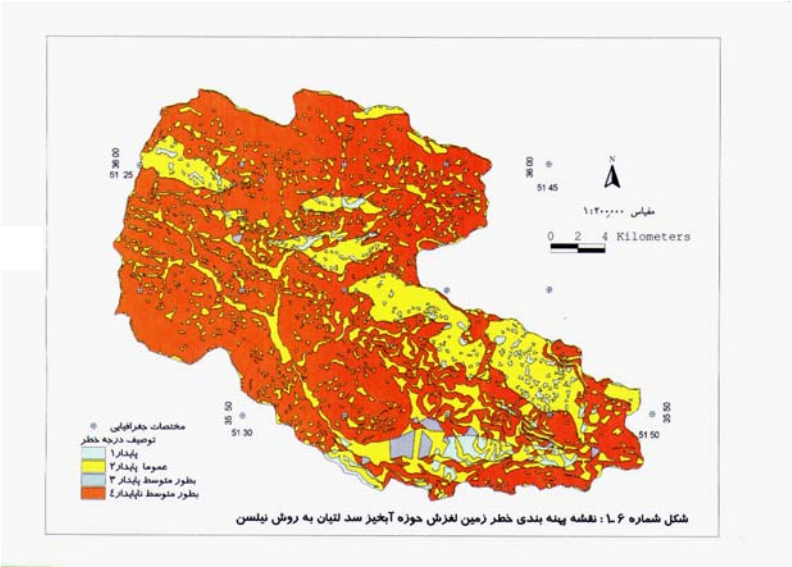
«نیلسن و همکاران (۱۹۷۹)» از سه پارامتر شیب، جنس مصالح و لغزش‌های به وقوع پیوسته برای تهیهٔ نقشه ارزیابی خطر ناپایداری شیب با مقیاس ۱۲۵۰۰۰: ۱ استفاده کرده‌اند، برای پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در حوزهٔ آبخیز سد لتیان به روش نیلسن، اقدامات زیر صورت پذیرفت:

۱- نقشهٔ شیب با سه کلاس مورد نظر با مقیاس ۵۰۰۰۰: ۱ تهیه شد.

۲- نقشهٔ نهشته‌های لغزشی حوزه آبخیز با استفاده از تفسیر عکسهای هوایی و بررسیهای صحرایی تهیه گردید.

۳- نقشهٔ زمین شناسی با استفاده از نقشه‌های موجود تکمیل و با استفاده از عکسهای هوایی و بررسیهای صحرایی بازنگری و اصلاح شد.

برای تفکیک واحدهای لیتولوژیکی، به نهشته‌های زمین لغزشی ناچیز، یا بدون لغزش با واحدهای سنگی مستعد لغزش از تجارب موجود (پهنه‌بندیهای انجام شده) و نیز روش ارائه شده توسط« Brabb (۱۹۷۲)» استفاده گردید. پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با استفاده از این روش در شکل ۷ ارائه شده است.



شکل ۷: نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش حوزه سد لتیان به روش نیلسن

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1382.1.1.2.3]

پهنه‌بندی خطر زمین لغزش به روش‌های آماری

از جمله روشهای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش استفاده از مدلهای آماری است. معمولاً در بررسیها، دو روش آماری دو متغیره و چند متغیره مورد استفاده قرارمی‌گیرد و ما در این تحقیق، از روش آماری دو متغیره استفاده کردیم. در این روش ارتباط متغیر وابسته در زمین‌لغزشها و یک متغیر مستقل مورد تحلیل قرار می‌گیرد و اهمیت هر یک از عوامل جداگانه تجزیه و تحلیل می‌گردد. با قطع دادن[1] هر نقشه پارامتر یا عامل با نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌ها تراکم زمین لغزش‌ها محاسبه می‌شود که تشکیل دهندهٔ هستهٔ تحلیل است. روش‌های سه‌گانهٔ آماری، شامل روش تراکم سطح، روش ارزش اطلاعاتی و روش وزن متغیرها مورداستفاده قرار گرفتند. جزئیات مربوط به این روشها توسط«van.westen(۱۹۹۲)» ارائه شده است، ما در جدول ۱ این روشها را به صورت خلاصه نشان داده‌ایم.

با انتخاب این روشها جداول وزن طبقات مختلف متغیرها تهیه شد و با قطع دادن هر نقشهٔ پارامتر با نقشهٔ زمین‌لغزشهای حوزهٔ آبخیز سد لتیان (صفر و یک) وزن هر طبقه از هر متغیر در وقوع زمین‌لغزش با عامل مؤثر تعیین گردید.

پس از تهیهٔ جداول وزن طبقات مختلف متغیرها، وزن‌های مورد نظر در روشهای مختلف در نقشه‌های لایه یا عوامل تأثیر داده شده و نقشهٔ وزن هر عامل در محیط GIS تهیه شد. جهت تهیهٔ نقشه خطر زمین‌لغزش، نقشه‌های وزن هر پارامتر که در مرحله قبل تهیه شده بود جمع گردید پس از تحلیل منحنی فراوانی تجمعی وزنها، آستانه‌های هر طبقه، با توجه به نقاط عطف منحنی به دست آمدند که از این آستانه‌ها[2] برای طبقه‌بندی نقشهٔ تجمعی وزنها و تولید نقشه پهنه‌های خطرزمین‌لغزش استفاده به عمل آمد. با استفاده ازروش ذکرشده، نقشه‌های پهنه‌بنـدی خطر زمین‌لغزش بر اساس هر یک از روشهای آماری تهیه شدند.شکل‌های۸، ۹ و۱۰ به ترتیب نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش به روش‌های تراکم سطح وارزش اطلاعاتی را نشان می‌دهند.

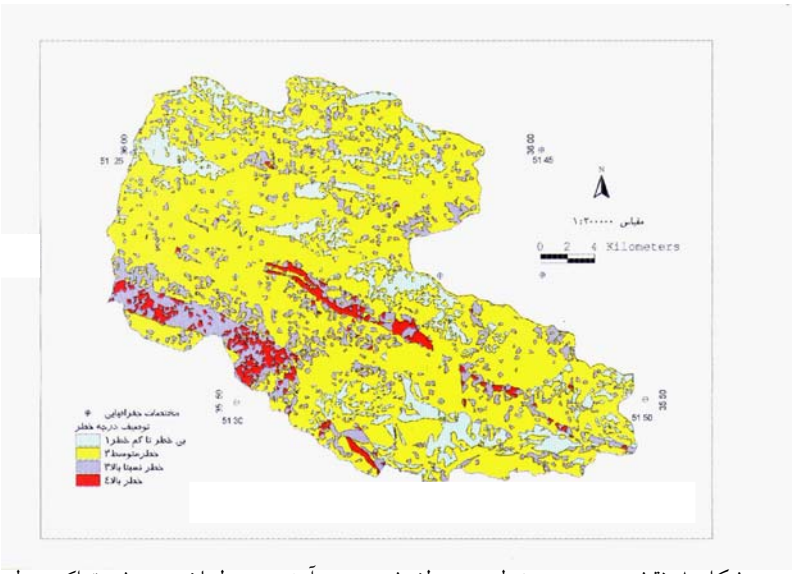
۱-Crossing ۲ -Thresholds

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1382.1.1.2.3]

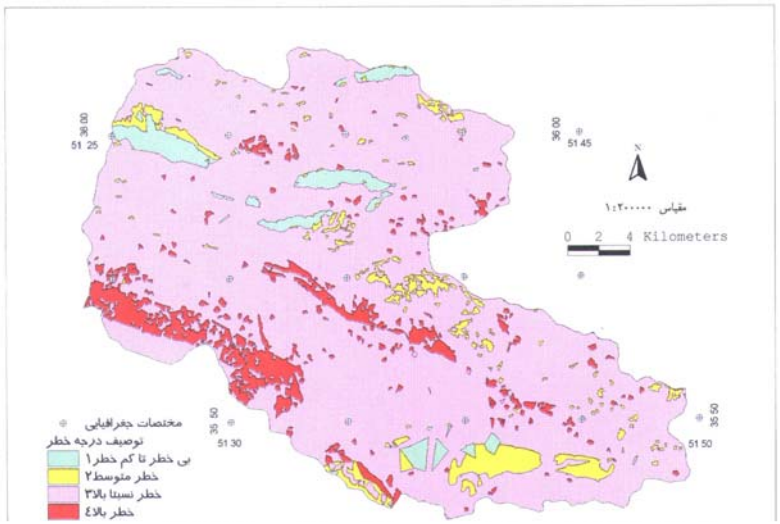
جدول ۱: روشهای آماری مورد استفاده جهت پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در حوزه آبخیز سد لتیان

عوامل و روابط	نحوه محاسبات	روش
A: مساحت زمین لغزش در کلاس متغیر B: مساحت کلاس متغیر C: مساحت کل زمین لغزشهای حوزه D: سطح کل حوزه آبخیز Darea: تراکم سطح Warea: وزن تراکم سطح W_{Inf}: ارزش اطلاعاتی E, F, G, H: فرمولهای شرطی WP: وزن مثبت WN: وزن منفی WT: وزن کل (وزن متغیر)	$Darea = 1000 \times \frac{A}{B}$ $Warea = Darea - (1000 \times \frac{C}{D})$	روش تراکم سطح
	$W_{INF} = Ln\left[(\frac{A}{B}) : (\frac{C}{D})\right]$	روش ارزش اطلاعاتی
	E= A F=C-A G=B –A H=(D-C) –(B –A) $WP = Ln[E/(E+F)/(G/(G+H))]$ $WN = Ln[(F/(E+F))/(H/(G+H))]$ $WT = WP + Sum(WN) - WN$	روش وزن متغیرها



شکل ۸: نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش حوزه آبخیز سد لتیان به روش تراکم سطح

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1382.1.1.2.3]



شکل۹ : نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش حوزه آبخیز سد لتیان به روش ارزش اطلاعاتی

بحث و نتیجه‌گیری

جهت ارزیابی توانایی هر یک از مدلهای پهنه‌بندی خطر زمین لغزش، نقشهٔ پراکنش زمین لغزشها با هریک ازچهار نقشهٔ پهنه‌بندی خطر زمین لغزش قطع داده شدند. نتایج حاصل از این انطباق در جدول ۲ ارائه شده است.

چنانکه ملاحظه می‌شود، درصد زمین لغزشهای موجود در پهنهٔ بی خطر تا کم خطر، در روشهای ارزش اطلاعاتی و وزن متغیرها صفر، اما در روش تراکم سطح حدود ۲/۳٤ درصد و در روش نیلسن ۰/۵۵ درصد است؛ از این رو در ایجاد و تفکیک پهنه‌های بی خطر تا کم خطر روش ارزش اطلاعاتی و وزن متغیرها، نتیجهٔ بهتری را به دست داده‌اند. در پهنهٔ خطر متوسط، با توجه به درصد زمین لغزش‌های واقع شده در این پهنه درروشهای مختلف، نتایج روشهای وزن متغیرها ارزش اطلاعاتی بهتر از روشهای نیلسن و تراکم سطح بوده است. نتایج روشهای وزن متغیرها و ارزش اطلاعاتی در پهنهٔ خطر نسبتاً بالا مشابه یکدیگر است؛ در حالی که نتایج مربوط به روش تراکم سطح نسبتاً مناسب، و در قیاس با روش نیلسن نتیجهٔ بسیارمناسبی است. این امر به دلیل رخنمون لیتولوژی‌های سخت با شیبهای بالای ۱۵ درصد بوده که بدون هر نوع

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1382.1.1.2.3]

لغزشی بوده‌است، در حالی که در روش نیلسن این پهنه، با عنوان پهنهٔ به طور متوسط پایدار معرفی شده است. در روشهای نیلسن، وزن متغیرها و ارزش اطلاعاتی به ترتیب در معرفی پهنهٔ خطر بالا موفق نشان داده شده‌اند. درمجموع روشهای وزن متغیرها و ارزش اطلاعاتی با شامل شدن ۹۹/۷ و ۹۹/٤۰ زمین لغزش‌های موجود در پهنه‌های خطر نسبتاً بالا و خطر بالا بیشترین توانایی را در پیش گویی احتمال وقوع زمین لغزش‌ها را نشان می‌دهند.

مناطق دارای خطر بالای وقوع زمین‌لغزش بر اساس روشهای ارزش اطلاعاتی و وزن متغیرها همان‌گونه که در شکل‌های ۹ و ۱۰ مشخص شده‌اند، عبارتند از:

۱- مناطق اطراف گسل منشاء بر روی سازند قرمز زیرین یا فوقانی از شمال غرب امامه تا نزدیکی رسنان

۲- مناطق جنوب شرقی زرد بند تا حاجی آباد

۳- مناطق جنوبی آهار و شکرآب، واقع در جنوب گسلهٔ آهار و یال شمالی ناودیس توچال (شمال قلهٔ توچال)

٤- مناطق منطبق برسازند شمشک در سرشاخه‌های ورزآب و سیروان در شمال حوضه آبخیز سد لتیان.

بررسی‌های انجام شده در حوزهٔ آبخیز سد لتیان نشان می‌دهد که ۲۱۲۵/۱۲ هکتار از سطح ٦۹٦۸/۸۵ هکتاری حوزهٔ آبخیز سد (۳/۰۵ درصد کل حوزه) لغزشی است. آمار زمین‌لغزشها در مناطقی که قبلاً حرکت کرده‌اند، نشان می‌دهد که این مناطق لغزشی دوباره دچار لغزش شده‌اند. ضمن این که تغییر کاربری اراضی و احداث جاده‌های دسترسی روستایی از جمله احداث راه جدید گرمابدر به بلده در شمال بر روی دامنه‌های پر شیب سازند شمشک موجب وقوع چندین لغزش در سالهای اخیر گردیده است.

پیشنهادها

۱- با توجه به این که بخش عمدهٔ حوزهٔ آبخیز سد لتیان دارای شرایط مساعدی برای لغزش است، بنابراین مناطقی را که در نقشهٔ پهنه‌بندی با رتبه‌های خطر نسبتاً بالا و متوسط مشخص شده‌اند نمی‌توان به طور قطعی بی‌خطر شمرد، از این رو هرگونه عملیات عمرانی و تغییر کاربری اراضی باید با مطالعهٔ دقیق انجام پذیرد.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1382.1.1.2.3]

۲- سازندهای قرمز دوران سوم، شمشک و کرج با توجه به مصالح مستعد لغزش و توزیع نسبی زیاد مساحت در سطح این حوزهٔ آبخیز حساسیت بیشتری نسبت به لغزش دارند؛ بنابراین قبل از هر گونه احداث جاده بر روی این سازندها، باید مطالعات دقیق مسیریابی و پایدارسازی صورت گیرد.

۳- در بسیاری از قسمتهای منطقه که در مجاورت رودخانه‌ها و دره‌های اصلی قرار دارند، وقـوع زمین‌لغـزشها می‌توانـد منبع تولید رسوب قابل توجهی باشد؛ پس در خصوص نقش زمین‌لغزش‌ها درتولید رسوب لازم است بررسیهای لازم در منطقه صورت پذیرد.

٤- با توجه به این که نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش، ابزاری جهت پیشگیری وقوع زمین‌لغزش تا اجتناب بستن از منطقه خطرند، این نقشه‌ها می‌تواند به عنوان ابزار مدیریتی در اختیار مدیران و برنامه‌ریزان قرار گیرد.

جدول ۲: مقایسه نتایج حاصل از انطباق لغزش‌های موجود و نقشه‌های پهنه‌بندی در حوزه آبخیز سد لتیان

پهنه خطر معادل روش نیلسن	درصد زمین لغزشهای واقع شده از پهنه				مساحت زمین‌لغزش های Km^2				مساحت پهنه خطر Km^2				توصیف درجه خطر
	نیلسن	تراکم سطح	وزن متغیرها	ارزش اطلاعاتی	نیلسن	تراکم سطح	وزن متغیرها	ارزش اطلاعاتی	نیلسن	تراکم سطح	وزن متغیرها	ارزش اطلاعاتی	
پهنه پایدار	۰/۵۵	۲/۳۴	۰	۰	۰/۱۱۶	/۴۹۶ ۰	۰	۰	۲۵/۹۹	/۴۱ ۱۰۲	۲۵/۸۰	۲۶/۴۴	بی‌خطر تا کم خطر
پهنه عموماً پایدار	۲۲/۱۲	/۱۸ ۵۴	۰/۳۱	۰/۵۷۰	۴/۷۰۱	/۵۱۵ ۱۱	۰/۰۶۵	۰/۱۲۲	/۹۰ ۲۲۳	/۰۰ ۴۷۴	۱۹/۳۳	۳۴/۸۱	خطر متوسط
پهنه بطور متوسط پایدار	۰/۲۵	/۱۰ ۳۱	۶۸/۱۱	۷۳/۸۱	۰/۰۵۴	/۶۰۸ ۶	۱۴/۴۸	۱۵/۶۸۶	۷/۸۰	/۰۲۹ ۹۷	/۱۶ ۵۷۸	۵۸۵/۶۱۱	خطر نسبتاً بالا
پهنه بطور متوسط ناپایدار	۷۷/۰۸	/۳۸ ۱۲	۳۱/۵۸	۲۵/۶۱	/۳۸۰ ۱۶	/۶۲۳ ۲	۶/۷۱	۵/۴۴	۴۳/۱۴	/۳۸ ۲۳	۷۳/۵۴	۴۹/۹۷	خطر بالا

تقدیر و تشکر

این تحقیق با حمایت سازمان تحقیقات و آموزش کشاورزی وزارت جهاد کشاورزی انجام پذیرفته است بدینوسیله ازآن سازمان تشکر به‌عمل می‌آید از حمایتهای مرکز تحقیقات حفاظت

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1382.1.1.2.3]

خاک وآبخیزداری کشور، وزارت جهاد کشاورزی، گروه زمین‌لغزشهای دفتر مطالعات و ارزیابی آبخیزها و گروه GIS معاونت آبخیزداری به خاطر کمک‌های بی‌دریغ تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع

١- جلالی، ن." ارزیابی تعدادی از روشهای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوزه آبخیزطالقان" گزارش نهایی طرح تحقیقاتی، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری (١٣٨١).

٢-حائری، محسن و امیرحسین سمیعی"روش جدید پهنه‌بندی مناطق شیبدار در برابرخطر لغزش زمین با تکیه بر بررسی‌های پهنه‌بندی استان مازندران، فصلنامه علمی- پژوهشی علوم زمین، شماره ٢٣، ٢٤ (١٣٧٦).

٣- حافظی مقدس،ناصر،" پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش درمناطق زلزله‌خیز (مطالعه موردی زمین‌لغزشهای تحریک شده در زلزله خرداد ١٣٦٩ منجیل)" پایان‌نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی مهندسی، دانشکده علوم، دانشگاه تربیت مدرس" (١٣٧٢).

٤- حق‌شناس، ابراهیم"پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش و ارتباط آن با تولید رسوب درحوزهٔ آبخیز طالقان" (١٣٧٥).

٥- خسروتهرانی، خ.، کلیاتی درباره چینه‌شناسی ایران ومقاطع تیپ تشکیلات، انتشارات دانشگاه تهران (١٣٦٧).

٦- درویش‌زاده، ع. ، زمین‌شناسی ایران، نشر دانش امروز وابسته به مؤسسه انتشاراتی امیرکبیر(١٣٧٠).

٧- سیارپور، م."پهنه‌بندی پتانسیل خطر زمین‌لغزش در جنوب خلخال در استان اردبیل" پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران(١٣٧٨).

٨- شریعت جعفری، محسن،" ارزیابی روشهای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در شیبهای طبیعی(حوزه میانی طالقان)"، گزارش طرح تحقیقاتی، مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری کشور(١٣٧٥).

٩- شمیرانی، ا.، بابازاده، برر مدرسی‌نیا، ناصحی، سازند کرج در البرز مرکزی، مجله علوم زمین‌دانشگاه شهید بهشتی، دوره جدید. شماره ٢ (١٣٨٢).

١٠- غیومیان، ج. فاطمی عقدا،س.م، اشقلی فراهانی،ع. " پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش با استفاده از روش تصمیم گیری چند مشخصهٔ فازی، پژوهش و سازندگی، (در دست چاپ).

١١- مهدویفر،محمدرضا،"پهنه‌بندی خطرزمین‌لغزش منطقه خورش رستم(جنوبغرب شهرستان خلخال)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه تربیت مدرس (١٣٧٦).

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1382.1.1.2.3]

۱۲-نیک‌اندیش، نسرین،"بررسی نقش عوامل هیدرواقلیم دروقوع حرکات توده‌ای درحوزه کارون میانی توجه به نقش رسوب‌زایی آنها"پایان‌نامه دکتری جغرافیای طبیعی، دانشگاه علوم انسانی، دانشگاه اصفهان(۱۳۷۸).

13. H. Aulitzky, "Hazard mapping and zoning in Austria: Methods and legal implication" mountain research and development, Vol. 14, No4, (1994).307-313.
14. E. Brabb, E. Pampeyan, M. Bonilla, Landslide susceptibility in san fransisco, California USGS miscellaneous field dtudies Map. MF. 360, Scale 1: 62, 500(1972).
15. G.R. Dodagodar, G. Venkatachalam, Reliability analysis of slope using fuzzy set theory, T. computers and Geothechnics, 27(2000).
16. C.H. Juany, D.H. Lee, and C. sheu, Mapping slope failure Potentioal using fuzzy sets, T. of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol. 118, No. 3 (1992).
17. Lee, Saro, T. Choi, K. Min, "Landslide susceptibility analysis and verification using the bayesion probability model. Environmental geology, 43 (2002) 120-131.
18. T. Nilsen, R. Wright, T. Vlasic, W. Spangle, "Relative slope stability and land use planning in the Sanfrancisco bay Region, California, USGS Profssional paper, No. 44 (1979).
19. C.J. Van western, I. Van Duren, H.M.G. Kruse, M.T.J. Terlinen, GISSIZ: Training package for geoghraphic Informatin system in slope instability zonation, part 1: (theory), ITC, Publication No. 15(1993).
20. Wu. S, L. Shi, R. Wang, C. Tan, D. Hu, R. Mei, R. xu., "Zonation of the landside hazards in the fororeservior region of the three gorges project on the Yangtze River", engineering Geology, 59, (2001) 51-58.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1382.1.1.2.3]