مهندسی فناوری اطلاعات مکانی

سال یکم، شماره اول، پاییز ۱۳۹۲
Vol.1, No.2, Autumn 2013

# پهنه‌بندی خطر ناپایداری دامنه‌ها در محدوده جاده چالوس، به کمک GIS (حدفاصل کرج ـ گچسر)

مرتضی جعفرخالو*[۱]، علی ارومیه‌ای[۲]، ماشاءاله خامه‌چیان[۲]

۱- کارشناس ارشد مهندسی زمین‌شناسی، دانشگاه تربیت مدرس
۲- دانشیار دانشکده علوم پایه، دانشگاه تربیت مدرس

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۱/۷/۱۸ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۲/۹/۱۰

## چکیده

جاده کرج ـ چالوس، از مسیرهای اصلی ارتباطی شهر تهران با نواحی شمالی کشور است که از بخش مرکزی رشته‌کوه‌های البرز می‌گذرد. عبور این مسیر ارتباطی از نواحی کوهستانی با حرکات دامنه‌ای و رانش زمین در دامنه‌های مشرف به مسیر راه، همراه شده است. در این تحقیق بخشی از جاده کرج ـ چالوس در حد فاصل کرج تا گچسر به طول ۵۰ کیلومتر و مساحت ۸۱۸ کیلومترمربع، مورد مطالعه قرار گرفته است و نتیجه نهایی به صورت نقشه پهنه‌بندی خطر ناپایداری دامنه‌ها ارائه شده است. عوامل مؤثر در این پهنه‌بندی با الگو گرفتن از روش‌های مختلف پهنه‌بندی، عبارت‌اند از: لیتولوژی، شیب، فاصله از گسل، تراکم شبکه زهکشی و پوشش گیاهی. به‌منظور ارائه روشی که بتوان برخلاف سایر روش‌های ارائه شده برای پهنه‌بندی، مرز مناطق خطر را از حالت واضح و ناگهانی خارج ساخت، و همچنین به‌منظور انتقال تدریجی اثر منفی هر پدیده مؤثر ناپایدارکننده که در یک واحد از شبکه پهنه‌بندی قرار گرفته است، به سایر واحدهای شبکه، از روش کریجینگ به عنوان الگوی محاسبات استفاده شده است. پس از تهیه نقشه پهنه‌بندی منطقه به روش کریجینگ، ضمن انجام بازدیدهای صحرایی از مناطق پرخطر، داده‌های موجود از زمین‌لغزش‌های اتفاق افتاده در منطقه، جمع‌آوری گردید و میزان دقت این روش در تعیین مناطق پرخطر مورد ارزیابی قرار گرفت.

**کلیدواژه‌ها**: پهنه‌بندی، ناپایداری دامنه، کریجینگ، سیستم اطلاعات مکانی.

* نویسنده مکاتبه‌کننده: اصفهان، خ. نظر شرقی، پلاک ۲۳۵
تلفن: ۰۹۱۳۸۷۰۵۵۴۲

Email: jafarkhaloo@zayandab.com

[ Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-07-08 ]

[ DOI: 10.29252/jgit.1.1.81 ]

## ۱- مقدمه

جاده کرج ـ چالوس، از مسیرهای اصلی ارتباطی تهران با نواحی شمالی کشور است که از بخش مرکزی رشته‌کوه‌های البرز می‌گذرد. با توجه به عبور از نواحی کوهستانی، دامنه‌های مشرف به مسیر راه استعداد زیادی برای لغزش و ناپایداری دارند.

روش‌های مختلفی که برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش تا به حال بیان شده‌اند، حاصل تحقیقات افرادی هستند که در منطقه‌ای خاص با شرایط اقلیمی مربوط به آن ناحیه فعالیت داشته‌اند و استفاده از این روش‌ها برای مناطق مشابه از نظر شرایط و فاکتورهای حاکم در منطقه، مستلزم تطبیق شرایط و یا در صورت لزوم تصحیح روش‌هاست. در روش‌های مختلف پهنه‌بندی به کار رفته به‌وسیله پژوهشگران مختلف، از جمله روش پاچوری و مانوجپانت[1] (۱۹۹۲)، نیلسن[2] (۱۹۷۹)، آن بالاگان[3] (۱۹۹۲) و روش پیشنهادی مؤسسه راه ژاپن (۱۹۹۳)، مرز تعیین شده برای مناطق خطر، نسبت به یکدیگر نه به صورت فازی بلکه به صورت واضح (Crisp) بیان شده است [۱، ۲، ۳]. همچنین در تمام این روش‌ها حضور یک پدیده مؤثر، تنها در سلول یا واحد شبکه‌ای که در آن جای گرفته است، مورد توجه قرار می‌گیرد و در واحدهای مجاور تأثیری از آن عامل مشاهده نمی‌شود. اما در روش مورد بررسی در این تحقیق، به‌منظور دستیابی به اهداف ذکر شده، از روش آماری کریجینگ[4] برای اولین بار به عنوان الگوی محاسبات پهنه‌بندی استفاده شده است و تأثیر هر پدیده موجود در هر واحد شبکه به خوبی به سلول‌ها یا واحدهای مجاور آن واحد هم منتقل شده است. بنابراین ضمن انتقال اثر هر پدیده به واحدهای مجاور، مرز مناطق خطر به صورت تدریجی نمایان شده‌اند که به واقعیت نزدیک‌تر است.

## ۲- مواد و روش تحقیق

در این تحقیق با الگو گرفتن از روش‌های رایج و کاربردی پهنه‌بندی که در نقاط مختلف دنیا و از جمله ایران مورد استفاده قرار گرفته‌اند، ۵ عامل لیتولوژی (نقش واحدهای سنگی)، فاصله از گسل (به تفکیک عملکرد هر گسل)، تراکم زهکشی، شیب و پوشش گیاهی مورد ارزیابی قرار گرفتند.

در این مطالعه بخشی از جاده کرج-چالوس در حد فاصل کرج تا گچسر به طول ۵۰ کیلومتر و مساحت ۸۱۸/۴۴ کیلومترمربع در شمال و شمال غرب استان تهران، بین طول‌های جغرافیایی ۵۰ درجه و ۲۳ دقیقه تا ۵۱ درجه و عرض‌های جغرافیایی ۳۵ درجه و ۵۰ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۹ دقیقه مورد مطالعه قرار گرفته است. عوامل مؤثر در این پهنه‌بندی با الگو گرفتن از روش‌های مختلف پهنه‌بندی، عبارت‌اند از: لیتولوژی، شیب، فاصله از گسل، تراکم شبکه زهکشی و پوشش گیاهی. برای تهیهٔ این نقشه‌ها پس از مراحل اولیه آماده‌سازی به‌وسیله نرم‌افزارهای مختلف، از روش زمین‌آماری کریجینگ به عنوان الگوی محاسبات استفاده شد. کریجینگ روش تصادفی و درون‌یاب محلی است که بهترین میانگین متحرک وزن‌دار خطی را در هر منطقه به‌دست می‌دهد [۴]. در واقع رکیجینگ ابزاری است زمین‌آماری که به‌منظور تخمین وزن یک قطعه به عنوان تابعی خطی از نمونه‌های موجود در حوالی آن قطعه به کار می‌رود. این خصوصیت باعث می‌شود که تأثیر هر پدیده موجود در هر واحد شبکه به خوبی به سلول‌ها یا واحدهای مجاور آن واحد نیز منتقل شود [۵].

دو ویژگی کریجینگ عبارت‌اند از [۶ و ۷]:

- بهترین تخمین‌گر خطی ناریب[5] (BLUE) در یک نقطه (به شرطی که داده‌ها، توزیع نرمال داشته باشند)، و
- بهترین میانگین متحرک وزن‌دار خطی یک قطعه.

1. Pachauri & Manojpant
2. Nilson
3. An Balagan
4. Kriging
5. Best Linear Unbiased Estimator



[ Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-07-08 ]
[ DOI: 10.29252/jgit.1.1.81 ]

در واقع کریجینگ ابزار زمین‌آماری است که به‌منظور تخمین وزن یک قطعه به عنوان تابعی خطی از نمونه‌های موجود در حوالی آن قطعه به کار می‌رود. در کریجینگ عدد صفر به عنوان عدد مورد انتظار برای خطای تخمین قرار می‌گیرد. در غیر این صورت تخمین اریب می‌شود و از دقت خارج می‌گردد [۷].

### ۲-۱- معادله کریجینگ رایج

فرض کنید در فضای M، نقطه‌ای از متغیر Z برای $Z(x_1), Z(x_2), ..., Z(x_n)$، به‌وسیله مکان x جدا شده است. برای روش‌های درون‌یابی محلی، مقدار تخمین برای یک متغیر در یک مکان بدون داده، با استفاده از ترکیب خطی صورت می‌گیرد. این عمل باعث می‌شود که مقادیر حاصل برای نمونه‌هایی که به دادهٔ معلوم نزدیک‌ترند، وزن آماری بیشتری از نمونه‌های دورتر و بیرون‌تر به دست دهند. در عین حال ترکیب وزن‌های آماری به گونه‌ای می‌شود که تغییرنمای[1] تخمین، کمینه شود. این تخمین‌زنی را تخمین‌گر خطی گویند و رابطه حاصل، بدین صورت است [۶]:

رابطه (۱) $$Z^*(xi) = \sum_{i=1}^{n} \lambda i \times Z(xi)$$

رابطه (۲) $$\sum_{i=1}^{n} \lambda i = 1$$

که در این روابط،

Z(xi): مقدار شاهد از متغیر Z در نقطه xi

Z*(xi): مقدار تخمین زده شده از متغیر Z در نقطه x

n: تعداد مقادیری که در تخمین به‌کار رفته‌اند؛ و

λ: وزنی که به مقدار شاهد داده شده است.

کریجینگ برحسب نوع موقعیت مشاهدات به دو نوع نقطه‌ای و بلوکی تقسیم می‌شود. اگر مقادیر متغیر هر بار دقیقاً در نقاط معلوم t1 تا tn جمع‌آوری شوند، به گونه‌ای که موقعیت مشاهدات ثابت باشد، از کریجینگ نقطه‌ای استفاده می‌شود [۷].

### ۲-۲- کریجینگ نقطه‌ای

همان‌گونه که ذکر شد، کریجینگ تخمین‌گر خطی است؛ یعنی مقدار تخمین را براساس ترکیب خطی از مقادیر وزنی نمونه‌های واقع در محدودهٔ جست‌وجو به‌دست می‌آورد. ضرایب این ترکیب خطی باید به نحوی تعیین شوند که خصوصیات کریجینگ، شامل کمترین تغییرنمای تخمین و ناریب بودن تخمین‌ها، تضمین شود.

برای این منظور باید دستگاه معادلات کریجینگ نوشته شود که مجهولات این دستگاه معادلات خطی، ضرایب کریجینگ (اوزان کریجینگ) است. اگر میانگین وزن کل فضای مورد تخمین معلوم باشد (کریجینگ ساده) و در محدوده جست‌وجو n داده وجود داشته باشد، دستگاه معادلات کریجینگ یک دستگاه n معادله با n مجهول خواهد شد. اگر میانگین وزن یا ضخامت در کل فضای تخمین نامعلوم باشد (کریجینگ معمولی)، دستگاه معادلات کریجینگ شامل n+۱ معادله با n+۱ مجهول خواهد شد. به این ترتیب در ماتریس مربوط به این دستگاه یک سطر و یک ستون (در انتهای سطرها و ستون‌ها) که همهٔ درایه‌های آن واحد است، اضافه می‌شود و فقط عنصر سطر n+۱ در ستون n+۱، صفر خواهد شد. از حل دستگاه معادلات پیشین ضرایب (میانگین عیار نمونه‌ها) به دست می‌آید و براساس آنها می‌توان مقدار کمیت مورد تخمین را با استفاده از رابطه (۳) محاسبه کرد.

رابطه (۳) $$Z(x) = \sum_{i=1}^{n} \lambda_i Z(x_i)$$

که در آن $\lambda_i$، ضرایب حاصل از حل دستگاه معادلات مذکور، $Z(x_i)$ مقدار کمیت مورد بررسی در نقطهٔ i اُم و n مقدار واقع در محدودهٔ جست‌وجو است [۷].

1. Variance



[ Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-07-08 ]

[ DOI: 10.29252/jgit.1.1.81 ]

### ۲-۳- کاربرد کریجینگ در پهنه‌بندی

با توجه به مراحل انجام کار این تحقیق، ابتدا لایه‌های طبقاتی به‌وسیله نرم‌افزار Geoestimate شبکه‌بندی می‌شود و سپس نقاط مرکزی هر سلول شبکه تعریف و مختصات جغرافیایی هر یک از این نقاط مشخص می‌شود. اکنون براساس وزن‌دهی به هر یک از تقسیمات موجود در هر لایه طبقاتی، وزن مشخصی به مرکز هر شبکه تعلق می‌گرد که این وزن از رابطه‌ای که در پی می‌آید حاصل می‌شود:

رابطه (۴) $W_i = W_{x_1} \times A_{x_1} + W_{x_2} \times A_{x_2} + \ldots$

(برای عوارض سطحی مانند زمین‌شناسی و شیب)

رابطه (۵) $Wj = W_{y_1} \times L_{y_1} + W_{Y_2} \times L_{y_2} + \ldots$

(برای عوارض خطی، مانند گسل و آبراهه)

$W_i$: وزن تعلق‌گرفته به مرکز سلول شماره i (در لایه‌های سطحی)

$W_j$: وزن تعلق‌گرفته به مرکز سلول شماره j (در لایه‌های خطی)

$W_{X_1}$: وزن تعلق‌گرفته به عارضه شماره ۱ در لایه طبقاتی x (در لایه‌های سطحی)

$W_{y_1}$: وزن تعلق‌گرفته به عارضه شماره ۱ در لایه طبقاتی y (در لایه‌های خطی)

$A_{X_1}$: مساحت پوشیده شده از سلول به‌وسیله عارضه شماره ۱ در لایه طبقاتی x (در لایه‌های سطحی)

$L_{Y_1}$: طول عارضه شماره ۱ در هر سلول در لایه طبقاتی y (در لایه‌های خطی)

اکنون با توجه به وزن هر یک از مراکز سلول‌ها برای تعیین نقش هر لایه طبقاتی مانند شیب، فاصله از گسل و جز آن در ناپایداری دامنه‌های منطقهٔ مورد مطالعه، روش کریجینگ نقطه‌ای اعمال می‌گردد و به این ترتیب وزن نهایی مرکز یا نقطهٔ وسط هر سلول، با توجه به تأثیر سایر نقاط موجود در شبکه تخمین زده می‌شود و در نهایت نقش هر لایه طبقاتی به‌صورت نقشه ارائه می‌گردد و با جمع وزنی لایه‌های موجود، نقشه پهنه‌بندی منطقه حاصل می‌گردد. در این تحقیق، به دلیل وسعت منطقه مورد مطالعه، بعد هر سلول معادل ۱ کیلومتر در نظر گرفته شده است.

### ۲-۴- نرمال‌سازی[1]

همان‌طور که پیش‌تر نیز ذکر شد، شرط استفاده از کریجینگ برای به‌دست آوردن بهترین تخمین‌گر خطی نااریب (BLUE)، وجود داده‌هایی با توزیع نرمال است. لذا در این تحقیق پس از وزن‌دهی به سلول‌های موجود در هر لایه طبقاتی، داده‌ها به‌وسیله نرم‌افزار SPSS و با روش باکس و کاکس[2] (۱۹۶۴) نرمال می‌شود. با نرمال شدن داده‌ها، این شرایط بر آنها حاکم می‌شود [۸].

۱- کشیدگی[3]، معادل عدد ۳ می‌شود.
۲- چولگی[4]، معادل صفر می‌شود.
۳- تساوی میانگین داده‌ها، میانه داده‌ها، و مد داده‌ها[5]، برقرار می‌شود.

در روش باکس و کاکس، داده‌ها با استفاده از رابطهٔ (۶) نرمال می‌شوند.

رابطه (۶)
$$Y^{(\lambda)} = \begin{cases} \dfrac{Y^{\lambda}-1}{\lambda Y^{\lambda-1}} & \lambda \neq 0 \\ YLny & \lambda = 0 \end{cases}$$

در این تبدیل، y نماینده داده‌ها و $\lambda$ پارامتری است که طی روش باکس و کاکس محاسبه می‌شود و بر روی داده‌ها اعمال می‌گردد. لازم به ذکر است که این روش لزوماً داده‌ها را نرمال نمی‌کند بلکه حتی‌المقدور سعی در نرمال کردن آنها خواهد داشت.

### ۲-۵- استانداردسازی

در ادامه برای انجام محاسبات بعدی، داده‌های مورد نظر استاندارد می‌شوند که از رابطهٔ (۷) برای استانداردسازی داده‌ها استفاده می‌شود. نتیجهٔ استانداردسازی داده‌ها، قرار گرفتن داده‌های حاصل، در بازهٔ صفر تا یک است.

1. Normalization
2. Box & Cox, 1964
3. Kurtosis
4. Skewness
5. Mean=Median=Mode



[ Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-07-08 ]
[ DOI: 10.29252/jgit.1.1.81 ]

رابطه (۷) $\frac{X_i - X\min}{X\max - X\min}$

$X_i$ : وزن اولیه هر سلول

Xmin: کمترین وزن در عامل مورد نظر

Xmax: بیشترین وزن در عامل مورد نظر

### ۲-۶- تهیه نقشهٔ نهایی

برای به‌دست آوردن نقشهٔ نهایی حاصل از ترکیب لایه‌های اطلاعاتی که روی آنها به ترتیب عملیات وزن‌دهی، نرمال‌سازی، استانداردسازی و نهایتاً تخمین خطی ناریب (کریجینگ) صورت گرفته است، از این رابطه که معمولاً در تهیه نقشه‌های چندعنصری به‌کار گرفته می‌شود، استفاده می‌شود [۸].

رابطه (۸) $E = \left[\sum_{i=1}^{m} (e_i)^2\right]^{\frac{1}{2}}$

که در آن،

E: وزن نهایی سلول

ei: وزن سلول i اُم

m: تعداد لایه‌های اطلاعاتی

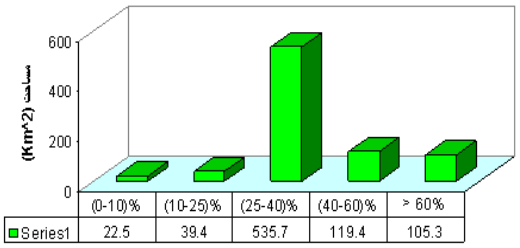
جمع زدن وزن سلول‌های متناظر در لایه‌های مختلف اطلاعاتی با این روش، سبب می‌شود که وزن هر عامل در خروجی نهایی تأثیر مستقیم داشته باشد. بنابراین عوامل با وزن بیشتر، در مقایسه با عوامل دارای وزن کمتر، تأثیر بیشتری روی خروجی نهایی خواهند گذاشت.

## ۳- عوامل مورد مطالعه

برای پهنه‌بندی محدودهٔ جاده چالوس در حد فاصل کرج تا گچسر از نقشه‌های مربوط به ۵ عامل مؤثر استفاده شده است. این نقشه‌ها عبارت‌اند از: شیب، لیتولوژی، گسل، تراکم آبراهه و پوشش گیاهی.

### ۳-۱- نقشه شیب

در روش‌های پهنه‌بندی ارائه شده به‌وسیله محققان مختلف، تقسیم‌بندی‌های گوناگونی برای عامل شیب مطرح شده است. به عنوان مثال، در روش نیلسن (۱۹۷۹)، شیب به سه گروه و در روش پاچوری و مانوجپانت (۱۹۹۲)، تغییرات شیب در پنج گروه درنظر گرفته شده است [۹ و ۱۰]. در این مطالعه نیز برای پهنه‌بندی به روش کریجینگ تغییرات نقشهٔ شیب در ۵ طبقه تنظیم شده است که در شکل ۱، میزان پوشش هر طبقه در منطقه و در جدول ۱، جزئیات این وزن‌دهی به هر طبقه مشاهده می‌شود.



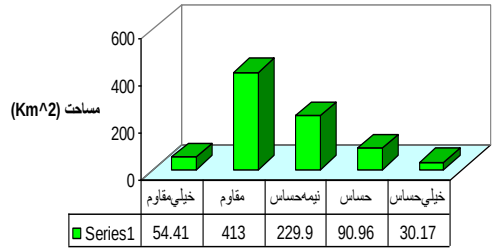

**شکل ۱. مقایسه میزان پوشش هر طبقه از شیب در منطقه**

**جدول ۱. روش طبقه‌بندی و وزن‌دهی به عامل شیب**

| طبقه‌بندی | ۱ | ۲ | ۳ | ۴ | ۵ |
|---|---|---|---|---|---|
| امتیاز | ۲ | ۱/۵ | ۱ | ۰/۵ | <۰/۲۵ |
| طبقه | >۶۰٪ | (۴۰-۶۰)٪ | (۲۵-۴۰)٪ | (۱۰-۲۵)٪ | (۰-۱۰)٪ |
| درصد پوشش | ۱۲/۸ | ۱۴/۵ | ۶۵/۱ | ۴/۸ | ۲/۷۳ |

### ۳-۲- نقشه لیتولوژی

رخنمون واحدهای سنگی یا لیتولوژی هر منطقه، نقش تعیین‌کننده‌ای در وقوع لغزش و ناپایداری دامنه‌های آن منطقه دارد. بنابراین با توجه به دقت انجام مطالعات، یک نقشه زمین‌شناسی با پنج گروه متفاوت ـ از نظر مقاومت در برابر ناپایداری ـ تهیه گردید که در این راه با انجام مشاهدات صحرایی، استفاده از چکش اشمیت و برداشت خصوصیات درزه‌ها، مورد قضاوت مهندسی قرار گرفتند.




**شکل ۲. مقایسهٔ میزان پوشش هر گروه از واحدهای سنگی**



[ Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-07-08 ]

[ DOI: 10.29252/jgit.1.1.81 ]

در شکل ۲ میزان پوشش هر گروه در منطقه مورد مقایسه قرار گرفته است و در جدول ۲ جزئیات این طبقه‌بندی و طرز وزن‌دهی به هر طبقه مشاهده می‌شود.

**جدول ۲. روش طبقه‌بندی و وزن‌دهی به عامل لیتولوژی**

| طبقه‌بندی | ۱ | ۲ | ۳ | ۴ | ۵ |
|---|---|---|---|---|---|
| امتیاز | <۰/۲۵ | ۰/۷۵ | ۱/۵ | ۲/۲۵ | ۳ |
| طبقه | خیلی مقاوم | مقاوم | نیمه حساس | حساس | خیلی‌حساس |
| درصد پوشش | ۶/۶ | ۵۰/۴ | ۲۸/۰ | ۱۱/۱ | ۳/۷ |

### ۳-۳- نقشه فاصله از گسل

دلیل استفاده از گسل در پهنه‌بندی، افزایش خطر ناپایداری دامنه‌ها با نزدیک شدن به این ساختار تکتونیکی است. با افزایش فاصله از گسل‌ها، تراکم سیستم درزه‌ها، شکستگی‌ها و خردشدگی سنگ‌ها که در وقوع زمین‌لغزش مؤثرند، کاهش می‌یابد. درواقع تأثیر گسل‌ها با احتمال فعالیت و وقوع جنبش نیرومند زمین تا فواصل دوردست منظور می‌گردد. بنابراین در این تحقیق نیز با توجه به اساس روش کریجینگ، ابتدا وزن سلول‌هایی که خطوط گسلی از آنها می‌گذرند، تأثیر مستقیم می‌یابند و سپس مراکز سلول‌های مجاور نیز با تخمین خطی نااریب، از آن گسل وزن می‌گیرند. مزیت روش به کار رفته در این تحقیق، مدنظر قرار دادن سازوکار گسل‌ها در وزن‌دهی است. جدول ۳ جزئیات وزن‌دهی به این عامل را در گروه‌های مختلف نشان می‌دهد.

**جدول ۳. روش طبقه‌بندی عامل فاصله از گسل وزن‌دهی به هر گسل برحسب نوع عملکرد**

| طبقه‌بندی | ۱ | ۲ | ۳ | ۴ | ۵ |
|---|---|---|---|---|---|
| امتیاز | ۲ | ۱/۵ | ۱ | ۰/۵ | <۰/۲۵ |
| طبقه | گسل تراستی | گسل نرمال اصلی | گسل نرمال فرعی | گسل پنهان | بدون گسل |

### ۳-۴- نقشه پوشش گیاهی

استفاده از تصاویر رقومی ماهواره‌ای یکی از روش‌های معتبر در شناسایی پوشش گیاهی است. تصاویر ماهواره‌ای چندطیفی به دلیل در اختیار گذاشتن تصاویر متعددی که در واقع بازتابش امواج الکترومغناطیسی از سطح زمین در طول موج‌های مختلف‌اند، فرصت خوبی را برای مطالعه عوارض سطح زمین فراهم می‌آورند.

گیاهان به دلیل داشتن کلروفیل سبزرنگ، امواج الکترومغناطیسی در محدودهٔ طول موج‌های قرمز را به شدت جذب، و امواج مادون قرمز را با شدت متمایزی بازتاب می‌کنند. با توجه به اینکه تصویر مورد استفاده در این مطالعه از نوع لندست TM است، از روش NDVI[1] یعنی استفاده از تفاضل باند ۳ از باند ۴ نسبت به مجموع تصویر این دو باند برای شناسایی مناطق با پوشش گیاهی، در محیط Erdas استفاده شده است (رابطه ۹) [۱۰ و ۱۱].

رابطه (۹)

$$NDVI = (NIR - RED)/(NIR + RED)$$

نقشهٔ حاصل برحسب نوع پوشش گیاهی، تقسیم‌بندی و سپس برمبنای روش کریجینگ وزن‌دهی شده و مورد ارزیابی قرار گرفته است. در جدول ۴ جزئیات وزن‌دهی به این عامل در گروه‌های مختلف نشان داده شده است.

**جدول ۴. روش طبقه‌بندی و وزن‌دهی به پوشش گیاهی**

| طبقه‌بندی | ۱ | ۲ | ۳ | ۴ | ۵ |
|---|---|---|---|---|---|
| امتیاز | ۳ | ۲/۲۵ | ۱/۵ | ۰/۷۵ | <۰/۲۵ |
| طبقه | بدون کشت | با کشت | باغ | مرتع | جنگل |
| درصد پوشش | ۹۷ | ۰/۳ | ۲/۶ | ۰ | ۰ |

1. Normalized Difference Vegetation Index



[ Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-07-08 ]
[ DOI: 10.29252/jgit.1.1.81 ]

### ۳-۵- نقشه آبراهه‌ها

آبراهه‌ها یا زهکشی آب‌های جاری در سطح حوضه نقش مؤثری در افزایش حساسیت دامنه‌های مجاورشان برای ناپایداری خواهند داشت و بسته به اصلی یا فرعی بودن‌شان، شعاع تأثیر متفاوتی دارند. در جدول ۵ جزئیات طبقه‌بندی عامل درجه آبراهه‌ها و طرز وزن‌دهی به این عامل به تفکیک اصلی یا فرعی بودن هر آبراهه ارائه شده است.

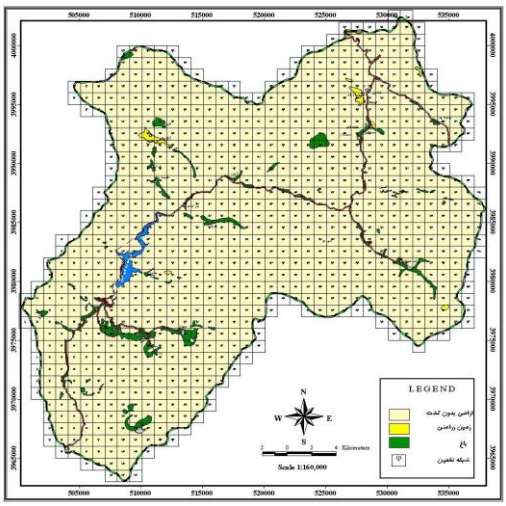
**جدول ۵. روش طبقه‌بندی و وزن‌دهی به آبراهه‌ها**

| طبقه‌بندی | ۱ | ۲ | ۳ | ۴ | ۵ |
|---|---|---|---|---|---|
| امتیاز | ۲ | ۱/۵ | ۱ | ۰/۵ | <۰/۲۵ |
| طبقه | اصلی درجه ۱ | اصلی درجه ۲ | فرعی درجه ۱ | فرعی درجه ۲ | بدون آبراهه |

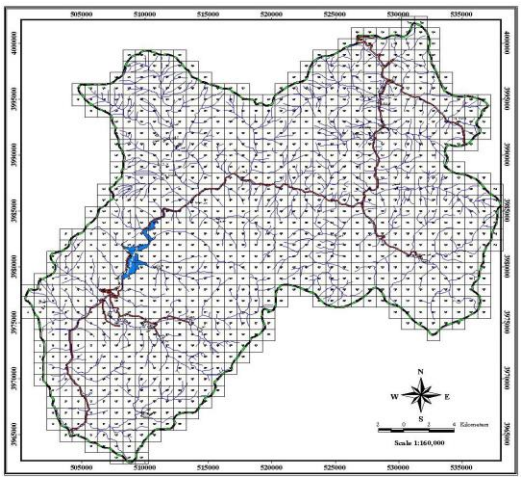
### ۴- نتایج (نقشه پهنه‌بندی)

اکنون لازم است تا با توجه به اوزان از قبل تعیین شده و میزان پوشش هر واحد به‌وسیله هر عامل مؤثر، هر لایه اطلاعاتی در یک شبکه از واحدهای هم‌بعد واقع شود و به مرکز هر یک از واحدها وزن متناسب تعلق گیرد.

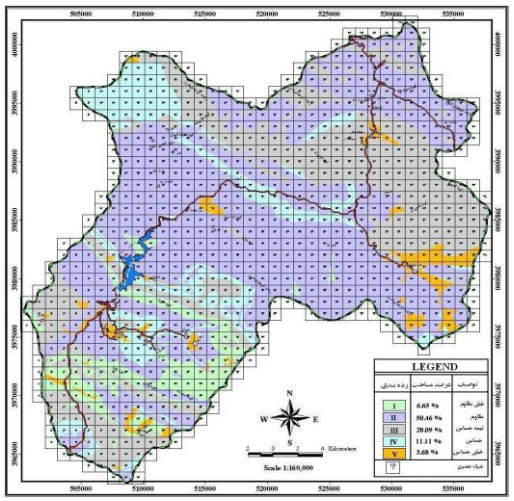
این عمل در محیط Geoestimate و با توجه به روابط (۴ و ۵)، برحسب نوع لایهٔ اطلاعاتی برای هر یک از ۵ لایه اطلاعاتی انجام می‌شود (شکل‌های ۳ تا ۷). سپس این داده‌ها به صورت فایل متنی (Text) به محیط SPSS منتقل شده و در آنجا عملیات نرمال‌سازی و استانداردسازی و در نهایت عملیات کریجینگ نقطه‌ای ـ مطابق آنچه قبلاً ذکر شد ـ روی تمام داده‌ها اعمال گردیده است و داده‌های حاصل به صورت فایل متنی به محیط Geoestimate منتقل گشته و در آنجا برحسب وزن تعلق گرفته به مراکز واحدهای شبکه، نقشهٔ اطلاعاتی برای هر عامل ترسیم شده است (شکل‌های ۸ تا ۱۲).




**شکل ۳. پوشش گیاهی در شبکه تخمین**




**شکل ۴. شبکه آبراهه‌ها در شبکه تخمین**

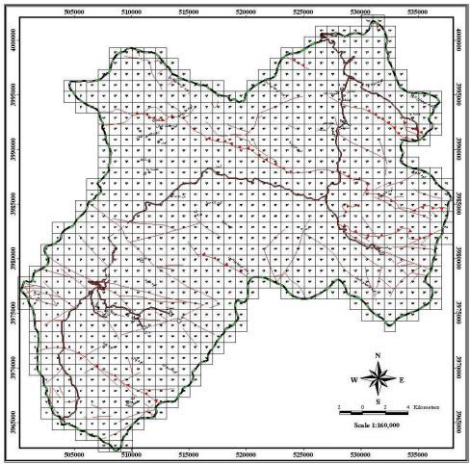



**شکل ۵. رخنمون واحدهای سنگی در شبکه تخمین**

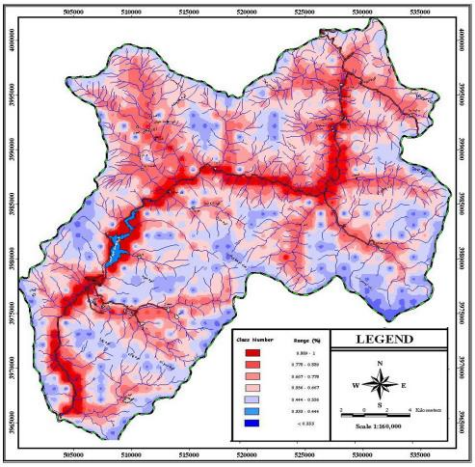


[ Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-07-08 ]

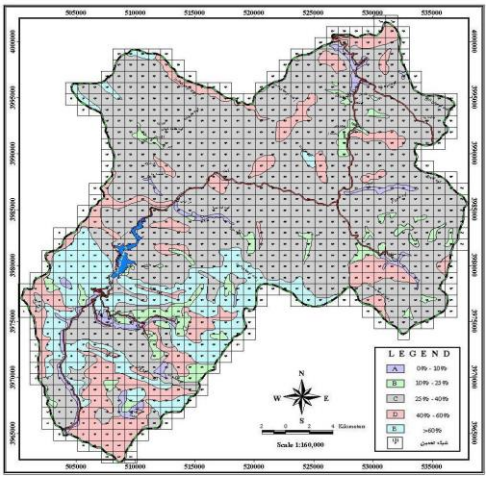
[ DOI: 10.29252/jgit.1.1.81 ]



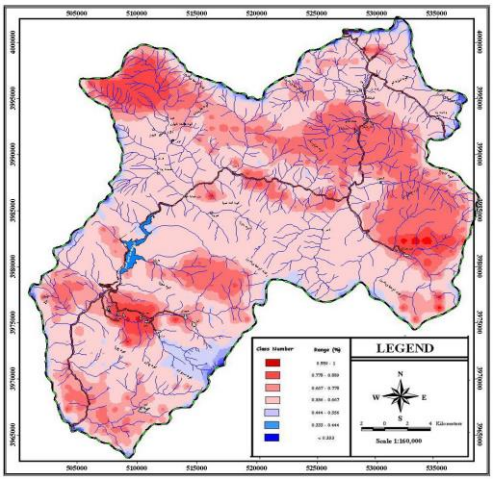
شکل ۶. گسل‌های منطقه در شبکه تخمین



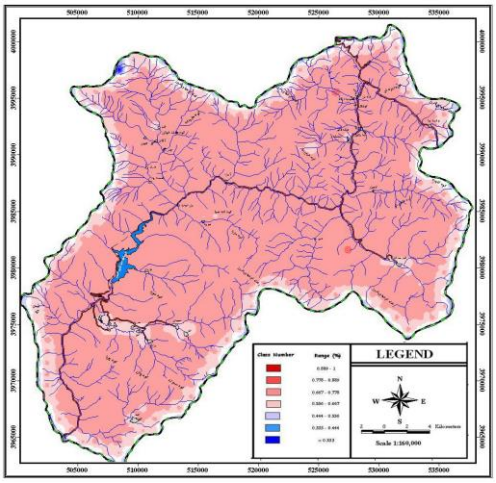
شکل ۹. نقش شبکه آبراهه‌ها در ناپایداری دامنه‌ها



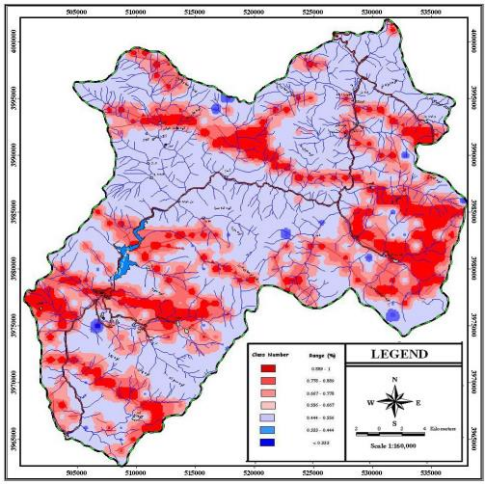
شکل ۷. نمایش گسترش شیب در شبکه تخمین



شکل ۱۰. نقش واحدهای سنگی در ناپایداری دامنه‌ها



شکل ۸. نقش پوشش گیاهی در ناپایداری دامنه‌ها

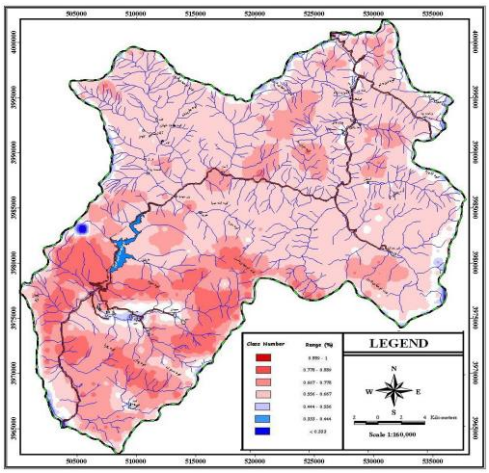


شکل ۱۱. نقش گسل‌ها در ناپایداری دامنه‌ها



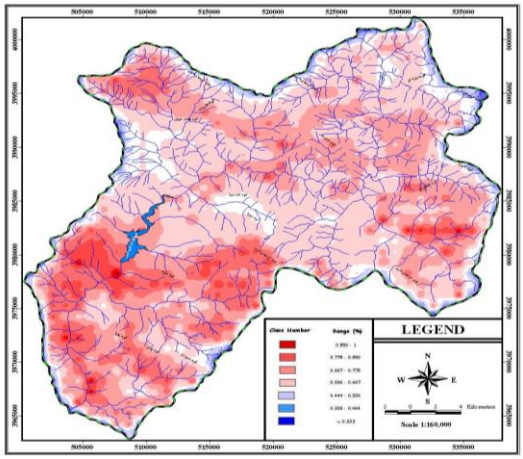
[ Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-07-08 ]

[ DOI: 10.29252/jgit.1.1.81 ]




**شکل ۱۲. نقش شیب در ناپایداری دامنه‌ها**

سپس برای تهیهٔ نقشه نهایی، مجموع داده‌های مربوط به لایه‌های اطلاعاتی به محیط SPSS منتقل شده و در آنجا روی وزن مرکز هر سلول در شبکهٔ موجود، عملیات جمع چندعنصری مطابق رابطهٔ (۸) صورت گرفته است. داده‌های حاصل در این مرحله نیز به محیط Geoestimate منتقل گردیده و نقشه متناسب این داده‌ها که همان نقشه پهنه‌بندی نهایی است، ترسیم شده است (شکل ۱۳).




**شکل ۱۳. نقشه پهنه‌بندی خطر ناپایداری دامنه‌ها در محدوده جاده چالوس (حد فاصل کرج- گچسر)**

## ۵- ارزیابی صحت مطالعات انجام شده

برای آگاهی از میزان دقت عمل در روش به‌کار رفته در پهنه‌بندی منطقه، لازم است با انجام بازدیدهای صحرایی، نتایج به دست آمده با واقعیت در طبیعت مقایسه شوند. به این منظور، مناطق ناپایدار در منطقه به‌وسیلهٔ دستگاه GPS[1] برداشت و سپس روی نقشهٔ پهنه‌بندی تهیه شده از منطقه، پیاده شدند. یکی از مسائلی که در منطقهٔ مورد مطالعه اهمیت می‌یابد، عبور جاده پرتردد و شلوغ کرج ـ چالوس از بخش میانی حوضه است. این عارضهٔ مصنوعی در قسمت‌هایی از مسیر خود از دامنه‌ها و ترانشه‌های مصنوعی پرشیبی می‌گذرد که به‌دلیل کوچک‌مقیاس بودن نسبت به واحدهای شبکه و عدم گسترش عمومی در پهنهٔ مورد مطالعه، امکان قرار گرفتن در لایه‌های اطلاعاتی به کار رفته در پهنه‌بندی منطقه را ندارد.

بدین ترتیب با توجه به اهمیت این محور مواصلاتی و به‌منظور تکمیل مطالعات انجام شده تا این مرحله، اقدام به شناسایی و تحلیل سینماتیک دامنه‌های مستعد ناپایداری به روش استریوگرافیک[2] ـ توصیه شده به‌وسیله هوک و بری [۱۲] ـ شده است. نتایج این تحلیل‌ها در جدول ۶ و شکل ۱۴ آمده‌اند.

همان‌طور که در شکل ۱۴ مشاهده می‌شود، تراکم نقاط برداشت‌شده با مناطق پرخطر در نقشهٔ پهنه‌بندی به دست آمده از منطقه، مطابقت بسیاری دارد. بر این مبنا می‌توان روش به کار رفته در این تحقیق را با شرایط حاکم بر منطقهٔ مورد مطالعه مناسب دانست.

## ۶- نتیجه‌گیری

کریجینگ، از روش‌های تصادفی و درون‌یاب محلی است که به کمک آن می‌توان متحرک وزن‌دار خطی را در هر قطعه محاسبه کرد و تأثیر هر پدیدهٔ موجود در

1. Global Position System
2. Stereographic



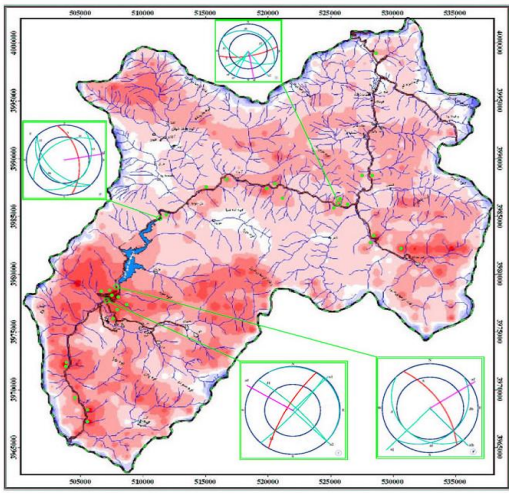
[ Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-07-08 ]
[ DOI: 10.29252/jgit.1.1.81 ]

هر واحد شبکه را به خوبی بـه سـلول‌هـا یـا واحـدهای مجاور موجود در شبکه منتقل ساخت.

در این تحقیق، به‌منظور تدریجی کردن مرز مناطق خطر و انتقال اثر پدیده‌ای که در یک واحد شـبکه قـرار دارد به واحدهای مجاور، از روش کریجینگ بـه عنـوان الگوی محاسبات، استفاده شده است.

در نقشهٔ پهنه‌بندی تهیه شده در این تحقیـق، مـرز مناطق خطر از حالت مشخص خارج گردیده و بـا تـأثیر عوارض به سلول‌های مجاور، به شرایط واقعی نزدیک‌تـر شده است.

بازدیدهای صحرایی، نشان داد که نقشهٔ پهنه‌بنـدی تهیه شده در این روش، تا حد مطلوبی منـاطق مسـتعد خطر ناپایـداری را متمـایز کـرده اسـت. ایـن نتـایج در جدول ۶ و شکل ۱۴ ارائه شده است که در آنها برخی از دامنه‌های حساس، مورد بازدیـد محلـی قـرار گرفتنـد و سـپس بـه روش اسـتریوگرافیکی از نظـر پایـداری نیز تحلیل شـدند و در نهایـت در همـه مـوارد بررسـی شده، صحت نقشه خروجی تأیید گردید.



**شکل ۱۴. نقشه پهنه‌بندی خطر ناپایداری دامنه‌ها در محدوده جاده چالوس (حدفاصل کرج- گچسر)، به همراه شناسایی و تحلیل استریوگرافیک نقاط پرخطر**

**جدول ۶. نتایج تحلیل سینماتیک دامنه‌ها و ترانشه‌های مستعد ناپایداری در مسیر جاده چالوس (حدفاصل کرج ـ گچسر)**

| ردیف | مختصات (UTM) | | سیستم درز (J1) | سیستم درز (J2) | سیستم درز (J3) | لایه‌بندی (Jb) | دامنه S | نتیجه تحلیل سینماتیک |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | X | ۵۰۷۲۹۰ | ۰۴۴/۸۳ | ۱۳۲/۸۵ | - | ۰۵۰/۲ | ۳۰۶/۸۳ | احتمال وقوع گسیختگی از نوع واژگونی ناشی از سیستم درز J2 |
| | Y | ۳۹۷۷۵۱۰ | | | | | | |
| ۲ | X | ۵۰۸۰۴۱ | ۲۲۵/۳۱ | - | - | ۱۳۵/۳۰ | ۰۵۶/۷۰ | وقوع گسیختگی از نوع واژگونی ناشی از سیستم درز J1 |
| | Y | ۳۹۷۹۰۲۱ | | | | | | |
| ۳ | X | ۵۱۱۱۰۳ | ۳۲۴/۴۹ | ۲۲۵/۵۶ | /۳۵ ۱۲۳ | ۲۲۵/۴۳ | ۰۵۹/۷۹ | احتمال گسیختگی گوه‌ای ناشی از دو سیستم درز J2 و J3 و لغزش در سطح J2 |
| | Y | ۳۹۸۴۹۲۰ | | | | | | |
| ۴ | X | ۵۲۷۴۷۱ | ۲۰۵/۶۱ | ۱۴۵/۸۰ | - | ۰۳۰/۳۰ | ۱۷۰/۷۶ | وقوع گسیختگی حاصل از دو ناپیوستگی J1 و J2 و لغزش در سطح سیستم J1 |
| | **Y** | ۳۹۸۹۳۰۴ | | | | | | |



[ Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-07-08 ]

[ DOI: 10.29252/jgit.1.1.81 ]

## ۷- منابع

[1] Pachuri, A. and Pant, M. 1992. *Landslide Hazard Mapping based on Geological Attributes*. Engineering Geology, 32, 81-100.

[2] Anabalagan, R., 1991. *Terrain Evaluation and Landslide Hazard Zonation for Environmental Regeneration and Land Use Planning in Mountainous Terrain.* In Landslides, Ed. Bell, D.V., Balkema, Netherlands.

[3] Mahdavi Far, M.R., 1998. *Landslide hazard Zonation, Khursh Rostam*. Master of Science Thesis, Tehran, Tarbiat Modarres University (Persian).

[4] Madani, H., 1994. *Foundations of Geostatistic*. Tehran, Amirkabir Industrial university Press (Persian).

[5] Carrat, F., Valleron, A.J., 1992. *Epidemiologic Mapping using the Kriging Method*. Application to an in fluenza- like illness epidemic in France, Journal of Epidemiology, 135, 1293-1300.

[6] Culshaw M.G. et al., 1987. *Planning and Engineering Geology*. London, Geological society.

[7] Hasanipak, A., 1998. *Geostatistic*. Tehran, Tehran University Press (Persian).

[8] Hasanipak, A. and Sharaf-aldin, M., 2001. *Analysis of Exploration Data*. Tehran, Tehran University Press (Persian).

[9] Jalai, N. et Al., 2000. *Investigation of Usual Methods in Landslide Hazard Zonation for Finding the Best Suitable Method with Country Conditions (Case study in Middle Alborz, Taleghan Dranage Area)*, Tehran: Agriculture ministry Press (Persian).

[10] Zobeyri, M., 1996. *Introducing with Remote Sensing and it`s usage in Natural Resources.* Tehran, Tehran University Press (Persian).

[11] Alavipanah, K., 2003. *The Application of Remote Sensing in Earth Sciences.* Tehran, Tehran University Press (Persian).

[12] Hoek, E. and Bray, J.W., 1981. *Rock Slope Engineering*. London, The Institute of Mining and Metallurgy.

[ Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-07-08 ]

[ DOI: 10.29252/jgit.1.1.81 ]

*K. N. TOOSI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY*
*FACULTY OF GEODESY AND GEOMATICS ENGINEERING*

*Journal of Geospatial Information Technology*
**Vol.1, No.1, Autumn 2013**
**81-92**

# Slope Instability Hazard Zonation on the Area of Chalus Road, using GIS (Between Karaj to Gachsar)

Jafarkhalou M.*[1], Uromiaei A.[2], Khamechian M.[2]

1- M.Sc. of Engineering Geology, University of Tarbiat Modarres

2- Associate Prof., Dep. of Engineering Geology, College of Science, University of Tarbiat Modares

**Abstract**

Passing over central part of the Alborz mountains, Karaj-Chalus Road is a major route making connection between Tehran city and north parts of Iran. This transportation road crossing over mountainous included of volcano and sedimentary deposits since Paleozoic to Eocene period such as limestone, dolomite, quartzite, diorite and tuff and gets along with slope movements and earth flows in ranges verge to the road path. In this research, a part of Karaj-Chalus road located at a distance between Karaj and Gachsar with a length of 50km and a surface area of 818m2 is studied and the final result has been presented as a slope instability zonation map. With benchmarking from different zonation methods, the effective factors on this zonation are as: lithology, slope, distance from fault, drainage network density and vegetation cover. In contrast to other methods suggested for zonation, in this study a method has been presented to be used to exclude hazard borders from sharp and clear status and, also, kriging method was used to transfer phenomenal effect existing in one unit of network to its nearby units. Field inspections as well as data available about the landslides occurred in this study zone confirmed that zonation map prepared of kriging model has discriminated ranges susceptible to instability hazard with high accuracy.

**Keywords:** Slope instability, Zonation, Kriging, Chalus road.

Correspondence Address:.No. 235, East Nazar Str., Isfahan, Iran. Tell: +98 311 6246605
Email: Jafarkhalou@ zayandab.com

[ Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-07-08 ]

[ DOI: 10.29252/jgit.1.1.81 ]