پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمّی، سال چهارم، شماره ۲، پاییز ۱۳۹٤
صص. ۱۵۳-۱۳۸

بررسی علل وقوع لغزش‌های سطحی در منطقه جوانرود با استفاده از مدل فرایند محور

پروین زارعی*– دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، گروه جغرافیا، دانشگاه رازی کرمانشاه
محمود علایی طالقانی – استادیار ژئومورفولوژی، گروه جغرافیا، دانشگاه رازی کرمانشاه
علی طالبی – دانشیار آبخیزداری، گروه منابع طبیعی، دانشگاه یزد

پذیرش مقاله: ۱۳۹۳/۱۲/۰۵ تأیید نهایی: ۱۳۹۴/۰۷/۰۹

چکیده

ناپایداری دامنه و وقوع زمین‌لغزش‌های سطحی یکی از دغدغه‌های اساسی مدیران در بهره‌برداری از دامنه‌ها در مناطق کوهستانی می‌باشد. شناسایی و بررسی عوامل مؤثر به‌صورت ناحیه‌ای می‌تواند در جهت مقابله با آن و کاهش خسارات مهم و مؤثر باشد. برای این منظور مدل‌های زیادی ارائه‌شده است که مدل فرایند محور(فیزیک پایه) طالبی (۲۰۰۸) یکی از آن‌ها است. در این تحقیق سعی شده است با استفاده از مدل طالبی (۲۰۰۸) ضمن تحلیل پایداری دامنه‌های منطقه، به بررسی مهم‌ترین عوامل مؤثر در وقوع لغزش‌های سطحی منطقه جوانرود پرداخته شود. این مدل با درنظرگرفتن ویژگی‌های ژئومتری دامنه (پلان دامنه و پروفیل طولی دامنه) ، هیدرولوژی زیرسطحی همراه با ویژگی‌های مکانیکی خاک، ضریب پایداری دامنه‌ها را مورد تجزیه‌وتحلیل قرار می‌دهد. برای دستیابی به هدف موردنظر، ۱۲ دامنه شامل ۷ دامنه لغزشی و ۵ دامنه فاقد لغزش به‌عنوان نمونه مطالعاتی در منطقه جوانرود انتخاب شدند و سپس تمامی متغیرهای تحلیل پایداری شیب از طریق مطالعات میدانی و آزمایشگاهی موردانداز‌ه‌گیری قرار گرفتند تا عوامل مؤثر در وقوع لغزش شناسایی گردند. شکل پلان دامنه و نیمرخ طولی آن‌ها از طریق مطالعات میدانی و به‌کارگیری نرم‌افزار Arc gis به‌دست‌آمده است . برای اندازه‌گیری ویژگی‌های مکانیکی و هیدرولوژی خاک نیز از هر دامنه مقدار ۵۰ کیلوگرم خاک برداشت شد و در آزمایشگاه مکانیک خاک کرمانشاه مورد آزمایش قرار گرفت. سپس به‌منظور محاسبه ضریب پایداری، مدل موردنظر برای کل دامنه‌های مطالعاتی اجرا و ضریب پایداری به دست آمد. نتایج نشان داده است که وقوع لغزش‌های سطحی در منطقه جوانرود متأثر از عوامل ژئومتری و ویژگی مکانیکی خاک دامنه می‌باشد. به‌طوری‌که دامنه‌های همگرا با نیمرخ طولی مقعر و خاک‌های با ضریب چسبندگی کم و زاویه اصطکاک داخلی پایین مستعد لغزش می‌باشند. این تحقیق همچنین نشان داده است که روش فرایند محور در ارزیابی ناپایداری دامنه‌ها در منطقه جوانرود کارایی خوبی دارد چراکه در دامنه‌های لغزشی دامنه‌های (٦، ۷، ۸، ۹) میزان ضریب پایداری با بهره‌گیری از مدل کمتر از ۱ و در دامنه‌های پایدار (۱ تا ٤) میزان ضریب پایداری بیش از ۱.۵ به‌دست‌آمده است.

واژگان کلیدی: زمین‌لغزش، منطقه جوانرود، مدل فرایند محور.

---

* نویسنده مسئول: ۰۹۱۸۷۸۳۸۴۵۷ E-mail: parvinzarei8@gmail.com

مقدمه

با توجه به حجم خسارت‌ها و هزینه‌های مستقیم و غیرمستقیمی که حرکت‌های توده‌ای بر جوامع انسانی و محیطزیست وارد می‌کند، بررسی عوامل مؤثر در ایجاد حرکت‌های توده‌ای به‌منظور برنامه‌ریزی و انجام کارهای اصولی و ارائه راهکارهای مدیریتی صحیح در مناطق حساس ضروری می‌نماید . جابه‌جایی توده‌ای مواد بخصوص زمین‌لغزش ازجمله فرایندهای دامنه‌ای مشکل‌آفرین در منطقه جوانرود واقع در شمال غرب زاگرس چین‌خورده محسوب می‌شود. این پدیده تخریب اراضی جنگلی، زمین‌های کشاورزی و مراتع این منطقه را به همراه داشته و برای تردد جاده‌ای نیز یک تهدید به شمار می‌رود. ازاین‌رو در بهره‌برداری از دامنه‌های این منطقه ابتدا باید دامنه‌های ناپایدار ازنظر وقوع زمین‌لغزش شناسایی گردند. شناسایی دامنه‌های لغزشی نیز در ابتدا نیازمند شناسایی پارامترهای مؤثر در وقوع این پدیده می‌باشد.به دلیل پیچیده بودن طبیعت دامنه‌ها، شناسایی عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش نیز بسیار پیچیده است. هرچند وقوع بارش‌های شدید و یا شیب زیاد دامنه در وقوع زمین‌لغزش نقش دارند ولی این عوامل زمانی می‌توانند جابجایی مواد در سطح دامنه‌ها را سبب شوند که خصوصیات خاک دامنه نیز مستعد لغزش باشند. به همین منظور و به خاطر اهمیت این پدیده، مطالعات زیادی توسط مهندسین ژئوتکنیک، زمین شناسان و ژئومورفولوژیست ها صورت گرفته است و مدل‌های مختلفی نیز جهت پیش‌بینی خطر زمین‌لغزش ارائه‌شده است. در ایران بیشتر مطالعات صورت گرفته درزمینه حرکت‌های توده‌ای و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش، بر اساس روش‌های آماری و توصیفی است. درصورتی‌که امروزه در دنیا به‌منظور استفاده از روابط ریاضی در تحلیل حرکت‌های توده‌ای و کمی کردن این پدیده، بیشتر مطالعات ، برمبنای مدل‌های فرآیند محور (فیزیک پایه) و روش‌های ریاضی و عددی و استفاده از قدرت سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش‌ازدور، استوار است. و ضروری است تا در ایران نیز بر اساس پارامترهای کمی و معادلات فیزیکی زمین‌لغزش‌های موجود موردمطالعه و تحلیل قرار گیرند چراکه در بحث کنترل این پدیده خصوصاً درزمینه پایداری دامنه‌ها، نیازمند استفاده از روابط فیزیکی و ریاضی هستیم. مدل‌های فرآیند محور (فیزیک پایه) ،فرایندهای اصلی در وقوع لغزش نظیر الگوهای بارش و تغییرات سطح آب زیرزمینی را به‌صورت ریاضی مدل کرده و در ترکیب با هندسه دامنه، علت وقوع زمین‌لغزش را معلوم می‌سازند. درواقع مدل‌های فرایند محور بر اساس قوانین فیزیکی بنانهاده شده‌اند و در آن‌ها فرآیندهای طبیعی در آزمایشگاه شبیه‌سازی‌شده و پس از کشف روابط موجود بین آن‌ها، به طبیعت تعمیم داده می‌شوند. به این خاطر امروزه این مدل‌ها در مقیاس وسیع به خدمت گرفته می‌شوند تا از این طریق بتوانند مشکل یکی از مهم‌ترین مخاطرات طبیعی بنام زمین‌لغزش را حل نماید. مونت گومری و دیتریچ [1]، بورگا و همکاران با استفاده از این مدل‌ها به بررسی تأثیر توپوگرافی روی لغزش پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که توپوگرافی سطحی از طریق پارامترهایی نظیر جریان زیرسطحی و همگرایی موجب افزایش اشباع خاک و کاهش تنش برشی شده و از این طریق زمین‌لغزش‌های سطحی را سبب می‌شوند(بورگا[2]، ۲۰۰۲: ۲۸۳۳). گلید و همکاران[3](۲۰۰۰:۷۶۷) تلاش کردند تا رویکردی متفاوت برای ارتباط دادن شرایط رطوبت خاک با وقوع یا عدم وقوع زمین‌لغزش‌ها را بیابند . آن‌ها مدل وضعیت پیشین آب خاک (ASWS) را ارائه و شرح داده‌اند . این مدل بیلان آبِ خاک را برای محاسبهٔ بارندگی مازاد در طول روزهای قبل از روز رخداد زمین‌لغزش، نمایش می‌دهد و توانستند روزهای با زمین‌لغزش و روزهای بد ون زمین‌لغزش را در یک دورهٔ ۸ ماهه با موفقیت پیش‌بینی کنند. تروخ و همکاران[4](۲۰۰۳: ۱۳۱۶) با در نظر گرفتن شکل و هندسه دامنه‌ها در طبیعت، اقدام به حل

---

1. Montgomery & Dietrich
2. Borga
3. Glade et al
4. Troch et al

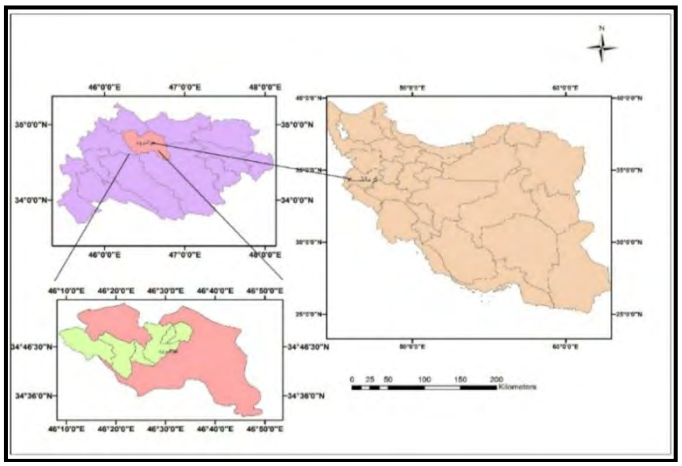
معادلات بوسینسک (1872) در جریان زیرسطحی نمودند .آنان جهت حل مشکل معادله‌های ریچارد، مدل‌های کم بعدتری را توسعه داده و ارائه دادند. این مدل‌ها کلیه اشکال دامنه‌ها را بر اساس ایده فن و برای در نظر گرفتند. در ضمن این مدل‌ها تغییرات عرض دامنه و انحنای کل کف بستر (مورفولوژی سه‌بعدی دامنه) را در نظر می‌گیرند. کرویزر[1](۲۰۰۴: ۲۵۲) به بررسی تأثیر مورفولوژی و زاویه‌ی شیب در پایداری دامنه پرداخته و از طریق مطالعات میدانی و شبیه‌سازی عددی به این نتیجه دست‌یافت که پروفیل انحنای سنگ‌بستر و شکل دامنه، کنترل قابل‌توجهی روی جریان زیرسطحی و اشباع برای ایجاد ناپایداری دارد. فرناندس و همکاران[2] (۲۰۰۴: ۱۶۶) به بررسی تأثیر توپوگرافی در ایجاد لغزش در سواحل جنوب غربی برزیل پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که لغزش‌های رخ‌داده در منطقه موردبررسی به‌شدت متأثر از توپوگرافی می‌باشد و از میان ویژگی‌های توپوگرافی نیز شکل دامنه نقش مهمی را در کنترل و توزیع فضایی لغزش‌ها ایفا می‌کند. کلانسس و همکاران[3](۲۰۰۷: ۲۳) به آنالیز توزیع فضایی لغزش‌ها و مدل‌سازی آن‌ها بر اساس ترکیب مدل هیدرولوژی با معادله‌ی شیب بینهایت پرداختند. طالبی و همکاران[4] (۲۰۰۸: ۵۳۲) مدلی فیزیکی برای بررسی کنترل دینامیکی لغزش‌های سطحی در دامنه‌های مرکب ارائه کردند. مدل مذکور می‌تواند لغزش‌های ایجادشده در دامنه‌هایی با بستر متغیر و اشکال مختلف را موردبررسی قرار دهد. ویتا و همکاران[5](۲۰۱۳: ۷۲۶) به تخمین آستانه‌های هیدرولوژیکی جهت ایجادلغزش‌های کم‌عمق و آنالیز پایداری دامنه در ناحیه‌ی سوما در جنوب ایتالیا پرداختند. نتایج آن‌ها منجر به ارائه یک مدل جامع هیدروژئومورفولوژی گردید که ترکیبی از ویژگی‌های زمین‌شناسی، مورفولوژی و هیدرولوژی می‌باشد. در ایران بیشتر مطالعات صورت گرفته برای پیش‌بینی لغزش بر اساس مدل‌های تجربی و توصیفی می‌باشد و در زمینه استفاده از مدل‌های پایه فیزیکی در بررسی لغزش، پژوهش‌های کمی صورت گرفته است. احمدی و طالبی آنالیز پایداری شیب دامنه را با استفاده از روش(bishop) انجام دادند و به این نتیجه رسیدند که دو عامل تکتونیک (زمین‌ساخت) و احداث جاده در پایین‌دست به‌عنوان عوامل تشدیدکننده زمین‌لغزش می‌باشند.(احمدی،۳۲۵،۱۳۸۰). ایزد دوست و طالبی به مقایسه مدل‌های پایه فیزیکی زمین‌لغزش در منطقه ایلام پرداختند و به این نتیجه رسیدند که مدل sinmap درصورتی‌که برای کل سطح حوضه و مدل طالبی(۲۰۰۸) برای دامنه‌های منفرد مورداستفاده قرار گیرد، کارایی مناسب‌تری نسبت به سایر مدل‌های فیزیکی خواهد داشت (ایزد دوست،۱۳۸۹ ،۶۳). نیازی و طالبی به بررسی قابلیت فیزیکی-هیدرولوژیکی مدل طالبی(۲۰۰۸) و تعیین ضریب پایداری در حوضه آبخیز سد ایلام برای دامنه‌های مختلف پرداختند. (نیازی، ۳۲۳،۱۳۹۰). بحری و همکاران در مقاله خود تحت عنوان پیش‌بینی دامنه‌های ناپایدار با استفاده از مدل فرآیند محور(sinmap) به پهنه‌بندی حوضه آبخیز سد لتیان پرداختند و با استفاده از این مدل نقشه خطر آن را به دست آوردند.(بحری،۱۳۹۱، ۹۷). در این تحقیق نیز به‌منظور شناسایی دامنه‌های ناپایدار و عوامل مؤثر در وقوع لغزش‌های منطقه جوانرود از مدل فیزیک پایه استفاده‌شده است. مدل فرآیند محور مورداستفاده در این تحقیق مدل طالبی(۲۰۰۸) می‌باشد که با ترکیب مدل‌های مورفولوژی دامنه و هیدرولوژی با تحلیل پایداری دامنه به تعیین ضریب پایداری برای هر دامنه در طبیعت می‌پردازد.

۲- محدوده موردمطالعه:

در این تحقیق با توجه به پراکنش نقاط لغزشی در حوضه‌های آبخیز منطقه جوانرود شامل: زلان، لیله ، بازان و صفی‌آباد، محدوده بین'۳۹ °۳۴ تا '۵۶ °۳۴ عرض شمالی و '۱۰ °۴۶ تا '۳۶ °۴۶ طول شرقی از بخش شمال غرب زاگرس چین‌خورده مورد بررسی قرارگرفته است(شکل۱).

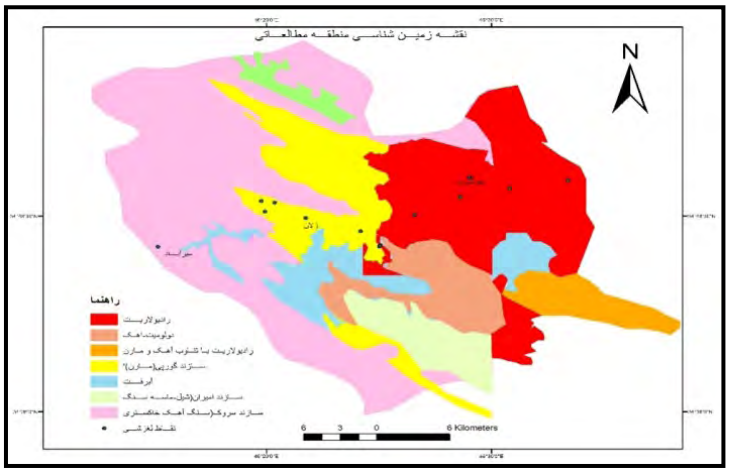
---

[1] . Croizer
[2]. Fernandes et al
[3] . Claessens et al
[4] . Talebi et al
[5] . Vita et al



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه مطالعاتی

منطقه موردمطالعه منطقه‌ای کاملاً کوهستانی با نوسان ارتفاعی بین ۱۰۰۰ تا ۲۷۰۸ متر می‌باشد. کوه‌های بهم فشرده با دره‌های عمیق از ویژگی‌های آن می‌باشد. ساختار منطقه جوانرود چین‌خورده است ولی به دلیل ساختمان سنگ‌شناسی متفاوت، شکل چین ها و ارتفاع آن‌ها بسیار متفاوت می‌باشد. از این نظر کوه‌های منطقه را می‌توان به دو واحد کوه‌های برجسته و اراضی تپه‌ماهوری تقسیم‌بندی نمود. کوه‌های برجسته از تناوب آهک تیره با مارن خاکستری (سازند سروک) یا از تناوب آهک‌های رسی سیاه تا خاکستری و شیل های سیاه (سازند گرو) ساخته‌شده‌اند. اما اراضی تپه‌ماهوری بخش میانی و شرقی حوضه را در برمی‌گیرد و جنس آن‌ها در بخش میانی منطقه از سازند گورپی مشتمل بر مارن خاکستری و شیل است و در مشرق حوضه نیز از رادیولاریت های کرمانشاه می‌باشد. لیتولوژی رادیولاریت ها شامل چرت‌های قرمز، زرد تا سبز زیتونی، شیل های قرمز و سبزرنگ، آهک‌های سیلیسی و توده‌های آذرین بازی و فوق بازی مثل سرپانتین است (شکل ۲). سطح این تپه‌ها یا پوشیده از جنگل تنک بلوط است و یا زیر کشت دیم قرار دارد. انطباق پراکنش لغزش‌های منطقه با نقشه‌ی زمین‌شناسی حاکی از آن است که دو سازند گورپی و رادیولاریت کرمانشاه زمینه‌ساز پدیده زمین‌لغزش در منطقه موردمطالعه محسوب می‌شوند. این در حالی است که اقلیم منطقه نیز به این امر کمک کرده و درنتیجه مردم محل می‌توانند پس از هر بارندگی و یا با هر اقدام تسطیح سازی شاهد وقوع زمین‌لغزش‌های کوچک و بزرگ باشند. میانگین سالانه در جه حرارت در منطقه موردمطالعه ۱۵/۶ درجه سانتی گراد و میانگین بارش سالانه نیز حدود۶۰۰ میلیمتراست.



شکل۲: نقشه زمین‌شناسی منطقه جوانرود

۳- مواد و روش ها

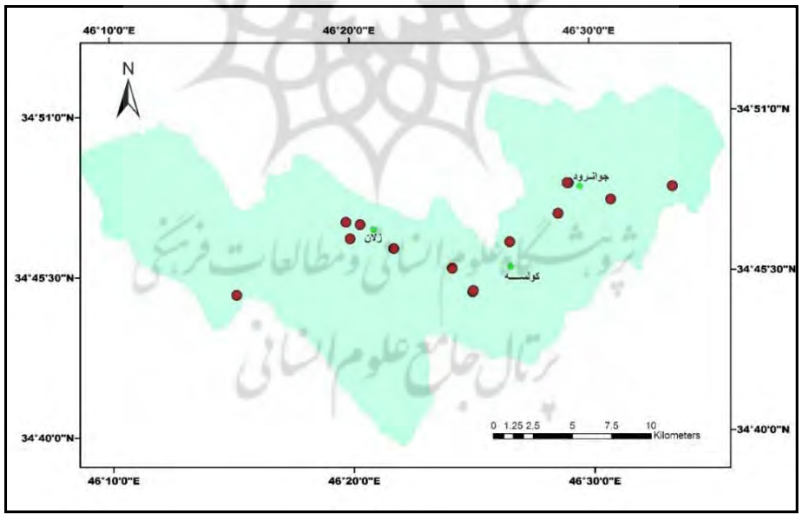
۳-۱- مواد مورداستفاده

مواد مورداستفاده در این پژوهش، نقشه‌های توپوگرافی۱:۵۰۰۰۰، نقشه‌های زمین‌شناسی۱:۱۰۰۰۰۰، عکس‌های هوایی ۱:۵۵۰۰۰، تصاویر ماهواره‌ای گوگل ارث ،GPS، مدل رقومی ارتفاعی ۲۰ متر و نرم‌افزارهای Arc gis و Matlab بوده‌اند.

۳-۲- روش تحقیق

این تحقیق به دو روش میدانی و آزمایشگاهی صورت گرفته است. مراحل انجام تحقیق را نیز به‌طور خلاصه می‌توان به شرح زیر بیان نمود:

۳-۲-۱-تهیه بانک اطلاعاتی: اطلاعات موردنیاز در این تحقیق ویژگی‌های ژئومورفولوژیکی، هیدرولوژیکی و مکانیک خاک دامنه‌ها در محدوده موردمطالعه را شامل می‌شود. بنابراین برای دستیابی به این اطلاعات لازم بود تا ابتدا دامنه‌های نمونه برای اندازه‌گیری متغیرهای فوق مورد شناسایی قرار گیرند. برای این منظور نیز ابتدا نقشه پراکنش لغزش‌ها در محدوده موردمطالعه تهیه گردید و سپس بر اساس آن‌ها، دامنه‌های نمونه برای اندازه‌گیری متغیرهای موردنیاز انتخاب گردیده‌اند. نقشه پراکنش لغزش با استفاده از اطلاعات محلی، تصاویر ماهواره‌ای و بازدیدهای میدانی تهیه گردید. در این نقشه تعداد ۷ نقطه لغزشی مشخص‌شده است که پس از شناسایی توده‌های لغزشی موقعیت آن‌ها به کمک GPS تعیین و سپس به نقشه پایه منطقه منتقل گردیده‌اند(شکل ۳).



شکل۳: نقشه پراکنش نقاط لغزشی منطقه موردمطالعه

دامنه‌های نمونه نیز با توجه به داده‌های نقشه لغزش به تعداد ۱۲ دامنه شامل پنج دامنه پایدار(فاقد لغزش) و ۷ دامنه ناپایدار(دارای توده لغزش) شناسایی‌شده و برای ارجاع از شماره یک تا ۱۲ شماره‌گذاری شده‌اند. دامنه‌های شماره ۱ تا ۵ به‌عنوان دامنه‌های پایدار و دامنه‌های شماره ۶ تا ۱۲ به‌عنوان دامنه‌های لغزشی می‌باشند. پس از انتخاب دامنه‌های نمونه، پارامترهای موردنیاز به شرح زیر موردسنجش قرارگرفته‌اند:

۳-۲-۱-۱- ویژگی‌های مکانیکی خاک: برای اندازه‌گیری ویژگی‌های مکانیکی خاک اقدام به نمونه‌گیری خاک از هر دامنه گردید. برای این منظور از هر دامنه حداقل مقدار ۵۰ کیلوگرم خاک برداشت‌شده است. برای دستیابی به خاک دست‌نخورده، نمونه خاک‌ها از عمق ۷۵ سانتی‌متری تا ۱ متری برداشت‌شده‌اند. جهت نمونه‌برداری از خاک‌های ریزدانه از

وسیله‌ای به نام(corecuter) و برای نمونه‌برداری از خاک‌های درشت‌دانه نیز از بیل دستی استفاده‌شده است. به‌این‌ترتیب مقدار خاک برداشت‌شده حدود ۶۰۰ کیلوگرم بوده است.

خاک نمونه‌برداری شده به آزمایشگاه مکانیک خاک شهر کرمانشاه متعلق به اداره راه استان انتقال داده‌شده و پارامترهای موردنیاز شامل وزن مخصوص خاک خشک (γd)وزن مخصوص خاک مرطوب(γt)، هدایت هیدرولیکی(K)، زاویه اصطکاک داخلی خاک(ϕ)، چسبندگی خاک و همچنین تخلخل خاک (C) با استفاده از آزمایش برش مستقیم تعیین گردیده‌اند. نمونه دستگاه مورداستفاده برای آزمایش در شکل (۴) نشان داده‌شده است.

شکل ٤: نمونه‌ای از وسایل اندازه‌گیری پارامترهای مربوط به مکانیک خاک در آزمایشگاه مکانیک خاک استان کرمانشاه

۳-۲-۱-۲- تعیین پارامترهای ژئومورفولوژی دامنه‌ها: جهت تعیین پارامترهای مورفولوژی و شناسایی اشکال متفاوت دامنه (پلان و پروفیل طولی دامنه‌ها) علاوه بر استفاده از نقشه توپوگرافی، مدل رقومی ارتفاعی(Dem) باقدرت تفکیک ۲۰ متر و تصاویر ماهواره‌ای، به روش میدانی نیز استفاده‌شده است. به‌این‌ترتیب با بهره‌گیری از نرم‌افزار GIs ، متر دستی و لیزری و همچنین شیب‌سنج ، ویژگی‌های ژئومتری دامنه از قبیل شیب متوسط (beta)، عرض دامنه (W)، طول دامنه (L) ، مساحت، انحنای نیمرخ دامنه(n) مورداندازه‌گیری قرارگرفته‌اند. البته جهت تعیین انحنای نیمرخ در دامنه‌های مورد بررسی از تابع دومتغیره ارائه‌شده توسط Evans(1980) ، استفاده‌شده است. بر این اساس از ۱۲دامنه مورد بررسی ۲ دامنه محدب،۷ دامنه مستقیم و ۳ دامنه مقعر بوده‌اند.

۳-۲-۱-۳- تعیین ضریب چسبندگی ریشه درختان: برای تعیین مقدار چسبندگی ریشه درختان و واردسازی تأثیر آن در مدل مورداستفاده، پس از تعیین کاربری هر دامنه(جنگل، مرتع، زیر کشت و بایر) از طبقه‌بندی ارائه‌شده توسط (kayastha, 2006,vinh,2007) استفاده‌شده است. در جدول ۲، نتایج به‌دست‌آمده نشان داده‌شده است.

جدول۲- مقادیر چسبندگی ریشه برای کاربری‌های اراضی مختلف(کایاستا،۲۰۰٦ و وین، ۲۰۰۷)

نوع کاربری اراضی	چسبندگی ریشه(KN/m^2)
اراضی کشاورزی	۱
اراضی جنگلی	۸
روستاها و مناطق ساختمانی	۰
بوته‌زارها و تپه‌های فاقد پوشش	۱

۳-۲-۱-۴- تعیین میزان بارش: یکی از عوامل اصلی در وقوع لغزش بارش می‌باشد. برای این منظور نیز برای هر دامنه بیشینه بارندگی ۲۴ ساعته در طی یک دوره‌ی آماری ۲۰ ساله در نظر گرفته‌شده است. آمار مورداستفاده مربوط به ۴

ایستگاه باران‌سنجی بهنام‌های زلان، ده رش، جوانرود و بنچله می‌باشد. مقادیر مورداستفاده با توجه به نزدیکی نقاط لغزشی به ایستگاه‌های مذکور در نظر گرفته‌شده است.

۳-۲-۲- اجرای مدل در نرم‌افزار Matlab ، ارزیابی و تحلیل نتایج

در سال‌های اخیر روش‌های زیادی برای کمی کردن پایداری دامنه‌های طبیعی به‌عمل‌آمده است. مدل‌های فرآیند محور (فیزیک پایه) یکی از این روش‌هاست که برای ارزیابی وضعیت موجود یا بک وضعیت پیشنهادی انجام می‌گیرد تا تعادل برقرارشده را مورد بررسی قرار دهد. این مدل‌ها بر اساس قانون فیزیکی که بر اساس آن پایه‌گذاری شده‌اند، استوار می‌باشند .در آن‌ها عمدتاً فرآیندهای طبیعی در آزمایشگاه شبیه‌سازی‌شده و پس از بررسی روابط موجود، به طبیعت تعمیم داده می‌شوند. مدل‌های فرآیند محور ، فرایندهای اصلی در وقوع لغزش نظیر الگوهای بارش و تغییرات سطح آب زیرزمینی را به‌صورت ریاضی مدل کرده و در ترکیب با هندسه دامنه، علت وقوع زمین‌لغزش را معلوم می‌سازند. بنابراین مدل‌های فرایند محور از ترکیب آنالیزهای پایداری دامنه (روش شیب بی‌نهایت) با مدل‌سازی هیدرولوژیکی به وجود آمده‌اند و قابلیت ارزیابی زمین‌لغزش‌های حاصل از شرایط هیدرولوژیکی رادارند. . هدف این مدل‌ها با تأکید بر تحلیل پایداری دامنه ، محاسبه ضریب اطمینان(ایمنی) در سطح لغزش موردنظر و تعیین محتمل‌ترین فرآیند گسیختگی و کمترین ضریب اطمینان مربوط به آن است. ضریب اطمینان به‌صورت نسبت تنش برشی در دسترس به حداقل تنش برشی که برای ناپایدار شدن دامنه موردنیاز است ، تعریف می‌شود. اگر مقاومت برشی از تنش برشی بزرگ‌تر باشد،(FS>1) خواهد شد و دامنه، پایدار تعریف می‌شود؛ و اگر مقاومت برشی کوچک‌تر از تنش برشی بود، (FS< 1) و دامنه به‌صورت ناپایدار مطرح می‌شود. برای(FS=1) دامنه در یک وضعیت تعادل خواهد بود، اما به‌طور ذاتی ناپایدار است.مدل مورداستفاده در این تحقیق، مدل (Talebi 2008) است که مدل توسعه‌یافته‌ای از فرایند محور (مدل فیزیکی) می‌باشد که از ترکیب یک مدل ژئومتری و یک مدل هیدرولوژی(شرایط ماندگار) و تئوری پایداری شیب بینهایت حاصل‌شده است. این مدل که توسط طالبی در سال ۲۰۰۸ ارائه‌شده است برای بررسی لغزش‌های سطحی در دامنه‌هایی با توپوگرافی متفاوت ازنظر شکل پلان (همگرا، واگرا و موازی) و پروفیل طولی دامنه(مقعر، محدب و مستقیم) کاربرد دارد. مدل مورداستفاده، تأثیرات مورفولوژی دامنه روی ذخیره اشباع ناشی از شکل پلان و نیمرخ طولی را در نظر می‌گیرد. برای اجرای مدل مراحل زیر طی شده است:

۳-۲-۲-۱- تعیین هندسه (ژئومتری) دامنه

برای بررسی اثر مورفولوژی دامنه روی لغزش‌های سطحی، دامنه‌ها به‌صورت ترکیبی از نیمرخ دامنه (انحناء در جهت شیب) و پلان دامنه (انحناء در جهت عمود برجهت شیب) توصیف می‌شوند . نیمرخ انحناء نقش مهمی در جابجایی مواد درروی دامنه دارد. چون سرعت جرمی که روی دامنه به‌طرف پائین حرکت می‌کند به‌وسیله‌ی آن کنترل می‌شود. از سوی دیگر پلان دامنه هم مهم است، چون تعیین‌کننده همگرایی توپوگرافی بوده و روی تمرکز جریان سطحی تأثیر مهمی دارد. به‌هرحال برای توصیف شکل دامنه در اینجا فرم خاصی از تابع دومتغیره که توسط *Evans* پیشنهادشده است(رابطه ۱) مورداستفاده قرارگرفته است:

$$z(x,y) = E + H(1-x/L)^n + \omega y^2 ($$ رابطه(۱)

z :در این رابطه ارتفاع ، x : فاصله افقی اندازه‌گیری شده در مسیر طولی خط القعر، y : فاصله افقی از مرکز شیب در جهت عمود بر مسیر (جهت عرضی) ، E : حداقل ارتفاع از سطح یک مبنای اختیاری ، H : اختلاف ارتفاع تعیین‌شده به‌وسیله سطح ، L : کل طول سطح ، n : پارامتر نیمرخ انحنا ، ω : پارامتر شکل پلان را تعیین می‌کند و مقادیر مثبت و منفی و صفر برای آن‌ها در نظر گرفته می‌شود.

۳-۲-۲-۲- هیدرولوژی دامنه

نقش بارش در وقوع لغزش از طریق جریان زیرسطحی معلوم می‌شود. جریان زیرسطحی تحت تأثیر پلان و نیمرخ انحناء و متوسط تخلخل مواد دامنه قرار دارد. تعریف ریاضی این فرآیند، معادله سه‌بعدی ریچارد را نتیجه می‌دهد که حل عددی آن مشکل است . یک‌راه برای حل این مشکل این است که با معرفی تابع حجم ذخیره زیرسطحی، دیمانیسونهای رابطه کاهش یابد . با ترکیب معادله پیوستگی جریان و معادله دارسی در منطقه های شیب‌دار، Troch et al (2003) رابطه ۲ را جهت تعیین میزان حجم ذخیره اشباع ارائه کردند :

$$S(x) = \frac{fL}{nK_s H}\left(1-\frac{x}{L}\right)^{1-n} NA(x)$$ رابطه (۲)

که در این رابط f :تخلخل زهکشی ، KS : هدایت هیدرولیکی اشباع ، N: بارندگی (تغذیه A :)سطح دامنه می‌باشد . از سوی دیگر بیشینه‌ی مقدار ظرفیت اشباع یک دامنه طبق رابطه به دست می‌آید (Fan & Bras,1998) :

$$S_c(x) = w(x)D(x)f$$ رابطه (۳)

که Wعرض دامنه در هر نقطه از طول، D عمق خاک روی دامنه می‌باشد. حال با داشتن نسبت بین میزان ذخیره واقعی دامنه به بیشینه‌ی ظرفیت اشباع، می‌توان شاخص زیر(رابطه ۴) را در هر فاصله‌ای از طول دامنه به‌عنوان شاخص رطوبت اشباع ارائه کرد (Talebi et al, 2008)

$$\sigma(x) = \frac{S(x)}{S_c(x)}$$ رابطه(٤)

همان‌طور که دیده می‌شود شاخص به‌دست‌آمده برآیندی از ویژگی‌های مورفولوژی دامنه و جریان‌های زیرسطحی را نشان می‌دهد که در محاسبات پایداری دامنه مورداستفاده قرار خواهد گرفت .

۳-۲-۲-۳- تعیین ضریب پایداری مواد در سطح دامنه

مطالعات پایداری شیب مبتنی بر محاسبه FS [۱] (ضریب اطمینان) می‌باشد. FS برای دامنه‌ها به‌طورمعمول برای تعادل بین تنش برشی موجود و کاهش آن نسبت به تنش برشی مجاز تعیین می‌شود. به خاطر سادگی نسبت‌های تئوری پایداری شیب، این فرضیه به‌طور گسترده در بسیاری از تحقیقات مربوط به پایداری شیب‌های طبیعی کاربرد یافته است. مدل شیب بینهایت شرایطی را که جریان آب زیرزمینی موازی سطح شیب است در نظر می‌گیرد. به لحاظ هندسه شیب، درمجموع پایداری می‌تواند صرفاً از طریق مؤلفه عمودی شیب برآورد شود. تحت این فرضیه معادله پایداری شیب به‌صورت رابطه ۵، تعیین می‌گردد: (vinh,2007,Wu &Siddle,1995)

$$FS(x)=\frac{c+[(D-h(x))\gamma_m+h(x)\gamma_b]\cos^2\beta\tan\phi}{[(D-h(x))\gamma_m+h(x)\gamma_s]\sin\beta\cos\beta}$$

رابطه(۵)

که در آن c :چسبندگی خاک، φ :زاویه اصطکاک داخلی ، D عمق پلان برش β زاویه محلی شیب ، h ارتفاع آب یا فشار پیزومتری بالای این سطح γ s و ، γ m ،γ b به ترتیب وزن ویژه‌ی توده مرطوب، اشباع و شناور هستند.

از طرفی، در یک دامنه مشخص داریم: $\sigma=S(x)/S_c(x)=h(x)/D(x)$ بنابراین ضریب پایداری شیب یک دامنه مشخص طبق رابطه ۶ خواهد بود.

$$FS(x)=\frac{c(x)+[(1-\sigma(x))\gamma_m(x)+\sigma(x)\gamma_b]D(x)\cos^2\beta(x)\tan\phi}{[(1-\sigma(x))\gamma_m(x)+\sigma(x)\gamma_s]D(x)\sin\beta(x)\cos\beta(x)}$$

رابطه(۶)

درنهایت ضریب پایداری برای کل دامنه، با استفاده از مدل طالبی و همکاران به‌صورت زیر(رابطه ۷) ارائه گردیده است:

$$\overline{FS}=\frac{\int_0^L\{c(x)+[(1-\sigma(x))\gamma_m(x)+\sigma(x)\gamma_b]D(x)\cos^2\beta(x)\tan\phi\}dx}{\int_0^L[(1-\sigma(x))\gamma_m(x)+\sigma(x)\gamma_s]D(x)\sin\beta(x)\cos\beta(x)dx}$$

رابطه(۷)

در اینجا نقش پوشش گیاهی (چسبندگی حاصل از ریشه یا c_r) از طریق همان c محاسبه می‌گردد.

٤- نتایج

نتایج حاصل از محاسبه پارامترهای موردنیاز به‌منظور تعیین ضریب اطمینان (Fs) دامنه که شامل پارامترهای آزمایشگاهی و توپوگرافی و هیدرولوژی می‌باشد، در جدول‌های ۱ و ۲ به ترتیب برای دامنه‌های بدون لغزشی و دامنه‌های لغزشی نشان داده‌شده است. جهت تحلیل پایداری دامنه، این پارامترها در مدل ارائه‌شده در رابطه(۷) قرار داده شد و مقادیر Fs برای هر دامنه در محیط نرم‌افزار Matlab محاسبه گردیده است. . جدول (۳) نتایج حاصل از اجرای مدل را نشان می‌دهد.

---

[۱] Factor of Safety (FS)

جدول ۱: پارامترهای موردنیاز جهت تعیین ضریب پایداری دامنه‌ها در دامنه‌های بدون لغزش

پارامترها	دامنه ۱	دامنه ۲	دامنه ۳	دامنه ٤	دامنه ٥
چسبندگی C' (kg/cm2)	۰.۰۸	۰.۰۱	۰.۰۸	۰.۰۱	۰.۰٦
زاویه اصطکاک داخلی φ (o)	۳٤	۳۱	۲۹	۲٦	۳۲
ضریب نفوذپذیری (m/s)	۹۸/ ٤ × 10^{-6}	۳/۱۸ × 10^{-8}	۲/۲۱ × 10^{-9}	٦/۲٦ × $10^{-٤}$	٤/۳۸ × 10^{-8}
وزن مخصوص خشک خاک (γd) (kg/m3)	۱٥۰۰	۱٥۳۰	۱٤۹۰	۱۸٤۰	۱٥۸۰
وزن مخصوص مرطوب (γt) (kg/m3)	۱۷۷۰	۱۸۳۰	۱۸۰۰	۲۸٤۸	۱۸۰۰
تخلخل (%)	۰.۳۸	۰.۳۹	۰.۳۷	۰.۳٦	۰.۳۷
چسبندگی ریشه(KN/M^2)	۸	۱	۱	۸	۱
حداکثر بارش ۲٤ ساعته (mm/day)	۸٦	۸٦	۸٦	۸٦	۸۰
نیمرخ انحنا(n)	۱	۱.۳	۱.٤	۱.۷	۱.۷
طول دامنه(m)	۱٤۰	۱۱۰	۱٤۲	۱۸۰	۱۱۰
عمق خاک(m)	۱	۱	۱	۱	۱.۲
شیب متوسط(%)	۲۲	۱۷	۳۳	۳٤	۳۱
ارتفاع متوسط دامنه(m)	۱۳٦۲	۱۲۷٥	۱٤۱۲	۱٤۳۹	۱۲۷٥
سازند زمین‌شناسی	رادیولاریت	گورپی	گورپی	گورپی	رادیولاریت
شکل پلان ω	همگرا	واگرا	همگرا	همگرا	واگرا

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

ادامه جدول ۱: پارامترهای موردنیاز جهت تعیین ضریب پایداری دامنه‌ها در دامنه‌های لغزشی

	دامنه ٦	دامنه ۷	دامنه ۸	دامنه ۹	دامنه ۱۰	دامنه ۱۱	دامنه ۱۲
چسبندگی C´ (kg/cm2)	۰.۰۳	۰.۰٤	۰.۰۵	۰	۰.۰۳	۰.۰۷	۰.۰۲
زاویه اصطکاک داخلی(Ø)	۲٦	۲۸	۲۵	۲۹	۲۲	۲۳	۲۰
ضریب نفوذپذیری(K) m/s	۲/۲ × 10^{-9}	٦/۳ × 10^{-8}	۷/۱ × 10^{-9}	۱/۱۸ × 10^{-7}	۲/۲ × 10^{-6}	۷/۱۲ × 10^{-8}	۱/۲ × 10^{-7}
وزن مخصوص خشک خاک (γd) (kg/m3)	۱۹۰۰	۱۷۲۰	۱٦٤۰	۱۵۳۰	۱٦۰۰	۱٤۹۰	۱۵۵۰
وزن مخصوص مرطوب (γt) (kg/m3)	۲۱۷۰	۱۹۱۰	۱۹۵۰	۱۹۰۰	۱۸۷۰	۱۷۲۰	۱۸٦۰
تخلخل (%)	۰.۳۷	۰.۳۸	۰.۳۷	۰.۳۵	۰.۷۵	۰.۳۸	۰.۳۸
چسبندگی ریشه(KN/M^2)	۱	۱	۱	۱	۸	۱	۰
حداکثر بارش سالانه(mm/day)	۵۰	۸۰	۸٦	۱۰۰	۱۰۰	۸٦	۸۰
نیمرخ انحنا(n)	۰.٦	۱	۰.٦	۰.٦	۱	۱	۰.۷
طول دامنه(m)	۸۰	۱۸۰	۹۰	۳۵۵	۱٤۰	۲٤۰	۲۹۰
عمق خاک(m)	۱.۱	۱.۲	۱	۰.۷	۰.۷	۱.۲	۱.۲
شیب متوسط(%)	٤٦	۳۷	٤٦	۳۲	۲۳	۲۳	۱۵
ارتفاع متوسط دامنه(m)	۱۳۲۸	۱۵۲۵	۱۳۸۵	۱۲٦۵	۱۵۱۲	۱٤۰۷	۱۳۸۵
سازند زمین‌شناسی	گورپی	رادیولاریت	گورپی	رادیولاریت	گورپی	رادیولاریت	رادیولاریت
شکل پلانω	واگرا	موازی	همگرا	همگرا	همگرا	واگرا	واگرا

جدول ۳: مقدار ضریب پایداری محاسبه‌شده

دامنه	نوع دامنه	ضریب پایداری (Fs)
دامنه ۱	محدب همگرا	۲/۳
دامنه ۲	محدب واگرا	۲/۲۵
دامنه ۳	مستقیم همگرا	۱/٦٤
دامنه ٤	محدب همگرا	۱/۵۵
دامنه ۵	محدب واگرا	۱/۳۵
دامنه ٦	مقعر واگرا	۰/۷
دامنه ۷	مستقیم موازی	۰/۸۷
دامنه ۸	مقعر همگرا	۰/٦۱
دامنه ۹	مقعر همگرا	۰/۸٦
دامنه ۱۰	مستقیم همگرا	۱/۰٤
دامنه ۱۱	محدب واگرا	۱/۱۱
دامنه ۱۲	مستقیم واگرا	۱/۱٤

جهت تعیین کلاس ناپایداری دامنه‌های مورد بررسی در این تحقیق از تقسیم‌بندی پک و همکاران[1](۱۹۹۸) استفاده‌شده است. جدول (۵) جزئیات این تقسیم‌بندی را نشان می‌دهد. شایان‌ذکر است این تقسیم‌بندی بر اساس تعریف ریاضی ضریب اطمینان به‌دست‌آمده است.

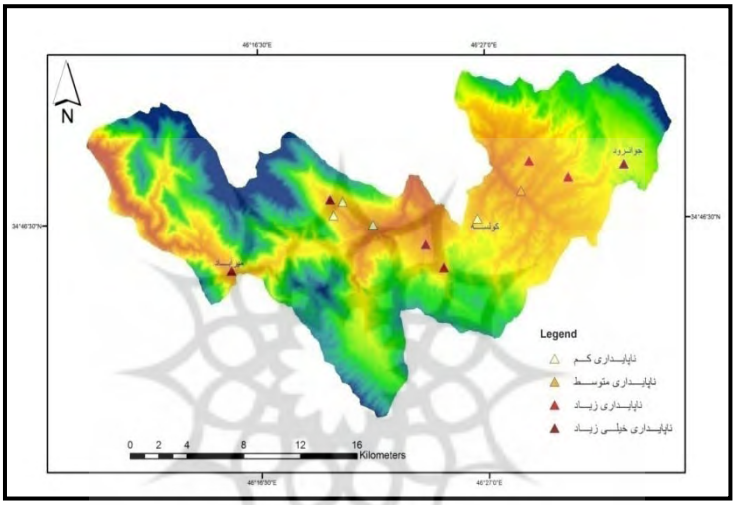
جدول ۵-طبقه‌بندی آسیب‌پذیری زمین‌لغزش (پک و همکاران ۱۹۹۸)

ضریب پایداری(FS)	کلاس آسیب‌پذیری زمین‌لغزش
FS>1.5	آسیب‌پذیری زمین‌لغزش کم
1.25>FS>1.5	آسیب‌پذیری زمین‌لغزش متوسط
1.25>FS>1	آسیب‌پذیری زمین‌لغزش زیاد
FS.<1	آسیب‌پذیری زمین‌لغزش خیلی زیاد

همان‌طور که در شکل‌های (۶ و ۷) مشخص‌شده است با توجه به نتایج محاسبه‌شده از مدل، دامنه‌های شماره (۱ تا ۴)در کلاس ناپایداری کم، دامنه‌ی شماره ۵ در کلاس ناپایداری متوسط، دامنه‌های شماره (۶ تا ۹) در کلاس ناپایداری خیلی زیاد و دامنه‌های شماره (۱۰ تا ۱۲) در کلاس با پایداری زیاد قرار می‌گیرند.

[1] . pack et al

شکل ٦:ضریب پایداری محاسبه‌شده برای هر دامنه



شکل ۷ :طبقه‌بندی ناپایداری دامنه‌های موردمطالعه

۵- بحث

لغزش زمانی رخ می‌دهد که تنش برشی مواد روی دامنه بیش از مقاومت برشی آن باشد. عوامل متعددی مانند شرایط زمین‌شناسی، شرایط هیدرولوژیکی، وضعیت توپوگرافی، مورفولوژی، آب‌وهوا ، هوازدگی و فعالیت‌های انسانی بر پایداری یک دامنه تأثیر گذاشته و می‌توانند باعث ایجاد لغزش شوند(زیزری[10] و همکاران، ۲۰۰۸). یکی از مناطقی که در آن لغزش‌های متعدد رخداده است و از مناطق شناخته‌شده‌ی لغزش در استان کرمانشاه می‌باشد، منطقه جوانرود است . آسیب‌پذیری سازندهای زمین‌شناسی این منطقه (گورپی و رادیولاریت) ، شرایط اقلیمی حاکم بر منطقه (نیمه مرطوب سرد) که باعث هوازدگی شدید این نوع سازندها شده است و ماندگاری مواد هوازده بر روی سطوح کم شیب تپه‌ها که افزایش ضخامت آن‌ها را به همراه داشته است زمینه را برای ایجاد لغزش در منطقه فراهم نموده است. با توجه پیچیدگی‌های مرتبط با مکانیسم وقوع لغزش و به دست آوردن نتایج دقیق سعی شد که جهت بررسی این نوع لغزش‌ها که عمدتاً از نوع لغزش‌های سطحی می‌باشند از مدل فیزیکی پایه (Talebi 2008) استفاده شود. مدل مذکور می‌تواند لغزش‌های ایجادشده در دامنه‌هایی با بستر متغیر و اشکال مختلف را با توجه به ویژگی‌های هیدروژئومورفولوژیک و مکانیک خاک دامنه‌ها مورد بررسی قرار دهد و ضمن تحلیل پایداری دامنه، به بررسی عوامل مؤثر در ایجاد زمین‌لغزش‌های منطقه موردمطالعه بر اساس ضریب پایداری حاصل از اجرای مدل، پرداخته و مهم‌ترین عامل را شناسایی نماید .نتیجه این بررسی نشان می‌دهد که خاک دامنه‌ها در منطقه جوانرود دارای ضریب چسبندگی کم هستند. این خاک‌ها حاصل تجزیه سنگ‌های شیلی و مارنی سازندهای گورپی و رادیولاریت در شرایط آب‌وهوایی سرد و مرطوب با

10- Zezere

بارش بیش از ۶۰۰ میلی‌متر است. چنین خاکی درصورتی‌که در سطح دامنه‌های با پروفیل مستقیم و محدب قرار داشته باشند، به دلیل زهکشی سریع این دامنه‌ها و درنتیجه کاهش ذخیره اشباع، به حالت پایدار می‌باشند. عامل دیگری که به پایداری خاک این دامنه‌ها کمک کرده است بالا بودن زاویه اصطکاک داخلی خاک(بیش از ۳۰ درجه) به علت درشت‌دانه بودن اجزا آن‌ها می‌باشد. چون خاک دامنه‌ها عمدتاً از نوع رگولیت است درنتیجه در اجزا آن خرده‌ریزه سنگ زیاد است.بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از مدل ضریب پایداری در این دامنه‌های (۱-۴) بیشتر از ۱.۵ به‌دست‌آمده است بنابراین این دامنه‌ها در کلاس ناپایداری خیلی کم قرار می‌گیرند. نحوه قرارگیری این دانه‌ها ضریب اصطکاک آن‌ها افزایش داده بطوریکه باوجود کم بودن ضریب چسبندگی ولی تمایلی به سرخوردن و لغزیدن ندارند. پایین بودن شیب (کمتر از ۳۰ درصد) و بالا بودن درصد پوشش گیاهی (درختان بلوط) به‌خصوص در دامنه‌های شماره(۱و۴) را می‌توان از دیگرعوامل تأثیرگذار در بالا بودن ضریب پایداری دامنه‌های(۱ تا ۵) دانست. بنابراین مدل تحلیلی پایداری شیب، دامنه‌های(۶.۷.۸.۹) را ناپایدار معرفی کرده است به‌طوری‌که ضرایب پایداری به‌دست‌آمده برای این دامنه‌ها به ترتیب (۰.۸۶،۰.۶۱،۰.۸۷،۰.۷) به‌دست‌آمده است.بنابراین در کلاس ناپایداری خیلی زیاد قرار می‌گیرند. عمده‌ترین عامل ایجاد ناپایداری را می‌توان در پایین بودن زاویه اصطکاک داخلی (معمولاً بین ۲۵ تا ۲۶ درجه)،پایین بودن ضریب چسبندگی(کمتر از ۰.۰۵) نسبت به دامنه‌های پایدار ،بالا بودن درصد شیب دامنه(بین ۳۷ تا ۴۶ درصد) و پروفیل طولی دامنه‌ها که عمدتاً به‌صورت مقعر دانست. دامنه‌های مقعر آهسته‌تر از دامنه‌های دیگر زهکش می‌شوند و درنتیجه ذخیرهٔ اشباع خاک بالا می‌رود و سرانجام پایداری کاهش می‌یابد. در حقیقت می‌توان بیان کرد که ویژگی‌های مورفولوژی، هیدرولوژی، مکانیک خاک و پوشش گیاهی شرایط لغزش را در این دامنه‌ها به‌طور طبیعی فراهم ساخته است اما از عوامل دیگری که تشدیدکننده ناپایداری این نوع دامنه‌ها بوده است می‌توان به برش جاده‌ای در دامنه‌های(۶و ۷) و برش رودخانه‌ای در دامنه(۸) اشاره نمود. لغزش در دامنه شماره (۹)بدون تأثیر عوامل مصنوعی و به‌طور طبیعی رخداده است. مشاهده تصاویر ماهواره‌ای و بازدیدهای میدانی نتایج به‌دست‌آمده از مدل را برای این دامنه‌ها تائید می‌کند.

٦-نتیجه‌گیری

به‌طورکلی در این تحقیق جهت بررسی زمین‌لغزش سعی شد که از یک مدل فرآیند محور(فیزیکی پایه)استفاده شود. در کل می‌توان گفت که برای اجرای مدل‌های فیزیکی و پارامترهای آن نیاز به‌صرف هزینه و زمان زیادی می‌باشد. اما با توجه به میزان FS محاسبه‌شده و مقایسه آن در طبیعت ، می‌توان گفت که مدل تحلیل پایداری شیب در تعیین عدم پایداری در دامنه‌هایی که تحت تأثیر شرایط طبیعی ازنظر مورفولوژی، هیدرولوژی، فیزیک خاک و پوشش گیاهی دامنه دچار لغزش می‌شوند به‌خوبی عمل می‌کند. نتایج حاصل از مدل نشان می‌دهد که مدل مورداستفاده (Talebi 2008) جهت بررسی پایداری دامنه‌ها به‌صورت منفرد کارایی مناسبی دارد. به‌طوری‌که در تمام دامنه‌های لغزشی مقدار ضریب پایداری محاسبه‌شده توسط مدل نیز کمتر از ۱.۵ به‌دست‌آمده است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که مدل مورداستفاده که ترکیبی از مدل‌های توپوگرافی و هیدرولوژی با مدل پایداری دامنه می‌باشد می‌تواند به‌عنوان یک مدل فرآیند محور (پایه فیزیکی) جهت بررسی پایداری دامنه در دامنه‌های طبیعی مورداستفاده قرار گیرد.

۷- منابع

- احمدی، حسن، طالبی، علی، ۱۳۸۰ .بررسی عوامل مؤثر در ایجاد حرکات توده‌ای(لغزش) ، مطالعه موردی:(منطقه اردل استان چهارمحال و بختیاری) ، مجله منابع طبیعی ایران، جلد ۵۴، شماره ۴، صص ۳۲۸-۳۲۳.

- بحری، معصومه، پناهی، مهسا، طالبی، علی، ۱۳۹۱ .پیش‌بینی دامنه‌های ناپایدار با استفاده از مدل فرآیند محورsinmap، هشتمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران.
- طالبی، علی، ۱۳۸۷ .مدل فیزیکی هیدرولوژی جهت بررسی تغییرات سطح آب زیرزمینی در دامنه‌های مرکب، سومین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران ، تبریز، ایران.
- طالبی، علی، نفرزادگان، علیرضا، ملکی نژاد، حسین، ۱۳۸۸ .مروری بر مدل‌سازی تجربی و فیزیکی زمین‌لغزش‌های ناشی از بارندگی، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ۷۰، صص ۶۴-۴۵.
- طالبی، علی، ۱۳۹۰ .بررسی اثر جریان‌های زیرسطحی در وقوع زمین‌لغزش‌های سطحی، هفتمین همایش ملّی علوم و مهندسی آبخیزداری،اصفهان، ایران.
- طالبی،علی،ایزد دوست،مریم،۱۳۸۹، بررسی کارایی مدلsinmap در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش(مطالعه موردی حوضه آبخیز سد ایلام)،علوم و مهندسی آبخیزداری ایران،شماره ۱۵،صص ۶۸-۶۳.
- ۷-طالبی،علی، نیازی،یعقوب ،۱۳۹۰،بررسی قابلیت مدل فیزیکی-هیدرولوژی برای بررسی زمین‌لغزش‌های سطحی در دامنه‌های طبیعی (مطالعه موردی:حوضه آبخیز سد ایلام)،نشریه مرتع و آبخیزداری ،شماره ۳،صص ۳۳۷-۳۲۳.
- *Borga, M., Fontana, GD., Gregoretti, C., Marchi, L., 2002, Assessment of shallow landsliding by using a physically based model of hillslope stability. Hydrological Processes, vol.16, pp. 2833–2851.*
- *Claessens,L., . Knapen, A., 2007, Modelling landslide hazard, soil redistribution and sediment yield of landslides on the Ugandan foot slopes of Mount Elgon,Geomorphology,Vol. 90 ,pp.23–35*
- *Crozier, MJ. , 1986, Landslides: Causes, Consequences& Environment. Croom Helm, London, England, pp. 252.*
- *Evans, IS., 1980. An integrated system of terrain analysis and slope mapping. Zeitschrift für Geomorphologie, N.F., Supplementband 36: 274–295.*
- *Fan, Y., Bras, R. L., 1998, Analytical solution to hillslope subsurface storm flow and saturation overland flow. Water Resources Research,Vol. 34, pp.921-927.*
- *Fernandes, N., Renato,F., 2004, Topographic controls of landslides in Rio de Janeiro field evidence and modeling, Catena,Vol 55 ,pp. 163–181.*
- *Frattini ,P.,Giovanni, B., 2013,The role of material properties and landscape morphology on landslide size distributions, Earth and Planetary Science Letters V361,pp. 310–319.*
- *Kayastha, P., 2006, Slope stability analysis using GIS on a regional scale. Master thesis in Physical Land Resources, Vrije Universiteit Brussel, and pp.98.*
- *Gao, J. , Maro, J. , 2010, Topographic controls on evolution of shallow landslides in pastoral Wairarapa, New Zealand, Geomorphology,Vol. 114,No.3,pp.373-381.*
- *Glade, T., Anderson, MG.,Crozier, MJ.,2000, Landslide risk assessment. John Wiley Publishers, New York, pp. 767–772.*
- *Lan, H. X., Zhou, C.H., Wang. L.J., Zhang, H. Y., and Li, R. H., (2004). Landslide Hazard Spatial Analysis and Prediction Using GIS in the Xiaojing Watershed, Yunnan, China, Engineering Geology,76, 109-128.*

- *Long ,N. Florimond ,D.,Slope stability analysis using a physically based model:a case study from A Luoi district in Thua Thien-Hue Province, Vietnam, Landslides*
- *Montgomery, DR., Dietrich, WE. , 1994, A physically based model for the topographic control on shallow landslide, Water Resour Res, Vol.30, pp.83–92.*
- *Talebi, A., Uijlenhoet, R., Troch, P.A., 2007, Soil Moisture Storage and Hillslope Stability, J Nat Hazards Earth Syst Sci, Vol.7, pp. 523-534.*
- *Talebi, A., Uijlenhoet, R., Troch, P.A., 2008b, A Low-dimensional Physically-based Model of Hydrologic Control on Shallow Landsliding in Complex Hillslopes, J Earth Surface .*
- *Talebi, A., Troch, P. A., Uijlenhoet, R., 2008a, A steady-state analytical hillslope stability model for complex hillslopes. Hydrol. Process,Vol. 22,pp.546-553.*
- *Troch, P.A., Paniconi, C., Van Loon, E.E., 2003, Hillslope-storage Boussinesq Model for Subsurface Flow and Variable Source Areas Along Complex Hillslopes, Formulation and characteristic response, J Water Resources Research ,Vol.39,No.11, pp.1316.*
- *Varnes, D. J., 1984, Landslide hazard zonation: A review of Principes and Practice, UNESCO, France, 63p.*
- *Vita, P. De., Napolitano, I J., Godt I R. Baum, 2013, Deterministic estimation of hydrological thresholds for shallow landslide initiation and slope stability models: case study from the Somma-Vesuvius area of southern Italy, Landslides, Vol.10, pp.713–728.*
- *-Vinh, B.L., 2007, Regional slope instability zonation using different GIS techniques Master thesis in Physical Land Resources, Vrije Universiteit Brussel. 98 pp*
- *Wilkinson, PL., Anderson, MG., Lloyd, DM., Renaud, JP., 2002, An integrated hydrological model for rain-induced landslide prediction. Earth Surface Processes and Landforms,Vol 27,pp. 1285–1297.*
- *Wu, W., Slide, RC., 1995, a distributed slope stability model for steep forested basins. Water Resour Res,Vol. 31.pp.2097–2110.*
- *Zezere, J. L., Garcia, R. A. J., Oliveira, S. C., and Reis, 2008,Integration of spatial and temporal data for the definition of different landslide hazard scenarios in the area north of Lisbon), Journal of Geomorphology, Vol.94,pp.467-495.*