

## بررسی عوامل مؤثر در وقوع زمین لغزش در جنوب غرب خلخال با استفاده از جداول توافقی و آزمون های آماری مربع کای

رضا طلائی\*<sup>۱</sup>، محسن شریعت جعفری<sup>۲</sup>

پذیرش مقاله: ۸۶/۸/۶

دریافت مقاله: ۸۵/۶/۴

### چکیده:

این پژوهش به منظور شناخت و بررسی عوامل مؤثر در وقوع زمین لغزش های منطقه خلخال و بومی سازی مدل های آماری انجام شده است. موارد استفاده نتایج آن در برنامه ریزی های توسعه مسکونی، عمرانی، کشاورزی، منابع طبیعی، زیست محیطی و اقتصادی خواهد بود. با شناسایی و ثبت زمین لغزش های منطقه با استفاده از عکس های هوایی موجود و پیمایش صحرایی و با تولید نقشه های پایه زمین شناسی، شیب، کاربری اراضی، بارش، پراکنش رودخانه ها، جاده ها، ابنیه ها و چاه های فاضلاب، در مقیاس ۱:۵۰۰۰۰، مطالعات آماری داده های تهیه شده با استفاده از نرم افزارهای کامپیوتری به روش جداول توافقی و آزمون مربع کای انجام شد. همچنین مقادیر ضرایب و توافق برای تک تک عوامل مؤثر محاسبه و با یکدیگر مقایسه شدند. نتایج نشان داد که تفاوت های معنی دار بین نوع رده های مختلف عوامل و وقوع حوادث حرکات دامنه ای وجود دارد و میزان این اختلافات براساس نوع عامل متفاوت است. براساس ضرایب توافق، ترتیب تأثیر عوامل مختلف در وقوع لغزش های منطقه مشخص شده و با مقایسه مقادیر باقیمانده ها، مؤثرترین رده از هر عامل نیز تعیین گردید. نتایج نشان داد که عامل لیتولوژی در صدر عوامل مؤثر در وقوع لغزش های منطقه است. در نهایت با توجه به نوع عوامل مؤثر در وقوع لغزش های منطقه راهکارهای اولیه ای برای کاهش خسارات مستقیم و غیر مستقیم آنها پیشنهاد شد.

کلید واژه ها: زمین لغزش، جداول توافقی، آزمون آماری مربع کای

۱- مربی پژوهشی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اردبیل rztala@yahoo.com

۲- مربی پژوهشی پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری کشور mshariatj@hotmail.com

\*مسئول مکاتبات

## مقدمه

زمین لغزش‌ها یکی از مهمترین خطرات طبیعی هستند که سالانه خسارات زیادی بر منابع طبیعی و جوامع انسانی می‌نمایند (Walker et al., 1996)، (Guariguata, 1990)، (Wang et al., 2006)، (Zhou et al., 2003)، (Iida, 1999) و (Yesilnacar & Topal, 1999) و (Aleotti & Ghowdhury, 2005). هر ساله رویدادهای زمین‌لغزش در مناطق کوهستانی و مرتفع کشور ما نیز زیان‌های قابل توجهی را به بار می‌آورد. آمار رسمی و دقیقی از میزان خسارت وارده از وقوع این پدیده در دست نیست. هرچند میزان خسارت سالانه حاصل از زمین لغزش‌ها در این منطقه برآورد نگردیده است ولی شکی نیست که لغزش‌ها با تخریب و تهدید منازل مسکونی، جاده‌ها، از بین بردن زمین‌های زراعی، باغی و جنگلی و تخریب خاک و تولید رسوب، سالیانه خسارت مستقیم و غیرمستقیم زیادی را وارد می‌سازند (مهدوی فر، ۱۳۷۶)، (طلائی و همکاران ۱۳۸۳). پژوهش در مورد روش‌های تثبیت و کنترل زمین لغزش‌ها به منظور کاهش خسارات آنها، نیازمند درک درست و کامل از عوامل مؤثر و مکانیسم تأثیر آنها در وقوع این پدیده است (Knapen et al., 2006). مطالعات متعددی در این خصوص انجام شده که می‌توان به مطالعات (انصاری و بلورچی، ۱۳۷۴)، تحت عنوان ویژگی‌های کلی لغزش‌های منطقه خلخال و نیک‌اندیش و میرصانعی (۱۳۷۴) اشاره کرد. هاشمی طباطبائی (۱۳۷۷)، عوامل مؤثر در لغزش‌های منطقه رامطالعه کرده و نقشه پهنه‌بندی خطر را با استفاده از مدل مورا و وارسون تهیه نموده است. مهدویفر (۱۳۷۶) و (Uromeihy & MahdaviFar, 2000) عوامل مؤثر در وقوع لغزش‌های منطقه خورش رستم را مورد بررسی قرار داده و با استفاده از روش فازی و مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ اقدام به تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش نموده‌اند. در ارزیابی چگونگی تأثیر عوامل مؤثر در وقوع لغزش‌ها و پیش‌بینی

وقوع این رخداد، در دو دهه گذشته، استفاده از مدل‌های ریاضی و آماری بیشتر مورد توجه محققین بوده است. روش‌های آماری چند متغیره توسط (Jibson & Keefer, 1988)، (Pike, 1988)، (Carrara, 1989)، (Carrara et al., 1991)، (Anbalagan, 1992)، (Maharaj, 1993) و (فاطمی عقدا و همکاران، ۱۳۸۲) به کار گرفته شده و از نتایج به دست آمده نقشه‌های پهنه‌بندی خطر تولید گردیده است. این آزمون در پهنه‌بندی خطر لغزش به کمک GIS را بهترین روش شناخت خطرات حرکات دامنه‌ای در حوزه Middle Fork از منطقه Payette River در Idaho معرفی کرده‌اند. (Chung, 2006) از نسبت درست نمائی توزیع مربع کای برای بررسی عوامل مؤثر در لغزش و ارزیابی خطر آنها در آینده به خوبی استفاده کرده است. (Knapen et al., 2006) عوامل مستعدکننده و تشدیدکننده لغزش‌ها را در منطقه Mount Elgon اوگاندا با روش‌های آماری مورد تجزیه و تحلیل قرار داده‌اند، در این پژوهش فرضیه صفر با استفاده از روش مربع کای آزمون شده و ضریب ۷ کرامر برای تعیین میزان تأثیر هر عامل در وقوع لغزش‌ها و معیار Goodman-Kruskal برای تعیین میزان رابطه مقادیر پیش‌بینی شده و مشاهده شده به کار برده شده‌اند. نتایج ارزیابی کارایی و بومی سازی مدل‌های آماری جداول توافقی و مربع کای در پایلوت جنوب غرب خلخال در این مقاله تشریح شده است.

## ویژگی های منطقه طرح

منطقه مورد پژوهش (شکل ۱) با مساحت ۱۰۵۷ کیلومتر مربع در جنوب غرب شهرستان خلخال بخش خورش رستم، و در مختصات، ۴۸°۱۴ تا ۴۸°۴۴ طول شرقی و ۳۷°۰۶ تا ۳۷°۳۲ عرض شمالی قرار گرفته است. بیش از سیزده درصد مساحت منطقه درگیر لغزش‌های منفرد و پهنه‌های لغزشی است.

### روش تجزیه و تحلیل آماری

تهیه فایل داده‌ها: فایل اطلاعاتی لازم برای تجزیه و تحلیل‌های آماری بر پایه لایه‌های اطلاعاتی به دست آمده بصورت ذیل تهیه گردید:

مساحت درگیر لغزش و بدون لغزش در هر واحد شبکه، براساس طبقات مختلف هر لایه اندازه‌گیری شد. به عنوان مثال در لایه اطلاعاتی مربوط به لیتولوژی در هر سلول واحد، مساحت لیتولوژی‌های مختلف موجود در آن واحد که درگیر لغزش و یا فاقد آن بودند، برحسب کیلومتر مربع اندازه‌گیری شد. در نهایت ماتریسی تشکیل گردید که هر ستون آن به عنوان یک متغیر در نظر گرفته شده و در آن مساحت طبقه هر لایه دارای لغزش و یا بدون لغزش در هر واحد شبکه (ردیف) نشان داده شده است. بخشی از فایل داده در (جدول ۱) نمایش داده شده، این جدول شامل ۱۲۰ ستون و ۴۴۵۴ ردیف است.

جدول ۱- قسمتی از فایل داده با متغیرهای کمی پیوسته و با

مقیاس نسبتی

ردیف	شماره سلول شبکه‌ای	مساحت واحد زمین شناسی (کیلومتر مربع) ( $Ng^{1a}$ )	مساحت واحد زمین شناسی درگیر لغزش (کیلومتر مربع) ( $L.Ng^{1a}$ )
۱	۰۱-۰۱	۰/۲۵	۰
۲	۰۲-۰۱	۰/۱۲۵	۰/۱۰۰
⋮	⋮	⋮	⋮
۴۴۵۴	۹۸-۶۴	۰/۲۵	۰/۲۵

در بررسی‌های آماری از روش‌های مختلفی جهت مطالعه رابطه بین متغیرها استفاده می‌شود که معمولاً در آنها متغیر وابسته با کمک متغیر یا متغیرهای مستقل پیش بینی می‌شود. در برخی از این روش‌ها مانند مدل‌های رگرسیون حجم زیادی از داده‌ها در محاسبات شرکت داده می‌شوند و تنها در متغیرهای کمی پیوسته که با مقیاس نسبی اندازه‌گیری شده باشند، کاربرد دارند. اما در روش‌های دیگر از جمله آزمون مربع کای، به حجم کمتری از داده‌ها نیاز بوده و در مورد متغیرها با داده‌های کمی گسسته و با مقیاس فاصله‌ای نیز به کار برده می‌شود. نتایج این آزمون در تجزیه و تحلیل



شکل ۱- منطقه مورد بررسی در استان اردبیل

### روش تحقیق

لایه اطلاعات ثبت لغزش‌های منطقه به مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ استفاده از نقشه‌های پایه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ بندر انزلی، توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ و تفسیر عکس‌های هوایی ۱:۲۰۰۰۰ همراه با پیمایش صحرایی تهیه گردید. دیگر لایه‌های اطلاعاتی مورد نیاز در طرح شامل: لیتولوژی، فاصله از گسل، طبقات شیب، جهات شیب، کاربری اراضی، شبکه رودخانه‌ها، راه‌ها و پراکنش مناطق مسکونی و عمرانی تهیه و بر روی نقشه پایه که به صورت واحدهای ۰/۲۵ کیلومترمربعی شبکه بندی گردیده ثبت گردیدند. مساحت زمین لغزش‌ها براساس طبقات مختلف هر عامل در هر سلول شبکه اندازه‌گیری و بصورت ماتریسی در یک فایل داده مربوط به نرم‌افزار Spss ذخیره گردیدند. تحلیل‌های آماری به روش مربع کای و ضرایب مربوط به آن و با کمک جداول توافقی صورت گرفت. با استفاده از این روش آماری میزان و ترتیب تأثیر عوامل مؤثر در وقوع لغزش‌ها مشخص شد.

می توان به کمک این جداول رابطه بین طبقات هر عامل را با وقوع لغزش‌ها ارزیابی نمود. در ستون‌های جداول توافقی مربوط به هر لایه اطلاعاتی، طبقات مختلف هر عامل به صورت دو زیر سطح (لغزش‌های حادث شده و نشده) نشان داده شده است. سطرهای هر جدول توافقی نشان دهنده فراوانی واحدهای شبکه‌ای مشاهده شده و مورد انتظار می‌باشد. تعداد واحدهای شبکه‌ای که در هر زیر رده قرار می‌گیرد فراوانی مشاهده شده نامیده شده و با نشان  $f$  مشخص می‌گردد. فراوانی مورد انتظار ( $e$ ) هر زیر رده از عوامل عبارت از فراوانی است که با در نظر گرفتن شرایط و فرض‌های خاصی قبل از اقدام به آمارگیری انتظار داریم. بنابراین فراوانی مورد انتظار در هر زیر عامل تعداد واحدهای شبکه‌ای و یا مساحتی از آنها است که در صورت صحیح بودن فرضیه صفر (متغیر وابسته مستقل از متغیر مستقل است) انتظار می‌رود در هر یک از خانه‌های جداول توافقی مشاهده شود. اگر فرضیه صفر صحیح باشد انتظار می‌رود درصد شبکه‌های دارای لغزش و بدون لغزش در تمام طبقات هر لایه اطلاعاتی (مثلاً تمام واحدهای لیتولوژیک) با هم برابر باشند. البته انتظار نمی‌رود که فراوانی و یا مساحت دارای لغزش و بدون لغزش در تمام طبقات با هم برابر باشند. تعداد و یا مساحت قابل انتظار به طریق ذیل محاسبه می‌شود:

جمع کل تعداد شبکه‌ها و یا مساحت‌های دارای لغزش و بدون لغزش در هر طبقه از عوامل به جمع کل ردیف تمام سطوح ضرب شده و به کل فراوانی یا مساحت دارای لغزش و بدون لغزش عامل تقسیم می‌شود. به عنوان مثال مساحت قابل انتظار در سطح  $Ng1$  دارای لغزش در عامل لیتولوژی به صورت زیر محاسبه شده است:  $(6/2) = (1057) / (940 \times 6)$

اختلاف بین مقادیر مشاهده شده و قابل انتظار به نام باقیمانده مشخص شده است. باقیمانده‌های حاصل از تفاضل فراوانی‌های مشاهده شده و مورد انتظار ممکن است مثبت و یا منفی باشند. منفی بودن باقیمانده‌ها به این معنی است که مقدار مشاهده شده از مقدار باقیمانده کمتر است. برای روشن تر شدن نتایج، مقادیر باقیمانده‌ها در یک نمودار ستونی

آماري پديده‌های طبیعی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Steel & Torrie, 1997). به عبارت ساده تر، اولین مرحله از آزمون مربع کای ساده تر کردن متغیرهای (جدول ۱) می‌باشد. در این جدول متغیرها کمی پیوسته هستند که در مقیاس نسبتی اندازه گیری شده و حجم بسیار زیادی دارند که می‌توان آنها را به متغیرهای کمی گسسته و با مقیاس فاصله ای تبدیل نموده و ضمن کاهش حجم آنها از آزمون‌های غیر پارامتری مانند مربع کای (که در شرایطی با توزیع غیر نرمال داده‌ها مورد استفاده است) جهت آزمون فرضیه صفر و تعیین میزان تأثیر عوامل و طبقات آنها در وقوع لغزش‌ها استفاده کرد.

در (جدول ۲) بخشی از فایل داده‌های آماده شده جهت انجام آزمون مربع کای نشان داده شده است. ستون اول شامل زیر رده‌های عامل زمین‌شناسی بوده و در ستون دوم نیز هر زیر رده به دو ردیف دارای لغزش و بدون لغزش تقسیم شده است. ستون سوم فراوانی واحدهای شبکه‌ای دارای لغزش و بدون لغزش را نشان می‌دهد. می‌توان به جای تعداد واحدهای شبکه‌ای دارای لغزش و بدون لغزش از مساحت‌های هر طبقه از لایه‌های اطلاعاتی نیز استفاده کرد که در این صورت آن متغیر پیوسته بوده و دارای دو سطح دارای لغزش و بدون لغزش خواهد بود. در حقیقت (جدول ۲)، بخشی از جدول توافقی است که بر اساس داده‌های (جدول ۱) تهیه شده است. جدول ۲- قسمتی از فایل داده با متغیرهای کمی گسسته و با مقیاس فاصله ای جهت انجام تجزیه و تحلیل‌های آزمون مربع کای که بر اساس داده‌های (جدول ۱) تهیه شده است

عامل لغزش (طبقات هر لایه اطلاعاتی)	لغزش	فراوانی شبکه‌ها	مساحت واحدهای شبکه‌ای (کیلومتر مربع)
$Ng^{1a}$	دارد	۲۸۸	۴۳
$Ng^{1a}$	ندارد	۴۷۸	۸۵
⋮	⋮	⋮	⋮
a	دارد	۳۵	۴
b	ندارد	۵۸	۹

تهیه جداول توافقی و نمودارهای افزایشی-کاهشی:

جداول توافقی به عنوان نمودارهای پراکنش عمل می‌کنند و قبل از انجام محاسبات مربوط به آزمون آماری مربع کای

هم نزدیک می شوند (رابطه ۲). این آماره همراه با مربع کای محاسبه شده و علاوه بر کاربرد مستقل آن جهت کنترل نتایج مربع کای نیز مورد استفاده قرار می گیرد.

$$G^2 = 2 \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c f_{ij} \cdot \ln\left(\frac{f_{ij}}{e_{ij}}\right) \quad (2)$$

رابطه  $X^2$  وقتی صادق است که فراوانی‌های مورد انتظار بیش از ۲۰ درصد خانه‌ها کمتر از ۵ نباشد. وقتی فراوانی‌های مورد انتظار کوچک تر از ۵ باشد رابطه (۱) صادق نیست. در چنین حالتی از آزمون کولموگروف - اسمیرنوف استفاده می‌شود. اساس این آزمون مقایسه فراوانی تجمعی نسبی مشاهده شده با فراوانی تجمعی نسبی مورد انتظار  $\left(\frac{F(n_i)}{n}\right)$  می‌باشد (حجم نمونه می‌باشد). چون در این آزمون مشاهدات منفرد را بطور مجزا بکار می‌گیرند از این رو نیازی به تخصیص اطلاعات به صورت ترکیب گروه‌ها همانند آزمون مربع کای نیست بنابراین مساله فراوانی مشاهده شده هر گروه اگر کمتر از ۵ باشد خطائی بوجود نخواهد آمد (رابطه ۳):

$$D_c = \text{Max} \frac{|F(n_i) - F(n_{ith})|}{n} \quad (3)$$

مقدار  $D_c$  را با مقادیر بحرانی  $D$  از جداول توزیع آماری مقایسه کرده و مانند آزمون مربع کای قضاوت می‌کنند. محاسبه ضرایب و شاخص‌های رابطه: چنانکه اشاره شد مربع کای و یا نسبت درست‌نمائی، مشخصه‌هایی هستند که به منظور مقایسه فراوانی واحدهای شبکه‌ای یا مساحت‌های درگیر لغزش و بدون لغزش بر اساس طبقه‌های هر عامل به کار می‌روند و روابط ترتیبی یا کمی ارقام را بیان نمی‌کنند. به عبارتی دیگر رد یا قبول فرضیه صفر به کمک آزمون مربع کای و نسبت درست‌نمائی تنها وجود رابطه بین سطوح مختلف عوامل و وقوع لغزش‌ها را تأیید می‌نمایند، و میزان تأثیر سطوح مختلف هر عامل را در وقوع یا عدم وقوع لغزش اندازه‌گیری نمی‌کنند. شاخص‌هایی وجود دارند که بر پایه مربع کای محاسبه می‌شوند و مستقل از حجم نمونه‌ها مقداری بین صفر و یک دارند، به طوری که مقدار نزدیک به صفر به

و نسبت به یک خط مبدا (با مقدار صفر) نشان داده شده‌اند، اصطلاحاً به این نمودارها افزایشی و کاهشی گفته می‌شود و به کمک آنها می‌توان تأثیر عوامل مختلف در پایداری و یا ناپایداری دامنه‌ها را تعیین کرد.

**آزمون مربع کای:** برای آزمون این فرض که فراوانی‌های مشاهده شده از وقوع لغزش‌ها براساس عوامل مختلف، با فراوانی‌هایی که بر مبنای اصول و مبانی تئوری مورد انتظار هستند، اختلاف معنی داری را دارا هستند یا خیر؟، از مقادیر محاسبه شده تحت عنوان مربع کای ( $X^2$ ) استفاده شده است. چنانچه اختلاف هر فراوانی واحدهای شبکه‌ای مشاهده شده (دارای لغزش و بدون لغزش) و یا مساحت آنها، از فراوانی واحدهای شبکه‌ای و یا مساحت مورد انتظار به توان دو رسیده و به فراوانی (و یا مساحت) مورد انتظار تقسیم گردد و مجموع این عبارات برای تمام فراوانی‌ها بدست آید، مجموع حاصل دارای توزیع مربع کای است (رابطه ۱). لذا می‌توان آنرا با مربع کای جدول مقایسه کرده و در خصوص توافق یا عدم توافق فراوانی‌های مشاهده شده با مورد انتظار مقایسه نمود:

$$X^2 = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c \frac{(f_{ij} - e_{ij})^2}{e_{ij}} \quad (1)$$

در این رابطه  $f_{ij}$  و  $e_{ij}$  به ترتیب فراوانی واحدهای شبکه‌ای مشاهده شده (دارای لغزش و بدون لغزش) و فراوانی تعداد واحدهای شبکه‌ای مورد انتظار در خانه (هر سلول از جدول داده‌ها) سطر  $i$  ام و ستون  $j$  ام هستند. چنانچه  $X^2$  محاسبه شده کوچک تر از  $X^2$  جدول با سطح معنی داری  $\alpha$  باشد، فرض  $H_0$  مبنی بر توافق فراوانی‌های مشاهده شده با فراوانی‌های مورد انتظار پذیرفته می‌شود و در غیر این صورت رد می‌گردد. به عبارت دیگر اگر اختلافات بین سطوح مختلف یک عامل و وقوع لغزش‌ها معنی دار باشد، فرضیه صفر رد شده و نشان می‌دهد که حضور یک یا چند طبقه از عامل مورد نظر می‌تواند در وقوع لغزش‌های منطقه تأثیر مثبت یا منفی داشته باشد. آماره دیگری که بسیار شبیه به مربع کای است نسبت درست‌نمائی (Likelihood ratio chi-square) است (با نشانه  $G^2$ ) و در نمونه‌های با حجم بزرگ مقادیر این دو کاملاً به

مختلف عوامل مؤثر) چقدر بهتر می‌توان متغیر وابسته (وقوع لغزش) را پیش‌بینی کرد. در حقیقت شاخص PRE خطاهای دو موقعیت متفاوت را مقایسه می‌نماید، یکی هنگامی که متغیر مستقل برای پیش‌بینی استفاده می‌شود و دیگری برعکس جهت پیش‌بینی وقوع لغزش از روی عوامل در نظر گرفته شده از پرکاربردترین شاخص‌های PRE یعنی لاندا (λ) استفاده شده است. لاندا یک شاخص اسمی است و بیانگر میزان دقت پیشگویی متغیر وابسته (وقوع لغزش) از مقادیر متغیر مستقل (تعداد واحدهای شبکه‌ای یا مساحت‌های درگیر لغزش و بدون لغزش) است. لاندا یک شاخص غیر قرینه و نامتقارن است و بر حسب این که متغیر مستقل در سطر باشد یا در ستون، ارزش متفاوتی به خود می‌گیرد. مقدار لاندا بین ۰ تا ۱ بوده و بر اساس روابط پیشنهادی گودمن و کروسکال (Siegel & Castellan, 1988)، (Kinnrar & Gray, 1999) و (اسماعیلیان ۱۳۸۵) و به شرح ذیل محاسبه می‌گردد.

اگر متغیر سطر یا ستون وابسته فرض شوند مقادیر ضریب بطور نامتقارن و بوسیله روابط زیر محاسبه می‌شود.

$$\lambda_A = \frac{\sum_{j=1}^c \max_i(n_{ij}) - \max_i(n_i)}{N - \max_i(n_i)} \quad (7)$$

$$\lambda_B = \frac{\sum_{j=1}^r \max_j(n_{ij}) - \max_j(n_j)}{N - \max_j(n_j)} \quad (8)$$

در روابط فوق  $\max_j(n_{ij})$  به معنی بیشترین فراوانی مشاهده شده در سطر  $i$  ام و همچنین  $\max_i(n_{ij})$  به معنی بیشترین فراوانی مشاهده شده در ستون  $j$  ام است. در حالت دوم فرض بر این است که بین متغیر وابسته و مستقل تمایزی وجود ندارد، در این حالت معیار گودمن و کروسکال تأثیر کلی متغیرها در پیش‌بینی یکدیگر و یا میزان کاهش خطای پیش‌بینی یکی از متغیرها را نشان می‌دهد، لذا ضریب متقارن از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$\lambda = \frac{\sum_{j=1}^r \max_j(n_{ij}) + \sum_{i=1}^c \max_i(n_{ij}) - \max_i(n_i) - \max_j(n_j)}{2N - \max_i(n_i) - \max_j(n_j)} \quad (9)$$

معنی رابطه ضعیف و ۱ به معنی رابطه قوی است. مثبت بودن شاخص رابطه نشان می‌دهد که افزایش مساحت یا فراوانی واحدهای شبکه‌ای در یک زیر رده از عوامل مؤثر با افزایش مساحت و یا فراوانی واحدهای دارای لغزش همراه است در حالی که شاخص منفی به معنی افزایش مساحت و یا فراوانی زیر رده و کاهش لغزش می‌باشد. برای تعیین قدرت و جهت رابطه دو نوع شاخص وجود دارد: الف) شاخص‌های براساس مربع کای و ب) شاخص‌های کاهش نسبی خطا (Proportional Reduction in Error-Measur).

الف- شاخص‌های بر مبنای مربع کای: ضریب فی (Phi Coefficient) نشانگر درجه قدرت رابطه بین سطوح مختلف هر عامل و وقوع لغزش‌ها بوده و با تقسیم مقدار مربع کای بر حجم نمونه‌ها و جذر گرفتن از آنها به دست می‌آید (رابطه ۴):

$$\phi = \sqrt{\frac{X^2}{N}} \quad (4)$$

N: تعداد کل واحدهای شبکه‌ای یا مساحت واجد و فاقد لغزش در هر عامل مؤثر در وقوع لغزش‌های اتفاق افتاده.

ضریب توافق (Coefficient of Contingency): این ضریب مانند فی میزان همبستگی بین متغیرها را نشان می‌دهد، و هر چقدر بزرگتر باشد، مقدار همبستگی به همدیگر نیز بیشتر است (ولی از یک تجاوز نمی‌کند) در محاسبات، این ضریب از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$C = \sqrt{\frac{x^2}{x^2 + N}} \quad (5)$$

V کرامر (Cramér's V): این شاخص نیز بر اساس مربع کای محاسبه شده و میزان رابطه بین دو متغیر را اندازه می‌گیرد. در این رابطه  $k = \min(r, c)$  است، که در آن  $r$  و  $c$  بترتیب تعداد سطر و ستون جداول توافقی است.

$$V = \sqrt{\frac{X^2}{N(k-1)}} \quad (6)$$

ب- شاخص‌های کاهش نسبی خطا: این شاخص‌ها بر خلاف شاخص‌های تعریف شده بر مبنای مربع کای، تفسیر روشن‌تری از داده‌ها را ارائه می‌دهند. با کمک این شاخص‌ها می‌توان تعیین نمود که با دانستن مقدار متغیر مستقل (سطوح

مؤثری در پراکنش لغزش‌های منطقه داشته است (مهدویفر، ۱۳۷۶)، (طلایی و همکاران، ۱۳۸۳)، (Uromeihy & MahdaviFar, 2000). بر اساس بررسی‌های صورت گرفته می‌توان از دیدگاه استراتیگرافی، واحدهای سنگی منطقه را به چهار گروه مجزا شامل: سازندهای پیش از ائوسن، سنگ‌های آتشفشانی و آذرآواری ائوسن، سنگ‌های رسوبی نئوژن و نهشته‌های کواترنر تقسیم کرد (جدول ۳). جهت تعیین نقش عوامل در وقوع لغزش‌ها می‌توان ارتباط فراوانی لغزش‌های موجود را با ویژگی‌های دامنه‌ها مورد بررسی قرار داد حدود ۳۴ درصد از مساحت سنگ‌های رسوبی رس‌دار میوسن ( $^{ml}Ng$ ) و ۵۷ درصد از مساحت پهنه‌های دگرسان شده (a) دارای لغزش می باشند که نسبت به سایر واحدها بسیار قابل توجه است (جدول ۴).

از نظر آماری اگر وقوع زمین لغزش‌ها با نوع لیتولوژی ارتباط نداشته باشد (یعنی فرضیه صفر صحیح باشد)، انتظار می رود نسبت درصد لغزش‌های اتفاق افتاده در گروه‌های مختلف لیتولوژیکی با هم برابر باشند. البته انتظار نمی رود که تعداد و مساحت لغزش‌ها در تمام طبقات با هم یکسان باشند، چرا که تعداد واحدهای شبکه‌ای و مساحت لیتولوژی‌های مختلف با هم برابر نیستند.

با مقایسه باقیمانده‌های حاصل از تفاضل بین مقادیر مشاهده شده در هر نوع لیتولوژی با مقادیر مورد انتظار در آن می‌توان سنگ‌های رسی و مارنی میوسن و همچنین سنگ‌های دگرسان شده را از سایر واحدها تفکیک کرد. همچنین مقدار-باقیمانده‌ها در مورد برخی از لیتولوژی‌ها منفی است (شکل ۲). این مقادیر نشان می‌دهد که تعداد و مساحت زمین لغزش‌های اتفاق افتاده در سنگ‌های آذرین خروجی (مربوط به زمان ائوسن) از مقادیر محاسبه شده (قابل انتظار) کمتر است، گدازه‌های آندزیتی، بازالتی، داسیتی و تراکیتی این واحدها نشان می‌دهد که بسیار کمتر از واحدهای رس‌دار میوسن دچار لغزش شده اند.

$n_j, n_i, N$  - به ترتیب فراوانی‌های مشاهده شده در کل، یک سطر، یک ستون و یک خانه‌اند.

از تمام مقادیر ضریب فوق چه به صورت مقارن و چه نامتقارن می‌توان نتیجه گرفت که دانستن یکی از متغیرها یعنی رده‌های عامل‌ها و وقوع لغزش می‌تواند در پیش‌بینی دیگری دخالت داشته باشد. مقادیر بالای صفر این ضریب دلیل بر عدم استقلال متغیرهای مورد نظر می‌باشد. اگر مقادیر ضریب اخیر به صورت نسبی مقایسه شود، مشخص می‌شود که بدلیل مقدار بالای ضریب برای وقوع لغزش می‌توان اتفاقات را از انواع رده‌های عوامل پیش‌بینی کرد. بنابراین جهت رابطه قابل تعیین می‌شود. پس با مقایسه مقادیر لانداهای محاسبه شده براساس هر عامل می‌توان نتیجه گرفت که حضور کدام ویژگی در یک دامنه احتمال وقوع لغزش را بیشتر افزایش می‌دهد. ضریب عدم اطمینان (Uncertainty Coefficient) به کمک رابطه زیر محاسبه گردیده است (رابطه ۱۰).

$$u = \frac{-\sum_{i=1}^c \sum_{j=1}^r n_{ij} \log(n_{ij} / n_i, n_j)}{\sum_{j=1}^c n_j \log n_j} \quad (10)$$

با افزایش مقدار این ضریب پیش‌بینی بهتر انجام می‌گیرد، لذا مقادیر این ضریب در هر عامل بیشتر باشد نشان دهنده تأثیر بیشتر آن در وقوع لغزش می‌باشد چرا که مقدار نسبتاً بالای آن در خصوص وقوع حوادث، عدم اطمینان را بیشتر کاهش می‌دهد.

#### بحث و نتیجه گیری

##### الف - نقش عوامل در وقوع زمین لغزش‌ها

**عامل لیتولوژی:** نوع لیتولوژی به دلیل تأثیر در ویژگی‌های ذاتی مقاومت و واحدهای سنگ و خاک، همواره به عنوان یکی از عوامل مؤثر در وقوع لغزش‌ها مطرح بوده است، (Lan et al., 2004)، (Ayalew & Yamagishi, 2005)، (Saldivar-Sali & Einstein, 2007). با توجه به تنوع سنگ‌شناسی منطقه مورد مطالعه و حساسیت متفاوت واحدهای سنگ‌شناسی به گسیختگی و لغزش، این عامل نقش

جدول ۳- مشخصات واحدهای سنگ شناسی منطقه طرح

مساحت (کیلومتر مربع)	ترکیب سنگ شناسی	علامت اختصاری	سازندها
۱۹	سیلیت های سیاه تا خاکستری تیره، شیل های ماسه ای، اسلیت و فیلیت ها اسلیتی	P <sup>Cc</sup>	پیش از ائوسن
۴	کنگلومر، آهک و سنگ های آواری	P <sup>eC</sup>	
۲	آندزیت، بازالت و داسیت	E <sup>5r</sup>	سنگ های آتشفشانی و آذر آواری ائوسن
۱۴۳	آندزیت های خاکستری تیره تا آجری رنگ گاهی خرد شده	E <sup>5</sup>	
۱۹	گدازه های تیره رنگ آندزی بازالتی و لایه های داسیتی	E <sup>4</sup>	
۷۴	گدازه های آندزیتی، آندزیتی بازالتی، داسیتی و تراکیتی به همراه لایه های نازک توفی	E <sup>3</sup>	
۳۳	لایه های ضخیم آندزیتی	E <sup>2</sup>	
۴۲۹	گدازه های آندزیتی- بازالتی با میان لایه های توفی	E <sup>2a</sup>	
۸۵	توف ها و توفیت های سبز رنگ با میان لایه های گدازه های بازالتی و آندزیتی	E <sup>1</sup>	
۲	کنگلومرهای ضخیم لایه	Ng <sup>c</sup>	سنگ های رسوبی میوسن
۶۱	کنگلومر، ماسه سنگ و سنگ های غنی از سیلت تا رس	Ng <sup>2</sup>	
۱۲۸	سنگ های رسی، گلی و مارنی	Ng <sup>1a</sup>	
۱	مارن ها و سنگ های رسی قرمز تا زرد رنگ ژئوپس دار با گرهک های آراگونیتی	Ng <sup>1g</sup>	
۷	پادگانه های آبرفتی و رسوبات جدید کواترنری	Q <sup>t</sup>	نهشته های کواترنر
۳۷	زون های آتزه شدید	a	زون های آتزه
۱۳	زون های آتزه متوسط و ضعیف	b	

جدول ۴- فراوانی تعداد واحدهای شبکه ای مشاهده شده و مورد انتظار (فراوانی های محاسبه شده) در واحدهای مختلف سنگ

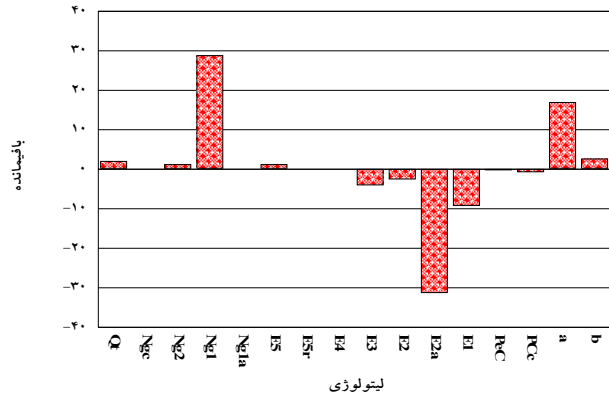
شناسی در دو زیر سطح دارای لغزش (a) و بدون لغزش (b)

تعداد واحدهای شبکه ای										اطلاعات			
Ng <sup>1g</sup>		Ng <sup>1a</sup>		Ng <sup>2</sup>		Ng <sup>c</sup>		Q <sup>t</sup>		مشاهده شده	فراوانی		
b	a	b	a	b	a	B	a	b	a				
۱۰	۰	۴۷۸	۲۸۸	۸۹	۷۱	۱۵	۰	۶۵	۱۱	مشاهده شده	فراوانی		
۸/۵	۱/۵	۶۵۳/۲	۱۱۲/۸	۱۳۶/۴	۲۳/۶	۱۲/۸	۲/۲	۶۴/۸	۱۱/۲	مورد انتظار			
تعداد واحدهای شبکه ای										اطلاعات			
E <sup>2</sup>		E <sup>3</sup>		E <sup>4</sup>		E <sup>5r</sup>		E <sup>5</sup>		مشاهده شده	فراوانی		
b	a	b	a	b	a	B	a	b	a				
۱۷۸	۷	۸۲۸	۴۵	۱۱۶	۲۷	۱۴	۰	۸۲۳	۱۳۳	مشاهده شده	فراوانی		
۱۵۷/۸	۲۷/۲	۴۸۸/۶	۸۴/۴	۱۲۱/۹	۲۱/۱	۱۱/۹	۲/۱	۸۱۵/۲	۱۴/۰۸	مورد انتظار			
تعداد واحدهای شبکه ای										اطلاعات			
b		a		P <sup>Cc</sup>		P <sup>eC</sup>		E <sup>1</sup>		E <sup>2a</sup>		مشاهده شده	فراوانی
b	a	b	a	b	a	b	a	B	a	b	a		
۵۸	۳۵	۱۴۰	۱۵۹	۱۰۹	۰	۳۲	۰	۴۳۰	۵	۲۳۱۷	۱۵۲	مشاهده شده	فراوانی
۷۹/۳	۱۳/۷	۲۵۵	۴۴	۹۲/۹	۱۶/۱	۲۷/۳	۴/۷	۳۷۰/۹	۶۴/۱	۲۱۰۵/۴	۳۶۳/۶	مورد انتظار	



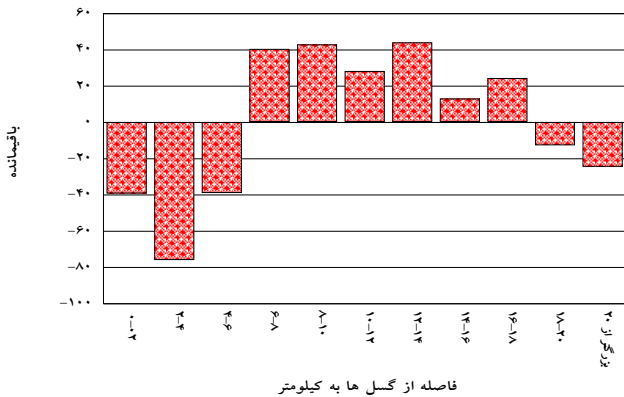
بیشترین تعداد و مساحت مناطق لغزشی بدون در نظر گرفتن سن آنها در فاصله ۶ تا ۱۸ کیلومتری از گسل‌های مهم منطقه قرار گرفته است (جدول ۵).

باقیمانده‌های حاصل از تفاضل فراوانی لغزش‌های مشاهده شده و مورد انتظار در فواصل مختلف از گسل‌های اصلی منطقه نشان می‌دهد مقادیر مثبت آنها در فاصله ۶ الی ۱۸ کیلومتری به حداکثر رسیده است، در این گسترده ۵۸ درصد لغزش‌ها واقع شده‌اند (جدول ۶ و شکل ۳). مقادیر منفی باقیمانده‌ها به دلیل پائین بودن تعداد و مساحت لغزش‌های مشاهده شده در فواصل نزدیک به گسل‌ها، نسبت به تعداد و مساحت لغزش‌های دور از آنها است.



شکل ۲- نمودار افزایشی و کاهش باقیمانده‌های حاصل از تفاضل مقادیر مشاهده شده و قابل انتظار در طبقات مختلف عامل لیتولوژی

**عامل فاصله از گسل‌های اصلی:** تراکم سیستم درزه، شکستگی‌ها، گسل‌ها و خرد شدگی سنگ‌ها می‌تواند نقش مؤثری در افزایش پتانسیل ناپایداری دامنه‌ها داشته باشد (حائری و سمیعی، ۱۳۷۶)، (فاطمی عقدا و همکاران، ۱۳۸۲)، (Rutela & Lakhera, 2000)، (Lan et al., 2004). نتایج مطالعات (مهدویفر، ۱۳۷۶) نشان می‌دهد، ارتباط تراکم زمین لغزش‌ها بر خلاف انتظار، نسبت به فاصله از گسل‌های اصلی مثبت است یعنی هر چه فاصله از گسل کمتر می‌شود، فراوانی زمین لغزش‌ها نیز کمتر شده است. در این پژوهش جهت بررسی ارتباط زمین لغزش با عامل گسل، نقشه فاصله از گسل‌ها تهیه و با نقشه زمین لغزش‌ها با سن‌های فسیل، قدیمی و جدید انطباق داده شد. نتایج بررسی‌ها نشان داد که



شکل ۳- نمودار افزایشی و کاهش باقیمانده‌ها براساس طبقات عامل فاصله از گسل‌ها برای لغزش‌های فسیل، قدیمی و جدید

جدول ۵- نسبت فراوانی تعداد واحدهای شبکه‌ای دارای لغزش (a) و بدون لغزش (b) به کل واحدها در هر زیر رده

نسبت فراوانی واحدهای شبکه‌ای واجد و فاقد لغزش به فراوانی کل واحدها در هر زیر رده به درصد											
۲-۰ کیلومتر		۲-۴ کیلومتر		۴-۶ کیلومتر		۶-۸ کیلومتر		۸-۱۰ کیلومتر		۱۰-۱۲ کیلومتر	
b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a
۸۲	۱۸	۸۸	۱۲	۸۶	۱۴	۶۸	۳۲	۶۶	۳۴	۶۹	۳۱
نسبت فراوانی واحدهای شبکه‌ای واجد و فاقد لغزش به فراوانی کل واحدها در هر زیر رده به درصد											
۱۲ تا ۱۴ کیلومتر		۱۴ تا ۱۶ کیلومتر		۱۶ تا ۱۸ کیلومتر		۱۸ تا ۲۰ کیلومتر		بیشتر از ۲۰ کیلومتر			
b	a	b	a	b	a	b	a	b	a		
۶۲	۳۹	۷۳	۲۷	۶۵	۳۵	۸۶	۱۴	۹۶	۴		

جدول ۶- فراوانی واحدهای شبکه ای مشاهده شده و مورد انتظار در فواصل مختلف از گسل در دو زیر سطح دارای لغزش (a) و بدون لغزش (b)

تعداد واحدهای شبکه ای										اطلاعات	
۸-۱۰ کیلومتر		۶-۸ کیلومتر		۴-۶ کیلومتر		۲-۴ کیلومتر		۰-۲ کیلومتر			
b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	مشاهده شده	فراوانی
۲۱۹	۱۱۴	۲۴۹	۱۱۹	۴۸۱	۸۱	۶۹۸	۹۳	۹۱۶	۱۹۹		
۲۶۱/۸	۷۱/۲	۲۸۹/۳	۷۸/۷	۴۴۱/۸	۱۲۰/۲	۶۲۱/۸	۱۶۹/۲	۸۷۶/۵	۲۳۸/۵		
۱۸ تا ۲۰ کیلومتر		۱۶ تا ۱۸ کیلومتر		۱۴ تا ۱۶ کیلومتر		۱۲ تا ۱۴ کیلومتر		۱۰-۱۲ کیلومتر		مشاهده شده	فراوانی
b	a	b	a	b	a	b	a	b	a		
۱۴۵	۲۳	۱۱۸	۶۳	۱۸۲	۶۶	۱۵۸	۹۹	۱۹۹	۹۰	مورد انتظار	فراوانی
۱۳۲/۱	۳۵/۹	۱۴۲/۳	۳۸/۷	۱۹۵	۵۳	۲۰۲	۵۵	۲۲۷/۲	۶۱/۸		
بیشتر از ۲۰ کیلومتر										مشاهده شده	فراوانی
b	a										
۱۳۸	۶									مورد انتظار	فراوانی
۱۱۳/۲	۳۰/۸										

(Turrini, 2002). ایجاد تغییرات در نوع پوشش گیاهی می-تواند باعث بروز پدیده زمین لغزش شود، بطوریکه (Mehrotra et al., 1996) نشان دادند که تغییر و از بین بردن پوشش گیاهی اولیه باعث افزایش ۱۵ درصدی فعالیت زمین-لغزش ها می شود. (Thomas, 2003) معتقد است که عامل اصلی بیشتر لغزش های اتفاق افتاده در ۵۰ سال گذشته در دنیا نحوه استفاده از زمین بوده است. (John et al., 2006) تغییر کاربری جنگلی به زراعی را یکی از عوامل اصلی تشدید ناپایداری دامنه ها در مناطقی از نیوزیلند می دانند. در محدوده مورد مطالعه نیز ۷۰ درصد از مساحت مناطقی لغزش (یا ۶۴ درصد از واحدهای شبکه ای دارای لغزش) در کاربری های زراعی و باغی اتفاق افتاده اند (جدول ۷).



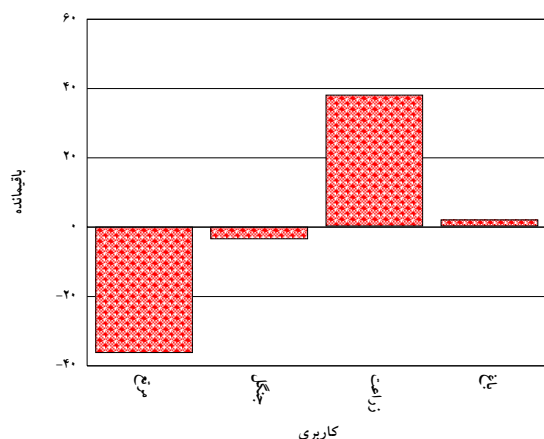
شکل ۴- نمودار ستونی فراوانی واحدهای شبکه ای دارای لغزش با سن فسیل و قدیمی (به درصد) و نسبت به افزایش

اگر بررسی پراکنش لغزش های منطقه نسبت به فاصله از گسل ها، بر اساس سن آنها صورت گیرد نتایج فوق تغییر خواهد کرد. ۸۶ درصد از واحدهای شبکه ای درگیر با لغزش های فسیل و قدیمی در فاصله صفر تا هشت کیلومتری از گسل های اصلی قرار می گیرند و در نتیجه درصد فراوانی واحدهای شبکه ای دارای لغزش با دور شدن از گسل ها حالت نزولی نشان می دهد (شکل ۴).

بنابراین چنین استنتاج می شود که عملکرد گسل ها در وقوع لغزش های قدیمی و جدید (بطور مستقیم و غیر مستقیم) تأثیر داشته است. اثرات غیر مستقیم عملکرد گسل های فرعی و اصلی در وقوع لغزش ها به جابجایی و گسیختگی بلوک های سنگی منطقه، خرد شدگی و افزایش نفوذپذیری سنگ های اطراف، نفوذ محلول های هیدروترمال و گسترش زون های آلتراسیون مربوط می شود.

**عوامل پوشش گیاهی و کاربری اراضی:** تأثیر پوشش گیاهی در ناپایداری شیب ها توسط محققین زیادی از جمله (Prandina et al., 1977)، (Derose, 1991) مطالعه شده است. تأثیر پوشش گیاهی در پایداری شیب ها با تغییر چسبندگی، زاویه اصطکاک درونی، وزن و فشار آب منفذی خاک ها صورت می گیرد (Gómez & Kavzoglu, 2005)، (Donati &

مقادیر باقیمانده‌ها متناسب با افزایش مساحت ابنیه‌ها و تعداد چاه‌های جاذب فاضلاب‌ها افزایش نمی‌یابند (جدول ۱۲ و شکل ۱۰)، این موضوع می‌تواند علاوه بر دخالت عوامل دیگری از جمله لیتولوژی و توپوگرافی نسبتاً هموار در مناطق پر جمعیت، به سن لغزش‌ها نیز مربوط باشد، چرا که دخالت بشری و ساخت و سازها تنها می‌توانند در مورد وقوع لغزش‌های عهد حاضر مؤثر باشند.



شکل ۵- نمودار افزایشی و کاهش‌ی باقیمانده‌ها براساس رده‌های مختلف عامل نوع پوشش گیاهی

**عوامل جهات و درجه شیب:** مقدار شیب و جهات دامنه‌ها با کنترل میزان و جهت جریان رواناب، تراکم پوشش گیاهی، دما و رطوبت خاک از عوامل مؤثر در وقوع زمین لغزش‌ها محسوب می‌شوند. (Lan et al., 2004)، (Ayalew & Yamagishi, 2005)، (Gómez & Kavzoglu, 2005). بیشترین لغزش‌های منطقه در دامنه‌های رو به شمال شرق اتفاق افتاده و به غیر از دامنه‌های رو به شرق در بقیه جهات دارای پراکنش نسبتاً یکنواختی هستند دامنه‌های رو به شمال

فاصله از گسل‌های مهم شناخته شده مقایسه مقادیر باقیمانده‌ها در پوشش گیاهی مختلف، وابستگی بین وقوع لغزش با نوع پوشش گیاهی را نشان می‌دهد. این ارتباط توسط مقادیر مثبت باقیمانده‌های مناطق زراعی و باغی در مقابل باقیمانده‌های منفی عرصه‌های جنگلی و مرتعی به خوبی به اثبات می‌رسد (شکل ۵). بررسی شناسنامه اطلاعاتی بیش از ۱۲۰ مورد لغزش در منطقه نشان می‌دهد که تغییر کاربری‌های مرتعی و جنگلی به زراعت و باغداری در فعالیت دوباره بیش از ۵۰ درصد از لغزش‌های فسیل و قدیمی و همچنین وقوع لغزش‌های جدید مؤثر بوده است (طلائی و همکاران، ۱۳۸۳).

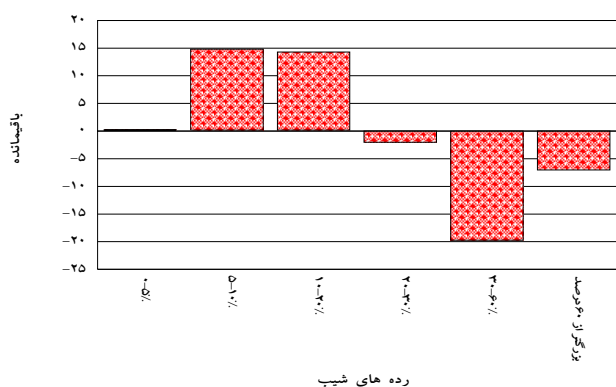
تغییر در شرایط طبیعی دامنه‌ها، به خصوص خاک برداری و خاک ریزی در آنها، به منظور احداث ابنیه و حفر چاه جهت دفع فاضلاب باعث تغییر در تعادل نسبی تنش و مقاومت برشی شده و در نهایت می‌تواند به ناپایداری دامنه‌ها منجر شود. در این عمل با ایجاد دامنه‌های پله‌ای شکل، زمان ماندگاری آب و در نتیجه میزان نفوذ آب افزایش یافته و بر اثر افزوده شدن فشار آب منفذی احتمال وقوع لغزش نیز بیشتر می‌شود (Knapen et al., 2006). تأثیر فعالیت‌های مختلف انسانی در وقوع شانزده مورد از ۱۲۰ مورد لغزش ثبت شده در منطقه حتمی بوده و در بسیاری از زمین لغزش‌ها نیز حالت ناپایداری دامنه‌ها را افزایش داده است (طلائی و همکاران، ۱۳۸۳).

بررسی فراوانی واحدهای شبکه‌ای دارای لغزش و بدون لغزش در ارتباط با مساحت ابنیه‌های مختلف و تعداد چاه‌های جاذب فاضلاب نشان می‌دهد که هرچند احداث سازه‌های مختلف در منطقه می‌تواند در وقوع لغزش‌ها مؤثر باشد، اما

جدول ۷- فراوانی تعداد واحدهای شبکه‌ای مشاهده شده و مورد انتظار در کاربری‌های مختلف در دو زیر سطح دارای لغزش (a) و بدون لغزش (b)

تعداد واحدهای شبکه‌ای								اطلاعات
باغی		زراعت		جنگل		مرتع		
b	a	b	a	b	a	b	a	
۱۷۰	۴۳	۱۱۷۲	۴۵۳	۱۰۵۶	۴۸	۲۶۵۸	۲۳۸	مشاهده شده
۱۸۴/۵	۲۸/۵	۱۴۰۷/۳	۲۱۷/۷	۹۵۶/۱	۱۴۷/۹	۲۵۰۸/۱	۳۷۸/۹	مورد انتظار

مطالعات در چند سال گذشته در دیگر نقاط لغزش خیز دنیا نیز نشان داده است که ترکیب سنگشناسی و درجه شیب سازندهای زمین‌شناسی مستقل از هم نیستند (Saldivar-Sali & Einstein, 2007) و در بیشتر مناطق افزایش شیب نمی‌تواند به تنهایی کنترل کننده وقوع زمین لغزش باشد (Duman et al., 2006).



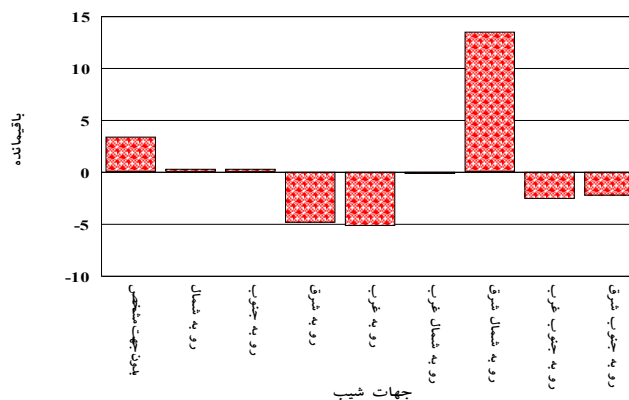
شکل ۷- نمودار افزایشی و کاهش‌ی باقیمانده‌ها براساس رده‌های مختلف عامل نوع رده های شیب

بیشتر دامنه‌های دارای واحدهای رسوبی مارنی و رسی مربوط به نوزن و سنگ‌های آلتزه شده در این منطقه دارای شیب ۵ تا ۲۰ درصد هستند. این موضوع نقش مؤثر عامل لیتولوژی را در تعدیل اثر شیب در وقوع لغزش‌های منطقه نشان می‌دهد. مقدار شیب دامنه‌ها می‌تواند بر نفوذ آب تأثیر گذار باشد. هر قدر شیب بیشتر شود، با فرض مساوی بودن دیگر شرایط، مقدار نفوذ آب کمتر و سرعت رواناب بیشتر می‌گردد. با کم شدن شیب فرصت نفوذ آب در سنگ‌ها و رسوبات حساس افزایش یافته و ناپایداری دامنه‌ها تشدید می‌گردد. تشدید ناپایداری‌های دامنه‌ای به دلیل نفوذ آب در سنگ‌ها و رسوبات رس‌دار با شیب متوسط توسط محققین مختلف از جمله (Oneill & Neder, 1980) نیز مورد تأکید قرار گرفته است.

**عوامل اقلیمی و هیدرولوژیکی:** میزان بارندگی در برخی از مناطق لغزش خیز به عنوان یکی از عوامل اصلی وقوع زمین لغزش به شمار می‌رود (Dai et al, 2002)، (Okamoto et al., 2004)، بطوریکه (Zhang et al, 2006) نیز معتقدند که در بسیاری از نقاط می‌توان وقوع لغزش را با توجه به میزان بارندگی پیش‌بینی کرد. میزان تأثیر بارندگی در ناپایداری

شرقی در تماس مستقیم با جریانات هوای خزری (شبه مدیترانه‌ای) بارندگی بیشتری داشته و از رطوبت بالاتری برخوردار می‌باشند.

با مقایسه باقیمانده‌ها می‌توان اختلاف را با وضوح بیشتری مشخص نمود، چرا که با این روش گروه‌های لغزشی جهت شمال شرق به دلیل داشتن حداکثر مقدار مثبت کاملاً تفکیک می‌گردند (شکل ۶).



شکل ۶- نمودار افزایشی و کاهش‌ی باقیمانده‌ها براساس رده‌های مختلف عامل نوع جهت شیب

هرچند با افزایش شیب دامنه‌ها احتمال وقوع لغزش نیز افزایش می‌یابد (Gómez & Kavzoglu, 2005)، اما در منطقه مورد مطالعه ۶۵ درصد از تعداد واحدهای شبکه‌ای درگیر در لغزش در دو رده شیبی II و III قرار می‌گیرند (جدول ۹). ۶۶ درصد از مساحت مناطق لغزشی در دامنه‌های با شیب ۵ الی ۲۰ درصد (کمتر از ۱۰ درجه) اتفاق افتاده‌اند. و حدود ۱۲ درصد از مساحت مناطق لغزشی در رده‌های I و V قرار می‌گیرند. از مقایسه باقیمانده‌ها مشخص می‌شود که وقوع لغزش در رده‌های شیبی II و III از مقادیر مورد انتظار بالاتر بوده و احتمال وقوع حرکات دامنه‌ای نیز در آنها به مراتب بیشتر است. توجه دقیق‌تر به مقادیر باقیمانده‌ها نشان می‌دهد که هرچند تعدادی از لغزش‌ها در رده‌های شیبی I و V اتفاق افتاده‌اند ولی در مقایسه با شیب‌های ۵ تا ۲۰ درصد (کوچکتر از ۱۰ درجه) قابل توجه نبوده و توزیع پراکنش لغزش در این رده‌ها نسبت به سایر رده‌ها ناهنجاری مشخصی را نشان نمی‌دهد (شکل ۷). در مجموع رابطه بین افزایش شیب دامنه‌های منطقه با افزایش فراوانی لغزش‌ها خطی نیست.

دامنه‌ها به شرایط اقلیمی منطقه، ساختار زمین‌شناسی، توپوگرافی و نفوذپذیری مواد سازنده دامنه بستگی دارد (حائری و سمیعی، ۱۳۷۶). در منطقه مورد مطالعه حدود ۹۶/۸ درصد از واحدهای شبکه‌ای درگیر لغزش و ۹۷/۴ درصد از مساحت مناطق گسیخته شده در محدوده‌هایی با بارندگی ۲۶۰ تا ۴۶۰ میلی‌متر اتفاق افتاده‌اند (جدول ۱۰ و شکل ۸)، بنابراین نمی‌توان وقوع لغزش‌ها را به طور مستقیم با افزایش میزان بارندگی توجیه نمود.

جدول ۸- فراوانی تعداد واحدهای شبکه‌ای مشاهده شده و مورد انتظار در دامنه‌های با جهات مختلف شیب

در دو زیر سطح دارای لغزش (a) و بدون لغزش (b)

تعداد واحدهای شبکه‌ای										اطلاعات	
بدون جهت مشخص		رو به شمال		رو به جنوب		رو به شرق		رو به غرب			
B	a	b	a	b	a	b	a	b	a	مشاهده شده	فراوانی
۱۶۲۱	۲۳۴	۲۷۹	۲۳	۵۴۴	۷۳	۳۵۶	۰	۸۴۳	۴۹		
۱۶۵۸/۵	۱۹۶/۵	۲۷۰	۳۲	۵۵۱/۶	۶۵/۴	۳۷۱/۳	۳۷/۷	۷۹۷/۵	۹۴/۵	مورد انتظار	
تعداد واحدهای شبکه‌ای										اطلاعات	
رو به شمال شرق		رو به شمال غرب		رو به جنوب شرق		رو به جنوب غرب					
A	b	a	b	a	b	a	b	a		مشاهده شده	فراوانی
۱۳۱	۴۰۶	۱۰۵	۸۴۵	۵۹	۷۱۹	۱۳۹	۱۲۴۹				
۵۶/۹	۴۸۰/۱	۱۰۰/۶	۸۴۹/۴	۸۲/۴	۶۹۵/۶	۱۴۷	۱۲۴۱			مورد انتظار	

جدول ۹- فراوانی تعداد واحدهای شبکه‌ای مشاهده شده و مورد انتظار در دامنه‌های با رده‌های مختلف

شیب در دو زیر سطح دارای لغزش (a) و بدون لغزش (b)

تعداد واحدهای شبکه‌ای						اطلاعات	
I (۵ تا ۱۰ درصد)		II (۱۰ تا ۲۰ درصد)		III (۲۰ تا ۳۰ درصد)			
a	b	a	b	a	b	مشاهده شده	فراوانی
۶۹	۵۳۶	۲۵۷	۱۱۳۸	۲۸۶	۱۶۹۹		
۵۷/۵	۵۴۷/۵	۱۳۲/۶	۱۲۶۲/۴	۱۸۸/۷	۱۷۹۶/۳	مورد انتظار	
تعداد واحدهای شبکه‌ای						اطلاعات	
IV (۲۰ تا ۳۰ درصد)		V (۳۰ تا ۶۰ درصد)		VI (بیشتر از ۶۰ درصد)			
a	b	a	b	a	b	مشاهده شده	فراوانی
۱۶۸	۱۹۸۱	۵۲	۱۸۹۶	۱۰	۷۶۳		
۲۰۴/۳	۱۹۴۴/۷	۱۵۸/۲	۱۷۶۲/۸	۷۳/۵	۶۹۹/۵	مورد انتظار	

جدول ۱۰- فراوانی تعداد واحدهای شبکه‌ای مشاهده شده و مورد انتظار در مناطقی با بارندگی سالانه مختلف (میلیمتر در سال) در

دو زیر سطح دارای لغزش (a) و بدون لغزش (b)

تعداد واحدهای شبکه‌ای												اطلاعات	
۲۲۰ تا ۱۸۰		۲۶۰-۲۲۰		۳۰۰-۲۶۰		۳۴۰-۳۰۰		۳۸۰-۳۴۰		۴۲۰-۳۸۰			
a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	مشاهده شده	فراوانی
۰	۱۲۷	۱۰	۲۹۶	۱۷۷	۶۳۷	۲۶۰	۹۷۶	۱۲۵	۵۴۶	۱۱۴	۳۹۵		
۲۲/۴	۱۰۴/۶	۵۴/۱	۲۵۱/۹	۱۴۳/۸	۶۷۰/۲	۲۱۸/۴	۱۰۱۷/۶	۱۱۸/۶	۵۵۲/۴	۸۹/۹	۴۱۹/۱	مورد انتظار	
تعداد واحدهای شبکه‌ای												اطلاعات	
۴۶۰-۴۲۰		۵۰۰-۴۶۰		۵۴۰-۵۰۰		۵۸۰-۵۴۰		۶۲۰ تا ۵۸۰					
a	b	a	b	a	b	a	b	a	b			مشاهده شده	فراوانی
۸۶	۳۴۲	۸	۲۱۸	۶	۸۱	۱	۳۳	۰	۱۶				
۷۵/۶	۳۵۲/۴	۳۹/۹	۱۸۶/۱	۱۵/۴	۷۱/۶	۶	۲۸	۲/۸	۱۳/۲			مورد انتظار	

جدول ۱۱- فراوانی تعداد واحدهای شبکه ای مشاهده شده و مورد انتظار (فراوانی های محاسبه شده) برحسب طول رودخانه ها و آبراهه ها در دو زیر سطح دارای لغزش (a) و بدون لغزش (b)

تعداد واحدهای شبکه ای						اطلاعات	فراوانی
۵۰۰ تا ۷۰۰ متر		۳۰۰ تا ۵۰۰ متر		۱۰۰ تا ۳۰۰ متر			
b	a	b	a	b	a	مشاهده شده	مورد انتظار
۱۱۵۷۰۰	۵۶۸۵۰	۱۳۲۳۵۰	۵۶۵۰۰	۳۰۷۵۰	۱۲۰۰		
۱۱۶۰۵۷	۵۶۴۹۳	۱۲۷۰۲۰/۴	۶۱۸۲۹/۶	۲۸۱۲۰/۹	۱۴۰۲۹/۱		

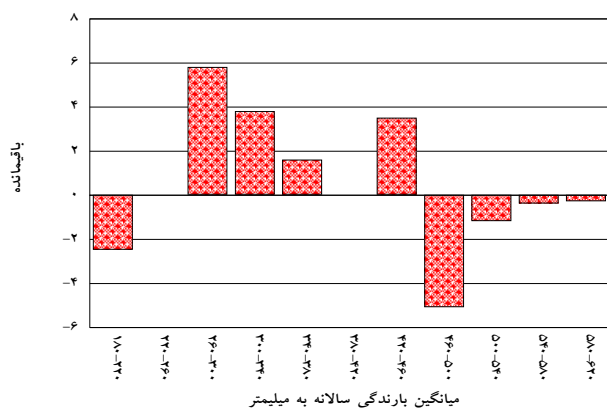
  

تعداد واحدهای شبکه ای						اطلاعات	فراوانی
۱۱۰۰ تا ۱۴۰۰ متر		۹۰۰ تا ۱۱۰۰ متر		۷۰۰ تا ۹۰۰ متر			
b	a	b	a	b	a	مشاهده شده	مورد انتظار
۱۲۰۰	۳۸۰۰	۱۶۵۰۰	۱۲۱۰۰	۲۸۵۰۰	۱۶۸۵۰		
۳۳۶۳	۱۶۳۷	۱۹۲۳۶/۳	۹۳۶۳/۷	۳۰۵۰۲/۴	۱۴۸۴۷/۶		

جدول ۱۲- فراوانی تعداد واحدهای شبکه ای مشاهده شده و مورد انتظار برحسب مساحت ابنیه ها و تعداد چاه های دفع فاضلاب در دو زیر سطح دارای لغزش (a) و بدون لغزش (b)

تعداد واحدهای شبکه ای										اطلاعات	فراوانی
بیشتر از ۰/۰۷ کیلومتر مربع		۰/۰۵ تا ۰/۰۷ کیلومتر مربع		۰/۰۳ تا ۰/۰۵ کیلومتر مربع		۰/۰۱ تا ۰/۰۳ کیلومتر مربع		بدون ابنیه و سازه مهم			
b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	مشاهده ای	مورد انتظار
۶	۲	۸	۳	۹	۷	۲۰	۱۵	۳۶۱۹	۷۶۷		
۶/۶	۱/۴	۹	۲	۱۳/۱	۲/۹	۲۸/۸	۶/۲	۳۶۰۴/۵	۷۸۱/۵		

بیانی دیگر، از ۴۸۳ کیلومتر طول رودخانه و جاده ۱۵۸ کیلومتر آن در واحدهای شبکه ای درگیر لغزش قرار گرفته است (جدول ۱۱). همچنین فراوانی های مشاهده شده نشان می دهند که طول آبراهه ها و جاده ها در واحدهای شبکه ای دارای لغزش نسبت به واحدهای بدون لغزش بیشتر است.



شکل ۸- نمودار افزایشی و کاهششی باقیمانده ها براساس

رده های مختلف عامل میزان بارندگی سالانه

با بیشتر شدن طول رودخانه ها و جاده ها، مقادیر مشاهده شده از مورد انتظار بیشتر شده (افزایش باقیمانده های مثبت) و

بیشتر دامنه هایی با بارندگی ۲۶۰ تا ۴۶۰ میلی متر متشکل از سنگ های مارنی و رس دار میوسن و سنگ های آلتزه شده ائوسن لغزشی هستند بنابراین بارندگی در دامنه های با لیتولوژی های حساس و دامنه های با شیب ملایم می تواند عامل ناپایداری باشد (Uromeihy & MahdaviFar, 2000) نیز معتقدند که آب های زیرزمینی این منطقه بوسیله میزان ریزش های جوی کنترل می شوند و تأثیر این آب ها در وقوع لغزش ها با تغییر رفتار زمین شناسی مهندسی خاک ها و سنگ ها صورت می گیرد.

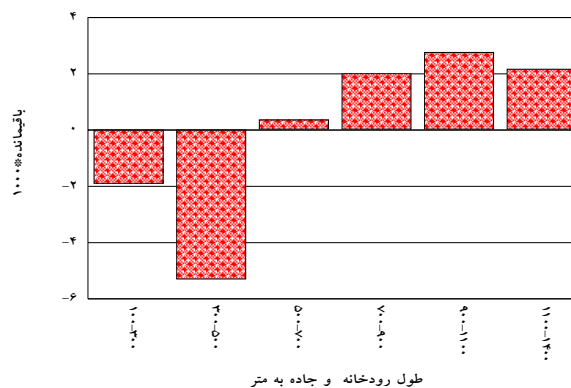
در منطقه مورد مطالعه عامل زیرشویی رودخانه ها و میزان طول جاده ها می توانند در وقوع ۹۵ مورد از ۱۲۰ مورد لغزش اتفاق افتاده (۸۰ درصد از لغزش ها) دخالت مستقیم داشته باشند چرا که بررسی موقعیت رودخانه ها و آبراهه های بالاتر از درجه ۱ و جاده ها نشان می دهد که از ۹۷۸ واحد شبکه ای که شاخه هایی از رودخانه ها و یا جاده ها در آن قرار می گیرند. در ۳۰۶ واحد از آنها حرکات دامنه ای اتفاق افتاده است، به

زمین لغزش‌های منطقه، از روش آزمون مربع کای و ضرایب توافقی استفاده شد. در این آزمون آماری فرضیه صفر با عبارت "وقوع لغزش‌ها از طبقات عوامل مؤثر مستقل‌اند" بیان شده و امکان تأثیر طبقات هر عامل در وقوع لغزش‌های این منطقه مورد ارزیابی قرار گرفته است. مربع کای پیرسون با مقدار  $p$  کمتر از  $0/0005$  نشان می‌دهد که وقوع زمین لغزش با نوع طبقات هر عامل رابطه معنی‌دار قابل توجهی دارد بطوریکه که اگر فرضیه صفر صحیح باشد، یعنی وقوع لغزش تحت تأثیر عوامل مورد نظر بوجود نیامده باشد، کمتر از ۵ در ۱۰۰۰۰ انتظار می‌رود که مقدار مربع کای حداقل به بزرگی اعداد محاسباتی باشد، با توجه به مقادیر بسیار کوچک  $p$ ، فرضیه صفر کاملاً رد می‌شود و تأثیر طبقات عوامل مؤثر در وقوع لغزش‌ها به اثبات می‌رسد، (جدول ۱۳).

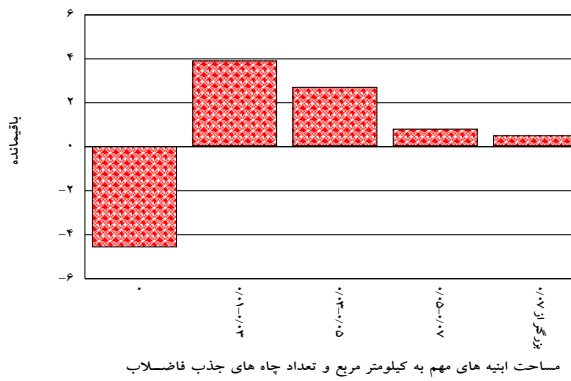
آمار نسبت درست نمایی نیز نتیجه فوق را تأیید نموده و نشان می‌دهد که اختلالات فراوانی‌ها در طبقات مختلف عوامل مؤثر در سطح اطمینان ۱٪ معنی دارند، تمام عوامل مربوط به نوع لیتولوژی، میزان فاصله از گسله‌ها، جهت و درصد شیب دامنه‌ها، نوع کاربری، مقدار بارندگی، طول رودخانه‌ها و جاده‌ها، مساحت ابنیه‌های احداث شده و میزان حجم فاضلاب‌های دفع شده در چاه‌های جاذب می‌توانند در وقوع لغزش‌ها مؤثر باشند، واضح است که میزان و نحوه این تأثیرات متفاوت است.

مقادیر فی ( $\phi$ )، ضریب  $V$  کرامر و توافقی محاسبه شده در (جدول ۱۴) نشان می‌دهند که رابطه بین لیتولوژی و وقوع لغزش قوی بوده و این رابطه در مورد عوامل فاصله از گسله‌ها، جهت و درصد شیب دامنه‌ها و کاربری متوسط ارزیابی شده است. بنابراین در مورد سایر عوامل شدت رابطه به حد ضعیف نیز می‌رسد. براساس مقادیر این ضرایب می‌توان میزان تأثیر طبقات مختلف عوامل را به ترتیب بیان شده در جدول در نظر گرفت، بدین ترتیب بیشترین عامل تأثیر گذار در وقوع لغزش‌های این منطقه نوع لیتولوژی سازندها و کمترین عامل تأثیر گذار، ساخت و ساز ابنیه‌ها و

تأثیر طول رودخانه‌ها و جاده‌ها در وقوع حرکات دامنه‌ای به اثبات می‌رسد (شکل ۹). بررسی‌های (Okamoto et al., 2004) در نروژ نیز نشان می‌دهد که فرسایش و زیرشویی سازندهای رس‌دار یکی از عوامل اصلی وقوع لغزش می‌باشد. تأثیر فرسایش رودخانه‌ای در وقوع بیشتر زمین لغزش‌های منطقه در مطالعات قبلی نیز تأیید شده است (هاشمی طباطبائی، ۱۳۷۷) و (طلائی و همکاران، ۱۳۸۳). همچنین ایجاد ترانشه در مسیر جاده‌ها و راه‌ها به دلیل کاهش نیروی مقاومتی لایه‌ها، ایجاد کانالی برای جریان آب و افزایش نفوذپذیری می‌تواند عاملی در وقوع زمین لغزش‌ها باشد (Ayalew & Yamagishi, 2005).



شکل ۹- نمودار افزایشی و کاهششی باقیمانده‌ها براساس رده‌های مختلف عامل زیرشویی رودخانه‌ها



شکل ۱۰- نمودار افزایشی و کاهششی باقیمانده‌ها براساس رده‌های مختلف عامل مساحت ابنیه‌ها (کیلومتر مربع) و تعداد چاه‌های دفع فاضلاب

#### ب- میزان تأثیر عوامل در وقوع زمین لغزش‌ها

به منظور تجزیه و تحلیل آماری نتایج به دست آمده و تعیین میزان تأثیر هر عامل و طبقات مختلف آنها در وقوع

دفع فاضلاب‌ها می‌باشند.

جدول ۱۳- نتایج آزمون مربع کای ( $\alpha=0/01$ )

درصد شیب دامنه ها		جهت شیب دامنه ها		فاصله از گسله ها		لیتولوژی		عوامل
مقدار	-p مقدار	مقدار	-p مقدار	مقدار	-p مقدار	مقدار	-p مقدار	آماره
۰/۰۰	۴۵	۰/۰۰	۳۱	۰/۰۰	۲۴۳	۰/۰۰	۱۹۲	مربع کای پیرسون
۰/۰۰	۵۴	۰/۰۰	۳۱	۰/۰۰	۲۴۵	۰/۰۰	۱۵۸	نسبت درستمائی
ابنیه ها و دفع فاضلاب		طول رودخانه ها و جاده ها		مقدار بارندگی		کاربری		عوامل
مقدار	-p مقدار	مقدار	-p مقدار	مقدار	-p مقدار	مقدار	-p مقدار	آماره
۰/۰۰	۲۳	۰/۰۰	۱۸۶۷۲	۰/۰۲۸	۱۹	۰/۰۰	۲۹	مربع کای پیرسون
۰/۰۰۱	۱۸	۰/۰۰	۲۲۴۷۶	۰/۰۰۲	۲۷	۰/۰۰	۶۵	نسبت درستمائی

جدول ۱۴- ضرایب همبستگی وابسته به آزمون مربع کای ( $X^2$ )

ضرایب	لیتولوژی	کاربری	فاصله از گسله ها	درصد شیب دامنه ها	جهت شیب دامنه ها	مقدار بارندگی	طول رودخانه ها و جاده ها	ابنیه ها و دفع فاضلاب
فی	۰/۴۲۶	۰/۲۵۶	۰/۲۳۴	۰/۲۰۷	۰/۱۷۳	۰/۱۳۴	۰/۱۹۹	۰/۰۷۳
V کرامر	۰/۴۲۶	۰/۲۵۶	۰/۲۳۴	۰/۲۰۷	۰/۱۷۳	۰/۱۳۴	۰/۱۹۹	۰/۰۷۳
توافق	۰/۳۹۲	۰/۲۴۸	۰/۲۲۷	۰/۲۰۳	۰/۱۷۰	۰/۱۳۳	۰/۱۹۵	۰/۰۷۳

جدول ۱۵- مقادیر شاخص های نسبی کاهش خطا برای هر لایه اطلاعاتی

شاخص نسبی کاهش خطا		لیتولوژی	فاصله از گسله ها	جهت شیب دامنه ها	درصد شیب دامنه ها
معیار گودمن و کروسکال	نوع عامل	۰/۰۲۶	۰/۰۰۶	۰/۰۰۳	۰/۰۱۰
	وقوع زمین لغزش	۰/۱۸۲	۰/۰۵۵	۰/۰۳	۰/۰۳۳
ضریب عدم اطمینان	مقارن	۰/۰۶۵	-	۰/۰۱۳	۰/۰۲۵
	نوع عامل	۰/۰۳۸	-	۰/۰۰۷	۰/۰۱۵
شاخص نسبی کاهش خطا	وقوع زمین لغزش	۰/۰۲۱۶	-	۰/۰۴۳	۰/۰۷۴
	کاربری	۰/۰۴۵	۰/۰۱	۰/۰۰۳	۰/۳۰۰
معیار گودمن و کروسکال	نوع عامل	۰/۰۶۶	۰/۰۱۸	۰/۰۴۰	۰/۰۰۵
	وقوع زمین لغزش	۰/۰۴۶	۰/۰۱۱	۰/۰۲۴	۰/۰۰۷
ضریب عدم اطمینان	مقارن	۰/۰۳۱	۰/۰۰۷	۰/۰۱۸	۰/۰۲۱
	نوع عامل	۰/۰۸۹	۰/۰۳۷	۰/۰۳۸	۰/۰۰۴

### ج- پیش بینی وقوع لغزش در منطقه

این پیش بینی براساس مقادیر ضرایب گودمن و کروسکال و عدم اطمینان صورت می‌گیرد، برای هر عامل مؤثر و میزان تأثیر آن در وقوع لغزش دو مقدار عددی (ضریب) محاسبه شده است، ضریب مربوط به وقوع لغزش‌ها هر چقدر بزرگتر

باشد میزان تأثیر عامل مربوط به آن نیز در وقوع حرکات دامنه ای بیشتر است. با مقایسه اختلاف بین ضرایب، می‌توان میزان تأثیر هر عامل را در وقوع حرکت دامنه‌ای و بطور نسبی بیان کرد. در این پژوهش نیز این ترتیب براساس اختلاف بین مقادیر شاخص محاسبه شده برای نوع عامل مؤثر و وقوع زمین لغزش تعیین شده است.



مقایسه نسبی مقادیر جدول ۱۵ نشان می‌دهد که با دانستن طبقات مختلف هر عامل در یک دامنه از منطقه می‌توان احتمال وقوع لغزش را پیش‌بینی نمود. بر این اساس با دانستن نوع ترکیب سنگ‌شناسی دامنه‌های منطقه، وقوع حوادث را می‌توان به سادگی و با دقت بالا پیش‌بینی نمود ولی با مشاهده زمین‌لغزش در یک دامنه پیش‌گویی نوع طبقات عوامل از اعتبار کمتری برخوردار است. با این نتایج هرچند امکان پیش‌بینی وقوع زمین‌لغزش بوسیله تمام عوامل فراهم شده است، اما به ترتیب دانستن نوع لیتولوژی، فاصله از گسل‌ها، مورفولوژی دامنه‌ها، میزان بارندگی، طول آبراهه‌ها و جاده‌ها می‌توانند در پیش‌بینی وقوع لغزش در دامنه‌های بدون لغزش مورد استفاده قرار گیرند.

**نتیجه‌گیری و پیشنهادات**

ویژگی‌های طبیعی منطقه مورد مطالعه مانند شرایط زمین‌شناسی، تکتونیکی، لیتولوژی، اقلیمی و مورفولوژیکی بستر مناسبی را برای وقوع زمین‌لغزش بوجود آورده است، وقوع زمین‌لغزش در ۱۳ درصد از مساحت منطقه خود مؤید این ادعا است. نتایج بررسی جداول توافقی و مقادیر باقیمانده‌های محاسبه شده نشان می‌دهد که بیشترین تعداد و مساحت لغزش‌ها بر روی سازندهای قرمز فوقانی مربوط به میوسن و در سازندهای آتشفشانی ائوسن آتره شده به علت وجود رس، مارن و گلی رخ داده‌اند. علاوه بر عامل سنگ‌شناسی بیشترین مقدار لغزش در کاربری زراعی و باغی به میزان ۹۷۱۵/۵۳ هکتار، در فاصله ۶ تا ۱۸ کیلومتری از گسل‌های اصلی به میزان ۸۰۴۷/۵ هکتار، در شیب ۵ تا ۲۰ درصد به میزان ۹۱۵۷/۵ هکتار به علت قرار گرفتن بر روی سازندهای رس‌دار، در جهات شیب شمال‌شرقی به میزان ۲۰۰۰ هکتار و با بارندگی سالانه ۲۶۰ تا ۴۶۰ میلیمتر به میزان ۱۳۵۱۴/۲۵ هکتار به دلیل لیتولوژی و شیب ملایم به وقوع پیوسته‌اند. در ۸۰ درصد از لغزش‌های اتفاق افتاده در منطقه، عامل زیرشویی رودخانه‌ها دخالت مستقیم داشته است. نتایج تجزیه و تحلیل آماری به روش مربع کای و

ضرایب مربوطه نشان داد که لیتولوژی مؤثرترین عامل در وقوع لغزش‌های منطقه است و سایر عوامل را می‌توان به ترتیب تأثیر آنها، کاربری، فاصله از گسل‌ها، درصد شیب، جهات شیب، میزان بارندگی، طول آبراهه‌ها و جاده‌ها، مساحت ابنیه‌ها و سازه‌های احداث شده و دفع فاضلاب‌های منازل بصورت چاه جاذب در نظر گرفت. خاک‌های حاوی کانی‌های رسی در دامنه‌های این منطقه، بر اثر افزایش رطوبت و اشباع شدن، خواص مکانیکی ویژه‌ای پیدا کرده و در مقابل آب واکنش‌های پیچیده‌ای از جمله خاصیت انبساطی، واگرایی و فروریزنده نشان می‌دهند، با افزایش آب در دامنه‌ها فاصله بین ورقه‌های کانی‌های رس بیشتر شده و با انبساط آنها مقاومت برشی خاک‌ها کاهش یافته حرکات دامنه‌ای به وقوع می‌پیوندد. به طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که در شیب‌های کمتر از ۵ درجه تورم و انقباض خاک‌های رسی موجب خرابی ابنیه‌ها، باغ‌ها و زمین‌های زراعی شده و در شیب‌های بالاتر از ۵ درجه تورم خاک و خزش دامنه‌ها و در نهایت وقوع لغزش عارضه عمومی می‌باشد، لذا وجود رس و برقراری بعضی از شرایط دیگر مانند رطوبت، توپوگرافی مناسب و تحریکات حاصل از دخالت‌های بشری باعث افزایش احتمال وقوع لغزش در منطقه می‌شود. چنین رفتاری از رس‌ها در مناطق مختلف دیگر نیز توسط محققین مختلف از جمله (Sherard et al., 1997)، (Gromko, 1974)، (Hunt, 1984)، (Shuzui, 2001)، (Eberhardt et al., 2005) به اثبات رسیده است. اختلاف مقادیر ضرایب گودمن و کروسکال و عدم اطمینان در مورد طبقات مختلف عامل لیتولوژی و وقوع لغزش نشان می‌دهد که سنگ‌شناسی سازندهای زمین‌شناسی مهمترین و بهترین شاخص برای پیش‌بینی وقوع لغزش در دامنه‌های این منطقه می‌باشد. در چند سال گذشته محققین دیگری نیز در نقاط مختلف دنیا با استفاده از روش آماری مربع کای و ضرایب آن سعی کرده‌اند عوامل مؤثر اصلی در وقوع لغزش‌ها را تعیین کرده و روابط بین آنها را نشان دهند، که از بین آنها می‌توان به مطالعات (Gritzner et al., 2001)

مقایسه نسبی مقادیر جدول ۱۵ نشان می‌دهد که با دانستن طبقات مختلف هر عامل در یک دامنه از منطقه می‌توان احتمال وقوع لغزش را پیش‌بینی نمود. بر این اساس با دانستن نوع ترکیب سنگ‌شناسی دامنه‌های منطقه، وقوع حوادث را می‌توان به سادگی و با دقت بالا پیش‌بینی نمود ولی با مشاهده زمین‌لغزش در یک دامنه پیش‌گویی نوع طبقات عوامل از اعتبار کمتری برخوردار است. با این نتایج هرچند امکان پیش‌بینی وقوع زمین‌لغزش بوسیله تمام عوامل فراهم شده است، اما به ترتیب دانستن نوع لیتولوژی، فاصله از گسل‌ها، مورفولوژی دامنه‌ها، میزان بارندگی، طول آبراهه‌ها و جاده‌ها می‌توانند در پیش‌بینی وقوع لغزش در دامنه‌های بدون لغزش مورد استفاده قرار گیرند.

### نتیجه‌گیری و پیشنهادات

ویژگی‌های طبیعی منطقه مورد مطالعه مانند شرایط زمین‌شناسی، تکتونیکی، لیتولوژی، اقلیمی و مورفولوژیکی بستر مناسبی را برای وقوع زمین‌لغزش بوجود آورده است، وقوع زمین‌لغزش در ۱۳ درصد از مساحت منطقه خود مؤید این ادعا است. نتایج بررسی جداول توافقی و مقادیر باقیمانده‌های محاسبه شده نشان می‌دهد که بیشترین تعداد و مساحت لغزش‌ها بر روی سازندهای قرمز فوقانی مربوط به میوسن و در سازندهای آتشفشانی ائوسن آتره شده به علت وجود رس، مارن و گلی رخ داده‌اند. علاوه بر عامل سنگ‌شناسی بیشترین مقدار لغزش در کاربری زراعی و باغی به میزان ۹۷۱۵/۵۳ هکتار، در فاصله ۶ تا ۱۸ کیلومتری از گسل‌های اصلی به میزان ۸۰۴۷/۵ هکتار، در شیب ۵ تا ۲۰ درصد به میزان ۹۱۵۷/۵ هکتار به علت قرار گرفتن بر روی سازندهای رس‌دار، در جهات شیب شمال‌شرقی به میزان ۲۰۰۰ هکتار و با بارندگی سالانه ۲۶۰ تا ۴۶۰ میلیمتر به میزان ۱۳۵۱۴/۲۵ هکتار به دلیل لیتولوژی و شیب ملایم به وقوع پیوسته‌اند. در ۸۰ درصد از لغزش‌های اتفاق افتاده در منطقه، عامل زیرشویی رودخانه‌ها دخالت مستقیم داشته است. نتایج تجزیه و تحلیل آماری به روش مربع کای و

رس‌های دامنه‌های مستعد لغزش جلوگیری کرده و از زیرشویی آنها توسط رودخانه‌ها ممانعت بعمل آورد، همچنین با کنترل زمان و مدت آبیاری باغات و زراعت آبی و دفع اصولی فاضلاب نیز می‌توان بر پایدارسازی بیشتر دامنه‌ها کمک کرد.

در منطقه Idaho ایالات متحده آمریکا، (Knapen et al, 2006) در اوگاندا و (Komac, 2006) در اسلونی اشاره کرد. در نهایت علل اصلی وقوع لغزش‌ها در منطقه جهت جلوگیری از وقوع لغزش‌های جدید و یا پایدارسازی دامنه‌های ناپایدار می‌توان در مرحله اول از اشیاع شدن

## منابع

- اسماعیلیان، مهدی (۱۳۸۵) راهنمای جامع SPSS14. موسسه فرهنگی هنری دیباگران تهران. ۵۷۶ صفحه.
- انصاری، فرهاد. و بلورچی، محمدجواد (۱۳۷۴) زمین لغزش در استان اردبیل، مدیریت لرزه زمین ساخت و ژئوتکنیک، سازمان زمین شناسی کشور. ۴۶ صفحه.
- حائری، سید محسن، سمیعی، امیر حسین (۱۳۷۶) روش جدید پهنه بندی مناطق شیب دار در برابر خطر لغزش زمین با تاکید بر بررسی های پهنه بندی استان مازندران. فصلنامه علمی پژوهشی علوم زمین. شماره ۲۳-۲۴: ۱۵-۲.
- طلائی، رضا، غیومیان، جعفر، شریعت جعفری، محسن، علی اکبرزاده، اسماعیل (۱۳۸۳) بررسی عوامل مؤثر در لغزش خیزی جنوب غرب خلخال. سازمان تحقیقات و آموزش کشاورزی وزارت جهاد کشاورزی، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، ۱۵۳ صفحه.
- فاطمی عقدا، سید محمود، غیومیان، جعفر و اشغلی فراهانی، عقیل (۱۳۸۲) ارزیابی کارایی روش های آماری در تعیین پتانسیل خطر زمین لغزش. فصلنامه علمی پژوهشی علوم زمین، شماره ۴۷-۴۸: ۴۸-۴۷.
- کمک پناه، علی، حافظی مقدسی، ناصر (۱۳۷۳) روشهای پهنه‌بندی خطر لغزش. مجموعه مقالات اولین کارگاه تخصصی بررسی راهبردهای کاهش خسارات زمین لغزه در کشور. موسسه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله. صفحه ۳۹۰ تا ۴۱۴.
- مهدویفر، محمدرضا (۱۳۷۶) پهنه بندی خطر زمین لغزش منطقه خورش رستم (جنوب غرب شهرستان خلخال). پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۵۵ صفحه.
- نیک اندیش، نسرين، میرصانعی، رضا (۱۳۷۴) نگرشی بر زمین لغزش ای استان اردبیل. معاونت آبخیزداری، ۶۳ صفحه.
- هاشمی طباطبائی، سعید (۱۳۷۷) پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در بخشی از استان اردبیل. وزارت مسکن و شهرسازی. مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن. سازمان مسکن و شهر سازی استان اردبیل. جلد ۲، ۷۲ صفحه.
- Aleotti P, Ghowdhury R (1999) Landslide hazard assessment: summary review and new perspectives. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment* 58: 21-44.
- Anbalagan R (1992) Landslide hazard evaluation and zonation mapping in mountainous terrain. *Eng. Geol.* 32: 269-277.
- Ayalew L, Yamagishi H (2005) The application of GIS-based logistic regression for landslide susceptibility mapping in the Kakuda-Yahiko Mountains, Central Japan. *Geomorphology* 65:15-31.
- Carrara A (1989) Landslide hazard mapping by statistical methods: a "black box" model approach. In: Siccardi F, Bras RL (Eds) Proc., Int. Workshop on Natural Disasters in European-mediterranea Countries, C. D. S., Genova, 205-224.
- Carrara A, Cardinali M, detti R, Guzzeti F, Pasqui V, Reichenbach P (1991) GIS techniques and statistical models in evaluating landslide hazard. *Earth Surf. Processes Landforms* 16: 427-445.
- Chung CJ (2006) Using likelihood ratio functions for modeling the conditional probability of occurrence of future landslides for risk assessment. *Computers and geosciences* 32: 1052-1068.
- Dai FC, Lee CF, Hgai YY (2002) Landslide risk assessment and management: An overview. *Engineering Geology* 64: 65-87.

- Derose RC (1991) Post deforestation soil loss from steepland-hillslopes in Taranaki; New Zealand earth surface processes and land form. Vol. 18.
- Donati L, Turrini MC (2002) An objective method to rank the importance of the factors predisposing to landslides with the GIS methodology: application to an area of the Apennines (Valnerina, Perugia, Italy). *Engineering Geology* 63: 277-289.
- Duman TY, Can T, Gokceoglu C, Nefesliglu HA, Sonmes H (2006) Application of logistic regression for landslide susceptibility zoning of Gekmece Area, Istanbul, Turkey. *Environ Geol* 51: 241- 256.
- Eberhardt E, Thuro K, Luginbuehl (2005) Slope instability mechanisms in dipping interbedded conglomerates and weathered marls- the 1999 Rufi landslide, Switzerland. *Engineering Geology* 77: 35-56.
- Gómez H, Kavzoglu T (2005) Assessment of shallow landslide susceptibility using artificial neural networks in Jabonosa River Basin, Venezuela. *Engineering Geology* 78: 11-27.
- Gritzner ML, Marcus WA, Aspinall R, Custer SG (2001) Assessing landslide potential using GIS, soil wetness modeling and topographic attributes, Payette River, Idaho. *Geomorphology* 37: 149-165.
- Gromko GJ (1974) Review of expansive soils. *Journal of the geotechnical engineering, ASCE*, Vol. 100. 6: 667-687.
- Guariguata MR (1990) Landslide disturbance and forest regeneration in the Upper Luquillo Mountains of Puerto Rico. *J. Ecol.* 78:814-832.
- Hunt RE (1984) *Geotechnical engineering investigation manual*. McGraw Hill, 896 pp.
- Iida T (1999) A stochastic hydro-geomorphological model for shallow landsliding due to rainstorm. *Catena* 34: 293-313.
- Jibson RW, Keefer DK (1988) Statistical analysis of factors affecting landslide distribution in the New Madrid seismic zone, Tennessee and Kentucky. In: Johnson AM, Burnham CW, Allen CR Muehlberger W (Eds.) *Richard H Jahns Memorial Volume, Eng. Geol.* 27: 509-542.
- John RD, Anne-Gaelle A, James DS, Lavs B (2006) Validation of a region-wide model of landslide susceptibility in the Manawatu-Wanganui region of New Zealand. *Geomorphology* 1-4: 70-79.
- Kinney PR and Gray CD (1999) *SPSS for Windows made simple*. (3<sup>rd</sup> ed.) Hove(UK): Psychology Press. 433 pp.
- Knapen A, Kitutu MG, Poesen J, Breugelmans W, Deckers J, Muwanga A (2006) Landslides in a densely populated county at the footslopes of Mount Elgon(Uganda): Characteristics and causal factors. *Geomorphology* 73: 149-165.
- Komac M (2006) A landslide susceptibility model using the Analytical Hierarchy Process method and multivariate statistics in perialpine Slovenia. *Geomorphology* 74: 17-28.
- Lan HX, Zhou CH, Wang LJ, Zhang HY and Li RH (2004) Landslide hazard spatial analysis and prediction using GIS in the Xiaojiang watershed, Yunnan, China. *Engineering Geology* 76: 109-128.
- Maharaj RJ (1993) Landslide processes and landslide susceptibility analysis from an upland watershed: a case study from St. Andrew, Jamaica, West Indies. *Eng. Geol.* 34: 53-79.
- Mehrotra G, Kanungo D, Mahadeviah K (1996) Landslide hazard assessment- A need for environmental management. *Proc. 7<sup>th</sup> International Symposium on Landslides, Trondheim, Norway*: 315-320.
- Okamoto T, Larsen JO, Matsuura S, Asano S, Takeuchi Y, Grande L (2004) Displacement properties of landslide masses at the initiation of failure in quick clay deposits and the effects of meteorological and hydrological factors. *Engineering Geology* 72: 233-251.
- O'Neill MW, Neder P (1980) Methodology for foundations on expansive clays. *Journal of the geotechnical engineering division, clay, gt 12* : 1345-1366.
- Pike RJ (1988) The geometric signature: quantifying landslide terrain type from digital elevation models. *Math. Geol.* 20: 491-511.
- Prandina L, Guidicini G, Bottura JA, Poncao W, Cantos AR (1977) Behavior of the vegetation in slope stability: A critical review. *Int. Ass. Engr. Geol. Bull.*, vol. 16. pp. 551
- Rautela P, Lakhera RC (2000) Landslide risk analysis between Giri and Tons Rivers in Himachal Himalaya(India). *JAG*, Vol. 2, 3/4: 153-160.
- Saldivar-Sali A, Einstein HH (2007) A landslide risk rating system for Baguio, Philippines. *Engineering Geology*, Article in press.
- Sherard GI, Dunnigan LP, Decher RS (1977) Some engineering problems with dispersive clay. *ASTM STP* 623: 3-12.
- Shuzui H (2001) Process of slip-surface development and formation of slip-surface clay in landslides in Tertiary volcanic rocks, Japan. *Engineering Geology* 61:199-219.
- Siegel S, Castellen NJ (1988) *Nonparametric statistics for the behavioral sciences*. (2<sup>nd</sup> ed.). New York: McGraw-Hill. 372 pp.
- Steel RGD, Torrie JH (1997) *Principles and procedures of statistics, A biometrical approach*, 2<sup>nd</sup> ed., McGraw-Hill Co., New York. 666 pp.
- Thomas G (2003) Landslide occurrence as a response to land use change : a review of evidence from New Zealand. *Catena*, Vol. 51, 1-3: 297-314.

- 
- Uromeihy A, Mahdavi MR (2000) Landslide hazard zonation of the Khorshrostan area, IRAN. *Bull. Eng. Geol. Env.* 58 : 207-213.
- Walker L R, Zarin DJ, Fetcher N, Myser RW, Johnson AH (1996) Ecosystem development and plant succession on landslides in the Caribbean. *Biotropica* 28: 566-576.
- Wang C, Esaki T, Xie M, Qui C (2006) Landslide and debris-flow hazard analysis and prediction using GIS in Minamata-Hougawachi area, Japan. *Environ. Geol.* 51:91-102.
- Yesilnacar E, Topal T (2005) Landslide susceptibility mapping: A comparison of logistic regression and neural networks methods in a medium scale study, Hendek region(Turkey). *Engineering Geology* 79: 251-266.
- Zhang WJ, Chan YM, Zhan LT (2006) Loading/unloading response ratio theory applied in predicting deep-seated landslide triggering. *Eng. Geol.* Vol. 82 , 4: 234-240.
- Zhou G, Esaki T, Mitani Y, Xie M, Mori J (2003) Spatial probabilistic modeling of slope failure using an integrated GIS Monte Carlo simulation approach. *Eng. Geol.* 68: 373-386.