



## تهیه نقشه حساسیت زمین لغزش با استفاده از مدل تلفیقی نسبت فراوانی (FR) و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)

میلاذ فروزانفر<sup>۱</sup>، قربان وهاب‌زاده<sup>۲\*</sup> حمیدرضا پورقاسمی<sup>۳</sup>

۱- کارشناسی‌ارشد مهندسی آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، M.faroozanfar@yahoo.com  
۲- نویسنده مسئول: استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری  
gh.vahabzadh@sanru.ac.ir  
۳- دکتری مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، hporghasemi@gmail.com

### چکیده

تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی حساسیت به وقوع زمین‌لغزش، در برنامه‌ریزی‌های توسعه شهری و روستایی ضروری است. تاکنون روش‌های مختلفی جهت پهنه‌بندی حساسیت به وقوع زمین‌لغزش ارائه شده‌اند. در این تحقیق با استفاده از روش آماری نسبت فراوانی (Frequency Ratio) و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) مبتنی بر مقایسات زوجی و دخالت عوامل شیب، جهت شیب، ارتفاع از سطح دریا، زمین‌شناسی، کاربری اراضی، شاخص پوشش گیاهی (NDVI)، شکل شیب و عناصر خطی آبراهه، جاده و گسل نقشه حساسیت به زمین‌لغزش در حوزه آبخیز تالار واقع در استان مازندران تهیه شد. نتایج حاصله نشان داد که ۳۵/۷۸٪ سطح منطقه دارای حساسیت کم، ۳۸/۰۵٪ دارای حساسیت متوسط، ۲۲/۱۴٪ دارای حساسیت زیاد و ۴/۰۳٪ دارای حساسیت بسیار زیاد در منطقه می‌باشند.

واژه‌های کلیدی: زمین لغزش، نسبت فراوانی، تحلیل سلسله مراتبی، حوزه آبخیز تالار

## ۱- مقدمه

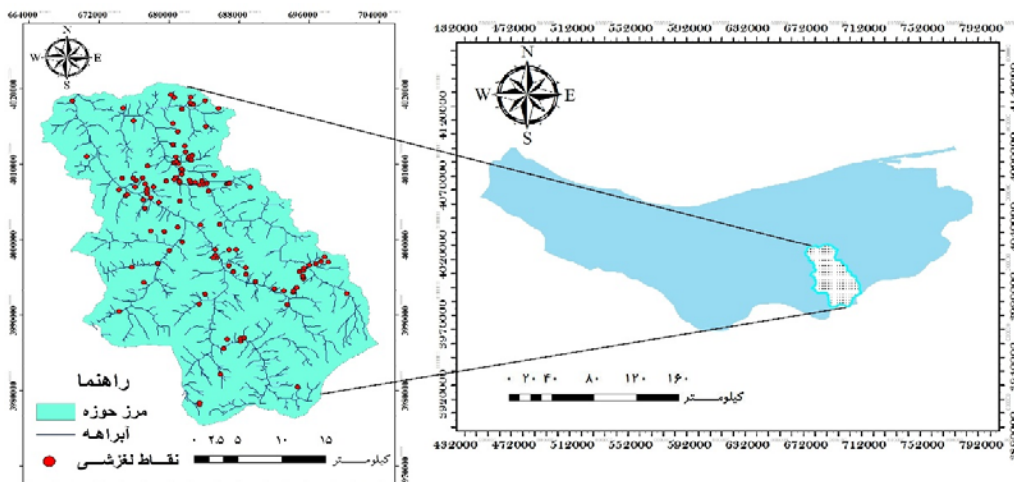
حرکات توده‌ای، نوع خاصی از فرآیندهای فرسایش دامنه‌ای هستند که زائیده شرایط ژئومورفولوژیک، هیدرولوژیک و زمین‌شناسی محلی می‌باشند، این شرایط به همراه فرآیندهای ژئودینامیک، پوشش گیاهی، کاربری اراضی، مقدار-شدت و تداوم بارندگی و زمین لرزه‌ها باعث شکل‌گیری زمین‌لغزش‌ها می‌گردند (پورقاسمی و همکاران، ۱۳۸۶ ب). یکی از انواع حرکات توده‌ای که هر ساله خسارات مالی و جانی فراوانی را بر زندگی انسان‌ها وارد نموده و از جنبه‌های مختلف فرسایش و رسوب در حوزه‌های آبخیز مهم می‌باشد، زمین لغزش است. زمین لغزش یک پدیده مخرب طبیعی بوده و مقابله با آن مستلزم صرف وقت و هزینه هنگفتی است. بررسی زمین‌لغزش شامل شناخت فرآیند، تحلیل خطوط پیش‌بینی زمین-لغزش در آینده جهت کاهش پیشرفت و خسارات ناشی از آن می‌باشد (Lan et al., 2004). نظر به تاثیرات نامطلوبی که وقوع زمین لغزه‌ها روی سیستم‌های اجتماعی-اقتصادی و طبیعی دارند لزوم شناخت مناطق حساس به زمین‌لغزش برای اجتناب از خسارات مالی، جانی، زیست محیطی و شروع اقدامات حفاظتی و پیش‌گیری امری ضروری به نظر می‌رسد (مه‌دویفر، ۱۳۷۶). گرچه به طور مطلق میزان خسارت اقتصادی ناشی از زمین لغزش‌ها در کشورهای پیشرفته بیشتر است، ولی طبق مطالعات انجام شده توسط United Nation Disaster Relief-Ordinary برای بسیاری از کشورهای در حال توسعه، این خسارت یک تا دو درصد تولید ناخالص ملی آن‌ها را در بر می‌گیرد (Hansen, 1984; Hutchinson, 1995). بهترین روش برای اجرای اقدامات در جهت کاهش خسارات زمین‌لغزش، پهنه‌بندی حساسیت به خطر زمین‌لغزش می‌باشد که می‌توان از آن به عنوان ابزاری قدرتمند برای بهبود برنامه‌ریزی در امر آمایش سرزمین به منظور جلوگیری از توسعه مناطق مستعد و اقتصادی‌ترین راه برای کاهش صدمات در آینده بهره برد (Cascini et al., 2005). نداشتن قطعیت که ناشی از گنگ بودن، ناکامل و مبهم بودن شرایط و مفاهیم مرتبط با مشخصه‌هایی مانند زمین‌شناسی، هیدرولوژیک، تکتونیک، پوشش گیاهی، بارندگی، فرسایش، نوسان دما و ... در بروز ناپایداری دامنه‌ای، لزوم بهره‌گیری از روش‌های دقیق و مناسب را در بررسی ناپایداری‌های دامنه‌ای منطقی می‌کنند (Fatemi Aghda et al., 2006). از مزایای روش تحلیل سلسله مراتبی این است که در آن عوامل موثر در وقوع زمین لغزش‌ها در ابتدای کار به طرز منطقی‌تری وزن‌دهی شده و عوامل مختلف به ترتیب اهمیت‌شان اولویت‌بندی 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 بدست می‌آید در آن دخالت عوامل زیادی در نظر گرفته شده است که از این طریق دقت بیشتری در کار پهنه‌بندی وجود خواهد داشت (شادفر و همکاران، ۱۳۸۶). از مزایای دیگر روش تحلیل سلسله مراتبی انجام ساده‌تر آن با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) می‌باشد که اعمال مدل نهایی در واحدهای همگن به طور ساده‌تری انجام می‌گیرد (احمدی و همکاران، ۱۳۸۴). گرایبی و کریمی (۱۳۸۹) اقدام به ارزیابی ۵ روش ارزش اطلاعاتی، تراکم سطح، فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، روش پیشنهادی کوپتا-جوشی (LNRF) و نسبت فراوانی در حوزه آبخیز سد ایلام نمودند. جداً و همکاران (۲۰۰۹) اقدام به ارزیابی نقشه حساسیت به زمین‌لغزش و تحلیل عوامل موثر بر وقوع آن با استفاده از مدل احتمالاتی نسبت فراوانی در البرز مرکزی نمودند. نتایج حاصل از ارزیابی نقشه تهیه شده و داده‌های موجود بیانگر صحت بالا (۹۲،۵۹٪) مدل نسبت فراوانی می‌باشد. مزوقی و همکاران (۲۰۱۱) با استفاده از روش نسبت فراوانی حساسیت، وقوع زمین‌لغزش در منطقه گریکجلی ۱ را ارزیابی نمودند. نتایج نشان داد پارامترهای فاصله از جاده، تراکم آبراهه و درجه شیب

<sup>1</sup> Gerik\_jeli

موثرترین عوامل در وقوع زمین لغزش‌های منطقه می‌باشند. کوماک (۲۰۰۶) حساسیت به خطر وقوع زمین لغزش را با روش تحلیل سلسله مراتبی و روش آماری چند متغیره پهنه‌بندی نمود. نتایج بیانگر دقت قابل قبول روش تحلیل سلسله مراتبی در منطقه مورد بررسی دارد. محمدی و همکاران (۱۳۸۸) اقدام به ارزیابی کارایی مدل‌های عامل اطمینان، ارزش اطلاعاتی، فرآیند تحلیل سلسله مراتبی در پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در بخشی از حوزه آبخیز هراز نمودند. اولویت‌بندی عوامل با بهره‌گیری از روش AHP انجام گردید. سپس نقشه خطر زمین لغزش با استفاده از هر روش به طور جداگانه تهیه شد. ارزیابی مدل‌ها بیانگر دقت مناسب روش AHP در پهنه‌بندی خطر زمین لغزش می‌باشد. قنواتی (۱۳۹۰) خطر لغزش در حوزه جاجرود را با روش تحلیل سلسله مراتبی پهنه‌بندی نمود. نتایج نشان داد بیش از ۶۲ درصد مساحت حوزه جاجرود در پهنه‌های خطر زیاد و بسیار زیاد لغزشی واقع شده است. نتیجه این تحقیق که بر مبنای ویژگی‌های طبیعی و کمی کردن عوامل موثر در وقوع زمین لغزش صورت می‌گیرد می‌تواند به عنوان مبنایی برای برنامه ریزی‌ها و عمران ناحیه‌ای مورد استفاده قرار گیرد.

## ۲- مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه واقع در استان مازندران در بخش مرکزی سلسله جبال البرز قرار دارد. این منطقه شامل حوزه تالار، بین طول‌های جغرافیایی  $26^{\circ} 50' 52''$  تا  $42^{\circ} 15' 53''$  شرقی و عرض‌های  $35^{\circ} 54' 21''$  تا  $36^{\circ} 18' 57''$  شمالی و وسعتی بالغ بر ۹۸۱ کیلومتر مربع شامل می‌شود. این منطقه از شمال به کوه ورزاک، از جنوب به روستای ارون، از شرق به روستاهای سنگده و ولیچال و از غرب به معدن کرسنگ محدود می‌گردد. ارتفاع کمینه و بیشینه در منطقه به ترتیب ۳۵ متر و ۳۵۲۰ متر می‌باشد (شکل ۱).



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در استان مازندران

تعیین عامل‌های موثر بر زمین لغزش

با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ و زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰، تصویر ماهواره IRS مربوط به سال ۲۰۱۲ نقشه‌های پایه تهیه شد. با توجه به شرایط منطقه مورد مطالعه ۱۰ عامل موثر بر وقوع زمین لغزش‌ها برای منطقه مورد

مطالعه تعیین گردید که عبارتند از: درجه شیب و جهت شیب، ارتفاع از سطح دریا، کاربری اراضی، شاخص پوشش گیاهی نرمال شده (NDVI)، شکل شیب، فاصله از آبراهه، فاصله از جاده و فاصله از گسل. نقشه‌های درجه شیب، جهت شیب، شکل شیب و طبقات ارتفاعی از روی نقشه توپوگرافی و مدل رقومی ارتفاع با پیکسل سایز ۱۰\*۱۰ متر تهیه شد. نقشه شبکه آبراهه‌ها از روی نقشه مدل رقومی ارتفاعی و به کمک اکستنشن الحاقی Arc Hydro و در محیط نرم افزار GIS 9.3 بدست آمد. با استفاده از پرسشنامه‌های موجود در بانک اطلاعات زمین‌لغزش و بازدیدهای میدانی موقعیت ۱۳۴ زمین لغزش ثبت گردید.

ابتدا با استفاده از رابطه نسبت فراوانی (Frequency Ratio) وزن هر کلاس عامل بدست آمد (رابطه ۱).

$$\text{Frequency Ratio} = \frac{A/B}{C/D} \quad \text{رابطه (۱)}$$

که در آن A تعداد نقاط لغزشی در هر کلاس عامل، B تعداد کل نقاط لغزشی در حوزه، C مساحت هر کلاس عامل، D مساحت کل حوزه می‌باشند.

در ادامه با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی وزن‌های مربوط به هر عامل با استفاده از نظرات کارشناسی تخمین زده شد. به این صورت که ابتدا مقایسه‌های دوتایی بین عوامل با استفاده از جدول ۱ انجام شد، سپس نتایج این مقایسه‌ها به صورت یک ماتریس به نرم افزار Super Decisions وارد شد که در این ماتریس وزن هر عامل نسبت به عامل دیگر آورده و مقایسه می‌شود. در این نرم افزار وزن هر یک از عامل‌ها محاسبه و برپایه این وزن‌ها اولویت عوامل تعیین گردید (شکل ۲).

جدول ۱- میزان ترجیح‌ها و قضاوت کارشناسی

میزان عددی	ترجیح‌ها
۹	به طور کامل مهم‌تر یا مطلوب‌تر
۷	اهمیت خیلی قوی
۵	اهمیت یا مطلوبیت قوی
۳	کمی مطلوب‌تر یا کمی مهم‌تر
۱	اهمیت یا مطلوبیت یکسان
۲، ۴، ۶، ۸	اولویت بین فاصله‌ها



شکل ۲- وزن عوامل مؤثر و ضریب ناسازگاری به دست آمده در نرم افزار SuperDecisions

به منظور تعیین دقت در انجام محاسبات، ضریب ناسازگاری کمتر از ۰/۱ قابل قبول است (Ghodsipoure, 2006) که ضریب ناسازگاری در تحقیق حاضر ۰/۰۵۶۲ به دست آمد. سپس معادله بدست آمده با توجه به وزن‌های محاسبه شده از رابطه نسبت فراوانی برای هر کلاس عامل و تحلیل سلسله مراتبی در کلیه واحدهای نقشه اعمال شد و نقشه پهنه‌بندی ترسیم شد (رابطه ۲).

$$M = 0/161166 X_1 + 0/158784 X_2 + 0/152511 X_3 + 0/143928 X_4 + 0/112956 X_5 + 0/099872 X_6 + 0/052098 X_7 + 0/042227 X_8 + 0/040736 X_9 + 0/035723 X_{10} \quad (\text{رابطه } 2)$$

که در این رابطه M عامل حساسیت و  $X_1$  تا  $X_{10}$  به ترتیب عامل‌های زمین‌شناسی، درجه شیب، فاصله از آبراهه، فاصله از جاده، کاربری اراضی، فاصله از گسل، شاخص پوشش گیاهی تفاضلی نرمال شده (NDVI)، شکل شیب، جهت شیب و ارتفاع از سطح دریا می‌باشد. سپس نقشه پهنه‌بندی حاصل به چهار کلاس حساسیت زمین لغزش براساس شکستگی‌های طبیعی طبقه‌بندی شد. طبق بررسی‌های مقتدر و همکاران (۱۳۸۹) این روش کلاس‌بندی در تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر وقوع زمین لغزش از صحت و دقت بالاتری نسبت روش‌های دیگر برخوردار است.

### ۳- نتایج

مقادیر حاصل از ارتباط بین هر عامل با لغزش‌های رخ داده در حوزه و نیز رابطه نسبت فراوانی برای هر کلاس عامل‌های مذکور در جداول ۱ تا ۱۰ آمده است. بررسی طبقات ارتفاعی نشان داد که کلاس ارتفاعی ۵۰۰-۱۰۰۰ با ۵۶/۳۸۳٪ زمین لغزش‌ها بیشترین تعداد زمین لغزش‌ها و کلاس ارتفاعی ۵۰-۰ دارای بیشترین وزن می‌باشد. در ارتفاع بالاتر از ۲۰۰۰ متر هیچ لغزشی مشاهده و ثبت نشده است که بیانگر کاهش حساسیت به خطر زمین لغزش با افزایش ارتفاع است، اگرچه پاچوری و پنت (۱۹۹۲) معتقدند که هرچه ارتفاع بیشتر شود، حساسیت به خطر زمین لغزش در منطقه بیشتر می‌شود که علت آن را می‌توان افزایش نزولات به صورت برف، ماندگاری بیشتر آن و تسریع عمل یخ‌بندان و ذوب در ارتفاعات بالا دانست (ایلانو و همکاران، ۱۳۸۹). اما چنانچه در ارتفاعات بالا فراوانی لغزش کمتر گردد نشان‌دهنده آن است که در منطقه عوامل دیگری همچون لیتولوژی مقاوم به لغزش در منطقه می‌باشد (مرادی و همکاران، ۱۳۸۹). بیشترین وزن برای عامل زمین‌شناسی مربوط به کلاس A است که شامل نهشته‌ها و پادگانه‌های آبرفتی سخت نشده دوره کواترنر می‌باشد، این در حالی است که بیشترین درصد زمین لغزش‌های رخ داده در واحدهای سنگ‌شناسی سازند شمشک با ۳۷/۲۳۴ درصد واقع شده است. در مورد عامل شیب نیز با اینکه بیشترین درصد زمین لغزش‌ها مربوط به کلاس ۱۵-۳۰ درجه با ۵۲/۱۲۷ درصد می‌باشد که با نظرات محمدی و همکاران (۲۰۰۷) و مرادی و همکاران (۱۳۸۹) مطابقت دارد. اما بیشترین وزن مربوط به کلاس ۱۵-۵ درجه بوده که دلیل آن را می‌توان جاده‌سازی و ساخت و سازهای غیر اصولی که سبب قطع شیب در منطقه شده است دانست. در مناطق با شیب بالای ۵۰ درجه هیچ لغزشی مشاهده و ثبت نشده است که می‌توان دلیل آن را رخنمون سنگی و عدم وجود لایه خاک در شیب‌های بالا دانست. بررسی عناصر خطی شامل فاصله از آبراهه، جاده و گسل نشان داده که با توجه به اینکه بیشترین درصد لغزش‌ها به ترتیب در فاصله بیشتر از ۴۰۰ متر برای آبراهه و گسل و بیشتر از ۵۰۰ متر برای جاده با ۲۸/۷۲۳٪، ۳۱/۹۱۵٪ و ۳۰/۸۵۱٪ می‌باشد ولی

بیشترین وزن در محاسبات به کلاس ۱۰۰-۰ برای فاصله از آبراهه و جاده و کلاس ۳۰۰-۲۰۰ برای فاصله از غسل اختصاص داده شد که با نظر مزوقی و همکاران (۲۰۱۱) مطابقت دارد.

جدول ۲- مقادیر حاصل از ارتباط بین عامل درجه شیب و لغزش های رخ داده

نسبت فراوانی	درصد پیکسل های لغزشی	تعداد پیکسل های لغزشی	درصد پیکسل های فاقد لغزشی	تعداد پیکسل های فاقد لغزش	کلاس بر حسب درجه
۱/۲۱۱	۸/۵۱	۸	۷/۰۲۴	۶۸۹۱۳۶	۰-۵
۱/۲۶۵	۲۵/۵۳۲	۲۴	۲۰/۱۸۳	۱۹۸۰۱۴۷	۵-۱۵
۱/۰۵	۵۲/۱۲۷	۴۹	۴۹/۶۴۴	۴۸۷۰۶۰۴	۱۵-۳۰
۰/۶۳۲	۱۳/۸۳	۱۳	۲۱/۸۶۵	۲۱۴۵۲۵۵	۳۰-۵۰
.	.	.	۱/۲۸۳	۱۲۵۹۰۵	<۵۰

جدول ۳- مقادیر حاصل از ارتباط بین عامل ارتفاع از سطح دریا و لغزش های رخ داده

نسبت فراوانی	درصد پیکسل های لغزشی	تعداد پیکسل های لغزشی	درصد پیکسل های فاقد لغزش	تعداد پیکسل های فاقد لغزش	کلاس بر حسب متر
۲/۳۹۶	۱۳/۸۳	۱۳	۵/۷۷	۵۶۶۱۲۰	۰-۵۰۰
۱/۵۸۱	۵۶/۳۸۳	۵۳	۳۵/۶۶۳	۳۴۹۸۹۳۰	۵۰۰-۱۰۰۰
۰/۷۰۸	۲۳/۴۰۴	۲۲	۳۱/۵۴	۳۰۵۶۶۰۹	۱۰۰۰-۱۵۰۰
۰/۳۲۵	۶/۳۸۳	۶	۱۹/۶۱۸	۱۹۲۴۹۰۳	۱۵۰۰-۲۰۰۰
.	.	.	۶/۱۰۲	۵۹۸۷۱۴	۲۰۰۰-۲۵۰۰
.	.	.	۱/۲۵۱	۱۲۲۷۸۲	۲۵۰۰-۳۰۰۰
.	.	.	۰/۴۳۸	۴۲۹۸۹	>۳۰۰۰

جدول ۴- مقادیر حاصل از ارتباط بین عامل جهت شیب و لغزش های رخ داده

نسبت فراوانی	درصد پیکسل های لغزشی	تعداد پیکسل های لغزشی	درصد پیکسل های فاقد لغزش	تعداد پیکسل های فاقد لغزش	کلاس
۰/۴۳۱	۶/۳۸۳	۶	۱۴/۷۸۸	۱۴۵۰۸۸۸	شمال
۰/۵۹	۷/۴۴۶	۷	۱۲/۶۰۴	۱۲۳۶۶۰۹	شمال شرقی
۱/۰۰۲	۱۰/۶۳۸	۱۰	۱۰/۶۱	۱۰۴۱۰۱۵	شرق
۱/۰۳۷	۱۰/۶۳۸	۱۰	۱۰/۲۶۱	۱۰۰۶۷۶۴	جنوب شرقی
۱/۷۰۵	۱۸/۱	۱۷	۱۰/۶۱۱	۱۰۴۱۰۰۵	جنوب
۱/۴۴۷	۱۷/۰۲۱	۱۶	۱۱/۷۶	۱۰۸۶۷۱۲	جنوب غربی
۱/۶۳۷	۱۹/۱۴۹	۱۸	۱۱/۶۹۵	۱۱۴۷۴۱۵	غرب
۰/۷۵۱	۱۰/۶۳۸	۱۰	۱۴/۱۶۹	۱۳۹۰۱۱۶	شمال غربی

جدول ۵- مقادیر حاصل از ارتباط بین عامل لیتولوژی و لغزش‌های رخداده

نسبت فراوانی	درصد پیکسل‌های لغزشی	تعداد پیکسل‌های لغزشی	درصد پیکسل‌های فاقد لغزش	تعداد پیکسل‌های فاقد لغزش	کلاس
۳/۹۸۹	۱۹/۱۴۹	۱۸	۴/۸	۴۷۰۸۳۵	A
۰/۶۹۳	۳۷/۲۳۴	۳۵	۵۳/۷۱۲	۵۲۶۹۷۳۹	B
۱/۱۷۸	۲۵/۵۳۲	۲۴	۲۱/۶۶۸	۲۱۲۵۸۹۴	C
.	.	.	۰/۷۱۳	۶۹۹۴۱	D
۰/۴۱۷	۴/۲۵۵	۴	۱۰/۲۱۴	۱۰۰۲۱۰۶	E
۱/۳۵۸	۷/۴۴۶	۷	۵/۴۸۱	۵۳۷۷۵۷	F
۱/۸۷۱	۶/۳۸۳	۶	۳/۴۱۲	۳۳۴۷۷۵	G

A: نهشته‌ها و پادگانه‌های آبرفتی سخت نشده، B: سنگ‌های ماسه‌ای، شیلی و سنگ‌های سیلته‌ای، C: تناوب مارن و مارن سیلت‌دار با کنگلومرا، D: سنگ‌های آتشفشانی (بازالتی و آندزیتی)، E: سنگ‌های دولومیتی سخت، F: سنگ‌های آهکی و مارنی، G: سنگ‌های کنگلومرای و ماسه‌سنگی سخت

جدول ۶- مقادیر حاصل از ارتباط بین عامل کاربری اراضی و لغزش‌های رخداده

نسبت فراوانی	درصد پیکسل‌های لغزشی	تعداد پیکسل‌های لغزشی	درصد پیکسل‌های فاقد لغزش	تعداد پیکسل‌های فاقد لغزش	کلاس
۱/۳۷	۶۸/۰۸۵	۶۴	۴۹/۶۷۲	۴۸۷۳۳۲۲	جنگل
۰/۶۹۹	۲۱/۲۷۶	۲۰	۳۰/۴۲۴	۲۹۸۴۹۳۲	مرتع
۰/۴۹۴	۷/۴۴۷	۷	۱۵/۰۷۷	۱۴۷۹۲۳۰	مخلوط باغ و کشاورزی
۰/۶۶۱	۳/۱۹۱	۳	۴/۸۲۶	۴۷۳۴۹۳	مسکونی

جدول ۷- مقادیر حاصل از ارتباط بین عامل فاصله از گسل و لغزش‌های رخداده

نسبت فراوانی	درصد پیکسل‌های لغزشی	تعداد پیکسل‌های لغزشی	درصد پیکسل‌های فاقد لغزش	تعداد پیکسل‌های فاقد لغزش	کلاس
۱/۲۵	۲۶/۵۹۵	۲۵	۲۱/۲۷۴	۲۰۸۷۱۹۲	۰-۱۰۰
۰/۶۵۴	۱۱/۷۰۲	۱۱	۱۷/۸۹۵	۱۷۵۵۶۵۲	۱۰۰-۲۰۰
۱/۲۷۲	۱۹/۱۴۹	۱۸	۱۵/۰۵۴	۱۴۷۷۰۲۱	۲۰۰-۳۰۰
۱/۲۲۴	۱۳/۸۳	۱۳	۱۱/۳	۱۱۰۸۵۷۴	۳۰۰-۴۰۰
۰/۸۳۳	۲۸/۷۲۳	۲۷	۳۴/۴۷۷	۳۳۸۲۶۰۸	>۴۰۰

**جدول ۸- مقادیر حاصل از ارتباط بین عامل فاصله از شبکه آبراهه و لغزش‌های رخ داده**

نسبت فراوانی	درصد پیکسل‌های لغزشی	تعداد پیکسل‌های لغزشی	درصد پیکسل‌های فاقد لغزش	تعداد پیکسل‌های فاقد لغزش	کلاس
۱/۸۱۲	۲۴/۴۶۸	۲۳	۱۳/۴۹۷	۱۳۲۴۱۷۴	۰-۱۰۰
۱/۱۶۳	۱۳/۸۳	۱۳	۱۱/۸۸۹	۱۱۶۶۴۴۸	۱۰۰-۲۰۰
۱/۷۷	۲۰/۲۱۲	۱۹	۱۱/۴۱۸	۱۱۲۰۲۶۴	۲۰۰-۳۰۰
۰/۹۲۲	۹/۵۷۴	۹	۱۰/۳۸۶	۱۰۱۸۹۶۶	۳۰۰-۴۰۰
۰/۶۰۴	۳۱/۹۱۵	۳۰	۵۲/۸۱	۵۱۸۱۱۹۵	۴۰۰<

**جدول ۹- مقادیر حاصل از ارتباط بین عامل فاصله از جاده و لغزش‌های رخ داده**

نسبت فراوانی	درصد پیکسل‌های لغزشی	تعداد پیکسل‌های لغزشی	درصد پیکسل‌های فاقد لغزش	تعداد پیکسل‌های فاقد لغزش	کلاس
۲/۶۳۷	۲۱/۲۷۶	۲۰	۸/۰۶۷	۷۹۱۴۷۷	۰-۱۰۰
۲/۲۶۹	۱۵/۹۵۷	۱۵	۷/۰۳۱	۶۸۹۸۸۱	۱۰۰-۲۰۰
۱/۹۱۱	۱۲/۷۶۶	۱۲	۶/۶۷۹	۶۵۵۲۷۲	۲۰۰-۳۰۰
۲/۶۳۴	۱۵/۹۵۷	۱۵	۶/۰۵۸	۵۹۴۳۴۱	۳۰۰-۴۰۰
۰/۵۷	۳/۱۹۱	۳	۵/۶۰۸	۵۵۰۱۹۱	۴۰۰-۵۰۰
۰/۴۶۳	۳۰/۸۵۱	۲۹	۶۶/۵۵۶	۶۵۲۹۸۸۵	>۵۰۰

**جدول ۱۰- مقادیر حاصل از ارتباط بین عامل شاخص پوشش گیاهی و لغزش‌های رخ داده**

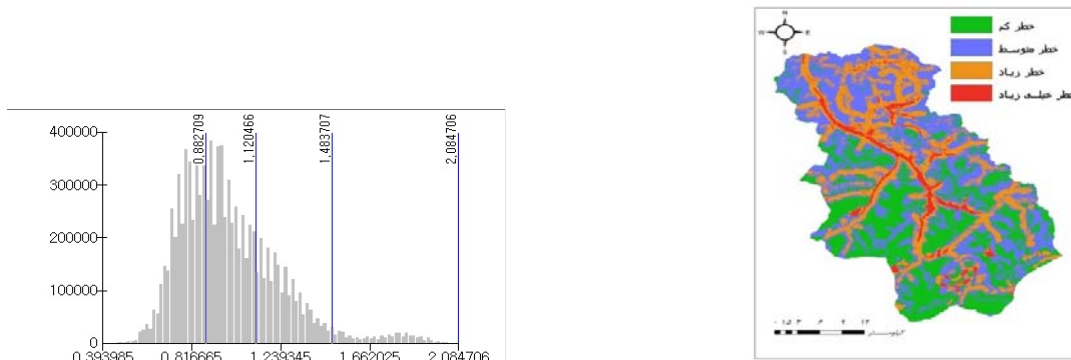
نسبت فراوانی	درصد پیکسل‌های لغزشی	تعداد پیکسل‌های لغزشی	درصد پیکسل‌های فاقد لغزش	تعداد پیکسل‌های فاقد لغزش	کلاس
۰/۹۹۵	۹۵/۷۴۴	۹۰	۹۶/۱۸۴	۹۴۳۶۶۹۸	< -۰/۰۰۱
۲/۰۶۲	۱/۰۶۴	۱	۰/۵۱۶	۵۰۶۶۲	- ۰/۰۰۱ - ۰
۱/۲۱۴	۲/۱۲۸	۲	۱/۷۵۳	۱۷۲۰۱۳	۰ - ۰/۰۵
۰	۰	۰	۰/۶۶۱	۶۴۸۷۱	۰/۰۵ - ۰/۱
۱/۲۶۷	۱/۰۶۴	۱	۰/۸۴	۸۲۴۴۱	۰/۱ - ۰/۵
۰	۰	۰	۰/۰۴۳	۴۱۵۰	۰/۵ <

**جدول ۱۱- مقادیر حاصل از ارتباط بین عامل شکل شیب و لغزش‌های رخ داده**



کلاس	تعداد پیکسل‌های فاقد لغزش	درصد پیکسل‌های فاقد لغزش	تعداد پیکسل‌های لغزشی	درصد پیکسل‌های لغزشی	نسبت فراوانی
مقعر	۴۵۲۵۹۳۴	۴۱/۱۸۷	۴۶	۴۳/۶۱۷	۱/۰۵۹
مسطح	۸۰۴۰۱۵	۸/۱۹۶	۵	۵/۳۱۹	۰/۶۴۹
محدب	۴۴۸۱۰۹۸	۴۵/۶۷۴	۴۸	۵۱/۰۶۴	۱/۱۱۸

بررسی عامل کاربری اراضی، نشان می‌دهد که ۶۸/۰۸۵ درصد لغزش‌های منطقه در اراضی جنگلی که ۴۹/۶۷۲٪ سطح منطقه را به خود اختصاص داده به وقوع پیوسته است که یکی از دلایل اصلی آن را می‌توان ساخت جاده‌های جنگلی دانست که متأسفانه به دلیل عدم مدیریت صحیح در احداث آن‌ها سبب قطع شیب و ایجاد کشش‌های جانبی در منطقه مورد مطالعه شده است. از طرف دیگر خاک اراضی جنگلی با جذب بالای آب و در صورت مساعد بودن سایر شرایط، باعث تشدید خطر وقوع زمین‌لغزش در منطقه می‌شود. نتایج بدست آمده با مطالعه پورقاسمی و همکاران (۱۳۸۶) در حوزه صفارود مطابقت دارد. طبق نتایج این پژوهش شیب‌های غربی و جنوبی به ترتیب با ۱۹/۱۴۹٪ و ۱۸/۱٪ بیشترین درصد زمین‌لغزش‌ها در منطقه را دارا بودند. در مورد ارزیابی تاثیر شاخص پوشش گیاهی باید گفت که ۹۶/۸۰۸٪ زمین‌لغزش‌های منطقه در محدوده کلاس‌های با ارزش کمتر از صفر قرار دارد. مقادیر بسیار کم (زیر ۰/۰۱) مربوط به مناطق بایر، شن و ماسه و یا برف، ارزش‌های متوسط (۰/۲ تا ۰/۴) نشان‌دهنده پوشش درختچه‌ای و مراتع و ارزش‌های بالا (۰/۶ تا ۰/۸) نشان‌دهنده جنگل‌های انبوه می‌باشند (Weier and Herring, 2005). همچنین نتایج بدست آمده از بررسی شکل شیب دامنه‌ها در منطقه بیانگر ناپایداری بیشتر شیب‌های محدب در مقایسه با شیب‌های مقعر می‌باشد که با نتایج مطالعه فوستر (۲۰۰۳) مطابقت دارد. دلیل آن را می‌توان تاثیر کم نگهداری جانبی توسط مواد دو طرف دامنه لغزشی دانست. طبق محاسبات انجام شده بیشترین تاثیر در وقوع زمین‌لغزش‌ها مربوط به عامل زمین‌شناسی و شیب می‌باشد. در نهایت با استفاده از جمع وزن‌های بدست آمده برای هر کلاس عامل به روش نسبت فراوانی و وزن حاصله برای هر عامل به روش تحلیل سلسله مراتبی در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)، نقشه پهنه‌بندی حساسیت برای حوزه آبخیز تالار تهیه گردید. کلاس‌بندی نقشه حساسیت بر اساس نقاط شکست نمودار هیستوگرام شکستگی‌های طبیعی در محیط GIS انجام گرفت و بازه اعداد حساسیت به چهار کلاس حساسیت کم، حساسیت متوسط، حساسیت زیاد و حساسیت خیلی زیاد تقسیم‌بندی گردید (شکل ۳). خطوط آبی رنگ و اعداد درج شده بالای آن بیانگر نقاط شکست نمودارهای هیستوگرام و رده‌های مختلف حساسیت و مرز کلاس‌بندی را نشان می‌دهد.



شکل ۳- مرزبندی کلاس‌های خطر با استفاده از نقاط شکست نمودار هیستوگرام شکل ۴- نقشه حساسیت منطقه مورد بررسی

براساس نقشه بدست آمده، ۳۵/۷۸٪ درصد سطح منطقه دارای حساسیت کم، ۳۸/۰۵٪ درصد دارای حساسیت متوسط، ۲۲/۱۴٪ درصد دارای حساسیت زیاد و ۴/۰۳٪ درصد دارای حساسیت بسیار زیاد در منطقه می‌باشند که آخرین مرحله ارزیابی نقشه حاصل شده می‌باشد. با توجه به اینکه برای پهنه‌بندی حساسیت از زمین لغزش‌های منطقه بهره‌گیری شد، بنابراین نمی‌توان برای ارزیابی نقشه پهنه‌بندی حاصل شده از همان لغزش‌ها بهره‌گیری کرد (Remendo et al., 2003). برای حل این مشکل یک سوم نقاط لغزشی که در مدلسازی استفاده نشدند برای ارزیابی مدل مذکور مورد استفاده قرار گرفت (کوماک، ۲۰۰۶؛ پورقاسمی، ۱۳۸۸). طبق نتایج ارزیابی حدود ۷۰٪ درصد لغزش‌ها در کلاس حساسیت زیاد و خیلی زیاد واقع شده‌اند که بیانگر دقت مناسب روش ارایه شده در تهیه نقشه پهنه‌بندی حساسیت به وقوع زمین‌لغزش در مناطقی با شرایط فیزیوگرافی مشابه می‌باشد.

#### ۴- نتیجه‌گیری

با مطالعه و پهنه‌بندی حساسیت به زمین‌لغزش در بخشی از حوزه آبخیز تالار چنین بر می‌آید که پتانسیل زمین‌لغزش در این حوزه بالاست. با توجه به حساسیت بالای سازندهای کواترنر و شمشک و نیز کاربری جنگل به دلیل وسعت زیاد این کاربری، هر گونه سیاست‌گذاری به منظور تغییر کاربری و ساخت و ساز که سبب افزایش وزن بار در دامنه‌های ناپایدار می‌شود بایستی با لحاظ شرایط ژئومورفولوژی و زمین‌شناسی منطقه انجام پذیرد. از طرفی به دلیل بکر بودن منطقه از نظر مطالعات زمین‌لغزش و همچنین به منظور ارایه مدل منطقه‌ای دقیق‌تر و جامع‌تر پهنه‌بندی حساسیت به زمین‌لغزش، لزوم استفاده از روش‌های مختلف و نوین به ویژه روش‌های مبتنی بر هوش مصنوعی و منطق فازی که قابلیت استفاده از داده‌های محاوره‌ای و غیردقیق را دارند ضروری می‌باشد.

## ۵- مراجع

- ۱- احمدی، ح.، ش. محمدخان، س. فیض نیا و ج. 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، ۵۸: ۳-۱۴.
- ۲- ایلاتلو، م.، ا. مقیمی، م.، ر. ثروتی و م. قهرودی تالی، ۱۳۸۹. پهنه‌بندی خطر حرکات توده‌ای با استفاده از روش منطق فازی (مطالعه موردی: حوضه آبریز سیرا). مجله چشم‌انداز جغرافیایی، سال پنجم، شماره ۱۱، ۲۶-۱۲.
- ۳- پورقاسمی، ح.، ر.، ح. ر. مرادی و م. محمدی، ۱۳۸۶. پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با روش آماری Frequency ratio در حوزه آبخیز صفارود، سومین کنفرانس سراسری آبخیزداری و مدیریت منابع آب و خاک، آذرماه ۱۳۸۶، ۱۷۴-۱۷۹.
- ۴- پورقاسمی، ح.، ر.، ح. ر. مرادی، م. محمدی، م. فاطمی عقدا و م. ر. مهدویفر، ۱۳۸۸. ارزیابی خطر زمین‌لغزش با استفاده از تصمیم‌گیری چند معیاره فازی، مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، شماره ۸، ۶۲-۵۱.
- ۵- پورقاسمی، ح.، ر.، ح. ر. مرادی، م. محمدی و م. ر. مهدویفر، ۱۳۸۶. تهیه نقشه حساسیت به زمین‌لغزش و ارزیابی آن با استفاده از اپراتورهای فازی، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، شماره ۴۶، ۳۸۹-۳۷۵.
- ۶- شادفر، ص.، م. یمانی، ج. قدوسی و ج. غیومیان، ۱۳۸۶. پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی (مطالعه موردی: حوزه آبخیز چالکرد تنکابن)، مجله پژوهش و سازندگی در منابع طبیعی، شماره ۷۵، ۱۲۶-۱۱۸.
- ۷- قنوتی، ع.، ۱۳۹۰. پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه جاجرود با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیا، جلد ۱۷، شماره ۲۰، ۶۷-۵۱.
- ۸- گرایبی، پ و ح. کریمی، ۱۳۸۹. تعیین مناسب‌ترین روش پهنه بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه آبخیز سد ایلام. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، دوره ۲۵، شماره ۹۶، ۱۲۷-۱۰۱.
- ۹- مقتدر، ع.، ع. بحرودی، م.، ع. شریفی و م. مهدیفر، ۱۳۸۹. بکارگیری روش‌های تجزیه تحلیل مکانی برای تعیین مرز پهنه‌های خطر در نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین لغزش، نشریه علمی-ترویجی مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی، دوره اول، شماره ۲، ۱۰۹-۹۷.
- ۱۰- محمدی، م.، ح. ر. مرادی، س. فیض‌نیا و ح. ر. پورقاسمی، ۱۳۸۸. ارزیابی کارایی مدل‌های عامل اطمینان، ارزش اطلاعاتی و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش، نشریه مرتع و آبخیزداری، مجله منابع طبیعی ایران، شماره ۴، ۵۵۱-۵۳۹.
- ۱۱- مرادی، ح.، ر.، ح. ر. پورقاسمی، م. محمدی و م. ر. مهدیفر، ۱۳۸۹. پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با استفاده از اپراتور فازی گاما (مطالعه موردی: حوزه آبخیز هراز)، مجله علوم محیطی، سال هفتم، شماره چهارم، ۱۴۲-۱۲۹.
- ۱۲- مهدویفر، م.، ر.، ۱۳۷۶. پهنه‌بندی خطر زمین لغزش منطقه خورش رستم (جنوب غربی شهرستان خلخال)، پایان نامه کارشناسی ارشد زمین شناسی مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس تهران.
- 13- Avinash, K. G and K. G. Ashamanjari, 2010. A GIS and frequency ratio based landslide susceptibility mapping Aghnashini river catchment, Uttara Kannada, India.
- 14- Cascini, L., C. H. Bonnard, J. Corominas, R. Jibson and J. Montero-Olarte, 2005. Landslide hazard and risk zoning for urban planning and development. *Landslide Risk Management – Hungr, Fell, Couture & Eberhardt*.
- 15- Foster, G. R., 2003. USER'S REFERENCE GUIDE. Revised Universal Soil Loss Equation Version 2, (RUSLE2).
- 16- Fatemi Aghda, M., J. Ghiomian and A. Eshgheli Farahani, 2006. Investigation Landslide hazard using Fuzzy logic (Case study: Roudbar area), *Journal Science of Tehran University*, 31(1): 43-64.
- 17- Ghodsipour, H., 2006. Discussion about multi criteria decision and AHP, publication Amir Kabir Industry University, 220 pp.
- 18- Hansen, A., 1984. Landslide hazard analysis. In: slope instability. Eds., Brunnsden, D. Prior, D.P., John Wiley and Sons Ltd, 523-602.
- 19- Hutchinson, J. N., 1995. Landslide hazard assessment. Proc., 6th Int., Symposium on Landslide, Christchurch, 1, New Zealand, 1805-1842.
- 20- Jadda, M., H. Z. M. Shaffi, S. B. Mansor, M. Sharifikia, and S. Pirasteh, 2009. Landslide Susceptibility Evaluation and Factor Effect Analysis Using Probabilistic-Frequency Ratio Model. *European Journal of Scientific Research*, ISSN 1450-216X, 33(4): 654-668.
- 21- Komac, M., 2006. A landslide susceptibility model using the Analytical Hierarchy Process method and multivariate statistics in perialpine Slovenia. *journal of Geomorphology*, 74: 17-28.
- 22- Lan, H. X., O. H. Zhou, L. J. Wang, H. J. Zhang and R. H. Li, 2004. Landslide watershed, Yunnan, china. *Engineering geology*, 76: 101-128.

- 23- Mohammadi, M., H. R. Moradi, H. R. Pourghasemi and M. Davodi, 2007. Investigation of natural slopes instability and its application to landuse planning using GIS, The first national meeting landuse planning, Hamedan University Azad, 91-92.
- 24- Mezughi T. H., J. Akhir, A. G. H. Rafek and E. Abdullah, 2011. Landslide Susceptibility Assessment using Frequency Ratio Model Applied to an Area along the E-W Highway (Gerik-Jeli), *American Journal of Environmental Sciences* 7(1): 43-50.
- 25- Remendo, J., A. Gonzales, J. Teran, A. Cendrero, A. Fabbri and C. Chung, 2003. Validation of landslide susceptibility maps, examples and applications from a case study in northern Spain, *Natural Hazard*, 437-449.
- 26- Serivastava, V., H. B. Serivastava, and R. C. Lakhera, 2010. Fuzzy gamma based geomatic modeling for landslide hazard susceptibility in a part of tons river valley, northwest Himalaya, *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 1(3): 225-242.
- 27- Varnes, D. J., 1984. Landslide hazard zonation: a review of principles and practice. UNESCO, Paris, 1-55.
- 28- Weier, J and D. Herring, 2005. Measuring vegetation (NDVI and EVI). Earth Observatory Library of NASA, [http://earthobservatory.nasa.gov/Library/Measuring\\_Vegetation/](http://earthobservatory.nasa.gov/Library/Measuring_Vegetation/).



Quarterly Journal of  
Environmental Erosion Researches  
No. 12, winter 2014, pp: 17-29  
[www.magazine.hormozgan.ac.ir](http://www.magazine.hormozgan.ac.ir)

## Landslide susceptibility mapping using fusion models of frequency ratio (FR) and Analytical Hierarchy Process (AHP)

Milad foroozanfar<sup>1</sup>, Ghorban vahabzadeh<sup>2\*</sup> and Hamidreza porghasemi

- 1- Milad foroozanfar, Former MSc student of Watershed management Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources
- 2- Ghorban vahabzadeh, Asistant pro. Of Sari Agricultural Sciences and natural Resources
- 3- Hamidreza porghasemi, Former PhD Student of Watershed management Engineering College of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University

### Abstract

Landslide susceptibility zonation mapping is necessary in urban and rural development planning. So far different methods are presented for Landslide susceptibility zonation. In this study, using statistical method of Frequency ratio and Analytical Hierarchy Process (AHP) based on paired comparison and intervention based such as slope, aspect, altitude, geology, land use, Normalized vegetation index (NDVI), curvature and the linear elements waterways, road and fault, landslide susceptibility map was prepared as part of the Talar watershed in the Mazandaran province. Results showed that 35/78% of the area has low Susceptibility, 38/05% of the area has moderate Susceptibility, 22/14% of the area has high Susceptibility and 4/03% is a very high Susceptibility area.

**Keywords:** Landslide, Frequency ratio, Analytical Hierarchy Process, Talar watershed