

M. Ahmadi, Phd  
M. Hosain Rezaie Moghadam ,  
Phd

محمد احمدی، عضو هیأت علمیم مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان  
کرمانشاه

محمد حسین رضایی مقدم، گروه جغرافیای طبیعی دانشگاه تبریز

E-mail: rezmogh@yahoo.com

شماره مقاله: ۷۷۳

شماره صفحه پیاپی ۱۶۰۲۱-۱۶۰۴۶

## ارزیابی ناپایداری دامنه‌ها بر اساس شواهد وزنی و با استفاده از فناوری GIS، مثال موردی: دامنه‌های حوضه مرک، کرمانشاه

### چکیده:

منطقه مورد مطالعه در غرب ایران، در جنوب غربی کوه "بیستون" و شهر کرمانشاه واقع شده است. مساحت آن تقریباً ۱۴۸۹ کیلومتر مربع است. زمین لغزش از گذشته، معمولترین پدیده در منطقه بوده است که توسط بارش‌های شدید و زمین لرزه‌ها تحریک شده است. اگر چه زمین لغزش‌های فعال در منطقه کم هستند، اما تهدیدی جدی برای مردم و تأسیسات محسوب می‌شوند. هدف این تحقیق، تعیین عوامل مؤثر در ناپایداری دامنه در منطقه است. روش شواهد وزنی با رویکرد آماری به منظور شبیه سازی شرایط محیطی و تعیین عوامل مؤثر به کار گرفته شده است. یکی از مزیت‌های شواهد وزنی، این است که غیر جانبدارانه وزن عوامل در هر لایه را مشخص می‌سازد. این روش به علت ساده سازی در ورود داده‌ها دودویی بدور از پیچیدگی‌های ریاضی توسط کاربران زیادی به کار گرفته شده است. روش شواهد وزنی چند کلاسه به دلیل این که توزیع داده‌ها را بهتر نمایش می‌دهد، استفاده گردیده است. رابطه بین توزیع نقطه زمین لغزش‌ها با عوامل سنگ شناسی، ارتفاع، گرادیان شیب، خطواره‌ها و فاصله از آبراهه‌ها، پوشش گیاهی و کاربری بررسی شد. برای فراهم کردن نقشه قابلیت زمین لغزش، تعدادی لایه شامل نقشه توپوگرافی، سنگ شناسی، تصاویر ماهواره‌ای با کمک سیستم اطلاعات جغرافیایی ساخته

و به فرمت رستر تبدیل شدند، و برای هریک، بانک اطلاعاتی مستقل تهیه و با مقیاس مناسب (عددی، رتبه‌ای، و اسمی) ذخیره شدند. نتایج تحلیل لایه‌ها با زمین لغزش‌های گذشته و حال منطقه نشان داده است که شش عامل، تحت عنوان فاصله از آبراهه‌ها و گسل‌ها، شیب، کاربری اراضی، انحنای طولی دامنه، انحنای جانبی دامنه و سنگ شناسی رابطه منطقی بهتری برای تهیه، نقشه قابلیت زمین لغزش دارند. در منطقه مورد مطالعه، نتایج روش شواهد وزنی که توسط مدل شبیه‌سازی شده است، با زمین لغزش‌های چند سال اخیر مقایسه شد. بر این اساس، شش عامل به کار گرفته شده در مدل، در تعیین عوامل مؤثر نقش مهمی داشته‌اند، و از طرفی، نتایج این شش عامل با زمین لغزش‌های جدید منطقه انطباق مناسبی دارند. از آنجا که اطلاعاتی به کار گرفته شده در شبیه‌سازی نقشه‌ای و تعیین عوامل در قابلیت زمین لغزش از نوع مکانی هستند، سیستم اطلاعات جغرافیایی و شواهد وزنی ابزار و روش خوبی برای ذخیره‌سازی، به روز رسانی، تحلیل فرآیندها، ترکیب و نمایش آنهاست.

**واژه‌های کلیدی:** زمین لغزش، دره مرک، سیستم اطلاعات جغرافیایی، مدل شواهد وزنی، کرمانشاه.

## ۱- مقدمه

تحول دامنه‌ها و تغییرات چهره ناهمواری‌ها، عموماً توسط فرآیندهای دامنه‌ای و ژئومورفیک در مقیاس کوچک و بزرگ انجام می‌گیرد. نوسان اشکال حاصل از حرکت دامنه‌ها از تراس‌های کوچک گرفته تا خزش خاک و زمین لغزش‌های بزرگ متفاوت است. علاوه بر مقیاس مکانی، به مقیاس زمانی در وقوع ناپایداری نیز توجه می‌شود. به عبارت دیگر، چون رفتار پدیده ناپایداری تحت تأثیر عوامل ماشه‌ای (تحریک کننده) قرار می‌گیرد، بنابراین تکرار رفتار این نوع پدیده‌ها هنگامی میسر است که شرایط ماشه‌ای (بارندگی و زمین لرزه) به عنوان علت کامل کننده وارد عمل شوند

(دورکمپ، ۱۹۹۰: ۲۰۲). منطقه مورد مطالعه بخشی از رودخانه کرخه است. رودخانه کرخه از رودخانه‌های سیمره، کشکان، گاماسیاب و قره سو تشکیل شده است. رودخانه اخیر در استان کرمانشاه، از ترکیب چند رودخانه به نام‌های رازآور، روانسر و مرک پیکربندی شده است. این دره بخشی از مورفولوژی قره سو است. جهت شیب عمومی قره سو به سمت جنوب شرقی است، در حالی که جهت عمومی مرک، به سمت شمال غربی است. به نظر می‌رسد که جهت عمومی دره به سمت یک فروافتادگی ساختمانی باشد و یا در محل فرود محوری یک طاق‌دیس، رودخانه مرک آن را قطع کرده باشد. راه دسترسی به این منطقه از طریق راه کرمانشاه به اسلام آباد و همچنین از مسیر کرمانشاه به سرونو فراهم است. این منطقه در حدود ۱۴۸۹ کیلومتر مربع مساحت دارد. با آگاهی از اینکه زاگرس به واحدهای مورفوتکتونیک با درجه‌های متفاوتی از چین خوردگی، روران‌دگی، فرسایش و رسوب گذاری تقسیم می‌شود، منطقه مورد مطالعه بین زاگرس چین خورده و رورانده واقع شده است. ساختار لیتولوژی عمده دامنه‌های رو به شمال حوضه مرک؛ یعنی کوه نثار، سی ولکس و لعل آباد از سیلتستون، گِل‌سنگ، ماسه سنگ، گنگلومرا و مارن است. بیش از ۴۰۰۰۰ هکتار از مساحت حوضه از سازندهای مذکور تشکیل شده است؛ یعنی بیش از ۹۵ درصد دامنه‌های رو به شمال کوه‌های قلعه قازی، لعل آباد، سی ولکس، کله مل و کوه نثار از این نوع سازندها شکل گرفته‌اند. شایان ذکر است، بخش قابل توجهی از سطح مورد اشاره توسط پوشش جنگلی خاص مناطق زاگرس پوشیده شده است. وجود پهنه‌های لغزشی قدیمی و فعالیت مجدد اینها در دامنه‌های مورد اشاره در کنار توسعه خندق‌ها، از جمله مهمترین ناپایداری‌ها هستند. (موقعیت منطقه در شکل شماره ۱، ارایه شده است). متوسط دمای سالانه آن ۱۲.۵ درجه سانتیگراد و میزان متوسط بارش سالیانه حدود ۵۵۰ میلی متر برآورد شده است.

با توجه به شرایط حاکم (عارضه‌ای، زمین شناسی و اقلیمی) بر منطقه و وجود پهنه‌های لغزشی قدیمی در آن، ناپایداری و زمین لغزش به کرات اتفاق افتاده است. جدیدترین زمین لغزش‌ها در اسفند ۱۳۸۳ پس از وقوع بارندگی قابل توجه در همان ماه

رخ داد. این زمین لغزش‌ها در دامنه‌های رو به شمال حوضه به وقوع پیوست. توان و استعداد دامنه‌های شمالی از این جهت بسیار زیاد هستند. به این دلیل پژوهش حاضر برای تحلیل توان ناپایداری با استفاده از مدل شواهد وزنی به همراه آزمون نتایج انجام می‌شود. سیستم اطلاعات جغرافیایی به عنوان ابزار تحلیل و مدیریت داده‌های مکانی به کار گرفته شد. مطالعات زیادی با کمک سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی برای تحلیل ناپایداری و زمین لغزش در پهنه جهان و ایران صورت گرفته است. با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی، پهنه بندی خطر زمین لغزش را بررسی نموده‌اند. کوو (۲۰۰۴: ۷۳) و زوهو (۲۰۰۲: ۲۰۱) و ون وستن (۲۰۰۳: ۴۰۷) روش‌های آماری و احتمالاتی را برای تحلیل و تهیه نقشه خطر زمین لغزش به کار برده‌اند. در این پژوهش، توان زمین لغزش با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی بر پایه مدل شواهد وزنی ارزیابی می‌گردد. مدل شواهد وزنی پیشتر در رشته‌های علمی دیگر به کار رفته است. برای مثال، به نقل از کارتر (۱۳۷۹: ۲۰۸) لاستد، در ۱۹۶۸ و اسپینال، در ۱۹۸۳ در زمینه پزشکی برای تشخیص طبی از نظر کمی با ترکیب علائم بالینی به منظور پیش بینی و تشخیص بیماری از این مدل استفاده نموده‌اند. در زمین شناسی با کمک GIS، با هدف ترکیب شواهد به شکل نقشه به کار گرفته شد، و از آن در زمینه شناسایی گستره‌های معدنی به شکل موفقیت آمیزی استفاده نمودند (فیک، ۲۰۰۴: ۸۲۵). مدل بی سین به شکل لگاریتم خطی به عنوان وزن‌های نشانگر شناخته شده و در جاهایی که داده‌های کافی برای تخمین اهمیت نسبی از طریق وسایل آماری موجود است به کار می‌رود و در نتیجه متکی بر داده است. ماریا المیدا (۲۰۰۵: ۷۶۶). از آن برای تهیه نقشه‌های شناسایی توان معدنی استفاده نموده است. گوداکر و همکاران (۱۹۹۳: ۲۸۹) برای تحلیل کمی کانون‌های سطحی زلزله به کمک شبکه آبراهه ای و بهره گیری از این رویکرد در غرب کبک (کانادا) تحقیقی انجام داده‌اند. از این مدل در زمینه معدن کاوی نیز استفاده شده است. لان (۲۰۰۴: ۱۱۵)؛ لی (۲۰۰۴: ۷۹۲)، بعلاوه، از این مدل برای تشخیص توان قابلیت زمین لغزش به کمک فناوری سیستم اطلاعات جغرافیایی استفاده می‌شود.

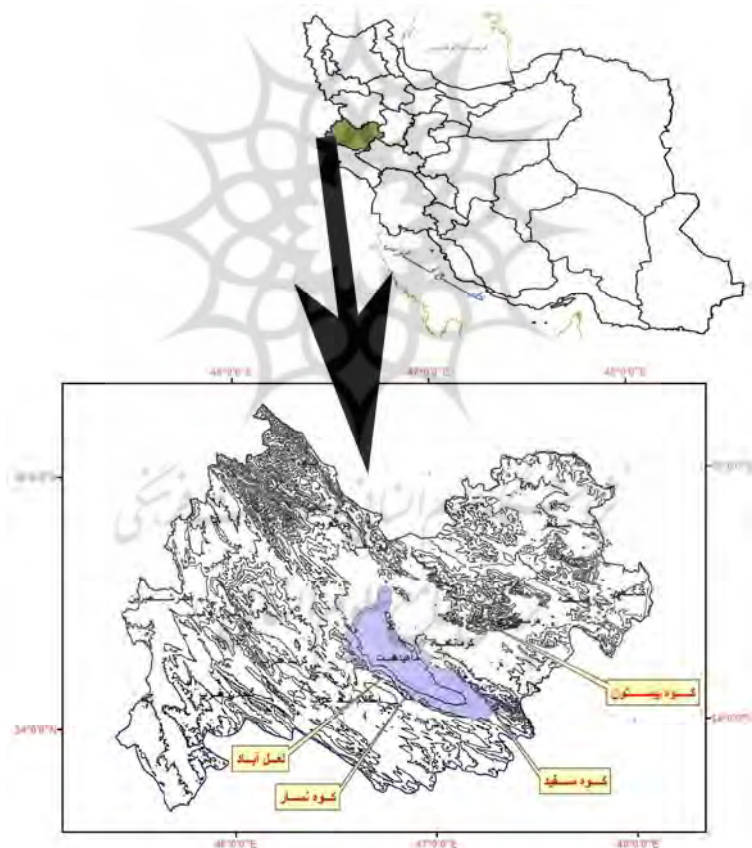
## ۲- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

دره مرک در جنوب شهر کرمانشاه واقع شده است. شیب و جهت عمومی آن به سمت شمال غربی است. روند شیب عمومی آن مخالف شیب حوضه‌ای است که به آن می‌پیوندد. شیب عمومی حوضه قره سو به سمت جنوب غرب است. به نظر می‌رسد که جهت عمومی دره به سمت یک فروافتادگی ساختمانی باشد و یا در محل فرود محوری طاقدیس رودخانه مرک آن را قطع کرده باشد. راه دسترسی به این منطقه از طریق راه کرمانشاه به اسلام آباد، همچنین از مسیر کرمانشاه به سرونو فراهم می‌شود. این منطقه در حدود ۱۴۸۹ کیلومتر مربع مساحت دارد.

### ۲-۱- زمین شناسی منطقه

زاگرس به واحد مورفوتکتونیک با درجه‌های متفاوتی از چین خوردگی، رورانندگی فرسایش و رسوب گذاری تقسیم می‌شود. منطقه مورد مطالعه بین زاگرس چین خورده و رورانده واقع شده است. ساختار لیتولوژی عمده دامنه‌های رو به شمال حوضه مرک؛ یعنی کوه نثار، سی ولکس و لعل آباد شامل سیلتستون، گل‌سنگ، ماسه سنگ، گنگلومرا و مارن است. بیش از ۴۰۰۰۰ هکتار از مساحت حوضه از سازندهای بالا تشکیل شده است؛ یعنی بیش از ۹۵ درصد دامنه‌های رو به شمال کوه‌های قلعه فازی، لعل آباد، سی ولکس، کله مل و کوه نثار از این نوع تشکیلات ترکیب یافته‌اند. شایان ذکر است بخش قابل توجهی از سطح اشاره شده، توسط پوشش جنگلی خاص مناطق زاگرس پوشیده شده است. وجود پهنه‌های لغزشی قدیمی و فعالیت مجدد اینها در دامنه‌های مورد اشاره در کنار توسعه خندق از جمله مهمترین ناپایداری هستند. موقعیت منطقه در شکل شماره ۱ مشاهده می‌شود. متوسط دمای سالانه آن ۱۲.۵ درجه سانتیگراد و میزان متوسط بارش سالیانه حدود ۵۵۰ میلی متر برآورد شده است. این منطقه در زاگرس واقع می‌شود. ساختار لیتولوژی عمده دامنه‌های رو به شمال حوضه مرک؛ یعنی کوه نثار، سی ولکس و لعل

آباد شامل سیلتستون، گل‌سنگ، ماسه سنگ، گنگلومرا و مارن است. بیش از ۴۰۰۰۰ هکتار از مساحت حوضه از سازندهای بالا تشکیل شده است؛ یعنی بیش از ۹۵ درصد دامنه‌های رو به شمال کوه‌های قلعه فازی، لعل آباد، سی ولکس، کله مل و کوه نثار از این نوع تشکیلات ترکیب یافته اند. وجود پهنه‌های لغزشی قدیمی و فعالیت مجدد اینها در دامنه‌های مورد اشاره در کنار توسعه خندق، از جمله مهمترین ناپایداری دامنه‌های اشاره شده است. پهنه‌های گسیخته شده لغزشی در عین حال که یک منبع اصلی تولید رسوب هستند، بستری بسیار مناسب برای توسعه انواع دیگر پدیده‌های فرسایشی مانند آب‌کندها هستند (شریعت جعفری، ۱۳۸۴: ۹۱). موقعیت منطقه در شکل شماره ۱ مشاهده می‌شود.



شکل شماره ۱- موقعیت منطقه مورد تحقیق در ایران و کرمانشاه (مأخذ: نگارندگان)

### ۳- مواد و روش‌ها

برای تحلیل ناپایداری دامنه‌ها، مهمترین گام جمع آوری داده‌ها و ایجاد بانک داده‌های مکانی بود. قابلیت وقوع زمین لغزش یا ناپایداری‌ها در این پژوهش با فراوانی واقعی آنها مقایسه می‌شود (بارادونی، ۲۰۰۲: ۱۸۲ و پایک، ۲۰۰۳: ۱۸۹). مکان زمین لغزش‌ها با استفاده از تفسیر عکس‌های هوایی و داده‌های نقشه‌ای و تصویر ماهواره‌ای و مشاهدات میدانی مشخص گردید. داده‌های توپوگرافی و زمین‌شناسی از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ و ۱:۱۰۰۰۰۰ منطقه به دست آمد. مدل رقومی ارتفاعی<sup>۱</sup> از داده‌های توپوگرافی ایجاد و سایر مدل‌های عوارض زمینی<sup>۲</sup> برای مثال شیب، جهت دامنه‌ای، و انحنا از مدل رقومی ارتفاعی محاسبه گردید. برای انجام تحلیل‌های مکانی در سیستم اطلاعات جغرافیایی داده‌ها در فرمت رستری<sup>۳</sup> باید تهیه شوند (ساتاکانا، ۲۰۰۳: ۲۸۶). لیتولوژی‌ها و خط‌واره‌ها از داده‌های اولیه زمین‌شناسی که به صورت رقومی درآمده‌اند، استخراج گردید. بسیاری از مطالعات، ارتباطات قوی بین توپوگرافی و گسل یافته‌اند، داده‌های ارتفاعی عنصر کلیدی در تشخیص گسل‌ها محسوب می‌شوند (گاناس، ۲۰۰۵: ۳۰۴). بهره‌وری از زمین از تصویر تی ام پلاس لندست به دست آمد. فاصله از خط‌واره‌ها و شبکه آبراهه‌ای با استفاده از روش میانگیری<sup>۴</sup> محاسبه گردید (گریم اف، ۱۳۷۹: ۲۰۸). در گام بعدی با استفاده از روش شواهد وزنی روابط مکانی بین موقعیت زمین لغزش‌ها (ناپایداری) و هر یک از عوامل مربوط مانند توپوگرافی، شیب، جهت دامنه، انحنا، لیتولوژی، بهره‌وری از زمین، فاصله از آبراهه‌ها و فاصله از آبراهه بر حسب شیب نیمرخ طولی در کلاس‌های ۵-۰ و ۱۰-۵ درجه، فاصله از گسل تحلیل گردید. طبقه‌بندی مجدد روی نقشه‌ها اعمال گردید. نتایج این طبقه‌بندی و پردازش داده‌ها در محیط نرم افزاری سیستم اطلاعات جغرافیایی<sup>۵</sup> منجر به تولید داده‌های جدید شد. برای تحلیل زمین

1 -DEM

2 -DTM=Digital Terrain Models

3 -Raster

4 -Buffering

5 -Arc Map

لغزش‌ها که در اینجا با به کارگیری روش شواهد وزنی و سیستم اطلاعات جغرافیایی انجام می‌شود، فرض بر این است که، منطقه دچار زمین لغزش، اکنون نیز محیط مستعد برای لغزش محسوب می‌شوند (لان، ۲۰۰۴: ۱۱۱). احتمالات متقدم و متأخر به این ترتیب برای هر الگو قابل محاسبه است؛ بنابراین وزن فاکتورها و استفاده از شواهد وزنی چندین نقشه برای حصول به یک معادله و ترکیب هر یک از اوزان برای رسیدن به معادله نهایی، و تعیین سهم هر یک از عوامل در ناپایداری و قابلیت زمین لغزش هدف این تحقیق است. فرض استقلال مشروط، به ایجاد مدلی منتهی می‌شود، که مانند بیشتر مدل‌ها به طور کامل بر داده‌ها منطبق نمی‌شود، اما تسهیلی پدید می‌آورد که اگر به دقت استفاده شود برای پیش بینی مفید بوده، بینش عمیقی در مورد سهم نسبی منابع جداگانه شواهد و مدارک ارائه می‌کند (لی، ۲۰۰۴: ۸۱۱).

این مدل برای پیش بینی ناپایداری به کار می‌رود، و ضمن آن عوامل مؤثر یا فاکتور دخالت‌کننده شناسایی می‌شوند. فضای نمونه‌ای (محدوده‌ای است که نقاط زمین لغزشی انتخاب شدند) در این پژوهش دامنه‌های رو به شمال کوه نثار، لعل آباد و باریکه است. نقاط ناپایدار در این فضا پراکنده شده‌اند. از طرفی دیگر، این فضا ترکیبی از عوامل مختلف، برای مثال لیتولوژی، شیب و... است. ناپایداری‌ها با حضور و عدم حضور الگوها به شرح زیر بیان می‌شود. اگر D وقوع لغزش، B1 و B2 الگوهای مستقل از هم باشند، احتمال متقدم یک وقوع با عبارت زیر بیان می‌شود:

رابطه: (۱)

$$P(D) = \frac{N(D)}{N(T)} \quad P(D) = 0.0007$$

اگر D تعداد کل زمین لغزش‌های موجود در یک دامنه، و T مساحت کل باشد، احتمال متقدم آن با رابطه فوق محاسبه می‌شود. اگر فضای کل دامنه‌ها از ۱۶۶۱۴۸ سلول تشکیل شده باشد، و تعداد نقاط ناپایداری در آن ۷۰ مورد باشد، چگالی میانگین ناپایداری‌های معلوم از رابطه بالا محاسبه می‌شود.



با این فرض که در هر سلول واحد، بیش از یک ناپایداری وجود ندارد، این احتمال که در سلولی انتخابی، ناپایداری موجود باشد، بررسی خواهد شد. عکس این، هنگامی است که داده‌های ناپایداری برای منطقه وجود نداشته باشد. در این صورت، از این نسبت به عنوان احتمال متقدم یک ناپایداری می‌توان استفاده نمود. اکنون فرض می‌شود که یک نقشه شاخص دودویی (زوجی) مانند نقشه شیب (شکل شماره ۲) همان ناحیه را بپوشاند و ۵۳ مورد از ناپایداری‌ها در یکی از کلاس‌های شیب قرار گیرد. به وضوح احتمال وجود یک ناپایداری به شرط حضور شیب بسیار بیشتر از احتمال قبلی خواهد بود.

رابطه: (۲)

$$P(D|B) = \frac{P(B \cap D)}{P(B)}$$

با کمک رابطه (۲) احتمال مشروط یک ناپایداری با حضور الگوی دو دویی محاسبه می‌شود. صورت کسر، مساحت کل اشغال شده توسط B و D است. از طریق نمودار ون<sup>۶</sup> نیز می‌توان رابطه را نشان داد (شکل ۲). در مثال قبلی، شاهد وجود ۷۰ ناپایداری در روی الگوی B بودیم. این در حالی است که "B" ۴۷۳۸۳ سلول از فضای نمونه ای را اشغال نموده است؛ به طوری که احتمال ناپایداری به شرط حضور شیب دو برابر احتمال قبلی است. اگر شواهد شیب به عنوان شاخص مهمی به کار گرفته شوند ناحیه کاوش از ۱۶۶۱۴۸ به ۴۷۳۸۳ سلول کاهش خواهد یافت. احتمال مشروط یک ناپایداری بر حسب احتمال متقدم و یک عامل ضرب به شکل زیر تعریف می‌شود:

رابطه: (۳)

$$P(D|B) = \frac{N(D \cap B)}{N(T)}$$

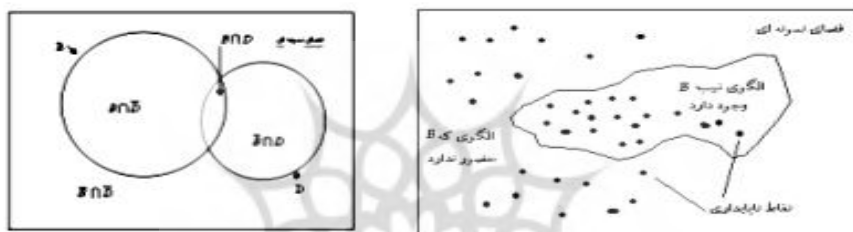
که در آن احتمال وقوع ناپایداری (D) به شرط حضور الگوی (B) (شیب) برابر ۰.۰۰۱۱ است. از آنجایی که  $P(B \cap D)$  با  $P(D \cap B)$  مشابه است، دو معادله قبلی می‌توانند برای حل معادله (۳)، ترکیب شوند و رابطه زیر حاصل شود:

رابطه: (۴)

$$P(D | B) = P(D) \frac{P(B | D)}{P(B)}$$

$$P(D | B) = ۰.۰۰۱۱$$

این رابطه نشان می‌دهد که احتمال مشروط یک ناپایداری با حضور الگوی دوتایی، برابر است با احتمال متقدم ناپایداری ضرب در عامل  $P(B|D)/P(B)$ ، صورت کسر مساوی ۰.۴۶ و مخرج کسر ۰.۲۹ است.



شکل ۲ - در شکل فوق، فضای فرضی از توزیع یک سری نقاط مشاهده می‌شود. اگر نقاط، مدلی از پراکنش یکسری زمین لغزش باشد، و منحنی بسته نیز الگوی شیب را آرایه نماید، ملاحظه می‌شود که بعضی از این نقاط در داخل محدوده شیب واقع می‌شوند. در شکل ب، (نمودار ون) دایره بزرگ الگوی شیب و دایره کوچک تعداد وقوع ناپایداری را نشان می‌دهد. فصل مشترک این دو تعداد نقاطی است که توسط الگوی شیب پیش بینی شده است (مأخذ: نگارندگان)

یعنی احتمال وقوع ناپایداری به احتمال وجود پیش بینی کننده، یک ونیم برابر احتمال متقدم است. به بیان دیگر، صورت کسر از همان فهرست آمار برداری تعداد ناپایداری‌هاست، در حالی که مخرج کسر همان سطح اشغال شده توسط ناپایداری‌ها در الگوی B به مساحت کل دامنه‌ها است. در شکل شماره ۲ نقاطی که در بیرون از الگوی بیش بینی کننده واقع شده اند، در واقع زمین لغزش‌هایی هستند که توسط حضور الگوی شیب پیش بینی نمی‌شوند. احتمال متأخر ناپایداری برای عدم حضور الگوی شیب (و یا الگوی دیگر) به این صورت بیان می‌شود:

رابطه: (۵)

$$P(D | \bar{B}) = P(D) \frac{P(\bar{B} | D)}{P(\bar{B})}$$

( $\bar{B}$ )، عدم حضور الگوی شیب، اگر مساحت کل ۱۶۶۱۴۸ سلول باشد الگوی شیب فقط ۴۷۳۸۲ سلول از منطقه را شامل می‌شود. مقدار احتمال متأخر برای عدم حضور الگوی پیش‌بینی‌کننده با جایگزینی مقادیر صورت و مخرج کسر عبارت است:

$$۱۶۶۱۴۸ - ۴۷۳۸۳ = ۱۱۸۷۶۵$$

یعنی ۱۱۸۷۶۶ سلول از سطح منطقه به تنهایی توسط الگوی شیب قابل پیش‌بینی نیست، به عبارت بهتر الگوهای دیگر نیاز خواهد بود که در مدل دخالت داده شوند. برای مثال، لیتولوژی، جهت شیب، فاصله از گسل‌ها و آبراهه‌ها و... باید برای ایجاد یک مدل زوجی ترکیب شوند. با حضور آنها و شیب، می‌توان بقیه نقاط دارای ناپایداری را شناسایی نمود. نسبت سطح اشغال شده توسط سایر الگوها به سطح کل منطقه برابر ۰.۷۲ است. بنابراین، احتمال متأخر (پیش‌بینی) ناپایداری واقع در هر واحد مساحت در مکان‌های (کلاس شیب) حضور ندارد مساوی ۰.۷۲ است.

رابطه: (۶)

$$P(D | \bar{B}) = ۰.۰۰۰۷ * ۰.۷۲ = ۰.۰۰۰۵$$

احتمال وقوع نقاط زمین لغزش برای مکان‌هایی که الگوی شیب حضور ندارد، به مراتب کمتر از جاهایی است، که شیب حضور داشته است. بنابراین، مدل ارائه شده برای شناسایی ناپایداری با حضور یک شاهد به مقدار زیادی از مطلوبیت خوبی برخوردار است، چون مساحت کاوش را از ۱۶۶۱۴۸ سلول به ۴۷۳۸۲ سلول کاهش می‌دهد. بنابراین، شانس شناسایی ناپایداری در جایی که کلاس شیب مورد نظر وجود ندارد، به مقدار قابل

توجهی کوچکتر از مکان‌هایی است که کلاس شیب مورد نظر وجود دارد. اگر دو نقشه یا دو الگو از نظر آماری مستقل باشند؛ یعنی رابطه: (۷)

$$P(B_1|B_2) = P(B_1) , P(B_2|B_1) = P(B_2)$$

مفهوم رابطه بالا این است که احتمال مشروط حضور  $B_1$  به حضور و عدم حضور  $B_2$  بستگی ندارد و بر عکس. از سوی دیگر، اگر دو الگوی زوجی به طور مشروط با توجه به مجموعه‌ای از نقاط ناپایدار مستقل باشند، این بدین معنی است که تعداد ناپایداری‌های مشاهده شده در دو الگوی زوجی مساوی تعداد ناپایداری‌های مورد انتظار در منطقه مشترک است (شکل ۲)، که باید تعداد ناپایداری‌های  $B_1$  ضرب در تعداد ناپایداری‌های  $B_2$  تقسیم بر کل ناپایداری‌ها شوند. فراوانی‌های مورد انتظار از ضرب فراوانی‌های حاشیه‌ای در یکدیگر و تقسیم آن بر مقدار کل به دست می‌آیند. چون ناپایداری به عنوان نقاط یا سلول هستند، مقادیر به دست آمده از کای اسکور تحت تأثیر واحدهای اندازه‌گیری مساحت قرار نمی‌گیرند و مربع کای محاسبه شده با مقدارهای جدول برای آزمون عدم استقلال می‌تواند مقایسه گردد.

#### ۴- نتایج

##### ۴-۱- محاسبه شواهد وزنی

برای تعیین قابلیت ناپایداری دامنه‌ای از نظر زمین لغزش در منطقه مورد تحقیق، پس از استخراج لایه‌های مختلف با کمک سیستم اطلاعات جغرافیایی، ۱۱ الگوی نشانگر شیب، جهت دامنه‌ای، انحنای طولی دامنه انحنای عرضی دامنه، انحنای پلان، لیتولوژی، فاصله از آبراهه، فاصله از گسل، فاصله از آبراهه‌های با شیب طولی ۵-۰، ۱۰-۵ درصد،

ارزیابی ناپایداری دامنه‌ها بر اساس شواهد وزنی و با استفاده از فناوری GIS، ... ۹۷

بهره‌وری اراضی که احتمال شواهد مناسبی برای پیش‌بینی قابلیت ناپایداری باشند، انتخاب شدند. جداول شماره ۱ و ۲ برای مثال تعدادی از نتایج را نشان می‌دهند.

جدول شماره ۱، طبقات شیب استخراج شده از نقشه شیب، که در تحلیل ناپایداری به عنوان یکی از شواهد به کار گرفته شد. در اینجا طبقه شیبی که وزن بیشتری داشته است، با کمک شاخص تباین و نسبت انحراف معیار به تباین وزن‌ها شناسایی گردید. کلاس شیب ۱۰-۵ درصد در میان سایر طبقات شیب، عامل مؤثر در وقوع ناپایداری دامنه‌های منطقه مورد مطالعه است

ردیف	زاویه شیب به درجه	مساحت (کیلومتر مربع)	تعداد نقاط لغزشی	$W_i$ وزن مثبت	انحراف معیار وزن مثبت، $S-W_i$	وزن منفی $W_i$	انحراف معیار وزن منفی، $S-W_i$	تباین (وزن مثبت، وزن منفی) $C$	تباین $S-C$	انحراف معیار $C/S-C$
۱	۰-۵	۲۱۲/۳۳	۱۷	-۰/۴۵	۰/۳۸۱/۰	۰/۴۳۹۱	۳۸۱/۰	۳۷۱/۱-	۰/۳۷۸۸	-۰/۳۷۵
۲	۵-۱۰	۷۵۳/۷۱	۴۳	۰/۷۱۸۴	۰/۳۷۱/۰	۰/۳۵۵	۸۵۷/۰	۳۸۱/۰	۰/۳۲۲۳	۰/۲۰۴
۳	۱۰-۱۵	۱۲۰/۰	۹	۰/۰۵۰	۰/۳۸۱/۰	۰/۰۰۰	۱۷۸/۰	۰/۰۶۰	۰/۳۵۷۲	۰/۱۶۶
۴	۱۵-۲۰	۵۸۸/۹۱	۱	-۰/۲۰۶	۰/۰۰۰/۱	۰/۳۳۵	۳۰۹/۰	۰/۲۴۰	۰/۳۰۰۷	-۰/۲۳۱
۵	۲۰-۲۵	۸۵۵/۰	۲	۰/۳۸۱/۰	۰/۰۰۰/۰	۰/۰۰۰	۱۲۳/۰	۰/۳۹۰	۰/۳۷۱/۰	۰/۴۵۶

(مأخذ: نگارندگان)

در جدول عامل شیب کلاس شیب ۱۰-۵ احتمال زمین لغزش بیشتری دارد، چون کلاس کمتر از ۵ کنتراست، منفی است، و در کلاس‌های بین ۵ تا ۲۰ نیز اختلاف اوزان مثبت است، ولی مقدار آن در کلاس ۱۰-۵ حداکثر است و این به این معنی است که احتمال زمین لغزش با توجه به ماهیت مواد و میزان مقاومت آنها در مقابل فشارهای تنش زا در این طبقه شیب و مجاور آن زیادتر است.

انحنای مورفولوژی توپوگرافی را نشان می‌دهند، در اینجا به عنوان یک عامل در تحلیل ناپایداری‌ها استفاده شده‌اند. برای سطوح با سلول‌ها که وضعیت محدب<sup>۷</sup> است،

مقادیر انحنای مثبت و سلول‌های دارای سطح مقعر<sup>۱</sup> مقدار انحنای منفی است. مقادیر صفر، نشان دهنده شکل مسطح است. حداکثر کنتراست (تباین) در انحنای منفی مشاهده گردید. در عامل لیتولوژی کنتراست برای واحد سنگی شماره ۶؛ یعنی سنگ‌های از نوع سیلتستون، گل‌سنگ، ماسه سنگ و کنگلومرا بسیار بالاست (جدول شماره ۲).

جدول شماره ۲، نتایجی که در جدول ملاحظه می‌شود، از لایه سنگ شناسی منطقه مورد مطالعه و پس از انجام تحلیل‌های مکانی استخراج شد. در ستون دوم جدول، نوع لیتولوژی مشخص شده است. لیتولوژی شماره ۶، مؤثرترین واحد سنگ شناسی است، چرا که شاخص تباین و نسبت تباین به انحراف معیار در آن بیشتر است (ستون ۱۰ و ۱۱).

ردیف	نوع لیتولوژی	مساحت (کیلومتر مربع)	تعداد نقاط لغزشی	مثبت وزن W+	انحراف معیار وزن W+	منفی وزن منفی W-	انحراف معیار وزن W-	تباین (وزن مثبت، C وزن منفی)	انحراف معیار تباین S-C	C/S-C
۱	۳	۱۰۵/۹	۵	-۱/۲۷۶۳	۰/۴۴۷	۰/۲۲	۰/۱۲	-۱/۴۹	۰/۴۶۴	-۳/۲۲۷
۲	۴	۲/۷۳۲۵	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۳	۵	۱۷۳/۳۱	۲۶	-۰/۱۱۹۴	۰/۱۹۶	۰/۰۸	۰/۱۵	-۰/۱۹	۰/۲۴۷	-۰/۷۹۸
۴	۶	۵۵/۷۳	۱۴	۰/۳۹۶۴	۰/۲۶۷	-۰/۰۷	۰/۱۳	۰/۴۷	۰/۲۹۸	۱/۵۸۹۲
۵	۱۱	۴۳/۹۸	۱۹	۰/۹۴	۰/۲۲۹	-۰/۲۰	۰/۱۴	۱/۱۴	۰/۲۶۹	۲/۲۶
۶	۱۲	۱۲/۷۳	۶	۱/۰۲۶	۰/۴۰۸	-۰/۰۵	۰/۱۲	۱/۰۸	۰/۴۲۷	۲/۵۴

نقش گسل‌ها در ناپایداری دامنه‌ای به شکل بررسی فاصله به متر از عوارض دچار زمین لغزش بررسی شد. نتایج حاصل از لایه بافر بندی شده و وزن‌دهی موقعیت زمین لغزش در جدول شماره ۳ ارائه شده است. گروه فاصله ای ۴۵۰۰-۳۶۰۰ متری، تباین وزنی نسبتاً بیشتری دارد و ضریب تباین به انحراف معیار نیز در آن بسیار بالاست. بنابراین، گروه یاد شده تأثیری به مراتب قویتری در ناپایداری‌های منطقه دارد. در این فاصله، رابطه آشکاری بین مکان‌های دچار زمین لغزش و نقشه فاصله از گسل‌ها وجود دارد.

ارزیابی ناپایداری دامنه‌ها بر اساس شواهد وزنی و با استفاده از فناوری GIS، ... ۹۹

جدول شماره ۳، فاصله از گسل‌ها و موقعیت نقاط دچار ناپایداری در این جدول ارایه شده است. جدول از چهار ردیف و یازده ستون تشکیل شده، در ردیف‌ها، گروه‌های فاصله گذاری شده بر حسب متر ملاحظه می‌شود. تباین و ضریب تباین به انحراف معیار فقط در ردیف سوم به طور آشکاری زیاده‌تر است. به عبارت بهتر، در این گروه فاصله‌ای، بیشتر نقاط زمین لغزشی توزیع شده‌اند.

ردیف	فاصله - متر	مساحت (کیلومتر مربع)	تعداد نقاط لغزشی	وزن مثبت $W_1$	مبیت $S-W_1$ انحراف معیار وزن	وزن منفی $W_2$	مبیت $S-W_2$ انحراف معیار وزن	تباین (وزن مثبت، وزن منفی) $C$	تباین $S-C$ انحراف معیار	$C/S-C$
۱	۱۸۰۰-۲۷۰۰	۲۱/۰۶۲	۳	-۰/۱۸	۰/۵۸	۰/۰۱	۰/۱۲	-۰/۱۹	۰/۵۹۰	-۰/۳۲
۲	۲۷۰۰-۳۶۰۰	۳۲۲/۸۲	۴۹	-۰/۱۲	۰/۱۴	۰/۳۴	۰/۲۲	-۰/۴۶	۰/۲۶	-۱/۷۶
۳	۳۶۰۰-۴۵۰۰	۶۱/۲۵	۱۷	۰/۴۹	۰/۲۴	-۰/۱۲	۰/۱۴	۰/۶	۰/۲۷۹	۲/۱۶
۴	۴۵۰۰-۵۴۰۰	۳/۵۳۸	۱	۰/۵	۱/۰۰	-۰/۰۱	۰/۱۲	۰/۵۱	۱/۰۰۸	۰/۵۱

آبراهه‌ها به عنوان عوارض خطی در این تحقیق مورد توجه قرار گرفتند. فاصله نقاط دچار ناپایداری از این عوارض ارزیابی گردید. نمودارهای تباین فاصله از آبراهه‌ها هر چند که نسبت به عوامل دیگر به مراتب مقدار کمتری را نشان داده است، با در نظر گرفتن زاویه شیب، فاصله از آبراهه‌ها بر حسب شیب دوباره کلاس بندی گردید و نه تنها تعداد کلاس‌ها کاهش یافت، بلکه تباین اندکی، واضح تر شد. در ضمن، برخی از کلاس پس از کلاس بندی مجدد در کلاس‌های پایین تر ادغام شدند. مساحت و تعداد ناپایداری‌ها واقع در فاصله ۱۰۰ متری از آبراهه با شیب  $5^{\circ}$ - $0^{\circ}$  درجه به ترتیب  $267/6$  سلول و ۵۲ مورد ناپایداری است. این در حالی است که مساحت و تعداد ناپایداری‌ها در فاصله ۱۰۰ متری از آبراهه‌ها (بدون لحاظ شیب)  $154/8$  و ۲۸ بوده است.

اوزان مربوط به توزیع نقاط ناپایداری در کلاس‌های ارتفاعی کنتراست زیادی را نشان می‌دهند. در این الگوی کلاس ۱۷۰۰-۱۶۰۰ متری بیشترین کنتراست و در بالا و پایین آن، کنتراست کمتر می‌شود.  $13.94$  درصد مساحت‌ها و  $34.7$  درصد وقوع‌ها در این طبقه قرار دارد.

## ۲-۴-آزمون استقلال مشروط

با ترکیب دو یا چند نقشه به کمک مدل بی سین الگوهای حاصل می شود. در این الگوها ایده تقدم و تأخر احتمالات، یکی از مفاهیم مهم مدل به شمار می رود. بر اساس الگوهای ترکیبی زوجی فراوانی‌های مشاهده ای و مورد انتظار و عدم وابستگی در عمل قدری نوسان دارد. به شرط آنکه دو الگو به طور مشروط مستقل باشند؛ یعنی مقادیر کای اسکور محاسباتی و جدول با یک درجه آزادی مقایسه شوند. اگر مقادیر محاسباتی کمتر از رقم جدول باشند، استقلال مشروط دو الگو پذیرفته می شود (ماریا، ۲۰۰۵: ۷۶۳).

رابطه: (۸)

$$X^2 = \frac{(X_o - X_E)^2}{X_E}$$

این آزمون قبل از ترکیب الگوهای پیش بینی کننده، برای ایجاد مدل نقشه‌ای قابلیت زمین لغزش اجرا شده است. همه الگوهای پیش بینی کننده زوجی مورد آزمون واقع شدند و نتایج آن در جدول شماره ۴ درج گردید. اگر مقدار کای اسکور جدول توافقی بیشتر از ۶.۶۳ باشد، الگوی پیش بینی کننده زوجی وابسته است. برای مثال، بین دو فاکتور شیب و جهت دامنه که در جدول توافقی به عنوان دو الگوی زوجی معرفی شده‌اند (۵-۱۰°، جهت شمال غربی) استقلال مشروط برقرار است. به شرط آنکه هر دو الگو حاضر باشند، دلیلی برای رد کردن فرضیه استقلال مشروط وجود ندارد، مگر آنکه مقدار کای اسکور، بزرگتر از عدد جدول باشد. در نتیجه، می توان از این عوامل (شیب و جهت دامنه) برای ترکیب در مدل نقشه ای قابلیت پیش بینی ناپایداری (احتمال متأخر) استفاده نمود.



ارزیابی ناپایداری دامنه‌ها بر اساس شواهد وزنی و با استفاده از فناوری GIS ... ۱۰۱

جدول ۴- مقادیر کای اسکور آزمون استقلال مشروط بین الگوهای زوجی در سطح اطمینان ۹۹ درصد، سلول‌های خاکستری نشان دهنده عدم استقلال دو الگو است.

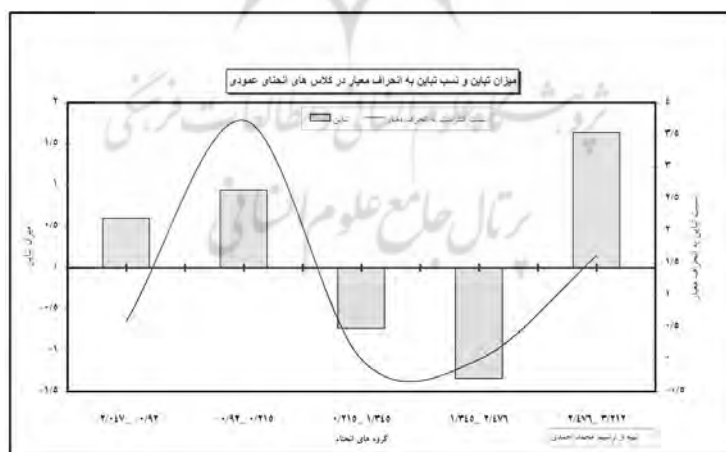
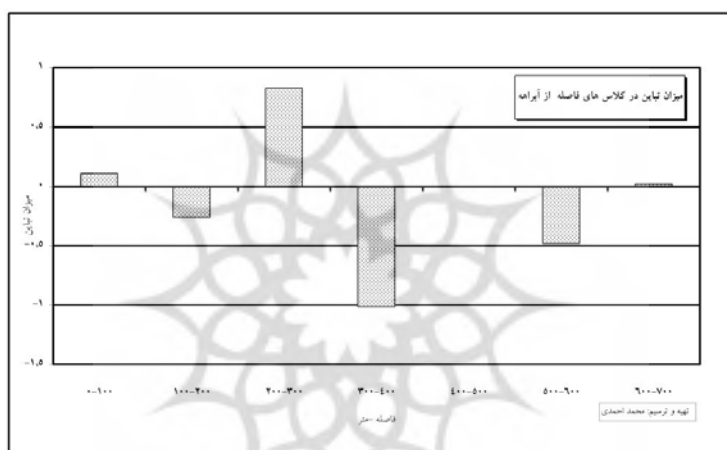
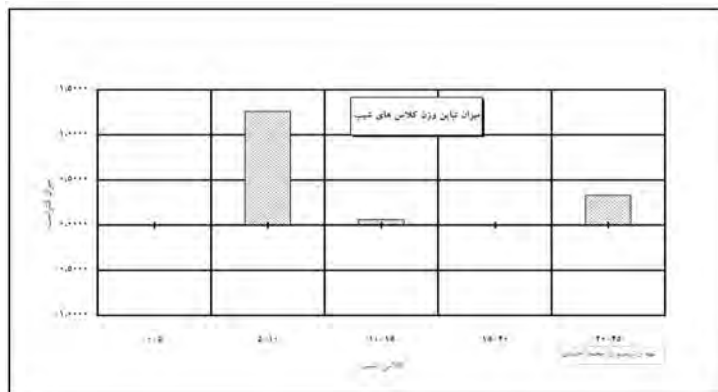
نوع عامل	فاصله از آبراهه‌های ۰-۵	فاصله از آبراهه	درجه شیب	انحنای عمودی	انحنای پلان	لیتولوژی	هیپسومتری	فاصله از گسل	انحنای افقی	جهت دامنه
کاربری	۰.۰۳	۱۲.۴۱	۱.۴۶	۵	۰.۷۹	۳۵/۴۶	۷۶/۷	۱.۱۱	۱.۰۵	۹.۷۳
فاصله از آبراهه با شیب ۰-۵ درجه	-	۷۸.۲	۱.۵	۱.۴۴	۱.۳۶	۲.۵۶	۱۰.۵	۰.۷۸	۲.۲	۱۴
فاصله از آبراهه	-	-	۲.۲	۲.۰۸	۰.۸۵	۱۴.۸	۵.۹	۶.۵	۳.۲	۲۳.۲
درجه شیب	-	-	-	۲۲.۹	۱۲.۶	۲۳.۲	۲۷.۵	۲	۲۰.۳	۲۶.۴
انحنای عمودی	-	-	-	-	۲۷.۵	۱.۳۴	۱۶.۹	۳۰.۹	۱۴.۹	۶.۷۵
انحنای پلان	-	-	-	-	-	۲.۳	۰.۶۵	۲.۷	۲.۶۸	۱.۲۵
لیتولوژی	-	-	-	-	-	-	۲۶.۳	۳۵.۸	۱.۸۲	۲۸.۸
هیپسومتری	-	-	-	-	-	-	-	۸.۲	۲.۶	۸.۵
فاصله از گسل	-	-	-	-	-	-	-	-	۰.۷۳	۱.۶
انحنای افقی	-	-	-	-	-	-	-	-	-	۴.۲

### ۳-۴- ترکیب داده‌ها و تهیه نقشه قابلیت زمین لغزش

شواهد چندین نقشه که به طور مستقل از هم محاسبه شدند، در یک معادله ترکیب و به احتمالات متأخر پیش بینی شده منتهی شده است. با استفاده از وزن‌ها روابط مکانی و کنتراست بین موقعیت وقوع زمین لغزش، فاکتور مربوط به زمین لغزش استخراج گردید. از کنتراست تجربی که نسبت کنتراست به انحراف معیار است<sup>۱۱</sup>، برای انتخاب فاصله بهینه<sup>۱۱</sup> استفاده می‌شود.

10 -C/S(C)

11 -Cut off



شکل ۳، کنتراست یا اختلاف وزنهای مثبت و منفی کلاس فرعی عوامل ورودی به مدل بخوبی نسبت عدم قطعیت ناشی وزن‌ها را نشان می دهد.

ارزیابی ناپایداری دامنه‌ها بر اساس شواهد وزنی و با استفاده از فناوری GIS، ... ۱۰۳

چون که کنتراست به مقدار نسبت تباین به انحراف معیار؛ یعنی ۷۸۲۶، نقطه بهینه الگوی دوتایی محسوب می‌شود؛ بنابراین، کلاس شیب  $10^{\circ}$ -۵، الگوی مورد نظر است، و سایر کلاس‌های بالاتر و پایین‌تر از آن مورد نظر نیستند. وزن مثبت این الگو ۰.۵۷۲۹ و وزن منفی آن ۰.۳۷۰۰۹- بوده، سایر کلاس‌ها توسط این مقادیر تعدیل شدند. اگر مقادیر شاخص وزن قابلیت زمین لغزش و کنتراست زیاد باشند، به این معنی است که قابلیت زمین لغزش بالاست. از میان ۴۳ الگوی دوتایی پس از آزمون استقلال مشروط ۱۰ الگوی مستقل شناخته شدند. تباین محاسبه شده، مقادیر وزن‌های مثبت و منفی به عنوان نرخ هر فاکتور تعیین گردیدند و از این عوامل به روش همپوشانی برای محاسبه شاخص قابلیت لغزش استفاده گردید.

## ۵- نتیجه گیری

ناپایداری یک پدیده است، گاهی این پدیده مشاهده پذیر و گاهی غیر قابل مشاهده است و تنها آثار و شواهد آن را می‌توان جستجو نمود. برای تحلیل این پدیده به داده و اطلاعات مناسب نیاز است. بسیاری از این اطلاعات از مدل DEM و نقشه‌های زمین شناسی، تصاویر ماهواره‌ای و عکس‌های هوایی قابل دسترسی است. در عصر حاضر در منطقه کرمانشاه حفر آبراهه‌ای، مهمترین عامل ژئومورفیک محسوب می‌شود. لایه‌های افقی ریزدانه، در بستر یک آبراهه فرعی، عمل حفر آبراهه ای روی آنها، در حال انجام است. یکی از فعالترین مناطق زمین لغزشی در منطقه ماهیدشت دامنه‌های مشرف به روستای لعل آباد است. در این مکان، زمین لغزش‌های جدیدتر و قدیمی، در اطراف آبراهه توزیع شده اند. فاصله، از آبراهه بر حسب شیب بستر، معیار دیگر برای ارزیابی توزیع ناپایداری‌هاست، که ارزیابی شد. فعالیت عواملِ کاوشی و تراکمی در بستر

آبراهه‌ای تابع شیب است. با تقسیم بندی آبراهه‌ها بر حسب شیب، مؤثرترین کلاس فاصله، در آبراهه‌ها از ۲۰۰ به ۱۰۰ متر کاهش یافت. با اعمال این فاکتور در عمل، درجه همبستگی مکانی زمین لغزش، با فاصله از آبراهه‌ها، با شیب ۵-۱۰ درجه در کلاس ۰-۱۰۰ متر افزایش یافت.

گسل‌ها و عوارض ناشی از آن، نه تنها سبب گسیخته شدن مواد و تضعیف پیوندهای لیتولوژیکی شده‌اند، بلکه، فعالیت دوباره اینها روی وقوع مجدد ناپایداری‌ها مؤثر شناخته شده است. بروز عوارض ناشی از گسل، و حتی نواحی با ضعف لیتولوژیک در فاصله خاصی گسترش دارند. از این نظر، توزیع مکانی و همبستگی فضایی بین نقاط ناپایداری و فاصله از گسل‌ها در کلاس ۴۵۰۰-۳۶۰۰ متر معنی دار شناخته شده است. به نظر می‌رسد، با توجه به فعالیت لرزه‌ای و میزان بزرگی آن گسل‌های منطقه لعل آباد، از فعالیت بیشتری برخوردارند.

با استفاده از مدل شواهد وزنی، عوامل مختلفی برای پیش بینی ناپایداری دامنه ای در دامنه‌های شمالی حوضه مرک در کرمانشاه ترکیب گردیدند. مدل از توزیع مکانی وقوع زمین لغزش‌های شناخته شده، به منظور فراهم کردن نقشه و الگوهای پیش بینی کننده زمین لغزش‌ها در آینده استفاده شده است (شکل ۳). انحناى دامنه‌ای موضوع بسیاری جالبی است، زیرا از یک طرف معلول زمین لغزش‌های گذشته بوده، و از طرف دیگر، خودش در وقوع ناپایداری‌های جدید، بی تأثیر نیست. انحناى مقعر شیب به منزله نواحی است که تجمع مواد زیاد بوده، جابه‌جایی سازندهای سطحی، در آن قابل ملاحظه است. این تقعر می‌تواند عمود بر منحنی‌های تراز باشد، یا موازی با منحنی‌های تراز و یا به حالت صفحه‌ای افقی، عمود بر جریان‌های سطحی در نظر گرفته شود. از منظر عامل انحناى عمودی، دومین کلاس به دلیل این که نسبت تباین به انحراف معیار در آن کم و

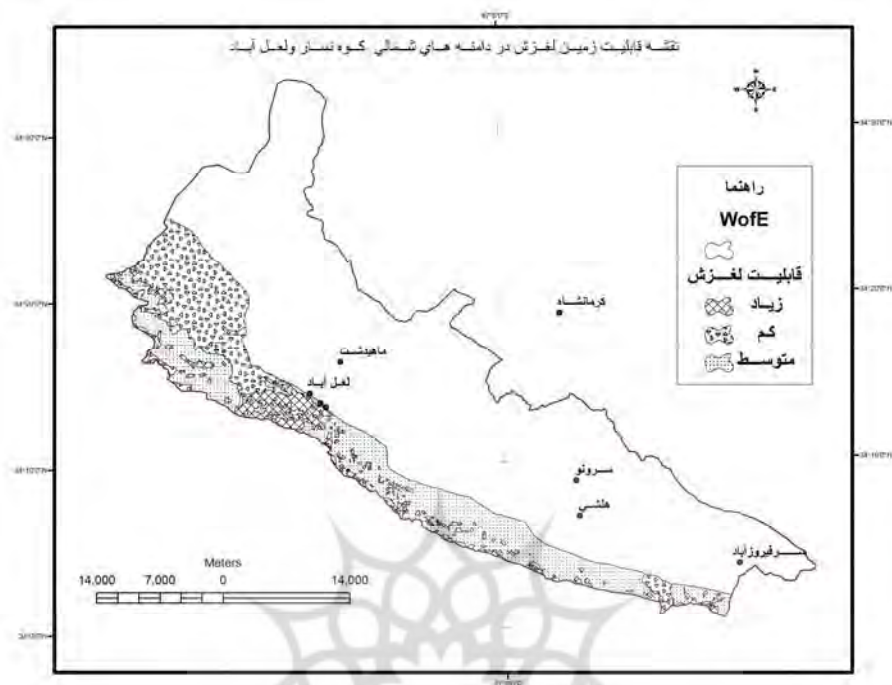
در گروه دوم زیاد است، بنابراین گروه دوم از اهمیت نسبی بیشتر و مؤثرتری برخوردار است. از آنجا که وقوع زمین لغزش‌ها، معمولاً با یک انحنای عمودی، از بالا به پایین همراه است. مؤثرترین کلاس در این عامل (انحنای عمودی)، طبقه دوم بوده است. مدل نه تنها قابلیت ناپایداری در منطقه را مشخص نموده، بلکه عوامل مؤثر را نیز تفکیک کرده است. برای تأیید و کنترل نتایج چند روش اعمال گردید. از این نظر، یکی از مناطقی که استعداد ناپایداری زیادی دارد، و توسط مدل نیز پیش بینی شد، انتخاب گردید؛ یعنی دامنه‌های مشرف به روستای لعل آباد انتخاب شدند. این منطقه، دارای شواهدی از فعالیت زمین لغزش در گذشته است، و در سال‌های اخیر مجدداً فعالیت خود را آغاز نموده است؛ به طوری که توأمآ شواهد پهنه لغزشی گذشته و هم آثار زمین لغزش‌های جدید، در آنجا یافت می‌شود. شدت فعالیت این پهنه لغزشی در لعل آباد بیشتر از سایر قسمت‌های دامنه‌های رو به شمال کوه نثار قابل مشاهده است. این مشخصه به تبع روی مورفولوژی دامنه‌ای، متأثر از ناپایداری اعمال شده است. پارامترهای مورفومتریکی مناطق لغزشی و غیر لغزشی گویای تفاوت مورفولوژی بین آنهاست. نتایج به دست آمده، معلوم نمود که نه تنها پارامترهای به کار گرفته شده در مدل برای پیش بینی قابلیت ناپایداری از توانایی خوبی برخوردارست، بلکه خود این عوامل در تشخیص منطقه لغزشی از غیر لغزشی بسیار مفیدند. یکی از اهداف این پژوهش تحلیل فاکتورهای مورفومتری و نقش آنها در شناخت ناپایداری دامنه‌هاست. به عبارت دیگر، درجه تعدیل فاکتورهای شیب و انحنای در مناطق لغزشی ارزیابی گردید. شکل الگویی منحنی‌های تراز، در روی نقشه‌های توپوگرافی یا خصوصیات پیکسل‌های مدل رقومی ارتفاعی، وابستگی ویژه‌ای به فرآیندهای ژئومورفیک داشته است. آنچه از بررسی فواصل بین منحنی‌های تراز و پارامترهای دیگر، نظیر شیب، و انحنای شیب‌ها به دست آمد، این است که، پارامترهای

بالا در مناطق زمین لغزشی و غیر زمین لغزشی تفاوت معناداری دارند؛ به طوری که از طریق آزمون کای اسکور، فرض صفر، یعنی عدم استقلال شکل منحنی‌های تراز از زمین لغزش رد شد. از طرف دیگر، برای جداسازی فرآیندهای زمین لغزشی از سایر فرآیندهای دامنه‌ای، به کمک تحلیل پارامترهای انحنایی، داده‌های لازم، برای اثبات تأثیر ناپایداری در شکل و حالت منحنی‌های تراز به دست آمد.

نقشه‌های قابلیت زمین لغزش برای برنامه ریزان و مهندسان برای انتخاب موقعیت‌های مناسب توسعه خیلی مفید است. به هر حال روش استفاده شده در این پژوهش برای شناخت اهداف برنامه ریزی معتبر است. برای کاربردی تر شدن روش در سطح یک چشم انداز به موقعیت‌های ناپایدار بیشتری نیاز است. در نهایت از آنجا که داده‌های استفاده شده در این روش برای غالب مناطق کشور قابل دسترس است بنابراین سرعت و هزینه نسبتاً کم به همراه به کارگیری سیستم اطلاعات جغرافیایی از امتیازهای آن محسوب می‌شود.

در ضمن، به کارگیری این روش در پژوهش‌های ژئومورفولوژی با داشتن لایه‌های اطلاعاتی مختلف در توسعه این روش و گسترش دامنه دانش ژئومورفولوژی - در تعامل با سایر علوم - بسیار مفید خواهد بود.

ارزیابی ناپایداری دامنه‌ها بر اساس شواهد وزنی و با استفاده از فناوری GIS، ... ۱۰۷



شکل ۴، قابلیت زمین لغزش در دامنه‌های شمالی حوضه مرک، کرمانشاه با استفاده از روش شواهد وزنی و حضور نقشه‌های زوجی عوامل مختلف. همان طور که در متن نیز اشاره شد، نقشه قابلیت زمین لغزش عوارض زمینی را از لحاظ توان ناپایدار شدن طبقه بندی می نماید. در این روش، نه تنها احتمالات، بلکه عوامل تحریک کننده نیز نادیده گرفته می شوند.

#### منابع:

۱. شریعت جعفری، محسن. (۱۳۷۵). زمین لغزش (اصول و مبانی پایدار سازی شیب‌های طبیعی)، ناشر: سازه. ۲۱۸ص.
۲. شریعت جعفری، محسن، محمد جعفر غیومیان. (۱۳۸۴). «بررسی ارتباط و همبستگی بین رسوب دهی با گسیختگی شیب‌ها و رانش زمین. علوم زمین»، ش ۵۵
۳. طاهر کیا، حسن. (۱۳۷۸). سیستم اطلاعات جغرافیایی. تهران: انتشارات سمت، ۳۶۷ص.
۴. قهرودی تالی، منیژه. (۱۳۸۴). سیستم اطلاعات جغرافیایی در محیط سه بعدی، تهران: جهاد دانشگاهی واحد تربیت معلم، ۲۷۳ص.
۵. گریم اف، بونهام کارتر. (۱۳۷۹). مدل سازی با کمک GIS برای دانش پژوهان علوم زمین، تهران: ناشر سازمان زمین شناسی کشور، ۵۶۲ص.

6- Ayla-Carcedo, F. J. (2003). Large Scale Rockfall Reach Susceptibility Maps in La Cabrera Sierra (Madrid) Performed with GIS and Dynamic Analysis at 1:5000. *Natura Hazars*, 30,325-340.

- 7-Brardinoni F., Olav Slatmaker,. (2002). Landslide inventory in a rugged forested watershed: a comparison between air-photo and field survey data. *Geomorphology*(54)179-196
- 8- Coe, J. A. and Godt, R. L. (2004) *Landslide: Evaluation and Stabilization* Vol. 1,2004 Taylor and Rancis Group, London- p. 289
- 9-Daneshfar, B., Benn, K.(2003). Spatial Relationships Between Natural Seismicity and Faults, southeastern Ontario and north-Central Newyork State, *Tectonophysics*353-31-44.
- 10-Felicisimon, A., M., E. Frances, J.M. fernandez.. A. Gozalez(2002). Modling the Potential Distribution of forest with a GIS, *photogramatic Engineering and Remote sensing* Vol.68, No.5,may, pp.455-461.
- 11-Feick, R.d.,G. Brant hall.(2002). A method for examing the spatial dimension of multi – criteria weight Sensitivity, *Geographical Information Science*,Vol. 18, No. 8,815-840.
- 12-Freund J. E., Gary A. S. (1991). *Statistics*. Prentice Hall International, INC.
- 13-Lan,H.X., C.H.Zhau,L.J.Wang.(2004). Landslide hazard spatial analysis and prediction using GIS in the Xiaojiang Watershed, Yunnan, china, *Engineering Geoglog*, 76,109-128.
- 14-Ganas Athanassxos.(2005). DEM-based morphometry of range front escarpments and relation ti fault slip rates. *Geomorphology*,305-319.
- 15- Goodacre, A. K. Bonhamcarter, G. F. (1993). Statistical and Analysis of the Spatial Association of Seismicity with drainage and magnetic Anomalies in wester Quebec, *Tectonophysics* 217, 285-305.
- 16-Lee,s., choi,J.(2004) Landslide Susceptibility Mapping using GIS and Weight of evidence model, *Geographical Information science* Vol.18, No.8, 789-814.
- 17-Maria, C.(2004). GIS and Remote Scensing as Tools for the Simulation urban landuse change *International Journal of Remote Sensing* Vol. 26, No. 4, 759-774.
- 18-Phi,N., Q., Bui, Hoong.(2004). Landslide Hazard Mapping Using Bayesian Approach in GIS Case Study in Yangsan Area, korea, *International Symposium on Geoinformation tics for spatial Infrastructure Development in Earth and Allied Sciences*.
- 19-Pike, R. J., Russell W. Graymer.(2003). Terrapub, Tokyo. A simple GIS model for mapping landslide susceptibility. *Concepts and modelling in Geomorphology : International Perspectives*. Pp.185-197
- 20-Raghavan, Vankatesh,Shinji, Masumoto. (2004). landslide Hazard Zonation using the Grass GIS : A case study in the Ojiya District, Japan *International Symposium on Geoinformations for Spatial Infrastructure Development in earth and Allied Sciences*
- 21-Santacana Nuria, et al . (2003). A GIS –Based Multivariate Statistical Analysis for Shallow Landslide Susceptibility Mapping in Lapola Delillet Area, *Natural Hazards* 30:281..
- 22- Van Westen C. J. et. al. (2003).Use of Geomorphologic information in Indirect Landslide Susceptibility assessment. *Natural Hazards*, 399-419
- 23-Wange., H. Guorary,Cai.(2004). Data Integration Using Weight of Evidence Model: Applications in Mapping Mineral Resource Potentials, *Symposium on Geospatial Theory*.
- 24- ZhoC.H., Lee C.F.(2002). On the Spatial relationship between landslides and causative factors on Lantau Island, Hong Kong. *Geomorphology*,197-207