



## نقش ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در وقوع زمین لغزش (مطالعه موردی: منطقه افسرآباد چهارمحال و بختیاری)

سیدنعیم امامی<sup>۱</sup>، احمد جلالیان<sup>۲</sup> و عباس خسروی<sup>۳</sup>

۱- استادیار، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان چهارمحال و بختیاری، (نویسنده مسوول: emami1348@yahoo.com)  
۲ و ۳- استاد و دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد خوراسگان  
تاریخ دریافت: ۹۲/۷/۱۳ تاریخ پذیرش: ۹۳/۱۲/۱۶

### چکیده

وقوع بیش از ۴۰۰ مورد زمین لغزش در سه دهه اخیر در استان چهارمحال و بختیاری بیانگر حساسیت خاص این سرزمین به عوامل فرسایش می‌باشد. بخش عمده‌ای از این ناپایداری‌ها در دوده‌های اخیر و روی واحدهای نئوژن و به طور خاص واریزه‌های دامنه‌ای و به دنبال دوره‌های ترسالی و فعالیت‌های عمرانی به ویژه جاده‌سازی رخ داده است. برای بررسی نقش ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک عامل زمینه‌ساز در وقوع لغزش، در دامنه جنوبی منطقه افسرآباد دو آب صمصامی واقع در غرب استان چهارمحال و بختیاری، شش پروفیل در مرز لغزش و محدوده پایدار (شاهد) روی واریزه‌های دامنه‌ای کوآترنری انتخاب و حفر گردید. پس از تشریح مورفولوژیکی پروفیل‌ها، نمونه‌برداری در سه عمق انجام شد. آزمایشات فیزیکی نظیر وزن مخصوص ظاهری و حقیقی، درصد اشباع، بافت و آزمایشات شیمیایی شامل مواد آلی، آهک، گچ و کاتیون‌های محلول انجام گردید. نتایج نشان داد که کلاس بافت خاک در هر دو تیمار غالباً لومی رسی سیلنتی می‌باشد. نتایج آزمایشات با روش‌های آماری و نرم‌افزار SPSS تجزیه و تحلیل شدند. یافته‌ها نشان دادند که تفاوت معنی‌داری بین مقادیر رس، ماده آلی، سیلت،  $Ca^{2+}$ ،  $Mg^{2+}$  و EC بین نمونه‌های شاهد و لغزش یافته وجود دارد. سیلت رابطه مستقیمی با لغزش دارد به این دلیل که در اثر افزایش سطح آب زیرزمینی، فرسایش زیرسطحی به راحتی موجب شست‌وشوی سیلت و پدیده رگاب می‌شود. وجود رس در مقادیر کم تا ماز سوی سبب پایداری خاک دانه و ساختمان خاک شده و مانعی در برای وقوع پدیده رمبش می‌باشد. مقدار  $Ca^{2+}$  رابطه معکوس با لغزش دارد که این امر می‌تواند نشانگر نقش چشم‌گیر این کاتیون در افزایش پایداری ساختمان خاک و افزایش مقاومت برشی و در نهایت استحکام در برابر وقوع گسیختگی‌های دامنه‌ای باشد. میزان EC بالاتر در اراضی لغزش یافته مؤید تأثیر انحلال نمک‌های NaCl و احتمالاً KCl در اثر بارش‌های شدید منطقه (حدود ۹۰۰ میلی‌متر در سال) و افزایش سطوح آب زیرزمینی می‌باشد. همه این عوامل که از آن به عنوان عوامل زمینه‌ساز یاد می‌کنند می‌توانند در آینده موجب زمین لغزش‌های جدیدی گردند. بدین ترتیب، با انجام عملیات اصلاح شیمیایی می‌توان به تثبیت و پایداری دامنه‌ها کمک کرد.

واژه‌های کلیدی: زمین لغزش، عوامل زمینه‌ساز، ویژگی‌های خاک، دو آب صمصامی، چهارمحال و بختیاری

### مقدمه

ثبت شده است. خسارات مالی ناشی از زمین لغزش‌ها ۱۸۶ میلیارد و ۶۰۰ میلیون تومان برآورد شده است. همچنین این زمین لغزش‌ها باعث تخریب ۳۷۶ باب خانه، ۶۷۶۳ هکتار جنگل، ۱۷۰ کیلومتر راه ارتباطی و ایجاد رسوب سالانه‌ای به حجم ۹۶۳۸۰۷ مترمکعب شده‌اند که بیش‌تر شامل استان‌های شمالی و غربی کشور می‌باشند (۱۱).

استان چهارمحال و بختیاری که ۸۰٪ از اراضی آن را کوهستان‌ها و اراضی غیر مسطح تپه ماهوری به خود اختصاص می‌دهد، دارای رخنمون‌های نسبتاً وسیع مارنی بوده به طوری که سازندهای زمین‌شناسی مارنی زاگرس حدود ۶/۵٪ از وسعت استان را در بر گرفته و این خود مبین حساسیت‌پذیری خاص این سرزمین به عوامل فرسایش می‌باشد. وقوع بیش از ۴۰۰ مورد لغزش (دارای شناسنامه) مؤید این مطلب می‌باشد. علاوه بر این، شدت یافتن عملیات عمرانی به ویژه جاده‌سازی و

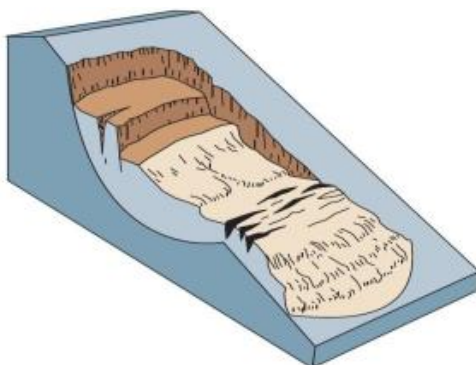
اجرای صحیح و بدون مخاطره پروژه‌های عمرانی هم‌چون انتخاب مسیر احداث بزرگراه‌ها و راه‌های اصلی و فرعی کوهستانی، انتخاب محل احداث سدهای خاکی، بتونی و هم‌چنین آب بندها، کانال‌های انتقال آب، احداث تونل‌های عبور و مرور و طرح‌هایی مثل توسعه معادن در گرو مطالعات پایداری شیب‌های طبیعی است. از سوی دیگر ایران از نظر میزان تخریب ناشی از حرکت‌های توده‌ای در رده بالایی قرار دارد و هر ساله بر اثر بروز این پدیده (زمین لغزش) خسارات مالی و جانی زیادی به بار می‌آید که در اکثر موارد جبران این خسارت‌ها غیرممکن بوده و یا به هزینه‌های سنگینی برای بازسازی و اصلاح آن‌ها نیاز دارد.

بر پایه بررسی‌های انجام شده تا اوایل سال ۱۳۸۷، در بانک اطلاعاتی زمین لغزش وزارت جهاد کشاورزی، اطلاعات مربوط به حدود ۲۵۹۰ زمین لغزش در کشور

بدین منظور تحقیق حاضر گامی است در برای دستیابی به هدف بررسی تأثیر ویژگی های مختلف فیزیکی و شیمیایی خاک بر وقوع ناپایداری های دامنه ای با تأکید بر زمین لغزش های چرخشی.

لغزش ها به دو دسته اصلی چرخشی و انتقالی تقسیم می شوند. حرکت نسبتاً آرام بلوک یا بلوک های چسبنده خاکی، سنگی یا مخلوط خاک و سنگ در طول یک سطح گسیختگی مشخصاً قوسی شکل را لغزش چرخشی می گویند (۲۲،۲۱). معمولاً لغزش های چرخشی در شیب های تشکیل شده از نهشته های ضخیم نسبتاً یک دست رسی یا شیلی رخ می دهند. همچنین آنها در شیب هایی با مواد دانه ای یا سنگ های درز و شکاف دار که فشار منفذی به حد کافی بالا می رود و نیز سنگ های هوازده به وقوع می پیوندند (شکل ۱).

گذر مسیر جاده های استراتژیک استان به ویژه، جاده استراتژیک شهرکرد- ایذه و شهرکرد- مسجدسلیمان از میانه پهنه زاگرس مرتفع و عبور از پیشانی تشکیلات مارنی در دو دهه اخیر موجبات رخداد گسترده ناپایداری های جاده ای را فراهم آورده است (۵)؛ از جمله این ناپایداری ها می توان به زمین لغزش بزرگ روستای چلو استان چهارمحال و بختیاری در سال ۱۳۷۲ که باعث کشته شدن ۶ نفر از اهالی روستا و هدر رفتن حداقل ۱۵۰۰۰۰ مترمکعب از اراضی کشاورزی گردیده اشاره نمود. بهمن سنگی روستای آبیکار کارکن علیا از شهرستان فارس در سال ۱۳۷۷ باعث مدفون شدن این روستا و مرگ ۵۵ نفر از ساکنین آن شده و ۴۰ هکتار از اراضی روستا نیز در زیر انبوهی از رسوبات به ضخامت حدود سه تا ده متر مدفون شدند (۲).



شکل ۱- شماتیک لغزش چرخشی (۲۰).

ترتیب ۲۰-۱۱ درصد و ۴۲-۳۲ درصد بود که نشان می داد این خاک ها با کم ترین بارندگی به حالت اشباع می آیند.

امامی (۵) با بررسی جامع و همه جانبه ساز و کار و فرآیندهای موثر در زمین لغزش های افسرآباد، نشان داد نوع رس های موجود در میان لایه های مارنی از نوع مونت موریلونایت بوده است که باعث پدیده فروریختگی شده و سپس نشست را موجب می شود. با بررسی خصوصیات زمین شناسی مهندسی توده لغزشی منطقه بهرام بیگی مشخص گردید که تشکیلات زمین شناسی در محدوده مورد مطالعه از سازندهای پابده و گورپی با جنس شیل و مارن بوده و جنس این دو سازند مستعدترین خاک را برای لغزش دارا می باشد. همچنین بارندگی در منطقه و وجود چشمه سارهای متعدد در محدوده لغزش باعث اشباع خاک ریز دانه محل شده و در نهایت زمینه لغزش را در خاک فراهم آورده است (۱۳).

لغزش را نمی توان منحصرأ مربوط به خصوصیات سازند دانست علی رغم افزایش اسمکتیت و کانی هایی

لغزش های چرخشی بر حسب نوع مواد به حرکت های توده ای خاکی، سنگی و واریزه ای تقسیم می شوند و بر اساس شکل و تعداد سطح لغزش به زمین لغزش چرخشی ساده، مکرر و متوالی طبقه بندی می گردند (۱۶،۶).

حرکت آهسته تا سریع بلوک یا بلوک هایی معمولاً از سنگ یا خاک در طول سطوح گسیختگی مشخصاً صفحه ای را لغزش انتقالی گویند. تحقیق جاری بر روی زمین لغزش های چرخشی انجام شده است.

طالبی (۱۸) در مطالعه ای به بررسی عوامل موثر در ایجاد زمین لغزش در منطقه گل شور اردل چهارمحال و بختیاری پرداخت و عوامل موثر در افزایش پتانسیل زمین لغزش گل شور را شیب کانی های رسی منبسط شونده، نزولات جوی، تخریب پوشش گیاهی، جاده سازی و تکتونیک معرفی نمود. مهدوی و همکاران (۱۰) به منظور شناخت عوامل موثر در زمین لغزش در استان کهگیلویه و بویراحمد ۳۰ زمین لغزش را مورد شناسایی قرار دادند. نتایج نشان داد که اکثر خاک های منطقه بافت لومی رسی داشته، حد خمیری و روانی خاک ها به

را (۲۶-۱۱٪) که درصد بالایی بود را تشکیل می‌دادند. ایشان تکنیک‌هایی را برای بهبود مقاومت خاک‌ها پیشنهاد نمودند؛ برای مثال، دوغاب‌ریزی را یکی از راه‌های موثر برای پایداری زمین لغزش دانستند.

ملت و همکاران (۹) مارن‌های سیاه واقع در جنوب شرقی فرانسه را مورد مطالعه قرار دادند. این مارن‌ها به دلیل حساسیت به هوازدهی به طور گسترده، تحت تأثیر حرکت توده‌ای و یا فرسایش هزار دره قرار گرفته‌اند. نتایج نشان داد رابطه نزدیکی بین رفتار مواد هوازده و زمین لغزش وجود دارد و منطقه مستعد فرسایش و حرکات توده‌ای بوده است و اقدامات ویژه‌ای در مورد مارن‌ها باید صورت پذیرد.

نتایج مطالعات جامعی از فرآیندهای زمین لغزش در ایتالیایی، نشان داد که مهم‌ترین نوع زمین لغزش در منطقه از نوع زمین لغزش واریزه‌ای و سیلان بوده و علل اصلی زمین لغزش‌ها شرایط هیدرولوژیکی منطقه و خصوصیات ژئوتکنیکی خاک‌ها و سنگ‌ها برای لغزش برآورد گردید (۱).

مطالعات (۱۵) در جنوب شرقی آمریکا نشان داد که زمین لغزش‌های مورد مطالعه از نوع انتقالی بوده و در محل تماس خاک واریزه‌ای و سنگ بستر اتفاق می‌افتند و وجود پوشش گیاهی روی شیب‌ها نقش مهمی در توزیع زمین لغزش‌های متاثر از طوفان را بازی می‌کند.

### مواد و روش‌ها

#### موقعیت جغرافیایی و فیزیوگرافی حوزه

منطقه افسرآباد در حوزه آبخیز دو آب صمصامی واقع می‌باشد. این حوزه، زیر حوزه کوهرنگ سفلی بوده و با مساحتی بالغ بر ۲۵۷ کیلومتر مربع در غرب استان چهارمحال و بختیاری، در شهرستان کوهرنگ و ما بین طول‌های ۱۱' ۵۰ تا ۲۶' ۵۰ شرقی و عرض‌های ۸' ۳۲ تا ۱۰' ۳۲ شمالی واقع شده است. ارتفاع ماز سوی حوزه ۲۵۵۳ متر از سطح دریا است (۵). شکل ۲ موقعیت منطقه را در استان و شکل ۳ نمایی از منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

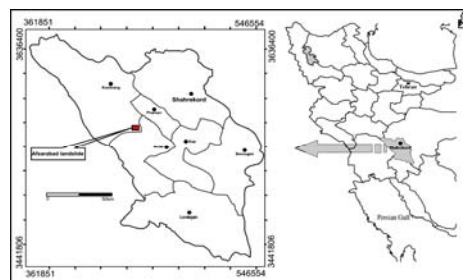
منبسط‌شونده از سطح به عمق که قاعداً باید باعث افزایش حدود آتبرگ و شاخص خمیریایی گردد این مقادیر به دلیل افزایش چشم‌گیر آهک و کاهش میزان رس کاهش یافته‌اند (۷). برسانی و بیکا (۳) روی حرکت توده‌ای و شکست شیب که در اثر احداث جاده در سال ۱۹۹۳ در جنوب برزیل ایجاد شده بود، به مطالعه پرداختند. بررسی‌های ژئوتکنیکی و آزمایشگاهی از این نواحی نشان داد که تمرکز ذرات با اندازه‌ی سیلت در لایه خاکستری وجود دارد و کاهش چشم‌گیری در میزان شن دیده می‌شود.

محامد (۱۲) به مطالعه نقش کانی‌های رسی بر پایداری خاک‌های مارنی پرداخت. در این مطالعه مدل‌های ترمودینامیکی و آنالیزهای اشعه ایکس برای توضیح علل پایه‌ای تخریب قابلیت حمایت‌کنندگی این نوع خاک‌ها به کار برده شد. بررسی‌های آزمایشگاهی نشان داد تشکیل کانی‌های انبساط پذیر که از تبدیل پالیگورسکایت موجود ایجاد می‌شوند، کنترل‌کننده فرآیندهای شکست هستند.

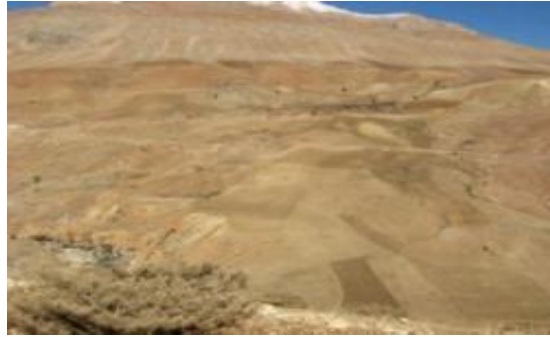
بونزا (۴) به مطالعه عوامل، فرآیندها و برآورد ریسک زمین لغزش در باواریان آلپ پرداخت. بدین منظور زمین شناسی و ژئومورفولوژی منطقه مورد تحقیق و بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که به دلیل محتوای بالای رس در مارن‌ها زاویه اصطکاک داخلی، میزان چسبندگی و در نتیجه مقاومت برشی نسبت به رسوبات یخچالی کاهش می‌یابد.

لوگینیل و همکاران (۸) با مطالعه زمین لغزش کم عمق ملاس سوئیس که در سال ۱۹۹۹ در طی بارندگی سنگین و ذوب برف به وقوع پیوست، به این نتیجه رسیدند که کاهش مقاومت مارن‌ها در اثر فرآیند هوازدهی و اشباع شدن طی دوره‌های بارندگی سنگین در توالی مارن، کنگلومرا، ماسه سنگ باعث چنین لغزش‌هایی شده است.

ون و گوانگ (۲۳) مقاومت برشی خاک‌های حاوی مواد آمورف در زمین لغزش‌های آرام جزیره آهو، هنولولوئی شرقی را مورد بررسی قرار دادند. نتایج کانی شناسی حاکی از آن بود که کانی‌های آمورف (۷۴-۴۸ درصد) و کانی‌های کریستالی از نوع اسمکتیت



شکل ۲- موقعیت جغرافیایی پهنه ی زمین لغزش افسرآباد.



شکل ۳- نمایی از دامنه لغزشی مورد مطالعه- دید به سمت شمال.

### روش تحقیق

سه مورد زمین لغزش در سازند، ریخت شناسی، کاربری و شیب‌های مشابه حد فاصل روستای افسر آباد و روستای سیف آباد و در جوار آن‌ها سه نقطه شاهد بدون لغزش نیز انتخاب شده و روی نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ جانمایی شدند.

جنس سازند از نوع واریزه‌های دامنه‌ای کواترنری می‌باشد که از هر لغزش و هر نقطه شاهد ۳ نمونه از عمق‌های ۴۰-۰، ۸۰-۴۰ و ۱۲۰-۸۰ با سه تکرار برداشت شد. پس از حفاری، دیواره هریک از پروفیل‌ها

تشریح و در فرم‌های خاص ثبت گردید (شکل ۴). پس از نمونه‌برداری بخشی از خاک به منظور تعیین وزن خشک و مرطوب در ظروف در بسته‌ای نگهداری شد. بقیه نمونه‌ها را در سایه خشک کرده و پس از کوبیدن با چکش چوبی از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شدند. پس از اندازه‌گیری میزان سنگریزه، بخشی از نمونه‌های الک شده خاک به منظور تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی به آزمایشگاه منتقل گردیده و سپس آزمایشات لازم رروی ۵۴ نمونه انجام و نتایج استخراج گردید.



شکل ۴- نمایی از پروفیل شماره ۳.

### مطالعات آزمایشگاهی

نمونه‌های خاک خشک شده در هوا، از الک دو میلی‌متری عبور داده شد و درصد حجمی سنگریزه نیز تعیین گردید.

آزمایش‌های فیزیکی شامل جرم مخصوص ظاهری، جرم مخصوص حقیقی، بافت خاک، درصد رطوبت اشباع و آزمایش‌های شیمیایی مشتمل بر اندازه‌گیری PH، EC، آهک، کاتیون‌های سدیم، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، میزان گچ و نیز میزان مواد آلی برروی نمونه‌ها به انجام رسید.

### روش آماری و نرم‌افزارهای مورد استفاده

با توجه به این که بررسی تغییرات عمق در گمانه الزامی است، روش آماری به شکل فاکتوریل در قالب

طرح کاملاً تصادفی بوده و با نرم‌افزار SPSS نتایج تجزیه و تحلیل گردیدند. سپس جدول Anova تهیه شده، که به بررسی نتایج تجزیه واریانس در خصوصیات پروفیل‌های مختلف می‌پردازد و نهایتاً مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن در سطح ۵ درصد انجام و نتایج تفسیر گردیدند.

### نتایج و بحث

#### زمین شناسی منطقه لغزش

زمین لغزش‌های مورد بررسی از دیدگاه چینه‌شناسی روی واریزه‌های دامنه‌ای کواترنری با سنگ بستری از کنگلومرا، مارن و شیل با میان لایه‌های آهک مربوط به سازند آسماری به وقوع پیوسته است.

### خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

پس از انجام آزمایشات فیزیکی و شیمیایی، نتایج به شرح زیر در جدول‌های ۱ تا ۳ ارائه شده است.

جدول ۱ به نتایج آزمایشات فیزیکی و شیمیایی در پروفیل لغزش یافته (شماره ۲) و پروفیل شاهد (شماره ۱)

(۱) می‌پردازد، هم‌چنین در هر پروفیل سه عمق و از هر عمق سه تکرار وجود دارد که این نتایج به صورت متناظر و دو به دو در این جدول قرار دارد. برخی از مهم‌ترین نکات این جدول به شرح زیر است:

جدول ۱- نتایج ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی در پروفیل‌های لغزش یافته (۲) و شاهد (۱)

| Anions & Cations   |      |      |      |      |                    |        |         |                    |    |                |                  |                  |                 |        |                  |
|--------------------|------|------|------|------|--------------------|--------|---------|--------------------|----|----------------|------------------|------------------|-----------------|--------|------------------|
| P.d.               | Clay | Silt | Sand | O.C  | B.d.               | T.N.V. | pH.     | E.C.               | SP | mg/kg          |                  |                  |                 | Depth  | Sample           |
| g.cm <sup>-3</sup> | %    | %    | %    | %    | g.cm <sup>-3</sup> | %      | of past | dS.m <sup>-1</sup> | %  | K <sup>+</sup> | Ca <sup>++</sup> | Mg <sup>++</sup> | Na <sup>+</sup> | Cm     | تکرار عمق پروفیل |
| ۲/۶۶               | ۴۴   | ۴۳   | ۱۳   | ۱/۰۵ | ۱/۳۶               | ۱۴     | ۷/۶۳    | ۰/۹۶               | ۵۵ | ۱/۳۸           | ۳/۸۹             | ۱/۱۱             | ۱/۱۱            | ۰-۴۰   | ۱.۱.۱            |
| ۲/۶۵               | ۴۰   | ۴۴   | ۱۶   | ۰/۶۲ | ۱/۳۰               | ۲۲/۵   | ۷/۵۰    | ۰/۹۲               | ۴۸ | ۱/۴۷           | ۳/۸۹             | ۱/۶۳             | ۱/۶۳            | ۰-۴۰   | ۲.۱.۱            |
| ۲/۶۳               | ۴۴   | ۴۳/۵ | ۱۲/۵ | ۱/۱۱ | ۱/۲۸               | ۲۰     | ۷/۶۸    | ۰/۸۹               | ۵۴ | ۱/۴            | ۳/۹              | ۱/۲۵             | ۱/۰۸            | ۰-۴۰   | ۱.۱.۲            |
| ۲/۶۴               | ۴۰/۵ | ۴۴/۵ | ۱۵   | ۰/۷۶ | ۱/۳۲               | ۲۴/۵   | ۷/۵۵    | ۱/۰۱               | ۴۷ | ۱/۳۹           | ۳/۸              | ۱/۶              | ۱/۵۲            | ۰-۴۰   | ۲.۱.۲            |
| ۲/۶۳               | ۴۵   | ۴۲   | ۱۳   | ۱/۰۵ | ۱/۳۲               | ۱۹/۵   | ۷/۶۳    | ۰/۹۰               | ۵۴ | ۱/۳۵           | ۳/۹۴             | ۱/۲              | ۱/۱۴            | ۰-۴۰   | ۱.۱.۳            |
| ۲/۶۶               | ۴۱   | ۴۳   | ۱۶   | ۰/۷۷ | ۱/۲۶               | ۲۰/۵   | ۷/۴۸    | ۰/۹۸               | ۴۷ | ۱/۵            | ۳/۷۸             | ۱/۵۹             | ۱/۵۷            | ۰-۴۰   | ۲.۱.۳            |
| ۲/۶۱               | ۵۰   | ۳۶   | ۱۴   | ۰/۶۴ | ۱/۲۶               | ۱۸     | ۷/۵۵    | ۰/۸۴               | ۵۳ | ۱/۵۳           | ۵/۱۱             | ۲/۲۱             | ۰/۹۸            | ۴۰-۸۰  | ۱.۲.۱            |
| ۲/۶۳               | ۴۶   | ۴۰   | ۱۴   | ۱/۲۵ | ۱/۲۵               | ۱۷     | ۷/۵۲    | ۱/۱۷               | ۵۵ | ۱/۹۳           | ۳/۲۵             | ۱/۰۹             | ۱/۱۱            | ۴۰-۸۰  | ۲.۲.۱            |
| ۲/۶۱               | ۵۰/۵ | ۳۶   | ۱۴/۵ | ۰/۵۹ | ۱/۳۰               | ۱۴     | ۷/۵۹    | ۰/۷۹               | ۵۳ | ۱/۵            | ۵/۱              | ۲/۲              | ۱/۰۱            | ۴۰-۸۰  | ۱.۲.۲            |
| ۲/۶۴               | ۴۷   | ۳۹   | ۱۴   | ۱/۲۵ | ۱/۲۳               | ۱۶     | ۷/۵۵    | ۱/۲۵               | ۵۵ | ۱/۵۷           | ۳/۳              | ۱/۱              | ۱/۰۶            | ۴۰-۸۰  | ۲.۲.۲            |
| ۲/۶۴               | ۴۹   | ۳۷   | ۱۴   | ۰/۵۸ | ۱/۲۵               | ۱۷/۵   | ۷/۵۱    | ۰/۳۲               | ۵۳ | ۱/۵            | ۵/۱۱             | ۲/۱۸             | ۰/۹۷            | ۴۰-۸۰  | ۱.۲.۳            |
| ۲/۶۱               | ۴۶   | ۴۱   | ۱۳   | ۱/۱۹ | ۱/۲۷               | ۲۶/۵   | ۷/۵۸    | ۱/۳۳               | ۵۴ | ۱/۴۹           | ۳/۲۴             | ۱/۱۱             | ۰/۹۹            | ۴۰-۸۰  | ۲.۲.۳            |
| ۲/۶۲               | ۴۸   | ۳۸   | ۱۴   | ۰/۳۷ | ۱/۲۴               | ۳۴     | ۷/۶۷    | ۰/۷۴               | ۴۹ | ۲/۹۶           | ۳/۰۹             | ۰/۹۹             | ۱/۴۸            | ۸۰-۱۲۰ | ۱.۳.۱            |
| ۲/۶۴               | ۴۴   | ۴۶   | ۱۰   | ۰/۴۷ | ۱/۳۲               | ۳۰     | ۷/۶۵    | ۰/۷۳               | ۵۳ | ۲/۲۵           | ۲/۹۶             | ۱/۲۳             | ۰/۹۸            | ۸۰-۱۲۰ | ۲.۳.۱            |
| ۲/۶۴               | ۴۸/۵ | ۳۹   | ۱۲/۵ | ۰/۴۳ | ۱/۲۲               | ۳۳     | ۷/۶۷    | ۰/۷۳               | ۴۸ | ۲/۹            | ۳/۱              | ۰/۹              | ۱/۳۶            | ۸۰-۱۲۰ | ۱.۳.۲            |
| ۲/۶۲               | ۴۳   | ۴۷   | ۱۰   | ۰/۵۷ | ۱/۳۳               | ۲۸     | ۷/۶۵    | ۰/۶۹               | ۵۳ | ۲/۱۱           | ۲/۹              | ۱/۲              | ۰/۹۹            | ۸۰-۱۲۰ | ۲.۳.۲            |
| ۲/۶۳               | ۴۷/۵ | ۳۸/۵ | ۱۴   | ۰/۴۱ | ۱/۲۱               | ۳۴     | ۷/۶۵    | ۰/۷۰               | ۴۹ | ۲/۸۱           | ۳/۱۵             | ۱/۹۵             | ۱/۴             | ۸۰-۱۲۰ | ۱.۳.۳            |
| ۲/۶۱               | ۴۴   | ۴۶/۵ | ۱۰/۵ | ۰/۵۱ | ۱/۳۲               | ۱۹     | ۷/۶۵    | ۰/۸۰               | ۵۴ | ۲/۱۴           | ۲/۹۹             | ۱/۲              | ۱/۲۵            | ۸۰-۱۲۰ | ۲.۳.۳            |

جدول (۳) به نتایج آزمایشات فیزیکی و شیمیایی در پروفیل لغزش یافته (شماره ۵) و پروفیل شاهد (شماره ۶) می‌پردازد، هم‌چنین در هر پروفیل سه عمق و از هر عمق سه تکرار وجود دارد که این نتایج به صورت متناظر و دو به دو در این جدول قرار دارد.

جدول (۲) به نتایج آزمایشات فیزیکی و شیمیایی در پروفیل لغزش یافته (شماره ۳) و پروفیل شاهد (شماره ۴) می‌پردازد، هم‌چنین در هر پروفیل سه عمق و از هر عمق سه تکرار وجود دارد که این نتایج به صورت متناظر و دو به دو در این جدول قرار دارد.

جدول ۲- نتایج ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی در پروفیل‌های لغزش یافته (۳) و شاهد (۴)

| Anions & Cations   |      |      |      |      |                    |        |         |                    |      |                |                  |                  |                 |        |                  |
|--------------------|------|------|------|------|--------------------|--------|---------|--------------------|------|----------------|------------------|------------------|-----------------|--------|------------------|
| P.d.               | Clay | Silt | Sand | O.C. | B.d.               | T.N.V. | pH.     | E.C.               | S.P. | mg/kg          |                  |                  |                 | Depth  | Sample           |
| g.cm <sup>-3</sup> | %    | %    | %    | %    | g.cm <sup>-3</sup> | %      | of past | dS.m <sup>-1</sup> | %    | K <sup>+</sup> | Ca <sup>++</sup> | Mg <sup>++</sup> | Na <sup>+</sup> | Cm     | تکرار عمق پروفیل |
| ۲/۶۲               | ۳۲   | ۵۶   | ۱۲   | -/۹۴ | ۱/۳۱               | ۲۳     | ۷/۵۷    | ۱/۰۳               | ۵۲   | ۱/۰۹           | ۳/۶۳             | ۱/۱۶             | -/۹۹            | -۰۴۰   | ۳.۱.۱            |
| ۲/۶۳               | ۳۳   | ۵۳   | ۱۴   | ۱/۰۷ | ۱/۳۱               | ۲۲     | ۷/۵۸    | -/۶۹               | ۵۱   | ۱/۱۲           | ۴/۰۱             | ۱/۸۶             | ۱/۸۹            | -۰۴۰   | ۴.۱.۱            |
| ۲/۶۲               | ۳۱/۵ | ۵۷/۵ | ۱۱   | ۱/۰۵ | ۱/۳۱               | ۲۳/۵   | ۷/۵۴    | ۱/۱۱               | ۵۱   | ۱/۱۲           | ۳/۶              | ۱/۱۵             | -/۹۷            | -۰۴۰   | ۳.۱.۲            |
| ۲/۶۳               | ۳۰   | ۵۷   | ۱۵   | ۱/۱۱ | ۱/۳۲               | ۲۳     | ۷/۵۱    | -/۷۰               | ۵۱   | ۱/۱            | ۴/۰۹             | ۱/۹              | ۱/۸۷            | -۰۴۰   | ۴.۱.۲            |
| ۲/۶۳               | ۳۱   | ۵۷   | ۱۲   | -/۸۲ | ۱/۱۹               | ۲۲/۵   | ۷/۵۱    | ۱/۲۱               | ۵۲   | ۱/۱۱           | ۳/۵۹             | ۱/۱۵             | ۱               | -۰۴۰   | ۳.۱.۳            |
| ۲/۶۱               | ۳۲   | ۵۴/۵ | ۱۳/۵ | ۱/۰۲ | ۱/۳۴               | ۲۵/۵   | ۷/۵۰    | -/۷۰               | ۵۲   | ۱/۱۲           | ۳/۹۸             | ۱/۸۸             | ۱/۸۸            | -۰۴۰   | ۴.۱.۳            |
| ۲/۶۶               | ۳۶   | ۵۳   | ۱۱   | -/۴۵ | ۱/۲۴               | ۲۸     | ۷/۷۱    | -/۸۶               | ۵۷   | ۱/۴۳           | ۲/۵۵             | ۲/۱۱             | ۱/۳۵            | ۴۰-۸۰  | ۳.۲.۱            |
| ۲/۶۴               | ۳۶   | ۴۹   | ۱۵   | -/۷۵ | ۱/۳۵               | ۲۵     | ۷/۶۵    | -/۶۸               | ۵۰   | ۱/۸۶           | ۴/۵۳             | -/۹۹             | ۱/۳۱            | ۴۰-۸۰  | ۴.۲.۱            |
| ۲/۶۴               | ۳۷   | ۵۳   | ۱۰   | -/۳۹ | ۱/۲۶               | ۳۱     | ۷/۷۶    | -/۸۷               | ۵۶   | ۱/۴            | ۲/۶۱             | ۲/۱              | ۱/۳۶            | ۴۰-۸۰  | ۳.۲.۲            |
| ۲/۶۴               | ۳۶/۵ | ۴۹/۵ | ۱۴   | -/۵۷ | ۱/۳۶               | ۲۵     | ۷/۶۴    | -/۷۲               | ۵۱   | ۱/۸            | ۴/۵              | -/۹۸             | ۱/۳             | ۴۰-۸۰  | ۴.۲.۲            |
| ۲/۶۷               | ۳۶/۵ | ۵۲/۵ | ۱۱   | -/۵۹ | ۱/۲۶               | ۲۷     | ۷/۷۰    | -/۹۰               | ۵۷   | ۱/۴۹           | ۲/۶۲             | ۲/۰۵             | ۱/۳             | ۴۰-۸۰  | ۳.۲.۳            |
| ۲/۶۵               | ۳۶   | ۴۹   | ۱۴   | -/۵۵ | ۱/۳۳               | ۲۴/۵   | ۷/۷۰    | -/۷۰               | ۵۱   | ۱/۹۱           | ۴/۴۸             | ۱/۰۱             | ۱/۳             | ۴۰-۸۰  | ۴.۲.۳            |
| ۲/۶۷               | ۳۸   | ۵۰   | ۱۲   | -/۱۴ | ۱/۲۷               | ۲۳/۵   | ۷/۹۳    | -/۸۵               | ۵۱   | ۱/۵۶           | ۳/۲۴             | ۱/۲۵             | ۲/۱۶            | ۸۰-۱۲۰ | ۳.۳.۱            |
| ۲/۶۴               | ۴۲   | ۴۳   | ۱۵   | -/۳۵ | ۱/۲۵               | ۲۴/۵   | ۷/۷۹    | -/۸۰               | ۴۹   | ۱/۳۳           | ۴/۳۸             | -/۹۹             | -/۹۸            | ۸۰-۱۲۰ | ۴.۳.۱            |
| ۲/۶۸               | ۳۹   | ۴۹   | ۱۲   | -/۰۶ | ۱/۲۹               | ۲۰/۵   | ۷/۹۲    | -/۸۶               | ۵۱   | ۱/۵            | ۳/۲۹             | ۱/۲۴             | ۲/۱۵            | ۸۰-۱۲۰ | ۳.۳.۲            |
| ۲/۶۵               | ۴۲/۵ | ۴۳   | ۱۴/۵ | -/۳۹ | ۱/۲۸               | ۲۷     | ۷/۸۲    | -/۸۰               | ۴۸   | ۱/۲            | ۴/۴۱             | -/۹۹             | -/۹۹            | ۸۰-۱۲۰ | ۴.۳.۲            |
| ۲/۶۵               | ۳۸   | ۵۰/۵ | ۱۲/۵ | -/۱۴ | ۱/۳۰               | ۲۲     | ۷/۹۸    | -/۸۸               | ۵۰   | ۱/۶۱           | ۳/۳              | ۱/۳              | ۲/۱۴            | ۸۰-۱۲۰ | ۳.۳.۳            |
| ۲/۶۴               | ۴۲   | ۴۳/۵ | ۱۴/۵ | -/۳۱ | ۱/۲۳               | ۲۶/۵   | ۷/۸۴    | -/۸۹               | ۴۸   | ۱/۲۹           | ۴/۴              | -/۹۹             | -/۹۶            | ۸۰-۱۲۰ | ۴.۳.۳            |

جدول ۳- نتایج ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی در پروفیل‌های لغزش یافته (۵) و شاهد (۶)

| Anions & Cations   |      |      |      |      |                    |        |         |                    |      |                |                  |                  |                 |        |                  |
|--------------------|------|------|------|------|--------------------|--------|---------|--------------------|------|----------------|------------------|------------------|-----------------|--------|------------------|
| P.d.               | Clay | Silt | Sand | O.C. | B.d.               | T.N.V. | pH.     | E.C.               | S.P. | mg/kg          |                  |                  |                 | Depth  | Sample           |
| g.cm <sup>-3</sup> | %    | %    | %    | %    | g.cm <sup>-3</sup> | %      | of past | dS.m <sup>-1</sup> | %    | K <sup>+</sup> | Ca <sup>++</sup> | Mg <sup>++</sup> | Na <sup>+</sup> | Cm     | تکرار عمق پروفیل |
| ۲/۶۴               | ۳۴   | ۴۹   | ۱۷   | -/۴۱ | ۱/۲۸               | ۱۸     | ۷/۶۶    | ۱/۰۱               | ۵۱   | ۲/۰۹           | ۴/۴۱             | ۲/۰۶             | -/۸۹            | -۰۴۰   | ۵.۱.۱            |
| ۲/۶۵               | ۳۴/۵ | ۴۶/۵ | ۱۹   | ۱/۰۱ | ۱/۳۴               | ۲۱     | ۷/۶۶    | -/۶۱               | ۴۸   | ۱/۱۵           | ۴/۳۶             | ۱/۸              | -/۹۹            | -۰۴۰   | ۶.۱.۱            |
| ۲/۶۳               | ۳۴   | ۵۰   | ۱۶   | -/۴۳ | ۱/۳۱               | ۱۹     | ۷/۶۳    | ۱/۱۱               | ۵۱   | ۲/۱            | ۴/۴              | ۲/۱۱             | -/۸۸            | -۰۴۰   | ۵.۱.۲            |
| ۲/۶۳               | ۳۶   | ۴۵/۵ | ۱۸/۵ | -/۹۹ | ۱/۳۱               | ۲۱/۵   | ۷/۶۳    | -/۶۹               | ۴۹   | ۱/۱۴           | ۴/۴۹             | ۱/۷۲             | -/۹۸            | -۰۴۰   | ۶.۱.۲            |
| ۲/۶۴               | ۳۴/۵ | ۵۰   | ۱۶/۵ | -/۳۵ | ۱/۳۰               | ۱۸     | ۷/۶۶    | -/۹۹               | ۵۲   | ۲/۱۵           | ۴/۴۷             | ۲/۰۴             | -/۸۹            | -۰۴۰   | ۵.۱.۳            |
| ۲/۶۵               | ۳۵   | ۴۶   | ۱۹   | ۱/۰۲ | ۱/۳۳               | ۲۱     | ۷/۶۴    | -/۷۰               | ۴۸   | ۱/۱            | ۴/۵              | ۱/۷              | -/۹۹            | -۰۴۰   | ۶.۱.۳            |
| ۲/۶۵               | ۳۴   | ۴۷   | ۱۹   | -/۳۳ | ۱/۳۴               | ۱۹/۵   | ۷/۷۱    | ۱/۰۰               | ۴۸   | ۱/۵۷           | ۴/۵              | ۱/۹۷             | ۱/۳۱            | ۴۰-۸۰  | ۵.۲.۱            |
| ۲/۶۷               | ۴۲   | ۴۴   | ۱۴   | -/۴۵ | ۱/۲۴               | ۲۱/۵   | ۷/۷۰    | -/۷۳               | ۵۱   | ۲/۱۱           | ۳/۲۴             | ۱/۰۷             | -/۸۷            | ۴۰-۸۰  | ۶.۲.۱            |
| ۲/۶۳               | ۳۵   | ۴۶   | ۱۹   | -/۳۱ | ۱/۳۷               | ۱۵     | ۷/۷۳    | -/۹۹               | ۴۸   | ۱/۵            | ۳/۹۶             | ۱/۹۶             | ۱/۳             | ۴۰-۸۰  | ۵.۲.۲            |
| ۲/۶۴               | ۴۱/۵ | ۴۲/۵ | ۱۵   | -/۳۳ | ۱/۲۰               | ۱۸     | ۷/۶۷    | -/۷۹               | ۵۰   | ۲/۱۲           | ۳/۳۶             | ۱/۱              | -/۸۹            | ۴۰-۸۰  | ۶.۲.۲            |
| ۲/۶۶               | ۳۴/۵ | ۴۷/۵ | ۲۰   | -/۴۰ | ۱/۳۴               | ۱۶     | ۷/۶۸    | ۱/۰۴               | ۴۷   | ۱/۶۱           | ۳/۹۸             | ۱/۹۸             | ۱/۳             | ۴۰-۸۰  | ۵.۲.۳            |
| ۲/۶۷               | ۴۳   | ۴۳   | ۱۴   | -/۳۹ | ۱/۲۱               | ۱۹     | ۷/۷۱    | -/۷۴               | ۵۰   | ۲/۱۸           | ۳/۳              | ۱/۰۹             | -/۸۸            | ۴۰-۸۰  | ۶.۲.۳            |
| ۲/۶۴               | ۴۰   | ۴۶   | ۱۴   | -/۴۳ | ۱/۲۳               | ۱۴/۵   | ۷/۷۳    | -/۹۲               | ۵۲   | ۱/۳۱           | ۴/۶              | ۲/۲۵             | ۱/۱۴            | ۸۰-۱۲۰ | ۵.۳.۱            |
| ۲/۶۳               | ۴۶   | ۴۱   | ۱۳   | -/۳۵ | ۱/۱۹               | ۱۸     | ۷/۶۶    | -/۶۹               | ۵۵   | ۱/۶۳           | ۴/۴۸             | ۲/۲۵             | ۱/۱۱            | ۸۰-۱۲۰ | ۶.۳.۱            |
| ۲/۶۴               | ۴۱   | ۴۵   | ۱۴   | -/۵۵ | ۱/۲۴               | ۱۶/۵   | ۷/۷۱    | -/۹۵               | ۵۲   | ۱/۳            | ۴/۵              | ۲/۳              | ۱/۱             | ۸۰-۱۲۰ | ۵.۳.۲            |
| ۲/۶۴               | ۴۶/۵ | ۴۱/۵ | ۱۲   | -/۴۱ | ۱/۲۴               | ۱۹/۵   | ۷/۶۰    | -/۷۰               | ۵۶   | ۱/۶            | ۴/۴              | ۲/۴              | ۱/۱             | ۸۰-۱۲۰ | ۶.۳.۲            |
| ۲/۶۲               | ۴۰/۵ | ۴۶/۵ | ۱۵   | -/۵۰ | ۱/۲۸               | ۱۵/۵   | ۷/۷۷    | -/۹۰               | ۵۱   | ۱/۳            | ۴/۳              | ۲/۳              | ۱/۱۵            | ۸۰-۱۲۰ | ۵.۳.۳            |
| ۲/۶۳               | ۴۷/۵ | ۴۰   | ۱۲/۵ | -/۲۵ | ۱/۲۶               | ۱۹/۵   | ۷/۶۴    | -/۷۱               | ۵۶   | ۱/۵۸           | ۴/۱۵             | ۲/۲۷             | ۱/۱۱            | ۸۰-۱۲۰ | ۶.۳.۳            |

### تجزیه و تحلیل آماری

#### جدول تجزیه واریانس

با استفاده از نرم‌افزار SPSS جدول تجزیه واریانس (ANOVA) تهیه شد که به بررسی تفاوت ویژگی‌های

فیزیکی و شیمیایی خاک در پروفیل‌های مختلف می‌پردازد. نتایج تجزیه واریانس خصوصیات ۶ پروفیل به صورت هر زوج پروفیل (گمانه) در جداول ۴ تا ۹ ارائه شده‌اند.

جدول ۴- تجزیه واریانس ویژگی‌های خاک برای گمانه ۱ و ۲

| منبع تغییر | درجه آزادی | میانگین مربعات      |          |                     |         |                     |                     |
|------------|------------|---------------------|----------|---------------------|---------|---------------------|---------------------|
|            |            | clay                | Silt     | sand                | OC      | SP                  | ρ <sub>s</sub>      |
| گمانه      | ۱          | ۶۸/۰۵۶**            | ۸۰/۲۲۲** | ۰/۵۰۰ <sup>ns</sup> | ۰/۰۷۲** | ۰/۲۲۳ <sup>ns</sup> | ۰/۰۰۱ <sup>ns</sup> |
| عمق        | ۲          | ۴۸/۸۴۷**            | ۴۶/۱۶۷** | ۱۰/۲۹۲**            | ۰/۴۰۱** | ۱۷/۰۵۶**            | ۱/۰۰۳*              |
| گمانه×عمق  | ۲          | ۰/۲۶۴ <sup>ns</sup> | ۱۸/۷۲۲** | ۱۴/۲۹۲**            | ۰/۳۵۸** | ۵۵/۰۵۶**            | ۰/۰۰۸**             |
| خطا        | ۱۲         | ۰/۳۴۷               | ۰/۵۰۰    | ۰/۲۷۸               | ۰/۰۰۲   | ۰/۲۷۸               | ۰/۰۰۱               |

\*، \*\* و <sup>ns</sup>: به ترتیب تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد، یک درصد و تفاوت غیرمعنی‌دار

جدول ۵- تجزیه واریانس ویژگی‌های خاک برای گمانه ۱ و ۲

| منبع تغییر | درجه آزادی | میانگین مربعات      |         |         |         |         |                     |
|------------|------------|---------------------|---------|---------|---------|---------|---------------------|
|            |            | Na                  | Mg      | Ca      | K       | EC      | PH                  |
| گمانه      | ۱          | ۰/۰۱۸ <sup>ns</sup> | ۰/۰۸۵** | ۲/۱۹۱** | ۰/۱۷۶** | ۰/۱۲۶** | ۰/۰۰۱ <sup>ns</sup> |
| عمق        | ۲          | ۰/۱۶۲**             | ۰/۴۹۰** | ۲/۱۲۹** | ۲/۲۳۸** | ۰/۱۴۲** | ۰/۰۱۸**             |
| گمانه×عمق  | ۲          | ۰/۲۴۲**             | ۱/۰۴۴** | ۱/۴۷۹** | ۰/۳۱۱** | ۰/۰۸۰** | ۰/۰۰۹**             |
| خطا        | ۱۲         | ۰/۰۰۶               | ۰/۰۰۱   | ۰/۰۰۱   | ۰/۰۰۳   | ۰/۰۰۲   | ۰/۰۰۱               |

\*، \*\* و <sup>ns</sup>: به ترتیب تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد، یک درصد و تفاوت غیرمعنی‌دار

جدول ۶- تجزیه واریانس ویژگی‌های خاک برای گمانه ۳ و ۴

| منبع تغییر | درجه آزادی | میانگین مربعات |           |                     |                     |          |                     |
|------------|------------|----------------|-----------|---------------------|---------------------|----------|---------------------|
|            |            | clay           | Silt      | sand                | OC                  | SP       | ρ <sub>s</sub>      |
| گمانه      | ۱          | ۱/۱۲۵*         | ۵۶/۸۸۹**  | ۳۶/۱۲۵**            | ۰/۱۰۴**             | ۳۷/۵۵۶** | ۰/۰۰۱*              |
| عمق        | ۲          | ۱۳۴/۲۶۴**      | ۱۴۵/۳۸۹** | ۱/۲۹۲*              | ۱/۹۱۲**             | ۲۶/۰۵۶** | ۰/۰۰۲**             |
| گمانه×عمق  | ۲          | ۱۳/۵۴۲**       | ۱۵/۰۵۶**  | ۰/۷۹۲ <sup>ns</sup> | ۰/۰۱۰ <sup>ns</sup> | ۱۲/۳۸۹** | ۰/۰۰۱ <sup>ns</sup> |
| خطا        | ۱۲         | ۰/۲۳۶          | ۰/۱۹۴     | ۰/۲۳۶               | ۰/۰۰۵               | ۰/۳۳۳    | ۰/۰۰۰               |

\*، \*\* و <sup>ns</sup>: به ترتیب تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد، یک درصد و تفاوت غیرمعنی‌دار

جدول ۷- تجزیه واریانس ویژگی‌های خاک برای گمانه ۳ و ۴

| منبع تغییر | درجه آزادی | میانگین مربعات |         |         |                     |         |         |
|------------|------------|----------------|---------|---------|---------------------|---------|---------|
|            |            | Na             | Mg      | Ca      | K                   | EC      | PH      |
| گمانه      | ۱          | ۰/۰۳۹**        | ۱/۱۹۶** | ۵/۹۵۱** | ۰/۰۰۶ <sup>ns</sup> | ۰/۱۵۷** | ۰/۰۱۹** |
| عمق        | ۲          | ۰/۱۰۱**        | ۰/۳۲۳** | ۰/۱۵۶** | ۰/۴۳۵**             | ۰/۰۲۱** | ۰/۱۷۹** |
| گمانه×عمق  | ۲          | ۰/۶۱۱**        | ۰/۷۵۱** | ۰/۸۳۴** | ۰/۲۰۳**             | ۰/۰۷۹** | ۰/۰۰۵*  |
| خطا        | ۱۲         | ۰/۰۰۱          | ۰/۰۰۰   | ۰/۰۰۱   | ۰/۰۰۲               | ۰/۰۰۲   | ۰/۰۰۱   |

\*، \*\* و <sup>ns</sup>: به ترتیب تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد، یک درصد و تفاوت غیرمعنی‌دار

جدول ۸- تجزیه واریانس ویژگی‌های خاک برای گمانه ۵ و ۶

| میانگین مربعات |                     |          |         |          |          |           | درجه آزادی | منبع تغییر |
|----------------|---------------------|----------|---------|----------|----------|-----------|------------|------------|
| pb             | ps                  | SP       | OC      | sand     | Silt     | clay      |            |            |
| ۰/۰۰۸**        | ۰/۰۰۰ <sup>ns</sup> | ۶/۷۲۲**  | ۰/۱۲۶** | ۱۰/۱۲۵** | ۶۲/۳۴۷** | ۹۸/۰۰۰**  | ۱          | گمانه      |
| ۰/۰۰۸**        | ۰/۰۰۱*              | ۳۷/۱۶۷** | ۰/۱۹۷** | ۳۰/۴۳۱** | ۳۷/۰۴۲** | ۱۳۱/۳۴۷** | ۲          | عمق        |
| ۰/۰۱۱**        | ۰/۰۰۰ <sup>ns</sup> | ۲۰/۷۲۲** | ۰/۲۳۸** | ۲۰/۳۹۲** | ۱/۹۳۱*   | ۲۳/۶۲۵**  | ۲          | گمانه×عمق  |
| ۰/۰۰۱          | ۰/۰۰۰               | ۰/۳۳۳    | ۰/۰۰۳   | ۰/۲۶۴    | ۰/۴۸۶    | ۰/۳۴۷     | ۱۲         | خطا        |

\*\*، \* و ns به ترتیب تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد، یک درصد و تفاوت غیر معنی‌دار.

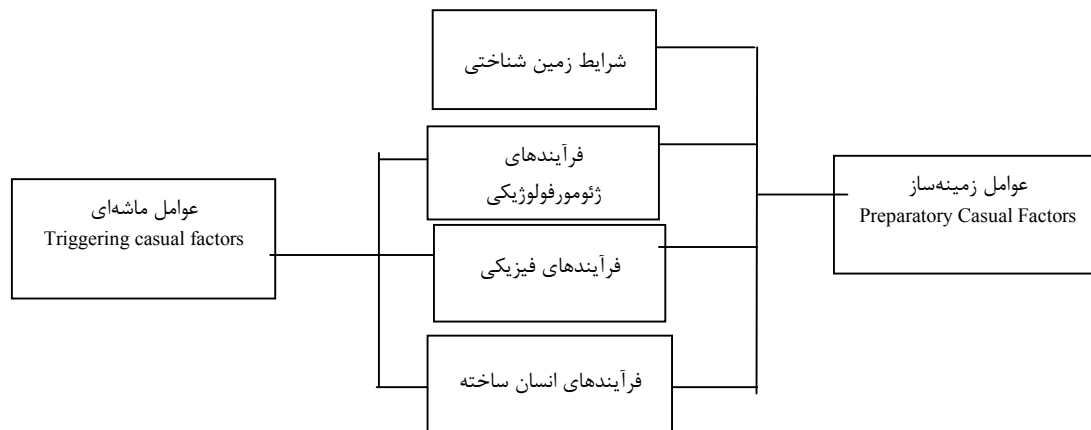
جدول ۹- تجزیه واریانس ویژگی‌های خاک برای گمانه ۵ و ۶

| میانگین مربعات      |         |         |         |         |         |         | درجه آزادی | منبع تغییر |
|---------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|------------|------------|
| TNV                 | PH      | EC      | K       | Ca      | Mg      | Na      |            |            |
| ۴۰/۵۰۰**            | ۰/۰۰۸** | ۰/۰۸۴** | ۰/۰۰۶*  | ۰/۱۱۴*  | ۰/۷۳۴** | ۰/۰۶۰** | ۱          | گمانه      |
| ۹/۵۹۷*              | ۰/۰۰۵** | ۰/۰۰۷*  | ۰/۲۳۶** | ۰/۸۱۸** | ۰/۸۴۴** | ۰/۰۵۸** | ۲          | عمق        |
| ۰/۲۹۲ <sup>ns</sup> | ۰/۰۰۴** | ۰/۱۴۹** | ۱/۰۳۹** | ۰/۶۰۶** | ۰/۳۰۵** | ۰/۱۱۱** | ۲          | گمانه×عمق  |
| ۱/۸۳۳               | ۰/۰۰۱   | ۰/۰۰۲   | ۰/۰۰۱   | ۰/۰۲۰   | ۰/۰۰۱   | ۰/۰۰۰   | ۱۲         | خطا        |

\*\*، \* و ns به ترتیب تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد، یک درصد و تفاوت غیر معنی‌دار.

به منظور معرفی علل مهم وقوع لغزش در منطقه با استفاده از مدل ارائه شده از سوی پوپسکو (شکل ۵) (۱۴) کلیه عوامل بررسی شده در دو مقوله عوامل زمینه ساز و عوامل آغاز گر (ماشه‌ای) بررسی و معرفی گردیده‌اند.

تجزیه و تحلیل نتایج تجزیه واریانس ویژگی‌های خاک برای هرشش گمانه نشان می‌دهد که از لحاظ مقادیر رس، سیلت، موادآلی، هدایت هیدرولیکی، کلسیم، منیزیم تفاوت معنی‌دار در تمامی پروفیل‌ها وجود دارد. ارزیابی علل رخداد زمین لغزش‌ها در منطقه



شکل ۵- عوامل اصلی وقوع زمین لغزش.

خاک‌شناسی از عوامل زمینه‌ساز در این مقاله مورد بررسی قرار گرفته‌اند. بررسی میزان سیلت در نیم‌رخ‌های لغزش یافته و شاهد نشان‌گر تفاوت معنی‌دار این جزء رسوبی در گمانه‌های مذکور است، به گونه‌ای که در پروفیل‌های حفر شده در پهنه لغزیده مقدار سیلت بسیار

#### عوامل زمینه‌ساز

مقصود از این عوامل مجموعه فاکتورهایی است که باعث احراز بالقوه انواع ناپایداری‌ها شده و دامنه طبیعی را مستعد وقوع حرکات دامنه‌ای می‌نمایند که این عوامل در ۴ کلاس قرار می‌گیرند. در این میان ویژگی‌های



و مستعدکننده وقوع گسیختگی‌های دامنه‌ای است. نتایج اندازه‌گیری میزان رس مؤید آن است که در پروفیل‌های شاهد، فراوانی رس بیش از واحدهای لغزش یافته می‌باشد. باتوجه به نقش رس در جذب آب‌های ناشی از بارش و جریان‌های زیرقشری به نظر می‌رسد که برخلاف تصور در خصوص نقش تسریع‌کننده فرسایشی رس، وجود رس در مقادیر کم تا ماز سوی سبب پایداری خاک دانه و ساختمان خاک شده و مانعی در برای وقوع پدیده گسیختگی است. از سوی دیگر، وجود رس‌های مونتوریلونیتی و اسمکتیتی در گمانه‌های مختلف می‌تواند عامل روان‌کننده و تشکیل‌دهنده سطوح لغزش محسوب شود. امامی (۵) در مطالعه لغزش‌های افسرآباد نیز بر وجود نقش رس‌های مونت موریلونایت در لغزش‌های چرخشی تأکید نموده است.

#### عوامل آغازگر

بارندگی قطعاً نقش سرنوشت ساز و مهمی را در شروع لغزش‌ها به عهده داشته و می‌توان آن را مهم‌ترین عامل ماشه‌ای در نظر گرفت. در واقع عامل اصلی شروع حرکت‌های توده‌ای، بارندگی‌های با شدت بالا به ویژه در ماه‌های اسفند و فروردین است. جاری شدن آب‌های سطحی و نیز افزایش دبی چشمه‌ها در منطقه باعث افزایش درجه اشباع خاک شده و در نهایت، باعث کاهش مقاومت برشی خاک شده و زمینه را برای ایجاد لغزش مهیا می‌سازد.

#### تشکر و قدردانی

لازم می‌داند از زحمات آقایان مهندس مجید فرزاد و حیدر غفاری در انجام آزمایشات خاک و از خانم مهندس زهرا الیاسی برای ویراستاری کمال سپاس و امتنان را به عمل آورد.

بیش از پروفیل‌های خاک مناطق شاهد است. به برای این که سیلت به دنبال افزایش سطح آب زیر زمینی، در اثر فرسایش زیر سطحی به راحتی دچار پدیده رگاب (Piping) شده و از پیکره خاک شسته می‌شود، بنابراین خاک‌های سیلته مستعد فروریختگی (Collapse) هستند که در واقع اولین مرحله از رخداد گسیختگی دامنه در این نوع خاک‌هاست؛ بنابراین میزان سیلت موجود در نیم‌رخ خاک رابطه‌ای مستقیم با فرسایش زیرسطحی و وقوع زمین لغزش دارد.

مقایسه میزان  $Ca^{2+}$  در پروفیل‌های شش گانه و به ویژه مقایسه فراوانی این کاتیون در محدوده‌های لغزش یافته و شاهد نشان‌گر آن است که در تمامی موارد و سایت‌های مورد بررسی میزان این کاتیون در مرز زمین لغزش به شکل معنی‌داری کم‌تر از محدوده‌های شاهد و دست‌نخورده بوده که این امر می‌تواند نشان‌گر نقش چشم‌گیر این کاتیون در افزایش پایداری ساختمان خاک و افزایش مقاومت برشی و در نهایت مقاومت در برابر وقوع گسیختگی‌های دامنه‌ای باشد. در همین باره یکی از روش‌های کنترل شیمیایی زمین‌لغزش‌ها، تزریق آهک و افزایش میزان  $Ca^{2+}$  خاک‌های این مناطق است که نتایج پژوهش جاری مؤید عملکرد مثبت این نوع عملیات می‌باشد.

مقایسه مقادیر EC در پروفیل‌های لغزش یافته و شاهد، نشانگر مقادیر بیش‌تر این پارامتر در محدوده‌های لغزش یافته است. از آنجایی که EC متأثر از حضور کاتیون‌هایی هم‌چون  $Na^+$ ،  $K^+$  و آنیون‌هایی مثل  $Cl^-$ ،  $CO_3^{2-}$  است، فراوانی بیش‌تر در اراضی لغزش یافته مؤید تأثیر انحلال نمک‌های NaCl و احتمالاً KCl در اثر بارش‌های شدید منطقه (حدود ۹۰۰ میلی متر در سال) و افزایش سطوح آب زیرزمینی است. به عبارتی، وجود ترکیباتی چون NaCl یکی از مهم‌ترین عوامل زمینه ساز

#### منابع

1. Ayenew, T. and G. Barbieri. 2005. Inventory of Landslides and Susceptibility Mapping in the Desire Area, Ethiopia. *Engineering Geology Journal*, 77: 1-15.
2. Bolorchi, M. and F. Ansari. 1999. Rock Avalanche in Karkon Abikar Village in Chaharmahal and Bakhtari Province. *Proceeding of the 1<sup>st</sup> Iranian Conferences On Engineering Geology and Environment*. Tehran vol I: 75-78 pp (In Persian).
3. Bressani, L. and D. Bica. 1996. A Slope Instability Study of a Mud Stone in Southern Brazil. *Proceeding of the 7<sup>th</sup> international Symposiums on Landslide*. Trondheim, Norway, vol I. 1079-1090.
4. Bunza, G. 2002. Causes, Processes and Risk Assessment of a Landslide on a Talus Slope of the Bavarian Alps. *Proceeding of the 1<sup>th</sup> European Conference on Landslides*. Prague, vol I. 343-348.
5. Emami, A. and J. Ghayumian. 2003. A Research on Landslides Mechanisms on Slope Colluviums. *Proceedings of the 3<sup>rd</sup> Iranian Conferences on Engineering Geology and Environment*. Hamedan, 8 pp (In Persian).
6. Esmaili oori, A. 2004. Hazard Zoning of Mass Movements in Germichai Watershed and Presenting a Regional Method. M.Sc. Thesis, Tehran University, 1877 pp (In Persian).
7. Karimi, R. 2007. Investigation of Physical, Chemical and Mineralogical Characteristic of Soils in Landslides in Dashtak Area. M.Sc. Thesis. Isfahan University, 148 pp.

8. Luginbuehl, M., E. Eberhardt and K. Thuro. 2002. Primary Sliding Mechanisms in Dipping Interbedded Conglomerates and Marls. Proceeding of the 1<sup>st</sup> European Conference on Landslides. Prague, vol II. 387-392.
9. Malet, J., O. Maquaire and A. Remaitre. 2003. Instability Condition of Marl Hill Slopes: Towards Landsliding or Gulling the Case of the Barcelonnette Basin, South East France. Engineering Geology Journal, 70: 109-130.
10. Mahdavi, M., S. Feiznia and A. Shafiee. 1997. Investigation of Landslides Causes in Kohgiloye and Boyerahmad Province. Proceeding of 2<sup>nd</sup> landslide and Damage Reduction Seminar. Tehran, Iran. 165 pp (In Persian).
11. Mirsanei, S. and R. Kardan. 1999. An Analytically View on Country Landslides Properties. Proceedings of the 1<sup>st</sup> Iranian Conferences on Engineering Geology and Environment. Tehran, 13 pp (In Persian).
12. Mohamed, A. 2000. The Role of Clay Minerals in Marly Soils on its Stability. Engineering Geology Journal, 57: 193-203 (In Persian).
13. Moradi farsi, J. 2004. Investigation of Engineering Geology Characteristics of Landslides in Bahram Beigi Area and Remediation Methods. M.Sc. Thesis. Isfahan University,. 203 pp (In Persian).
14. Popescu, M.F. 1996. From Landslide Causes to Landslide Remediation. Proceeding of the 7<sup>th</sup> international Symposium on Landslides. 17-21 June 1996. Trondheim, Norway, Vol I. 75-96.
15. Shakoor, A. and A. Smithmyer. 2005. An Analysis of Storm-Induced Landslides in Colluvial Soils Overlying Mud Rock Sequences, Southeastern Ohio. Engineering Geology Journal, 78: 257-274.
16. Shariat Jafari, M. 1996. Landslides. Sazeh Press, 396 pp (In Persian).
17. Sharp, C. 1938. Landslides and Related Phenomena. 2<sup>nd</sup>edn, New York: Columbia University Press, 137 pp.
18. Talebi Esfandarani, A. 1996. Investigation of Effective Agents on Landslides in Ardal Area (Gele-Shoor Village of Chaharmahal and Bakhtiari Province). M.Sc. Thesis, Tarbiat Modarres University, 200 pp (In Persian).
19. Terzaghi, K. 1950. Mechanisms of Landslides, Application of Geology to Engineering Practice. Geological Society of America Engineering Geology Journal, 7: 83-123 (In Persian).
20. USGS. 2004. Landslide Type and Processes. Available at:<http://pbs.usgs.gov/fs/2004/3072/>.
21. Varnes, D. 1958. Landslide Types and Processes, Landslides and Engineering Practice: Washington D.C., Highway Research Board Special Report Journal, 29: 20-47.
22. Varnes, D. 1978. Slope Movement Types and Processes. in Landslides Analysis and Control, R.L. Schuster and R.J. Krizek,R., eds. National Research Council, Transportation Research Board, Special Report Journal, 176: 11-33.
23. Wan, Y. and J. Kwong. 2002. Shear Strength of Soils Containing Amorphous Clay-Size Materials in a Slow-Moving Landslide. Engineering Geological Journal, 65: 293-303.

## **The Role of Soil Chemical and Physical Characteristics in Landslide Occurrence (Case Study: Afsar Abad Area in Chaharmahal and Bakhtiari Province)**

**Seyyed Naeim Emami<sup>1</sup>, Ahmad Jalalian<sup>2</sup> and Abbas Khosravi<sup>3</sup>**

---

1- Assistant Professor, Natural Resources and Agriculture Research Center of  
Chaharmahal & Bakhtiari Province (emami1348@yahoo.com)

2 and 3- Professor and M.Sc. Student, Islamic Azad University of Khorasgan

Received: October 5, 2013      Accepted: March 7, 2015

---

### **Abstract**

The Occurrence of more than 400 landslides in Chaharmahal and Bakhtiari province shows a special sensitivity against erosion in this terrain. To investigate the role of the soil physical, chemical and mineral properties on the occurrence of the landslides in Afsar-Abad, Do ab Samsami in the west of Chaharmahal and Bakhtiari, were drilled six boreholes in sliding boundary and safe restrictions on the quaternary Slope Colluvium. The sampling has done in three depths after profiles analysis. Physical properties such as bulk density, true specific gravity, saturation percent and soil texture along with chemical characteristics including organic matters, limestone, gypsum, dissolve cations were measured. The soil texture is silty clay loam in both experiment groups. The results are analyzed and interpreted through statistical methods. They show that there is a meaningful difference in the amounts of clay, organics, Silt, Ca, Mg, and EC of both control and experiment group. Silt has a direct relationship with landslide occurrence. Piping occurs due to the increase in the underground water level and subsurface erosion; consequently silt is washed away from the body of the soil. The increase of clay in the safe area can prevent earth-sliding. Thus, low or average amounts of clay in the soil lead to the stability of both soil structure and soil particles. This, in itself, prevents soil collapse. The amount of Ca has a reverse relationship with landslide. This shows the important role of this cation in increasing the stability of the soil structure, as well as the shear strength, and finally the earth stability against any rupture in the soil particles. The increase in the amount of EC in the sliding areas points out the effect of the dissolution of salts as Nacl and Kcl which is itself caused by the increase of the amounts of rainfall (about 900 ml a year) and consequently the increase of the underground water level. Thus, landslide could be prevented by chemical remediation.

**Keywords:** Casual Factors, Charmahal and Bakhtiari, Do-ab Samsami, Landslide, Soil Characteristics