

هیدروژئومورفولوژی، شماره ۱۳، زمستان ۱۳۹۶، صص ۲۰-۱

وصول مقاله: ۱۳۹۴/۰۳/۱۶ تأیید نهایی مقاله: ۱۳۹۵/۰۳/۰۴

## پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی و GIS (مطالعه‌ی موردی: حوضه‌ی آبریز سردول چای، استان اردبیل)

توحید رحیم پور<sup>۱\*</sup>

شهرام روستایی<sup>۲</sup>

مهسا نخستین روحی<sup>۳</sup>

### چکیده

در این مقاله سعی بر آن است تا مناطق مستعد از لحاظ وقوع زمین‌لغزش در حوضه‌ی آبریز سردول چای واقع در استان اردبیل از طریق پهنه‌بندی مشخص گردد. برای نیل به این هدف، لایه‌های اطلاعاتی مربوط به ۸ فاکتور مؤثر در وقوع زمین‌لغزش شامل زمین‌شناسی، کاربری اراضی، شیب، جهت شیب، فاصله از گسل، فاصله از آبراهه، بارش و ارتفاع با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS تهیه شد. سپس با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) و نرم‌افزار Expert Choice وزن‌دهی به عوامل صورت گرفت. در نهایت، با تلفیق این لایه‌ها با توجه به وزن‌شان، در محیط GIS نقشه‌ی پهنه‌بندی به دست آمد. نتایج نهایی به دست آمده از تحقیق حاضر نشان داد که وزن معیارهای هشت‌گانه مذکور به ترتیب ۰/۳۴۳، ۰/۱۲۶، ۰/۲۱۵، ۰/۰۳۲، ۰/۰۷۱، ۰/۱۵۱، ۰/۰۴۲ و ۰/۰۲۱ است که عامل زمین‌شناسی بیشترین وزن را داشته است. هم‌چنین نقشه‌ی پهنه‌بندی نشان داد که نواحی شرقی، جنوب شرقی و جنوب غربی حوضه به دلیل وجود سازندهای رسوبی،

۱- دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران  
E-mail:rahimpour1990@gmail.com

۲- استاد گروه ژئومورفولوژی، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

۳- کارشناسی ارشد سنجش از دور و GIS، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز

پادگانه‌های قدیمی و انواع ترکیباتی از مارن، آهک و شیل، کاربری مراتع ضعیف و جهت شیب شمالی و غربی بیشترین حساسیت را برای وقوع زمین‌لغزش دارا هستند. کلمات کلیدی: حرکات توده‌ای، مدل AHP، Expert Choice، حوضه‌ی آبریز سردول چای.

### مقدمه

حوضه‌ی آبریز سردول چای یکی از مهم‌ترین حوضه‌های آبریز شهرستان خلخال می‌باشد که به دلیل قرارگیری روستاهای زیاد در این حوضه، پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش و تعیین مناطق مستعد وقوع این پدیده جهت اعمال روش‌های آبخیزداری مناسب و روش‌های محافظت شیب‌های مستعد زمین‌لغزش در این حوضه امری بسیار مهم و ضروری می‌باشد. بنابراین هدف از انجام این تحقیق، شناسایی مناطق مستعد زمین‌لغزش و تعیین عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش‌ها در حوضه‌ی آبریز سردول چای با استفاده از فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و سیستم اطلاعات جغرافیایی است.

بررسی مبانی نظری و پیشینه موضوع تحقیق نشان می‌دهد که در مورد پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش پژوهش‌های فراوانی انجام گرفته است. اما این مطالعات از نظر روش‌شناسی و فرآیند انجام کار با هم متفاوت بوده‌اند که به چند مورد آن‌ها اشاره می‌گردد. روستایی و علیزاده (۱۳۹۱)، در تحقیقی به پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه صوفی چای (مراغه) با استفاده از روش آنبلاگان پرداختند. نتایج تحقیق ایشان نشان داد که عمده‌ترین زمین‌لغزش‌ها در آبرفت‌های کواترنری و محل تلاقی آندزیت و مواد رسی، لاهارهای پامیسی و رسوبات تخریبی به وقوع پیوسته است. روستایی و احمدزاده (۱۳۹۱)، به پهنه‌بندی مناطق متأثر از خطر زمین‌لغزش در جاده تبریز- مرند با استفاده از سنجش از دور و GIS پرداختند.

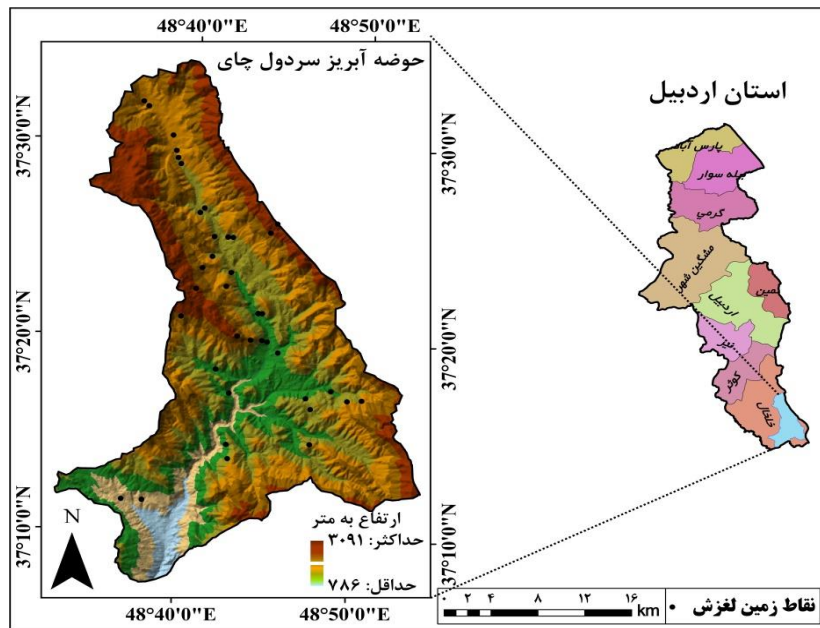
نتایج این تحقیق نشان داد که ساختار خاص زمین‌شناختی، شرایط اقلیم محلی و نیز تراکم نهشته‌های کواترنری در هر دو طرف جاده در کنار عامل گرادیان شیب، از عوامل اصلی بروز زمین‌لغزش است که ساخت‌وسازهای انسانی آن را تشدید می‌کند. حاتمی فرد و همکاران (۱۳۹۱)، پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش را با استفاده از مدل AHP و تکنیک GIS برای شهرستان خرم‌آباد انجام دادند. نتایج تحقیق نشان داد که در بین عوامل مؤثر، زیرمعیارهای فاصله از جاده، فاصله از آبراهه و تراکم آبراهه به ترتیب با اوزان  $0/2043$ ،  $0/1717$  و  $0/1545$  به‌عنوان مهم‌ترین عوامل در ایجاد زمین‌لغزش در منطقه‌ی مطالعاتی شناسایی شده‌اند. روستایی و همکاران (۱۳۹۴)، در تحقیقی به بررسی پتانسیل وقوع زمین‌لغزش در حوضه‌ی آبخیز رودخانه‌ی میمه در استان ایلام به روش تحلیل شبکه پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داد که فرایند تحلیل شبکه با نقشه‌ی پراکنش زمین‌لغزش‌ها،  $81/69$  درصد تناسب دارد. در این تحقیق معیارهای بارندگی، لیتولوژی و طبقات ارتفاعی به‌عنوان عوامل مهم در وقوع زمین‌لغزش‌های منطقه شناسایی شدند.

## مواد و روش‌ها

### معرفی منطقه‌ی مورد مطالعه

حوضه‌ی آبریز سردول چای با مساحت  $674$  کیلومتر مربع و محیط  $161$  کیلومتر در جنوب استان اردبیل، در شهرستان خلخال قرار دارد. از نظر موقعیت مکانی در محدوده‌ی مختصات  $32'$ ،  $48^\circ$  تا  $53'$ ،  $48^\circ$  طول شرقی و  $07'$ ،  $37^\circ$  تا  $34'$  عرض شمالی واقع شده است. این حوضه در تابستان‌ها دارای آب‌وهوای معتدل و در زمستان‌ها دارای آب‌وهوای سرد است. متوسط بارندگی سالانه در این حوضه حدود  $390$  میلی‌متر است. ارتفاع متوسط حوضه  $1938/5$  متر از سطح دریا می‌باشد. شکل (۱) موقعیت جغرافیایی منطقه‌ی مورد مطالعه در استان اردبیل و

همچنین زمین لغزش‌های رخ داده در منطقه را طی سال‌های (۹۳-۱۳۸۰) که از اداره‌ی کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان اردبیل تهیه شده است نشان می‌دهد.



شکل (۱) موقعیت جغرافیایی منطقه‌ی مورد مطالعه

### جمع‌آوری داده‌ها و اطلاعات

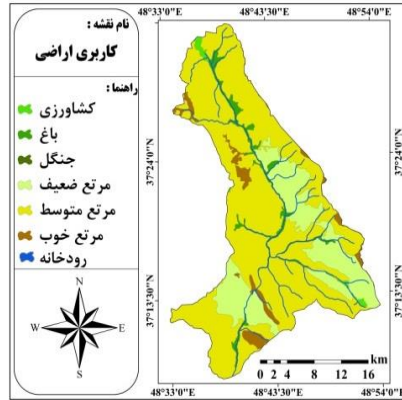
با توجه به هدف این مطالعه، که پهنه‌بندی خطر وقوع زمین لغزش برای حوضه‌ی آبریز سردول چای می‌باشد، برای تعیین مرز حوضه‌ی مورد مطالعه از تصاویر DEM با قدرت تفکیک مکانی ۹۰ متر استفاده شد. در این پژوهش پس از بررسی منابع و یافته‌های علمی مرتبط با موضوع تحقیق در خصوص عوامل مؤثر در پهنه‌بندی خطر وقوع زمین لغزش از ۸ متغیر شامل لایه‌های زمین‌شناسی، کاربری اراضی، شیب، جهت شیب، بارش، ارتفاع، فاصله از گسل و لایه فاصله از آبراهه در

محدوده‌ی مورد مطالعه استفاده شده است. از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ سنجنده OLI مربوط به سال ۲۰۱۴ جهت تهیه‌ی نقشه‌ی کاربری اراضی استفاده شده و هر یک از کاربری‌های حوضه بر روی نقشه در محیط GIS مشخص گردید. نقشه‌ی توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ منطقه‌ی مورد مطالعه را در محیط نرم‌افزار ArcGIS ژئورفرنس کرده و بعد از رقومی کردن نقشه، نقشه‌ی مدل رقومی ارتفاع (DEM<sup>۱</sup>) از روی آن تهیه گردید. نقشه‌های شیب، جهت شیب و شبکه‌ی آبراه‌های از روی DEM منطقه استخراج شد. جهت تهیه‌ی نقشه‌ی لیتولوژی و گسل‌های منطقه از نقشه‌ی زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ منطقه استفاده شد. جهت تهیه‌ی نقشه‌ی بارش منطقه از آمار بارندگی ایستگاه‌های باران‌سنجی طی دوره‌ی آماری ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۳ استفاده شد. به‌منظور تعمیم داده‌های نقطه‌ای ایستگاه‌ها به داده‌های پهنه‌ای با استفاده از روش درون‌یابی<sup>۲</sup> IDW، داده‌های مربوط به هر ایستگاه درون‌یابی شده و به نقشه تبدیل شده‌اند. نقشه‌ی پراکندگی زمین‌لغزش‌های حوضه نیز با ملاحظه عکس‌های هوایی با مقیاس ۱:۲۰۰۰۰ و داده‌های اداره‌ی کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان اردبیل و همچنین بررسی‌های میدانی شناسایی و با استفاده از دستگاه GPS موقعیت دقیق آن‌ها روی نقشه مشخص گردید. لایه‌های مورد استفاده در این تحقیق در شکل‌های (۹ تا ۲) آورده شده است.

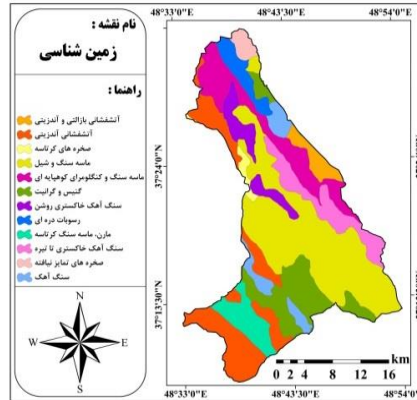
---

1- Digital Elevation Model

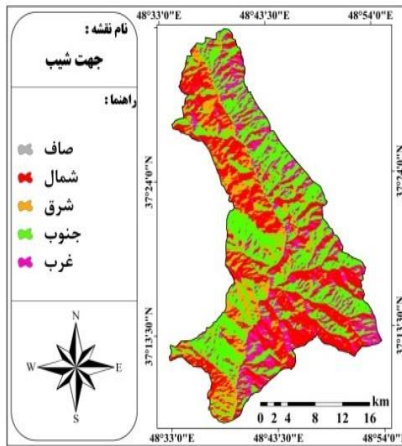
2- Inverse Distance Weighted



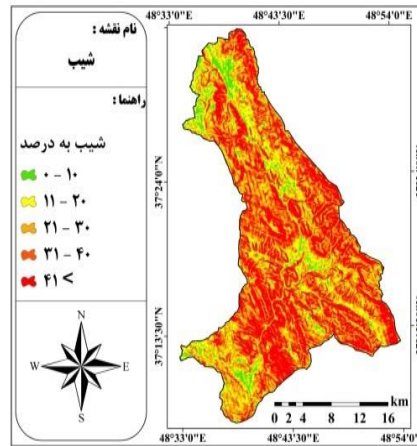
شکل (۲) نقشه‌ی کاربری اراضی



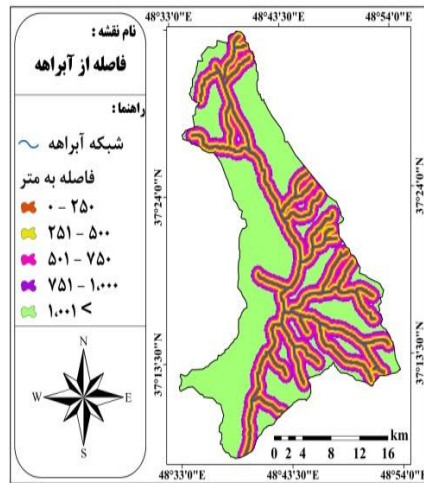
شکل (۳) نقشه‌ی زمین شناسی



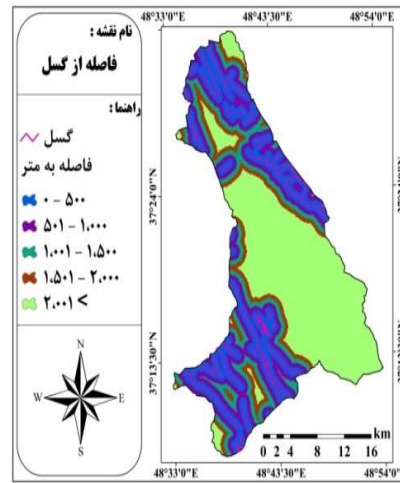
شکل (۴) نقشه‌ی جهت شیب



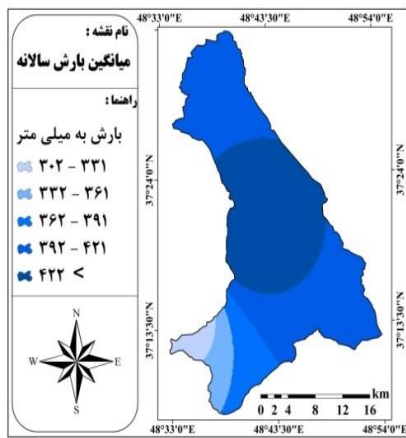
شکل (۵) نقشه‌ی شیب (درصد)



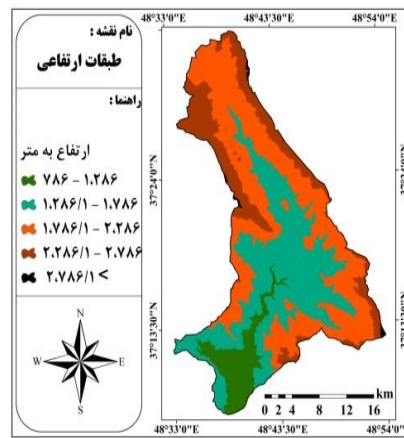
شکل (۶) نقشه‌ی فاصله از آبراهه (متر)



شکل (۷) نقشه‌ی فاصله از گسل (متر)



شکل (۸) نقشه‌ی میانگین بارش سالانه

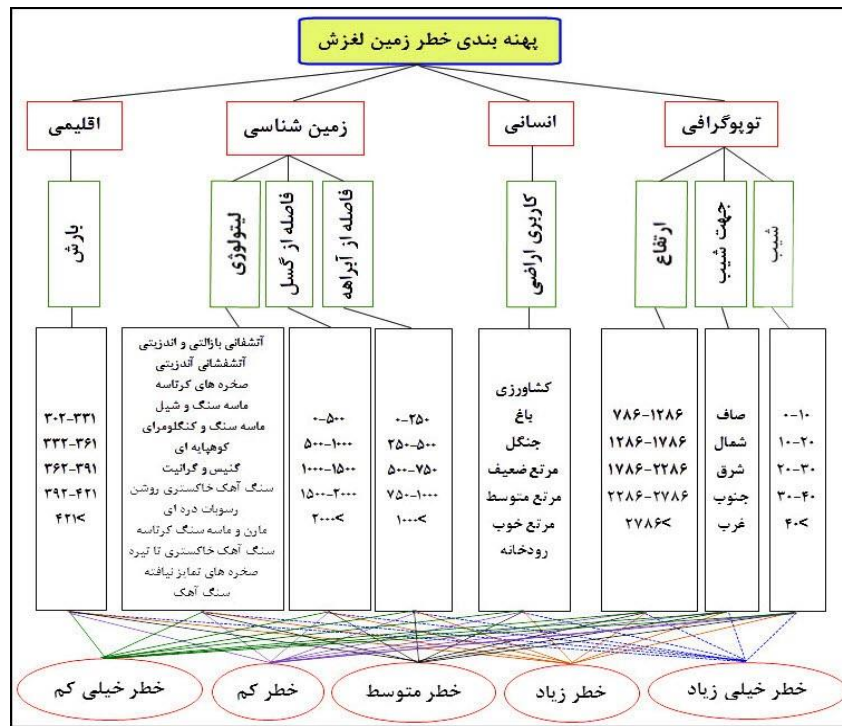


شکل (۹) نقشه‌ی طبقات ارتفاعی (متر)

### روش تحقیق

فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی با شناسایی و اولویت‌بندی عناصر تصمیم‌گیری شروع می‌شود. این عناصر شامل: هدف‌ها، معیارها یا مشخصه‌ها و گزینه‌های احتمالی

می‌شود که در اولویت‌بندی به کار گرفته می‌شوند. فرآیند شناسایی عناصر و ارتباط بین آن‌ها که منجر به ایجاد یک ساختار سلسله مراتبی می‌شود، ساختن سلسله مراتبی نامیده می‌شود. سلسله مراتبی بودن ساختار به این دلیل است که عناصر تصمیم‌گیری (گزینه‌ها و معیارهای تصمیم‌گیری) را می‌توان در سطوح مختلف خلاصه کرد (باون<sup>۱</sup>، ۱۹۹۳: ۳۳۳). بنابراین اولین قدم در فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، ایجاد یک ساختار سلسله مراتبی از موضوع مورد مطالعه می‌باشد که در آن اهداف، معیارها، گزینه‌ها و ارتباط بین آن‌ها نشان داده می‌شود (شکل ۱۰).



شکل (۱۰) ساختار سلسله مراتبی پهنه‌بندی خطر زمین لغزش

1- Bowen



مرحله‌ی بعدی تعیین ضریب اهمیت (وزن) معیارها و زیرمعیارها می‌باشد که برای این کار دو به دو آن‌ها را با هم مقایسه می‌کنیم. این مقایسه‌ها را می‌توان هم به صورت کیفی و هم به صورت کمی بر مبنای مقیاس ارائه شده توسط ساعتی در جدول (۱) انجام داد.

برای محاسبه ضریب اهمیت معیارها و زیرمعیارها، چهار روش عمده مطرح هستند: ۱- روش حداقل مربعات ۲- روش بردار ویژه ۳- روش حداقل مربعات لگاریتمی ۴- روش‌های تقریبی.

از روش‌های فوق، روش بردار ویژه بیشتر مورد استفاده قرار گرفته است. اگر ماتریس معیارها دارای ابعاد بزرگ‌تری باشد، محاسبه مقادیر و بردارهای ویژه طولانی و وقت‌گیر خواهد بود، مگر اینکه از نرم‌افزارهای کامپیوتری برای محاسبه آن کمک گرفته شود. به همین دلیل است که توماس ساعتی چهار روش تقریبی زیر را ارائه داده است: ۱- مجموع سطری، ۲- مجموع ستونی، ۳- میانگین حسابی و ۴- میانگین هندسی (ساعتی، ۱۹۹۰). در این تحقیق از روش میانگین هندسی به دلیل دقت بیشتر آن استفاده شده است.

جدول (۱) مقادیر ترجیحات و قضاوت کارشناسی برای مقایسه‌ی زوجی

مقدار عددی	ترجیحات (قضاوت شفاهی)
۹	کاملاً مهم‌تر یا کاملاً مطلوب‌تر (Extremely preferred)
۷	اهمیت خیلی قوی (Very strongly preferred)
۵	اهمیت یا مطلوبیت قوی (Strongly preferred)
۳	کمی مطلوب‌تر یا کمی مهم‌تر (Moderately preferred)
۱	اهمیت یا مطلوبیت یکسان (Equally preferred)
۸ - ۶ - ۴ - ۲	اولویت بین فواصل

آخرین مرحله در فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، بررسی سازگاری در قضاوت‌های انجام شده برای تعیین ضریب اهمیت معیارها و زیرمعیارها است. مکانیزی که ساعتی برای بررسی ناسازگاری در قضاوت‌ها در نظر گرفته است، محاسبه ضریبی به نام ضریب ناسازگاری (I.R) است که از تقسیم شاخص ناسازگاری (I.I) بر شاخص تصادفی بودن (R.I) حاصل می‌شود. چنانچه این ضریب کوچک‌تر یا مساوی ۰/۱ باشد، سازگاری در قضاوت‌ها مورد قبول است وگرنه باید در قضاوت‌ها تجدید نظر شود. به عبارت دیگر ماتریس مقایسه دودویی معیارها باید مجدداً تشکیل شود.

$$\text{رابطه‌ی (۱)} \quad I.I = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad \text{شاخص ناسازگاری}$$

شاخص تصادفی بودن با توجه به تعداد معیارها (n) از جدول (۲) قابل استخراج است:

جدول (۲) شاخص تصادفی بودن (R.I) (باون، ۱۹۹۳: ۳۴۶)

n	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵
R.I	۰	۰/۵۸	۰/۹	۱/۱۲	۱/۲۴	۱/۳۲	۱/۴۱	۱/۴۵	۱/۴۹	۱/۵۱	۱/۴۸	۱/۵۶	۱/۵۷	۱/۵۹

در روش میانگین هندسی که یک روش تقریبی است، به جای محاسبه‌ی مقدار ویژه‌ی ماکزیمم ( $\lambda_{\max}$ ) از رابطه‌ی (۲) استفاده می‌شود:

$$\text{رابطه‌ی (۲)} \quad L = \frac{1}{2} \left[ \sum_{i=1}^n (AW_i / W_i) \right]$$

در رابطه‌ی (۲)،  $AW_i$  برداری است که از ضرب ماتریس مقایسه دودویی معیارها در بردار  $W_i$  (بردار وزن یا ضریب اهمیت معیارها) به دست می‌آید. بررسی سازگاری قضاوت‌ها در ماتریس‌های مقایسه‌ی دودویی معیارها حاکی از آن است که سازگاری

در قضاوت‌ها رعایت شده است. مقایسه دودویی و وزن هریک از زیرمعیارها و معیارها در جداول ۳ تا ۱۱ آورده شده است.

جدول (۳) ماتریس دوجه‌دو، وزن زیرمعیارها و نسبت سازگاری لایه‌ی زمین‌شناسی

وزن نسبی	۱۱	۱۰	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	زیرمعیارها
												زمین‌شناسی
۰/۰۲۵											۱	(۱) آتشفشانی بازالتی و آندزیتی
۰/۰۲۵										۱	۱	(۲) آتشفشانی آندزیتی
۰/۰۲۹									۱	۱	۱	(۳) صخره‌های کرتاسه
۰/۰۳۸								۱	۲	۲	۲	(۴) گنیس و گرانیت
۰/۰۴۵							۱	۲	۲	۲	۲	(۵) صخره‌های تمایزنیافته
۰/۰۶۲						۱	۳	۲	۲	۳	۳	(۶) ماسه‌سنگ و شیل
۰/۰۶۸					۱	۲	۲	۲	۲	۳	۳	(۷) ماسه‌سنگ و کنگلومرا
۰/۱۱۰				۱	۳	۳	۳	۳	۳	۴	۴	(۸) مارن و ماسه‌سنگ
۰/۱۴۳			۱	۲	۳	۳	۳	۴	۴	۵	۵	(۹) سنگ‌آهک خاکستری
۰/۲۰۰		۱	۲	۳	۳	۴	۴	۵	۶	۷	۷	(۱۰) سنگ‌آهک
۰/۲۵۶	۱	۲	۲	۳	۴	۴	۶	۷	۷	۸	۸	(۱۱) رسوبات دره‌ای
												نرخ سازگاری: ۰/۰۳

جدول (۴) ماتریس دوجه‌دو، وزن زیرمعیارها و نسبت سازگاری لایه‌ی کاربری اراضی

وزن نسبی	۶	۵	۴	۳	۲	۱	زیرمعیارها	
							کاربری اراضی	
۰/۱۲۱						۱	(۱) رودخانه	
۰/۳۷۹					۱	۶	(۲) مرتع ضعیف	
۰/۲۲۰				۱	۱/۳	۴	(۳) مرتع متوسط	
۰/۱۳۳				۱	۱/۳	۳	(۴) مرتع خوب	
۰/۰۵۵			۱	۱/۲	۱/۳	۱/۵	۱/۴	(۵) کشاورزی
۰/۰۳۵	۱	۱/۲	۱/۲	۱/۳	۱/۴	۱/۶	۱/۶	(۷) جنگل
							نرخ سازگاری: ۰/۰۹	

جدول (۵) ماتریس دوجه دو، وزن زیرمعیارها و نسبت سازگاری لایه‌ی شیب

	وزن نسبی	۵	۴	۳	۲	۱	زیرمعیارها
							شیب
نرخ سازگاری: ۰/۰۷	۰/۰۹۲					۱	(۱) ۰ - ۱۰
	۰/۱۶۲				۱	۳	(۲) ۱۰ - ۲۰
	۰/۴۴۲			۱	۳	۴	(۳) ۲۰ - ۳۰
	۰/۲۵۵		۱	۱/۳	۳	۳	(۴) ۳۰ - ۴۰
	۰/۰۴۸	۱	۱/۴	۱/۶	۱/۴	۱/۳	(۵) ۴۰ <

جدول (۶) ماتریس دوجه دو، وزن زیرمعیارها و نسبت سازگاری لایه‌ی جهت شیب

	وزن نسبی	۵	۴	۳	۲	۱	زیرمعیارها
							جهت شیب
نرخ سازگاری: ۰/۰۸	۰/۰۳۷					۱	(۱) مسطح
	۰/۵۵۴				۱	۹	(۲) شمال
	۰/۰۶۲			۱	۱/۷	۲	(۳) شرق
	۰/۲۰۴		۱	۳	۱/۶	۵	(۴) غرب
	۰/۱۴۳	۱	۱/۳	۳	۱/۳	۵	(۵) جنوب

جدول (۷) ماتریس دوجه دو، وزن زیرمعیارها و نسبت سازگاری لایه‌ی فاصله از گسل

	وزن نسبی	۵	۴	۳	۲	۱	زیرمعیارها
							فاصله از گسل
نرخ سازگاری: ۰/۰۶	۰/۵۰۳					۱	(۱) ۰ - ۵۰۰
	۰/۲۳۸				۱	۱/۳	(۲) ۵۰۰ - ۱۰۰۰
	۰/۱۱۱			۱	۱/۳	۱/۵	(۳) ۱۰۰۰ - ۱۵۰۰
	۰/۰۷۵		۱	۱/۲	۱/۵	۱/۷	(۴) ۱۵۰۰ - ۲۰۰۰
	۰/۰۷۳	۱	۱/۲	۱/۲	۱/۲	۱/۵	(۵) ۲۰۰۰ <

جدول (۸) ماتریس دوجه‌دو، وزن زیرمعیارها و نسبت سازگاری لایه‌ی فاصله از آبراهه

		۵	۴	۳	۲	۱	زیرمعیارها
		فاصله از آبراهه					
نرخ سازگاری: ۰/۰۴	۰/۴۹۹					۱	(۱) ۰ - ۲۵۰
	۰/۲۶۹				۱	۱/۳	(۲) ۲۵۰ - ۵۰۰
	۰/۱۰۶			۱	۱/۳	۱/۵	(۳) ۵۰۰ - ۷۵۰
	۰/۰۷۵		۱	۱/۲	۱/۵	۱/۵	(۴) ۷۵۰ - ۱۰۰۰
	۰/۰۵۲	۱	۱/۲	۱/۲	۱/۵	۱/۷	(۵) ۱۰۰۰ <

جدول (۹) ماتریس دوجه‌دو، وزن زیرمعیارها و نسبت سازگاری لایه‌ی طبقات ارتفاعی

		۵	۴	۳	۲	۱	زیرمعیار
		ارتفاع					
نرخ سازگاری: ۰/۰۹	۰/۰۶۶					۱	(۱) ۷۸۶ - ۱۲۸۶
	۰/۱۶۶				۱	۵	(۲) ۱۲۸۶ - ۱۷۸۶
	۰/۴۶۶			۱	۴	۵	(۳) ۱۷۸۶ - ۲۲۸۶
	۰/۲۵۳		۱	۱/۳	۳	۴	(۴) ۲۲۸۶ - ۲۷۸۶
	۰/۰۴۹	۱	۱/۴	۱/۶	۱/۴	۱/۲	(۵) ۲۷۸۶ <

جدول (۱۰) ماتریس دوجه‌دو، وزن زیرمعیارها و نسبت سازگاری لایه‌ی بارش

		۵	۴	۳	۲	۱	زیرمعیارها
		بارش					
نرخ سازگاری: ۰/۰۴	۰/۰۳۷					۱	(۱) ۳۰۲ - ۳۳۱
	۰/۰۷۰				۱	۳	(۲) ۳۳۲ - ۳۶۱
	۰/۱۳۱			۱	۳	۴	(۳) ۳۶۲ - ۳۹۱
	۰/۲۸۱		۱	۳	۴	۷	(۴) ۳۹۲ - ۴۲۱
	۰/۴۸۰	۱	۲	۵	۷	۸	(۵) ۴۲۱ <

جدول (۱۱) ماتریس دوجه دو، وزن معیارها و نسبت سازگاری

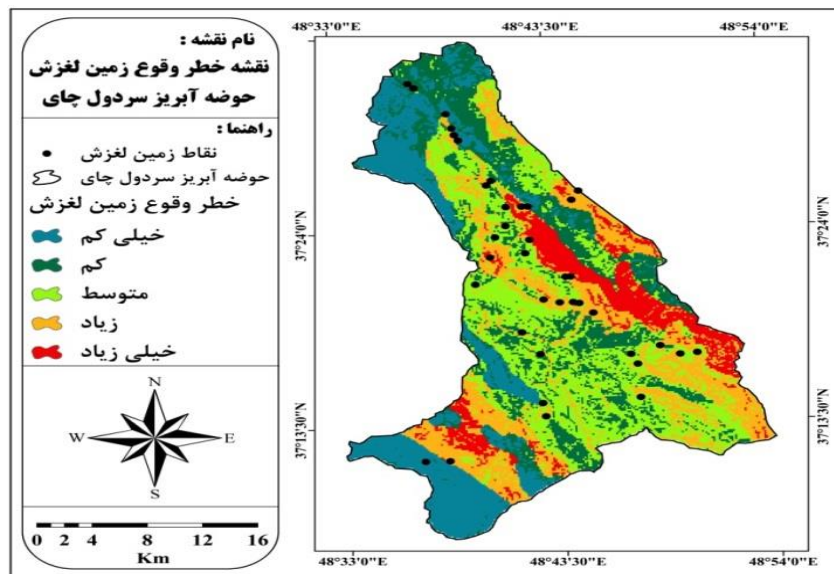
معیارها	زمین شناسی	شیب	فاصله از رودخانه	کاربری اراضی	فاصله از گسل	بارش	جهت شیب	ارتفاع	وزن نهایی
زمین شناسی	۱	۳	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۰/۳۴۳
شیب	۱/۳	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۰/۲۱۵
فاصله از رودخانه	۱/۳	۱/۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۰/۱۵۱
کاربری اراضی	۱/۴	۱/۳	۱/۲	۱	۳	۵	۶	۷	۰/۱۲۶
فاصله از گسل	۱/۵	۱/۴	۱/۳	۱/۳	۱	۳	۳	۵	۰/۰۷۱
بارش	۱/۶	۱/۵	۱/۴	۱/۵	۱/۳	۱	۲	۳	۰/۰۴۲
جهت شیب	۱/۷	۱/۶	۱/۵	۱/۶	۱/۳	۱/۲	۱	۳	۰/۰۳۲
ارتفاع	۱/۸	۱/۷	۱/۶	۱/۷	۱/۵	۱/۳	۱/۳	۱	۰/۰۲۱

نرخ سازگاری: ۰/۰۶

### بحث و نتایج

در این تحقیق پهنه بندی خطر زمین لغزش در حوضه ی آبریز سردول چای به منظور شناسایی مناطق دارای پتانسیل وقوع زمین لغزش مورد بررسی قرار گرفت. معیارهای اصلی مؤثر در وقوع زمین لغزش منطقه ی مورد نظر شامل لایه های زمین شناسی، کاربری اراضی، شیب، جهت شیب، بارش، ارتفاع، فاصله از گسل و لایه فاصله از آبراهه در محیط نرم افزار ArcGIS تهیه شدند. جهت مقایسه ی زوجی معیارها و محاسبه وزن نهایی از روش تحلیل سلسله مراتبی در نرم افزار Expert Choice استفاده شد. در نهایت از تلفیق نقشه های لایه های اطلاعاتی مؤثر بر وقوع زمین لغزش با دخالت دادن وزن های نهایی محاسبه شده که به صورت مجموع حاصل ضرب هر یک از معیارها در وزن نهایی آنها با استفاده از دستور Raster

calculator در نرم‌افزار ArcGIS انجام یافته نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش برای منطقه‌ی مورد مطالعه تهیه گردید (شکل ۱۱).



شکل (۱۱) نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش حوضه‌ی سردول چای

بر اساس عوامل مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش در قالب لایه‌های اطلاعاتی، حوضه‌ی آبریز سردول چای از نظر پتانسیل وقوع زمین‌لغزش به پنج طبقه از خطر خیلی زیاد تا خیلی کم تقسیم شد. مساحت هر یک از طبقات پنج‌گانه و تعداد لغزش‌های رخ داده در هر یک از پهنه‌های خطر در جدول (۱۲)، ارائه شده است. بیشترین مساحت منطقه‌ی مورد مطالعه از نظر خطر وقوع زمین‌لغزش مربوط به طبقه‌ی خطر متوسط با مساحت ۲۰۲ کیلومترمربع می‌باشد. هم‌چنین معیارهای زمین‌شناسی با وزن ۰/۳۴۳ و معیار شیب با وزن ۰/۲۱۴ دارای بیشترین تأثیر در وقوع زمین‌لغزش منطقه بوده‌اند. با مقایسه‌ی نقشه‌ی پراکنش نقاط زمین‌لغزش و نقشه‌ی

پهنه‌بندی خطر لغزش با معیارهای ۸ گانه، بیشترین تأثیر کلاس‌های هر یک از معیارها در وقوع زمین‌لغزش مشخص شد، جدول (۱۳).

جدول (۱۲) مساحت گستره‌های لغزشی و ارزیابی لغزش‌های رخ داده در پهنه‌های خطر

پهنه‌های خطر	مساحت (کیلومتر مربع)	تعداد لغزش‌ها	درصد تعداد لغزش‌ها
خیلی زیاد	۶۵	۶	۱۶
زیاد	۱۴۴	۲۰	۵۲/۵
متوسط	۲۰۲	۷	۱۸/۵
کم	۱۴۲	۳	۸
خیلی کم	۱۲۰	۲	۵

جدول (۱۳) بیشترین تأثیر کلاس‌های هر یک از معیارهای مؤثر در زمین‌لغزش منطقه

معیار	بیشترین تأثیر کلاس‌ها
شیب	شیب بین ۲۰ تا ۴۰ درصد
ارتفاع	ارتفاعات بین ۱۸۰۰ تا ۲۵۰۰ متر
بارش	بیشتر از ۳۹۰ میلی‌متر
جهت شیب	جهت شمال و غرب
فاصله از گسل	کمتر از ۱۰۰۰ متر
فاصله از آبراهه	کمتر از ۵۰۰ متر
زمین‌شناسی	بیشترین خطر وقوع زمین‌لغزش مربوط به رسوبات دره‌ای، سنگ آهک، مارن و ماسه‌سنگ می‌باشد.
کاربری اراضی	در مراتع کلاس ضعیف و متوسط، خطر وقوع زمین‌لغزش زیاد است. در این مراتع چرای دام می‌تواند باعث از بین رفتن پوشش گیاهی و مستعد شدن منطقه برای ایجاد زمین‌لغزش گردد.

### نتیجه‌گیری

این پژوهش با هدف پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش برای حوضه‌ی سردول چای واقع در جنوب استان اردبیل و شهرستان خلخال انجام گرفته است. به‌منظور تهیه‌ی



نقشه‌ی خطر زمین‌لغزش ابتدا با مطالعات میدانی و مشاهده عکس‌های هوایی منطقه و همچنین داده‌های اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان اردبیل نقشه‌ی پراکنش زمین‌لغزش‌های حوضه و سپس نقشه‌ی عوامل مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش تهیه شد. در مرحله بعد عوامل با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی اولویت‌بندی شده و هشت عامل به‌عنوان عوامل مؤثر انتخاب شد. در نهایت نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش در حوضه در پنج طبقه با خطر خیلی زیاد، زیاد، متوسط، کم و خیلی کم تهیه شد. بر این اساس از کل مساحت حوضه‌ی مورد مطالعه حدود ۶۵ کیلومترمربع (۹/۷٪) مناطق با خطر خیلی زیاد، حدود ۱۴۴ کیلومترمربع (۲۱/۳٪) مناطق با خطر زیاد، ۲۰۲ کیلومترمربع (۳۰٪) مناطق با خطر متوسط، حدود ۱۴۲ کیلومترمربع (۲۱٪) مناطق با خطر کم و ۱۲۰ کیلومترمربع (۱۷/۸٪) از منطقه‌ی مورد مطالعه با خطرپذیری خیلی کم برای ایجاد زمین‌لغزش را در بر می‌گیرد. این پهنه‌بندی نشان می‌دهد که حوضه‌ی سردول چای از لحاظ وقوع زمین‌لغزش جزو مناطق با خطر متوسط هست. مقایسه‌ی نقشه‌ی پهنه‌بندی و نقاط پراکنش زمین‌لغزش که حاصل مطالعات میدانی هست گویای این مطلب است که ۶۸ درصد لغزش‌ها در پهنه‌های خطر خیلی زیاد و زیاد اتفاق افتاده‌اند. بنابراین مدل AHP به دلیل توانایی در تفکیک پهنه‌های خطر، روش مناسبی برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه‌ی آبریز سردول چای می‌باشد. از میان ۸ پارامتر مورد بررسی، عامل زمین‌شناسی بیشترین تأثیر را داشته است، زیرا در نواحی شرقی، جنوب شرقی و جنوب غربی حوضه وجود رسوبات مارن، شیل و سنگ آهک به علت بارش نسبتاً زیاد منطقه باعث ایجاد حرکت‌های توده‌ای به شکل لغزش می‌شود به این ترتیب که رسوبات مارن، شیل و آهک موجود در حوضه در دامنه‌های شمالی به دلیل اینکه مدت کمتری از نور تابش بهره می‌گیرند، دمایی پایین‌تری دارند که این عامل باعث کاهش میزان تبخیر و در نتیجه افزایش رطوبت

خاک می‌گردد. لذا آب به تدریج در زمین نفوذ کرده موجب آب‌گیری مارن و آهک و رسیدن به حد خمیری و افزایش نیروی ثقل و حرکت روی دامنه می‌شود. این مناطق از نظر شیب زمین نیز درجه‌ی بالایی دارند و اغلب مناطق کوهستانی را شامل می‌شوند که بالای ۲۰ درصد شیب دارند. در شیب‌های کم به‌طور معمول نیروهای مقاوم بیشتر از نیروهای محرک بوده و در شیب‌های خیلی زیاد نیز خاک تجمع نمی‌یابد که منجر به وقوع زمین‌لغزش شود. بنابراین در شیب‌های متوسط (۲۰-۴۰ درصد) بیشترین میزان زمین‌لغزش‌ها مشاهده شده است. بررسی طبقات ارتفاعی نشان داد که ارتفاعات بین ۱۸۰۰ تا ۲۵۰۰ متر بیشترین حساسیت را نسبت به زمین‌لغزش دارند. در ارتفاعات بالا بارش معمولاً به‌صورت برف بوده که این امر باعث وقوع پدیده‌ی یخبندان در منطقه شده و باعث کندی پدیده‌ی خاکزایی و در نتیجه کاهش زمین‌لغزش می‌شود. در مقابل قسمت‌های شمالی و به‌خصوص شمال غربی حوضه از نظر خطر وقوع زمین‌لغزش حساسیت کمتری دارند و به عنوان مناطقی با خطر خیلی کم و کم پهنه‌بندی شده‌اند. بنابراین با توجه به نتایج حاصله به نظر می‌رسد که باید در برنامه‌ریزی‌های محیطی، تمهیدات لازم برای مقابله با این پدیده و کاهش خسارت‌های جانی و مالی آن در مناطق حساس دیده شود.

## منابع

- حسین‌زاده، سیدرضا؛ قربانی شورشستانی، علی؛ نورمحمدی، علی‌محمد و محسن رضایی عارفی (۱۳۹۴)، بررسی عوامل مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش با استفاده از GIS و RS (مطالعه‌ی موردی سد دوستی)، هیدروژئومورفولوژی، شماره‌ی ۴، صص ۲۱-۳۸.
- روستایی، شهرام و حسن احمدزاده (۱۳۹۱)، پهنه‌بندی مناطق متأثر از خطر زمین‌لغزش در جاده تبریز-مرند با استفاده از سنجش از دور و GIS، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، شماره‌ی ۱، صص ۴۷-۵۸.
- روستایی، شهرام و راحله علیزاده (۱۳۹۱)، پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه‌ی صوفی‌چای (مراغه) با استفاده از روش آنالگان، فصلنامه‌ی علمی-پژوهشی فضای جغرافیایی، سال ۱۲، شماره‌ی ۳۹، صص ۱۷-۳۵.
- روستایی، شهرام؛ مختاری، داود؛ حسینی، زهرا و مهدی اطمانی حقویران (۱۳۹۴)، بررسی پتانسیل وقوع زمین‌لغزش در حوضه‌ی آبخیز رودخانه‌ی میمه در استان ایلام به روش تحلیل شبکه (ANP)، هیدروژئومورفولوژی، شماره‌ی ۴، صص ۱۲۳ - ۱۰۱.
- شریعت جعفری، محسن (۱۳۷۵)، زمین‌لغزش (مبانی و اصول پایداری شیب‌های طبیعی)، تهران، انتشارات سازه.
- فاضل‌نیا، غریب؛ حکیم‌دوست، یاسر و یدالله بلیانی (۱۳۹۳)، راهنمای جامع مدل‌های کاربردی GIS در برنامه‌ریزی‌های شهری، روستایی و محیطی، جلد اول، چاپ دوم، تهران، انتشارات آزادپیمان.
- Bowen, William M (1993), **AHP: Multiple Criteria Evaluation, in Klosterman, R. et al (Eds), Spreadsheet Models for Urban and Regional Analysis**, New Brunswick: Center for Urban Policy Research.

- Komac, M. (2006), **A Landslide Susceptibility Model Using the Analytical Hierarchy Process Method and Multivariate Statistics in Perialpine Slovenia**, *Geomorphology* 74, PP.17–28.
- Massimo, C., Stefania, P., Gaetano, R., Francesco, S (2014), **Evaluation of prediction capability of the artificial neural networks for mapping landslide susceptibility in the Turbolo River catchment (northern Calabria, Italy)**, *CATENA*, Volume 113, February 2014, PP.236-250.
- Saaty, T.L (1980), **The Analytical Hierarchy Process, Planning Priority**, Resource Allocation, TWS publication, USA. 15.
- Wu, Sh., Shi, L., Wang, R., Tan, Ch., Hu, D., Mei, Y., Xu, R (1999), **Zonation of the landslide hazards in the forereservoir region of the Three Gorges Project on the Yangtze River**, *Engineering Geology*, 59, PP.51-58.