

## شناسایی مناطق مستعد پدیده زمین لغزش با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی در مسیر جدید راه آهن درود- خرم آباد

محمد پارسا صدر<sup>۱\*</sup>، حسین حسینی<sup>۲</sup>، محمدعلی پورابراهیم عمران<sup>۱</sup>، فرید دانشور<sup>۳</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه صنعتی امیرکبیر - تهران - خیابان حافظ - دانشگاه صنعتی امیرکبیر تهران

۲- دانشیار دانشگاه صنعتی امیرکبیر تهران

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه صنعتی اصفهان - اصفهان - دانشگاه صنعتی اصفهان

m.parsasadr@aut.ac.ir

### چکیده

در مرحله طراحی سازندهای مهندسی از قبیل خطوط راه آهن، نیاز به شناسایی مناطق مستعد پدیده زمین لغزش احساس می شود، تا از این طریق از خسارات احتمالی جلوگیری شود. ناحیه مورد مطالعه در بین شهرستان های خرم آباد و درود در مرکز استان لرستان واقع شده است و حدود ۴۶۰ کیلومتر مربع وسعت دارد. واکنش بین زمین شناسی محلی، شرایط آب و هوایی، کاربری متفاوت اراضی و توپوگرافی منطقه، باعث قابلیت های متفاوت اراضی نسبت به پدیده زمین لغزش شده است. برای پردازش داده ها و به دست آوردن نقشه LSZ، با استفاده از تکنیک های RS&GIS، یک پایگاه داده ای مشتکل از یازده لایه داده تهیه شد که عبارت اند از نقشه گسل ها و شکستگی های محدوده طرح، نقشه زهکشی، نقشه بارندگی، نقشه هم لرزه، نقشه طبقه بندی شیب، نقشه پستی و بلندی منطقه، نقشه کاربری اراضی و پوشش گیاهی، نقشه طبقه بندی لیتولوژی، نقشه فاصله از گسل، نقشه چگالی زهکشی و نقشه تراکم خطوارگی. برای به دست آوردن معیار قابلیت وقوع زمین لغزش (LS)، از روش دانش مبنای فرآیند تحلیل سلسله مراتبی استفاده شده است. در این روش، فاکتورهای مختلف بر اساس قضاوت شفاهی با هم مقایسه می شوند. در نهایت، منطقه براساس قابلیت وقوع زمین لغزش به پنج دسته تقسیم شد که عبارت اند از؛ خیلی زیاد، زیاد، متوسط، کم و بسیار کم. مناطق با خطر زیاد و خیلی زیاد، باید برای مراحل اجرایی طرح، پایدارسازی شوند.

**کلمات کلیدی:** سنجش از دور، سامانه اطلاعات جغرافیایی، فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، قابلیت وقوع زمین لغزش (LS)، راه آهن درود-خرم آباد

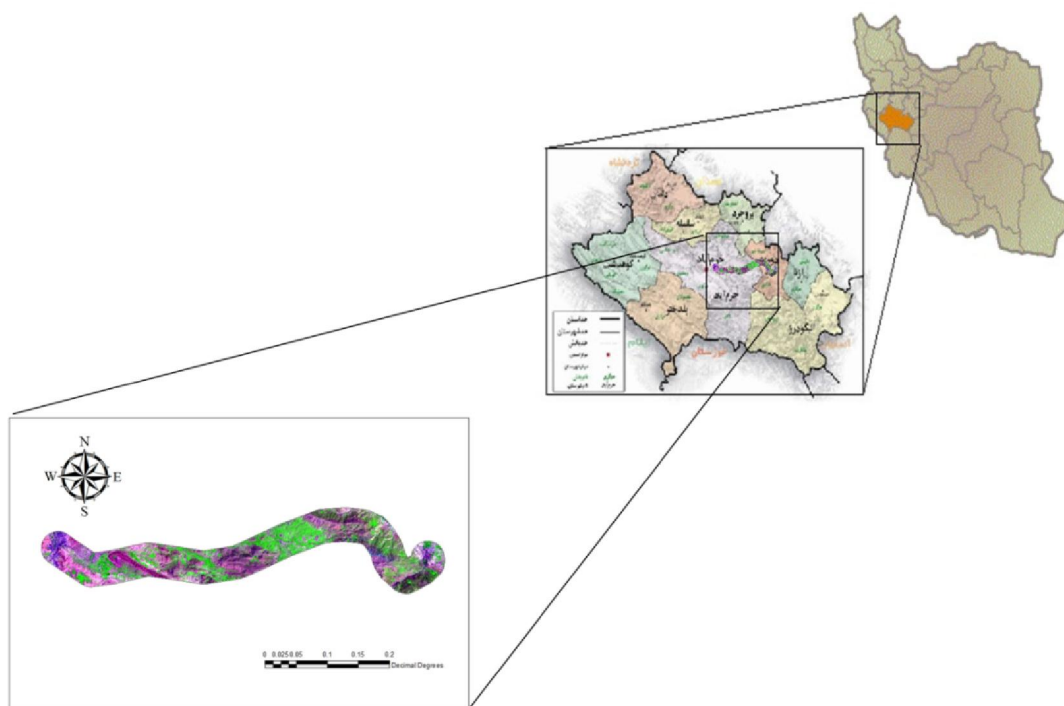
### ۱- مقدمه

زمین لغزش ها یکی از مخرب ترین فرآیندهای زمین شناسی هستند، که نه تنها موجب خسارات فراوان به جاده ها، خطوط راه آهن، پل ها، ساختمان ها و سایر سازندهای مهندسی می شوند، بلکه باعث تلفات جانی نیز می شوند. (S.Sarkar and D.P.Kanugo, 2004) در مرحله طراحی سازندهای مهندسی از قبیل خطوط راه آهن، نیاز به شناسایی مناطق مستعد پدیده زمین لغزش احساس می شود، تا از این طریق از خسارات احتمالی جلوگیری شود؛ زیرا توسعه فعالیت های انسانی، یک عامل شتاب دهنده برای پدیده زمین لغزش به شمار می آید (C.F.Chung, A.G.Fabbri et al. 1995).

زمین لغزش ها یکی از مخاطرات طبیعی متداول در نواحی کوهستانی به شمار می روند، که عمدتاً در اثر زمین لرزه و بارندگی فعال می شود (Pareta, Kumar et al. 2012). واکنش بین زمین شناسی محلی، شرایط آب و هوایی، کاربری متفاوت اراضی و توپوگرافی منطقه، باعث قابلیت های متفاوت اراضی نسبت به پدیده زمین لغزش شده است.

## ۲- ناحیه مورد مطالعه

ناحیه مورد مطالعه در بین شهرستان‌های خرم‌آباد و درود در مرکز استان لرستان واقع شده است و حدود ۴۶۰ کیلومتر مربع وسعت دارد. راه آهن درود- خرم‌آباد ۷۶ کیلومتر طول دارد و حدوداً در بین طول‌های جغرافیایی  $48^{\circ}20'0''E$  و  $49^{\circ}20'0''E$  و عرض‌های جغرافیایی  $33^{\circ}20'0''N$  و  $33^{\circ}30'0''N$  قرار دارد (شکل ۱). ارتفاع متوسط منطقه ۱۱۴۷ متر از سطح دریا می‌باشد. میانگین دمای منطقه ۱۷ درجه سانتیگراد و متوسط بارندگی آن ۵۱۰ میلی‌متر در سال می‌باشد.



شکل ۱- ناحیه مورد مطالعه - سمت راست: ایران - وسط: استان لرستان - چپ: تصویر رنگی کاذب باند RGB 3-4-5 سنجنده ETM+ از محدوده بافر ۳۰۰۰ متری خط راه آهن درود- خرم‌آباد

## ۳- داده‌ها و روش تهیه آن‌ها

برای پردازش داده‌ها و به دست آوردن نقشه LSZ<sup>۱</sup>، با استفاده از تکنیک‌های سنجنش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی، یک پایگاه داده‌ای (Geodatabase) مشکل از یازده لایه داده تهیه شد که عبارت‌اند از نقشه گسل‌ها و شکستگی‌های محدوده طرح، نقشه زهکشی، نقشه بارندگی، نقشه هم‌لرزه، نقشه طبقه‌بندی شیب، نقشه پستی و بلندی منطقه، نقشه کاربری اراضی و پوشش گیاهی، نقشه طبقه‌بندی لیتولوژی، نقشه فاصله از گسل، نقشه چگالی زهکشی و نقشه تراکم خطوارگی (Lineament density). مشخصات داده‌ها و نحوه‌ی تهیه آن‌ها در جدول ۱ نمایش داده شده‌است.

<sup>1</sup> Landslide Susceptibility Zonation

جدول ۱- لایه‌های مختلف داده‌ها/ نقشه‌ها و طرز تهیه آن‌ها

منبع	شرح داده	نوع داده
سازمان فضایی کشور	Landsat, ETM+ 2006	دورسنجی
سازمان نقشه برداری کشور	مقیاس ۱:۵۰۰۰۰	نقشه توپوگرافی
سازمان جغرافیایی ارتش	مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰	نقشه زمین شناسی
سازمان زمین شناسی	مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰	نقشه زمین شناسی
تهیه شده از تصاویر ASTER	مدل رقومی ارتفاعی ۷۲*۷۲ متر	نقشه DEM
سازمان هواشناسی تهران	منحنی هم‌بارندگی ۱۰ ساله	نقشه خطوط هم‌بارش
موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران	منحنی‌های هم‌شتاب لرزه نگاری	نقشه خطوط هم‌لرزه
تهیه شده از تصاویر ماهواره لندست، با استفاده از نرم‌افزارهای ERDAS و ARCGIS، بررسی صحت سنجی با استفاده از ۵۰ نقطه کنترل و برداشت زمینی	با توان تفکیک ۱:۵۰۰۰۰	نقشه کاربری اراضی و پوشش گیاهی
تهیه شده از تصاویر فیلتر شده ETM+، با استفاده از فیلترهای Edge Enhancement در نرم‌افزار ENVI	-	نقشه گسل‌ها و شکستگی‌های محدوده طرح
تهیه شده از تصاویر ETM+، با استفاده از فیلترهای Sharpen در نرم‌افزارهای ARCGIS و LWIS	با توان تفکیک ۱:۵۰۰۰۰	نقشه زهکشی حوضه آبخیز محدوده طرح

### ۳-۱- داده‌های دورسنجی

در این مطالعه از تصاویر سنجنده ETM+ ماهواره Landsat7 استفاده شده است. قبل از شروع به کار، تصحیح رادیومتریک و تصحیح هندسی شدند. در این مطالعه از تصاویر باند ۶، به علت ویژگی‌های حرارتی آن استفاده نشد. برای جداسازی و نمایان شدن هر چه بیشتر عارضه‌ها، از تبدیل‌های مختلفی مانند آنالیز مولفه‌های اصلی (PCA)، اتصال داده‌ها (Data fusion)، ایجاد ترکیب‌های رنگی کاذب و اعمال فیلترهای مختلف در نرم‌افزارهای ENVI و ERDAS، استفاده شد. آبراهه‌های محدوده‌ی طرح، با استفاده از ترکیب رنگی کاذب ۳-۴-۵ در باندهای به ترتیب R، G و B، و استفاده از فیلتر Image Sharpening با استفاده از نرم‌افزارهای ENVI و ARCGIS جداسازی و نقشه زهکشی منطقه از آن‌ها بدست آمد. برای جداسازی خطوارگی‌های منطقه از قبیل گسل‌ها و شکستگی‌ها از تصاویر فیلتر شده باند ۸ سنجنده ETM+، و از طریق مطابقت با نقشه‌های زمین شناسی محدوده طرح، استفاده شده است. فیلترهای به کار رفته برای اعمال بر روی تصاویر، فیلترهای Edge Enhancement از جمله فیلترهای Directional در نرم‌افزار Erdas بودند. نقشه رقومی مدل ارتفاع (DEM) منطقه مورد مطالعه با استفاده از تصاویر ماهواره ASTER و با دقت متوسط ارتفاعی ۲۰ متر تهیه شد و نقشه‌های پستی و بلندی‌ها و زاویه شیب منطقه، از آن مشتق شدند. (A.Hirano, R.Welch et al. 2003)

### ۳-۲- تهیه نقشه کاربری اراضی و پوشش گیاهی

از شاخص اختلاف پوشش گیاهی استاندارد شده (NVDI)، برای تبدیل تصویر پوشش گیاهی به یک تصویر تک بانده استفاده شد؛ سپس با استفاده از قابلیت اتصال داده‌ها (Data fusion)، این باند به باند پانکروماتیک ۸ سنجنده پیوند خورد و یک تصویر با کیفیت از پوشش گیاهی منطقه برای مطالعه کاربری ارضی و پوشش گیاهی منطقه حاصل گردید. داده‌های آموزشی برای طبقه‌بندی کاربری اراضی منطقه، از طریق برداشت صحرایی حدود ۶۰ نقطه کنترلی، تفسیر تصاویر کاذب رنگی ایجاد شده از مرحله قبل و استفاده از نقشه‌های توپوگرافی اقتباس شدند. طبقه‌بندی تصاویر به صورت نظارت شده (Supervised) و تحت شرایط حداکثر شباهت (Maximum Likelihood) و حداقل فاصله (Minimum Distance) اعمال شد. در نهایت پس از صحت سنجی مجدد داده‌ها با استفاده از ۴۰ نقطه کنترلی تصادفی که مکان آن‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS پیش‌بینی شد، نقشه کاربری اراضی با صحت ۹۳ درصد حاصل شد که بر مبنای آن اراضی منطقه به پنج طبقه جنگلی، کشاورزی، مسکونی و صنعتی، مرتع و زمین‌های لم‌یزرع (barren) تقسیم شدند (شکل ۲-۲). (Kelarestaghi, Ahmadi et al. 2006)

### ۳-۳- تهیه نقشه چگالی زهکشی

چگالی زهکشی عبارت است از طول کل آبراهه‌ها و رودخانه‌ها در یک حوضه آبخیز (basin)، تقسیم بر سطح کل حوضه آبخیز ( $\text{km}^2/\text{km}^2$ ). این معیار بیان‌کننده این است که حوضه آبریز (Watershed) با چه کیفیت و کمیتی، زهکشی شده است و به شرایط آب و هوایی و ویژگی‌های فیزیکی حوضه آبخیز بستگی دارد. نوع سنگ درون‌گیر و نفوذپذیری خاک، چگونگی تخلیه حوضه آبریز (Run Off) را تعیین می‌کنند. منطقه مورد مطالعه بر اساس چگالی زهکشی به پنج دسته تقسیم شد (شکل ۲-۲). به طور کلی افزایش چگالی زهکشی موجب افزایش خطر زمین‌لغزش می‌شود.

### ۳-۴- تهیه نقشه فاصله از گسل و تراکم خطوارگی

با مشخص کردن پنج محدوده بافر، نقشه فاصله از گسل در پنج طبقه کمتر از ۵۰۰ متر، ۵۰۰ تا ۱۵۰۰ متر، ۱۵۰۰ تا ۲۵۰۰ متر، ۲۵۰۰ تا ۳۵۰۰ متر و بیش از ۳۵۰۰ متر تهیه شد. (شکل ۲-۲) همچنین تراکم خطوارگی منطقه با استفاده از توابع Density نرم‌افزار ARCGIS به دست آمد و در پنج دسته کم، خیلی کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد طبقه‌بندی شد. (شکل ۲-۲) افزایش تراکم خطوارگی و کاهش فاصله از گسل، احتمال وقوع زمین‌لغزش را افزایش می‌دهند. (Chauhan, Sharma et al. 2010)

### ۳-۵- تهیه نقشه هم‌لرزه و هم‌باران

با استفاده از مطابقت مکانی منطقه مورد مطالعه با نقشه خطوط هم‌شتاب و منحنی هم‌باران ۱۰ ساله، نقشه هم‌باران و هم‌لرزه منطقه مورد مطالعه حاصل شد. (شکل ۲-۲ a و شکل ۲-۲ i)

### ۳-۶- تهیه نقشه لیتولوژی

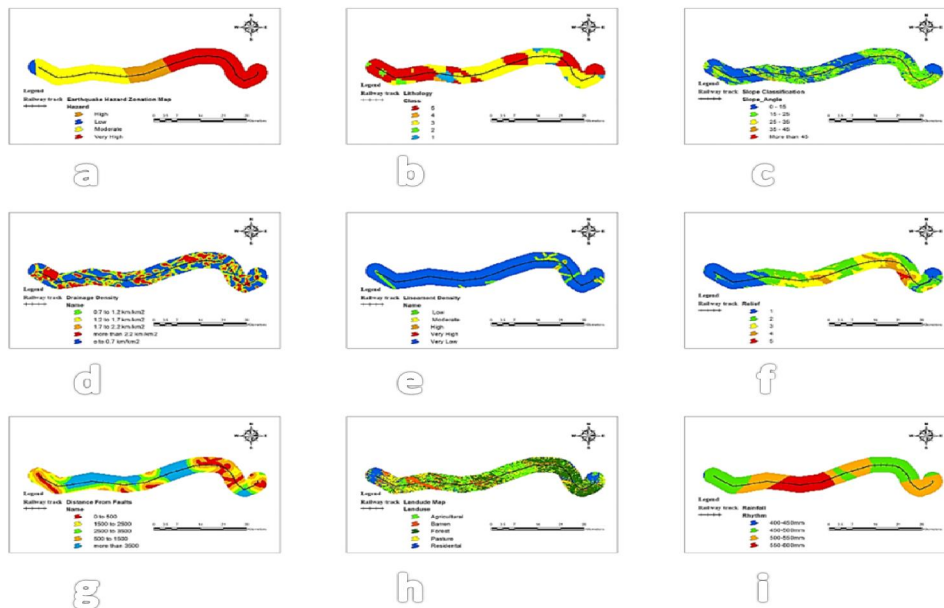
لیتولوژی منطقه بر اساس اطلاعات جدول ۳ به پنج طبقه تقسیم شد، که نقشه آن در شکل ۲-۲ b قابل مشاهده است.

جدول ۳- ارجحیت فاکتورها و تبدیل آن‌ها به مقادیر کمی

میزان تاثیر در ناپایداری	لیتولوژی	طبقه
خیلی کم	سنگ آهک توده‌ای - سنگ آهک ضخیم لایه - دولومیت توده‌ای - سنگ آهک دولومیتی ضخیم لایه - کنگلومرا با سیمان سیلیسی	۱
کم	ماسه سنگ و ماسه سنگ کوارتزی با لایه بندی متوسط و سیمان آهکی - ماسه سنگ آهک دار - سیلتستون - آهک های نازک لایه	۲
متوسط	سنگ آهک مارنی با لایه بندی متوسط - سنگ آهک رسی - ماسه سنگ کوارتزی - شیل های پیریت دار - آهک های دانه متوسط توده ای	۳
زیاد	شیل - آندزیت - مارن گچ دار	۴
بسیار زیاد	رسوبات و آبرفت های عهد حاضر - شن و ماسه - رسوبات پرکننده دره ها و حاوی گچ و مارن	۵

۳-۷- تهیه نقشه زاویه شیب و پستی و بلندی های منطقه

با استفاده از نقشه DEM تهیه شده، منطقه مورد مطالعه از لحاظ زاویه شیب به پنج طبقه کمتر از ۱۵ درجه، ۱۵ تا ۲۵ درجه، ۲۵ تا ۳۵ درجه، ۳۵ تا ۴۵ درجه و بیش از ۴۵ درجه تقسیم شد. (شکل ۲-۲) برای تهیه نقشه اختلاف ارتفاعی و یا پستی و بلندی منطقه، با مقایسه ماتریس پیکسل های ۲۵۰ در ۲۵۰ متر حاصل شده از نقشه DEM، در نرم افزار MATLAB، اختلاف پیکسل های مجاور اندازه گیری و شد و پس از نرمال کردن ماتریس اختلافات، منطقه به پنج دسته تقسیم شد که عبارت اند از توپوگرافی خشن (اختلاف ارتفاع بیش از ۳۰۰ متر)، توپوگرافی نسبتا خشن (۲۰۰ تا ۳۰۰ متر)، توپوگرافی ملایم (۱۰۰ تا ۲۰۰ متر)، توپوگرافی نسبتا هموار (۵۰ تا ۱۰۰ متر) و هموار (کمتر از ۵۰ متر). (شکل ۲-۲) (f)



شکل ۲- a - نقشه طبقه بندی خطر زمین لرزه - b - نقشه لیتولوژی - c - نقشه طبقه بندی شیب - d - نقشه چگالی زهکشی - e - نقشه تراکم خطواره گی - f - نقشه پستی و بلندی های منطقه - g - نقشه فاصله از گسل - h - نقشه کاربری اراضی - i - نقشه بارندگی منطقه

## ۴- روش کار

برای به دست آوردن مدل قابلیت وقوع زمین لغزش (LZ)، از روش دانش مبنای فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) استفاده شده است. در این روش به هر کدام از کلاس داده‌ها یک ضریب و به هر کدام از داده‌ها نیز وزن خاصی تعلق می‌گیرد و در نهایت، مدل مورد نظر، با تلفیق وزن‌های داده شده، اجرا می‌شود تا نقشه قابلیت وقوع زمین لغزش (LSZ) به دست آید.

### ۴-۱- روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی

در این روش فاکتورهای مختلف بر اساس قضاوت شفاهی با هم مقایسه می‌شوند. ترجیح یک فاکتور نسبت به فاکتور دیگر مطابق با جدول ۲ صورت می‌گیرد. (Esmali and Ahmadi 2003)

جدول ۳- ارجحیت فاکتورها و تبدیل آن‌ها به مقادیر کمی

مقادیر کمی	ارجحیت فاکتورها در مقایسه با یکدیگر
۹	به شدت مرجح
۷	خیلی مرجح
۵	مرجح
۳	نسبتاً مرجح
۱	ترجیح یکسان
۸، ۴، ۶ و ۲	مقادیر بینابین

بر اساس ارجحیت عوامل در منطقه و مطالعه زمین لغزش‌های قبلی منطقه، چگالی زهکشی به عنوان مهم‌ترین عامل در وقوع زمین لغزش در منطقه شناخته شد و سپس ماتریس مقایسه زوجی ضرایب تشکیل شد، و پس از نرمالیزه کردن این ماتریس، با میانگین‌گیری از هر سطر ضریب نهایی هر یک از عامل‌ها به دست آمد. (جدول ۴ و ۵) (Komac 2006)

جدول ۴- ماتریس مقایسه زوجی معیارها

معیار	چگالی زهکشی	تراکم خطوارگی	فاصله از گسل	زاویه شیب	لیتولوژی	لرزه‌خیزی	کاربری اراضی	بارندگی	پستی و بلندی
چگالی زهکشی	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
تراکم خطوارگی	۰.۵	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
فاصله از گسل	۰.۳۴	۰.۵	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
زاویه شیب	۰.۲۵	۰.۳۴	۰.۵	۱	۲	۳	۴	۵	۶
لیتولوژی	۰.۲	۰.۲۵	۰.۳۴	۰.۵	۱	۲	۳	۴	۵
لرزه‌خیزی	۰.۱۶۷	۰.۲	۰.۲۵	۰.۳۴	۰.۵	۱	۲	۳	۴
کاربری اراضی	۰.۱۴۳	۰.۱۶۷	۰.۲	۰.۲۵	۰.۳۴	۰.۵	۱	۲	۳
بارندگی	۰.۱۲۵	۰.۱۴۳	۰.۱۶۷	۰.۲	۰.۲۵	۰.۳۴	۰.۵	۱	۲
پستی و بلندی	۰.۱۱۲	۰.۱۲۵	۰.۱۴۳	۰.۱۶۷	۰.۲	۰.۲۵	۰.۳۴	۰.۵	۱

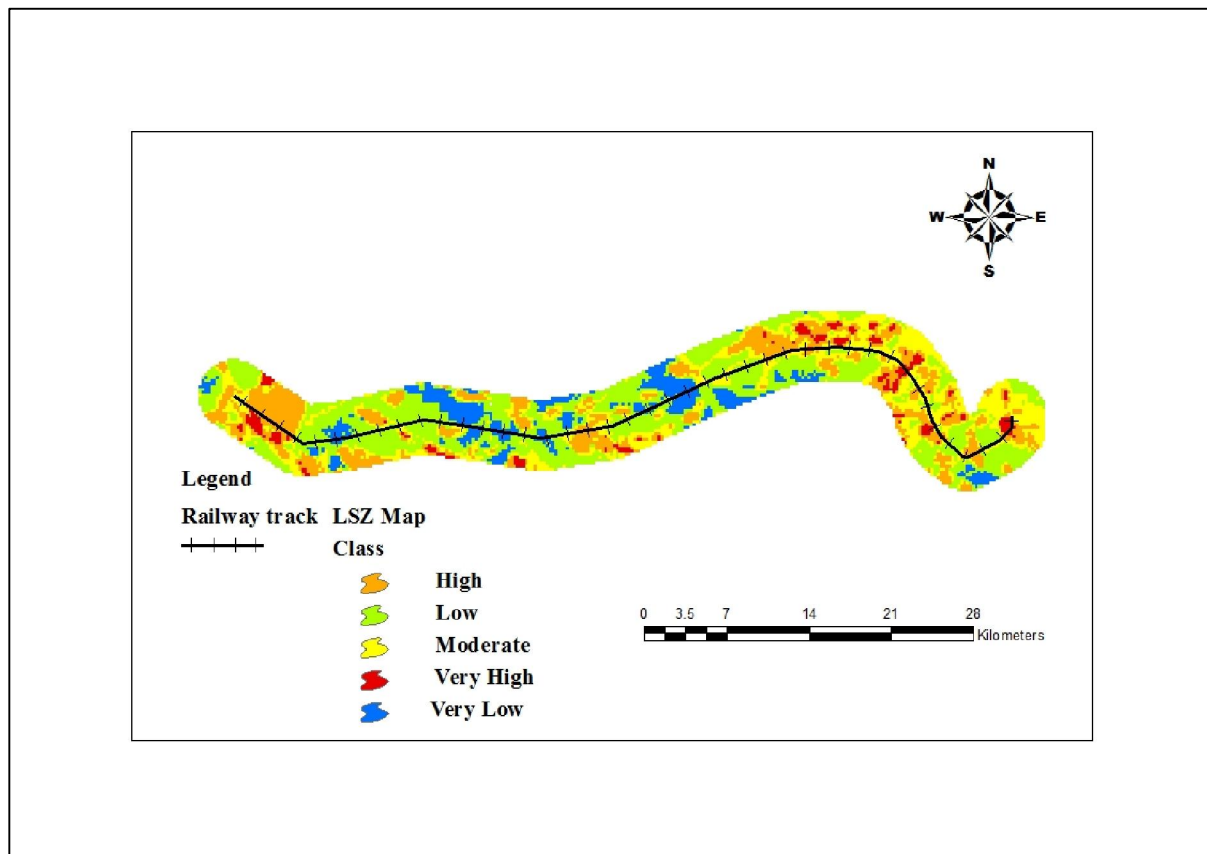
جدول ۵- ضریب تاثیر معیارهای لرزه خیزی

معیار	چگالی زهکشی	تراکم خطوارگی	فاصله از گسل	زاویه شیب	لیتولوژی	لرزه خیزی	کاربری اراضی	بارندگی	پستی و بلندی
ضریب $W_i$	۰.۳۱	۰.۲۲	۰.۱۵	۰.۱۱	۰.۰۷	۰.۰۵	۰.۰۳	۰.۰۲	۰.۰۱

برای اعمال ضرایب تاثیر و رسیدن به شاخص LSI، از فرمول (۱) استفاده شد:

$$LSI = \sum W_i \times C_i \quad (1)$$

که در آن، LSI شاخص وقوع زمین لغزش در منطقه،  $W_i$  وزن هر عامل و  $C_i$ ، ضریب کلاس هر کدام از عوامل می باشد. مقادیر نرمالیزه شده به پنج طبقه تقسیم بندی شدند که مقادیر قابلیت وقوع زمین لغزش آن ها عبارت اند از؛ خیلی زیاد، زیاد، متوسط، کم و بسیار کم. نقشه قابلیت وقوع زمین لغزش در شکل ۳ نشان داده شده است. حدود ۴ درصد از ناحیه مورد مطالعه، دارای خطر وقوع زمین لغزش بسیار بالا، و تقریباً ۲۳ درصد منطقه دارای خطر بالا می باشد. همچنین تقریباً نیمی از منطقه مورد مطالعه (۴۸ درصد)، دارای خطر کم و بسیار کم برآورد شده است.



شکل ۳- نقشه پهنه بندی قابلیت زمین لغزش

با مقایسه نتایج به دست آمده، پس از اجرای مدل AHP، با زمین لغزش سابق اتفاق افتاده در منطقه، که ممکن دقیق آنها با برداشت صحرائی از منطقه مشخص گردید. حدود ۸۶ درصد از زمین لغزش های ثبت شده در منطقه، در نواحی با قابلیت زمین لغزش بالا و خیلی بالا به وقوع پیوسته است، که حاکی از اعتبار محاسبات و مدل اجرا شده می باشد.

## ۵- خلاصه و نتیجه گیری

زمین لغزش ها یکی از مخرب ترین فرآیندهای زمین شناسی هستند. قبل از اجرای طرح های مهندسی، برای جلوگیری از خسارات احتمالی این پدیده، باید مناطق مستعد این پدیده شناسایی و پایدارسازی شوند. با اجرای مدل AHP تقریباً ۲۷ درصد نواحی دارای قابلیت وقوع زمین لغزش بالا و بسیار بالا شناسایی شدند، که در مراحل بعدی اجرای طرح، باید پایدارسازی روی آنها صورت گیرد. با مقایسه نتایج به دست آمده، پس از اجرای مدل AHP، با زمین لغزش های ثبت شده در منطقه، حدود ۸۶ درصد از زمین لغزش ها در نواحی با قابلیت زمین لغزش بالا و خیلی بالا به وقوع پیوسته است. بنابراین صحت نتایج به دست آمده و نقشه پهنه بندی مطلوب می باشد.

## منابع

- A.Hirano, R.Welch, et al. (2003). "Mapping from ASTER stereoimage data: DEM validation and accuracy assessment." *Photogrammetry & Remote Sensing* 57: 356-370.
- Abella, E. A. C. and C. J. V. Westen (2007). "Generation of a landslide risk index map for Cuba using spatial multi-criteria evaluation." *Landslides* 4(4): 311-325.
- Ayalew, L., H. Yamagishi, et al. (2004). "Landslide susceptibility mapping using GIS-based weighted linear combination, the case in Tsugawa area of Agano River, Niigata Prefecture, Japan." *Landslides*.
- C.F.Chung, A.G.Fabbri, et al. (1995). "MULTIVARIATE REGRESSION ANALYS FOR LANDSLIDE HAZARD ZONATION." *Geographic information system*: 117-133.
- Chauhan, S., M. Sharma, et al. (2010). "Landslide Susceptibility Zonation through ratings derived from Artificial Neural Network." *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 12: 340-350.
- Esmali, A. and H. Ahmadi (2003). "Using GIS & RS in Mass Movements Hazard Zonation -A Case Study in Germichay Watershed, Ardebil, Iran " *Map Asia Conference* 2003.
- Kelarestaghi, A., H. Ahmadi, et al. (2006). "Land use changes detection and spatial distribution using digital and satellite data, case study: Farim drainage basin, Northern of Iran " *Desert Journal* 11: 33-47.
- Komac, M. (2006). "A landslide susceptibility model using the Analytical Hierarchy Process method and multivariate statistics in perialpine Slovenia." *Geomorphology* 74(1-4): 17-28.
- Pareta, K., J. Kumar, et al. (2012). "Landslide Hazard Zonation using Quantitative Methods in GIS " *International Journal of Geospatial Engineering and Technology* 1: 1-9.
- S.Sarkar and D.P.Kanugo (2004). "An Integrated Approach for Landslide Susceptibility Mapping Using Remote Sensing and GIS." *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 70: 617-625.
- Vahidnia, M. H., A. A. Alesheikh, et al. (2010). "A GIS-based neuro-fuzzy procedure for integrating knowledge and data in landslide susceptibility mapping." *Computers & Geosciences* 36(9): 1101-1114.