

## نقش پارامتر شیب دامنه در بروز خطا در پهنه بندی خطر زمین لغزش

حسین معاریان

دانشیار دانشکده مهندسی معدن - پردیس دانشکده های فنی - دانشگاه تهران

مرتضی سیارپور

دانشجوی دکتری مهندسی نفت - دانشگاه تگزاس - آمریکا

(تاریخ دریافت ۸۲/۱۲/۲۷، تاریخ دریافت روایت اصلاح شده ۸۴/۳/۲۲، تاریخ تصویب ۸۴/۷/۱۶)

### چکیده

از لحاظ تئوری، با افزایش میزان شیب دامنه، پتانسیل ناپایداری آن افزایش می یابد. از طرفی، بررسی آماری پارامتر شیب نشان می دهد که در کلاسها و گروه های شیبی بالا تر تراکم ناپایداری کمتر است. این ناسازگاری منشاء بروز برخی خطاهای سیستماتیک در پهنه بندی خطر زمین لغزش، خصوصاً در وزندهیهای بینا است. در مقاله حاضر عوامل بروز خطا در پارامتر شیب و جهت شیب، با استفاده از داده های پهنه بندی زمین لغزش در شمال غرب ایران (منطقه کلور خلخال) و بانک اطلاعات زمین لغزش کشور، مورد بررسی قرار گرفته است. به دنبال پیشرفت ناپایداری و وقوع گسیختگی، مقدار متوسط شیب دامنه کاهش می یابد و مصالح لغزیده در شیب کمتری نسبت به شیب اولیه قرار می گیرند. همین شیب نهایی معمولاً در امتیازدهی پارامتر شیب به کارگرفته می شود. از طرفی، مساحت نقشه ای واحدها، به خصوص در دامنه های پرشیب تر، به مراتب از مساحت واقعی آنها بیشتر است. این مسئله نیز باعث بروز خطای سیستماتیک در امتیازدهی به پارامتر شیب و دیگر پارامترها می گردد. بررسی میزان تراکم ناپایداریها در جهات هشت گانه شیب دامنه در منطقه مورد بررسی نیز نشانگر آنست که تراکم سطحی زمین لغزشها در دامنه های روبه شمال و شمالشرق بیشتر و در دامنه های روبه غرب و جنوبغرب کمتر از متوسط تراکم سطحی ناپایداری دامنه ای در کل منطقه است. در مقاله حاضر راهکارهایی برای رفع کاستیهای فوق ارائه شده است.

**واژه های کلیدی:** ناپایداری دامنه ها، زمین لغزش، نقشه پهنه بندی، پهنه بندی بینا، پارامتر شیب دامنه،

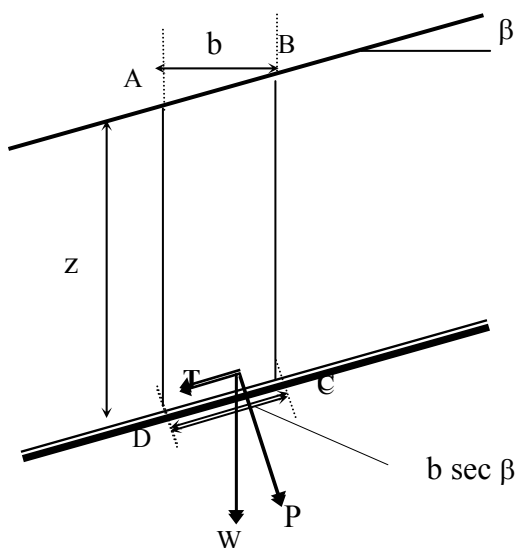
### مقدمه

شیب دامنه، همراه عواملی چون سنگ شناسی، بارندگی و زمینلرزه، به عنوان پارامترهای اساسی، تقریباً در تمامی الگوهای به کار رفته در پهنه بندی خطر زمین لغزشها به کار گرفته می شوند. از لحاظ تئوری، دامنه ای که مصالح یا شرایط ناپایداری دارد، افزایش مقدار شیب باعث افزایش میزان مؤلفه نیروی وزن در راستای شیب دامنه و یا سطح لغزش می گردد. لذا در شرایطی که پارامترهای مقاومتی در دامنه ای یکسان باشند، میزان حساسیت به لغزش دامنه های با شیب بیشتر، متناسب با افزایش شیب دامنه، با رابطه ای سینوسی افزایش می یابد.

$$F_i = mg (\sin\beta - \mu \cos\beta)$$

(۱)

در این رابطه،  $F_i$  نیروی پائین برنده در راستای شیب دامنه،  $mg$  وزن بخش ناپایدار،  $\mu$  ضریب اصطکاک بین فصل مشترک بخش ناپایدار و پایدار و  $\beta$  زاویه شیب دامنه است. در شکل (۱) الگوئی ساده از نیروهای موثر بر عنصری از دامنه ناپایدار نشان داده شده است.



شکل ۱: نحوه توزیع و تأثیر نیروی وزن در عنصری از دامنه.

مقادیر تنش قائم ( $\sigma_n$ ) و تنش برشی ( $\tau$ )، ناشی از نیروی وزن ( $w$ )، با رابطه های ۲ و ۳ ارائه می گردد.

ثبت شده در دیگر نقاط ایران، در قالب بانک اطلاعاتی زمین لغزشهای ایران (گروه بررسی زمین لغزشها، ۱۳۷۹) ملاک اصلی تجزیه و تحلیل‌های بررسی حاضر است. در این مقاله با بررسی پارامتر شیب دامنه، تضادها و ناهمخوانیهای موجود بین فرضیات و مشاهدات، و میزان تأثیر پارامتر شیب دامنه در پهنه بندی خطر زمین لغزش معرفی شده و تا حد امکان چگونگی رفع این کاستیها ارائه می شود.

## پارامتر شیب دامنه در پهنه بندی خطر زمین لغزش

### نقش مقدار شیب دامنه

در پهنه بندی خطر زمین لغزشها، اعم از پهنه بندی با وزندهی بینا<sup>۱</sup> یا کور<sup>۲</sup>، با شبکه بندی منظم<sup>۳</sup> یا نامنظم، و در تمامی مقیاسها، پارامتر شیب دامنه به عنوان یکی از لایه های اصلی اطلاعاتی در نظر گرفته میشود. از نظر تئوری و به طور متعارف، با افزایش مقدار شیب در واحدهای تفکیک شده، امتیاز بالاتری برای آن واحد در گروه بندی مقدار شیب دامنه، در نظر گرفته می شود. نکته ای که باید به آن توجه داشت این است که روشهای در نظر گرفتن پارامتر شیب دامنه و امتیازدهی به آن تا حدی با یکدیگر متفاوتند.

به طور کلی نحوه تأثیر پارامتر شیب دامنه در پهنه بندی را می توان به دو دسته مستقیم و غیرمستقیم تفکیک کرد. در روش مستقیم اندازه گیری شیب دامنه، به توسط شمارش تعداد خطوط تراز توپوگرافی واقع در طول مشخصی از نقشه حاصل می شود. مقدار شیب دامنه در این حالت از رابطه ۴ قابل محاسبه است.

$$\text{tg } \beta = 1000 S \Delta h / \Delta d$$

(۴)

در این رابطه،  $\Delta d$  فاصله دو خط تراز متوالی به میلی متر،  $\Delta h$  اختلاف ارتفاع بین دو خط تراز متوالی به متر، S مقیاس نقشه و  $\beta$  مقدار شیب دامنه است. در روش غیر مستقیم از اختلاف ارتفاع نسبی موجود در واحد شبکه به عنوان جایگزینی برای لایه شیب استفاده می گردد (Maharaj 1993). لازم به ذکر است که در مواردی، به طور همزمان از هر دو پارامتر مقدار شیب دامنه و اختلاف ارتفاع نسبی واحد استفاده شده است (جدول ۱).

$$\begin{aligned} \sigma_n &= P / b \sec \beta = \gamma b z \cos \beta / b \sec \beta \\ &= \gamma z \cos \beta \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \tau &= T / b \sec \beta = \gamma b z \sin \beta / b \sec \beta \\ &= \gamma z \sin \beta \cos \beta = \gamma z \sin 2\beta / 2 \end{aligned} \quad (3)$$

همچنانکه در روابط ۲ و ۳ دیده می شود، با افزایش میزان شیب دامنه، تنش قائم کاهش و تنش برشی و نیروی پائین برنده موازی با مولفه شیب دامنه ( $F_i$ )، افزایش می یابد. به این ترتیب؛ بخش عمده ای از نیروی وزن به صورت تنش برشی ظاهر شده، کاسته شدن ضریب اطمینان را به دنبال دارد. با توجه به چگونگی تأثیر شیب دامنه در بروز ناپایداریهای دامنه ای، افزایش میزان شیب دامنه به عنوان عاملی در افزایش پتانسیل ناپایداری در نظر گرفته شده و بدون استثنا در تمامی پهنه بندی های خطر زمین لغزش، به کار گرفته می شود.



شکل ۲: موقعیت منطقه کلور - هشتجین در جنوب شهر خلخال در استان اردبیل واقع در شمال غرب ایران.

در مقاله حاضر، با توجه به اطلاعات گردآوری شده از بررسیهای صحرایی در شمالغرب ایران (محدوده کلور - هشتجین واقع در جنوب خلخال از استان اردبیل)، برخی از خطاهای سیستماتیک، که در به کارگیری عامل شیب دامنه بروز می کند، ارائه می شود. منطقه مورد مطالعه (شکل ۲)، با حدود ۱۰ درصد سطحی ناپایداری دامنه ای، یکی از مناطق پر پتانسیل این پدیده در ایران محسوب می گردد. بررسی آماری پارامتر شیب دامنه در بخشی از این منطقه، با وسعت ۶۰۵ کیلومتر مربع، که غالباً دارای ناپایداریهای دامنه ای از نوع لغزش می باشد (۹۱ درصد از کل ناپایداریها)، و نیز اطلاعات ۳۲۵۱ مورد زمین لغزش

جدول ۱: رده بندی مقدار شیب و اختلاف ارتفاع نسبی دامنه توسط مولفین مختلف.

منبع	کلاس شیب یا اختلاف ارتفاع						واحد	ملاک رده بندی
	۶	۵	۴	۳	۲	۱		
Anbalagan (1992)	-	۲۵<	۱۹-۲۵	۱۳-۱۸	۸-۱۲	<۷		تعداد خطوط تراز در ۱cm طول نقشه
Anbalagan (1992)	-	۴۵<	۳۶-۴۵	۲۶-۳۵	۱۶-۲۵	<۱۵	درجه	مقدار شیب واحد
Pachauri (1992)	-	۴۰<	۳۰-۴۰	۲۰-۳۰	۱۰-۲۰	<۱۰	درجه	مقدار شیب واحد
Maharaj (1993)	-	۴۵<	۳۰-۴۵	۲۰-۳۰	۱۰-۲۰	<۱۰	درجه	مقدار شیب واحد
حائری، سمعی (۱۳۷۷)	۴۵<	۳۶-۴۵	۲۶-۳۵	۱۶-۲۵	۶-۱۵	<۵	درجه	مقدار شیب واحد
TC4 (1993)	۸۰۰<	۵۰۱-۸۰۰	۳۰۱-۵۰۰	۱۷۶-۳۰۰	۷۶-۱۷۵	<۷۵	m/km <sup>2</sup>	اختلاف ارتفاع نسبی
Pachauri (1992)	-	۸۰۰<	۶۰۰-۸۰۰	۴۰۰-۶۰۰	۲۰۰-۴۰۰	۲۰۰<	m	اختلاف ارتفاع نسبی واحد

پارامتری به چگالی متوسط ناپایداری در منطقه، به دست می آید، اهمیت ویژه ای پیدا می نماید. از سوی دیگر، بررسی های آماری و تحلیلی انجام شده در مورد شیب دامنه در محل های گوناگون، علیرغم فرضیه های تئوریک موجود، نشانگر عدم افزایش چگالی ناپایداری در کلاس شیب های تندتر، به نسبت شیب های ملایم تر، است.

#### نقش جهت شیب دامنه

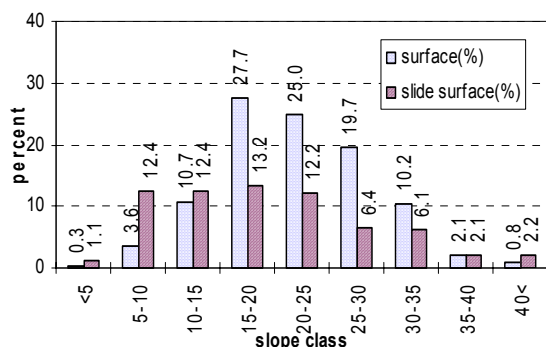
جنبه دیگری از تأثیر پارامتر شیب در ایجاد ناپایداری های دامنه ای، جهت شیب دامنه است. گرچه به کارگیری این پارامتر، همانند مقدار شیب دامنه در الگوهای پهنه بندی خطر زمین لغزش رایج نمی باشد، لیکن در مناطقی که در طی ماه های مختلف سال اختلاف فاحشی در دمای دامنه های رو به آفتاب و پشت به آفتاب وجود دارد، و این نوسان دما، در محدوده بالاتر و پائین تر از نقطه انجماد آب (خصوصاً در دامنه های برف گیر) صورت می گیرد، بین توزیع فراوانی ناپایداری های دامنه ای و جهت شیب دامنه ارتباط معنی داری برقرار می گردد. به نحوی که تراکم ناپایداری های دامنه ای در دامنه های شمالی (پشت به آفتاب) افزایش و در دامنه های جنوبی (رو به آفتاب) کاهش می یابد.

#### شیب دامنه های لغزشی در ایران

نتایج حاصل از بررسی ۳۲۵۱ مورد زمین لغزش ثبت شده در ایران تا تابستان ۱۳۷۹، که در قالب بانک اطلاعاتی زمین لغزش های ایران و تحت نظارت گروه بررسی زمین لغزش های وزارت جهادکشاورزی در دست تکمیل است، نشانگر این است که شیب دامنه ها پس از

بررسی های آماری پارامتر شیب دامنه برای زمین لغزش های به وقوع پیوسته در سوئد، کانادا و نروژ نشان داده است که هیچ زمین لغزشی در اولین ناپایداری، در شیب کمتر از ۸ درجه رخ نداده است. از این رو، در این مناطق از شیب ۱۰ درصد به عنوان ملاک پایه در تهیه نقشه خطر استفاده شده است (Berggren et al, 1992). در یک بررسی در منطقه کاواگوچی<sup>۴</sup> ژاپن، پارامتر شیب با در نظر گرفتن شبکه ای منظم به ابعاد یک سانتی متر در نقشه توپوگرافی ۱:۵۰,۰۰۰، مورد بررسی قرار گرفت (Fujita 1980). نتایج به دست آمده از این بررسی نشان داد که زمین لغزش های به وقوع پیوسته در سنگ های سخت و مقاوم برای اولین بار غالباً در شیب های بالاتر از ۳۰ درجه رخ می دهند و پس از رخداد، اکثر آنها بی که در شیبی کمتر از ۳۰ درجه مستقر می شوند، حرکات آرامی را از خود نشان می دهند. در شیب های کمتر از ۲۵ درجه اکثر زمین لغزشها غیرفعال و پایدار می گردند. در ژاپن دو دسته بندی کلی بر مبنای میزان شیب دامنه در نظر گرفته شده است. به این نحو که حرکات رخ داده در شیب های کمتر از ۳۰ درجه تحت عنوان کلی زمین لغزش<sup>۵</sup> و در شیب های بالاتر از آن، تحت عنوان گسیختگی دامنه ای<sup>۶</sup> تقسیم بندی شده اند (Fujita 1980). این تقسیم بندی از این جهت حائز اهمیت است که در پهنه بندی های بینای خطر زمین لغزش میزان تراکم زمین لغزشها در کلاس های شیب به عنوان ملاکی جهت وزن دهی ها به کار گرفته می شود، به عنوان مثال در پهنه بندی به روش ارزش اطلاعاتی<sup>۷</sup>، که میزان خطر برای هر واحد از حاصل جمع لگاریتم های نسبت چگالی ناپایداری هر کلاس

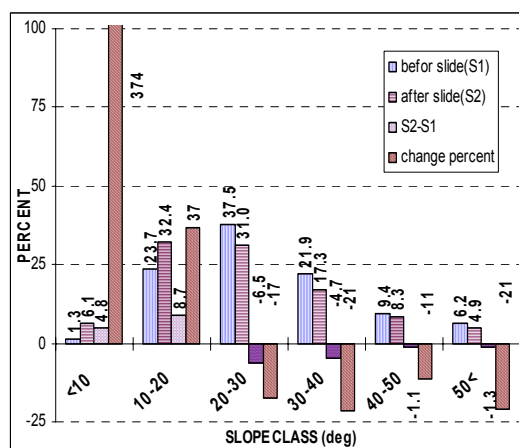
بندی خطر زمین لغزش در ایران انجام شده نیز نشانگر عدم افزایش یکنواخت درصد سطحی ناپایداریها در شیبهای تند، به نسبت شیبهای ملایم تر است. شکل (۴) فراوانی نسبی کلاسه‌های شیب، و درصد سطحی ناپایداری دامنه ای مشاهده شده در ۲۴۲۰ واحد مربعی شکل، به ضلع ۵۰۰ متر، را در کلیه دامنه های منطقه کور جنوب خلخال، در قالب دسته بندی با فواصل پنج درجه ای نشان می دهد. در این منطقه میانگین شیب دامنه ها ۲۱/۸ درجه و متوسط درصد سطحی ناپایداری ۱۰/۴۴، به دست آمده است، در وزن دهی بینا، خصوصاً در پهنه بندی به روش ارزش اطلاعاتی و منظور نمودن تراکم سطحی، از نسبت درصد مساحت بخش ناپایدار در کلاسه‌های مورد وزن دهی، به درصد مساحت متوسط ناپایداری در کل منطقه، استفاده می شود. از این رو، نحوه دسته بندی کلاسه‌ها، به واسطه تأثیر در مقادیر تراکمی ناپایداری در گروه بندی ها، نقش مهمی در میزان امتیازدهی و صحت نقشه پهنه بندی خطر نهائی ایفا می نماید.



شکل ۴: درصد سطحی - درصد سطحی ناپایداری، در کلاسه‌های مختلف شیب دامنه در منطقه کور.

بررسی پارامتر مقدار شیب دامنه در منطقه کور، با تفکیک واحدها به ۱۷۶۷ واحد غیرلغزشی و ۶۵۳ واحد لغزشی، نشانگر آنست که متوسط شیب دامنه در دامنه های غیرلغزشی ۲۲/۲ درجه است، حال آنکه متوسط شیب دامنه های لغزشی ۲۰/۸ درجه است که تقلیل شیب دو درجه ای را در دامنه های منطقه نشان می دهد. بررسی دقیقتر میزان تقلیل شیب دامنه، بر مبنای درصد سطحی ناپایداری واقع شده در هر واحد شبکه، در جدول (۲) نشان داده شده است. نتایج به دست آمده از بررسی شیبهای لغزشی و غیرلغزشی در منطقه

لغزش به طور متوسط ۴/۲۲ درجه کاهش می یابد. بررسی ۱۷۷۹ مورد از این اطلاعات ثبت شده نشان دهنده آن است که متوسط شیب دامنه های لغزشی قبل از لغزش ۳۰/۲۲ درجه و بعد از لغزش ۲۶/۰۱ درجه می باشد. ۳۷/۵ درصد از کل دامنه های لغزیده قبل از ناپایداری در کلاس شیبهای بالاتر از ۲۰ تا مساوی ۳۰ درجه قرار داشته اند، این در حالیست که بیشترین فراوانی ۳۲/۴ درصد) شیب دامنه ها بعد از لغزش در دسته شیبی بیشتر از ۱۰ تا مساوی ۲۰ درجه قرار دارد. شکل (۳) توزیع فراوانی شیب دامنه و نیز درصد تغییرات فراوانی در دسته های شیبی را در قبل و بعد از ناپایداری، برای ۱۷۷۹ مورد از اطلاعات ثبت شده در بانک اطلاعاتی فوق، نشان می دهد. به عنوان نمونه، در این شکل مشاهده می شود که فراوانی نسبی دامنه های ناپایدار در دسته شیبهای زیر ۲۰ درجه افزایش و در دسته شیبهای بالاتر از ۲۰ درجه کاهش یافته است به نحوی که فراوانی کلاس شیبی بیشتر از ۱۰ تا مساوی ۲۰ درجه، ۸/۷ درصد افزایش، و کلاس شیبی ۲۰ تا ۳۰ درجه، ۶/۵ درصد کاهش را نشان می دهد. در بررسی کلی، روند کاهش فراوانی در شیبهای گروههای سه و بالاتر، و افزایش فراوانی در شیبهای گروههای یک و دو قابل توجه است. از طرفی با توجه به میانگین ۴/۲۲ درجه در کاهش شیب این دامنه ها و با توجه به انحراف معیار ۴/۳۱ آنها، با حد اطمینان ۹۹ درصد توقع کاهش حد اکثر تا ۱۷ درجه در میزان شیب دامنه پس از لغزش وجود دارد.



شکل ۳: میزان فراوانی و تغییرات حاصله در درصد فراوانی شیب دامنه در قبل و بعد از لغزش، در ۱۷۷۹ زمین لغزش در ایران.

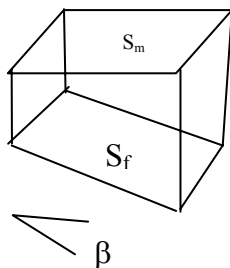
بررسیهای چندی، که در قالب تهیه نقشه های پهنه

پراکنش زمین لغزشها، وزن دهی (امتیازدهی) به پارامترهای مختلف و کلاسه‌های آنان صورت می‌گیرد. بررسی آماره‌ها در مورد مقدار شیب دامنه‌های لغزشی تغییرات ناموزنی با اصول تئوریک در میزان فراوانی نسبی، تعداد و یا مساحت زمین لغزشها در کلاسه‌های صعودی مقدار شیب از خود نشان می‌دهد.

### خطای ناشی از منظور نمودن مساحت نقشه‌ای ناپایدارها

در پهنه بندی خطر زمین لغزش به روش وزن دهی بینا، اغلب از نسبت مساحت یا تعداد زمین لغزشها در کلاسه‌های مختلف لایه‌های اطلاعاتی به مساحت متوسط یا چگالی تعدادی زمین لغزشها در کل منطقه، به عنوان ملاک امتیازدهی استفاده می‌شود (رابطه‌های ۵ و ۶). از آنجایی که لایه‌های اطلاعاتی به صورت نقشه‌های مسطحاتی در نظر گرفته می‌شوند، مساحت واقعی واحدها به مساحت نقشه‌ای تبدیل می‌گردد و در محاسبات امتیازدهی، به پارامترهای دو بعدی، مساحت نقشه‌ای ملحوظ شده و باعث کاسته شدن اهمیت نسبی آندسته از کلاسه‌های پارامتری می‌گردد که در شبیه‌ای تندتر قرار دارند (شکل ۵).

$$W_{fi} = \ln(D_{fi} / D_t) \quad (5)$$



$S_m$ : سطح در نقشه

$S_f$ : سطح در صحرا

$$S_f = S_m \cdot \sec \beta$$

شکل ۵: تغییر ایجاد شده در مساحت در اثر ملحوظ نمودن مساحت نقشه‌ای.

در این رابطه  $W_{fi}$  میزان امتیاز فاکتور  $f_i$ ،  $D_{fi}$  چگالی ناپایداری در فاکتور  $f_i$  و  $D_t$  چگالی ناپایداری در کل منطقه است. با توجه به اینکه از جمع جبری وزنهای پارامترهای مختلف در واحدهای شبکه، میزان خطر به صورت کمی  $H_i$  به دست می‌آید، تغییر هر یک از این وزن‌ها، هر چند به میزان جزئی، اهمیت ویژه‌ای خواهد داشت (رابطه ۶).

$$H_i = W_{f1} + W_{f2} + \dots + W_{fn} \quad (6)$$

کلور، با توجه به مقیاس ۱ : ۵۰,۰۰۰ نقشه توپوگرافی مبنا، هر چند که اختلاف فاحشی بین واحدهای با درصد سطحی ناپایداری کم و درصد سطحی ناپایداری زیاد از خود نشان نمی‌دهد، لیکن کاهش بیشتری در مقدار شیب واحدهای با درصدهای سطحی بالاتر ناپایداری از خود نشان می‌دهد. از طرفی در شکل (۴) میزان تغییر فراوانی کلاسه‌های شیبی، نشانگر بیشترین افزایش فراوانی در کلاس شیب ۱۰ تا ۲۰ درجه است و این بدان مفهوم است که زمین لغزشها در ایران پس از وقوع غالباً در شیبهای این کلاس قرار می‌گیرند و فراوانی این گروه و یا به عبارتی اهمیت این رده شیبی را در پهنه بندی بینا به صورت کاذب افزایش می‌دهند. در مقابل، شیبهای تندتر از ۲۰ درجه به طور متوسط با کاهش میزان فراوانی نسبی پس از لغزش مواجه خواهند شد و این موضوع باعث کم‌رنگ شدن نقش آنها در وزن دهیهای بینا می‌گردد.

بررسی پارامتر جهت شیب دامنه در منطقه کلور با تقسیم بندی جهات جغرافیائی به هشت جهت اصلی صورت گرفت. این بررسی نشان داد که تراکم نسبی دامنه‌های ناپایدار، در مقایسه با تراکم متوسط منطقه در دامنه‌های رو به شمال و شمالشرق، که از کمترین زمان تابش آفتاب برخوردارند، به ترتیب ۲۱٪ و ۹٪ افزایش می‌یابد و در دامنه‌های رو به غرب و جنوب غرب به ترتیب با ۲۸٪ و ۸٪ کاهش مواجه می‌گردد. در سایر جهات جغرافیائی تغییر قابل ملاحظه‌ای مشاهده نگردید. در ارتباط با یافته‌های فوق، در گروه بندی و وزن دهی به پارامتر جهت دامنه در نظر گرفتن سه گروه یا کلاس پیشنهاد می‌شود. به این نحو که جهت شمالی- شمالشرقی به عنوان کلاس با پتانسیل بالای ناپایداری، جهت غربی- جنوب غربی به عنوان کلاس با پتانسیل کم ناپایداری و دیگر جهات به عنوان کلاس با پتانسیل متوسط در نظر گرفته می‌شوند (جدول ۳). با توجه به مقدار کم انحراف از میانگین تراکم ناپایداری در دامنه‌های رو به شمال شرق و جنوب غرب باید در به کارگیری جایگاه پیشنهادی آنها در گروه بندی مذکور محتاط بود.

### وزن دهی به فاکتورها در پهنه بندی بینا و نقاط ضعف موجود در آن

در پهنه بندیهای بینا، اصولاً با مبنا قرار دادن نقشه

جدول ۲: مقدار کاهش شیب واحدهای لغزشی به نسبت واحدهای پایدار با توجه به مقدار ناپایداری در آنها.

ردیف	مساحت ناپایداری در واحد شبکه (%)	تعداد واحد	شیب متوسط (درجه)	تقلیل شیب (درجه)
۱	کمتر از ۱۵	۲۱۸	۲۱/۸۶	۰/۳
۲	بیشتر از ۱۵	۴۳۵	۲۰/۳۴	۱/۸
۳	بیشتر از ۲۵	۳۴۴	۲۰/۱۴	۲/۰
۴	بیشتر از ۵۰	۱۹۹	۱۹/۵۹	۲/۶
۵	بیشتر از ۷۵	۱۲۹	۱۹/۱۹	۳/۰
۶	بیشتر از ۸۵	۹۵	۱۹/۰۹	۳/۱
۷	بیشتر از ۹۵	۵۶	۱۸/۸۹	۳/۳
۸	صفر تا صد (کل واحدهای ناپایدار)	۶۵۳	۲۰/۸	۱/۴

جدول ۳: نقش جهت شیب دامنه در افزایش و کاهش تراکم نسبی ناپایداری دامنه ای در منطقه کلور.

جهت دامنه در منطقه	فراوانی (درصد)	چگالی لغزشی (درصد)	درصد تغییر تراکم لغزشی	تغییر وزنی ارزش اطلاعاتی
N	۱۲/۳۶	۱۲/۶۷	+۱۶	۰/۱۵
NE	۱۳/۵۵	۱۱/۴۱	+۹	۰/۰۹
E	۱۳/۱۴	۱۰/۶۱	+۲	۰/۰۲
SE	۱۰/۷۹	۱۰/۶۳	+۲	۰/۰۲
S	۷/۹۳	۱۱/۰۸	+۶	۰/۰۶
SW	۲۶/۱۶	۹/۶۴	-۸	-۰/۰۸
W	۹/۵۰	۷/۵۴	-۲۸	-۰/۳۲
NW	۶/۵۷	۱۰/۱۴	-۳	-۰/۰۳

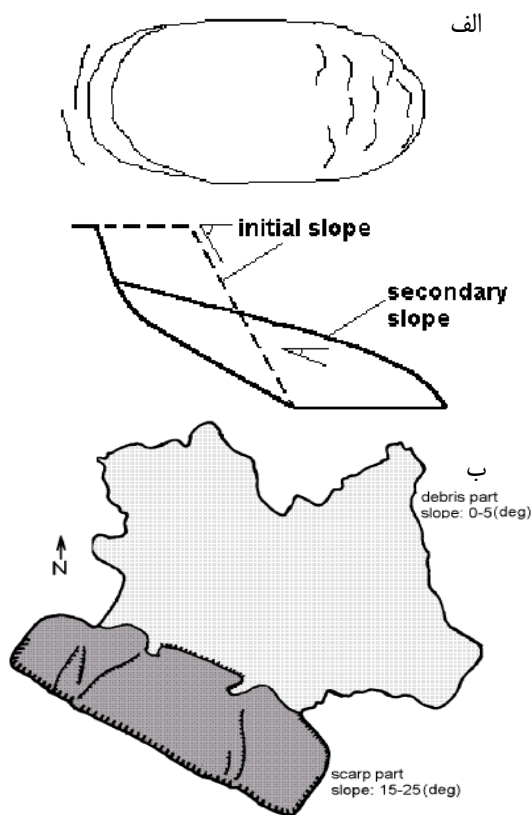
با درصد فراوانی بالای حرکات ریزشی بسیار قابل ملاحظه می باشد. هر چند که مقایسه بین امتیازهای به دست آمده با استفاده از رابطه (۵) برای پارامترهای سنگ شناسی و مقدار شیب دامنه، با در نظر گرفتن دو حالت سطح نقشه ای و سطح واقعی، در منطقه کلور تفاوت ناچیزی را در وزنهای کلاسهای این دو پارامتر از خود نشان می دهد، تأثیر تجمعی این تغییرات صحت و دقت نقشه نهائی را افزایش می دهد.

#### خطای ناشی از نقشه پراکنش ناپایداریها

نقشه های پراکنش، با تفکیک نمودن محدوده های ناپایدار از مناطق پایدار، به عنوان کلیدی برای تعیین میزان امتیاز در گروههای فاکتوری و صحت نقشه خطر نهائی، به کار گرفته می شوند. نکته ای که معمولاً در تهیه نقشه های پراکنش کمتر رعایت می شود و باعث اعمال

با توجه به تغییر در مساحت کلاس های پارامتری مختلف، و افزایش مساحت کل دامنه های لغزیده و مساحت کل منطقه، ممکن است در تعیین  $H_i$  تغییرات قابل ملاحظه ای صورت پذیرد. به عنوان نمونه، در منطقه کلور که توسط ۲۴۲۰ واحد  $500 \times 500$  متر مربعی پوشیده شده است، مساحت نقشه ای زمین لغزشها ( $D_{if}$ ) ۱۰/۴۴ درصد می باشد که از سطح ۶۰۵ کیلومتر مربعی منطقه مورد بررسی، ۶۳/۱۳ کیلومتر مربع را پوشانیده است، حال آنکه با در نظر گرفتن شیب هر واحد شبکه و محاسبه مساحت واقعی، نسبت مساحت صحرائی مناطق ناپایدار به سطح کل منطقه ( $D_{if}$ ) ۱۰/۲۸ درصد خواهد بود و مساحت کلی منطقه به ۶۵۸/۱ کیلومتر مربع و مساحت مناطق ناپایدار به ۶۷/۶ کیلومتر مربع افزایش می یابد که به ترتیب ۸/۷ درصد و ۷/۱ درصد بیشتر از مقدار مساحت نقشه ای آنهاست. این تغییرات در مناطق با شیب زیاد و

دامنه و افزودن این مقدار به کلاسه‌های شیبی مورد بررسی، در حالتی که تفکیکی در نقشه پراکنش ملحوظ نشده باشد، مرز گروه‌های شیبی تا حدی قابل



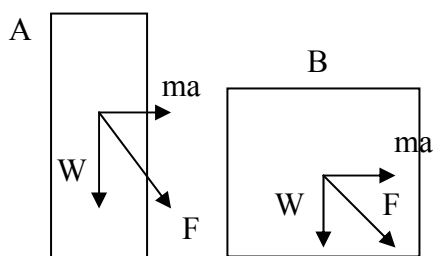
شکل ۶: افزایش امتیاز در رده‌های شیبی کم ناشی از: الف) کاهش شیب توپوگرافی پس از لغزش (خصوصاً در لغزشهای قدیمی)، ب) گستره پهناور مصالح لغزشی استقرار یافته در شیب کم. زمین لغزش سیمره، کبیر کوه.

اصلاح است. با توجه به اطلاعات ثبت شده در بانک اطلاعاتی زمین لغزشهای ایران، شیب دامنه‌ها پس از لغزش به طور متوسط در حدود ۵ درجه کاهش می‌یابد، لذا در وزندهی به پارامتر شیب دامنه باید با توجه به متوسط کاهش شیب دامنه‌ها پس از لغزش، وزنه‌های محاسبه شده به گروه‌های شیبی با ۵ درجه بالاتر نسبت داده شود به عنوان مثال در شرایطی که بررسی آماری در دامنه‌های لغزیده نشانگر وجود ۱۸٪ ناپایداری در کلاس شیبی ۲۰-۱۵ درجه باشد، باید این میزان ناپایداری به کلاس شیبی ۲۵-۲۰ درجه نسبت داده شود. همچنین در مورد آندسته از زمین لغزشهایی که مصالح لغزیده پس از ناپایداری حذف شده‌اند، این امکان وجود دارد که این مناطق پس از گذشت چندین سال قابل شناسایی نباشند

روندی غیر منطقی از لحاظ تئوری و ایجاد خطای سیستماتیک در نقش دهی به فاکتورها می‌شود، عدم تفکیک محدوده سطح گسیختگی و محدوده ای که مصالح لغزیده گسترده می‌شوند، از یکدیگر است. در اغلب موارد، مصالح لغزشی در منطقه ای بسیار کم شیب تر و یا حتی بدون شیب تجمع می‌نمایند. به عنوان نمونه، در زمین لغزش بزرگ سیمره، واقع در یال شمال شرقی تاقدیس کبیر کوه، مصالح در دامنه اولیه، با شیب متوسطی در حدود ۲۵-۲۰ درجه، در وسعتی حدود ۷۳ کیلومتر مربع قرار داشته‌اند. این مصالح پس از گسیختگی، با شیب متوسط صفر تا پنج درجه، در محدوده ای به وسعت ۱۷۳ کیلومتر مربع، در دشت مجاور گسترده شده‌اند (سیارپور و قبادی ۱۳۷۸). حال اگر در نقشه پراکنش، که به عنوان ملاک امتیاز دهی به کار می‌رود، محدوده سطح گسیختگی و محدوده توده مصالح پخش شده در منطقه، تفکیک نگردند، مساحتی در حدود ۱۷۳ کیلومتر مربع به عنوان بخش ناپایدار در کلاس شیبهای کمتر از ۵ درجه منظور خواهد شد. در صورتی که در عمل چنین پتانسیلی در چنین شیبی وجود ندارد. از سوی دیگر، با توجه به آنکه در اکثر موارد پس از ناپایداری از شیب دامنه کاسته می‌شود، نقش کلاسه‌های شیب کمتر، به علت افزایش فراوانی نسبی، آنها به صورت قابل ملاحظه ای بیشتر از اهمیت واقعی محاسبه خواهد شد و پتانسیل آنها به طور کاذب افزوده می‌گردد. حال آنکه چنین پتانسیلی متعلق به شیب اولیه می‌باشد (شکل های ۴ و ۶ و جدول ۳).

عدم تفکیک، هر چند تقریبی، مرز بین سطح گسیختگی اولیه و محدوده گسترش مصالح در نقشه پراکنش باعث اختصاص اهمیت بیشتر به شیبهای کم، که مصالح لغزیده در آنها پخش شده‌اند، می‌گردد. در نتیجه در امتیازدهی به این رده‌های شیبی، به نسبت شیب‌های تندتر امتیاز بالاتری نسبت داده می‌شود. به منظور رفع این مشکل لازم است در نقشه‌های پراکنش، تنها بخشی از مساحت زمین لغزش در وزن دهی به پارامتر شیب به کار گرفته شود که مشخص کننده منطقه ناپایدار اولیه باشد. هر چند عملاً ممکن است تعیین این محدوده در درون توده‌های لغزیده دارای دقت کافی نباشد با این وجود تعدیل قابل ملاحظه ای در خطای حاصله به وجود می‌آورد. از طرفی با محاسبه میزان کاسته شدن مقدار شیب

عمومی در تغییر پتانسیل ناپایداری دامنه ای مؤثرند پارامترهای دیگری نظیر ویژگیهای مقاومتی بالاتر دامنه های پر شیب تر به نسبت دامنه های کم شیب تر و نیز نقش بیشتر تغییرات سطح ایستابی در وقوع ناپایداریها در شیب های کمتر را می توان عنوان داشت. در شیب های کم نسبت ؟ در مقایسه با شیب های تند، بزرگتر است و دامنه در سطح بیشتری دچار برون زد آبهای زیر سطحی می گردد. به منظور در نظر گرفتن نقش و تأثیرات پارامتر آب زیرزمینی در شیبها پیشنهاد می شود که از تعداد چشمه های ظاهر شده در واحدهای شبکه استفاده شود و در صورت وجود رابطه منطقی بین تعداد چشمه ها و تراکم نسبی زمین لغزشها، از آن به عنوان یکی از لایه های پارامتری استفاده شود.



شکل ۷: تأثیر اختلاف در ناپایداری دامنه های مرتفع تر با دامنه های کم ارتفاع در شیب یکسان.

## پیشنهادها اصلاحی در به کارگیری پارامتر شیب دامنه

با توجه به اطلاعات و بحثهای ارائه شده در این مقاله، به منظور واقعی تر نمودن نقش پارامتر شیب در پهنه بندی خطر زمین لغزش، توجه و در نظر گرفتن چند مورد زیر پیشنهاد می شود:

- ۱- در محاسبه امتیاز کلاس های مختلف لایه های اطلاعاتی، به جای مساحت نقشه ای، در واحدهای شبکه (چه منظم و نا منظم)، از مساحت واقعی استفاده شود.
- ۲- در تهیه پراکنش زمین لغزشها، محدوده گسیختگی اولیه از محدوده گسترش مصالح لغزیده تفکیک گردد. این جدایش با هر دقتی که انجام گردد تأثیر به سزایی در افزایش صحت تحلیل های کمی ببار خواهد آورد.
- ۳- در نقشه پراکنش، بین نوع حرکات اصلی ریزش، لغزش و جریانهای واریزه ای تفکیک صورت پذیرد و در صورت امکان حد حساسیت شیب در دامنه های ناپایدار، خصوصاً برای دو دسته ریزش و لغزش، تفکیک گردد.

و عدم ثبت این ناپایداریها باعث بروز خطا در نقشه پراکنش و متعاقباً کلاسهای شیب تند گردند، لذا در تهیه نقشه پراکنش ناپایداریهای دامنه ای، باید در شناسایی این دسته از ناپایداریها دقت بیشتری مبذول شود.

## تفاوت اختلاف ارتفاع نسبی با شیب دامنه

هر چند دو پارامتر اختلاف ارتفاع نسبی<sup>۸</sup> و شیب دامنه یکسان به نظر می رسند و وابستگی شدیدی بین این دو لایه پارامتری وجود دارد، لیکن در مواردی که از شبکه بندی نا منظم استفاده می شود اهمیت این دو پارامتر با یکدیگر متفاوت است. در شبکه بندی منظم اختلاف ارتفاع واحد شبکه  $\Delta h$ ، شیب دامنه  $(\beta)$  و ابعاد شبکه  $(L)$  با رابطه ۴ با هم در ارتباطند. لیکن در مواردی که از واحدهای طبیعی استفاده می شود، ممکن است دو دامنه هم شیب دارای اختلاف ارتفاع متفاوتی باشند و یا اینکه دو دامنه که دارای اختلاف ارتفاع یکسانند شیبهای متفاوتی داشته باشند. در مواردی که دو دامنه دارای شیب یکسان باشند، دامنه ای که اختلاف ارتفاع آن بیشتر است به علت قرار گرفتن مرکز ثقل دامنه در ارتفاع بالاتر، در مقایسه با دامنه با اختلاف ارتفاع کمتر، دارای پتانسیل بیشتر ناپایداری دامنه ای است. گرچه در واحدهای نا منظم، علاوه بر پارامتر شیب دامنه، پارامتر اختلاف ارتفاع نسبی نیز مد نظر قرار گرفته است (Anabalgan 1992)، لیکن در شبکه بندی های منظم این دو پارامتر در واقع یکسانند و تنها در مواردی که شبکه های نامنظم استفاده می شوند می توان از این دو پارامتر (هر چند که به یکدیگر وابسته اند) جهت پهنه بندی خطر زمین لغزش استفاده نمود. شکل (۷) قرار گرفتن مرکز ثقل بلوک های سنگی با جرم یکسان و نیروی ناشی از یک شوک لرزه ای را با توجه به ارتفاع آنها نشان می دهد، بلوک A به علت قرار گرفتن مرکز ثقل آن در ارتفاع بالاتر دارای پتانسیل بیشتری است، حال آنکه شیب سطح آزاد برای هر دو بلوک یکسان است، لذا در دیواره های سنگی (یا خاکی) دیواره های مرتفع تر، پر پتانسیل تر می باشند و می توان آنها را بر مبنای اختلاف ارتفاع نسبی رده بندی نمود.

## تأثیر دیگر پارامترها

علاوه بر موارد عمده اصلی فوق الذکر که به طور



۶- جهت در نظر گرفتن نقش و اثر پارامتر آب زیرزمینی در شیبهها، پیشنهاد می شود که از تعداد چشمه های ظاهر شده در واحدهای شبکه استفاده شود و در صورت وجود رابطه منطقی بین تعداد چشمه ها و تراکم نسبی زمین لغزشها، از آن به عنوان یکی از لایه های پارامتری استفاده شود.

### تشکر و قدردانی

مولفین بر خود لازم می دانند تا از همکاریها و راهنماییهای آقای دکتر هاشمی طباطبایی از سازمان تحقیقات مسکن، وزارت مسکن و شهر سازی و همچنین کارشناسان گروه بررسی زمین لغزشهای معاونت آبخیزداری وزارت جهاد کشاورزی صمیمانه سپاسگزاری نمایند.

۴- در مواردی که از شبکه بندی نامنظم استفاده می شود تأثیر هر دو پارامتر اختلاف ارتفاع نسبی و شیب واحد مورد توجه قرار گیرد. به کار بردن این دو پارامتر در شبکه بندیهای منظم صحیح ضروری نیست.

۵- دامنه های لغزشی نمایشگر شیب ملایمتر دامنه پس از حرکت اند. لذا لازم است شیب دامنه قبل از لغزش، تعیین و جهت امتیازدهی انتخاب گردد، آمار متوسط زمین لغزشهای ایران نشانگر کاهش ۵ درجه در میزان شیب دامنه ها پس از لغزش است. البته در انواع حرکتیهای دامنه ای این میزان کاهش متفاوت است، بنابراین جدا نمودن نوع حرکات مختلف جهت محاسبه میزان کاهش شیب در آنها باعث به دست آمدن نتایج دقیق تری می گردد.

### مراجع

- 1 - Anbalagan, R. (1992). "Terrain evaluation and landslide hazard zonation for environmental regeneration and land use planning in mountainous terrain." 6<sup>th</sup>. Proc. International Symposium on Landslide. David H. Bell. ed. Balkema, Rotterdam, New Zealand.
- 2 - Berggren, B., Fallsvik, J. and Viberg, L. (1992). "Mapping and evaluation of landslide risk in Sweden." 6<sup>th</sup>. Proceegings of International Symposium on Landslide. Editor David H. Bell. Balkema, Rotterdam, New Zealand. Vol. 2, PP. 873-878.
- 3 - Fujita, T. (1980). "Slope analysis of landslide in Shin Koku, Japan." Proceedings III ISL, New Delhi, 2, PP. 169-174.
- 4 - Maharaj, J. R. (1993). "Landslide processes and landslide susceptibility analysis from an upland watershed: a case study from St. Andrew, Jamaica, west Indies." Engineering Geology, Vol. 34, PP. 53-79.
- 5 - Pachauri, A. K. and Manoj, P. (1992). "Landslide hazard mapping based on geological attributes." Engineering Geology, Vol. 32, PP. 81-100.
- 6 - TC4, Technical Committee for Earthquake Geotechnical Engineering. (1993). "Manual for Zonation on Seismic Geotechnical Hazard." The Japanese Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering.
- ۷ - حایری، م. و صمیمی ا. "روش جدید پهنه بندی مناطق شیبدار در برابر خطر لغزش زمین با تکیه بر بررسیهای پهنه بندی استان مازندران." فصلنامه علمی پژوهشی علوم زمین، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور. سال ششم، شماره ۲۳، (۱۳۷۶).
- ۸ - سیارپور، م. و قبادی م. "بهمن سنگی سیمره ابر زمین لغزش شناخته شده جهان." مجموعه مقالات اولین همایش زمین شناسی مهندسی در ایران، (۱۳۷۸).
- ۹ - سیارپور، م. "نقشه پهنه بندی خط زمین لغزش در جنوب خلخال، استان اردبیل." پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده فنی دانشگاه تهران، (۱۳۷۸).
- ۱۰ - گروه بررسی زمینلغزشها. بانک اطلاعات زمین لغزشهای ایران. وزارت جهاد کشاورزی، (۱۳۷۹).

### واژه های انگلیسی به ترتیب استفاده در متن

1 - Sighted Weighting  
4 - Kawaguchi  
7 - Information Value

2 - Blind Weighting  
5 - Landslide  
8 - Relief

3 - Grid  
6 - Slope Failure

