نشریه علمی – پژوهشی امیرکبیر (مهندسی عمران و محیط زیست)
Amirkabir Journal of Science & Research (Civil & Environmental Engineering)
(AJSR - CEE)

دانشگاه صنعتی امیرکبیر
(پلی تکنیک تهران)
دوره چهل و پنج، شماره۲، زمستان ۱۳۹۲، صفحه ۹۷ تا ۱۰۴
Vol. 45, No. 2, winter 2013, pp. 97-104

پهنه بندی خطر سقوط سنگ در دامنه های مشرف به مسیر خط راه آهن لرستان با استفاده از GIS

حسین حسنی[۱*]، محمدرضا قلی نژاد[۲]، سیاوش تهرانی مقدس[۳]

۱- دانشیار دانشکده مهندسی معدن و متالورژی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر
۲- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی معدن و متالورژی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر
۳- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی معدن و متالورژی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

(دریافت۱۳۹۱/۵/۱۰، پذیرش۱۳۹۲/۷/۲۸)

چکیده

بخش قابل توجهی از سرمایه گذاری های ملی و زیر بنایی مربوط به فعالیت های عمرانی در طبیعت می باشد. این سرمایه ها باید با اطمینان کافی و انتخاب شده به مصرف برسند تا متضمن بقا و دوام منافع حیاتی باشند. در این پژوهش پس از برداشت اطلاعات مختلف زاویه شیب، لیتولوژی، طول گسل، طول رودخانه و راه، بارندگی، زمین لرزه و پوشش گیاهی در نقشه سلول بندی شده در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی پردازش صورت گرفته و در نهایت نقشه پهنه‌بندی خطر رانش زمین در مسیر راه آهن دورود -اندیمشک ارائه گردیده است. برای تهیه نقشه پهنه‌بندی از روش مورا و وارسون و برای اعتبارسنجی این روش از AHP استفاده شده است. زاویه شیب از نقشه رقومی ارتفاعی منطقه بدست می‌آید، برای بدست آوردن نقشه رقومی ارتفاعی از نقشه توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ منطقه استفاده شده است. برای تهیه لیتولوژی منطقه از نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ منطقه استفاده شده است. طول گسل، طول راه و رودخانه و پوشش گیاهی از تصاویر ماهواره‌ای لندست بدست آمده است. بارندگی و زمین لرزه نیز به ترتیب از داده‌های سازمان هواشناسی کشور و موسسه ژئوفیزیک تهران استفاده گردیده است. در پایان نقاط اصلی حادثه‌خیز معرفی شده اند

کلمات کلیدی

نقشه پهنه‌بندی، سقوط سنگ، روش AHP، سیستم اطلاعات جغرافیایی، راه‌آهن دورود- اندیمشک

* نویسنده مسئول وعهده دار مکاتبات Email: hhassani@aut.ac.ir

Archive of SID
www.SID.ir

۱- مقدمه

نقشه زمین‌لغزش گام اول در هر برنامه پایدار سازی است[۱]. کمتر از یک دهه است روش های GIS به عنوان شیوهٔ سریع برای دستیابی به نقشه‌های حساسیت در کشور ما رواج یافته و به کار گرفته شده است و به ویژه از نظر فنی در حال توسعه می باشد[۲]. آنبالاگان طی تحقیقی به این نتیجه رسید که شناسایی عوامل مؤثر بر زمین لغزش و پهنه‌بندی خطر آن جهت مشخص نمودن مناطق مستعد خطر و ناپایدار و کمک به برنامه‌ریزان برای انتخاب مکان‌های مساعد توسعه‌ای از قبیل ساختن جاده‌ها و مناطق مسکونی در مراحل اولیهٔ برنامه‌ریزی بسیار مفید و باعث رعایت احتیاط‌های لازم جهت پایداری می-گردد[۱]. اسماعیلی و احمدی در بررسی عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش و پهنه‌بندی خطرهای حاصل از آن، به دو روش رگرسیون چند متغیره و تحلیل سلسله مراتبی انجام دادند. که در این بررسی از هفت پارامتر استفاده گردیده است و در نهایت مشخص شد روش تحلیل سلسله مراتبی نسبت به روش رگرسیون چند متغیره از دقت بیشتری برخوردار است[۳].

روشهای مختلفی توسط محققین جهان از جمله روشهای مورا و وارسون و کاناگاوا به منظور طبقه بندی عوامل نا پایداری زمین لغزشها منتشر شده است. با توجه به بررسیهای انجام شده بر روی این روشها ملاحظه گردید که کاربرد روشهای مختلف از سوی محققین دیگر نمیتواند روشی مناسب جهت پهنه بندی کلیه مناطق در برابر زمین لغزش باشد. لذا ما را به همین دلیل که در این تحقیق عوامل مؤثر در ناپایداریها را، متناسب با شرایط ساختاری، لیتولوژیکی، توپوگرافی و کلیماتولوژی محدوده مورد مطالعه طبقه بندی و امتیاز دهی نمائیم. امتیاز دهی هریک از پارامترها با استفاده از نقشه شبکه بندی شده انجام شده است. در این تحقیق پس از برداشت اطلاعات مختلف زاویه شیب، لیتولوژی، طول گسل، طول رودخانه و راه، بارندگی، زمینلرزه و پوشش گیاهی در نقشه سلول بندی شده در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی پردازش صورت گرفته و در نهایت نقشه پهنه‌بندی خطر رانش زمین در مسیر راه آهن دورود- اندیمشک ارائه می گردد.

۲- محدوده مورد مطالعه

گستره مورد مطالعه از لحاظ جغرافیایی در جنوب استان لرستان و شمال استان خوزستان قرار دارد. راه‌آهن دورود- اندیمشک در محور سراسری تهران - جنوب به طول ۲۱۵ کیلومتر، در دو استان لرستان و خوزستان واقع گردیده است. اداره کل راه آهن لرستان به مرکزیت اندیمشک دارای دو ایستگاه تشکیلاتی درجه ۱ ، دو ایستگاه نیمه تشکیلاتی درجه ۱ و۱۰ ایستگاه درجه ۳ می باشد. در جهت حرکت به سمت تهران از سوزنهای ورودی ایستگاه اندیمشک شروع و تا سوزنهای خروجی ایستگاه درود ادامه دارد و در مجموع دارای ۲۰۷ کیلومتر خط می باشد. از جلگه خوزستان شروع شده و از قلب زاگرس در حاشیه رود دز حرکت نموده و به استان لرستان و شهرستان درود ختم می شود. دارای پلهای بسیار بلند و استراتژیکی چون پل تله زنگ، پل آب سیرم، پل شهبازان، پل توه، پل بیشه، پل آب مامون و ... می باشد و دارای بیش از ۱۳۰ تونل است که تونل های ۲۲ و ۲۳ آن به طولهای بیش از ۲۵۰۰ متر طولانی ترین تونلهای راه آهن خاور میانه می باشند و در مجموع بالغ بر ۶۰ کیلومتر این مسیر درون تونل می باشد. روزانه حدود ۱۰۰۰۰ نفر از طریق این مسیر تردد می کنند. محدوده مورد مطالعه در زون ساختمانی زاگرس شامل زاگرس مرتفع، زاگرس چین خورده و دشت خوزستان واقع گردیده است. گسلهای اصلی منطقه شامل گسل زاگرس، گسله جوان اصلی زاگرس و گسل دورود می‌باشد.

در محدوده مورد مطالعه سازندها و واحدهای سنگی مختلفی از ژوراسیک تا عهد حاضر رخنمون دارند که وضعیت لیتولوژیکی و مقاومتی آنها در میزان پایداری و ناپایداری توده سنگها و در نتیجه در پهنه بندی خطر سقوط سنگ در مسیر راه آهن لرستان تاثیر بسزائی دارد. سازندهای محدوده طرح به ترتیب از قدیم به جدید سازند بنگستان، سازند گورپی، سازند امیران، سازند کشکان، سازند پابده، سازند آسماری، سازند گچساران، سازند آغاجاری، سازند بختیاری و آبرفتهای کواترنری میباشد[۴].

به طور کلی در محدوده مورد مطالعه جنگل های تنک، نیمه تنک به حالت وحشی و طبیعی دیده می شود. مساحت جنگل های محدوده حوضه های آبریز رودخانه های دز و سزار که مسیر خط راه آهن به موازات این دو رودخانه میباشد حدود ۱۵۰ هزار هکتار است که به این وسعت حدود ۲۵۰۰۰۰ هکتار مرتع نیز باید اضافه کرد. پوشش نباتی محدوده دورود تا اندیمشک از گونه ها مختلف و متنوع گیاهی است.

۳- روش شناسی

۳-۱- بررسی و امتیاز بندی عوامل مؤثر بر ناپایداری **دامنه ها**

Archive of SID
www.SID.ir

عوامل گوناگونی از قبیل شرایط توپوگرافی، لیتولوژی، هیدروژئولوژی، تکتونیکی و لرزه‌ای در ناپایداری دامنه های سنگی و خاکی مؤثر بوده و ممکن است به طرق مختلفی با تاثیر متقابل بر یکدیگر موجب تشدید ناپایداری گردند. در این راستا نقش فعالیت های انسان را در ناپایداری دامنه ها نیز نباید از نظر دور داشت. بطور کلی می توان عوامل ناپایدار نمودن دامنه ها را به دو دسته عوامل ذاتی و محیطی تقسیم نمود. عوامل ذاتی شامل ترکیب، بافت و ساخت مصالح تشکیل دهنده و شکل هندسی دامنه، می باشد و از مهمترین عوامل محیطی می توان به حفر ترانشه و خاکبرداری، افت سریع آب، تکتونیک، بارندگی، یخبندان، هوازدگی، ارتعاشات و تکانهای ناشی از زلزله اشاره نمود. در این تحقیق، کلیهٔ عوامل مؤثر در ناپایداری دامنه ها مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته و با توجه به مقیاس طرح بطور کلی هفت عامل زاویهٔ شیب دامنه ها، لیتولوژی یا مصالح و مواد تشکیل دهندهٔ دامنه ها، عوامل ساختاری ایجاد ترانشه در مسیر راه و راه‌آهن، پوشش گیاهی، میزان بارندگی و زلزله بعنوان عوامل مؤثر در ناپایداری شیب ها در گسترهٔ طرح در نظر گرفته شده است.

زاویهٔ شیب دامنه ها

زاویهٔ شیب از عوامل اصلی ایجاد گسیختگی دامنه ها به شمار می رود و به دو صورت طبیعی و مصنوعی تغییر می نماید[۵].

برای طبقه‌بندی شیب ها در محدودهٔ موردمطالعه از نقشه های توپوگرافی (۱:۲۵۰۰۰) استفاده گردید. برای تعیین جهت و زاویهٔ شیب دامنه ها در گسترهٔ طرح ابتدا مدل رقومی ارتفاعی (DEM) منطقه از روی نقشه های توپوگرافی توسط نرم‌افزار ArcGIS تهیه شد. سپس زاویه شیب در محدوده منطقهٔ مورد مطالعه تعیین گردید. از نظر تئوری، با فرض یکسان بودن سایر عوامل، احتمال خطر لغزش در مناطقی که شیب بیشتری داشته باشند بیشتر است. از نظر زاویهٔ شیب دامنه ها در پنج رده طبقه بندی شد. نتایج این طبقه بندی در جدول(۱) آمده است.

جدول(۱): تاثیر زاویه شیب در ناپایداری دامنه ها (F_I)

میزان زاویهٔ شیب (درجه)	۵-۱۵	۱۶-۲۵	۲۶-۳۵	۳۶-۴۵	> ۴۵
تاثیر در ناپایداری دامنه ها	خیلی کم	کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد
ضریب (FI)	۱	۲	۳	۴	۵

لیتولوژی

ترکیب بافت و ساخت مصالح و مواد تشکیل دهندهٔ دامنه ها، نقش بسزایی در پایداری و ناپایداری ها ایفا می کنند. دامنه هایی که واجد سنگ های سست با مقاومت برشی کم می باشند استعداد بیشتری جهت گسیختگی دارند[۳]. برای تعیین ضریب نفوذپذیری و تورم سازند ها از آزمایش نفوذپذیری و تورم استفاده شده است، برای تعیین تخلخل و جذب آب، مقاومت برشی و فشارشی از آزمایشات مکانیک سنگ استفاده شده است. مصالح موجود در منطقه از نظر رفتاری و مقاومت در مقابل لغزش، بطور کلی درپنج کلاس در جدول(۲) طبقه بندی گردیده است.

جدول شماره(2): امتیازدهی سنگها از نظر مقاومت در برابر لغزش (FL)

طبقه	توصیف	امتیاز
I	سنگ آهک توده ای- سنگ آهک ضخیم لایه- دولومیت توده ای- سنگ آهک دولومیتی ضخیم لایه - کنگلومرا با سیمان سیلیسی	۱
II	ماسه سنگ و ماسه سنگ کوارتزیتی با لایه بندی متوسط و سیمان آهکی- ماسه سنگ آهک دار – سیلتستون- آهکهای نازک لایه	۲
III	سنگ آهک مارنی با لایه بندی متوسط- سنگ آهک رسی - ماسه سنگ کوارتزیتی با لایه بندی متوسط- شیل های پیریت دار-آهکهای دانه متوسط تا توده ای	۳
IV	شیل - آندزیت – مارن گچ دار– گچ – نمک	۴
V	رسوبات و آبرفتهای عهد حاضر – شن و ماسه - رسوبات پرکننده دره ها حاوی مارن و گچ	۵

طول رودخانه و راه

در تحلیل و ارزیابی عامل شیب در گسترهٔ مورد مطالعه به دلیل وجود محدودیت شیب و فراز در طراحی مسیر راه نیاز به خاکبرداری و احداث ترانشه در مسیر عبور اجتناب ناپذیر می باشد که این عملیات

باعث بوجود آمدن شیب های مصنوعی با میزان شیب حداقل ۴۵ درجه در مسیر راه می گردد. آبهای جاری نیز یکی از عوامل محرک در افزایش ناپایداری دامنه ها می باشند[۶]. با توجه به ناپایداری‌های رخ داده در گسترهٔ طرح عوامل مربوط به طول ترانشه های راه و طول آبراهه‌ها و رودخانه‌ها نقش تعیین کننده دارند. بر همین اساس تراکم طول راه ها و رودخانه ها درجه بندی شده و در جدول(۳) درج گردیده است.

Archive of SID
www.SID.ir

جدول(۳): تاثیر طول رودخانه و راه در ناپایداری (F_D)

طول رودخانه و راه (متر)	<۲۵۰	-۷۵۰ ۲۵۰	-۱۵۰۰ ۷۵۰	-۲۲۵۰ ۱۵۰۰	>۲۲۵۰
میزان تاثیر در ناپایداری	کم	نسبتاً کم	متوسط	نسبتاً زیاد	زیاد
ضریب (F_D)	۱	۲	۳	۴	۵

میزان بارندگی

چگونگی تاثیر عامل بارندگی در افزایش استعداد ناپایداری و ایجاد حرکات دامنه ای نیز بررسی شد. بدین منظور از نقشه میانگین بارش سالیانه در کشور مربوط به ۴۰ سال گذشته استفاده گردید. تاثیر عامل بارندگی هم به صورت افزایش رطوبت خاک بر اثر افزایش میزان بارندگی و در نتیجه افزایش پتانسیل لغزش و هم بعنوان عامل شروع کنندهٔ رانش در صورت وقوع بارندگیهای شدید و طولانی در نظر گرفته شده است[۶]. چگونگی تاثیر میزان بارندگی در ناپایداری دامنه ها در جدول(۴) آمده است.

جدول(۴): چگونگی تاثیر میزان بارندگی سالیانه در ایجاد رانش زمین

میزان بارندگی(mm)	<۳۰۰	-۴۰۰ ۳۰۰	-۵۰۰ ۴۰۰	۵۰۰	> ۶۰۰
میزان تاثیر در ناپایداری	خیلی کم	نسبتاً کم	متوسط	نسبتاً زیاد	خیلی زیاد
ضریب (F_R)	۱	۲	۳	۴	۵

زمین‌لرزه

زمین‌لرزه یکی دیگر از عوامل محرک در ایجاد ناپایداری در گسترهٔ مورد مطالعه می باشد. نیروی ناشی از زمین‌لرزه باعث گسیختگی و ترکهای کششی اولیه در دامنه ها می گردد. عدم تداوم این نیرو دلیل عدم گسیختگی کامل و لغزش بوده و در صورت رویداد دوباره زمین‌لرزه عمق و میزان بازشدگی ترکها افزایش می یابد ولی پس از رخداد زمین‌لرزه و به مرور زمان عوامل دیگری تأثیر نموده و وزن توده ناشی از نیروی ثقل باعث تکمیل تأثیر عامل زمین‌لرزه در ایجاد ناپایداری می گردد. دامنه ها بطور مستقیم تحت تأثیر شتاب ناشی از زمین‌لرزه ها می باشند[۶]. رده بندی حداکثر شتاب افقی تأثیر گذار در محدودهٔ مورد بررسی در جدول(۵) قید شده است.

جدول(۵): چگونگی تأثیر خطر نسبی زلزله (FR)

خطر نسبی هر پهنه	بسیار پائین	پائین	متوسط	بالا	بسیار بالا
ضریب (F_R)	۱	۲	۳	4	5

پوشش گیاهی

پوشش گیاهی یک عامل غیر مستقیم بر پایداری شیب است. دامنه‌های لم‌یزرع و بدون پوشش گیاهی نسبت به مناطق جنگلی، استعداد بیشتری برای زمین‌لغزش و فرسایش سریعتر و ناپایداری بیشتر دارند. به عبارت دیگر علفزارها و جنگل‌ها فرآیند فرسایش را کند می‌کنند. نفوذ ریشه درختان درون خاک باعث پایداری دامنه‌ها می‌شود. پوشش درختی می تواند هم از لحاظ تبخیر و تعرق بالایی که دارد آب موجود در خاک را به هوا پالایش نموده و باعث کم کردن اثر رطوبت در خاک می گردد، چرا که رطوبت موجود در توده خاک یکی از عوامل مهم در رسیدن توده به حالت اشباع و وقوع زمین لغزش ها می باشد. همچنین پوشش درختی می تواند با ریشه های عمیق و پیوسته ای که دارد باعث تثبیت و تحکیم توده خاک روی دامنه های شیبدار می‌گردد[۷]. نوع و مقدار پوشش گیاهی توسط تصاویر ماهواره ای لندست تعیین می‌گردد. از نظر پوشش گیاهی منطقه به پنج رده تقسیم شد، نتایج این طبقه بندی در جدول(۶) آمده است. به طور کلی با افزایش پوشش گیاهی خطر سقوط سنگ کاهش می یابد.

جدول (۶): چگونگی تأثیر پوشش گیاهی(FLC)

پوشش گیاهی	زیاد	نسبتاً زیاد	متوسط	نسبتاً کم	کم
ضریب (F_{LC})	۱	۲	۳	۴	۵

۳-۲- تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر سقوط سنگ

برای تعیین اهمیت و تاثیر نسبی عوامل و فاکتورهای مؤثر در پهنه بندی خطر زمین‌لغزش معمولا از روش وزن‌دهی یا امتیازدهی استفاده می‌شود. در این روش بر اساس قضاوت مهندسی و تجربیات موجود به هر یک از عوامل مؤثر وزن یا امتیاز داده می‌شود. طی مطالعات طولانی و گسترده در طرفین مسیر راه‌آهن در بخشهای مختلف منطقهٔ مورد مطالعه، تعدادی از رانشهای قدیمی و جوان و عوامل وقوع آنها شناسائی شد. نتایج این بخش از مطالعات بعنوان عامل کالیبره کردن روش مورد نظر در تأئید شناخت عوامل افزایش پتانسیل لغزش دامنه های

Archive of SID
www.SID.ir

منطقه مورد استفاده قرار گرفت. با توجه به شرایط خاص منطقه، عوامل مؤثر در ناپایداری دامنه ها شامل لیتولوژی، زاویهٔ شیب دامنه ها، راه و رودخانه، گسل، میزان بارندگی و زلزله بررسی گردید. این عوامل در شرایط مختلف با یکدیگر می باشند و با توجه به درجهٔ خطر نسبی هر یک از این عوامل، تأثیرات متفاوتی بر روی ناپایداری دامنه ها اعمال می نمایند. منطقهٔ مورد مطالعه به شبکه ای از سلولهای منظم متشکل از واحدهای مربع شکل به ابعاد ۲۵۰×۲۵۰ متر و در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ تقسیم بندی شده و با استفاده از نتایج طبقه بندی عوامل مؤثر در ناپایداری، امتیاز ناپایداری در هر واحد تعیین گردید. با توجه به درجه تأثیر هر عامل در ناپایداری دامنه ها، برای عوامل مذکور ضرایب مناسبی با میزان تأثیر هر عامل در ناپایداری شیب درنظر گرفته شد.

با توجه به عوامل مؤثر در ناپایداری دامنه ها می توان رابطهٔ کلی زیر را برای منطقهٔ مورد مطالعه درنظر گرفت.

$$LHZ=(C_L\times F_L)+(C_I\times F_I)+(C_F\times F_F)+(C_D\times F_D)+(C_R\times F_R)+(C_S\times F_S)+(C_{LC}\times F_{LC})$$

در این رابطه: F_L= فاکتور لیتولوژی، F_I= فاکتور زاویه شیب، F_F = فاکتور طول گسلش، F_D= فاکتور طول رودخانه و راه، F_R= فاکتور میزان بارندگی، F_S= فاکتور خطر نسبی زلزله، F_{LC}= فاکتور پوشش گیاهی می‌باشد .ضرایب C بیانگر اهمیت هر یک از عوامل در مجموعه پارامترهای مؤثر بر ناپایداری می باشد. مقادیر بدست آمده در گسترهٔ طرح با توجه به مطالعات انجام شده وقضاوت مهندسی بر روی مناطق الگو بدست آمده است که در جدول(۷) قید شده اسـت.

جدول(۷): مقادیر مربوط به ضریب اهمیت نسبی (C) در گستره طرح

ضریب	C_L	C_I	C_F	C_D	C_R	C_S	C_{LC}
مقدار	۱/۵	۱	۱/۲	۰/۷۵	۱	۱/۶	0/75

در اعمال ضریب در هر یک از عوامل هفتگانه مؤثر در ناپایداری دامنه ها، مقدار ضریب لیتولوژی (C_L)، زاویه شیب(C_I)، گسل(C_F)، راه و رودخانه (C_D)، میزان بارندگی(C_R) و ضریب زلزله(C_S) ضریب پوشش گیاهی (C_{LC}) تعیین شده و در هر واحد اعمال گردیده است.

۳-۳- کاربرد روش AHP در اعتبار سنجی ضرایب

در مدلهایی مانند برنامه ریزی خطی، برنامه ریزی عدد صحیح، برنامه‌ریزی غیر خطی، تخصیص و عمده مدلهای کلاسیک، نتیجه تصمیم گیری ها وقتی مطلوب و مورد رضایت تصمیم گیرنده است که تصمیم گیری بر اساس چندین معیار بررسی و تجزیه و تحلیل شده باشد. مدلهای تصمیم گیری چند شاخصه مواردی مانند مدل SAW، TOPSIS، ELECTRE و AHP را در برمی گیرند [۸] که ما در اینجا به معرفی مدل AHP می پردازیم.

روش AHP

روش AHP توسط فردی عراقی الاصل به نام توماس ساعتی در دهه ۱۹۷۰ پیشنهاد شد. AHP تصمیم گیرندگان را قادر می سازد تا اثرات متقابل و همزمان بسیاری از وضعیتهای نامعین و پیچیده را تعیین کنند. در این روش احساسات و قضاوتها نیز در نظر گرفته می‌شوند.

روش AHP طی مراحل زیر صورت می گیرد:

۱- الگوریتم AHP: شامل تعیین هدف، انتخاب شاخصهای مهم، تعیین گزینه ها و تعیین ماتریس مقایسات زوجی شاخصها می باشد. سپس ماتریس مقیسات زوجی ،به هنجار(نرمال) می گردد. برای این منظور هر یک از عناصر ماتریس مرحله قبل را بر مجموع ستون مربوطه تقسیم می کنیم. ماتریسی که به این ترتیب به دست می آید را ماتریس هنجار شده (نرمال شده) می نامند. سپس وزنهای نسبی هر شاخص بوسیله محاسبه میانگین حسابی هر سطر ماتریس نرمال شده محاسبه می‌گردد. سپس ماتریس مقایسات زوجی گزینه ها تعیین گردیده و سپس ماتریس نرمال شده و وزنهای نسبی برای آنها به تفکیک هر شاخص محاسبه می‌گردد.

۲- رتبه بندی گزینه ها: ضرب ماتریس وزن نسبی شاخصها در ماتریس وزن نسبی گزینه ها و رتبه بندی بر اساس اعداد حاصلضرب ۲ ماتریس. در این مرحله کار رتبه بندی په پایان رسید ه است.

۳- محاسبه نرخ ناسازگاری (تعیین اینکه آیا بین مقایسات زوجی سازگاری وجود دارد یا خیر؟)

- بردار مجموع وزنی(WSV) = ماتریس مقایسات زوجی (D) × بردار وزنهای نسبی (W)

- مولفه ای WSV تک به تک بر وزنهای نسبی شاخصها تقسیم می کنیم تا بردار سازگاری (CV) بدست‌آید.

Archive of SID
www.SID.ir

- محاسبه میانگین حسابی عناصر CV که آن را با λ_{max} نشان می دهیم.
- محاسبه شاخص ناسازگاری

$$II=(\lambda_{max} - n) / (n-1)$$

n تعداد متغیرها را بیان می‌کند.
- محاسبه نرخ ناسازگاری:

$$IR= II / IRI$$

که IRI از جدول زیر به دست می آید:

جدول(۸): مقدار IRI بر حسب تعداد متغیرها

n	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
IRI	۰	۰	۰,۶	۰,۹	۱,۱۲	۱,۲۴	۱,۳۲	۱,۴۱	۱,۴۵	۱,۴۵

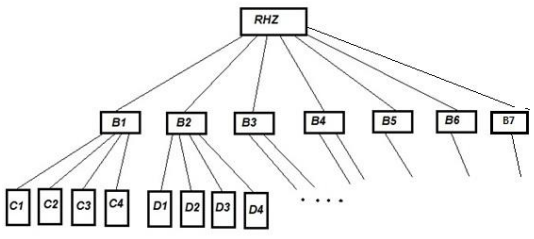
این مرحله را برای گزین ها و شاخصها به طور جداگانه انجام می دهیم.

در صورتی که IR کوچکتر از 0.1 باشد در مقایسات زوجی سازگاری قابل قبولی وجود دارد[۸].

در این مطالعه از روش AHP برای پهنه بندی خطر ریزش و سقوط سنگ در مسیر راه آهن لرستان استفاده شده است. ابتدا باید ارتباط میان پارامترها تعیین گردد. برای این منظور از فلوچارت زیر(شکل ۱) استفاده می‌شود.

فاکتورهای موثر در سقوط سنگ عبارت اند از: B1: فاکتور لیتولوژی، B2: فاکتور زاویه شیب، B3: فاکتور طول گسلش، B4: فاکتور طول رودخانه و راه، B5: فاکتور میزان بارندگی، B6: فاکتور خطر نسبی زلزله، B۷: فاکتور پوشش گیاهی.

شکل(۱): فلوچارت ارتباط بین پارامترهای موثر در سقوط سنگ



ضرایب B بیانگر اهمیت هر یک از عوامل در مجموعه پارامترهای مؤثر بر ناپایداری می باشد. مقادیر بدست آمده در گسترهٔ طرح با توجه به مطالعات انجام شده، استفاده از تجربیات محققین و قضاوت مهندسی بر روی مناطق الگو بدست آمده است که در جدول شماره ۸ قید شده است. به منظور اعتبارسنجی ضرایب، مراحل مربوط به روش AHP را بر روی ضرایب B انجام داده و نتایج آن نشان می‌دهد که روش AHP این ضرایب را تایید می‌کند.

نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش(RHZ) در مسیر راه آهن لرستان

در بخشهای قبلی اطلاعات هر یک از فاکتورهای موثر در ناپایداری و سقوط سنگ در مسیر راه آهن لرستان بر روی نقشه سلول بندی شده با استفاده از نرم افزار ArcGIS به تفکیک تهیه شد. در این بخش بر مبنای اطلاعات و نتایج بدست آمده تا این مرحله، کلیه اطلاعات با استفاده از نرم افزار فوق الذکر پس از پردازش با هم تلفیق و در نقشه سلول بندی شده به صورت نقشه پهنه بندی سقوط سنگ (RHZ) بدست آمد. براساس مقادیر RHZ، منطقه مورد مطالعه از نظر ناپایداری به پنج رده (ناحیه) شامل رده خیلی زیاد (بحرانی)، زیاد، متوسط، کم و بدون خطر تقسیم بندی گردید (جدول(۹)). فراوانی تعداد سلول های هر یک از رده ها در شکل(۳) آمده است.

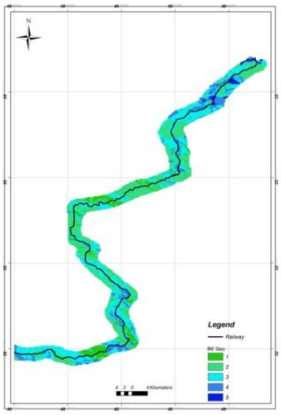
جدول(۹): میزان ریسک پذیری(شاخص ناپایداری) دامنه ها در گسترهٔ طرح

مقادیر RHZ	امتیاز زونهای ۵ گانه				
	-۱۳/۵ ۱۶/۲۳	-۱۶/۲۳ ۱۸/۹۶	-۱۸/۹۶ ۲۱/۶۹	-۲۱/۶۹ ۲۴/۴۲	۲۴/۴
میزان خطر	بدون خطر	پائین	متوسط	زیاد	خیلی زیاد (بحرانی)
پوشش Km^2	/۵۴ ۹۳	۲۹۱/۴۳	۲۶۰/۷۵	۸۵/۶۲۵	۱۳/۰۶۲
درصد پوشش	٪ ۷/۷	٪۴۱/۲۹		٪۳۶/۹۴	/۱۳ ٪۱۲ / ۱/۸۵ ٪

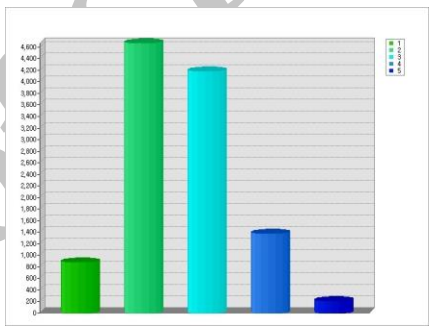
Archive of SID

www.SID.ir

شکل(۲): نقشه پهنه بندی خطر سقوط سنگ در مسیر راه آهن لرستان



شکل(۳): نمودار فراوانی سلول ها در نقشه سلول بندیRHZ



۴- بحث و نتیجه گیری

طرح پهنه بندی خطر سقوط سنگ در مسیر راه آهن لرستان یک طرح تحقیقاتی کاربردی و توسعه ای بوده که نتایج آن، مناطق دارای پتانسیل ناپایداری دامنه ها را مشخص می نماید. نتایج بدست آمده از این طرح می تواند مبنائی برای توسعه و انتخاب مناطق دارای ایمنی بیشتر جهت احداث راه و راه آهن باشد. در این صورت لازمست مناطق مورد نظر با مطالعات دقیق تر و مقیاس بزرگتر مورد بررسی قرار گیرد.

ایجاد سقوط سنگ برآیند عملکرد مجموعه‌ای از عوامل اصلی و فرعی است و بندرت یک عامل به تنهائی می تواند ایجاد کننده این پدیده باشد. در پیش بینی و پهنه بندی خطر سقوط سنگ در یک منطقه، تنها روشهائی جواب مناسب خواهند داد که نقش واقعی عوامل مؤثر در این پدیده مخرب را دربر داشته باشند. در این مطالعه با روش پهنه‌بندی مورا و وارسون منطقه با استفاده از ۷ فاکتور زاویه شیب، لیتولوژی، طول گسل، طول رودخانه و راه، بارندگی، زمین لرزه و پوشش گیاهی در نقشه سلول بندی شده از لحاظ خطر سقوط سنگ به ۵ رده تقسیم گردید، و مناطق با خطر متوسط، زیاد و بحرانی شناسایی گردیدند. پس از انجام مطالعات تکمیلی ۴۳ نقطه حادثه خیز با خطر سقوط متوسط تا بحرانی مشخص گردید که جهت بهسازی و جلوگیری از ریزش به مرکز تحقیقات راه آهن ارائه گردید.

۵- تقدیر و تشکر

بر خود لازم می‌داریم از تمام کسانی که در طول این تحقیق ما را یاری کردند تشکر نماییم، از مسئولین و مدیریت دانشکده مهندسی معدن و متالورژی دانشگاه صنعتی امیرکبیر که در طول انجام آزمایشات کمال همگاری را داشته تشکر می‌کنیم. از مرکز تحقیقات راه‌آهن جمهوری اسلامی ایران و کارشناسان ناحیه که در طول جمع آوری داده ها و انجام تحقیق ما را یاری کردند کمال تشکر را داریم.

۶- مراجع

[۱] آقانباتی، سیدعلی ،" زمین شناسی ایران"، انتشارات سازمان زمین شناسی ایران، ویرایش دوم، ۱۳۸۳.

[۲] احمدی، حسن ،"پهنه‌پندی خطر حرکت‌های توده‌ای با استفاده از دو روش رگرسیون چند متغیره (MR) و تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، مجله منابع طبیعی ایران"، جلد ۵۲، شماره ۴، از صفحه ۳۲۳ تا ۳۳۶، ۱۳۸۲.

[۳] حسنی، حسین ،"روش‌های نوین مدیریت ترانشه‌ها در راه و راه‌آهن"، انتشارات جهاد دانشگاهی دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ویرایش اول،۱۳۸۷.

[۴] حسنی، حسین ،"مطالعات پهنه‌بندی خطر رانش زمین در مسیر راه‌آهن قزوین - رشت - انزلی"، وزارت راه و ترابری،۱۳۸۴.

[۵] موسوی، سیده فاطمه ،"تلفیق سنجش از دور و GIS به منظور پتانسیل یابی مناطق مناسب جهت تغذیه آب زیرزمینی، مطالعه موردی: محدوده تاقدیس کمستان"، ۱۳۸۵.

[۶] Carusio, L. ,"An approach for GIS-based landslide susceptibility zonation: the case of Enna (Italy)", International Conference on Management of Landslide Hazard in the Asia-Pacific Region, Tokyo, Pages 649-660, 2008.

Archive of SID
www.SID.ir

[۷] Chacon.J. ,"Engineering geology maps landslides and geographical information systems", Bull Eng Geol Environ, 65, Pages 341-411, 2006.

[۸] Crosta. G.B., Chen. H. ,"Forecasting hazard scenarios and implications for the evaluation of countermeasure efficiency for large debris avalanches", Engineering Geology 83, 236– 253, 2006.

Archive of SID

www.SID.ir