

## پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی (مطالعه موردی: حوزه آبخیز چالکرد تنکابن)

### • صمد شادفر

عضو هیأت علمی مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری

### • مجتبی یمانی

عضو هیأت علمی دانشکده جغرافیای دانشگاه تهران

### • جمال قدوسی

عضو هیأت علمی مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری

### • (مرحوم) جعفر غیومیان

عضو هیأت علمی مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری

تاریخ دریافت: مهرماه ۱۳۸۴ تاریخ پذیرش: دی ماه ۱۳۸۴

Email: shadfar@scwmri.ac.ir

### چکیده

شناسایی عوامل مؤثر در وقوع زمین لغزش‌های موجود در یک حوضه و پهنه بندی خطر آن یکی از ابزارهای اساسی جهت دستیابی به راهکارهای کنترل این پدیده و انتخاب مناسب ترین و کاربردی ترین گزینه مؤثر می‌باشد. از این رو، این تحقیق با هدف شناسایی عوامل مؤثر در ایجاد پدیده زمین لغزش و مشخص کردن مناطق دارای پتانسیل جهت پهنه بندی زمین لغزش در حوضه چالکرد به روش تحلیل سلسله مراتبی انجام شده است. به این منظور ابتدا مهمترین عوامل مؤثر در وقوع زمین لغزش‌های رخ داده در حوضه با توجه به نتایج حاصل از مطالعات و پژوهش‌های پیشین انجام شده درباره ی عوامل مؤثر در رخداد زمین لغزش از طریق تهیه نقشه‌های شیب، جهت دامنه‌ها، طبقات ارتفاعی، گسل‌ها، شبکه آبراهه‌ها و راه‌های ارتباطی، سنگ شناسی، کاربری اراضی و همپاران (بارش) و بررسی و تعیین خصوصیات مربوط به هر یک از آن‌ها شناسایی شدند و سپس نقشه پراکنش زمین لغزش با استفاده از تفسیر عکس‌های هوایی به مقیاس‌های ۱:۲۰۰۰ و ۱:۴۰۰۰ به ترتیب مربوط به سال‌های ۱۳۴۶ و ۱۳۸۰ ETM منطقه تحقیق تصاویر ماهواره‌ای و انجام عملیات میدانی با استفاده از GPS تهیه و رقمی گردید. در مرحله بعد با بکارگیری روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) عوامل مورد بررسی در مرحله پیشین به صورت زوجی مقایسه و وزن هر یک از عوامل که مبین میزان تأثیر آن‌ها است محاسبه شده است. با توجه به مقادیر کمی وزن هر یک از عوامل، نقشه وزنی هر عامل تهیه و در نهایت اقدام به تهیه نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش با استفاده از لایه‌های وزنی و ضریب وزنی مربوط به هر یک از عوامل گردیده است. نتایج حاصل از این بررسی نشانگر این است که روش تحلیل سلسله مراتبی به دلیل استوار بودن بر مبنای مقایسه زوجی موجب سهولت و دقت در انجام محاسبات لازم و ارائه نتایج به دلیل دخالت دادن تعداد زیادی از عوامل در مقایسه با سایر روش‌های پهنه‌بندی خطر زمین لغزش است. صحت نقشه پهنه بندی شده با نقشه پراکنش زمین لغزش‌ها مورد ارزیابی قرار گرفته و نتایج نشان داد که در مدل تحلیل سلسله مراتبی حدود ۸۵ درصد از زمین لغزش‌ها در پهنه‌های با خطر بالا قرار می‌گیرند (جدول شماره ۵).

کلمات کلیدی: پهنه بندی خطر زمین لغزش، تحلیل سلسله مراتبی، مقایسه زوجی، تفسیر عکس‌های هوایی، چالکرد

Pajouhesh & Sazandegi No 75 pp: 118-126

### Landslide hazard zonation using analytical hierarchy method a case study: Chalkrood catchment

By: S. Shadfar, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute

Yamani, M. Faculty of Geography in University of Tehran

Ghoddusi, J. Soil Conservation and Watershed Management Research Institute

Ghayoumiand, J. (Passed away) Soil Conservation and Watershed Management Research Institute

Identification of factor affecting existing of landslide as well as its zonation in the given watershed is one of the basic tools for landslide control and selection of appropriate and effective solution as well. Thus, a research study with objective of recognizing factor affecting landslide and determination of lands with hypothential to its occurrence was conducted to prepare landslide zonation map for the chalkrood watershed analytical hierarchy method. In order to determine the most important factor affecting landsliding different maps including slope, aspect, altitude, faults, drainage network, access roads, lithology, land use and rainfall maps were prepared digitally using aerial photos with scale of 1:20000 and 1:40000 for the year of 1967 and 2001 respectively together with field checks using GPS. Then affecting factors were binary compared using analytical method by indicating the weight of each factor as indicator for their effects in occurrence of landslide. Accordingly, the landslide zonation hazard map was prepared to the use of weighed information layer and weighted coefficient of each factor. Results of this study show that the analytical hierarchy method is precise method for evaluation of landslide potential due to the use of binary comparison affecting factors and considering numerous factors for landslide evaluation at the same time in comparison to the other prevalent method and the results indicates that the percentage of high hazard class is 85 percent in AHP method.

**Keywords:** Landslide hazard zonation, Analytical hierarchy process, Paired comparison, Arial photos interpretation, Chalkrood.

#### مقدمه

آهنگ رو به رشد توسعه و عمران شهری و روستایی همراه با نتایج ارزنده در بهبود وضعیت ساکنین کره زمین موجب بروز برخی ناهنجاری‌های طبیعی نیز گردیده است. حرکات دامنه‌ای و به طور اخص زمین لغزش‌ها در زمره پرخسارت‌ترین آن‌ها است که همگام با دستکاری بشر در سیستم‌های طبیعی در دهه اخیر شتاب فزاینده‌ای یافته است (۴). از آنجا که پیش‌بینی زمان رخداد زمین لغزش‌ها از توان علم و دانش فعلی بشر خارج می‌باشد، لذا با شناسایی مناطق حساس به زمین لغزش و رتبه‌بندی کردن آن می‌توان تا حدودی از خطرناشی از بروز زمین لغزش جلوگیری نمود. این موضوع در مبحث آبخیزداری با توجه به هدف آن در اجرای مدیریت جامع منابع طبیعی موجود در حوزه آبخیز و استفاده بهینه از آن‌ها مد نظر بوده و مورد بررسی قرار می‌گیرد (۷). شناسایی عوامل موثر بر زمین لغزش و پهنه بندی خطر آن جهت مشخص نمودن مناطق مستعد و پر خطر ابزار اساسی بررسی و کمک به برنامه‌ریزان جهت برنامه‌ریزی و اقدامات موردنیاز است (۱۲). از این رو، در تمامی مطالعات مربوط به پدیده‌ی زمین لغزش در قالب طرح‌های آبخیزداری همواره هدف تهیه نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش و پیش‌بینی مناطق مستعد به وقوع این پدیده می‌باشد (۱۳). این در حالی است که شناسایی و طبقه بندی نواحی مستعد لغزش و پهنه بندی خطر آن گامی مهم در ارزیابی خطرات محیطی جهت برنامه‌ریزی در کنترل بلایای طبیعی نیز بشمار می‌رود که نقش غیر قابل انکاری را در مدیریت حوزه‌های آبخیز ایفا می‌نماید (۱۵). از مزایای روش تحلیل سلسله مراتبی این است که در آن عوامل موثر در وقوع زمین لغزش‌ها در ابتدای کار به طرز منطقی تری وزن دهی شده و عوامل مختلف به ترتیب اهمیت شان اولویت بندی می‌شوند و از طرفی امتیازدهی کلاس‌های مختلف هر عامل ساده‌تر بوده و مراحل کار را چندین بار می‌توان تکرار کرد تا به نتایج بهتر دست یافت و در نهایت مدلی که به دست می‌آید در آن دخالت عوامل زیادی در نظر گرفته شده است که از این طریق نیز دقت بیشتری در کار پهنه‌بندی وجود خواهد داشت. از مزایای دیگر روش تحلیل سلسله مراتبی انجام ساده‌تر آن با استفاده از روش‌های GIS می‌باشد که اعمال مدل نهایی در واحدهای همگن به طرز ساده‌تری انجام می‌گیرد (۱). وارد آمدن انواع خسارت‌های ناشی از زمین لغزش از قبیل تخریب مناطق مسکونی به ویژه در مناطق روستایی، جاده‌های جنگلی و روستایی و تخریب زمین‌های کشاورزی و تشدید فرسایش خاک عامل اصلی برای بررسی در رخداد زمین لغزش و مشخص نمودن مکان‌های مستعد این پدیده در منطقه تحقیق با هدف پهنه بندی خطر زمین لغزش با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی بوده است.

### ویژگی‌های اجمالی منطقه تحقیق

حوضه مورد مطالعه با نام چالکرد در غرب شهرستان تنکابن بین طول‌های جغرافیایی ۲۳° ۵۰' الی ۴۸° ۵۰' و عرض جغرافیایی ۳۶° ۳۶' الی ۵۳° ۵۳' قرار دارد. این حوزه آبخیز حدود ۴۳۰ کیلومترمربع مساحت دارد و حداکثر و حداقل ارتفاع آن از سطح دریا به ترتیب ۳۶۹۳ متر (واقع در قلعه کوه سماموس) و ۲۰ متر (در محل خروجی حوضه) در روستای چالکرد است (شکل ۱). آب و هوای این حوضه تحت تأثیر توده‌های هوای قاره‌ای قطبی و قطبی بحری در دوره سرد سال و توده‌های هوای شبه قطبی و حاره‌ای (استوایی) در فصل گرم می‌باشد (۹). اقلیم این منطقه براساس طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن از نوع اقلیم بسیار مرطوب می‌باشد (۶). شایان ذکر است که حوضه تحت بررسی در تقسیم‌بندی ساختمانی ایران جزئی از البرز شمالی یعنی واحد گرگان-رشت بوده و از خصوصیات زمین‌ساختی

آن فرونشینی کف گودال خزر در مقابل دیواره کوهستانی جنوبی آن است که این فرونشینی در امتداد سه خط شکستگی مهم به نام‌های گسل خزر، گسل لاهیجان و گسل آستارا صورت گرفته است (۸).

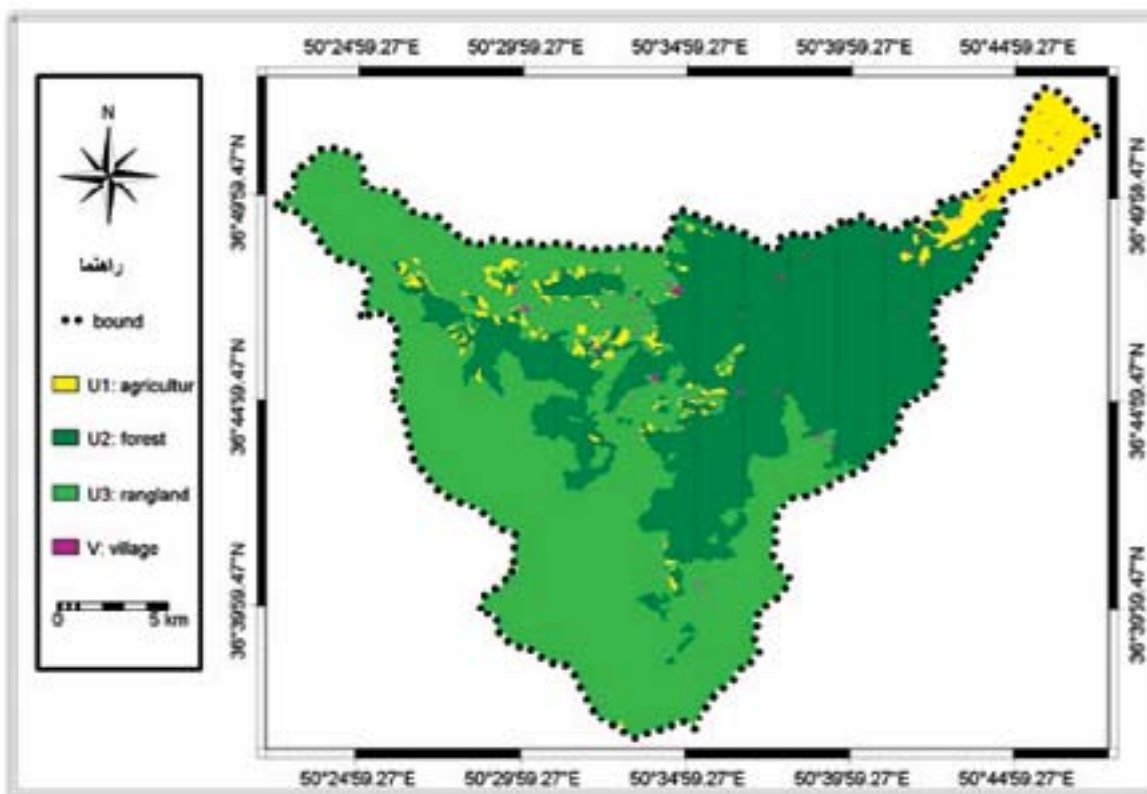
این حوضه با توجه به تقسیم‌بندی ژئومورفولوژیکی بر اساس شکل زمین مشتمل بر واحد مورفولوژی کوهستان با کاربری مرتع، کوهستان با کاربری جنگل و دشت زراعی (جلگه) است، به طوری که واحد مورفولوژیکی کوهستان با کاربری مرتع با مساحت حدود ۵۵۲/۵۰ هکتار (۵۵/۰۹ درصد) سطح کل منطقه تحقیق دارای لیتولوژی غالب رس، سیلت با میان لایه‌هایی از ماسه سنگ و ذغال با سن ژوراسیک و کنگومرا بوده که عمده‌ترین سیستم فرسایشی فعال در آن، سیستم فرسایشی مجاور یخچالی یا پریگلاسیر و تخریب مکانیکی می‌باشد. واحد مورفولوژیکی کوهستان با کاربری جنگل نیز با مساحت حدود ۴۴۸/۲۵ هکتار (۳۹/۲۲ درصد) سطح کل منطقه متشکل از واحدهای سنگی آهک و سیلت و سنگ‌های طبقه بندی نشده پرمین بوده که سیستم فرسایشی فعال در آن تجزیه شیمیایی می‌باشد. واحد دشت (جلگه) که حدود ۵ درصد از مساحت کل حوضه (۲۴/۷۵ هکتار) را تحت پوشش دارد به طور عمده حاصل انباشت رسوبات ناشی از رخداد فرسایش در مناطق بالادست حوضه در طول زمان می‌باشد. در این واحد به دلیل حاصلخیز بودن اراضی، به طور گسترده اقدام به زراعت می‌شود (شکل ۲).

### مواد و روش‌ها مواد مورد استفاده

درانجام این تحقیق از عکس‌های هوایی با مقیاس ۱:۲۰۰۰۰ و ۱:۴۰۰۰۰ به ترتیب مربوط به سال‌های ۱۳۴۶ و ۱۳۸۰ تهیه شده توسط سازمان نقشه برداری کشور، تصویر ماهواره‌ای ETM+ سال ۲۰۰۲ مرکز سنجش از دور کشور، استریوسکوپ آینه دار جیبی و رومیزی، نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ و ۱:۵۰۰۰۰ سازمان جغرافیایی ارتش به ترتیب شیت‌های شماره ۱۴-۳۹-NJ، جواهرده (۱۶۰۶۳)، رامسر (۱۷۶۱۶۳)، تنکابن (۱۶۱۶۳)، هیر (۱۶۰۶۳)، ولاکتراشان (۱۶۳-III)، دستگاه سیستم موقعیت یاب جهانی (GPS) نوع گارمین و نرم افزار ILWIS و مجموعه منابع اطلاعات علمی در زمینه‌های آب و هوا، ژئومورفولوژی، زمین‌شناسی، و یافته‌های مطالعاتی و پژوهشی در رابطه با موضوع تحقیق استفاده شده است.



شکل شماره ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه در استان و کشور



شکل شماره ۲: نقشه نوع استفاده از زمین حوزه آبخیز چالکرد

به شرح جدول شماره ۱ می‌باشد (۲، ۱۰).

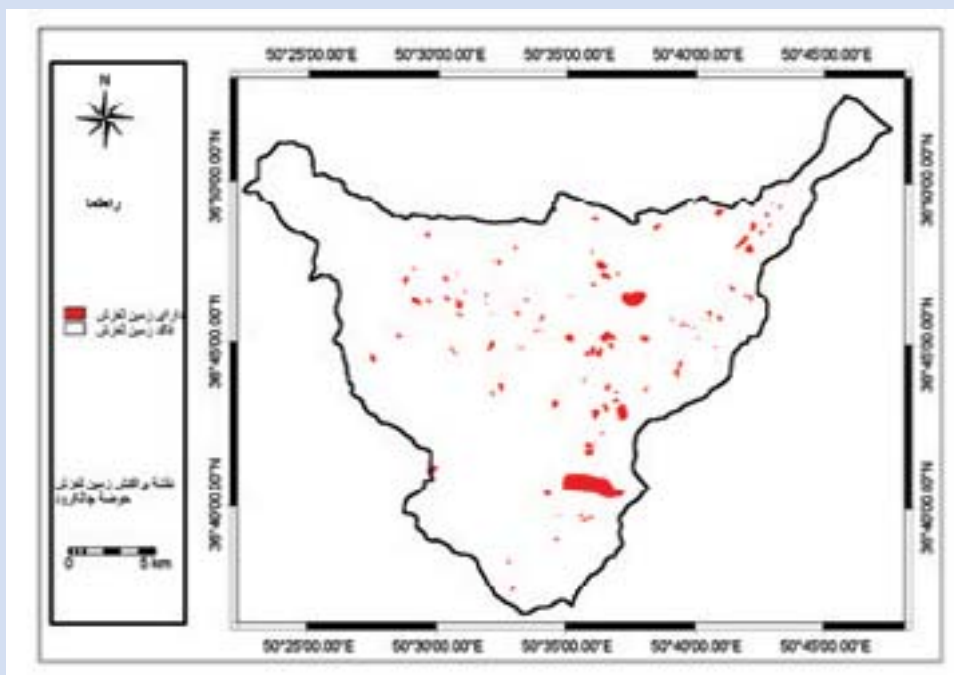
در هر حال، به منظور مشخص کردن ویژگی‌های مربوط به عوامل تأثیر گذار بر رخداد زمین لغزش و تعیین پتانسیل نقاط مختلف پهنه تحقیق به وقوع این پدیده در قالب پهنه بندی خطر آن با بهره‌گیری از روش تحلیل سلسله مراتبی، اقدام به تهیه لایه‌های اطلاعاتی مشتمل بر نقشه‌های شیب، جهت شیب، شبکه راه‌ها، شبکه آبراهه‌ها، سنگ‌شناسی، گسل‌ها، کاربری اراضی و میانگین بارش ۳۰ ساله در محیط GIS و با

جدول شماره ۱: مقیاس مقایسه دو به دو در مدل سلسله مراتبی (۱۱)

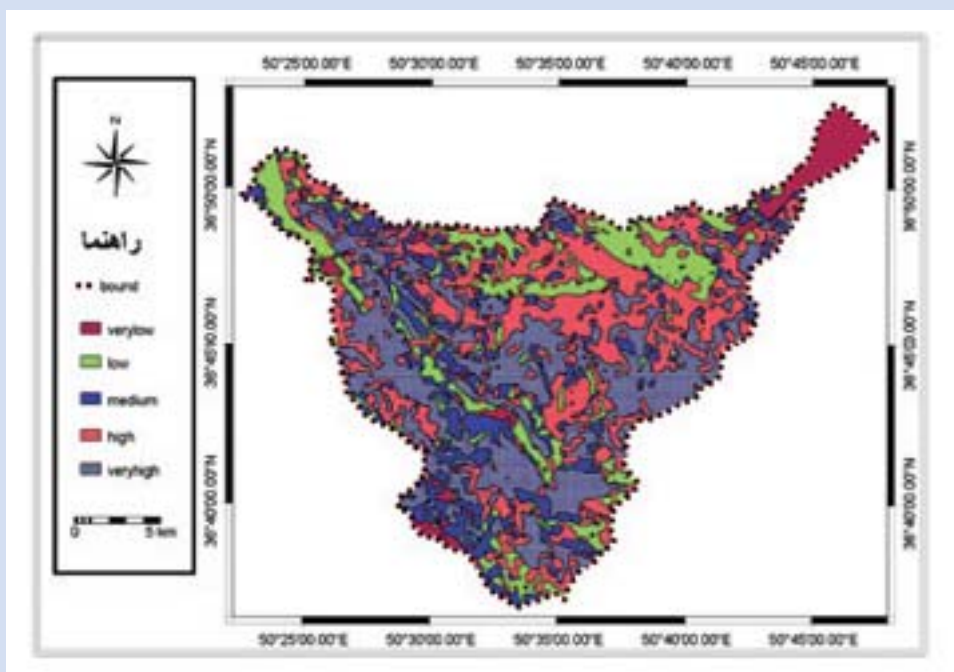
مقدار عددی	ترجیحات (قضاوت شفاهی)
۹	کاملاً مرجح یا مطلوب‌ترین
۷	ترجیح یا مطلوب خیلی قوی
۵	ترجیح یا مطلوب قوی
۳	کمی مرجح یا کمی مطلوب تر
۱	ترجیح با مطلوبیت کمتر یا کمی مهمتر
۲، ۴، ۶، ۸	ترجیحات بین فواصل فوق

### روش‌ها

روش به کار رفته برای پهنه بندی خطر زمین لغزش در حوزه چالکرد، روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی سیستم‌ها می‌باشد که یکی از جامع‌ترین سیستم‌های طراحی شده برای تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه است. به طوری که در این روش افزون بر امکان فرموله کردن مساله به صورت سلسله مراتبی، امکان در نظر گرفتن معیارهای مختلف کمی و کیفی در باره موضوع یا مسئله‌ی مورد نظر نیز وجود دارد (۱۱، ۱۴). در فرآیند تحلیل سلسله مراتبی عناصر هر سطح نسبت به عناصر مربوط به خود در سطح بالاتر به صورت زوجی مقایسه شده وزن آن‌ها محاسبه می‌گردد. این وزن‌ها را وزن نسبی می‌نامند. سپس با تلفیق وزن‌های نسبی، وزن نهایی هر گزینه مشخص می‌گردد که آن را وزن مطلق می‌نامیم. کلیه مقایسه‌ها به صورت زوجی انجام می‌گیرد. در این مقایسه‌ها تصمیم‌گیرندگان از قضاوت‌های شفاهی استفاده خواهند کرد به گونه‌ای که اگر عنصر a با b مقایسه شود تصمیم‌گیرنده خواهد گفت که اهمیت a بر b یکی از حالات



شکل ۳: نقشهٔ پراکنش زمین لغزش‌های حوضهٔ چالکروود



شکل ۴: نقشهٔ پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با استفاده از مدل تحلیل سلسله مراتبی

زمین لغزش است ارزش یا امتیاز ۱۰۰ و برای طبقه یا کلاس های فاقد زمین لغزش امتیاز صفر داده می شود. بدیهی است برای کلاس های واقع بین دارای حداکثر زمین لغزش و فاقد زمین لغزش با توجه به مقادیر درصد سطح لغزش اقدام به محاسبه و مشخص کردن امتیاز ذی ربط می شود (۳).

به این ترتیب چنانچه امتیاز در یک پهنه هر چه به امتیاز ۱۰۰ میل کند به مفهوم حساسیت بیشتر، پتانسیل زیادتر، یا منطقه پر خطرتر به رخداد زمین لغزش بوده و بر عکس هر چه به سمت صفر میل کند به مفهوم منطقه فاقد حساسیت، فاقد پتانسیل و یا فاقد خطر رخداد زمین لغزش می باشد. رابطه مورد استفاده که به طور معمول برای تعیین شدت یا پتانسیل و یا خطر رخداد پدیده مورد نظر در تحلیل سلسله مراتبی مورد استفاده قرار می گیرد مبتنی بر حاصل جمع نتایج و حاصل از حاصل ضرب وزن هر یک از عوامل در امتیاز مربوط به هر یک از کلاس های ذی ربط هر عامل است که بین صفر تا ۱۰۰ تغییر می کند. به این ترتیب با مشخص شدن امتیاز نهائی اقدام به تهیه نقشه پهنه بندی خطر رخداد پدیده مورد نظری می شود که در تحقیق حاضر نیز بر این اساس اقدام شده است.

### نتایج

با توجه به روش تحقیق تشریح شده نتایج حاصل از تحقیق به شرح زیر می باشد:

نتیجه حاصل از مقایسه دودو یا زوجی عوامل ۹ گانه مؤثر در رخداد زمین لغزش در منطقه تحقیق با در نظر گرفتن لایه های اطلاعاتی تهیه شده در محیط GIS شامل نقشه های شیب، ارتفاع از سطح دریا، شبکه آبراه ها، شبکه راه های ارتباطی، گسل ها، سنگ شناسی، کاربری اراضی و بارش در جدول ۲ ارائه شده است. به عنوان مثال عنصر ۱ و ۱ ماتریس مورد نظر (ستون ۱، ردیف ۱) نشانگر اولویت معیار شیب به معیار شیب است که دارای اولویت یا اهمیت یکسانی نسبت به هم می باشند و عددی که برای این اولویت در جدول ۱ ذکر شده است برابر ۱ است. و یا خانه ۱ و ۲ ماتریس (ستون ۲، سطر ۱) که اولویت یا اهمیت معیار شیب به سنگ شناسی را نشان می دهد که اکثر کارشناسان با توجه به داده های به دست آمده در منطقه اهمیت عامل شیب نسبت به سنگ شناسی را کمی مهمتر دانسته اند که می توان برای آن بر اساس جدول ۱ عدد ۲ را در نظر گرفت. به همین ترتیب سایر عناصر ماتریس تکمیل گردیدند.

نتیجه حاصل از رتبه یا اولویت هر یک از عوامل مؤثر در بروز زمین لغزش بر اساس نتایج حاصل از مقایسه زوجی عوامل ۹ گانه ذی ربط به شرح جدول ۳ می باشد.

با توجه به نتایج حاصل از قطع دادن نقشه های مربوط به هر یک از عوامل مؤثر در رخداد زمین لغزش در منطقه تحقیق (جدول ۲ و ۳) و محاسبه ارزش یا وزن هر یک از پهنه های دارای مقدار مشخص زمین لغزش و یا فاقد زمین لغزش، در جدول ۴ امتیاز های مشخص شده برای هر یک از طبقات یا کلاس های ۶ گانه عوامل تأثیر گذار بر رخداد زمین لغزش در منطقه تحقیق ارائه شده است.

با شرح فوق و با توجه به اینکه پس از تعیین امتیاز هر یک از کلاس های مربوط به هر یک از عوامل مختلف در روش سلسله مراتبی، مقدار کمی میزان یا شدت خطر رخداد پدیده مورد نظر و یا پتانسیل رخداد آن از حاصل جمع نتیجه حاصل از حاصل ضرب ضریب وزن هر عامل در امتیاز

استفاده از اطلاعات موجود و مستخرج از مطالعات پیشین انجام شده در منطقه تحقیق همراه با استخراج ویژگی ها از نقشه های پایه نظیر نقشه های توپوگرافی، زمین شناسی، ژئومورفولوژی و بارش، شده است.

در مرحله بعد جهت مشخص نمودن ویژگی های محیطی مربوط به محل رخداد زمین لغزش در پهنه تحقیق، اقدام به تهیه نقشه پراکنش زمین لغزش ها با استفاده از تفسیر چشمی عکس های هوایی همراه با عملیات میدانی با استفاده از GPS به ویژه با توجه به جنگلی بودن بخش اعظم منطقه مورد مطالعه، گردیده است (شکل ۳). به نحوی که ویژگی های مناطق تحت تأثیر زمین لغزش در مقایسه با مناطق فاقد زمین لغزش از طریق قطع دادن نقشه های مربوط به هر یک از عوامل محیطی مورد نظر با نقشه پراکنش زمین لغزش در منطقه تحقیق در محیط GIS انجام و مشخصات مربوط استخراج شده اند.

با شرح مطالب فوق، در مرحله نهایی اقدام به پهنه بندی خطر رخداد زمین لغزش در منطقه تحقیق با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی گردید و مدل مناسب جهت استفاده در سایر نقاط با ویژگی های محیطی مشابه ارائه شده است. شایان ذکر است که به منظور مقایسه دو به دو عوامل مؤثر در بروز لغزش و تعیین میزان اهمیت (رتبه بندی) هر یک از عوامل در روش تحلیل سلسله مراتبی، لازم است اقدام به تنظیم جدول ماتریسی بر اساس عوامل مؤثر در زمین لغزش شود. به طوری که با تشکیل این جدول، مقدار عددی هر یک از عوامل از جدول ۱ استخراج و تعیین می شود. باید به این موضوع توجه شود که در مقایسه زوجی مقدار کمی رتبه یا اولویت هر عامل نسبت به همان عامل برابر عدد ۱ می باشد. اما، اگر رتبه عامل اول بر عامل دوم مثلاً ۲ باشد، در این صورت مقدار کمی رتبه عامل دوم بر عامل اول ۱/۲ خواهد بود. افزون بر این می توان پس از تعیین رتبه کمی هر عامل و تشکیل جدول ماتریس مربوطه متوسط رتبه هر عامل را از طریق محاسبه میانگین حسابی تعیین و مشخص نمود. به این ترتیب در تحقیق حاضر نیز از روش میانگین حسابی جهت محاسبه وزن هر عامل استفاده گردیده است. به این ترتیب که در جدول ماتریس مربوط به مقایسه زوجی عوامل مؤثر در وقوع زمین لغزش، اعداد هر ستون با یکدیگر جمع شده و سپس مقدار حاصل از ماتریس به جمع کل ستون های همان عدد تقسیم و در نهایت متوسط اعداد در هر ردیف جدول ماتریس محاسبه شده است. از آنجا که وزن دهی یا تعیین وزن مربوط به هر یک از عوامل لازم است از طریق کلاس یا طبقه بندی عوامل مختلف در روش سلسله مراتبی انجام شود (۱۱). بنابراین، در تحقیق حاضر عوامل کیفی با استفاده از طبقه بندی های موجود و عوامل کمی از روش رسم منحنی های تجمعی در مقابل فراوانی پیکسل های مربوطه در محیط GIS طبقه بندی گردیده اند. به طور مثال برای سنگ شناسی، از روش حایری و سمعی جهت طبقه بندی سنگ ها از نظر مقاومت در برابر لغزش (۵)، و برای شیب از روند تغییرات منحنی هیستوگرام استفاده شده است.

به این ترتیب، با توجه به مشخص شدن طبقه یا کلاس های مربوط به هر یک از عوامل، ارزش یا مقدار کمی وزن هر یک از کلاس های مربوط به هر یک از عوامل با استفاده از تعیین سطح تحت اشغال زمین لغزش های رخ داده شده در هر کلاس به صورت درصد مساحت دارای لغزش به مساحت کل منطقه مورد مطالعه بین صفر تا ۱۰۰ مشخص و تعیین شده است. در این رابطه برای طبقه یا کلاس هر یک از عوامل که دارای بیشترین سطح

جدول ۲: ماتریس و مقدار عددی مربوط به هر یک از عوامل ۹ گانه مؤثر در زمین لغزش های حادث شده در حوزه آبخیز چالکرو در

عامل	طبقات شیب	سنگ شناسی	کاربری اراضی	طبقات ارتفاعی	فاصله از گسل	فاصله از شبکه آبراهه	جهت شیب	بارش	فاصله از شبکه راهها
شیب	۱	۲	۳	۳	۵	۶	۷	۸	۹
سنگ شناسی	$\frac{1}{2}$	۱	۳	۳	۴	۵	۵	۶	۷
کاربری اراضی	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$	۱	۲	۳	۳	۵	۵	۶
ارتفاع	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{2}$	۱	۲	۲	۳	۴	۵
فاصله از گسل	$\frac{1}{5}$	۴/۱	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{2}$	۱	۲	۲	۳	۴
شبکه آبراهه	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{5}$	۳/۱	$\frac{1}{2}$	۲/۱	۱	۲	۳	۳
جهت شیب	$\frac{1}{7}$	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{3}$	۲/۱	$\frac{1}{2}$	۱	۲	۲
بارش	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{5}$	۴/۱	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{2}$	۱	۲
فاصله از شبکه راهها	$\frac{1}{9}$	$\frac{1}{7}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{5}$	۴/۱	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	۱
جمع	۲/۸۸۵	۴/۶۱	۸/۷۲	۱۰/۷۸	۱۶/۵۸	۲۰/۱۶	۲۶	۳۲/۵	۳۹

منبع: نقل از احمدی و همکاران

در سطح حوضه خود موید این مدعاست.

از مزایای روش تحلیل سلسله مراتبی این است که در آن به عوامل مؤثر در بروز پدیده زمین لغزش از طریق مقایسه جفتی بین عوامل وزن داده شده و به ترتیب از طریق میزان تأثیر گذاری هر یک از عوامل در رخداد زمین لغزش اقدام به اولویت بندی می‌شوند. به طوری که از این طریق می‌توان به نتایج مطمئن تری دست یافت. افزون بر این از آنجا که در این روش به دلیل اهمیت و شیوه های محاسباتی لحاظ شده در آن می‌توان عوامل زیادتری را در رخداد پدیده های ژئومورفولوژی، زمین شناسی و امثالهم دخالت داد، از این رو این روش می‌تواند روش جامع‌تر و کامل تری در مقایسه با سایر روش های متداول به ویژه در رابطه با پهنه بندی خطر زمین لغزش باشد. اما نظر به اینکه در این تحقیق تنها اقدام به بررسی امکان استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی در پهنه بندی خطر زمین لغزش در منطقه مورد مطالعه شده است، از این رو پیشنهاد می‌شود در مطالعات بعدی نسبت به مقایسه نتایج حاصل از بکارگیری این روش با نتایج حاصل از کار بست سایر روش‌ها اقدام و درباره حدود و میزان دقت حاصله بررسی و تحقیق لازم انجام پذیرد. علاوه بر این با توجه به نتایج

هر کلاس مربوط به همان عامل بدست می‌آید. از این رو و با در نظر گرفتن نتایج حاصل از محاسبات انجام شده که در جداول ۳ و ۴ ارائه شده است، از رابطه ۱ برای محاسبه میزان یا پتانسیل خطر رخداد زمین لغزش در منطقه تحقیق در محیط GIS برای تهیه نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش در آبخیز چالکرو استفاده گردیده که نتیجه در شکل ۴ ارائه شده است.

رابطه (۱)

$$y = 0.0565X_1 + 0.0709X_2 + 0.124X_3 + 0.1046X_4 + 0.1466X_5 + 0.2286X_6 + 0.33X_7 + 0.390X_8 + 0.3771X_9$$

که در آن

$y$  = میزان خطر رخداد زمین لغزش، و  $X_1, X_2, \dots, X_9$  عوامل مؤثر در رخداد زمین لغزش می‌باشند

### نتیجه‌گیری و پیشنهادات

شرایط طبیعی حوضه چالکرو مانند تکتونیک، شرایط ناهمواری ها، ژئومورفولوژی و زمین شناسی بستر مناسبی را برای وقوع زمین لغزش بوجود آورده که وقوع آن در حدود ۱۲۰ مورد با وسعت حدود ۱۰۴۰ هکتار

جدول ۳: ماتریس و مقادیر میانگین حسابی محاسبه شده ضریب وزن هر یک از عوامل مؤثر در رخداد زمین لغزش در آبخیز چالکروود

عامل	شیب	سنگ شناسی	کاربری اراضی	ارتفاع	فاصله از گسل	شبکه آبراهه	جهت شیب	بارش	فاصله از شبکه راهها	متوسط ( $\alpha$ )
شیب	۰/۳۴۶۶	۰/۴۳۳۸	۰/۳۴۴۰	۰/۲۷۸۲	۰/۳۰۱۵	۰/۲۹۷۶	۰/۲۶۹۲	۰/۲۴۶۱	۰/۲۳۰۷	$\alpha = ۰/۳۰۵۳$
سنگ شناسی	۰/۱۷۳۳	۰/۲۱۶۹	۰/۳۴۴۰	۰/۲۷۸۲	۰/۲۴۱۲	۰/۲۴۸۰	۰/۱۹۲۳	۰/۱۸۴۶	۰/۱۷۹۴	$\alpha = ۰/۲۲۸۶$
کاربری اراضی	۰/۱۱۴۳	۰/۰۷۱۵	۰/۱۱۴۶	۰/۱۸۵۵	۰/۱۸۰۹	۰/۱۴۸۸	۰/۱۹۲۳	۰/۱۵۳۸	۰/۱۵۳۸	$\alpha = ۰/۱۴۶۱$
ارتفاع	۰/۱۱۴۳	۰/۰۷۱۵	۰/۰۵۷۳	۰/۰۹۲۷	۰/۱۲۰۶	۰/۰۹۹۲	۰/۱۱۵۳	۰/۱۲۳۰	۰/۱۲۸۲	$\alpha = ۰/۱۰۲۴$
فاصله از گسل	۰/۰۶۹۳	۰/۰۵۴۲	۰/۰۳۷۸	۰/۰۴۶۳	۰/۰۶۰۳	۰/۰۹۹۲	۰/۰۷۶۹	۰/۰۹۲۳	۰/۱۰۲۵	$\alpha = ۰/۰۷۰۹$
شبکه آبراهه	۰/۰۵۵۴	۰/۰۴۳۳	۰/۰۳۷۸	۰/۰۴۶۳	۰/۰۳۰۱	۰/۰۴۹۶	۰/۰۷۶۹	۰/۰۹۲۳	۰/۰۷۶۹	$\alpha = ۰/۰۵۶۵$
جهت شیب	۰/۰۴۸۵	۰/۰۴۳۳	۰/۰۲۲۹	۰/۰۳۰۶	۰/۰۳۰۱	۰/۰۲۴۸	۰/۰۳۸۴	۰/۰۶۱۵	۰/۰۵۱۲	$\alpha = ۰/۰۳۹۰$
بارش	۰/۰۴۳۳	۰/۰۳۴۷	۰/۰۲۲۹	۰/۰۲۳۱	۰/۰۱۹۹	۰/۰۱۶۳	۰/۰۱۹۲	۰/۰۳۰۷	۰/۰۵۱۲	$\alpha = ۰/۰۲۹۰$
فاصله از شبکه راهها	۰/۰۳۴۶	۰/۰۳۰۳	۰/۰۱۸۳	۰/۰۱۸۵	۰/۰۱۵۰	۰/۰۱۶۳	۰/۰۱۹۲	۰/۰۱۵۳	۰/۰۲۵۶	$\alpha = ۰/۰۳۷۷$

جدول ۴: امتیاز یا وزن مربوط به هر یک از کلاس های عوامل ۹ گانه مؤثر در رخداد زمین لغزش در حوزه آبخیز چالکروود با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی

شیب ( $X_1$ )	سنگ شناسی ( $X_2$ )		کاربری اراضی ( $X_3$ )		ارتفاع ( $X_4$ )		فاصله از گسل ( $X_5$ )		شبکه آبراهه ( $X_6$ )		جهت شیب ( $X_7$ )		بارش ( $X_8$ )		فاصله از شبکه راهه ( $X_9$ )		
	کلاس	وزن	کلاس	وزن	کلاس	وزن	کلاس	وزن	کلاس	وزن	کلاس	وزن	کلاس	وزن	کلاس	وزن	
S <sub>1</sub>	۱۴/۲۸	L <sub>1</sub>	۴/۴۷	U <sub>1</sub>	۶۲/۹	H <sub>1</sub>	۱۰۰	F <sub>1</sub>	۱۰۰	D <sub>1</sub>	۶۴/۰۹	A <sub>1</sub>	۰/۲۶	R <sub>1</sub>	۱۰۰	N <sub>1</sub>	۲/۴
S <sub>2</sub>	۴/۳۳	L <sub>2</sub>	۸۱/۱۳	U <sub>2</sub>	۵۶/۱	H <sub>2</sub>	۷۱/۱۷	F <sub>2</sub>	۶۲/۹	D <sub>2</sub>	۳۰/۵۸	A <sub>2</sub>	۱۰/۱۳	R <sub>2</sub>	۵۷/۷۲	N <sub>2</sub>	۵/۵
S <sub>3</sub>	-	L <sub>3</sub>	۱۰۰	U <sub>3</sub>	۷۹/۵۹	H <sub>3</sub>	۵/۹۱	F <sub>3</sub>	۴۸/۷	D <sub>3</sub>	۲۲/۴۴	A <sub>3</sub>	۱۰۰	R <sub>3</sub>	۳۶/۶۴	N <sub>3</sub>	۴۰/۶۲
S <sub>4</sub>	۱۰۰	L <sub>4</sub>	۲/۶۲	U <sub>4</sub>	۱۰۰	H <sub>4</sub>	۰	F <sub>4</sub>	۸۲/۴	D <sub>4</sub>	۱۰۰	A <sub>4</sub>	۰	R <sub>4</sub>	۴۴/۹۵	N <sub>4</sub>	۱۰۰
S <sub>5</sub>	۴۱/۶	-	-	-	۱۷/۲۹	H <sub>5</sub>	-	-	-	-	-	-	۰	-	۸۶/۵	N <sub>5</sub>	۴۱/۶
S <sub>6</sub>	۳۰/۰۸	-	-	-	۵/۵۰	H <sub>6</sub>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	۳۰/۰۸



جدول ۵: درصد و مساحت طبقات نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش به روش AHP

لغزش (درصد)	مساحت لغزش (هکتار)	درصد طبقات	مساحت طبقه (هکتار)	طبقات پهنه بندی
۲/۶۹	۲۸	۶/۷۴	۲۸۸۳/۲۷	خیلی کم
۵/۸۲	۶۰/۵۰	۱۶/۱۵	۶۹۰۶/۶۵	کم
۶/۷۱	۶۹/۷۵	۱۵/۹۰	۶۸۰۰	متوسط
۲۵/۰۵	۲۶۰/۵۰	۳۰/۳۳	۱۲۹۷۵/۹۶	زیاد
۵۹/۶۶	۶۲۰/۵۰	۳۰/۸۸	۱۳۲۱۱/۱۹	خیلی زیاد
۱۰۰	۱۰۴۰	۱۰۰	۴۲۷۷۷	جمع

در حوزه آبخیز تیرم تنکابن، پایان نامه کارشناسی ارشد دانشکده جغرافیا دانشگاه تهران، ۱۶۲ صفحه.

۷- شیرانی، کورش، ۱۳۸۳؛ گزارش نهایی طرح تحقیقاتی ارزیابی مهمترین روش‌های پهنه بندی خطر زمین لغزش به منظور انتخاب روشی مناسب: مطالعه موردی جنوب استان اصفهان منطقه سمیرم (مسیر رودخانه ماربر)، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، ۱۰۴ صفحه.

۸- علایی طالقانی، محمود، ۱۳۸۲؛ ژئومورفولوژی ایران، انتشارات قوس، چاپ دوم، ۳۲۵ صفحه.

۹- علیجانی، بهلول، ۱۳۷۶؛ آب و هوای ایران، انتشارات دانشگاه پیام نور، چاپ سوم، ۲۲۱ صفحه.

۱۰- کلارستاقی، عطا، ۱۳۸۱؛ بررسی نقش عوامل موثر بر وقوع زمین لغزش‌ها: مطالعه موردی حوضه سد تجن ساری، پایان نامه کارشناسی ارشد دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، ۱۴۱ صفحه.

۱۱- محمد خان، شیرین، ۱۳۸۰؛ آرایه مدل منطقه‌ای پهنه بندی خطر حرکات توده‌ای: مطالعه موردی حوضه طالقان، پایان نامه کارشناسی ارشد دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران.

12- Anbalagan, R. 1992; Landslide hazard development and zonation mapping in mountainous terrain. J. Engineering Geology, vol(32), pp: 269-277.

13- Crozier, M. 1999; Landslide, Applied Geography, Principles and practice, pp: 83-94.

14- Nagarajan, R, A. Mukherjee, A. Roy and M. V. Khire. 1998; Temporal remote sensing data and GIS application in landslide hazard zonation of part of western ghat, India, INT. J. Remote sensing, vol (19), No(4), pp: 573-585.

15- Sakar, S. Kanungo, D.P, and S. Mehrotar. 1995; Landslide Zonation: A case study in Garwal Himalaya, India. Mountain Research and Development, pp: 301-309.

بدست آمده به ویژه در رابطه با کاربری اراضی و وقوع اکثر زمین لغزش‌ها در مناطق غیر جنگلی و یا به طور عمده در اراضی زراعی واقع در دامنه‌های پرشیب یا واحدهای سنگی نفوذ ناپذیر نزدیک به سطح زمین در حاشیه آبراهه‌ها و کنار جاده‌ها توصیه می‌شود از تغییر کاربری این اراضی از اراضی جنگلی به مرتع و به ویژه کشاورزی جهت جلوگیری از رخداد زمین لغزش اکیدا خودداری شود.

### منابع مورد استفاده

۱- احمدی، حسن، اباذر اسمعیلی، سادات فیض نیا و محسن شریعت جعفری، ۱۳۸۲؛ پهنه بندی خطر حرکت‌های توده‌ای با استفاده از دو روش رگرسیون چند متغیره و تحلیل سلسله مراتبی: مطالعه موردی حوزه آبخیز گرمی چای، مجله منابع طبیعی ایران، جلد ۵۶، شماره ۴، صفحات ۳۳۶-۳۳۳.

۲- احمدی، حسن، شیرین محمدخان، سادات فیض نیا و جمال قدوسی، ۱۳۸۴؛ ساخت مدل منطقه‌ای خطر حرکت‌های توده‌ای با استفاده از ویژگی‌های کیفی و تحلیل سلسله مراتبی سیستم‌ها (AHP): مطالعه موردی حوزه آبخیز طالقان، مجله منابع طبیعی ایران، جلد ۵۸، شماره ۱، صفحات ۱۴-۳.

۳- اسمعیلی عوری، اباذر، ۱۳۸۱؛ پهنه بندی خطر حرکت‌های توده‌ای در حوضه گرمی چای و ارائه مدل منطقه‌ای. پایان نامه کارشناسی ارشد دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران.

۴- امامی، سیدنعیم و جعفر غومیان، ۱۳۸۲؛ پژوهشی بر ساز و کار زمین لغزش‌ها بر روی واریزه‌های دامنه‌ای: مطالعه موردی لغزش افسرآباد استان چهارمحال بختیاری. مجموعه مقالات سومین کنفرانس زمین شناسی مهندسی و محیط زیست ایران، دانشگاه بوعلی سینا همدان، صفحات ۱۲۶-۱۱۳.

۵- حائری، سید محسن و امیرحسین سمیعی، ۱۳۷۶؛ روش جدید پهنه بندی مناطق شیبدار در برابر خطر زمین لغزش با تکیه بر بررسی‌های پهنه بندی استان مازندران، نشریه علوم زمین، سال ششم، شماره ۲۳-۲۴.

۶- شادفر، صمد، ۱۳۸۰؛ تحلیل فرآیندهای ژئومورفولوژیک در ارتباط با فرسایش

