

## ارزیابی کارایی مدل‌های تجربی پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش (حائری - سمیعی و مورا - وارسون) برای بررسی وضعیت شبکه جاده جنگلی طراحی شده در جنگل شصت کلاته گرگان

حامد افجه نصرآبادی<sup>1\*</sup>، شعبان شتایی جویباری<sup>2</sup>، نصرت‌اله رافت‌نیا<sup>2</sup> و محسن شریعت جعفری<sup>3</sup>

\*1- نویسنده مسئول، کارشناس ارشد جنگل‌داری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان. پست الکترونیک: hamedafjei@gmail.com

2- دانشیار، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

3- مربی، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری کشور.

تاریخ پذیرش: 87/3/19

تاریخ دریافت: 86/5/22

### چکیده

شناسایی مناطق مستعد وقوع زمین‌لغزش از طریق پهنه‌بندی خطر، یکی از اقدامات مؤثر و ضروری در مدیریت خطر و بحران، به‌ویژه در مناطق جنگلی برای کاهش هزینه‌های احداث و نگهداری جاده‌هاست. هدف از این تحقیق ارزیابی کارایی مدل‌های تجربی پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش (حائری - سمیعی و مورا - وارسون) در بررسی وضعیت شبکه جاده جنگلی طراحی شده سری دو جنگل شصت کلاته گرگان می‌باشد. نقشه زمین‌لغزش‌های موجود به‌منظور ارزیابی کارایی مدل‌های مورد بررسی از طریق عملیات میدانی و جنگل‌گردشی با استفاده از دستگاه موقعیت‌یاب جهانی (GPS) ثبت و در محیط GIS تهیه شد. پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از عوامل مؤثر در دو روش حائری - سمیعی و مورا - وارسون صورت گرفت. پس از تهیه نقشه نهائی پهنه‌بندی، کارایی مدل‌ها براساس دو شاخص دانسیته نسبی (Dr) و جمع مطلوبیت (Qs) مورد ارزیابی قرار گرفت. از بین دو مدل مورد آزمون براساس نتایج شاخص Qs، مدل حائری - سمیعی با  $Qs = 1/251$  نسبت به مدل مورا - وارسون با  $Qs = 0/586$  دارای مطلوبیت نسبی در حدود صددرصد است. همچنین نتایج نشان داد که در رابطه با شبکه جاده طراحی شده، مساحتی در حدود 670 هکتار (حدود یک سوم سطح سری) دارای استعداد بروز خطر زیاد و بسیار زیاد می‌باشد. همچنین بیشترین طول جاده شماره 3 از مناطق با طبقه خطر زیاد عبور می‌کند که با توجه به سطح این طبقه در مناطق بالادست سری که تحت پوشش جاده شماره 3 قرار دارد، این موضوع منطقی است. اما در جاده‌های شماره 2 و 3 این امکان وجود دارد که طول جاده‌های عبور کرده از طبقه با خطر زیاد را به‌میزان زیادی کاهش داد.

واژه‌های کلیدی: زمین‌لغزش، پهنه‌بندی خطر، حائری - سمیعی، مورا - وارسون، جنگل، جاده.

### مقدمه

منطقه است. عدم توجه به این مسئله خسارات جبران ناپذیری را می‌تواند به‌دنبال داشته باشد. شناسایی مناطق مستعد زمین‌لغزش از طریق پهنه‌بندی با استفاده از مدل‌های مختلف، یکی از اقدامات مؤثر و ضروری در مدیریت مناطق جنگلی و به‌ویژه در طراحی مسیرهای جدید جاده‌های جنگلی برای کاهش هزینه ساخت و نگهداری جاده‌ها می‌باشد. در پیشنهاد مدل‌ها و راهکارهای مناسب برای ارزیابی خطر رانش زمین، تلاش‌های بسیاری توسط

مطالعه علمی و جامع پدیده زمین‌لغزش در دنیا به‌دلایل متعدد از مهمترین مسائل است. رسیدن به نتایج مطلوب از نظر ایمنی و اقتصادی در پروژه‌های عمرانی، همچون انتخاب مسیر، احداث بزرگراه‌ها و راه‌های اصلی و فرعی کوهستانی و طرح‌های توسعه جنگل‌ها و مراتع طبیعی در گرو مطالعه و توجه به پایداری شیهای طبیعی

طبقه خطر تدوین نموده‌اند. آنها مدل را در استانهای مازندران و گلستان در ابعاد سلولی 1 در 1 سانتیمتر و در مقیاس 1:250000 اجرا و براساس شواهد زمینی و نظر کارشناسی کارایی مدل را مطلوب ذکر کرده‌اند.

منطقه کاتگوم- نایگیتا (Katgom naygita) واقع در هند به روش امتیازدهی به عوامل ارزیابی خطر زمین‌لغزش پهنه‌بندی و مطالعه شده است. روش یاد شده یک سیستم عددی است که به عوامل عمده مؤثر در ناپایداری شیب همانند زمین‌شناسی، پستی و بلندی، کاربری زمین، پوشش گیاهی و شرایط آب زیرزمینی بستگی دارد (Anbalagan et al., 1993). نقشه پهنه‌بندی اولیه خطر زمین‌لغزش برای جنوب ایالت کالیفرنیا در مقیاس 1:9200 تهیه شده است (Blank & Cleveland, 1968).

امینی‌زاده (1377) با امتیازدهی به عوامل ذاتی و مسبب عمده ناپایداری شیبها مثل زمین‌شناسی، جهت میزان شیب، پستی و بلندی، کاربری زمین و زمین‌شناسی ساختمانی براساس روش آنبالاگان نقشه خطر زمین‌لغزش حوضه آبخیز سد جیرفت را تهیه نموده است. اوتن (1383) در تحلیل ارتباط مدیریت زمین‌لغزش و آمایش سرزمین، انتخاب راهبردهای مدیریتی زمین‌لغزش را به شدت وقوع، طبقه خطر بالقوه و تیپ حرکت‌های توده‌ای وابسته دانسته و بر لزوم تهیه نقشه تراکم و تیپ و توان بالقوه خطر زمین‌لغزش تأکید نموده است.

با توجه به موارد فوق و ضرورت بررسی روشهای پهنه‌بندی زمین‌لغزش در منطقه جنگلی مورد مطالعه و اهمیت این مطالعه در شناسایی مناطق خطر برای زمین‌لغزش برای عدم عبور جاده‌های جنگلی از این مناطق، به‌طور خلاصه هدف از این تحقیق را می‌توان ارزیابی کارایی مدل‌های تجربی حائری - سمیعی و مورا - وارسون در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در یک منطقه جنگلی و بررسی وضعیت جاده‌های جنگلی طراحی شده

محققان مختلف در دنیا و ایران انجام شده است، به‌طوری‌که روشهای مختلفی برای بررسی مناطق لغزشی به‌صورت پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش تهیه شده که از آن جمله می‌توان به مدل‌های آماری، تجربی و فازی که از مهمترین مدل‌های پهنه‌بندی می‌باشند، اشاره کرد. هر یک از روشهای فوق دارای محاسن و معایبی متناسب با مناطق خاصی از جهان بوده و بنابراین برای کاربرد آنها ابتدا بایستی کارایی هر یک از آنها در مناطق مورد نظر بررسی شده و از بین آنها بهترین روش پهنه‌بندی که می‌تواند خطر زمین‌لغزش را در منطقه پهنه‌بندی و پیش‌بینی نماید، مطرح و پیشنهاد کرد. این روشها در مناطق مختلف جهان و همچنین در ایران برای مناطق جنگلی و غیرجنگلی ارزیابی و کارایی آنها مورد بررسی قرار گرفته است. در این تحقیق نیز هدف بررسی کارایی روشهای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در مناطق جنگلی می‌باشد. در این تحقیق برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در سری دو جنگل شصت‌کلاته گرگان از مدل تجربی استفاده و کارایی دو روش حائری - سمیعی و مورا - وارسون بررسی شد. همچنین بعد از انتخاب بهترین و کارآمدترین مدل، وضعیت جاده‌های جنگلی طراحی شده در منطقه مورد مطالعه از نظر میزان عبور از مناطق لغزشی با طبقه‌های متفاوت خطر، مورد بررسی قرار می‌گیرد.

روش مورا - وارسون ابتدا توسط مورا و وارسون انجام و به‌نام این محققان ثبت گردید. مورا و وارسون مجموعه مطالعات موردی انجام شده در رابطه با گسیختگیهای به‌وقوع پیوسته در نتیجه وقوع زلزله‌های تاریخی و بارندگیهای سنگین، در آمریکای مرکزی را ساماندهی کرده و براساس نتایج بدست آمده، روشی را برای پیشگویی پهنه‌های مستعد گسیختگی شیب پیشنهاد دادند (شریعت جعفری، 1375).

حائری و سمیعی (1376) با تلفیق و اصلاح روشهای مرسوم یک مدل وزنی منطقه‌ای برای منطقه البرز و جنگلهای خزری، با امتیازبندی هفت مشخصه و با هفت

"30' 42° 36 تا "30' 43° 36 عرض شمالی است (شکل 1).

سری دو از شمال به سری یک طرح جنگل‌داری شصت‌کلاته و زمینهای زراعی، از جنوب به بلندیهای پرشیب و صخره‌ای، از شرق به طرح جنگل‌داری سعدآباد و سری یک شصت‌کلاته، از غرب به طرح جنگل‌داری شمشک و دره بزرگ شصت‌کلاته محدود شده است. دمای متوسط سالانه در دوره آماری 18 ساله (1352 تا 1370) برابر 17/74 درجه سانتی‌گراد و اقلیم منطقه به‌روش آمبرژه، معتدل نیمه‌خشک می‌باشد (بی‌نام، 1380). از نظر پوشش گیاهی تمام سطح منطقه دارای پوشش جنگلی انبوه می‌باشد. از نظر زمین‌شناسی، سری دو طرح جنگل‌داری شصت‌کلاته براساس مدل استاندارد چینه‌شناختی نشانگر وجود سازندهای شیست سبز، تیزکوه، لار از جنس لس بوده، به‌گونه‌ای که کنش سازندهای یادشده در برابر فرایندهای اقلیمی و زمین‌ساختی (تکتونیک) پدیدآورنده مورفولوژی موجود شده است. سازند شیست سبز گرگان با سنگ‌شناسی سنگهای دگرگونی شیستی متورق به‌همراه کانیهای چون کوارتزیت - فیلیت با سن پرکامبرین، سازند لار با سنگ‌شناسی آهک‌های متوسط تا ضخیم لایه خاکستری تا کرم رنگ به‌همراه قلوه‌های اکسید سیلیس با سن ژوراسیک فوقانی، سازند تیزکوه (KT) با سنگ‌شناسی (لیتولوژی) سنگ آهک نخودی خاکستری رنگ هوازده با لایه‌بندی ضخیم تا توده‌ای با سن کرتاسه، نهشته‌های لس با بافتی ناپیوسته، بسیار عمیق، فاقد پیوستگی و بسیار فرسایش‌پذیر دیده می‌شود (شکل 2). وجود زمین‌لغزش‌های متعدد در منطقه بیانگر این موضوع می‌باشد (بی‌نام، 1380).

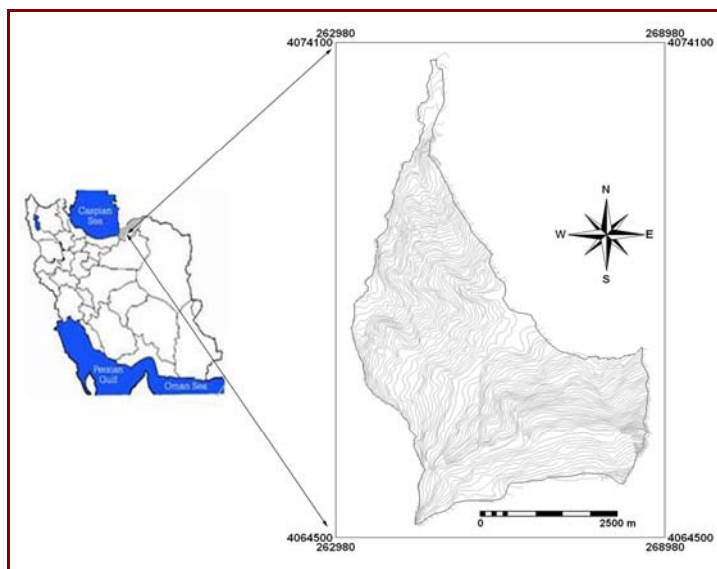
از نظر میزان عبور از مناطق لغزشی و یا احتمال وقوع زمین‌لغزش بیان کرد.

از سویی یکی از اساسی‌ترین و بهترین روشها برای مقایسه روشهای پهنه‌بندی، تهیه نقشه واقعیت زمینی مناطق زمین‌لغزش موجود می‌باشد که نقشه‌های حاصل از پهنه‌بندی به روشهای مختلف با این نقشه واقعیت زمینی مورد قیاس قرار گرفته و کارایی آنها مورد بررسی و ارزیابی قرار می‌گیرد. برای تهیه نقشه‌های واقعیت زمینی مناطق لغزشی موجود، معمولاً از تصاویر ماهواره‌ای و عکسهای هوایی استفاده می‌شود، اما در مناطق جنگلی به‌علت وجود تاج‌پوشش (مورد مطالعه جنگلهای شمال) و کارایی نامناسب این تصاویر و عکسها برای شناسایی مناطق دارای حرکت‌های توده‌ای، ناچار به جنگل‌گردشی در مناطق مورد مطالعه می‌باشد که این مسئله خود باعث شد تا منطقه مورد مطالعه کوچکتر از حد معمول آن در نظر گرفته شود. در ضمن می‌توان از نتایج این تحقیق هم برای ارائه یک مدل مناسب پهنه‌بندی در مناطق جنگلی استفاده نمود و هم می‌توان بررسی کرد که نتایج مدل‌های پهنه‌بندی در مناطق کوچک تا چه حدی دقت دارد.

## مواد و روشها

### منطقه مورد مطالعه

سری دو جنگل شصت‌کلاته واقع در 5 کیلومتری غرب گرگان در استان گلستان و با وسعتی حدود 2000 هکتار در حوضه آبخیز 85 طرح جامع جنگلهای شمال کشور، بین دامنه ارتفاعی 250 تا 2000 متر از سطح دریاها آزاد قرار گرفته است. منطقه دارای مختصات جغرافیایی "06' 21° 54 تا "30' 23° 54 طول شرقی و



شکل 1- موقعیت منطقه مورد مطالعه در ایران و استان گلستان

شناسایی شده و اطلاعات مربوط به موقعیت آنها به وسیله دستگاه موقعیت یاب جهانی (GPS) ثبت شد. در مرحله بعد، این اطلاعات در محیط GIS وارد شد و نقشه پراکنش زمین لغزش منطقه بدست آمد (شکل 2).

### روش تحقیق

#### تهیه نقشه زمین لغزشهای موجود

در این تحقیق ابتدا از طریق جنگل گردشی گسترده زمین لغزشهای رخ داده در سری دو جنگل شصت کلاته



شکل 2- پراکنش زمین لغزش در سری دو جنگل شصت کلاته

$Sh$  = مقدار شاخص تأثیر رطوبت طبیعی خاک  
 برای بدست آوردن مقدار شاخص پستی و بلندی نسبی و تهیه نقشه مورد نظر، ابتدا مدل رقومی زمین منطقه از طریق درون‌یابی منحنی میزانهای ارتفاعی برگرفته از نقشه‌های 1:25000 منطقه تهیه و نقشه طبقات ارتفاعی ایجاد شد (شکل 4). پس از آن برای بدست آوردن اختلاف ارتفاع در یک کیلومتر مربع از طریق تجمع (Aggregate) پیکسل‌های مدل رقومی زمین در محیط نرم‌افزار ILWIS، واحدهای کاری یک کیلومتر مربعی ایجاد شد. با اجرای فیلترهای حداکثر (Maximum) و حداقل (Minimum)، نقشه‌هایی با کمترین و بیشترین میزان ارتفاع در واحدهای کاری یک کیلومتر مربعی حاصل شد (جدول 1). در مرحله آخر با تفریق این دو نقشه، نقشه‌ای بدست آمد که اطلاعات آن بیانگر مقدار شاخص پستی و بلندی نسبی است.

### پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش به روش مورا - وارسون

در این روش، سه عامل پستی و بلندی نسبی، شرایط لیتولوژیک و رطوبت خاک به‌عنوان عوامل مؤثر در استعداد گسیختگی شیب مورد توجه واقع شده‌اند. به‌علاوه دو عامل شدت لرزه و شدت بارندگی نیز به‌عنوان محرک در نظر گرفته شده‌اند (شریعت جعفری، 1375). با ترکیب این عوامل، درجه خطر گسیختگی شیب به شکل رابطه (1) تعریف می‌شود:

$$HI = (Sr \times SI \times Sh)(Ts + Tp) \quad (1)$$

در روش مورا - وارسون

$HI$  = شاخص خطر زمین لغزه

$Sr$  = مقدار شاخص پستی و بلندی نسبی

$Ts$  = مقدار تأثیر شدت لرزه ای

$SI$  = مقدار حساسیت لیتولوژیک

$Tp$  = مقدار تأثیر شدت بارندگی

جدول 1- رده‌بندی و مقادیر پستی و بلندی نسبی و طبقه‌بندی تأثیر آن در استعداد بروز زمین‌لغزش

(مورا و وارسون به نقل از شریعت جعفری، 1375)

پستی و بلندی نسبی (متر/کیلومتر مربع)	حساسیت	مشخصه
0 - 75	خیلی کم	0
76 - 175	کم	1
176 - 300	ملازم	2
301 - 500	متوسط	3
501 - 800	زیاد	4
>800	بسیار زیاد	5

در این نقشه، منطقه دارای 4 واحد زمین‌شناسی می‌باشد. براساس جدول 2 مربوط به طبقه‌بندی تأثیر لیتولوژی در هر کدام از روشهای تجربی، هر کدام از واحدها دارای یک نوع حساسیت و مشخصه مربوط به خود می‌باشد.

### برآورد شاخص تأثیر لیتولوژی

برای تهیه نقشه زمین‌شناسی سری دو جنگل شصت‌کلاته از نقشه 1:100000 زمین‌شناسی تهیه شده توسط سازمان زمین‌شناسی کشور استفاده شد (شکل 3).

جدول 2- طبقه بندی تأثیر لیتولوژی و حساسیت آن در وقوع زمین لغزش (شریعت جعفری، 1375)

مشخصه	حساسیت	لیتولوژی
1	کم	آهک نفوذ پذیر، سنگهای نفوذی با خردشدگی کم، بازالت، آندزیتها، گرانیتها، سنگهایی با مقاومت برشی زیاد، شدت هوازدگی کم، سطح ایستایی کم و سطوح شکستگی تمیز
2	ملایم	سنگهای فوق الذکر و سنگهای رسوبی تخریبی با بافت کاملاً توده‌ای با شدت هوازدگی زیاد، شکستگیهای برش پذیر و مقاومت برشی کم
3	متوسط	سنگهای آتشفشانی، دگرگونی، آذرین درونی و رسوبی با هوازدگی قابل توجه
4	زیاد	سنگهای دگرسان شده گرمابی با هوازدگی قابل توجه، قویاً گسسته شده و شکافدار همراه با پرشدگی رسی (درزه‌ها)، آذر آواری‌های کم مترکم شده با سطوح ایستایی کم عمق
5	بسیار	سنگهای کاملاً دگرسان شده، خاکهای برجا، آبرفتها، کوهرفت‌هایی با مقاومت برشی کم و سطح ایستایی کم
	زیاد	کم

## برآورد شاخص شدت لرزه‌ای

ارتفاع موجود و وجود گسلهایی در جنوب منطقه مورد مطالعه، شدت لرزه منطقه برای قسمتهای شمالی آن تا ارتفاع 1000 متر 3 و برای بقیه منطقه 3/2 در نظر گرفته شود (جدول 3 و شکل 6).

یکی دیگر از لایه‌های مهم در این روش، نقشه تأثیر شدت لرزه (در مقیاس مرکالی) می‌باشد. طبق تحقیقات صورت گرفته، سابقه شدت لرزه‌های منطقه گرگان و نقشه شتاب منطقه تصمیم گرفته شد که تا با توجه به اختلاف

جدول 3- تأثیر شدت لرزه (در مقیاس مرکالی) به‌عنوان یک عامل محرک در ایجاد زمین لغزشها (شریعت جعفری، 1375)

مشخصه	حساسیت	شدتها (میلی متر)
1	ناچیز	III
2	خیلی کم	IV
3	کم	V
4	ملایم	VI
5	متوسط	VII
6	قابل توجه	VIII
7	زیاد	IX
8	قوی	X
9	خیلی قوی	XI
10	بی نهایت قوی	XII

## برآورد شاخص و شدت بارش

برای این منظور از رابطه بین ارتفاع منطقه با میزان بارندگی آن که از طریق رابطه 2 برای حوضه آبخیز قره‌سو بدست آمده استفاده شد (بیرودیان، 1377).

اطلاعات در مورد میزان بارندگی به‌علت نبود ایستگاه هواشناسی در منطقه از طریق اطلاعات ایستگاههای همجوار و روابط همبستگی ارتفاعی بدست آمده است.

رده‌های مربوط به بارندگی و امتیازدهی آنها در جدول‌های 4 و 5 ارائه شده‌اند.

$$Y = \frac{282x^2 - 285000x + 18 \times 10^7}{x^2 - 1000x + 45 \times 10^7} \quad (2)$$

$Y =$  میزان بارندگی سالیانه  $x =$  میزان ارتفاع

جدول 4- رده‌های مربوط به متوسط بارندگی ماهانه (فتاحی اردکانی، 1379)

مقدار تخصیص داده شده	متوسط بارندگی ماهانه (میلیمتر)
0	<25
0/5	25-50
1	50-75
1/5	75-100
2	>100

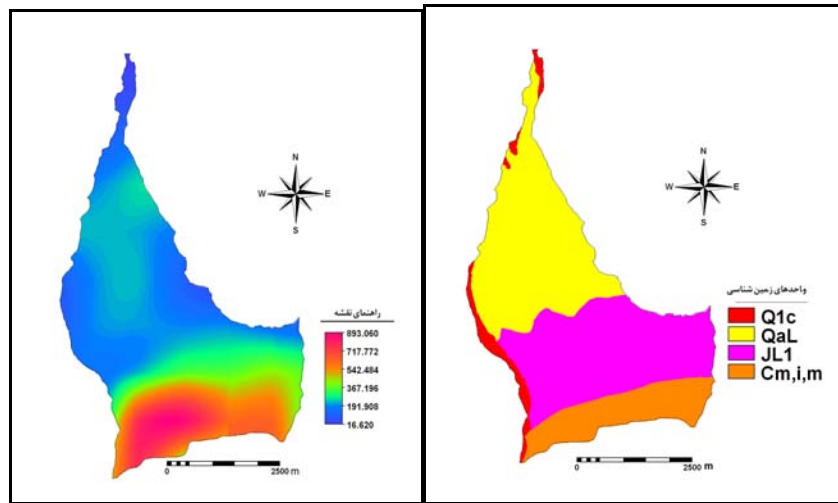
جدول 5- امتیازدهی به میزان بارش سالانه (فتاحی اردکانی، 1379)

مشخصه حساسیت	مجموع (امتیاز) متوسط بارش
1 خیلی کم	<2/5
2 کم	2/5-5
3 متوسط	5-7/5
4 زیاد	7/5-10
5 خیلی زیاد	>10

برای بدست آوردن شدت بارش منطقه با دوره آماری بیش از 10 سال و دوره بازگشت صدساله از نرم‌افزار Hypha استفاده شد. برای این کار آمار بارندگی حداکثر روزانه در 4 ایستگاه طی 10 سال (1375 تا 1384) جمع‌آوری و با قرار دادن در رابطه تحلیل پراکنش (Distribution Analysis) مدل پیرسون تیپ سه (Pearson Type III) در سطح احتمال 95٪، میزان شدت بارش با دوره بازگشت صدساله به‌همراه انحراف معیار آن محاسبه شد. سپس از طریق رابطه بین ارتفاع و شدت بارش و طبقه‌بندی نقشه (جدول 6 و شکل 5) با توجه به طبقات تقسیم شده در این روش، نقشه شدت بارش منطقه بدست آمد (شکل 7).

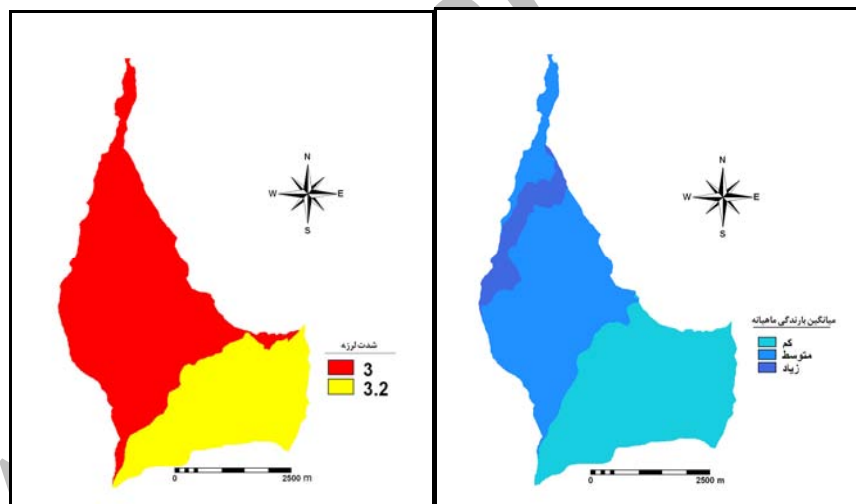
جدول 6- تأثیر مقدار بارش به‌عنوان یک عامل محرک در بروز زمین‌لغزشها (فتاحی اردکانی، 1379)

مشخصه حساسیت	حداکثر بارندگی (میلی متر) $n > 10yr, Tr = 100yr$
1 خیلی کم	<40
2 کم	40-80
3 متوسط	80-120
4 زیاد	120-160
5 خیلی زیاد	>160



شکل 3- نقشه واحدهای زمین شناسی منطقه مورد مطالعه

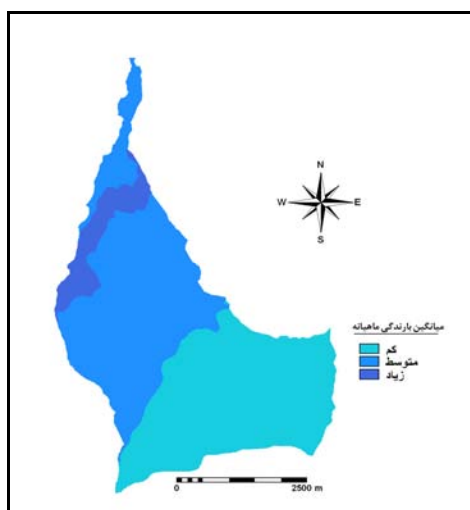
شکل 4- نقشه پستی بلندی نسبی منطقه مورد مطالعه



شکل 5- نقشه طبقه بندی شده بارش منطقه مورد مطالعه

شکل 6- نقشه تأثیر عامل شدت لرزه در مدل تجربی





شکل 7- نقشه طبقه‌بندی شده شدت بارش منطقه

در نظر گرفت. پس از مطالعه و بررسی برای حل این مشکل و طبقه‌بندی این دو مشخصه، تصمیم گرفته شد تا از طبقه‌بندی در روش آماری (فراوانی تجمعی پیکسلها) در مورد این دو مشخصه استفاده شود. به طوری که با واقعیت منطقه نیز سازگاری داشته باشد. با توجه به عوامل مؤثر در ناپایداری، شرایط مورد بررسی و مراحل یاد شده، رابطه (3) برای مناطق مختلف ایران و دنیا پیشنهاد شده است (حائری و سمیعی، 1376).

پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش به روش حائری - سمیعی برای استفاده از این روش در یک مقیاس بزرگتر (سطح کوچک) احتیاج به یک مجموعه اصلاحات در امتیازبندی دو مشخصه طول گسل و طول آبراهه می‌باشد، زیرا تغییر واحد کاری (1x1 سانتیمتر بر روی نقشه) به پیکسلهای 10 متر در 10 متر، در مورد این دو مشخصه مشکل ایجاد می‌کند. چون امتیازدهی به این دو مشخصه براساس طول واقع شده آنها در یک واحد کاری است که باید امتیازبندی این دو را به صورت فاصله آنها از پیکسل

$$H_{LS} = (C_L P_L) (C_I P_I) (C_F P_F) (C_R P_R) (C_H P_H) (C_T P_T + C_E P_E) \quad (3)$$

$H_{LS}$  = میزان خطر ناپایداری دامنه‌ها (Landslide Hazard)

$P_L$  = استعداد عامل لیتولوژی (Lithology Potential)

$P_I$  = استعداد عامل زاویه شیب (Inclination Potential)

$P_F$  = استعداد عامل گسل (Fault Potential)

$P_R$  = استعداد عامل رودخانه (River Potential)

$P_H$  = استعداد عامل میزان بارندگی و رطوبت منطقه (Humidity Potential)

$T_P$  = تأثیر عامل شدت بارندگی (Precipitation Triggering Potential)

$T_E$  = استعداد عامل زمین‌لرزه (Earthquake Triggering Potential)

مطالعات انجام شده بر روی مناطق الگو در جدول 7 آمده است (حائری و سمیعی، 1376).

ضرائب C بیانگر اهمیت هر یک از عوامل در مجموعه مشخصه‌های مؤثر بر ناپایداری می‌باشد. مقادیر بدست آمده برای استانهای مازندران و گلستان با توجه به

جدول 7- مقادیر مربوط به ضرائب نسبی (C)

ضرائب	$C_L$	$C_I$	$C_F$	$C_R$	$C_H$	$C_P$	$C_E$
مقدار	0/75	1	0/33	0/75	1	1	2

شیب، ضرائب تأثیر آن نیز افزایش پیدا می‌کند (حائری و سمیعی، 1376).

#### استعداد عامل زاویه شیب

طبقه‌بندی زاویه شیب در این روش به صورت جدول 8 انجام شد. همان‌طور که مشخص است با افزایش زاویه

جدول 8- شیوه تأثیر زاویه شیب در افزایش ناپایداری

اندازه زاویه شیب (درجه)	<5	6-15	16-25	26-35	36-45	>45
تأثیر در ناپایداری دامنه‌ها	بدون تأثیر	خیلی کم	کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد
ضرائب	0	1	2	3	4	5

زیر (الف و ب) خلاصه شده و مورد استفاده قرار می‌گیرد (حائری و سمیعی، 1376):

الف) میزان بارندگی به عنوان عاملی در افزایش استعداد و لغزش در دامنه‌ها (جدولهای 9 و 10).

#### بارندگی

چگونگی تأثیر عامل بارندگی در رویداد زمین‌لغزه‌ها و تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش به دو ضرائب

جدول 9- رده‌بندی ضرائب میانگین بارندگی ماهیانه

میانگین بارندگی ماهیانه (میلی متر در ماه)	0-49	50-99	100-149	150-199	>200
ضرائب بارندگی ماهیانه	0	0/5	1	1/5	2

جدول 10- چگونگی تأثیر میانگین بارندگی ماهیانه در ناپایداری دامنه‌ها

ضرائب تجمعی میانگین بارندگی ماهانه	0-3	3/5-6	6/5-9	9/5-12	>12
تأثیر در ناپایداری	خیلی کم	کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد
ضرائب	1	2	3	4	5

ب) شدت بارندگی به عنوان عامل ایجاد لغزشها (جدول 11).

جدول 11- تأثیر شدت بارندگی در ایجاد رانش

بیشینه بارندگی - $n > 10$ دوره بازگشت صد ساله (میلی متر)	بیشینه بارندگی - $n > 10$ میانگین (میلی متر)	چگونگی تأثیر بر ناپایداری دامنه‌ها	ضریب
<60	<30	خیلی کم	1
61-120	30-55	کم	2
121-180	56-80	متوسط	3
181-240	81-105	زیاد	4
>242	>105	خیلی زیاد	5

نقشه میزان بارش (شکل 8) و شدت بارش (شکل 9) به روش حائری - سمیعی تهیه گردیده است.

### فاصله از گسل

طبقه‌بندی این عامل براساس دستورالعمل طبقه‌بندی عوامل مؤثر در روش آماری می‌باشد. به این صورت که پس از تهیه نمودار فراوانی تجمعی پیکسل‌ها برای عامل فاصله از گسل و نهایی شدن طبقه‌بندی این عامل، از طریق نرم‌افزار Arcview و اجرای دستور بافر با توجه به فاصله‌های هر طبقه، سطح پوشانده شده هر کدام از طبقه‌ها در سطح منطقه مورد مطالعه مشخص شد (شکل 11).

### فاصله از آبراهه

طبقه‌بندی این عامل نیز براساس دستورالعمل طبقه‌بندی عوامل مؤثر در روش آماری می‌باشد. نقشه طبقه‌بندی این عامل نیز مانند نقشه فاصله از گسل تهیه شد (شکل 10).

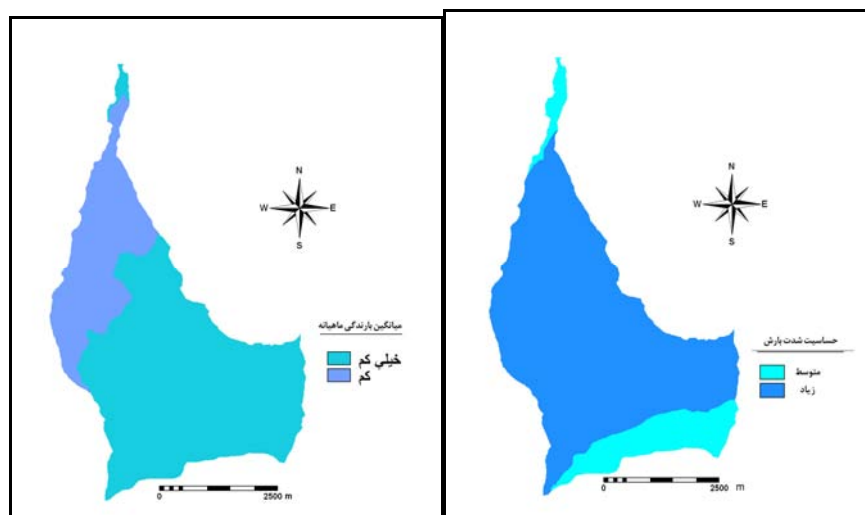
### زمین لرزه

در طبقه‌بندی تأثیر زمین‌لرزه در روش حائری - سمیعی طبق دستورالعمل روش مورا - وارسون عمل شد (جدول 12).

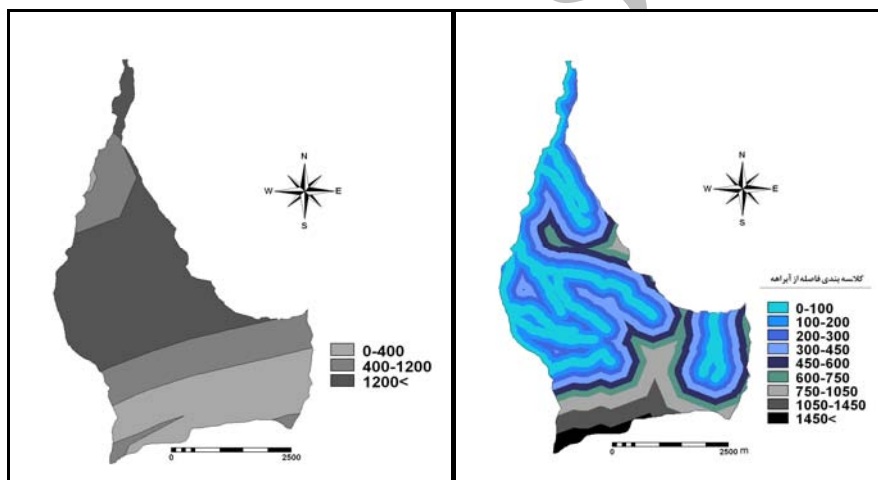
جدول 12- چگونگی تأثیر خطر نسبی زمین‌لرزه در ایجاد رانش  
(Anbalagan et al., 1993)

خطر نسبی هر پهنه	ضریب
کم	1
نسبتاً کم	2
متوسط	3
نسبتاً زیاد	4
زیاد	5
بسیار زیاد	6

داده‌ها و لایه‌های اطلاعاتی عوامل هر دو مدل به تناسب ماهیت و موجودی، از منابع جدولی و نقشه‌ای متفاوت استخراج و محاسبه گردید. این داده‌ها به پایگاه اطلاعاتی وارد شد و برای عملیات امتیازبندی، تولید نقشه‌های عوامل و نقشه نهایی خطر از قابلیت‌های نرم‌افزارهای Arcview, Ilwis و Spss استفاده شد.



شکل 8- نقشه طبقه‌بندی شده میزان بارش منطقه به روش حائری- سمیعی شکل 9- نقشه طبقه‌بندی شده شدت بارش منطقه



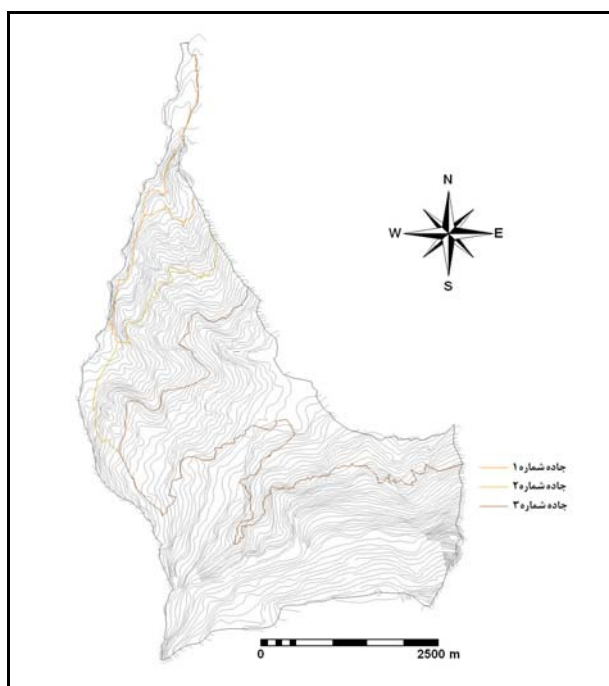
شکل 11- نقشه عامل فاصله از گسل

شکل 10- نقشه عامل فاصله از آبراهه

(شکل 12) با بهترین نقشه پهنه‌بندی حاصل از اجرای مدل خطر زمین‌لغزش بر روی هم قرار گرفت. سپس از طریق اطلاعات آماری بدست آمده، به بررسی وضعیت شبکه جاده‌ها پرداخته و بخشهایی از مسیر جاده‌های پیش‌بینی شده که از مناطق پرخطر و کم‌خطر عبور می‌کردند، مشخص شد (شکل 12).

#### بررسی شبکه جاده‌های پیش‌بینی شده

برای بررسی وضعیت شبکه جاده‌های پیش‌بینی شده، نیاز به اطلاعات (جدول 13) و نقشه دقیق رومی شده شبکه جاده طراحی شده منطقه مورد مطالعه است. در مرحله بعد پس از این که بهترین روش پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش مشخص شد، لایه جاده‌های پیش‌بینی شده



شکل 12- نقشه شبکه جاده پیش‌بینی شده سری دو جنگل شصت کلاته

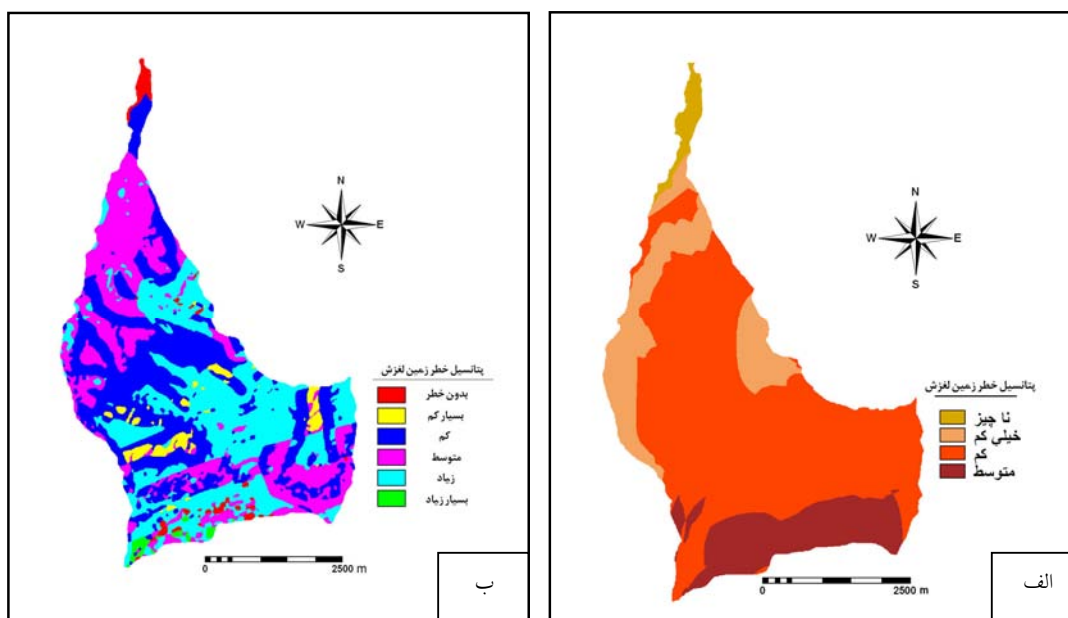
جدول 13- مشخصات آماری جاده‌های سری دو جنگل شصت کلاته

شماره جاده	1	2	3
طول جاده (کیلومتر)	6/61	5/24	16/71

## نتایج

**نقشه‌های خطر:** پس از تلفیق امتیاز عددی نقشه‌های موضوعی هر یک از عوامل روشها، نقشه خطر زمین‌لغزش روش حائری - سمیعی با 6 طبقه خطر (شکل 13- ب) و نقشه خطر زمین‌لغزش روش مورا - وارسون با 4 طبقه خطر (شکل 13- الف) تهیه شد. در نقشه خطر

زمین‌لغزش مدل حائری - سمیعی بیشترین توزیع مساحت متعلق به طبقه خطر کم و کمترین متعلق به طبقه با خطر بسیار زیاد است (جدول 15). در نقشه خطر زمین‌لغزش روش مورا - وارسون بیشترین توزیع مساحت متعلق به طبقه با خطر کم و کمترین متعلق به طبقه با خطر ناچیز است (جدول 14).



شکل 13- نقشه خطر زمین لغزش به روش مورا - وارسون (الف) و به روش حائری - سمیعی (ب)

جدول 14- نتایج بدست آمده از نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش به روش مورا - وارسون

طبقه خطر	سطح هر پهنه (هکتار)	نسبت سطح هر پهنه به سطح کل	سطح زمین لغزش در هر پهنه (هکتار)	نسبت سطح زمین لغزش در هر پهنه به سطح کل زمین لغزش
1	48/22	0/024	0	0
2	328/18	0/165	0/685	0/246
3	1316/09	0/662	2/09	0/753
4	293/59	0/147	0	0

جدول 15- نتایج بدست آمده از نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش به روش حائری - سمیعی

طبقه خطر	سطح هر پهنه (هکتار)	نسبت سطح هر پهنه به سطح کل	سطح زمین لغزش در هر پهنه (هکتار)	نسبت سطح زمین لغزش در هر پهنه به سطح کل زمین لغزش
1	39/1	0/019	0	0
2	57/95	0/029	0	0
3	698/3	0/35	0/61	0/21
4	530/55	0/267	1/645	0/59
5	643/9	0/324	0/52	0/187
6	16/87	0/0084	0	0

دانشیته برای مقایسه طبقه های خطر در هر یک از نقشه ها به طور مستقل مورد استفاده قرار گرفته است (رابطه 4 و جدول 16).

ارزیابی و مقایسه کارایی روشهای پهنه بندی برای ارزیابی و طبقه بندی نقشه های خطر رانش زمین، از دو شاخص معرفی شده با عنوانهای نسبت دانشیته (Dr) و جمع مطلوبیت (Qs) استفاده شد. شاخص نسبت

$$Dr = \frac{\frac{Si}{Ai}}{\sum_i^n \frac{Si}{Ai}} \quad (4)$$

$Si$  = مجموع مساحت زمین لغزشهای واقع در هر طبقه خطر

$Ai$  = مساحت  $i$  مین طبقه خطر در یک نقشه پهنه‌بندی

$N$  = تعداد طبقه‌های خطر

جدول 16- مقادیر  $Dr$  در طبقه‌های مختلف نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش

طبقه‌های خطر	روش حائری - سمیعی	روش مورا - وارسون
1	0	0
2	0	2/08
3	0/87	1/58
4	3/1	0
5	0/8	---
6	0	---

$Qs$  = جمع مطلوبیت

$Dr$  = نسبت دانسیته

$S$  = نسبت مساحت هر طبقه خطر به مساحت کل منطقه

$n$  = تعداد طبقه خطر

نتایج مقدار  $Qs$  (جدول 17) نشان می‌دهد که روش حائری - سمیعی دارای بیشترین مقدار در مقایسه با روش مورا - وارسون می‌باشد. بنابراین به‌عنوان بهترین روش برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در منطقه مورد مطالعه و در مناطق مشابه می‌تواند معرفی شود.

در مورد شاخص  $Dr$ ، نتایج حاصل نشان می‌دهد که در ارتباط با پیش‌بینی خطر و تفکیک طبقه‌های خطر، روش حائری - سمیعی در طبقه پنجم و روش مورا - وارسون در طبقه دوم از دقت خوبی برخوردار می‌باشند.

برای مقایسه نتایج خروجی مدل‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش از شاخص جمع مطلوبیت ( $Qs$ ) استفاده شد. مقدار ( $Qs$ ) از رابطه (5) برای هر نقشه محاسبه می‌شود:

$$Qs = \sum_{i=1}^n ((Dr - 1)^2 \times S) \quad (5)$$

نتایج بررسی وضعیت جاده طراحی شده

پس از روی هم قرار دادن شبکه جاده‌های پیش‌بینی شده با نقشه پهنه‌بندی خطر حاصل از روش حائری - سمیعی با استفاده از اطلاعات آماری بدست آمده، شبکه

جدول 17- مقادیر  $Qs$  روشهای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش

روش حائری - سمیعی	روش مورا - وارسون	مقادیر $Qs$
1/251	0/586	

کرده است. با توجه به نتایج جدول 18 بیشترین طول مسیر در جاده‌های شماره 1 و 2 در طبقه با خطر متوسط قرار دارد و در جاده شماره 3 بیشترین طول در طبقه با خطر زیاد قرار گرفته است. البته این مسئله با توجه به شرایط منطقه در مناطقی که تحت پوشش جاده شماره 3 قرار دارد غیر قابل اجتناب است.

جاده‌های طراحی شده از نظر خطر زمین‌لغزش بررسی و نقاط کم‌خطر و پرخطر مشخص شدند. در بین طبقه‌های خطر بدست آمده از روش حائری - سمیعی، فقط در طبقه 6 هیچ مسیر جاده‌ای عبور نکرده است. از بین طبقه‌های 1 تا 5، در طبقه 1 با 602/97 متر کمترین و در طبقه 5 با 9374/84 متر بیشترین طول مسیر جاده عبور

جدول 18- اطلاعات طول جاده در هر یک از طبقه‌های خطر بدست آمده از روش حائری - سمیعی

طبقه خطر	جاده شماره 1 (متر)	جاده شماره 2 (متر)	جاده شماره 3 (متر)	مجموع (متر)
1	602/97	0	0	602/97
2	0	0	1272/22	1272/22
3	1456/66	1749/43	5664/3	8870/39
4	3946/42	2970/77	1534/27	8451/46
5	605/56	457/04	8312/24	9374/84
6	0	0	0	0

- سمیعی، سطح لغزشهای رخ داده در منطقه نسبت به نقشه بدست آمده از روش مورا - وارسون، بیشتر در مناطقی با خطرپذیری زیاد قرار گرفته است و به نوعی می‌توان گفت نقشه پهنه‌بندی روش حائری - سمیعی همخوانی بیشتری با نقشه واقعیت زمینی منطقه دارد.

از مزیت اصلی این روش و همچنین روش مورا - وارسون این است که در تعیین اهمیت نسبی و امتیازبندی عددی عوامل (وزن) و طبقات آنها (نرخ)، از نقشه پراکنش و تعداد و مساحت تصویر افقی زمین‌لغزشهای موجود که به‌ویژه در مناطق کوهستانی و جنگلی سخت‌ترین و پرهزینه‌ترین مرحله ارزیابی خطر است، بی‌نیاز می‌باشد. هرچند که در مدل‌های جدیدتر، اهمیت نسبی و امتیاز طبقات عوامل خطر زمین‌لغزش، بر تراکم، تعداد و مساحت زمین لغزشهای موجود استوار می‌باشد.

در این تحقیق میزان شاخص Qs در روش مورا - وارسون تقریباً نصف میزان این شاخص در روش حائری - سمیعی است که شرایط اقلیمی منطقه را می‌توان یکی از علت‌های آن دانست. زیرا اصول اولیه طراحی روش مورا -

## بحث

همان‌طور که نتایج بدست آمده نشان داده است، روش حائری - سمیعی در منطقه مورد مطالعه بیشترین مقدار Qs را دارا می‌باشد. البته لازم به یادآوری است که روش حائری - سمیعی که در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفته است، حالت اصلاح شده این روش می‌باشد که براساس شرایط منطقه مورد مطالعه و عوامل مؤثر قابل دسترس، تغییراتی در آن صورت گرفته است. به‌طوری‌که در مورد دو عامل طول آبراهه و گسل، از میزان فاصله از آبراهه و گسل براساس طبقه‌بندی روشهای آماری استفاده شده است.

با توجه به نقشه بدست آمده از روش حائری - سمیعی و مقایسه آن با نقشه پهنه‌بندی حاصل از روش مورا - وارسون و نقشه زمین‌لغزشهای موجود در منطقه می‌توان به این نتیجه دست یافت که دقت در روش حائری - سمیعی در مقایسه با روش مورا - وارسون بیشتر می‌باشد، زیرا در نقشه بدست آمده از روش حائری



### منابع مورد استفاده

- امینی‌زاده، م.، 1377. پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه آبخیز سد جیرفت. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، مؤسسه بین المللی امام خمینی. 112 صفحه.
- اونق، م.، 1383. جزوه درس آمایش سرزمین، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان. 115 صفحه.
- بیرودیان، ن.، 1377. بررسی کمی حوضه آبخیز قره‌سو. طرح تحقیقاتی. دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان. 146 صفحه.
- بی‌نام، 1380. طرح جنگل‌داری سری 2 جنگل شصت‌کلاته. معاونت فنی اداره کل منابع طبیعی استان گلستان. 154 صفحه.
- حائری، م. و سمیعی، ا.، 1376. روش جدید پهنه‌بندی مناطق شبیدار در برابر خطر زمین‌لغزش با تکیه بر بررسی‌های پهنه‌بندی استان مازندران. فصلنامه علمی پژوهشی علوم زمین، 23: 2-16.
- شریعت جعفری، م.، 1375. زمین‌لغزش (مبانی و اصول پایداری شیب‌های طبیعی). انتشارات سازه، 205 صفحه.
- فتاحی اردکانی، م.ع.، غیومیان، ج. و جلالی، ن.، 1382. ارزیابی کارایی مدل‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه آبخیز سد لتیان، مجله زمین‌شناسی مهندسی، 1 (1): 42-25.
- فرزامجو، ف.، 1376. پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش. پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران. 120 صفحه.
- Anbalagan R., Sharma, L. and Tyag, i. S., 1993. Landslide hazard zonation (LHZ) mapping of a part of Doom Valley, Garthwal Himalaya, India. In: Choudhury, D. & Kumar, S. (eds.). Environmental Management, Geo-Water, Eng-Aspects, Balkema Rotterdam: 1-11.
- Blanc, R.P., and Cleveland, G.B., 1968, Natural slope stability as related to geology, San Clement area, Orange and San Diego Counties, California: California Division of Mines and Geology, Special Report 98, 19 p.
- وارسون براساس گسیختگی‌های به‌وقوع پیوسته در نتیجه وقوع زلزله‌های تاریخی و بارندگی‌های سنگین در آمریکای مرکزی ساماندهی شده است. حتی با اصلاحات انجام شده توسط فرزامجو (1376) در ارتباط با عامل بارش و شدت بارش که برای استفاده از این روش در ایران انجام دادند، در این تحقیق روش یادشده نتیجه قابل قبولی نشان نداده است.
- در رابطه با شبکه جاده طراحی شده، با توجه به این که مساحتی حدود 670 هکتار، (حدود یک سوم سطح سری) دارای استعداد بروز خطر زیاد و بسیار زیاد می‌باشد، بنابراین صرف‌نظر کردن از عبور جاده از این مناطق تقریباً غیرممکن است. زیرا یکی از اهداف اصلی شبکه جاده‌های جنگلی، ایجاد پوشش مناسب در سطح منطقه می‌باشد.
- همان‌طور که در جدول 18 بیان شد، بیشترین طول جاده شماره 3 از مناطق با طبقه خطر زیاد عبور می‌کند که با توجه به سطح این طبقه در مناطق بالادست سری که تحت پوشش جاده شماره 3 قرار دارد، این موضوع منطقی است. اما در جاده‌های شماره 2 و 3 این امکان وجود دارد که طول جاده‌های عبور کرده از طبقه با خطر زیاد را به‌میزان بیشتری کاهش داد.
- از دیگر مسائل مهم، بررسی دقیق‌تر مناطق به‌منظور جلوگیری از عبور جاده از مناطق در حال لغزش و ایجاد استحکامات مناسب برای حفاظت از مناطق پرخطر جاده‌ها می‌باشد. زیرا هزینه‌ای که بعد از احداث باید صرف نگهداری، ترمیم و اصلاح جاده‌های لغزش‌یافته یا در آستانه خطر شود، بسیار بیشتر از هزینه‌های بررسی منطقه و تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی در زمینه‌های مختلف قبل از طراحی و احداث جاده است.

## Evaluation the efficiency of experimental landslide hazard zonation models (Haeri-Samiei and Mora-Varson) for considering designed road network in Shastkalate forest, Gorgan

H. Afjei Nasrabadi<sup>1\*</sup>, Sh. Shataei Joybari<sup>2</sup>, N. Rafatnia<sup>2</sup> and M. Shariat Jafari<sup>3</sup>

1\*- Corresponding author, M.Sc. of forestry. Gorgan University of Agriculture Sciences and Natural Resources.

E- mail: hamedafjei@gmail.com

2 – Associate Prof., Gorgan University of Agriculture Sciences and Natural Resources.

3- Senior expert, soil conservation and watershed management research center.

### Abstract

Identification of susceptible areas to landslide occurrence is one of the basic measures in reduction of possible risk and hazard management. The main goals of this paper are investigation on designed forest road network according to landslide hazard zonation and comparing applicability of two experimental landslide hazard zonation models (Haeri-Samiei and Mora-Varson) at the Shastkalate forests, Gorgan. By field work, the occurred land slides at the study area were gathered and recorded by GPS device. The elements for each model were generated and prepared in GIS. The landslide zonation for study area was done using mentioned models and their required factors. The efficiency of outputs of models was assessed by DR and QS indices. The results showed that at the study area the Haeri-Samiei model with  $QS= 1.251$  had relative desirability compared to Mora-Varson model ( $QS= 0.586$ ). In order to investigate on designed road network, the road network map was prepared. Based on results, using Haeri-Samiei model, situation of roads and rate of being at hazards were determined. Results showed that there are many of roads in high risk zones which should be designed again by forest managers.

**Key words:** experimental landslide zonation, Haeri-Samiei, Mora-Varson, efficiency assessment, forest road.