

## مقایسه مدل‌های مختلف برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش

### در حوزه آبخیز زنگوان ایلام

- ❖ حاجی کریمی؛ دانشیار دانشکده کشاورزی دانشگاه ایلام
- ❖ فتح‌الله نادری\*؛ کارشناس ارشد ژئومورفولوژی و مدرس دانشگاه پیام نور ایلام
- ❖ بهروز ناصری؛ عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی، واحد ایلام
- ❖ علی سلاجقه؛ استاد دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

#### چکیده

شناسایی مناطق مستعد زمین‌لغزش از طریق پهنه‌بندی خطر با مدل‌های مختلف یکی از اقدامات اساسی در جهت کاهش خسارت احتمالی و مدیریت خطر است. هدف اصلی از این تحقیق مقایسه و ارزیابی چهار روش - ارزش اطلاعاتی، تراکم سطح، تحلیل سلسله‌مراتبی سیستم‌ها، و روش پیشنهادی گوپتا و جوشی - برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوزه آبخیز زنگوان در استان ایلام است. نخست کلیه عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش استخراج گردید. سپس، با کنترل این عوامل در منطقه، عوامل نه‌گانه شیب، جهت، ارتفاع از سطح دریا، بارندگی، فاصله از جاده، فاصله از گسل، فاصله از شبکه آبراهه، کاربری اراضی، و سنگ‌شناسی عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش‌های منطقه شناخته شدند. پس از تهیه این عوامل در محیط GIS، با استفاده از تفسیر عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای، موقعیت دقیق زمین‌لغزش‌ها تعیین شد. سپس، پهنه‌بندی با چهار روش مذکور انجام گرفت. نهایتاً، به منظور بررسی و انتخاب مناسب‌ترین مدل برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش از شاخص زمین‌لغزش استفاده شد. بر اساس این شاخص، در روش ارزش اطلاعاتی بیش از ۵۲ درصد زمین‌لغزش‌ها در طبقه با خطر خیلی بالا اتفاق افتاده است. بنابراین، این روش، به لحاظ داشتن انطباق بیشتر زمین‌لغزش‌ها با پهنه خطر بالا و همچنین توانایی در تفکیک طبقه‌های خطر، کارایی بهتری نسبت به سایر روش‌ها دارد و مناسب‌ترین مدل برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوزه زنگوان معرفی می‌شود.

واژگان کلیدی: ایلام، پهنه‌بندی، شاخص زمین‌لغزش، زنگوان، مدل، GIS.

## مقدمه

زمین لغزش پدیده‌ای است که وقوع آن به عوامل زمین محیطی مختلفی بستگی دارد. زمین لغزش در زمینه جانی و مالی و منابع طبیعی سالانه خسارات فراوانی در پی داشته است. نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش این امکان را فراهم می‌سازد که مناطق حساس به زمین لغزش شناسایی شوند و درباره برنامه‌های مورد نظر تصمیم‌گیری شود [۱]. در سال‌های اخیر مطالعات گسترده‌ای درباره زمین لغزش‌ها صورت گرفته است. سازمان یونسکو دهه ۱۹۹۰ را دهه مقابله با بلایای طبیعی معرفی کرد. به مناسبت این دهه، مراکز مختلف تحقیقاتی و دانشگاهی فعالیت‌هایی را در زمینه شناخت لغزش‌ها، به عنوان یکی از بلایای طبیعی، به انجام رساندند. سرزمین ایران با توپوگرافی نسبتاً کوهستانی، فعالیت زمین‌ساختی و لرزه‌خیزی زیاد، و شرایط متنوع زمین‌شناسی و اقلیمی عمده شرایط طبیعی را برای ایجاد طیف وسیعی از زمین لغزش‌ها فراهم کرده است [۱۱]. تاکنون تحقیقات متعددی در داخل و خارج از کشور در زمینه پهنه بندی خطر زمین لغزش انجام گرفته است؛ مهم‌ترین این مطالعات عبارت‌اند از: پهنه بندی پتانسیل خطر زمین لغزش در جنوب خلخال در استان اردبیل با استفاده از چهار روش مورا و وارسون، روش حائری، روش ارزش اطلاعاتی و اصلاح‌شده حائری [۱۳]؛ ارزیابی روش‌های پهنه بندی خطر زمین لغزش حوزه آبخیز دماوند [۱۴]؛ بررسی عوامل مؤثر بر وقوع زمین لغزش‌ها و پهنه بندی خطر زمین لغزش در حوزه آبخیز شیرین‌رود با چهار روش ارزش اطلاعاتی، تراکم سطح، شاخص همپوشانی، و روش تحلیل سلسله‌مراتبی سیستم‌ها (AHP) در محیط GIS [۷]؛ پهنه بندی خطر زمین لغزش در حوزه آبخیز لاکترشان در شهرستان تنکابن استان مازندران با استفاده از روش LNR [۱۵]؛ ارزیابی کارایی دو

روش ارزش اطلاعاتی و گوپتا و جوشی در پهنه بندی خطر زمین لغزش در حوزه آبخیز تلخاب ایلام [۱۰]؛ تجزیه و تحلیل پایداری شیب در استان سن متو درکالیفرنیا با استفاده از نقشه پراکنش زمین لغزش و پهنه بندی آن به طور کیفی [۲]؛ پهنه بندی حوزه آگلار در هیمالیا به روش وزن‌دهی بر اساس میزان رابطه متقابل بین زمین لغزش‌ها و با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی [۱۲]؛ تهیه نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش ناحیه میزوران در شمال هند با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و تلفیق و شیب و وزن سطح زمین لغزش [۸]؛ پهنه بندی خطر زمین لغزش با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی سیستم‌ها و روش آماری چندمتغیره در اسلوونی [۹]؛ تهیه نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش با استفاده از روش ارزش اطلاعاتی در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی برای منطقه لانگن در استان گانسو چین [۳]؛ و تهیه نقشه حساسیت زمین لغزش با سه روش تحلیل سلسله‌مراتبی سیستم‌ها (AHP)، فاکتور وزنی (Wf)، و شاخص آماری (Wi) در حوزه آردیس ترکیه [۱۷].

با توجه به این مقدمه، هدف اصلی از این تحقیق انتخاب روش مناسب برای پهنه بندی خطر زمین لغزش از میان چهار روش - ارزش اطلاعاتی، تراکم سطح، تحلیل سلسله‌مراتبی سیستم‌ها، و روش پیشنهادی گوپتا و جوشی - در حوزه آبخیز زنگوان ایلام جهت استفاده از مکان‌های امن برای توسعه زیستگاه‌های جدید یا سایر کاربری‌های انسانی نظیر جاده‌سازی و مسیر انتقال لوله‌های آب و گاز است. شناساندن عوامل مختلف در وقوع زمین لغزش‌ها به برنامه‌ریزان محلی در مناطق حساس به حرکات دامنه‌ای و همچنین شناسایی مناطق با خطر لغزشی بالا از دیگر اهداف این تحقیق است.

## روش‌شناسی تحقیق

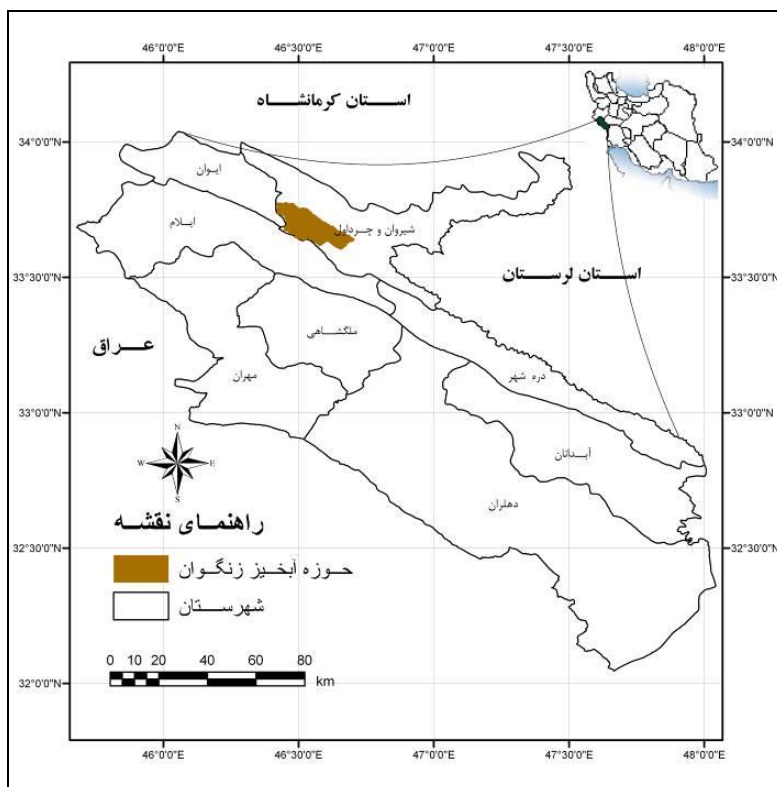
## ویژگی‌های منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز زنگوان در ۱۵ کیلومتری شمال شهر ایلام و در بخش لومار از توابع شهرستان شیروان و چرداول واقع شده است. این حوزه آبخیز در مختصات جغرافیایی ۵۲° ۲۵' تا ۴۶° ۴۳' ۲۱' طول شرقی و ۱۴° ۳۶' تا ۳۳° ۴۷' ۴۰' عرض شمالی قرار گرفته است و از شمال و شرق به دشت چرداول و رشته‌کوه قلاج و از غرب به حوزه آبخیز کنگیر ایوان و از جنوب به رشته‌کوه مانشت محدود می‌شود. شکل ۱ موقعیت حوزه آبخیز را نشان می‌دهد. مساحت کل حوزه آبخیز ۲۴۲۴۹ هکتار و حداکثر ارتفاع آن ۲۶۴۰ و حداقل ۹۸۰ متر است. از نظر اقلیمی، این حوزه آبخیز تحت تأثیر جریان‌ات غربی است. عمده فعالیت آن‌ها در فاصله آبان تا فروردین‌ماه است. فصل خشک کاملاً منطبق بر فصل

گرم است و طول این فصل در حدود ۴ ماه است. متوسط بارش سالانه آن ۵۶۸/۸ میلی‌متر و نوع اقلیم بر اساس طبقه‌بندی دمارتن مدیترانه‌ای و آمبرژه نیمه‌مرطوب معتدل است.

## پراکنش زمین‌لغزش‌ها

حوزه آبخیز زنگوان دارای پتانسیل بالای زمین‌لغزش است و زمین‌لغزش‌های زیادی در آن به وقوع پیوسته است. برای به نقشه درآوردن زمین‌لغزش به‌وقوع‌پیوسته در حوزه مورد مطالعه، عکس‌های هوایی منطقه به روش استریوسکوپی تفسیر شد و مناطق مشکوک به لغزش تعیین گردید. سپس، با بررسی‌های میدانی و استفاده از دستگاه GPS با دقت بسیار زیاد موقعیت دقیق زمین‌لغزش‌ها شناسایی شد و، در نهایت، ۲۶ زمین‌لغزش در منطقه ثبت گردید (شکل ۲).



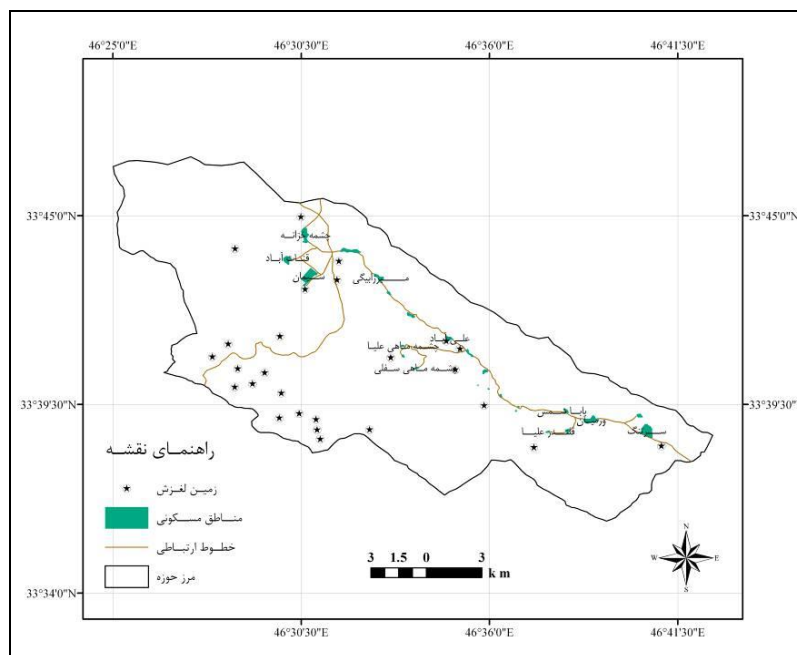
شکل ۱. موقعیت حوزه آبخیز زنگوان در کشور، استان، و شهرستان

با توجه به نتایج به دست آمده از پرسشنامه هایی که معاونت آبخیزداری استان ایلام تهیه کرده بودند و همچنین استفاده از تجربیات افراد بومی منطقه، نه عامل شیب، جهت، ارتفاع، سنگ شناسی، کاربری اراضی، بارندگی، فاصله از جاده، فاصله از گسل، و فاصله از شبکه آبراهه عوامل مؤثر اولیه تشخیص داده شدند.

پس از تهیه عوامل نه گانه مؤثر در وقوع زمین لغزش های حوزه آبخیز مورد مطالعه، هر یک از این عوامل به طبقاتی تقسیم شد، مثلاً بعضی از این لایه ها مثل زمین شناسی، ارتفاع، و جهت دامنه ها به پنج طبقه تقسیم شد و بعضی از لایه های دیگر به چهار یا سه طبقه. جدول ۱ هر یک از این طبقات را با یک عدد نشان می دهد.

جدول ۱. جدول اطلاعاتی طبقات مورد استفاده برای عوامل مؤثر در زمین لغزش حوزه آبخیز زنگوان

عامل طبقه	زمین شناسی	شیب (درصد)	فاصله از جاده (متر)	کاربری اراضی	بارش (میلی متر)	فاصله از گسل (متر)	ارتفاع (متر)	جهت دامنه	فاصله از رودخانه (متر)
۱	آبرفت های کوآترنری	۸ - ۰	۵۰۰ - ۰	اراضی دیم	۴۶۰ - ۴۸۰	۵۰۰ - ۰	۹۸۰ - ۱۲۲۰	جنوب و جنوب شرق	۵۰۰ - ۲۵۰
۲	گچساران	۱۲ - ۸	۷۵۰ - ۵۰۰	اراضی جنگلی	۴۸۰ - ۵۰۰	۵۰۰ - ۷۵۰	۱۲۲۰ - ۱۴۶۰	شمال	۷۵۰ - ۵۰۰
۳	گورپی	۱۲ - ۱۸	۷۵۰ <	اراضی آبی	۵۰۰ - ۵۲۰	۷۵۰ <	۱۴۶۰ - ۱۷۳۰	شمال شرق	۷۵۰ - ۱۰۰۰
۴	آسماری	۱۸ <	-	اراضی مرتعی	۵۲۰ - ۵۴۰	-	۱۷۳۰ - ۲۰۸۰	غرب	-
۵	پابده	-	-	-	-	-	۲۰۸۰ - ۲۶۴۰	بدون جهت	-



شکل ۲. نقشه پراکنش زمین لغزش ها در حوزه آبخیز زنگوان

محیط GIS تهیه می‌شود؛ در بحث نتایج به آن پرداخته خواهد شد.

### ۳. روش تحلیل سلسله مراتبی سیستم‌ها<sup>۳</sup> (AHP)

این روش را اولین بار ساعتی<sup>۴</sup> ارائه کرد؛ روشی که بر پایه مقایسه زوجی عوامل مختلف استوار است. به طور کلی، روند این روش به این صورت است که نخست به منظور تعیین ارجحیت عوامل مختلف و تبدیل آن‌ها به مقادیر کمی از قضاوت‌های شفاهی (نظر کارشناسی) استفاده می‌شود (جدول ۲). نتیجه این مقایسه‌ها به صورت یک ماتریس درمی‌آید.

جدول ۲. نحوه قضاوت شفاهی در روش تحلیل سلسله‌مراتبی

مقدار عدد	ترجیحات (قضاوت شفاهی)
۹	کاملاً مطلوب‌تر
۷	مطلوب خیلی قوی
۵	مطلوب قوی
۳	کمی مطلوب‌تر
۱	کمی مهم‌تر
۲، ۴، ۶، ۸	ترجیحات بین فواصل

در این روش محدوده اعداد کمی در ماتریس بین ۱ تا ۹ است. پس از تشکیل ماتریس مورد نظر، برای تک تک عوامل جمع هر ستون در زیر آن نوشته می‌شود (جدول ۶). سپس، برای محاسبه وزن هر عامل، مقادیر هر عنصر از ماتریس به جمع کل ستون‌های همان لایه تقسیم و در جدول دیگری نوشته می‌شود (جدول ۷). در این جدول از اعداد موجود در هر کدام از سطرها میانگین گرفته می‌شود و این عدد به عنوان وزن هر لایه (مثلاً امتیاز ۰/۲۹

## روش‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش

### ۱. روش ارزش اطلاعاتی<sup>۱</sup> (WINF)

در روش ارزش اطلاعاتی وزن هر طبقه از عوامل مؤثر از رابطه ۱ به دست می‌آید [۶]:  
(رابطه ۱)

$$WINF = \ln \left( \frac{\frac{A}{B}}{\frac{C}{D}} \right)$$

که در آن WINF وزن مربوط به هر طبقه از عامل  $i$  ام،  $A$  تعداد زمین‌لغزش در هر طبقه از عامل  $B$ ، مساحت هر طبقه به کیلومتر مربع،  $C$  تعداد کل زمین‌لغزش‌های حوزه، و  $D$  مساحت کل حوزه به کیلومتر مربع است.

پس از تعیین وزن مربوط به هر طبقه از عوامل مؤثر و اعمال آن‌ها بر روی نقشه‌های عوامل نام‌برده، با روی هم اندازی و جمع کردن ارزش پیکسل‌های عوامل مختلف نقشه پهنه‌بندی به روش ارزش اطلاعاتی در محیط GIS تهیه می‌شود [۱].

### ۲. روش تراکم سطح<sup>۲</sup> (Wa)

در این روش وزن مربوط به هر یک از طبقه‌های عوامل مختلف از رابطه ۲ به دست می‌آید [۶].  
(رابطه ۲)

$$Wa = 1000 \left( \frac{A}{B} \right) - 1000 \left( \frac{C}{D} \right)$$

$Wa$  وزن مربوط به هر طبقه از عوامل،  $A$  تعداد زمین‌لغزش در هر طبقه،  $B$  مساحت هر طبقه به کیلومتر مربع،  $C$  تعداد کل زمین‌لغزش‌های حوزه، و  $D$  مساحت کل حوزه به کیلومتر مربع است.

در این روش نیز بعد از تهیه وزن‌های مربوط به طبقه‌های عوامل مختلف، نقشه پهنه‌بندی با جمع بستن ارزش پیکسل‌های عوامل مختلف و طبقه‌بندی آن در

3. Analytical Hierarchy Process

4. Satty

1. Information value

2. Valuing Area accumulation

(a)، می‌توان مقادیر امتیازهای مربوط به عوامل در نظر گرفته شده را در ضریب وزنی به دست آمده (X) ضرب کرد و آن‌ها را بر اساس رابطه ۳ با هم جمع کرد و میزان ناسازگاری (M) را محاسبه نمود.

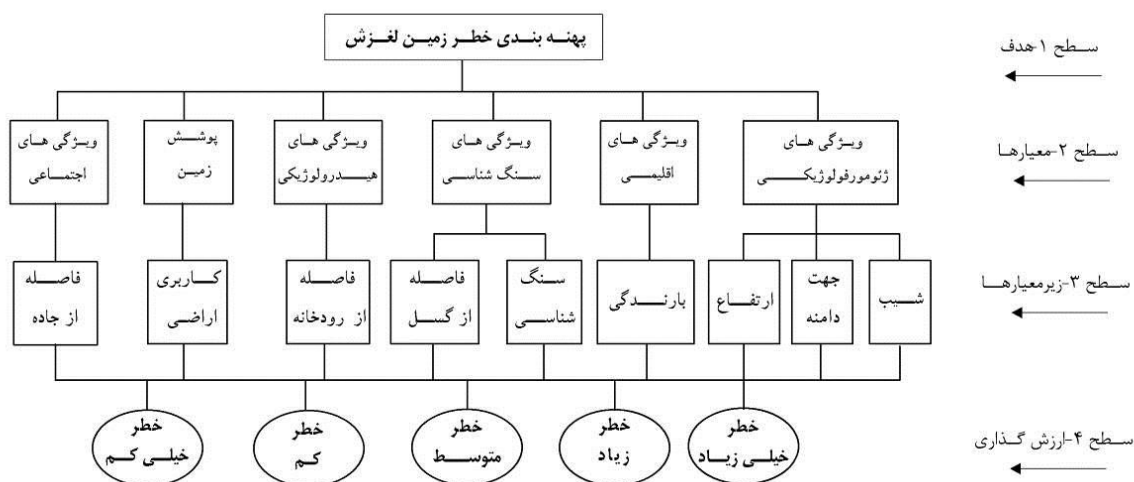
$$M = a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + a_4x_4 + \dots \quad (\text{رابطه ۳})$$

که در آن M عامل ناسازگاری، X وزن معیارها، و a مقادیر وزنی هر یک از طبقات لایه‌های مختلف است. پس از تعیین میزان ناسازگاری، نقشه نهایی پهنه‌بندی خطر زمین لغزش بر اساس آن تهیه شد (جدول ۳).

برای لایه جاده در نظر گرفته می‌شود. پس از اینکه وزن هر یک از لایه‌ها به دست آمد، وزن هر یک از طبقات (مثلاً در لایه جاده وزن سه طبقه آن یعنی طبقه ۰ - ۵۰۰ دارای وزن ۱۰۰ و طبقه ۵۰۰ - ۷۵۰ دارای وزن ۴۶ و ...) مشخص گردید (جدول ۹). برای اجرای این عمل نقشه پراکنش زمین لغزش‌ها را بر روی لایه‌های مختلف می‌اندازند و درصد سطح لغزش یافته در هر طبقه محاسبه می‌شود. با در نظر گرفتن امتیاز ۱۰۰ برای طبقه ای که بیشترین درصد سطح لغزش یافته را داراست، برای سایر طبقه‌ها متناسب با آن ارزش‌های متفاوتی داده می‌شود [۴]. بعد از امتیازدهی به کلاس‌های عوامل مختلف

جدول ۳. محاسبه مقادیر ناسازگاری کلاس‌های عوامل مختلف در روش تحلیل سلسله‌مراتبی

عامل کلاس	جاده	زمین شناسی	شیب دامنه	رودخانه	کاربری اراضی	گسل	بارندگی	جهت دامنه	ارتفاع
۱	۲۹	۹٫۹	۳٫۴۵	۱۸	۱۱٫۴	۹	۰٫۷۲	۰٫۴	۵٫۵۸
۲	۱۳٫۳۴	۵٫۵	۴٫۶	۹	۱۵	۲٫۲۵	۲٫۵۲	۵٫۲۸	۷٫۸۳
۳	۳٫۴۸	۲۲	۱۱٫۵	۶٫۳	۰	۰٫۹	۵٫۴	۸	۴٫۵
۴	-	۲٫۲	۲۳	-	۳٫۴۵	-	۱۲	۰٫۶۴	۹
۵	-	۴٫۴	-	-	-	-	-	۳٫۳۶	۲٫۲۵



شکل ۳. شکل شبکه درختی روش تحلیل سلسله‌مراتبی برای پهنه‌بندی خطر زمین لغزش

جدول ۴. وزن مربوط به مقدار LNRF

LNRF >2 Weight=2	LNRF <2 Weight=1	LNRF <1 Weight=0	مقدار LNRF وزن (weight)
---------------------	---------------------	---------------------	----------------------------

بعد از پیدا کردن وزن مربوط به هر عامل، با جمع کردن نقشه وزن‌های عوامل مختلف و طبقه‌بندی آن‌ها در سیستم اطلاعات جغرافیایی نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش به دست آمد.

### نتایج

پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش عبارت است از تقسیم‌بندی سطح زمین به مناطق مجزا و رتبه‌بندی این مناطق بر اساس پتانسیل خطر ناشی از بروز زمین‌لغزش است. در این تحقیق از چهار روش - ارزش اطلاعاتی، تراکم سطح، تحلیل سلسله‌مراتبی سیستم‌ها، و روش پیشنهادی گوپتا و جوشی - استفاده شده است.

#### ۱. پهنه‌بندی به روش ارزش اطلاعاتی

(WINF)

نتایج مربوط به وزن طبقه‌های عوامل مختلف از رابطه ۱ در جدول ۵ آورده شده است.

در روش تحلیل سلسله‌مراتبی پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در چهار سطح صورت گرفت: سطح اول، هدف کلی از پهنه‌بندی؛ در سطح دوم معیارها قرار دارند که در اینجا شامل شش معیار است: ژئومورفولوژیکی، اقلیم، سنگ‌شناسی، هیدرولوژی، پوشش زمین، و خصوصیات اجتماعی. در مرحله بعد، عوامل مؤثر در زمین‌لغزش به عناصر جزئی‌تر شیب، جهت، ارتفاع، سنگ‌شناسی، کاربری اراضی، بارندگی، فاصله از جاده، فاصله از گسل، و فاصله از شبکه هیدروگرافی تقسیم شد. و، در نهایت، عناصر سطوح مختلف بر اساس میزان برتری ارزش‌گذاری شد و پهنه‌های خطر شامل پنج پهنه - خطر بسیار کم، کم، متوسط، زیاد، و خیلی زیاد - حاصل گردید (شکل ۳).

#### ۴. روش پیشنهادی گوپتا و جوشی<sup>۱</sup> (LNRF)

در این روش برای به دست آوردن وزن هر طبقه از عوامل مختلف از رابطه ۴ استفاده می‌شود [۵].  
(رابطه ۴)

میانگین زمین‌لغزش در کل حوزه = تعداد زمین‌لغزش در هر طبقه LNRF =

که با توجه به رابطه ۴ برای هر یک از طبقات عوامل مختلف وزن آن‌ها به دست می‌آید (جدول ۴).

جدول ۵. وزن طبقات عوامل وقوع زمین‌لغزش حوزه آبخیز زنگوان به روش ارزش اطلاعاتی

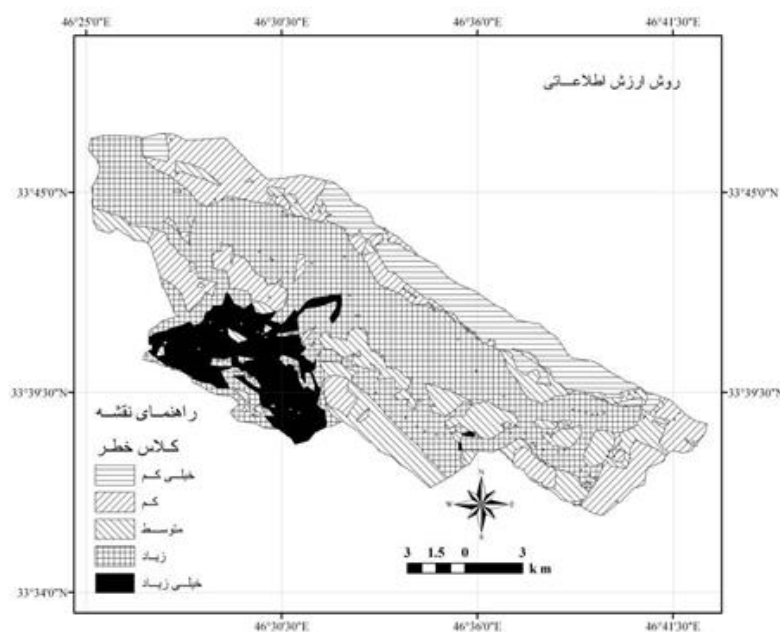
عامل طبقه	زمین‌شناسی	شیب (درصد)	فاصله از جاده (متر)	کاربری اراضی	بارش (میلی‌متر)	فاصله از گسل (متر)	ارتفاع (متر)	جهت دامنه	فاصله از رودخانه (متر)
۱	۰٫۹۹	۰٫۲۱	۱٫۳۱	۱٫۱۶	۰٫۴۲	۱٫۳۱	۱٫۲۰	۰٫۱۱	۲٫۳۱
۲	۰٫۹۴	۰٫۵۴	۱٫۰۲	۰	۰٫۶۵	۱٫۰۳	۱٫۱۸	۲٫۰۷	۱٫۲۱
۳	۴٫۲۶	۱٫۳۰	۰٫۷۳	۰٫۸۹	۱٫۱۴	۰٫۱۳	۰٫۷۳	۴	۰٫۶۹
۴	۰٫۵۶	۱٫۵۱	-	۰٫۴۷	۲٫۱۹	-	۲٫۶۵	۰٫۰۹	-
۵	۲٫۴۵	-	-	-	-	-	۰٫۲۱	۰٫۰۱	-

این روش از رابطه ۲ به دست آمد؛ جدول ۶ نتایج آن را نشان می‌دهد. سپس، بر اساس وزن‌های به دست آمده، لایه‌های اطلاعاتی با هم در محیط GIS تلفیق شد و نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش به روش ارزش اطلاعاتی به دست آمد (شکل ۴). این نقشه از پنج طبقه خطر - خیلی کم، کم، متوسط، زیاد، و خیلی زیاد - تشکیل شده است؛ طبقه خطر متوسط با مساحتی حدود ۷۴۱۹ هکتار بیشترین سطح و طبقه خطر زیاد با مساحتی حدود ۱۶۲۳ هکتار کمترین سطح را به خود اختصاص داده‌اند (جدول ۱۲).

سپس، بر اساس وزن‌های به دست آمده از جدول ۵ لایه‌های اطلاعاتی با هم در محیط GIS تلفیق شد و نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش به روش ارزش اطلاعاتی به دست آمد (شکل ۴). این نقشه از پنج طبقه خطر - خیلی کم، کم، متوسط، زیاد، و خیلی زیاد - تشکیل شده است؛ طبقه خطر متوسط با مساحتی حدود ۷۴۱۹ هکتار بیشترین سطح و طبقه خطر زیاد با مساحتی حدود ۱۶۲۳ هکتار کمترین سطح را به خود اختصاص داده‌اند (جدول ۱۲).

## ۲. پهنه‌بندی خطر زمین لغزش به روش تراکم سطح

وزن مربوط به هر یک از طبقه‌های عوامل مختلف در

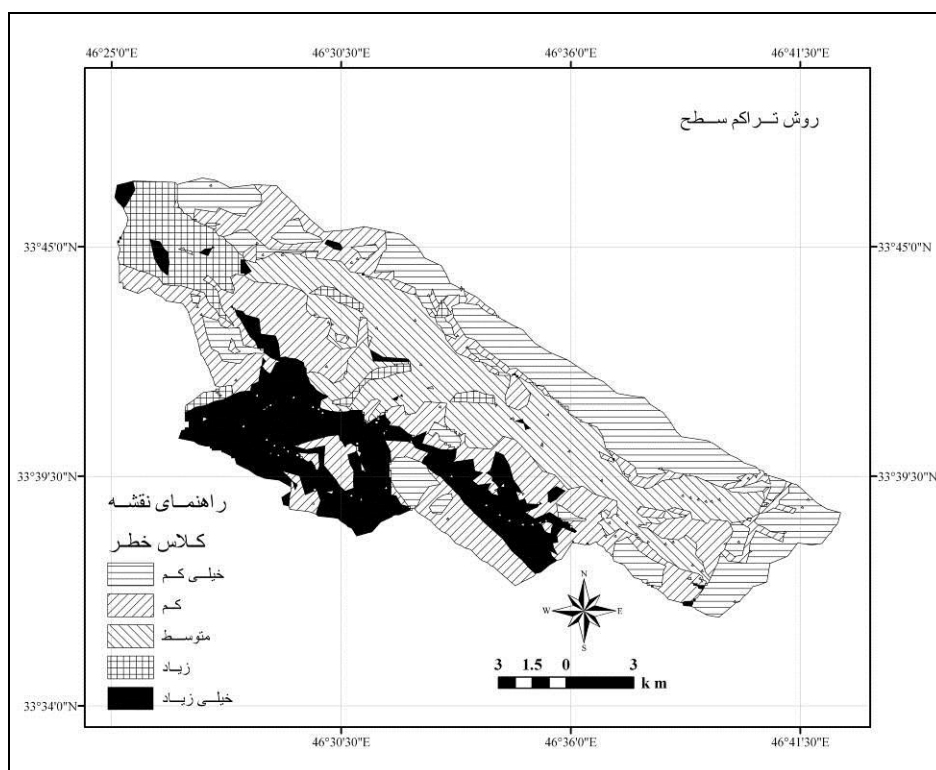


شکل ۴. نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش به روش ارزش اطلاعاتی

جدول ۶. وزن طبقات عوامل وقوع زمین لغزش حوزه آبخیز زنگوان به روش تراکم سطح (Wa)

عامل	زمین‌شناسی	شیب (درصد)	فاصله از جاده (متر)	کاربری اراضی	بارش (میلی‌متر)	فاصله از گسل (متر)	ارتفاع از سطح دریا	جهت رودخانه	فاصله از رودخانه (متر)
۱	۵۵	۲۵	۲۵	۱۸٫۷	۱۲	۶۴٫۲	۲۳	۸۵	۱۴٫۲
۲	۴۳٫۴	۴۳٫۴	۱۵٫۲	۱۲	۲۰٫۱	۳۵٫۸	۲۱	۴۲	۹٫۴
۳	۱۲	۲۵	-۱٫۱۱	۴	۳۳	۲۶٫۸	۱۴	۱۱	-۳٫۱
۴	۳۲٫۵	۹٫۵	-	۴۱٫۳	۴۶	-	۱۹	۱۲	-
۵	۷٫۱۲	-	-	-	-	-	۴٫۱	-۵٫۳	-





شکل ۵. نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش به روش تراکم سطح

### ۳. پهنه‌بندی به روش تحلیل سلسله‌مراتبی

#### سیستم‌ها

در مرحله اول نتایج حاصل از مقایسات زوجی بین هر جفت از عوامل آورده شد (جدول ۷). در مرحله

دوم اعداد موجود در هر ستون بر عدد مجموع آن ستون تقسیم شد. سپس، از اعداد موجود در هر یک از ردیف‌ها میانگین گرفته شد و این عدد به عنوان وزن نهایی هر عامل در نظر گرفته شد (جدول ۸).

جدول ۷. مقایسه زوجی عوامل در روش تحلیل سلسله‌مراتبی سیستم‌ها (مرحله اول)

عوامل	عامل	جاده	زمین‌شناسی	شیب دامنه	رودخانه	کاربری اراضی	بارندگی	ارتفاع	جهت دامنه	گسل
جاده	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸		
زمین‌شناسی	۰٫۵	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	
شیب دامنه	۰٫۳۳	۰٫۵	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	
رودخانه	۰٫۲۵	۰٫۳۳	۰٫۵	۱	۲	۳	۴	۵	۶	
کاربری اراضی	۰٫۲	۰٫۲۵	۰٫۳۳	۰٫۵	۱	۲	۳	۴	۵	
بارندگی	۰٫۲	۰٫۲	۰٫۲۵	۰٫۳۳	۰٫۵	۱	۲	۳	۴	
ارتفاع	۰٫۱۶	۰٫۱۶	۰٫۲	۰٫۲۵	۰٫۳۳	۰٫۵	۱	۲	۳	
جهت دامنه	۰٫۱۴	۰٫۱۴	۰٫۱۶	۰٫۲	۰٫۲۵	۰٫۳۳	۰٫۵	۱	۲	
گسل	۰٫۱۲۵	۰٫۱۲۵	۰٫۱۴	۰٫۱۶	۰٫۲	۰٫۲۵	۰٫۳۳	۰٫۵	۱	
مجموع	۲٫۹	۴٫۷۰	۷٫۵۸	۱۱٫۴۴	۱۶٫۲۸	۲۱٫۰۸	۲۷٫۸۳	۳۵٫۵	۴۴	

جدول ۸. محاسبه وزن عوامل در روش تحلیل سلسله‌مراتبی سیستم‌ها (مرحله دوم)

عامل	عامل	جاده	زمین‌شناسی	شیب دامنه	رودخانه	کاربری اراضی	بارندگی	ارتفاع	جهت دامنه	گسل	متوسط سطر
	جاده	۰٫۳۴	۰٫۴۳	۰٫۴۰	۰٫۳۵	۰٫۳۱	۰٫۲۴	۰٫۲۱	۰٫۱۹	۰٫۱۸	۰٫۲۹
	زمین‌شناسی	۰٫۱۷	۰٫۲۱	۰٫۲۶	۰٫۲۶	۰٫۲۵	۰٫۲۴	۰٫۲۲	۰٫۱۹	۰٫۱۸	۰٫۲۲
	شیب دامنه	۰٫۱۱	۰٫۱۱	۰٫۱۳	۰٫۱۷	۰٫۱۸	۰٫۱۹	۰٫۸۳	۰٫۱۶	۰٫۱۶	۰٫۲۳
	رودخانه	۰٫۰۹	۰٫۰۷	۰٫۰۷	۰٫۰۹	۰٫۱۲	۰٫۱۴	۰٫۸۰	۰٫۱۴	۰٫۱۴	۰٫۱۸
	کاربری اراضی	۰٫۰۷	۰٫۰۵	۰٫۰۴	۰٫۰۴	۰٫۰۶	۰٫۰۹	۰٫۷۵	۰٫۱۱	۰٫۱۱	۰٫۱۵
	بارندگی	۰٫۰۷	۰٫۰۴	۰٫۰۳	۰٫۰۳	۰٫۰۳	۰٫۰۵	۰٫۶۷	۰٫۰۸	۰٫۰۹	۰٫۱۲
	ارتفاع	۰٫۰۶	۰٫۰۳	۰٫۰۳	۰٫۰۲	۰٫۰۲	۰٫۰۲	۰٫۵۰	۰٫۰۵	۰٫۰۷	۰٫۰۹
	جهت دامنه	۰٫۰۵	۰٫۰۳	۰٫۰۲	۰٫۰۲	۰٫۰۲	۰٫۰۲	۰٫۵۰	۰٫۰۲	۰٫۰۵	۰٫۰۸
	گسل	۰٫۰۴	۰٫۰۳	۰٫۰۲	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۶۶	۰٫۰۱	۰٫۰۳	۰٫۰۹

جدول ۹. وزن طبقه‌های عوامل زمین‌لغزش حوزه زنگوان به روش تحلیل سلسله‌مراتبی

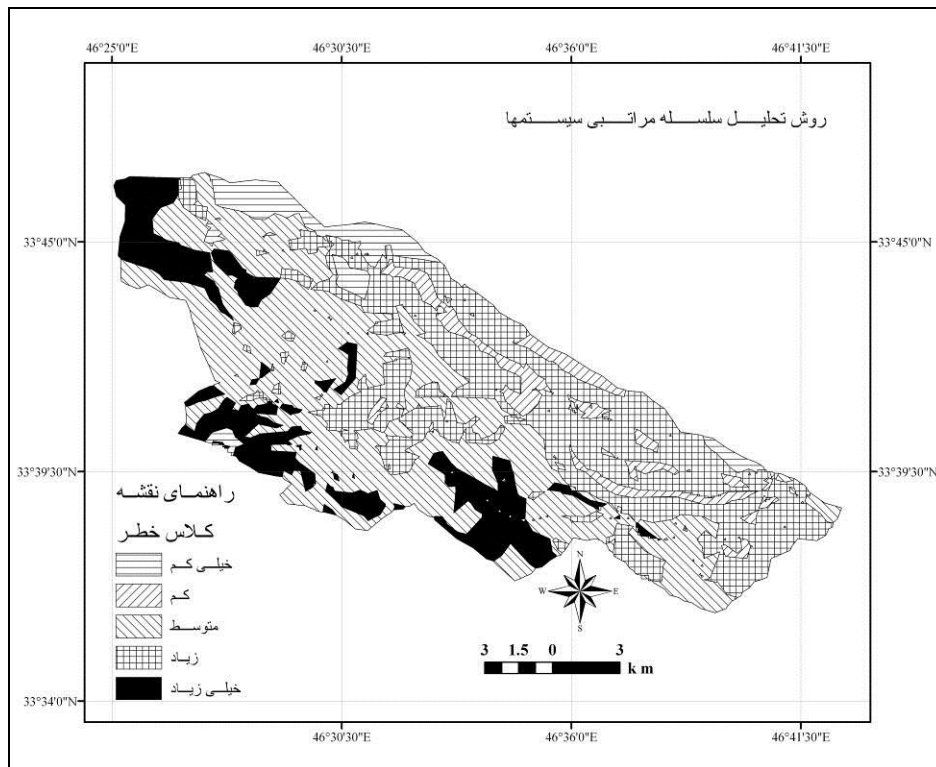
معیارهای ارزیابی و رتبه‌بندی										
کلاس	عامل	جاده	زمین‌شناسی	شیب دامنه	رودخانه	کاربری اراضی	گسل	بارندگی	جهت	ارتفاع
									دامنه	
۱	۱۰۰	۴۵	۱۵	۱۰۰	۷۶	۱۰۰	۶	۵	۶۲	
۲	۴۶	۲۵	۳۰	۵۰	۱۰۰	۲۵	۳۱	۶۶	۸۷	
۳	۱۲	۱۰۰	۵۰	۳۵	۰	۱۰	۴۵	۱۰۰	۵۰	
۴	-	۱۰	۱۰۰	-	۲۳	-	-	۸	۱۰۰	
۵	-	۲۰	-	-	-	-	-	۴۲	۲۵	

وزن معیارهای نه‌گانه جاده، شیب، زمین‌شناسی، رودخانه، کاربری زمین، بارندگی، ارتفاع، گسل، و جهت دامنه به ترتیب ۰٫۲۹، ۰٫۲۳، ۰٫۲۲، ۰٫۱۸، ۰٫۱۵، ۰٫۱۲، ۰٫۰۹، ۰٫۰۸ و ۰٫۰۸ است. در مرحله بعد، لایه‌های اطلاعاتی نه‌گانه با نقشه پراکنش زمین‌لغزش حوزه آبخیز زنگوان روی هم انداخته شد و بر اساس مساحت هر یک از واحدها و درصد آن‌ها نسبت به مساحت کل معیار مورد نظر وزن‌های معیارها به دست آمد (جدول ۹). در این جدول چون ۸۰ درصد از زمین لغزش‌های حوزه در فاصله ۰-۵۰۰ متری از جاده اتفاق افتاده، این طبقه دارای بالاترین درصد وقوع زمین لغزش است. اثرگذاری این رده را در اشل ۰ تا ۱۰۰ عدد ۱۰۰ در نظر گرفتیم. چون در طبقات ۵۰۰-۷۵۰ و ۷۵۰-۱۰۰ به بالا به ترتیب ۳۶/۸ و ۶/۶ درصد

زمین لغزش اتفاق افتاده است، مقدار اثرگذاری آن‌ها به ترتیب ۴۶ و ۱۲ خواهد بود. پس از تعیین وزن طبقات، لایه‌های نه‌گانه بر اساس رابطه ۵ با هم در محیط GIS تلفیق شد و نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش به روش تحلیل سلسله‌مراتبی به دست آمد (شکل ۶). (رابطه ۵)

$$Final = 0.29 \times \text{زمین‌شناسی} + 0.15 \times \text{کاربری اراضی} + 0.29 \times \text{جاده}$$

این نقشه از پنج طبقه خطر- خیلی کم، کم، متوسط، زیاد، و خیلی زیاد- تشکیل شده است؛ طبقه خطر متوسط با مساحتی حدود ۶۷۴۲ هکتار بیشترین سطح و طبقه خطر زیاد با مساحتی حدود ۱۲۲۳ هکتار کمترین سطح را به خود اختصاص داده‌اند (جدول ۱۲).



شکل ۶. نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش به روش تحلیل سلسله‌مراتبی سیستم‌ها

و جوشی به دست آمد (شکل ۷). این نقشه از پنج طبقه خطر - خیلی کم، کم، متوسط، زیاد، و خیلی زیاد- تشکیل شده است؛ طبقه خطر زیاد با مساحتی حدود ۶۵۰۴ هکتار بیشترین سطح و طبقه خطر خیلی کم با مساحتی حدود ۱۲۱۲ هکتار کمترین سطح را به خود اختصاص داده‌اند (جدول ۱۲).

#### ۴. پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش به روش گوپتا و جوشی (LNRF)

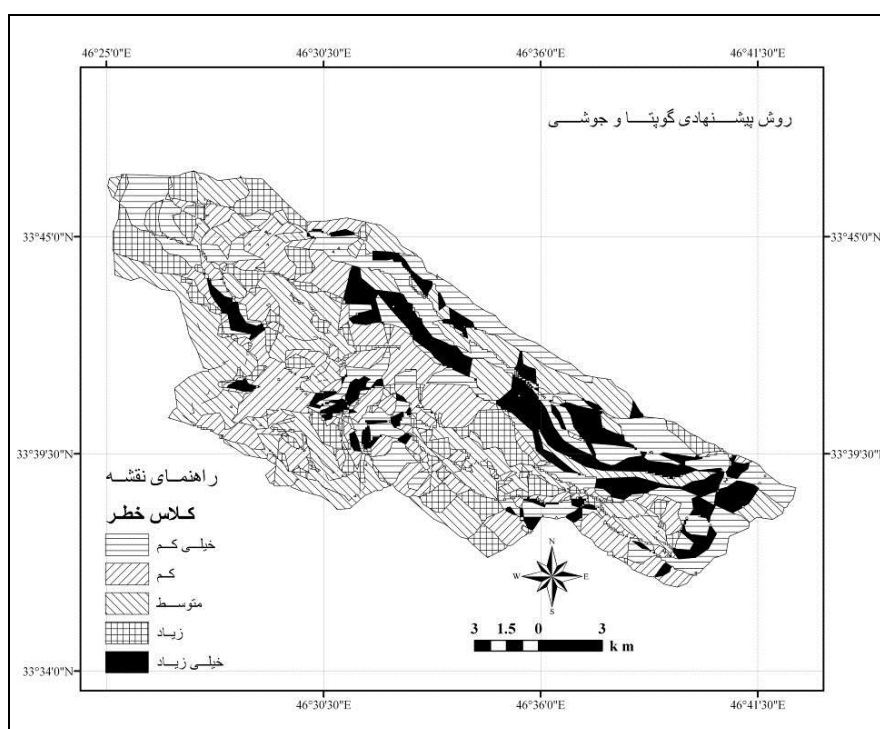
وزن هر یک از عوامل مختلف بر اساس رابطه ۴ و جدول ۳ محاسبه شد؛ جداول ۱۰ و ۱۱ نتایج این محاسبات را نشان می‌دهد. در مرحله بعد، لایه‌های اطلاعاتی بر اساس وزن‌های به‌دست‌آمده با هم تلفیق شد و نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش به روش گوپتا

جدول ۱۰. وزن عوامل مختلف در روش گوپتا و جوشی در حوزه آبخیز زنگوان

عامل	زمین‌شناسی	شیب (درصد)	فاصله از جاده (متر)	کاربری اراضی	بارش (میلی‌متر)	فاصله از گسل (متر)	ارتفاع (متر)	جهت دامنه	فاصله از رودخانه (متر)
۱	۰٫۷۶	۱٫۰۷	۲٫۸۱	۲	۰٫۲۱	۲٫۲۳	۰٫۹۶	۰٫۱۹	۱٫۸۱
۲	۰٫۹۶	۰٫۶۱	۱٫۴۶	۰	۰٫۷۶	۱٫۴۶	۱٫۳	۱٫۵۳	۰٫۵۸
۳	۱٫۷۳	۰٫۳۰	۰٫۷۴	۱٫۵۳	۰٫۵۲	۰٫۲۳	۰٫۷۶	۲٫۳۰	۰٫۲۱
۴	۰٫۷۶	۲	-	۰٫۴۶	۱٫۴۶	-	۱٫۵	۰٫۱۹	-
۵	۰٫۷۶	-	-	-	-	-	۰٫۳۸	۰٫۷۶	-

جدول ۱۱. وزن طبقات عوامل مختلف در روش گوپتا و جوشی در حوزه آبخیز زنگوان

عامل / طبقه	زمین‌شناسی	شیب (درصد)	فاصله از جاده (متر)	کاربری اراضی	بارش (میلی‌متر)	فاصله از گسل (متر)	ارتفاع (متر)	جهت دامنه	فاصله از رودخانه (متر)
۱	۰	۱	۲	۲	۰	۲	۰	۰	۱
۲	۰	۰	۱	۰	۰	۱	۱	۱	۰
۳	۱	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۲	۱
۴	۰	۲	-	-	۲	-	۱	۰	-
۵	۰	-	-	-	-	-	۰	۰	-



شکل ۷. نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش به روش گوپتا و جوشی

(رابطه ۶)

## ارزیابی روش‌های پهنه‌بندی خطر

## زمین‌لغزش

به منظور ارزیابی روش‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوزه آبخیز زنگوان از شاخص زمین‌لغزش<sup>۱</sup> استفاده شد. شاخص زمین‌لغزش عبارت است از درصد نسبت سطح لغزش در هر پهنه به مساحت آن پهنه تقسیم بر نسبت مجموع لغزش به سطح کل پهنه‌ها. شاخص زمین‌لغزش به صورت رابطه ۶ تعریف می‌شود [۱۶].

$$Li = ((Si/Ai) / (\sum^n (Si/Ai))) \times 100$$

در این رابطه Li عبارت است از شاخص خطر وقوع لغزش در هر پهنه خطر به درصد، Si مساحت لغزش در هر پهنه خطر، Ai مساحت هر پهنه خطر، و n تعداد رده‌ها. بر اساس جدول ۱۲، مقدار Li در روش ارزش اطلاعاتی در رده خطر خیلی بالا ۵۲/۴۸ درصد را نشان می‌دهد که بیانگر کارایی بالای این روش در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در منطقه مورد مطالعه است.

1. Landslide index

جدول ۱۲. مقایسه اطلاعات حاصل از تقاطع هر یک از نقشه‌های روش‌های پهنه‌بندی با نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌ها

شاخص	روش پهنه‌بندی خطر لغزش	رده‌های خطر	مساحت لغزش در هر پهنه خطر به هکتار	مساحت هر پهنه خطر به هکتار	تراکم لغزش در هر رده	تراکم لغزش در کل نقشه	$\sum_{i=1}^n (Si/Ai)$	زمین‌لغزش (Li) در هر رده بر حسب درصد
ارزش اطلاعاتی (WINF)	خیلی کم	۴۲۱	۶۳۰۱	۰/۰۷				۳/۷۸
	کم	۳۶۱	۲۵۱۱	۰/۱۴				۸/۱۲
	متوسط	۵۲۶	۷۴۱۹	۰/۰۷	۰/۳۵	۱/۷۷		۴/۲۳
	زیاد	۹۰۰	۱۶۲۳	۰/۵۵				۳۱/۳۳
	خیلی زیاد	۱۸۴۰	۱۹۸۱	۰/۹۳				۵۲/۴۸
تراکم سطح (Wa)	خیلی کم	۶۹۰	۱۷۸۵	۰/۳۹				۲۵/۲۵
	کم	۶۷۲	۴۵۶۲	۰/۱۵				۹/۶۳
	متوسط	۷۵۰	۷۲۳۹	۰/۱۰	۰/۳۱	۱/۵۳		۶/۷۷
	زیاد	۱۸۸۶	۵۱۳۵	۰/۳۷				۲۴/۰۱
	خیلی زیاد	۶۰	۱۱۴	۰/۵۳				۳۴/۴۰
تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP)	خیلی کم	۹۲۷	۵۸۸۸	۰/۱۶				۱۲/۲۱
	کم	۷۲۳	۳۵۸۱	۰/۲۰				۱۵/۶۵
	متوسط	۷۵۶	۶۷۴۲	۰/۱۱	۰/۲۶	۱/۲۹		۸/۶۹
	زیاد	۹۲۰	۲۴۰۱	۰/۳۸				۲۹/۷۰
	خیلی زیاد	۵۳۲	۱۲۲۳	۰/۴۳				۳۳/۷۲
گوپتا و جوشی (LNRF)	خیلی کم	۷۲۲	۲۵۰۲	۰/۲۹				۲۶/۱۱
	کم	۳۱۲	۴۵۱۱	۰/۰۷				۶/۲۳
	متوسط	۵۰۴	۵۱۰۶	۰/۱۰	۰/۲۲	۱/۱۱		۸/۸۹
	زیاد	۲۱۳۱	۶۵۰۴	۰/۳۳				۲۹/۵۲
	خیلی زیاد	۳۸۹	۱۲۱۲	۰/۳۲				۲۸/۹۲

## بحث و نتیجه‌گیری

در هر چهار روش پهنه‌بندی مناطق با خطر بسیار بالا عمدتاً در گوشه جنوب غربی حوزه و در دامنه شمالی رشته‌کوه مانش قرار دارند، و با توجه به این نتایج، می‌توان بیان کرد که کارایی هر چهار مدل در مجموع یکسان است، اما برای دستیابی به نتایج دقیق‌تر و به‌کارگیری مدل‌ها با دقت بیشتر از شاخص

زمین‌لغزش (Li) استفاده شد. بر اساس این شاخص، روش ارزش اطلاعاتی دارای بالاترین کارایی و روش پیشنهادی گوپتا و جوشی دارای کمترین کارایی از بین مدل‌های مورد بررسی بود. مقدار شاخص زمین‌لغزش (Li) در روش ارزش اطلاعاتی ۵۲/۵ درصد است؛ یعنی حدود ۵۲/۵ درصد زمین‌لغزش‌ها در رده خطر خیلی بالا اتفاق افتاده‌اند.

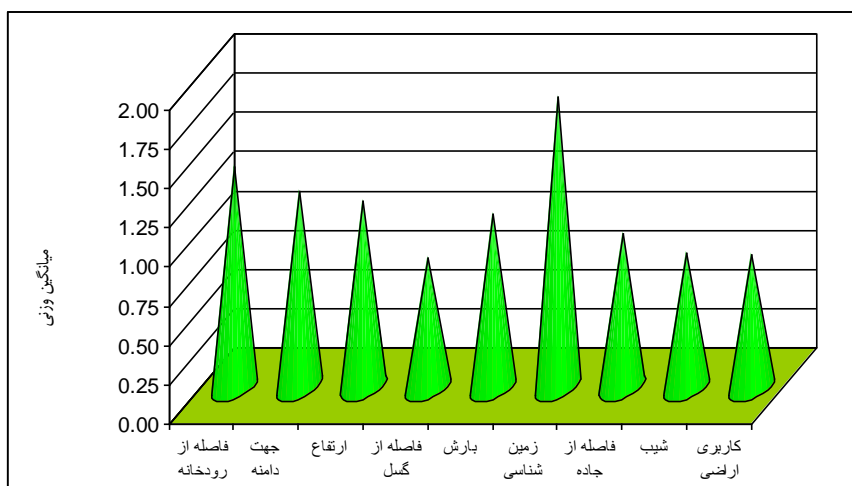


شکل ۸. نمونه‌ای از یک توده لغزشی در سازند گچساران (جنوب سراب کلان)

وقوع زمین لغزش داشته است. عامل جهت دامنه‌ها هم، به دلیل آنکه بیش از ۴۵ درصد زمین لغزش‌ها در دامنه‌های رو به شرق اتفاق افتاده است، با میانگین وزنی ۱/۲۵ در رده سوم قرار گرفت. عامل ارتفاع هم در ایجاد زمین لغزش‌های حوزه آبخیز مورد مطالعه تأثیرگذار بود. ارتفاع باعث افزایش میزان بارش می‌شود و، در نتیجه، هر نقطه که از خاک مناسب برخوردار باشد باعث بروز زمین لغزش می‌شود. این عامل با میانگین وزنی ۱/۱۹ در رده چهارم قرار گرفت. میزان بارش سالانه حوزه ۵۶۸/۸ میلی‌متر است که باعث مرطوب‌نمودن دامنه‌ها و نفوذ آب می‌شود و به زمین لغزش منجر می‌شود. بنابراین، این عامل با میانگین وزنی ۱/۱ در رده پنجم قرار گرفت. سایر عوامل مؤثر در وقوع زمین لغزش به ترتیب جاده با میانگین وزنی ۰/۹۸، شیب با میانگین وزنی ۰/۸۶، کاربری اراضی با میانگین وزنی ۰/۸۴ و گسل با میانگین وزنی ۰/۸۲ در رده‌های بعدی قرار گرفتند (شکل ۹).

این مقدار در روش‌های تحلیل سلسله‌مراتبی، تراکم سطح، و گوپتا و جوشی به ترتیب ۳۴/۴، ۳۳/۷ و ۲۸/۹ درصد است. نتایج این تحقیق با نتایج تحقیق برخی محققان [۳، ۱۳، ۱۴]، که روش ارزش اطلاعاتی را مناسب‌ترین روش برای پهنه‌بندی زمین لغزش تعیین می‌کردند، همخوانی دارد. همان‌طور که قبلاً بیان شد، در اجرای این تحقیق از نه عامل شیب، جهت، ارتفاع از سطح دریا، بارندگی، فاصله از جاده، فاصله از گسل، فاصله از شبکه آبراهه، کاربری اراضی، و سنگ‌شناسی استفاده شد. پس از تجزیه و تحلیل آماری و پردازش این نقشه‌ها توسط سیستم اطلاعات جغرافیایی بر اساس روش ارزش اطلاعاتی - که مناسب‌ترین مدل برای پهنه‌بندی خطر زمین لغزش تشخیص داده شد - مشخص شد که عامل زمین‌شناسی با میانگین وزنی ۱/۸۵ بیشترین تأثیر را در وقوع زمین لغزش‌های منطقه مورد مطالعه داشته است (شکل ۸). بعد از عامل زمین‌شناسی، عامل رودخانه با میانگین وزنی ۱/۴۰ به سبب آثار تخریبی و عمل زیر راندگی<sup>۱</sup> نقش مهمی در

1. Undercut



شکل ۹. میانگین وزنی عوامل نه‌گانه مؤثر در وقوع زمین‌لغزش در روش ارزش اطلاعاتی

### سپاسگزاری

در پایان مراتب سپاس و قدردانی خود را از معاونت محترم آبخیزداری اداره کل منابع طبیعی استان ایلام، به سبب فراهم آوردن امکان این تحقیق، اعلام می‌داریم.

نخست چنین به نظر می‌رسید که عامل شیب تأثیر بیشتری در زمین‌لغزش داشته باشد، اما چون اراضی شیب‌دار منطقه بیشتر صخره‌ای است، تأثیر آن در وقوع زمین‌لغزش چندان زیاد نیست. عامل شیب در صورتی که با عوامل دیگری همراه باشد می‌تواند در وقوع و تشدید پدیده زمین‌لغزش مؤثر باشد.

## References

- [1] Ahmadi, H., Mohammadkhan, Sh., Feiznia, S. and Ghoddousi, J. (2005). A modeling of mass movement hazard, case study: Taleghan drainage catchment. *Journal of the Iranian Natural Rec.*, 58, 1: 3-14.
- [2] Brabb, E., Pampegan, E.H. and Bonilla, M.G. (1972). landslide susceptibility in Sanmateo County, California, U.S Geological Survey Miscellaneous field studies map Mf-360.
- [3] Fanyu liu, Z. (2007). Study on Landslide Susceptibility Mapping Based GIS and with Bivariate Statistics- a Case Study in Longnan Area Highway 212, Science paper online.
- [4] Faraji Sabokbal, H. (2005). Location of trade servicing units using AHP. *Journal of the Geography Rec.*, 51, 32-37.
- [5] Gupta, R.P. and Joshi, B.C. (1990). Landslide hazard zoning using the GIS approach- A case study from the Ramganga catchment, Himalayas, *Engineering Geology*, 28(1): 119-131.
- [6] Haqshenas, A. (1995). Landslide hazard mapping and associated with sediment yield in Taleghan watershed. Ms. Thesis. Tarbeyat Modares University, 187 pp.
- [7] Kolarostaqi, A. (2002). Study effective factors in occurrence landslides and mapping landslide hazard in the Shirin rood watershed, Ms. Thesis. Tehran University, 141 pp.
- [8] Khullar, V.K., Sharam, R.P. and Paramanik, K. (2000). A GIS approach in the landslide zone of Lawngthlia in southern Mizoran. *Landslide, proceeding of the 8th international symposium on landslides*, 3, 1461-1472.
- [9] Komac, M. (2006). A landslide susceptibility model using the Analytical Hierarchy Process method and multivariate statistics in per alpine Slovenia. *Geomorphology*, 24, 17-28.
- [10] Naderi, F. and Karimi, H. (2011). Efficiency assessment of two Information Value and Gupta-Joshi methods in landslide hazard mapping in the Talkhab watershed of Ilam. *Pajouhesh & Sazandagi*, 92.
- [11] Nikandish, N. (1997). Theory for landslide movement in Iran. *Jehade Keshavarzi Journal*, 155, 84-95.
- [12] Pachauri, A.k. and PANT, M. (1992). Landslide Hazard Mapping based on Geological attributes, *Eng, Geological*, 32, 81-100.
- [13] Sayarpoor, M. (1992). Landslide hazard potential mapping in south Ghalghal, Ardabil province. Ms. Thesis. Tehran University, 173 pp.
- [14] Sefidgari, R. (2002). Efficiency methods Landslide hazard mapping in Damavand watershed. Ms. Thesis. Tehran University, 159 pp.
- [15] Shadfar, S., Norozi, A.A., Ghoddousi, J. and Ghauomeyan, J. (2005). Landslide hazard mapping in Lakertashan watershed. *Journal of the Water & Soil conservation*, 1, 1-10.
- [16] Van Westen, C.J and Soeters, R. (1998). Workshop on GIS in Landslide Hazard Mapping, the Kakani Area (Nepal): Theory. Version 1, ITC, 14 p.
- [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, 1-12.