

صص ۹۹-۱۱۸

## ارزیابی کارآیی مدل تجربی حائری-سمیعی و آماری دو متغیره در پهنه‌بندی خطر زمین لغزش (مطالعه موردی: استان قزوین)

### فرامرز سرفراز\*

مری پژوهشی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان قزوین، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.

### جمال مصفايي

استادیار پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.

### روح‌انگیز اختری

استادیار پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.

### امین صالح پورجم

استادیار پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۸/۲۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۶/۲۱

### چکیده

زمین لغزش یکی از انواع مخرب فرسایش در دامنه‌ها است که موجب ایجاد خسارت‌های مالی و جانی فراوانی می‌شود. هدف از این پژوهش ارزیابی کارایی مدل‌های پهنه‌بندی پتانسیل خطر وقوع زمین لغزش در استان قزوین و ارائه راهکارهای مدیریتی برای کاهش ریسک زمین لغزش می‌باشد. برای مدل تجربی حائری-سمیعی از روابط ارائه‌شده این مدل استفاده شد. برای مدل آماری نیز پس از تهیه لایه‌های عوامل مؤثر (کاربری اراضی، شیب دامنه، جهت شیب، ارتفاع و ...) و قطع دادن آن‌ها با نقشه پراکنش زمین لغزش، مساحت و درصد زمین لغزش در هر طبقه از نقشه عوامل مؤثر مشخص شد. سپس با استفاده از رابطه نسبت فراوانی، میزان اهمیت هر یک از طبقات عوامل مؤثر محاسبه و نقشه‌های بر اساس اهمیت عوامل مؤثر در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی تهیه شد. در نهایت برای تهیه نقشه خطر زمین لغزش، نقشه‌ها بر اساس نرخ عوامل با یکدیگر جمع و بر اساس روش فواصل برابر به هفت طبقه کلاسه‌بندی شد. برای ارزیابی میزان کارایی مدل‌ها و انتخاب مدل برتر از شاخص‌های نسبت تراکم و مجموع مطلوبیت بهره‌گیری شد. نتایج نشان داد که مدل آماری دو متغیره با  $Qs$  معادل  $0/938$  دارای صحت بالاتری نسبت به مدل حائری-سمیعی با  $Qs$  معادل  $0/622$  است. برای کاهش خسارات و مدیریت ریسک زمین لغزش نیز سه سیاست مدیریتی بدون اقدام برای کلاس‌های خطر پایین، پیشگیری برای کلاس‌های خطر متوسط و درمانی برای کلاس‌های خطر بالا در نظر گرفته شد و برخی اقدامات لازم برای هر سیاست مدیریتی نیز ارائه شد.

واژگان کلیدی: حائری-سمیعی، نسبت فراوانی، مدیریت زمین لغزش، نسبت تراکم، جمع مطلوبیت.

## مقدمه

وقوع سیلاب در حوضه‌های آبخیز یکی از عوامل ایجاد حرکات توده‌ای در دامنه‌ها است (مصفايي و همکاران، ۲۰۱۵ و ۲۰۲۰). این حرکات توده‌ای در غالب لغزشی، جریانی و خزشی از ابعاد مختلف منجر به وارد آمدن خسارت می‌شود (جویباری و همکاران، ۱۳۹۶). زمین‌لغزش با فرسایش خاک موجب تخریب مراتع، پوشش گیاهی، باغات و زمین‌های زراعی می‌شود، علاوه بر آن افزایش بار رسوبی حوضه را در پی خواهد داشت که منجر به پر شدن حجم مفید مخزن سدهای پایین دست شده و یا منجر به پر شدن مخازن بندهای رسوب‌گیر در بالادست حوضه‌های آبخیز شده که به عمر مفید این سازه‌های کوچک مقیاس آبخیزداری پایان داده می‌شود (طلایی، ۲۰۱۴؛ مصفايي و همکاران، ۱۳۹۸ و ۱۳۹۶)؛ از سوی دیگر با تخریب جاده‌های ارتباطی توسط زمین‌لغزش در زمان‌های بحرانی امداد رسانی دچار اختلال خواهد شد؛ لذا در زمان بلایای طبیعی همچون سیل و زلزله بخش اعظمی از خسارت‌ها را زمین‌لغزش به خود اختصاص می‌دهد (انتظاری و همکاران، ۱۳۹۵؛ مصفايي و اونق، ۱۳۸۸ و ۱۳۹۰). با شناسایی مناطق حساس به زمین‌لغزش و رتبه‌بندی این مناطق می‌توان با روش‌های کنترل و مدیریت مناسب تا حدی از وقوع زمین‌لغزش‌ها جلوگیری و یا از آسیب‌های ناشی از وقوع آن‌ها کاست (صالح‌پورجم و همکاران، ۱۳۹۸ و ۱۳۹۷). مناطق حساس و دارای پتانسیل خطر بالای لغزش با پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش شناسایی می‌شوند. پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش عبارت از تقسیم‌بندی سطح زمین به مناطق مجزا و رتبه‌بندی این مناطق بر اساس پتانسیل خطر ناشی از بروز زمین‌لغزش است (جم و همکاران، ۲۰۲۱).

طی دو دهه اخیر تلاش زیادی جهت پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در سطح جهان صورت پذیرفته است ولی به دلیل نقش متفاوت عوامل منطقه‌ای در ایجاد زمین‌لغزش، تاکنون روش مدون و یکپارچه‌ای برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش ارائه نشده است (رشوند و همکاران، ۱۳۹۲). تحلیل و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش به علت تأثیرگذاری عوامل مختلف چندان آسان نیست و از طرفی حجم وسیع داده‌های ورودی و انجام تحلیل‌ها بسیار پرهزینه و وقت‌گیر است که خوشبختانه امروزه با پیشرفت فراوان در علوم کامپیوتری، این عمل با سهولت و سرعت بیشتری انجام می‌گیرد (کرنزادی و همکاران، ۱۳۹۴). مدل‌های مختلف پهنه‌بندی این خطر را می‌توان بر اساس ماهیت آن‌ها به دو دسته مدل‌های آماری و مدل‌های تجربی تقسیم نمود (جی<sup>۱</sup>، ۱۹۹۱). مدل‌های تجربی در شرایط جغرافیایی ویژه‌ای ارائه می‌شوند، لذا عوامل هر روش متناسب با شرایط خاص آن منطقه بوده و یا بر روی بعضی عوامل تأکید بیشتری شده است و ممکن است که برای مناطق دیگر چندان مناسب نباشد (شیرزادی و همکاران، ۱۳۹۴).

رای مقابله اصولی با خطر زمین‌لغزش‌ها باید شیوه مدیریتی مناسبی را انتخاب کرد که علاوه بر تحلیل خطر مستلزم ارزیابی آسیب‌پذیری مناطق مختلف و تحلیل ریسک نیز می‌باشد (کریمی و رجبی، ۱۳۸۸). در زمینه تعیین احتمال خطر وقوع و تهیه نقشه ریسک زمین‌لغزش برای مناطق مختلف جهان پژوهش‌های زیادی انجام شده است (دای<sup>۲</sup> و همکاران،

<sup>1</sup> Gee

<sup>2</sup> Dai

۲۰۰۲؛ کانونگو<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۰۸؛ ون وستن<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۰۸؛ شریعت جعفری، ۲۰۰۹؛ ردشاو<sup>۳</sup> و همکاران، ۲۰۱۷؛ اشاره کرد. در کشورهای توسعه یافته، برای کاهش ریسک زمین لغزش، روش های پیشگیری دارای اهمیت بیشتری نسبت به شیوه های درمانی دارند و لذا در این کشورها اساس برنامه مدیریت خطر زمین لغزش را قوانین و دستورالعمل های کاربری اراضی و برنامه های آموزش به عموم تشکیل می دهند؛ اما در کشورهای در حال توسعه از جمله ایران، روش های درمانی بیشتر مورد توجه بوده و اساس برنامه های مدیریت کاهش خطر زمین لغزش را تشکیل می دهند (مصفايي و همکاران، ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸). مرور منابع بیان گر آن است که تهیه نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش با یک روش مناسب و نیز ارزیابی ریسک زمین لغزش، برای مدیریت اصولی خطر زمین لغزش در هر منطقه از جمله استان قزوین لازم و ضروری است. هدف از این پژوهش مقایسه کارایی مدل تجربی حائری - سمیعی و مدل آماری دومتغیره برای پهنه بندی خطر زمین لغزش در استان قزوین است.

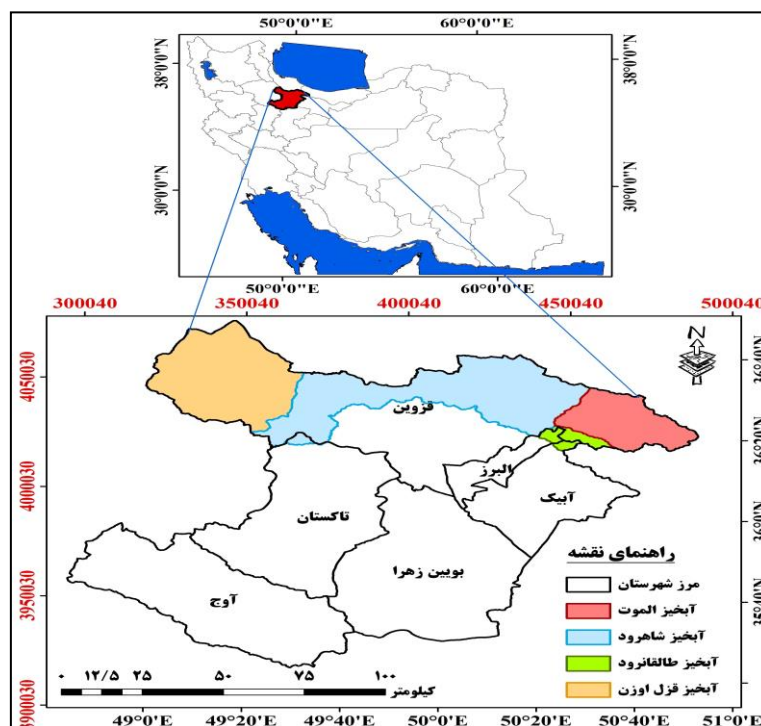
### منطقه مورد مطالعه

استان قزوین با مساحتی بالغ بر ۱۵۷۹۶ کیلومترمربع در شمال غربی ایران گسترده شده است که ۰/۹۶ درصد مساحت کشور را تشکیل می دهد. بلندترین نقطه آن با ۴۰۶۱ متر در ارتفاعات الموت و پایین ترین نقطه آن در طارم سفلی با ۲۷۵ متر از سطح دریا قرار دارد. حوزه های آبخیز اصلی استان به ترتیب مساحت عبارت اند از: حوضه شور (۷۲٪ مساحت استان)، حوضه شاهرود (۱۲٪)، حوضه قزل اوزن (۱۰٪)، حوضه الموت رود (۵٪) و حوضه طالقان رود (۱٪) (شکل ۱). متوسط بارندگی سالیانه استان ۳۲۸ میلی متر است و بیشترین میزان بارندگی در فصل زمستان و فروردین ماه نازل می شود. بر اساس طبقه بندی اقلیمی دومارتن این استان در اقلیم نیمه خشک سرد قرار می گیرد.

<sup>1</sup> Kanungo

<sup>2</sup> Van Westen

<sup>3</sup> Redshaw



مأخذ: نگارندگان

شکل ۱: موقعیت حوزه‌های آبخیز اصلی استان قزوین

حوزه‌های آبخیز طالقان‌رود و الموت‌رود استان قزوین از سرشاخه‌های اصلی حوضه شاهرود می‌باشند که در فاصله حدود ۸۰ کیلومتری شهر قزوین قرار دارند. این منطقه کوهستانی با مساحت ۸۵۰ کیلومترمربع (۶٪ مساحت استان) در بخش شمال شرقی استان قزوین قرار گرفته است. وجود دره شاهرود در کوه‌های شمال استان سبب شکل‌گیری حوزه آبخیز شاهرود شده است. رودخانه‌های طالقان‌رود و الموت‌رود که در منطقه شیرکوه به هم می‌پیوندند و رود پرآب شاهرود را به وجود آورده و رودخانه قزل‌اوزن نیز در بخش‌های انتهایی خود به استان قزوین وارد می‌شود. از ویژگی‌های حوزه آبخیز شور در استان قزوین نیز این است که وجود کوه‌های بلند در اطراف دشت قزوین سبب جاری شدن آب‌های روان از سه بخش کوهستانی شمال، غرب و جنوب به سمت این دشت و ایجاد رودخانه‌های حاجی‌عرب، ابهر رود و خر رود شده است. این منطقه عمدتاً دشتی با مساحت ۱۱۳۱۲ کیلومترمربع (۷۲٪ مساحت استان) بخش اعظم استان را به‌ویژه در قسمت‌های جنوبی، شرقی و غربی در بر گرفته است.

## داده‌ها و روش‌ها

در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش از دو مدل تجربی حائری- سمیعی و مدل آماری دو متغیره استفاده شد. در یک تقسیم‌بندی کلی مراحل اجرای این طرح به شرح زیر بود:

برای انجام این پژوهش ابتدا نقشه پراکنش زمین لغزش‌های استان با استفاده از تصاویر گوگل ارث و بازبندی‌های میدانی استخراج شد، سپس لایه‌های اطلاعاتی پارامترهای کلیدی شامل لیتولوژی، شیب، شتاب زمین‌لرزه، فاصله از گسل، طول راه و رودخانه، شدت بارندگی و مقدار بارندگی تهیه شد. در مرحله بعد لایه‌های امتیاز فاکتورهای پهنه‌بندی خطر در مدل حائری-سمیعی به دست آمد، سپس نرخ طبقات عوامل مختلف با رابطه نسبت فراوانی و تهیه لایه‌های نرخ طبقات عوامل مختلف تعیین گردید. سرانجام نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش به روش حائری-سمیعی تهیه شد و همچنین نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش به روش دومتغیره به دست آمد.

در نهایت کارایی نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش مقایسه شد و سیاست‌ها و برنامه‌های مدیریتی برای کلاس‌های خطر با توجه به قابلیت‌های منطقه تدوین شد.

### مدل تجربی حائری-سمیعی

حائری و سمیعی (۱۳۷۶) برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش اراضی شیب‌دار، در مجموع هفت عامل لیتولوژی، زاویه شیب، عوامل ساختاری طول گسل، طول راه و طول رودخانه، بارندگی و رطوبت، شدت بارندگی و عامل زمین‌لرزه را مورد استفاده قرار داده‌اند. در این مدل در یک شبکه‌بندی سلولی، پس از محاسبه امتیاز هر یک از عوامل ذکر شده، طبق رابطه‌ای جبری، امتیاز نهایی هر پیکسل از شبکه‌بندی سلولی محاسبه می‌شود (آرمین و همکاران، ۱۳۹۸).

در این روش هر یک از عوامل به رده‌های مختلف طبقه‌بندی می‌شوند عامل لیتولوژی به ده رده (رده اول سنگ‌های مقاوم و رده دهم سنگ‌های سست)، زمین‌لرزه به شش رده و بقیه عوامل به پنج رده طبقه‌بندی می‌شوند. برای پهنه‌بندی نهایی خطر زمین‌لغزش، ضریب فاکتورهای مؤثر در هر شبکه سلولی تعیین و با استفاده از فرمول زیر، میزان خطر ناپایداری دامنه در هر شبکه تعیین می‌گردد.

$$HLs = (CLPL) (CIPI) (CFPF) (CRPR) (CHPH) (CPTP + CETE)$$

HLs: میزان خطر ناپایداری دامنه‌ها، PL: استعداد عامل لیتولوژی، PI: استعداد عامل زاویه شیب، PF: استعداد عامل گسل، PR: استعداد عامل راه و رودخانه، PH: استعداد عامل میزان بارندگی و رطوبت منطقه، TP: تأثیر عامل شدت بارندگی، TE: استعداد عامل زمین‌لرزه.

ضرایب C بیانگر اهمیت هر یک از عوامل در مجموعه پارامترهای مؤثر بر ناپایداری می‌باشد که در جدول زیر (جدول ۱) ارائه شده است.

جدول ۱: مقادیر مربوط به ضرایب نسبی C

ضریب	C <sub>L</sub>	C <sub>T</sub>	C <sub>F</sub>	C <sub>R</sub>	C <sub>H</sub>	C <sub>P</sub>	C <sub>E</sub>
مقدار	۰/۷۵	۱	۰/۳۳	۰/۷۵	۱	۱	۲

مأخذ: نگارندگان

### استعداد عامل لیتولوژی (PL)

در مدل حائری-سمیعی سازندهای زمین‌شناسی از نظر مقاومت به ۱۰ رده تقسیم‌بندی شده‌اند. ضریب عامل زمین‌شناسی نیز با توجه به جدول این مدل تعیین خواهد شد. (جدول ۳)

### استعداد عامل زاویه شیب (PI)

زاویه شیب از عوامل اصلی آمادگی گسیختن دامنه‌ها به شمار می‌رود و در این مدل طبقه‌بندی زاویه شیب بر اساس (جدول ۲) انجام می‌گیرد. همان‌طور که مشخص است با افزایش زاویه شیب ضریب تأثیر آن نیز افزایش می‌یابد.

جدول ۲: ضریب اثر زاویه شیب در افزایش ناپایداری دامنه‌ها

زاویه شیب (درجه)	<۵	۱۵-۶	۲۵-۱۶	۳۵-۲۶	۴۵-۳۶	>۴۵
تأثیر در ناپایداری	بدون تأثیر	خیلی کم	کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد
ضریب	۰	۱	۲	۳	۴	۵

مأخذ: نگارندگان

### استعداد عوامل ساختاری و طول گسل (PF)

در مدل حائری و سمیعی از مشخصات مختلف گسل، فقط درازای گسل در واحدهای شبکه‌ای ۲۵۰۰ متر در ۲۵۰۰ متر محاسبه و امتیازدهی شده است. در این مطالعه باهدف افزایش دقت، ابعاد شبکه و نیز طول گسل در هر واحد به میزان یک‌دهم مدل اصلی کاهش یافت و بنابراین نحوه تأثیر طول گسل در افزایش ناپایداری دامنه‌ها در یک واحد شبکه به ابعاد ۲۵۰ متر به صورت جدول زیر می‌باشد. برای تعیین ضریب اثر طول گسل در هر شبکه سلولی، طول گسل در هر سلول اندازه‌گیری و ضریب آن از (جدول ۴) به دست خواهد آمد.

جدول ۳: رده‌بندی در برابر لغزش سنگ‌ها از نظر ایستادگی

طبقه	توصیف سنگ‌ها
I	سنگ‌آهک توده‌ای، سنگ‌آهک ضخیم لایه، دولومیت توده‌ای، سنگ‌آهک دولومیتی ضخیم لایه، ماسه‌سنگ و ماسه‌سنگ کوارتزیتی ضخیم لایه با سیمان سیلیسی و درزه‌های کم، کنگلومرا با سیمان سیلیسی، مرمریت توده‌ای، مرمر ضخیم با درزه‌های کم، کوارتزیت
II	سنگ‌آهک با لایه‌بندی متوسط، ماسه‌سنگ و ماسه‌سنگ کوارتزیتی با لایه‌بندی متوسط و سیمان آهکی، سنگ‌آهک دولومیتی با لایه‌بندی متوسط، سنگ‌آهک ماسه‌ای با لایه‌بندی متوسط، دولومیت، کوارتزیت، سنگ‌های آذرین
III	سنگ‌آهک مارنی با لایه‌بندی متوسط، سنگ‌آهک و سنگ‌آهک دولومیتی نازک لایه، ماسه‌سنگ کوارتزیتی با لایه‌بندی متوسط
IV	بازالت و آندزیت با درزه‌های انقباضی و هوازده، ماسه‌سنگ نازک لایه تا متوسط لایه دارای درزه، توف آهکی، ماسه‌سنگ و کنگلومرا با سیمان ضعیف، سنگ‌آهک ماسه‌ای نازک لایه با درزه، شیست و سنگ‌های دگرگونی درزه‌دار و لایه‌بندی شده، سنگ‌های آذرین بیرونی با ایستادگی متوسط
V	توف آندزیتی، توف آهکی هوازده، شیل آهکی
VI	مارن ذغال‌دار، شیل آهکی هوازده، تناوب شیل و ماسه‌سنگ، تناوب شیل و لای‌سنگ، مارن گچ دار
VII	مارن، توف هوازده، گل‌سنگ، ماسه‌سنگ توفی تکتونیزه و هوازده، ذغال، شیل
VIII	شیل و مارن هوازده
IX	آبرفت‌های قدیمی مشتمل بر پادگانه‌ها و مخروط‌افکنه‌های قدیمی، رسوبات پرکننده دره‌ها مشتمل بر مارن و گچ
X	آبرفت‌های جوان مشتمل بر پادگانه‌ها و مخروط‌افکنه‌های جوان، خاک‌های برجا، خاک‌های حاصل فرسایش سنگ‌بستر که بر اثر نیروی ثقل و عوامل جوی از ارتفاعات بر روی شیب حمل شده و بر روی هم انباشته شده‌اند
	نهبشته‌های سیلابی و یخچالی، مصالح لغزشی رانش‌های قدیمی

مأخذ: نگارندگان

**جدول ۴:** ضریب اثر طول گسل در افزایش ناپایداری دامنه‌ها در یک واحد شبکه به ابعاد ۲۵۰ متر

طول گسل (متر)	کمتر از ۳۵	۱۰۵-۳۵	۱۷۵-۱۰۵	۲۴۵-۱۷۵	بیشتر از ۲۴۵
چگونگی تأثیر در ناپایداری	کم	نسبتاً کم	متوسط	نسبتاً زیاد	زیاد
ضریب PF	۱	۲	۳	۴	۵

مآخذ: نگارندگان

برای محاسبه طول گسل در شبکه سلولی ۲۵۰ متر در ۲۵۰ متر، ابتدا با استفاده از دستور fishnet یک شبکه سلولی ۲۵۰\*۲۵۰ ساخته و با مرز استان برش داده شد. سپس لایه گسل را با لایه شبکه سلولی با استفاده از دستور intersect روی هم انداخته و ستون مربوط به طول، در لایه حاصل به‌روزرسانی شد و در مرحله بعد این لایه بر اساس FID مربوط به لایه شبکه سلولی dissolve گردید که در نتیجه مجموع طول گسل برای هر سلول در لایه dissolve شده محاسبه شد. در نهایت با استفاده از دستور join، اطلاعات جدول لایه dissolve شده به لایه شبکه سلولی الحاق گردید و از لایه نهایی export گرفته شد و بعد ضریب اثر طول گسل بر اساس جدول مدل حائری-سمیعی در یک ستون جدید محاسبه شد و بر اساس ارزش‌های همین ستون به لایه رستری تبدیل شد.

### استعداد عوامل راه و رودخانه (PR)

راه‌ها و آب‌های جاری یکی از عوامل افزایش آمادگی لغزش در دامنه‌ها به شمار می‌روند به همین دلیل مجموع طول رودخانه و راه در هر شبکه سلولی به‌عنوان عاملی در افزایش پتانسیل ناپایداری دامنه‌ها در نظر گرفته شده است. در مدل حائری و سمیعی طول راه و رودخانه در واحدهای شبکه‌ای ۲۵۰۰ متر در ۲۵۰۰ متر محاسبه و امتیازدهی شده است. در این مطالعه باهدف افزایش دقت، ابعاد شبکه و نیز مجموع طول راه و رودخانه در هر واحد به میزان یک‌دهم مدل اصلی کاهش یافت و بنابراین نحوه تأثیر طول راه و رودخانه در افزایش ناپایداری دامنه‌ها در یک واحد شبکه به ابعاد ۲۵۰ متر به‌صورت جدول زیر می‌باشد. پس از اندازه‌گیری طول رودخانه و راه در هر شبکه و با توجه به جدول ۵، ضریب این عامل در هر شبکه سلولی تعیین خواهد شد.

**جدول ۵:** ضریب اثر طول رودخانه و راه در ناپایداری دامنه‌ها در هر واحد شبکه به ابعاد ۲۵۰ متر

طول رودخانه و راه در هر واحد شبکه (متر)	کمتر از ۷۰	۲۱۰-۷۰	۳۵۰-۲۱۰	۴۹۰-۳۵۰	بیشتر از ۴۹۰
میزان تأثیر در ناپایداری	کم	نسبتاً کم	متوسط	نسبتاً زیاد	زیاد
ضریب PR	۱	۲	۳	۴	۵

مآخذ: نگارندگان

برای محاسبه طول راه و رودخانه در شبکه سلولی ۲۵۰ متر در ۲۵۰ متر، ابتدا با استفاده از دستور fishnet یک شبکه سلولی ۲۵۰\*۲۵۰ ساخته و با مرز استان برش داده شد. سپس لایه راه و آبراهه را با لایه شبکه سلولی با استفاده از دستور intersect روی هم انداخته و ستون مربوط به طول، در لایه حاصل به‌روزرسانی شد و در مرحله بعد این لایه بر اساس لایه شبکه سلولی dissolve گردید و در نتیجه مجموع طول راه و آبراهه برای هر سلول در لایه dissolve شده محاسبه شد. در نهایت با استفاده از دستور join، اطلاعات جدول لایه dissolve شده به لایه شبکه سلولی الحاق گردید و از لایه نهایی export گرفته شد و بعد

ضریب اثر طول راه و آبراهه، بر اساس جدول مدل حائری-سمیعی در یک ستون جدید محاسبه شد و بر اساس ارزش‌های همین ستون به لایه رستری تبدیل شد.

### استعداد عامل میزان بارش

برای تعیین ضریب تأثیر بارندگی، ابتدا باید ضریب تجمعی میانگین بارندگی ماهانه را تعیین نمود که جدول مبنای آن به صورت (جدول ۶) می‌باشد؛ و بعد بر اساس (جدول ۷) ضریب مربوط به این عامل به دست خواهد آمد.

جدول ۶: رده‌بندی ضریب میانگین بارندگی ماهانه (حائری-سمیعی ۱۳۷۶)

میانگین بارندگی ماهانه (میلی‌متر در ماه)	۴۹-۰	۹۹-۵۰	۱۴۹-۱۰۰	۱۹۹-۱۵۰	بیشتر از ۲۰۰
ضریب بارندگی ماهانه	۰	۰/۵	۱	۱/۵	۲

مأخذ: نگارندگان

برای تهیه نقشه توزیعی میانگین بارش ماهانه، ابتدا میانگین بارش هرماه برای هر یک از ایستگاه‌های باران‌سنجی محاسبه شد. سپس معادله گرادیان بارش برای هرماه با استفاده از ارتفاع ایستگاه‌های باران‌سنجی و مقدار میانگین بارش آن ماه محاسبه گردید و در محیط GIS، نقشه توزیعی میانگین بارش ماهانه برای هرماه مختلف تهیه شد.

جدول ۷: چگونگی تأثیر میزان‌های انباشتی میانگین بارندگی ماهانه در ناپایداری دامنه‌ها (حائری-سمیعی ۱۳۷۶)

ضریب تجمعی میانگین بارندگی ماهانه	۳-۰	۳/۶-۵	۶/۹-۵	۹/۱۲-۵	بیشتر از ۱۲
تأثیر در ناپایداری	خیلی کم	کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد
ضریب PH	۱	۲	۳	۴	۵

مأخذ: نگارندگان

### استعداد عامل شدت بارندگی

در مدل حائری-سمیعی برای تعیین ضریب شدت بارندگی، ایستگاه‌های باران‌سنجی به دو گروه تقسیم می‌شوند: الف- ایستگاه‌های دارای آمار ده سال یا بیشتر و ب- ایستگاه‌های دارای آمار کمتر از ده سال. برای به دست آوردن میزان حداکثر بارش ایستگاه‌های گروه الف، بارش با دوره بازگشت‌های ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله هر ایستگاه با بهترین توزیع از بین توزیع‌های آماری حدی گامبل، پیرسون تیپ ۳ و پیرسون لگاریتمی تیپ ۳ محاسبه شد. برای به دست آوردن میزان حداکثر بارش ایستگاه‌های گروه ب، از میانگین بارش این ایستگاه‌ها استفاده می‌شود. در ادامه برای تعیین ضریب عامل بارش و رطوبت از (جدول ۸) استفاده شد.



جدول ۸: چگونگی تأثیر شدت بارش در ناپایداری دامنه‌ها

ضریب TP	چگونگی تأثیر بر ناپایداری دامنه	بیشینه بارش، $N < 10$ ، میانگین (mm)	بیشینه بارش، $N > 10$ ، دوره بازگشت ۱۰۰ ساله (mm)
۱	خیلی کم	$< 30$	$< 60$
۲	کم	۳۰-۵۵	۶۱-۱۲۰
۳	متوسط	۵۶-۸۰	۱۲۱-۱۸۰
۴	زیاد	۸۱-۱۰۵	۱۸۱-۲۴۰
۵	خیلی زیاد	$> 105$	$> 240$

مأخذ: نگارندگان

در این مطالعه ابتدا مقادیر حداکثر بارش ۲۴ ساعته ایستگاه‌های باران‌سنجی استان در هر سال استخراج شد؛ و بعد از انتقال این مقادیر به داخل نرم‌افزار ایزی فیت<sup>۱</sup>، بهترین توزیع برای برازش به داده‌های هر ایستگاه بر اساس آماره‌های کولموگروف اسمیرنوف، اندرسون دارلینگ و مربع کای انتخاب و آماره‌های مربوط به بهترین توزیع استخراج گردید. در مرحله بعد در هر ایستگاه و با استفاده از بهترین توزیع برازش یافته، مقادیر حداکثر بارش ۲۴ ساعته برای دوره بازگشت صدسال برآورد گردید و در نهایت با استفاده از روش‌های درون‌یابی، نقشه حداکثر بارش ۲۴ ساعته با دوره بازگشت صدسال از مقادیر نقطه‌ای مربوط به هر ایستگاه استخراج شد. در نهایت نقشه مربوط به ضریب عامل بارش استان (PH)، در محیط نرم‌افزار آرک جی.ای.اس.۲۰ تهیه شد.

### استعداد عامل شدت زمین لرزه

در مدل حائری و سمیعی برای تعیین ضریب عامل شدت زمین لرزه از نقشه پهنه‌بندی خطر نسبی زلزله با مقیاس ۱/۱۰۰۰۰۰۰ تهیه شده توسط طرح کالبدی ملی ایران (۱۳۷۴) استفاده شده است که در آن ایران به شش پهنه خطر نسبی پایین، نسبتاً پایین، متوسط، نسبتاً بالا، بالا و بسیار بالا تقسیم شده است و برای هر یک از این طبقات ضریب زلزله به ترتیب از یک تا شش در نظر گرفته می‌شود.

در این پژوهش برای تعیین ضریب عامل شدت زمین لرزه، ابتدا نقشه رقومی شتاب افقی زمین لرزه در محدوده قزوین از سازمان زمین‌شناسی کشور تهیه شد (پژوهش و بررسی نو زمین ساخت، لرزه‌زمین ساخت و خطر زمین لرزه-گسلش در گستره قزوین بزرگ و پیرامون، ۱۳۷۱). همچنین داده‌های رقومی شتاب بیشینه زمین ۳ مربوط به محدوده استان قزوین نیز برای دوره بازگشت ۴۷۵ سال تهیه شد (موسوی بفرولی و همکاران، ۱۳۹۳). سپس مطابق با استاندارد ۲۸۰۰ آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله (مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ۱۳۹۰) معادل خطر نسبی زلزله برای مقادیر شتاب بیشینه زمین استخراج شد که بر اساس آن، استان قزوین در ۴ کلاس خطر نسبی زلزله کم، متوسط، نسبتاً بالا و بالا قرار گرفته و کلاس‌های خطر زلزله کم و بسیار بالا در استان قزوین وجود ندارد. (جدول ۹)

<sup>1</sup> easy fit

<sup>2</sup> Geographic Information System (GIS)

<sup>3</sup> Peak Ground Acceleration (PGA)

**جدول ۹:** مقادیر شتاب بیشینه زمین و خطر نسبی زلزله در استان قزوین

ضریب CE	خطر نسبی زلزله	شتاب بیشینه زمین GPA با دوره بازگشت ۴۷۵ سال
۱	کم	$> 0.15$
۲	نسبتاً کم	$0.10 - 0.15/18$
۳	متوسط	$0.10 - 0.18/2$
۴	نسبتاً بالا	$0.10 - 0.25/25$
۵	بالا	$0.10 - 0.25/30$
۶	بسیار بالا	$0.10 - 0.3/35$

مأخذ: نگارندگان

در نهایت پس از تعیین میزان خطر در هر سلول، نسبت به کلاسه‌بندی خطر زمین‌لغزش در هفت درجه خطر نسبی مطابق جدول ۱۰ (کلاس یک بدون خطر و کلاس هفت خطر فوق‌العاده زیاد) و تهیه نقشه کروپلت خطر زمین‌لغزش اقدام خواهد شد.

**جدول ۱۰:** طبقه‌بندی میزان خطر نسبی ناپایداری دامنه‌ها با استفاده از رابطه مدل حائری-سمیعی

عدد حاصل از رابطه مدل	۰	۱-۳۰	۳۱-۱۲۰	۱۲۱-۴۸۰	۴۸۱-۱۷۵۰	۱۷۵۱-۷۵۰۰	$7500 <$
رده	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
میزان خطر	بدون خطر	بسیار کم	کم	متوسط	زیاد	بسیار زیاد	فوق‌العاده زیاد

مأخذ: نگارندگان

### مدل آماری دو متغیره

در این روش علاوه بر لایه‌های اطلاعاتی عوامل کلیدی مؤثر در وقوع این پدیده، نیاز به نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌های موجود نیز می‌باشد. برای تهیه نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌ها ابتدا پهنه استان بر اساس ایندکس نقشه‌های ۲۵۰۰۰، به بلوک‌های کوچک‌تری تقسیم و محدوده هر بلوک به‌دقت بر روی تصاویر ماهواره‌ای گوگل ارث بررسی و لغزش‌های هر بلوک شناسایی و در نهایت نقشه ابتدایی زمین‌لغزش‌ها تهیه شد. سپس بعد از انجام بازدیدهای گسترده میدانی، نقشه نهایی پراکنش زمین‌لغزش تهیه شد.

در ادامه در محیط نرم‌افزار Arc GIS نقشه هر یک از عوامل مؤثر، با نقشه پراکنش زمین‌لغزش قطع داده شد و مساحت و درصد زمین‌لغزش در هر طبقه از نقشه عوامل مؤثر (کاربری اراضی، شیب دامنه، جهت شیب، ارتفاع و ...) مشخص شد.

سپس با استفاده از رابطه نسبت فراوانی ۱ (رابطه پ)، میزان اهمیت هر یک از طبقات عوامل مؤثر محاسبه و نقشه‌های بر اساس اهمیت عوامل مؤثر در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی تهیه شد. لازم به ذکر است که تاکنون روابط مختلفی برای محاسبه نسبت فراوانی ارائه شده است که ماحصل و خروجی تمامی آن‌ها اعداد بدون بعدی است که گویای میزان اهمیت واحدهای هر عامل در پتانسیل وقوع زمین‌لغزش می‌باشد. از جمله این روابط عبارت‌اند از:

<sup>1</sup> Frequency Ratio (FR)

**الف)** رابطه نسبت درصد لغزش واحد به درصد لغزش تمام واحدها (کل منطقه)

$$\text{(مساحت کل منطقه / مساحت کل لغزش)} / \text{(مساحت واحد / مساحت لغزش واحد)} = \text{نسبت فراوانی}$$

**ب)** رابطه نسبت فراوانی سطح لغزشی واحد به سطح فاقد لغزش واحد

$$\text{(مساحت فاقد لغزش واحد / مساحت لغزشی واحد)} = \text{نسبت فراوانی}$$

ایراد این رابطه این است که چنانچه تمامی سطح یک واحد دچار لغزش شده باشد، عدد نسبت فراوانی برای آن واحد بی‌نهایت خواهد شد و در نتیجه ادامه تحلیل را با مشکل همراه می‌نماید.

**پ)** رابطه نسبت فراوانی درصد لغزش واحد به درصد مساحت واحد

$$\text{(مساحت کل منطقه / مساحت کل لغزش)} / \text{(مساحت واحد / مساحت لغزش واحد)} = \text{نسبت فراوانی}$$

در نهایت برای تهیه نقشه خطر زمین‌لغزش، نقشه‌ها بر اساس نرخ عوامل با یکدیگر جمع و بر اساس روش فواصل برابر به هفت طبقه کلاسه‌بندی شد.

### ارزیابی کارایی و صحت‌سنجی مدل‌ها با استفاده از شاخص‌های $Q_s$ و $D_r$ :

یک نقشه خطر مناسب، نقشه‌ای می‌باشد که بهترین جدایش را بین مناطق با تراکم بالای زمین‌لغزش و مناطق با تراکم پایین زمین‌لغزش ایجاد نماید. ارزیابی مدل برتر پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش، بر اساس ۳۰٪ از مساحت زمین‌لغزش‌های به وقوع پیوسته که در تهیه نقشه پهنه‌بندی مورد استفاده قرار نگرفته‌اند انجام شد.

برای مقایسه رده‌های مختلف خطر از تراکم زمین‌لغزش‌ها در هر یک از رده‌های خطر یا نسبت تراکمی خطر استفاده می‌شود. در یک روش (نقشه پهنه‌بندی)، تراکم لغزش در کلاس خطری که در آن  $D_r$  برابر یک است معادل با متوسط تراکم لغزش در کل منطقه و تراکم لغزش در کلاس خطری که در آن  $D_r$  برابر دو است، معادل با دو برابر متوسط تراکم لغزش در کل منطقه می‌باشد. بنابراین تراکم زمین‌لغزش در نقشه‌های خطری که به‌طور صحیح تهیه شده‌اند از رده خطر کم تا رده‌های پرخطر به‌صورت صعودی است.

$$D_r = \frac{S_i / A_i}{\sum_1^n S_i / \sum_1^n A_i} * 100$$

$D_r$ : تراکم لغزش در هر کلاس خطر

$S_i$ : مساحت زمین‌لغزش‌ها در هر کلاس خطر

$A_i$ : مساحت هر کلاس خطر

$n$ : تعداد کلاس‌های خطر

هرچه تفکیک بین رده‌های خطر به‌وسیله شاخص نسبت تراکم بهتر صورت گرفته باشد، آن روش (نقشه) دارای دقت یا مطلوبیت بیشتری خواهد بود. مقدار مجموع کیفیت ( $Q_s$ )، که از طریق رابطه ذیل محاسبه می‌گردد، نشان‌دهنده صحت یا مطلوبیت عملکرد روش در پیش‌بینی خطر زمین‌لغزش برای کل منطقه است. معمولاً مقدار این شاخص برای روش‌های مختلف در گستره صفر تا ۷ قرار می‌گیرد که البته از نظر تئوریک حدی برای آن وجود ندارد. همچنین اختلاف

بین مقادیر  $Q_s$  کمتر از ۰/۱ در نظر گرفته نشده و مدل‌ها یکسان فرض می‌شوند. در واقع  $Dr$  از جنس واریانس می‌باشد و اگر انحراف مقادیر  $Dr$  از میانگین پهنه‌های مختلف، به هم نزدیک باشند، نشان‌دهنده آن است که تراکم زمین‌لغزش‌ها در کلاس‌های مختلف نزدیک به یکدیگر بوده و مقدار  $Q_s$  نیز پایین خواهد بود و برعکس هرچه انحراف مقادیر  $Dr$  از میانگین پهنه‌های مختلف بیشتر باشد، بیان‌گر آن است که تراکم زمین‌لغزش‌ها با یکدیگر تفاوت داشته و مقدار  $Q_s$  نیز بزرگ‌تر خواهد بود. بنابراین به‌طور کلی هرچه مقدار  $Q_s$  بیشتر باشد آن روش از صحت بالاتری برخوردار بوده و برای منطقه مورد مطالعه مناسب‌تر است.

$$Q_s = \sum_{i=1}^n [(Dr - 1)^2 \times S]$$

$Q_s$ : شاخص جمع مطلوبیت و  $S$ : درصد مساحت رده خطر از کل منطقه است.

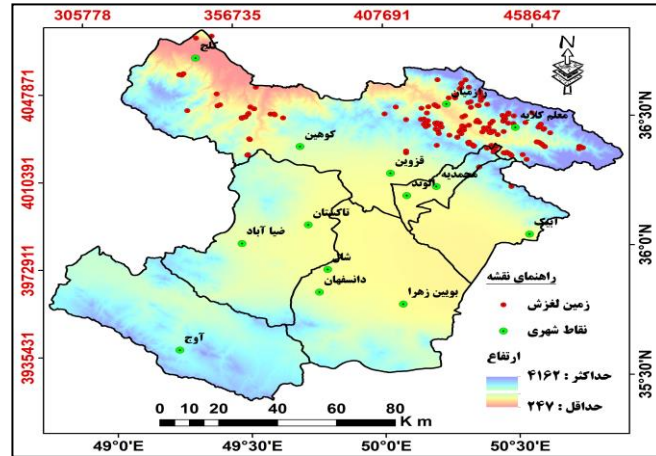
### راهکارهای مدیریت خطر زمین‌لغزش

گام اول در مدیریت مخاطرات طبیعی، شناسایی و تحلیل میزان خطر و نیز میزان آسیب‌پذیری بخش‌های مختلف می‌باشد. در این پژوهش ارائه راهکارهای مدیریت زمین‌لغزش بر اساس تحلیل ریسک که عبارت از حاصل ضرب میزان خطر زمین‌لغزش در میزان آسیب‌پذیری (وجود مناطق مسکونی و تأسیسات) است، انجام شد؛ بنابراین با فرض عدد ۰,۵ به‌عنوان میزان آسیب‌پذیری مناطق غیرمسکونی و فاقد هرگونه تأسیسات و عدد یک به‌عنوان میزان آسیب‌پذیری مناطق مسکونی یا دارای تأسیسات و ضرب آن در کلاس خطر زمین‌لغزش (مدل برتر)، میزان ریسک و سیاست مدیریتی و نیز اقدامات لازم برای مدیریت خطر زمین‌لغزش ارائه شد.

### بحث و یافته‌ها

#### پراکنش زمین‌لغزش‌های استان قزوین

نقشه نهایی پراکنش زمین‌لغزش‌های استان با استفاده از تصاویر گوگل ارث (ایندکس نقشه‌های ۲۵۰۰۰) و بازدیدهای تهیه شد (شکل ۲). بر این اساس تعداد ۲۰۷ مورد زمین‌لغزش با مساحت مجموع ۸۰۶۳ هکتار در استان قزوین ثبت گردید. مساحت کوچک‌ترین لغزش ۱۵۲۰ مترمربع و مساحت بزرگ‌ترین لغزش ۱۵۳۳ هکتار و میانگین مساحت زمین‌لغزش‌ها ۳۸۹۵۴ مترمربع (۳,۹ هکتار) است.



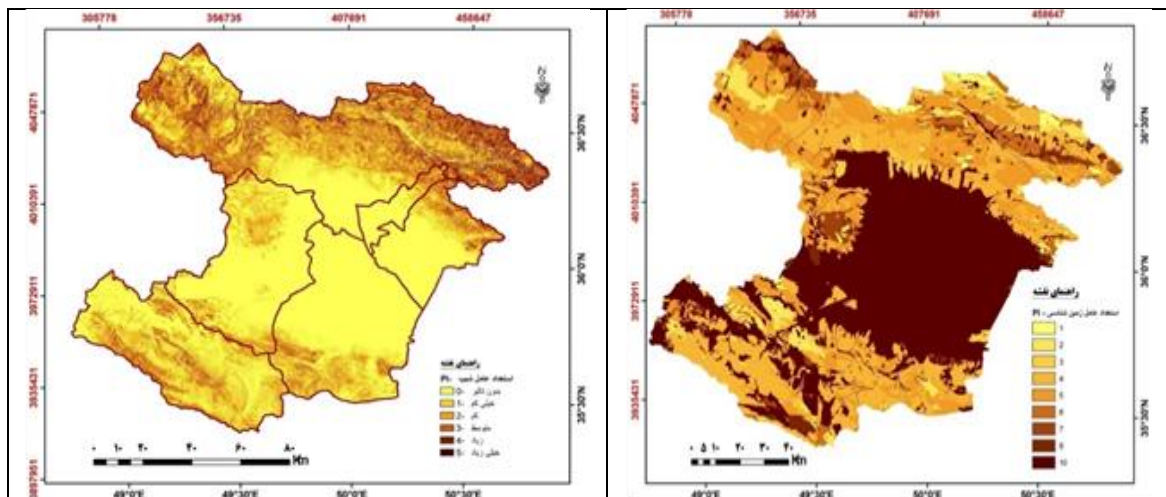
مأخذ: نگارندگان

شکل ۲: نقشه پراکنش زمین لغزش‌های موجود در استان قزوین

### نتایج مدل تجربی حائری-سمیعی

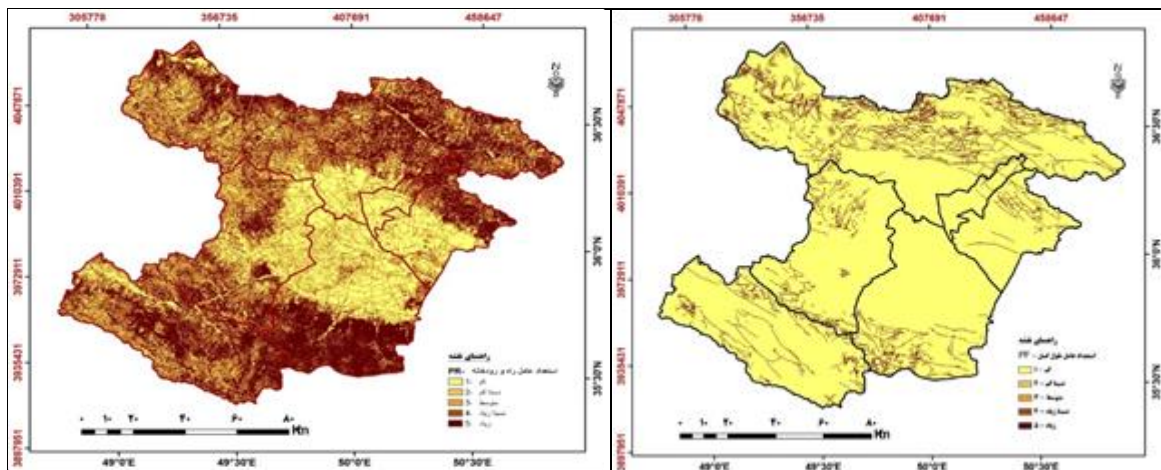
پس از تهیه لایه‌های اطلاعاتی پایه موردنیاز برای اجرای مدل حائری-سمیعی در استان قزوین، نسبت به تهیه نقشه‌های استعداد عوامل مختلف در محیط GIS اقدام شد که نقشه استعداد عوامل مختلف زمین‌شناسی، طول گسل، شیب، راه و رودخانه، بارش سالانه، شدت بارش روزانه و خطر نسبی زلزله در شکل ۳ ارائه شده‌اند.

در نهایت نیز از تلفیق نقشه‌های استعداد عوامل مختلف زمین لغزش مطابق با فرمول مدل حائری-سمیعی، نقشه عدد خطر نسبی زمین لغزش استان قزوین در محیط GIS تهیه (شکل ۴) و طبقه‌بندی (شکل ۵) شد که مقادیر مساحت کلاس‌های مختلف خطر نسبی زمین لغزش با مدل حائری-سمیعی در استان قزوین نیز در (جدول ۱۱) ارائه شده است.

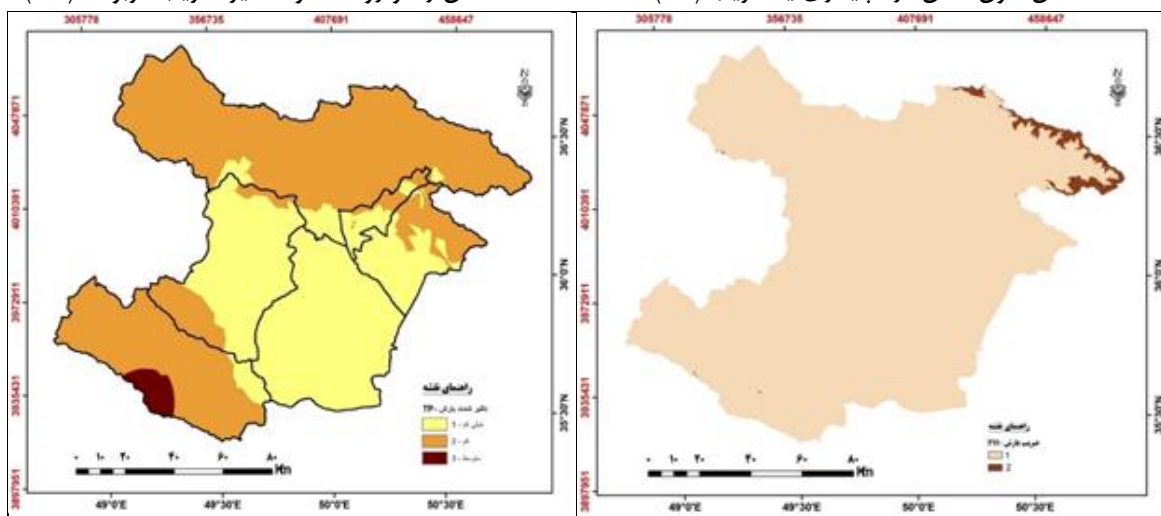


استعداد عامل شیب و مقادیر ضریب شیب (PI)

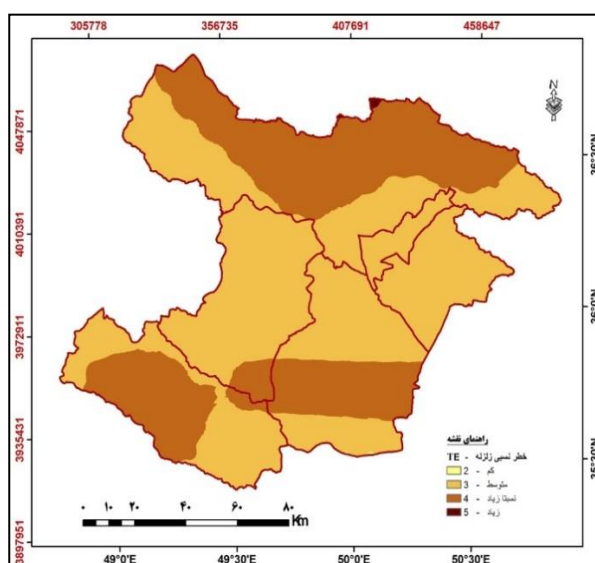
استعداد عامل زمین‌شناسی و مقادیر ضریب مربوطه (PL)



استعداد عامل طول گسل در ناپایداری یا ضریب (PF)      استعداد عامل راه و رودخانه و مقادیر ضریب مربوطه (PR)



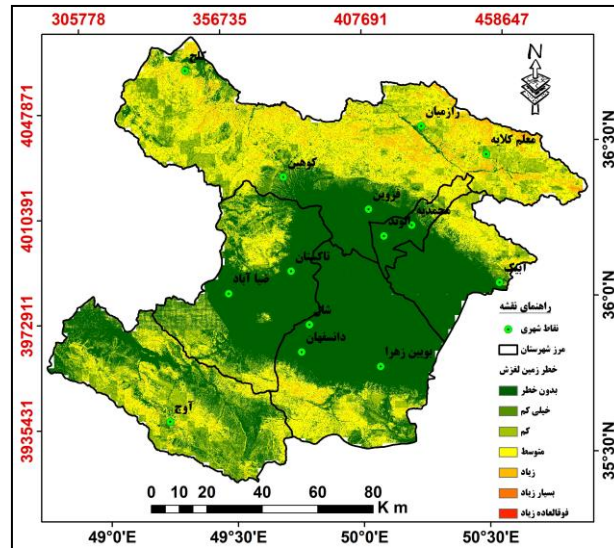
نقشه طبقات تأثیر شدت بارش روزانه و مقادیر ضرایب مربوطه در استان قزوین  
نقشه طبقات خطر نسبی زلزله در استان قزوین



مأخذ: نگارندگان

شکل ۳: نقشه استعداد طبقات عوامل مختلف مؤثر بر زمین‌لغزش در مدل حائری-سمیعی



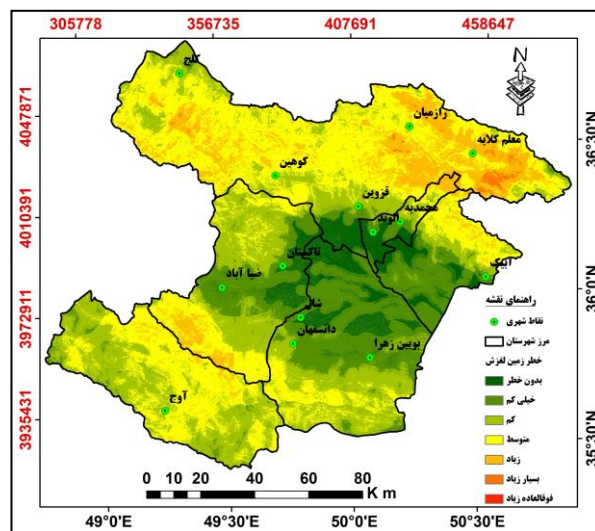


مأخذ: نگارندگان

شکل ۴: نقشه طبقات خطر نسبی زمین لغزش در استان قزوین (مدل حائری-سمعی)

### مدل آماری دومتغیره

برای اجرای مدل تراکم سطح ابتدا میزان اهمیت طبقات مربوط به هر عامل از طریق قطع دادن نقشه هر یک از عوامل مؤثر با نقشه پراکنش زمین لغزش و به کارگیری رابطه نسبت فراوانی محاسبه شد. برای تهیه نقشه خطر زمین لغزش، پس از ایجاد نقشه‌های بر اساس نرخ نرمال شده عوامل مؤثر در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی، نقشه‌های بر اساس نرخ عوامل با یکدیگر جمع شد و در نهایت نقشه تجمعی حاصل از عوامل مختلف، بر اساس روش فواصل برابر به هفت طبقه کلاسه‌بندی شد (شکل ۵)، (جدول ۱۲).



مأخذ: نگارندگان

شکل ۵: نقشه طبقات خطر نسبی زمین لغزش در استان قزوین (مدل آماری دومتغیره)

### ارزیابی کارایی و صحت سنجی مدل‌ها با شاخص‌های Qs و Dr

برای ارزیابی میزان کارایی نقشه‌های خطر حاصل از دو مدل، از نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌ها به‌عنوان واقعیت زمینی استفاده شد و پس از قطع دادن نقشه‌های خطر با نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌ها شاخص‌های Dr و Qs به ترتیب برای طبقات خطر و مدل‌های مورد استفاده محاسبه شد که نتایج آن در جداول و ارائه شده است. لازم به ذکر است که شاخص Dr به‌عنوان شاخص خطر وقوع زمین‌لغزش در هر پهنه خطر و شاخص Qs به‌عنوان ارزیابی تفکیک کلاسه‌های خطر مورد استفاده قرار می‌گیرند به طوری که هرچه مقدار Qs محاسبه شده بیشتر باشد آن مدل صحت بیشتری داشته و برای منطقه مورد مطالعه مناسب‌تر است؛ بنابراین مشاهده می‌گردد که مدل تراکم سطح با Qs معادل ۰/۹۳۸ دارای صحت بالاتری نسبت به مدل حائری-سمیعی با Q معادل ۰/۶۲۲ دارد.

جدول ۱۱: محاسبه شاخص Qs برای روش حائری-سمیعی در استان قزوین

Qs	نسبت تراکم نرمال شده	نسبت تراکم (Dr)	مساحت لغزش در طبقه		مساحت طبقه (Ha)	خطر نسبی	رده خطر
			درصد	(m2)			
۰/۶۲۲	۰/۰۲	۷۱۶	۳/۳	۲۶۶۰۹۵۹	۷۳۰۹۱۹	بدون خطر	۱
	۰/۵۰	۱۹۶۹۶	۹/۲	۷۴۱۸۴۳۲	۷۲۸۹۳	بسیار کم	۲
	۰/۳۲	۱۲۷۳۲	۲۱/۸	۱۷۵۷۸۴۵۷	۲۶۸۲۴۰	کم	۳
	۰/۴۴	۱۷۱۷۷	۴۴/۰	۳۵۴۷۹۴۵۵	۴۰۰۷۰۳	متوسط	۴
	۱/۰۰	۳۹۱۹۹	۲۱/۳	۱۷۱۷۵۲۸۲	۸۵۰۶۹	زیاد	۵
	۰/۲۴	۹۴۷۵	۰/۳	۲۴۱۹۰۵	۴۶۰۶	بسیار زیاد	۶
	۰	۰	۰	۰	۰	فوق العاده زیاد	۷
			۱۰۰	۸۰۶۳۵۱۲۶	۱۵۶۲۴۲۹	مجموع	

مأخذ: نگارندگان

جدول ۱۲: محاسبه شاخص Qs برای روش تراکم سطح در استان قزوین

Qs	نسبت تراکم نرمال شده	نسبت تراکم (Dr)	مساحت لغزش در طبقه		مساحت طبقه (Ha)	خطر نسبی	رده خطر
			درصد	(m2)			
۰/۹۳۸	۰	۰	۰	۰	۱۰۳۳۱۳	بدون خطر	۱
	۰	۰	۰	۰	۲۹۰۱۴۵	بسیار کم	۲
	۰/۰۰۰۵	۱۲۸	۰/۴	۳۲۵۵۴۱	۴۲۸۷۳۱	کم	۳
	۰/۰۲	۶۲۶۶	۲۲/۹	۱۸۵۶۵۴۴۴	۵۷۱۲۵۱	متوسط	۴
	۰/۲۳	۶۱۲۴۵	۶۳/۱	۵۰۸۸۰۷۶۵	۱۶۱۰۴۸	زیاد	۵
	۱	۲۶۹۹۹۱	۱۳/۷	۱۱۰۴۷۰۱۲	۷۹۲۲	بسیار زیاد	۶
	۰	۰	۰	۰	۲۰	فوق العاده زیاد	۷
			۱۰۰	۸۰۶۳۵۱۲۶	۱۵۶۲۴۲۹	مجموع	

مأخذ: نگارندگان



## راهکارهای مدیریتی با تأکید بر مناطق پرخطر

در این مطالعه برای مقابله و کاهش خسارت ناشی از زمین لغزش، بر اساس کلاس خطر و میزان آسیب پذیری سه سیاست مدیریتی به شرح ذیل در نظر گرفته شد:

سیاست بدون اقدام: در مناطقی که به واسطه احتمال کم وقوع زمین لغزش (کلاس خطر ۱ و ۲)، نیاز به انجام اقدام مدیریتی خاصی در آنها نیست. البته لازم به ذکر است که در این مناطق نیز تا حد امکان می بایست اقدامات و پروژه هایی که می توانند سبب افزایش احتمال وقوع زمین لغزش از طریق افزایش تنش برشی و یا کاهش مقاومت داخلی خاک شوند را کنترل کرد.

– **سیاست پیشگیری:** در مناطقی که به واسطه احتمال متوسط وقوع زمین لغزش (کلاس های خطر ۳، ۴ و ۵) نیاز است تا اقداماتی را جهت جلوگیری از افزایش خطر (اقداماتی نظیر زهکشی مناسب اراضی، ساماندهی سیستم فاضلاب، محدود کردن سطح اراضی با آبیاری های سنتی و غرقابی، جلوگیری از تغییرات غیرمجاز کاربری اراضی) و یا جلوگیری از افزایش آسیب پذیری (ممانعت از توسعه بی رویه اراضی مسکونی، ممانعت از توسعه زیرساخت های عمرانی از قبیل جاده، خطوط انتقال نیرو، کانال های آبرسانی و غیره) به عمل آورد که در این راستا وضع قوانینی از قبیل عدم ارائه تسهیلات عمومی نظیر آب، برق، تلفن و گاز، اتخاذ سیاست های مالیاتی سخت گیرانه و افزایش هزینه های بیمه می تواند سبب اجرای موفق تر این برنامه ها شود.

– **سیاست درمانی:** در مناطقی که به واسطه احتمال بالای وقوع زمین لغزش (کلاس های خطر ۶ و ۷)، علاوه بر اعمال سیاست های پیشگیری و اقدامات مربوط به جلوگیری از افزایش خطر و یا آسیب پذیری، ضروری است که اقداماتی در رابطه با کاهش خطر یا کاهش آسیب پذیری نیز به عمل آورد. برای کاهش میزان خطر زمین لغزش می توان از اقدامات کنترل و تثبیت توده لغزشی نظیر انواع عملیات مختلف مکانیکی و بیولوژیکی بهره جست و از جمله اقدامات مربوط به کاهش آسیب پذیری نیز می توان به تخلیه و جابجایی مکان مناطق مسکونی و زیرساخت ها اشاره کرد.

## نتیجه گیری

شناسایی روش های کارآمد و دقیق برای پهنه بندی مناطق بر اساس پتانسیل خطر زمین لغزش، دارای اهمیت فراوانی است که با استفاده از این روش ها می توان مناطق حساس و دارای پتانسیل بالای خطر لغزش را با دقت مناسبی شناسایی و تا حد امکان از این مناطق دوری جست. در این راستا این پژوهش نشان داد که مدل آماری دومتغیره دارای کارایی بالاتری نسبت به مدل تجربی حائری-سمیعی می باشد. داشتن اطلاعات پایه، کسب و به کارگیری دانش و فنون لازم، وضع قوانین مناسب و تدوین برنامه های آموزشی و ترویجی به عنوان ابزارهای اولیه مدیریت خطر زمین لغزش محسوب می گردند که پایه و اساس اجرای شیوه های مدیریتی را تشکیل می دهند. بدون شک اتخاذ شیوه های مناسب مدیریتی در انتخاب گزینه یا گزینه های صحیح برخورد با زمین لغزش بسیار مؤثر می باشد که در این پژوهش برای کاهش خسارات و

مدیریت ریسک زمین‌لغزش نیز سه سیاست مدیریتی بدون اقدام برای کلاس‌های خطر پایین، پیشگیری برای کلاس‌های خطر متوسط و درمانی برای کلاس‌های خطر بالا در نظر گرفته شد و برخی اقدامات لازم برای هر سیاست مدیریتی نیز ارائه شد. وجود اطلاعات پایه، آگاهی عموم مردم نسبت به پدیده زمین‌لغزش، قانونمند کردن کاربری‌ها و مشخص کردن نقش وزارتخانه‌ها و سازمان‌ها در ارتباط با نحوه برخورد با پدیده زمین‌لغزش از اجزاء مهم مدیریت خطر زمین‌لغزش می‌باشد.

## تشکر و قدردانی

نوشتار پیش رو در قالب پروژه تحقیقاتی با کد ۹۷۰۱۵۸-۰۰۸-۲۹-۲۹-۰۴ در پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری و با استفاده از اعتبارات مالی اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان قزوین به انجام رسیده است و نگارندگان بدین‌وسیله از تمامی دست‌اندرکاران و به‌ویژه از پشتیبانی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان قزوین، صمیمانه قدردانی می‌نمایند.

## منابع

- ۱- آرمین، محسن؛ مصفايي، جمال؛ قربان نياخيبري، وجيهه؛ خيري، افسانه (۱۳۹۸): پهنه‌بندی زمین‌لغزش و برنامه مدیریتی کنترل خطر آن در استان کهگیلویه و بویراحمد با استفاده از مدل حائری - سمیعی، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، دوره ۷، شماره ۴ - شماره پیاپی ۲۸، بهار ۱۳۹۸، صص ۱۹۶-۱۷۶.
- ۲- انتظاری‌نجم‌آبادی، مزگان؛ خدادادی، فاطمه؛ رستمی، اکبر (۱۳۹۵): ارزیابی خطر ریسک زمین‌لغزش حوضه آبخیز طالقان رود بر پایه الگوریتم بهینه‌سازی توافق ویکور، مجله جغرافیا و مخاطرات محیطی، دوره ۵، شماره ۱ - شماره پیاپی ۱۷، بهار ۱۳۹۵، صص ۵۴-۳۷.
- ۳- جویباری، جمشید؛ کاویان، عطالله؛ مصفايي، جمال (۱۳۹۶): تأثیر کاربری زمین بر زمین‌لغزش در منطقه توان، قزوین، پژوهش‌های آبخیزداری (پژوهش و سازندگی)، دوره ۳۰، شماره ۳، شماره پیاپی ۱۱۶، پاییز ۱۳۹۶، صص ۲۹-۳۹.
- ۴- مصفايي، جمال؛ اونق، مجید (۱۳۹۰): ارزیابی و پیش‌بینی خطر زمین‌لغزش به کمک مدل رگرسیونی و تحلیل سلسله‌مراتبی، مطالعه موردی: حوضه الموت، مهندسی و مدیریت آبخیز، دوره ۳، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۰، صص ۱۵۸-۱۴۹.
- ۵- مصفايي، جمال؛ اختصاصی، محمدرضا؛ صالح پورجم، امین (۱۳۹۶): مقایسه نقشه‌های موجود زمین‌شناسی با نقشه حاصل از مطالعات دورسنجی (مطالعه موردی: حوزه ورتوان قزوین)، نشریه مرتع و آبخیزداری (مجله منابع طبیعی ایران)، دوره ۷۰، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۶، صص ۱۰۱۳-۱۰۰۵.
- ۶- مصفايي، جمال؛ اونق، مجید (۱۳۸۸): GIS ابزاری کارآمد در تعیین سیاست‌ها و برنامه‌های مدیریت خطر زمین‌لغزش، مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، جلد ۱۶، ویژه‌نامه ۲، ۱۳۸۸، صص ۳۰۱۴-۳۰۳.
- ۷- مصفايي، جمال؛ صالح پورجم، امین؛ طباطبایی، محمدرضا (۱۳۹۶): مقایسه کارآیی مدل سنج رسوب و شبکه عصبی مصنوعی در برآورد بار کف رودخانه‌ها، جغرافیا و پایداری محیط، دوره ۷، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۶، صص ۴۴-۳۳.

- ۸- مصفایی، جمال؛ نیک کامی، داود؛ صالح پورجم، امین (۱۳۹۸): آبخیزداری در ایران: تاریخچه، تکامل و نیازهای آتی، مهندسی و مدیریت آبخیز، دوره ۱۱، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۸، صص ۳۰۰-۲۸۳.
- ۹- موسوی بفرئی، سیدحسن؛ میرزائی، نوربخش؛ شعبانی، الهام؛ اسکندری قادری، مرتضی (۱۳۹۳): پهنه بندی خطر زمین لرزه در ایران و برآورد مقادیر بیشینه شتاب برای مراکز استان‌ها، مجله فیزیک زمین و فضا، دوره ۴۰، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۳، صص ۳۸-۱۵.
- ۱۰- رشوند، سعید؛ مصفایی، جمال؛ درویش، محمد؛ رفیعی امام، عمار (۱۳۹۲): بررسی پتانسیل بیابان‌زایی از منظر زوال پوشش گیاهی (مطالعه موردی: حوضه رود شور قزوین)، فصلنامه علمی-پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان ایران، جلد ۲۰، شماره ۱، صص ۴۹-۳۸.
- ۱۱- صالح پورجم، امین؛ پیروان، حمیدرضا؛ طباطبایی، محمودرضا؛ سررشته‌داری، امیر؛ مصفایی، جمال (۱۳۹۸): بررسی احتمال تخریب زمین با روش تاپسیس در مرتع‌های مشرف به شهر اشتهارد، استان البرز، پژوهش‌های آبخیزداری، دوره ۳۲، شماره ۴، صص ۷۹-۹۳.
- ۱۲- صالح پورجم، امین؛ مصفایی، جمال؛ طباطبایی، محمودرضا (۱۳۹۸): بررسی اثر معیار خاکشناسی بر پتانسیل بیابان‌زایی مخروط افکنه‌ها (مطالعه موردی: بخش جنوبی حوزه آبخیز رودخانه شور)، نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، سال ششم، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۸، صص ۱-۱۴.
- ۱۳- صالح پورجم، امین؛ طباطبایی، محمودرضا؛ سررشته‌داری، امیر؛ مصفایی، جمال (۱۳۹۷): بررسی ویژگی‌های خشکسالی استان‌های شمال غربی کشور با کاربرد نمایه دهک‌ها، مهندسی و مدیریت آبخیز، دوره ۱۰، شماره ۴، صص ۵۶۳-۵۵۲.
- ۱۴- شیرزادی، عطاله؛ سلیمانی، کریم؛ حبیب‌نژاد روشن، محمود؛ کاویان، عطاله؛ قاسمیان، بهاره (۱۳۹۴): مقایسه روش‌های رگرسیون لجستیک، نسبت فراوانی و تحلیل سلسله مراتبی در تهیه نقشه حساسیت ریزش سنگ (مطالعه موردی: استان کردستان، گردنه صلوات آباد)، پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز، جلد ۶، شماره ۱۲، پاییز و زمستان ۱۳۹۴، صص ۱۹۳-۲۰۴.
- ۱۵- کرمی، فریبا؛ رجبی، معصومه (۱۳۸۸): بررسی خطر زمین لغزش و تحلیل ریسک‌پذیری آن در نواحی روستایی (مطالعه موردی: دامنه شمالی توده کوهستانی سهند)، جغرافیا (نشریه علمی - پژوهشی انجمن جغرافیایی ایران)، دوره جدید، سال ششم، شماره ۱۹ و ۱۸ پاییز و زمستان ۱۳۸۸، صص ۱۵۴-۱۳۹.
- ۱۶- کرنازادی، آیدینگ؛ اونق، مجید؛ سعدالدین، امیر (۱۳۹۴): پهنه‌بندی خطر و خسارت زمین لغزش (مطالعه موردی: حوضه آبخیز زیارت، استان گلستان)، فصل نامه مدیریت بحران، ۷: ۵۱-۶۲.

- 17- Dai, F.C., C.F. Lee And Y.Y. Ngai. (2002): Landslide Risk Assessment And Management: An Overview. *Engineering Geology*, 64(1): 65- 87.
- 18- Gee, M.D. (1991): Classification Of Landslide Hazard Zonation Methods And Predictive Capability. *Landslides*, 31: 947-958.
- 19- Haeri, M. Samiei, A.M. (1997): New Slope Zoning Method Against Landslide Risk Based On Mazandaran Province Zoning Survey. *Geosciences Journal*. 23-24. 2-15.
- 20- Jam, A. S., Mosaffaie, J., Sarfaraz, F., Shadfar, S., & Akhtari, R. (2021): GIS-Based Landslide Susceptibility Mapping Using Hybrid MCDM Models. *Natural Hazards*, 1-22.
- 21- Kanungo, D.P., M.K. Arora, R.P. Gupta And S. Sarkar. (2008): Landslide Risk Assessment Using Concepts Of Danger Pixels And Fuzzy Set Theory In Darjeeling Himalayas. *Landslides*, 5: 407-416.
- 22- Mosaffaie, J., Akhzari, D., Rashvand, S., & Ataei, J. (2015): Regional Flood Frequency Analysis Using Multiple Regression Method (Case Study: Hydrometric Stations Of Qazvin Province). *Journal Of Range And Watershed Managment*, 68(4), 821-833.
- 23- Mosaffaie, J., Ekhtesasi, M. R., & Dastorani, M. T. (2015): Evaluation Of Downstream Trends In Sediment Morphometric Characteristics Affected By Hydrologic And Lithologic Controls In Vartavan Catchment. *Iranian Journal Of Watershed Management Science And Engineering*, 9(30), 23-30.
- 24- Mosaffaie, J., Salehpour Jam, A., Sarfaraz, F., & Shadfar, S. (2020): Evaluation Of Landslide Susceptibility Zonation Applying Fuzzy Gamma Operators In Taleghanroud

- Watershed Of Qazvin Province. *Geography And Sustainability Of Environment*, 10(3), 71-90.
- 25- Redshaw, P., Dijkstra, T., Free, M., Jordan, C., Morley, A., Fraser, S. (2017): Landslide Risk Assessment For The Built Environment In Sub-Saharan Africa. *Advancing Culture Of Living With Landslide*, 5: 5-12. [Http://Www.Springer.Com/978-3-319-53482-4](http://www.springer.com/978-3-319-53482-4).
- 26- Shariat Jafari, M., Ghaioimian, J., Jalali, N., Hamedpanah, R. (2009): *Landslide Hazard And Risk Management*. ISBN: 9789643081133, 95p.
- 27- Talae, R. (2014): *Landslide Risk Evaluation For Land Use And Developmental Planning, Case Study: Hashtchin Region*. *Watershed Engineering And Management*, 6 (1) 21-41.
- 28- Van Westen, C.J., Castellanos, E., Kuriakose, S.L. (2008): *Spatial Data For Landslide Susceptibility, Hazard, And Vulnerability Assessment: An Overview*. *Engineering Geology* 102: 112-131.