

ارزیابی ناپایداری شیب‌های خاکی در جنوب و جنوب‌غرب همدان

محمدحسین قبادی^{۱*} و ساجدالدین موسوی^۲

۱- استاد گروه زمین‌شناسی، دانشگاه بوعلی‌سینا، همدان

۲- دانشجوی دکتری زمین‌شناسی مهندسی، دانشگاه بوعلی‌سینا، همدان

*amirghobadi@yahoo.com

دریافت: ۹۱/۱۱/۳۰ پذیرش: ۹۲/۴/۲۹

چکیده

در این پژوهش ناپایداری دامنه‌های متشکل از خاک‌های باقی‌مانده هورنفلسی در جنوب و جنوب‌غرب شهر همدان، بر اساس بررسی‌های صحرایی و مطالعات آزمایشگاهی مورد ارزیابی قرار گرفته است. به روش تعادل حدی، ضریب اطمینان شیب‌ها محاسبه و آنالیز حساسیت انجام شده است. آنالیزهای حساسیت و پایداری با منظور کردن شیب‌های متفاوت، پارامترهای مقاومت برشی و ضخامت خاک باقی‌مانده اشباع صورت گرفته است. نتایج نشان می‌دهد که در منطقه مورد مطالعه با توجه به شیب و ضخامت لایه‌ها، استعداد زیادی برای وقوع زمین لغزش در دامنه‌های خاکی با میزان اشباع ۳۰ تا ۶۰ درصد وجود دارد. در این ناحیه، زاویه آستانه گسیختگی شیب از ۲۳/۵ تا ۴۱ درجه متغیر می‌باشد. با توجه به نتایج حاصله، روش‌های بهسازی به منظور کاهش خطر پیشنهاد گردیده است.

واژه‌های کلیدی: زمین لغزش، خاک‌های باقی‌مانده هورنفلسی، پایداری شیب، آنالیز حساسیت.

مقدمه

مقاومت برشی خاک را کاهش می‌دهد. در چنین شرایطی زمین‌لغزش‌های کم‌عمق به وقوع می‌پیوند. در این پژوهش با مطالعه خصوصیات زمین‌شناسی مهندسی مصالح تشکیل دهنده دامنه‌ها، ناپایداری شیب‌های خاکی هورنفلسی در بخش‌های جنوب و جنوب‌غربی شهر همدان مورد ارزیابی قرار گرفته و راه کارهای مناسب به منظور کاهش خطر ارائه شده است.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق با انجام بازدیدهای صحرایی تعداد، ابعاد و هندسه زمین‌لغزش‌های رخ داده (فراوانی، طول، عمق و ...) و ویژگی‌های شیب‌ها (جهت، ارتفاع و زاویه شیب) مشخص شده‌اند (جدول ۱). به منظور شناسایی ابعاد و سطح مقطع لغزش‌های ایجاد شده، نقشه‌برداری زمین‌لغزش‌ها با استفاده از کمپاس و متر انجام شد. داده‌های صحرایی به نرم‌افزار اتوکد ۲۰۱۱ وارد و مقاطع زمین‌لغزش‌ها ترسیم گردیدند (شکل ۱). از خاک‌های باقی‌مانده شش منطقه با نام‌های حیدره، دره عباس‌آباد (گنج‌نامه)، آخ‌آسفالت، چشمه ملک، دره مرادبیک و فقیره به منظور تعیین خصوصیات ژئوتکنیکی آن‌ها،

عدم توجه به خصوصیات زمین‌شناسی و ژئوتکنیکی محل احداث شهرها و فقدان برنامه مناسب جهت استفاده از زمین‌های شهری منجر به بروز مشکلات زمین‌شناسی زیست‌محیطی نظیر زمین لغزش و فرسایش می‌شود [۱۹]. همدان شهری کوهستانی و در حال گسترش است که در دامنه شمالی کوه الوند قرار دارد (شکل ۱). در این شهر خاک‌های باقی‌مانده، سنگ بستر گرانیتوئیدی و هورنفلسی را می‌پوشانند که با توجه به توپوگرافی موجود، این دامنه‌ها مستعد لغزش می‌باشند. در این راستا وقوع زمین‌لغزش‌های کم‌عمق در خاک‌های باقی‌مانده گرانیتوئیدی در ناحیه گنج‌نامه در جنوب‌غرب همدان توسط قبادی و سیدی گزارش گردیده است [۴]. بر اساس مطالعه آماری داده‌های ایستگاه هواشناسی شهر همدان، میانگین بارش‌های سالانه در طی ۲۰ سال گذشته ۴۷۵ میلی‌متر بوده ولی حداکثر ریزش‌های جوی به ۲۸۴ میلی‌متر نیز می‌رسد. در چنین شرایطی، با افزایش شدت و مدت بارندگی، نفوذ آب به درون خاک بیش از ظرفیت انتقال سنگ بستر زیرین بوده که شرایط تشکیل سطح ایستابی معلق را در خاک فراهم می‌کند [۵، ۱۰ و ۲۱]. این وضعیت باعث افزایش فشار آب منفذی شده و

تیره تا قرمز رنگ را بر روی سنگ‌ها تشدید کرده‌اند. ضخامت این خاک‌های باقی‌مانده در منطقه مطالعاتی از ۰/۴ تا ۴ متر متغیر است. شیب زمین تعیین کننده ضخامت خاک‌های باقی‌مانده در منطقه می‌باشد، به طوری که راس دامنه‌ها از پوشش نازک خاک پوشیده شده، در صورتی که به طرف پایین دامنه بر ضخامت خاک افزوده می‌شود. این خاک‌ها عمدتاً ماسه‌ای بوده، گردشگری بد و جورشدگی نسبتاً خوبی دارند.

روند عمومی گسل‌ها در محدوده مطالعاتی عمدتاً شمال غرب- جنوب شرق و از نوع فشاری می‌باشند [۲]. دو گسل شهرستانه (امتداد لغز راست‌گرد) و حیدره دارای روند شمال شرق- جنوب غرب بوده که به ترتیب باعث جابجایی توده‌های گرانیتوئیدی-هورنفلسی و گرانیتوئیدی شده‌اند (شکل ۴). از سوی دیگر، گسل‌های کشین، یلفان، ورکانه و نیز گسل ابرو مهم‌ترین گسل‌های جنوب شرق همدان می‌باشند. به نظر می‌رسد گسل کشین از داخل شهر همدان نیز عبور می‌کند. مطالعات انجام شده مبین آن است که این گسل‌ها توان فعالیت دارند. مطابق با داده‌های لرزه‌ای جمع‌آوری شده توسط موسسه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله حداقل و حداکثر شتاب افقی زلزله برای شهر همدان به ترتیب $0.1g$ و $0.26g$ برآورد شده است. به این ترتیب این شهر در پهنه با خطر نسبی متوسط تا زیاد قرار گرفته است [۲].

نمونه‌برداری انجام شد (شکل ۲). با استفاده از روش مخروط ماسه مطابق استاندارد ASTM4914 دانسیته برجای خاک‌ها تعیین گردیدند [۶]. در مرحله بعد با استفاده از روش تعادل حدی، ضریب اطمینان شیب‌ها محاسبه و آنالیز حساسیت در محیط نرم‌افزار اکسل ۲۰۱۰ با ترسیم نمودارهای مربوطه انجام شده است.

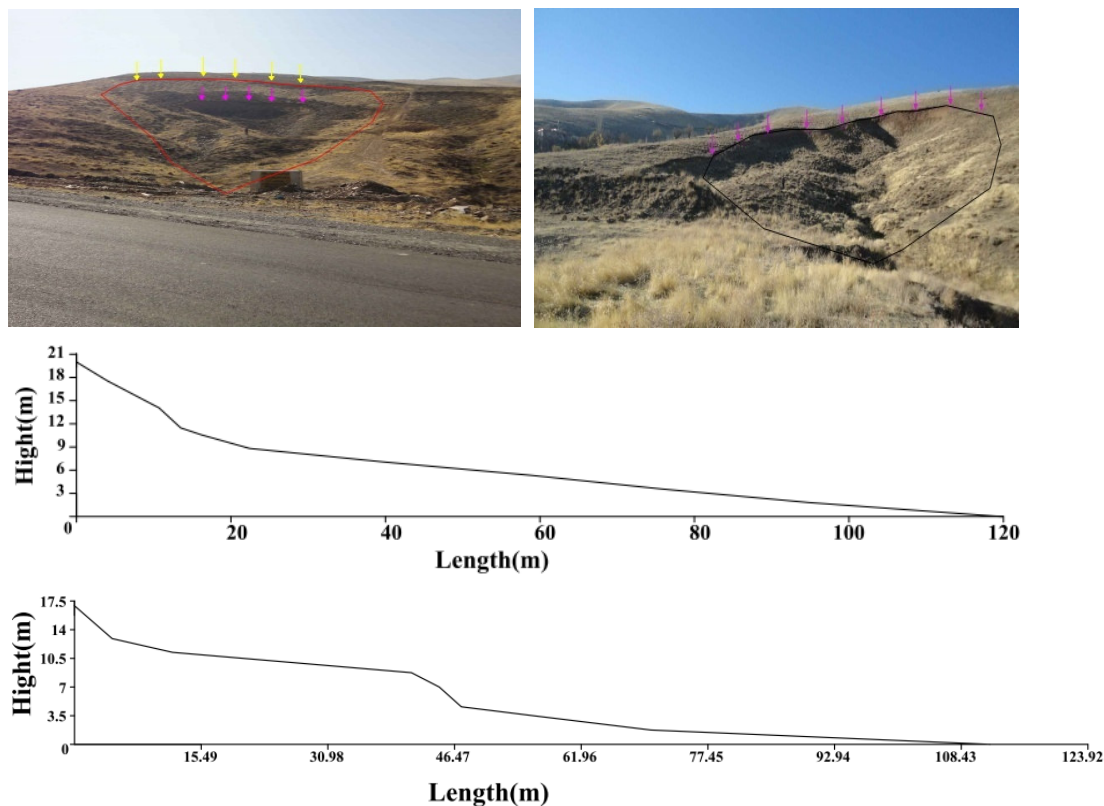
ژئومورفولوژی و زمین‌شناسی

منطقه مورد مطالعه بخشی از رشته کوه الوند با روند شمال غرب- جنوب شرق بوده که شامل دره‌های V شکل می‌باشد. با حرکت به سمت دشت، ارتفاعات به تپه‌های مقعر و محدب کشیده تبدیل می‌شوند. تپه‌ها از سنگ‌های هورنفلسی و به مقدار کمتر از شیست‌ها تشکیل شده‌اند. رودخانه‌های متعددی با نام‌های عباس‌آباد، مرادبیگ، حیدره و... با روند عمومی جنوب غرب- شمال شرق ارتفاعات و دامنه‌ها را قطع می‌کنند (شکل ۳). گرانیتوئیدها و گرانودیوریت‌ها از جمله سنگ‌های آذرین در این منطقه هستند که انکلاوهای هورنفلسی و پگماتیتی و دایک‌های آپلیتی در آن‌ها قابل مشاهده است. هورنفلس‌های کردیریت، سیلیمانیت، کیانیت یا آندالوزیت دار مهم‌ترین واحد دگرگونی در محدوده مطالعاتی هستند [۱].

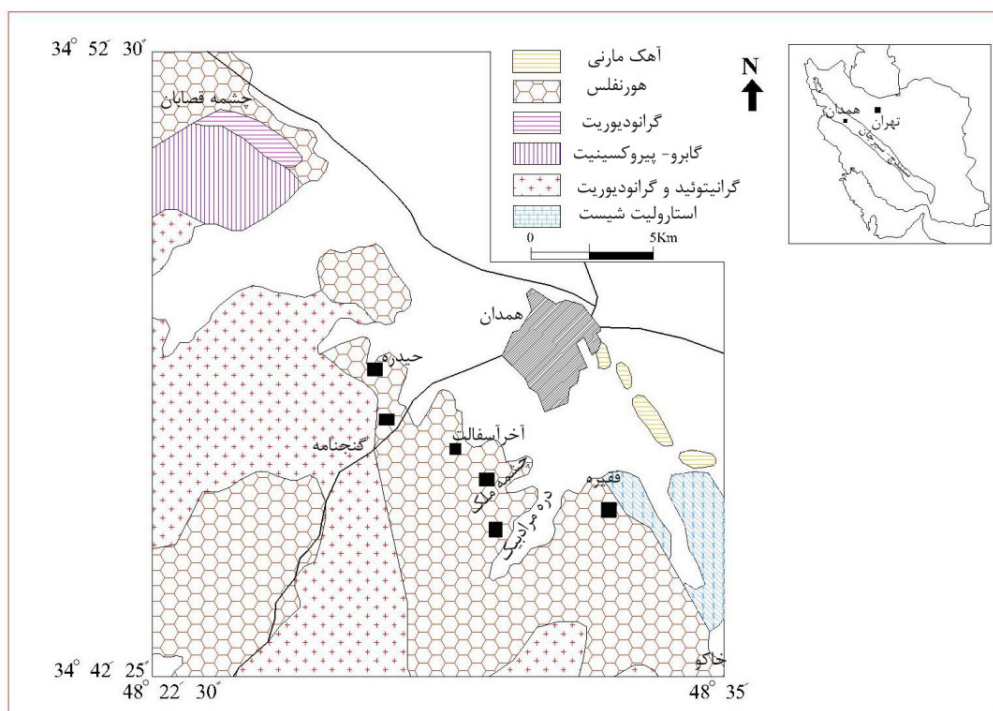
گسل خوردگی و گسترش سیستم‌های درزه و شکستگی، فرآیند هوازدگی و تشکیل خاک‌های باقی‌مانده خاکستری

جدول ۱. مشخصات لغزش‌های رخ داده

نام لغزش	طول (m)	عرض (m)	عمق (m)	مساحت (m ²)	نسبت D/L	طبقه‌بندی کروند و وارنز [۱۲]	طبقه‌بندی کورنفورس [۱۱]	طبقه‌بندی شریعت جعفری [۳]
پادگان شهید شهبازی	۱۲۰	۱۱۲	۴	۴۱۹۳	۰/۰۳۳	انتقالی	متوسط	کم عمق
آخر آسفالت	۵۰/۶۰	۴۳/۹۰	۳/۵	۴۹۷/۷	۰/۰۶۹	انتقالی	کوچک	کم عمق
مکارچی	۸۲/۲۰	۵۲/۵۰	۳/۷۵	۵۳۰/۷	۰/۰۴۲	انتقالی	کوچک	کم عمق
پردیس	۲۲	۵۱	۴	۵۷۰	۰/۱۸	چرخشی	کوچک	کم عمق
حیدره	۱۱۱/۹۰	۹۱/۵۰	۴	۲۷۳۹	۰/۰۳۸	انتقالی	متوسط	کم عمق



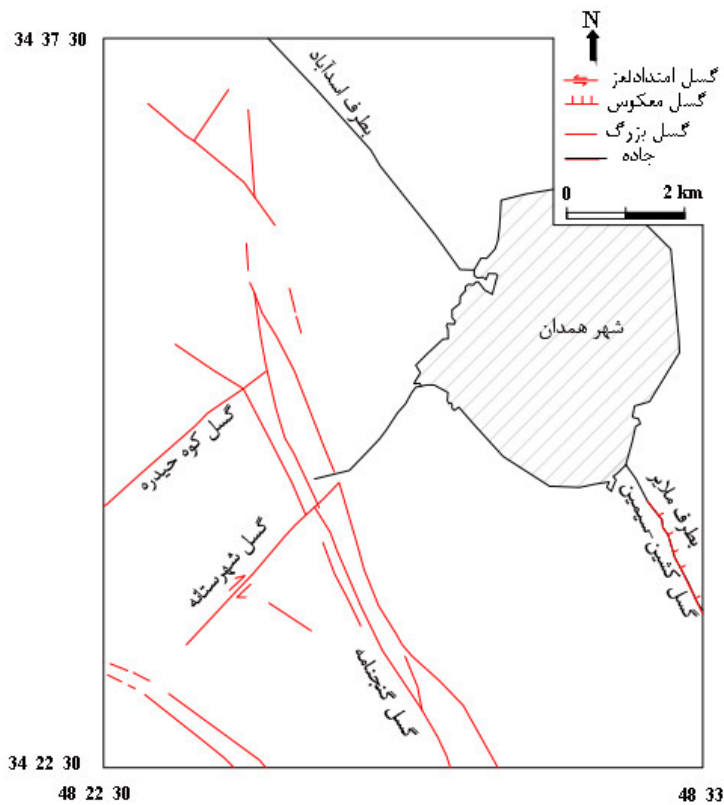
شکل ۱. نمونه‌ای از زمین‌لغزش‌های رخ داده. (الف) زمین‌لغزش پادگان شهید شهبازی، (ب) زمین‌لغزش روستای حیدره، (ج) مقطع طولی زمین‌لغزش پادگان شهید شهبازی، (د) مقطع طولی زمین‌لغزش روستای حیدره.



شکل ۲. نقشه زمین‌شناسی منطقه و محدوده‌های مورد مطالعه واقع در شهرستان همدان (اقتباس از [۷]).



شکل ۳. نمایی از جنوب شهر همدان در دامنه کوه الوند.



شکل ۴. نقشه گسل‌های موجود در منطقه مورد مطالعه (اقتباس از [۱۶]).

هوازگی فلدسپات‌ها در آب و هوای سرد است [۱۹]. به استثنا نمونه‌های مرادیبک و گنج‌نامه، کانی کلسیت در تمام نمونه‌ها قابل مشاهده است. دانه‌بندی خاک‌ها به روش تر مطابق استاندارد ASTM D422-63 [۶] انجام شده است (شکل ۶). مقادیر شاخص خمیری این خاک‌ها از ۶/۰۷ تا ۱۴/۵۱ درصد متغیر است (جدول ۳). بیش‌ترین حد روانی به میزان ۳۰/۹ درصد به خاک فقیره تعلق داشته که ناشی از مقدار زیاد ذرات در اندازه رس و کانی‌های رسی (خصوصاً اسمکتیت) در ترکیب آن می‌باشد. حد خمیری خاک‌های باقی‌مانده از ۱۳/۷۹ تا ۲۱/۴۳ درصد تغییر می‌کند. در مقابل،

مطالعات آزمایشگاهی

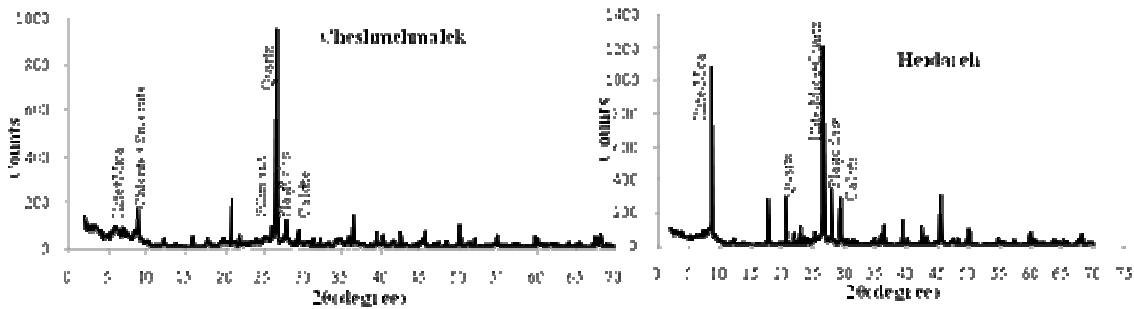
ترکیب کانی‌شناسی نمونه‌های خاک با استفاده از آزمون XRD (X-Ray Diffractometer) مورد شناسایی قرار گرفت (شکل ۵). جدول (۲) نتایج آنالیز XRD نمونه‌های خاک هورنفلسی را نشان می‌دهد. کانی‌های کوارتز و فلدسپات در ترکیب تمام نمونه‌ها موجود می‌باشند. کانی‌های رسی در این خاک‌ها عمدتاً ایلیت و به مقدار کمتر اسمکتیت هستند. درصد کانی میکا و کلریت در این خاک‌ها بسیار ناچیز است. از میان نمونه‌های خاک مورد مطالعه، نمونه‌های مرادیبک، فقیره و آخر آسفالت غنی از ایلیت می‌باشند. این کانی ناشی از

چنین خاک‌هایی در بارندگی‌های عادی قابلیت زهکشی نسبتاً خوبی دارند. ولی در بارندگی‌های شدید قدرت زهکشی آن‌ها کمتر شده و با اشباع خاک، فشار آب منفذی بالا می‌رود و امکان گسیختگی خاک افزایش خواهد یافت [۸].

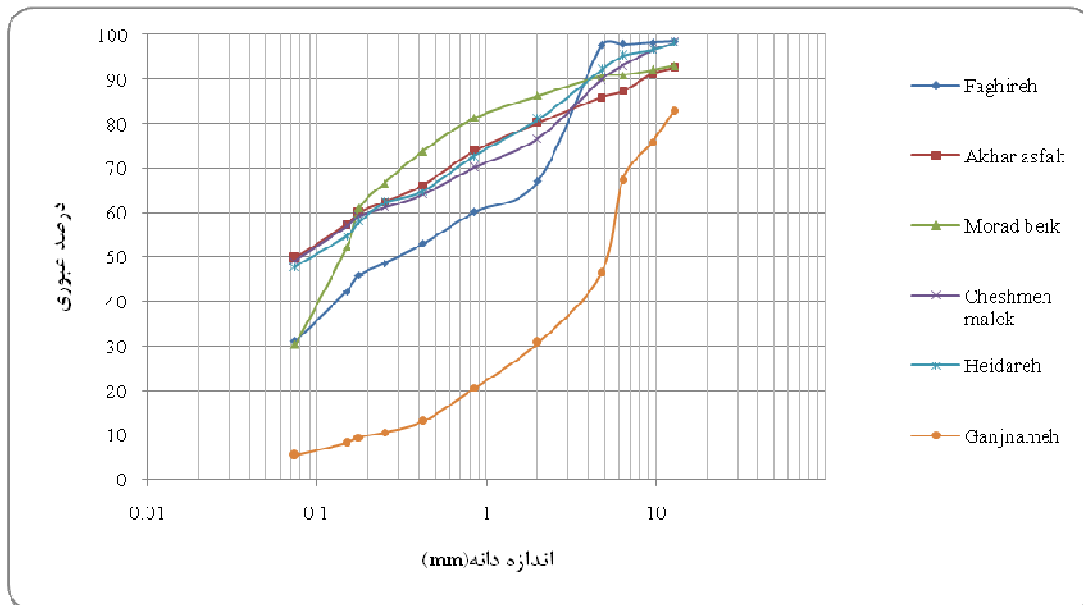
به منظور تعیین پارامترهای مقاومت برشی خاک‌ها، آزمایش برش مستقیم (تحکیم‌یافته- زهکشی‌نشده) مطابق استاندارد ASTM D3080-72 [۶] مورد استفاده قرار گرفت (جدول ۴). تفاوت موجود در مقادیر چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی خاک‌های مورد مطالعه ناشی از اختلاف درصد ماسه و رس و نیز نوع کانی رسی موجود در آن‌ها می‌باشد. با توجه به جدول (۴) چسبندگی بین ۶ و ۳۰ کیلونیوتن بر مترمربع و زاویه اصطکاک داخلی از ۱۷ درجه برای خاک چشمه ملک تا ۲۴ درجه برای خاک گنج‌نامه متغیر است.

خاک‌های حیدره و مرادبیک غیرخمیری (NP) هستند. بر اساس سیستم طبقه‌بندی متحد خاک (Unifiedsystem classification of soils) نمونه‌های خاک فقیره، چشمه ملک و آخر آسفالت ماسه رسی (SC)، خاک‌های حیدره و مرادبیک ماسه سیلتی (SM) و نمونه خاک گنج‌نامه ماسه رسی- ماسه سیلتی (SC-SM) می‌باشند. دانسیته خشک خاک‌ها بین ۱/۲۲ تا ۱/۴۶ گرم بر سانتی‌متر مکعب، دانسیته مخصوص ذرات جامد (Gs) بین ۲/۷۶ تا ۲/۸۶، دانسیته اشباع بین ۱/۷۸ تا ۱/۹۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب، نسبت پوکی بین ۰/۹۲ تا ۱/۲۹ و درصد رطوبت بین ۴/۴۳ و ۱۲/۳۳ درصد تغییر می‌کنند (جدول ۳).

نفوذپذیری خاک نقش مهمی در ارزیابی افزایش فشار آب منفذی خاک ایفا می‌نماید [۱۳]. نتایج آزمایش‌های نفوذپذیری نشان می‌دهد که مقادیر نفوذپذیری از 10^{-3} تا $5/15 \times 10^{-3}$ cm/s متغیر است (جدول ۴).



شکل ۵. نمونه‌هایی از نمودارهای XRD خاک‌های منطقه.



شکل ۶. نمودار دانه‌بندی خاک‌های مورد مطالعه.

جدول ۲. نتایج آنالیزهای XRD خاک‌های باقی‌مانده.

نام خاک	کانی‌های تشکیل دهنده
آخراسفالت	ایلپیت- میکا+ پلاژیوکلاز+ کلسیت+ سیلیمانیت+ کوارتز
فقیره	پلاژیوکلاز+ اسمکتیت- کلریت+سیلیمانیت+ کلسیت+ ایلپیت- میکا+ کوارتز
گنجانمه	کلریت+ ایلپیت- میکا+ پلاژیوکلاز+ کوارتز
مرادبیک	سیلیمانیت+ ایلپیت- میکا+ پلاژیوکلاز+ کوارتز

جدول ۳. خواص فیزیکی و خمیری خاک‌های باقی‌مانده هورنفسلی.

نام محل						پارامترها
حیدره	گنجانمه	آخراسفالت	چشمه ملک	مرادبیک	فقیره	
۱/۰۴	۰/۹۶	۰/۹۲	۱/۱۷	۱/۲۹	۱/۰۷	نسبت تخلخل
۲۵/۷۹	۱۳/۲	۳۶/۲	۲۹/۲	۱۷/۱	۲۳/۶	درصد اشباع
۹/۶۵	۴/۴۳	۱۲/۰۶	۱۲/۳۳	۷/۹۳	۹/۰۸	درصد رطوبت
۲/۷۸	۲/۸۶	۲/۷۶	۲/۷۸	۲/۷۹	۲/۷۸	وزن مخصوص ذرات جامد (Gs)
۱/۳۶	۱/۴۶	۱/۴۴	۱/۲۸	۱/۲۲	۱/۲۳	دانسیته خشک (g/cm^3)
۱/۴۹	۱/۵۳	۱/۶۱	۱/۴۴	۱/۳۲	۱/۳۴	دانسیته مرطوب (g/cm^3)
۱/۸۶	۱/۹۵	۱/۹۲	۱/۸۲	۱/۷۸	۱/۸۶	دانسیته اشباع (g/cm^3)
غیر خمیری	۲۱/۴۳	۱۳/۷۹	۱۶/۶۷	غیر خمیری	۱۸/۷۵	حد خمیری (%)
	۳۰/۷۵	۲۸/۳	۳۰/۷۵		۳۰/۹	حد روانی (%)
	۶/۰۷	۱۴/۵۱	۱۴/۰۸		۱۲/۱۵	شاخص خمیری (%)

جدول ۴. نفوذپذیری و پارامترهای مقاومت برشی خاک‌های باقی‌مانده.

نام محل						پارامترها
حیدره	گنجانمه	آخراسفالت	چشمه ملک	مرادبیک	فقیره	
۱۸	۶	۲۲	۳۰	۱۷	۱۲	چسبندگی (kN/m^2)
۱۷	۲۴	۲۱	۱۷	۲۲	۲۱	زاویه اصطکاک داخلی (درجه)
۸/۱	۸/۹۱	۵/۱۵	۷/۷۷	۵/۲	۷/۴۷	نفوذپذیری ($\times 10^{-3} \text{cm/s}$)

نتایج و بحث

کردن و وارنر (Cruden and Varnes) [۱۲] تنها زمین‌لغزش پردیس از نوع چرخشی می‌باشد. اما سایر زمین‌لغزش‌ها در منطقه مورد مطالعه انتقالی هستند. زمین‌لغزش‌ها در خاک‌های باقی‌مانده هورنفسلی در نیمه پایینی دامنه‌ها رخ داده‌اند. طول زمین‌لغزش‌ها از ۵۰/۶ تا ۱۵۴/۹ متر، عرض از ۴۳/۹ تا ۱۱۲ متر متغیر بوده و ارتفاع شیب آن‌ها ۱۲/۲۵ تا ۲۱ متر می‌باشد. از میان زمین‌لغزش‌های مطالعه شده، زمین‌لغزش حیدره فعالیت مجدد داشته است. در این منطقه پوشش گیاهی در اثر آتش سوزی از بین رفته است.

بررسی‌های صحرایی نشان داد که ۸۰ درصد زمین‌لغزش‌های رخ داده در این منطقه در تپه‌های مقعر به وقوع پیوسته‌اند (شکل ۴). زیرا که تقعر تپه‌ها به تمرکز جریان‌های سطحی و زیرسطحی در خاک منجر شده که به افزایش اشباع‌شدگی خاک کمک می‌کنند [۱۰ و ۱۸]. این زمین‌لغزش‌ها در شیروانی‌های با زاویه شیب ۲۵ تا ۳۴ درجه به وقوع پیوسته‌اند. مطابق طبقه‌بندی شریعت جعفری [انقل از ۳] زمین‌لغزش‌های رخ داده کم‌عمق هستند و حداکثر عمق آن‌ها به ۴ متر می‌رسد. هم‌چنین، بر اساس طبقه‌بندی

آنالیز حساسیت

پیش از انجام تحلیل پایداری، آنالیز حساسیت با هدف ارزیابی تغییرات ضریب اطمینان بر حسب پارامترهای مهندسی نظیر زاویه شیب (β)، چسبندگی (c)، زاویه اصطکاک داخلی (ϕ) و ضخامت لایه خاک (H) انجام شد. در این راستا، روش آنالیز شیب نامحدود به منظور انجام آنالیز حساسیت مورد استفاده قرار گرفت. در این روش به استثنای پارامتری که باید تخمین زده شود، متغیرهای دیگر ثابت نگهداشته می‌شوند [۱۵].

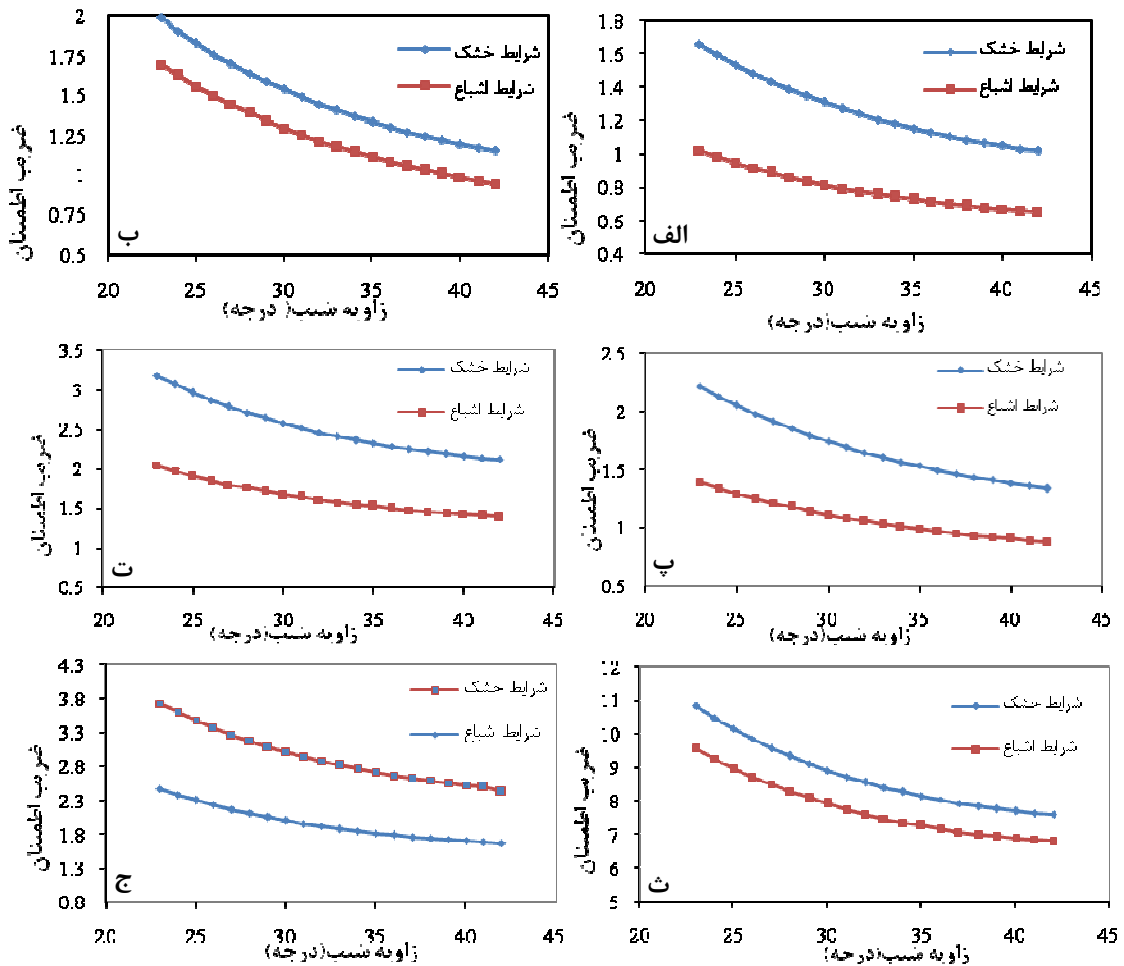
آنالیز حساسیت برحسب پارامترهای یادشده، برای دو حالت دانسیته خشک و اشباع انجام شد. بازدهی‌های صحرایی نشان داد که زاویه شیب در شش ناحیه مورد مطالعه از ۲۵ تا ۴۰ درجه تغییر می‌کند. بنابراین، در آنالیز حساسیت بازه شیب دامنه بین ۲۳ تا ۴۲ درجه با در نظر گرفتن دو درجه انحراف انتخاب شده است. همچنین، مقادیر زاویه اصطکاک محل‌های مورد مطالعه نیز از ۱۷ تا ۲۴ درجه متغیر است و در نتیجه دامنه ۱۵ تا ۳۴ درجه مورد استفاده قرار گرفته است. مقدار چسبندگی خاک‌ها از ۶ تا ۳۰ کیلونیوتن بر مترمربع تغییر می‌کند. بنابراین، آنالیز حساسیت با مقادیر چسبندگی ۳ تا ۳۵ کیلونیوتن بر مترمربع انتخاب گردید. شکل‌های (۷) تا (۱۰) آنالیز حساسیت ضریب اطمینان نسبت به زاویه شیب، زاویه اصطکاک، چسبندگی و ضخامت خاک برای شش منطقه را نشان می‌دهند.

بررسی وسعت مصالح گسیخته شده نشان می‌دهد که به استثنای زمین‌لغزش‌های پادگان شهید شهبازی و حیدره، سایر زمین‌لغزش‌ها مساحت کمتر از ۲۰۰۰ مترمربع دارند. زمین‌لغزش پادگان شهید شهبازی با مساحت ۴۱۹۳ متر مربع بزرگ‌ترین زمین‌لغزش ایجاد شده در ناحیه است، در حالی که زمین‌لغزش آخر آسفالت با وسعت ۴۹۷/۷ متر مربع کوچک‌ترین آن‌ها می‌باشد. به طور کلی، این زمین‌لغزش‌ها از نظر وسعت، در رده کوچک تا متوسط قرار می‌گیرند [۱۱] (جدول ۱).

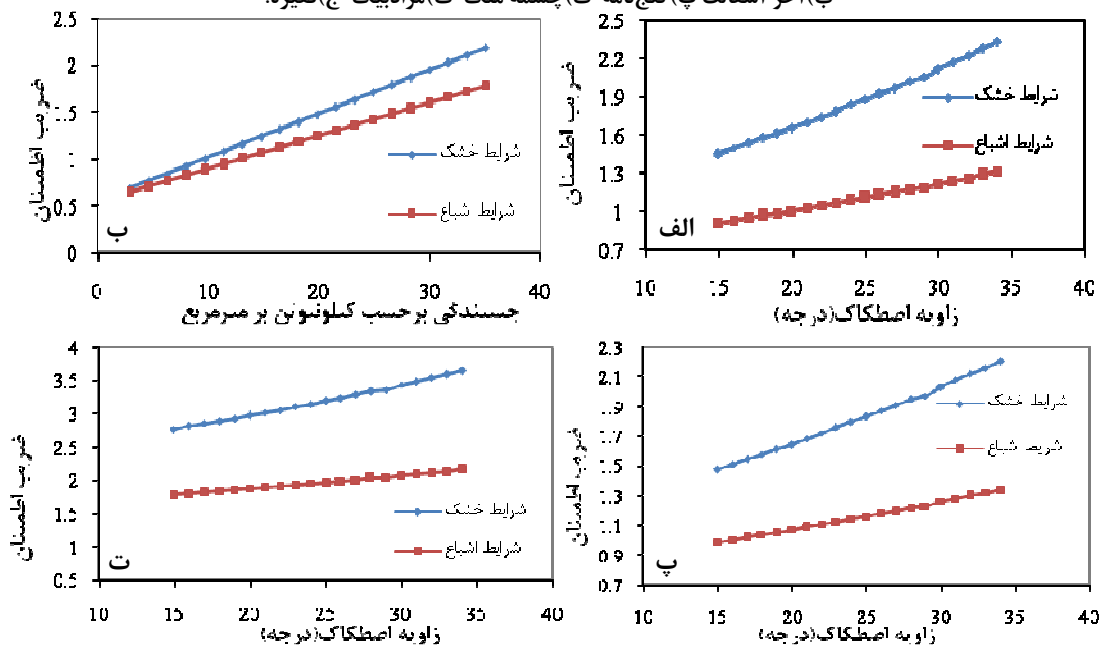
در این تحقیق به منظور تحلیل پایداری شیب، از روش آنالیز شیب نامحدود استفاده شده است [۱۴]. این روش توسط محققان مختلف به منظور تحلیل پایداری لغزش‌های انتقالی در خاک‌های کوهرفتی و باقی‌مانده مورد استفاده قرار گرفته است [۱۳ و ۲۰]. همچنین، برخی ملاحظات نظیر ضخامت لایه خاک و زاویه شیب نیز بر اساس مشاهدات صحرایی منظور شده است (جدول ۵). بررسی نوع و عمق گسیختگی مصالح مشخص کرد که سطح گسیختگی کم‌عمق و در مرز خاک باقی‌مانده و هورنفلس‌های کمی هوازده زیرین قرار دارد. لایه خاک برای آنالیز حساسیت و پایداری در تمام دامنه، همگن فرض شده است. عمق خاک در محل‌های نمونه‌برداری شده از ۰/۴ تا ۴ متر متغیر بوده است. از پنج لغزش رخ داده، ۴ لغزش انتقالی و تنها یک لغزش چرخشی می‌باشد.

جدول ۵. دانه‌بندی، ضخامت لایه خاک و شیب دامنه در محل‌های مورد مطالعه.

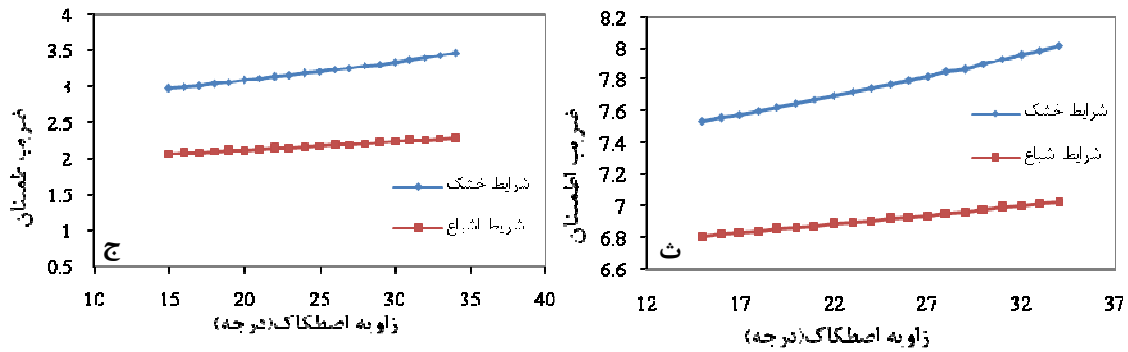
نام محل						پارامترها	
حیدره	گنج‌نامه	آخر آسفالت	چشمه ملک	مرادبیک	فقیره	شن	توزیع اندازه دانه‌ها
۱۹/۰۵	۳۹/۰۸	۱۴/۰۸	۱۰/۱۲	۹/۳۹	۲۳/۹۳	ماسه	
۳۳/۷۵	۴۰/۹۴	۳۷/۱۴	۵۲/۶	۶۵/۳۵	۴۵/۰۱	سیلت و رس	
۴۷/۲	۱۹/۹۸	۴۷/۷۸	۳۷/۲۸	۲۵/۲۶	۳۱/۰۶	ضخامت لایه خاک (متر)	
۴	۱	۳/۷۵	۲/۷۰	۰/۴۰	۰/۹۰	زاویه شیب (درجه)	
۲۵	۲۹	۳۲	۲۷	۴۰	۲۵	زاویه اصطکاک (درجه)	
۱۷	۲۴	۲۱	۱۷	۲۲	۲۱	چسبندگی (kN/m^2)	
۱۸	۶	۲۲	۳۰	۱۷	۱۲		



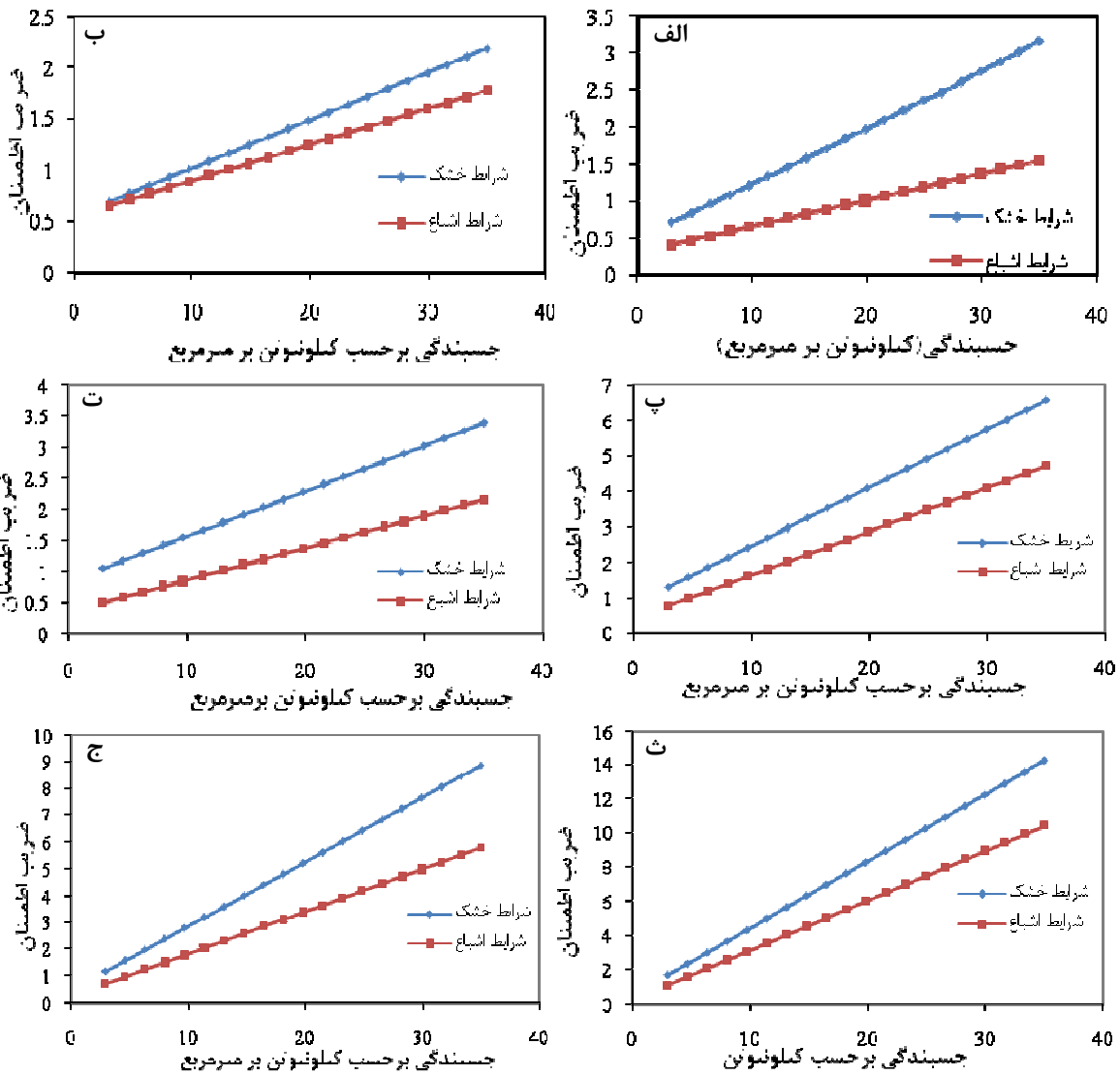
شکل ۷. تغییرات ضریب اطمینان بر حسب زاویه شیب برای محل‌های مورد مطالعه در شرایط خشک و اشباع خاک. الف) حیدره (ب) آخر آسفالت پ گنجانامه (ت) چشمه ملک (ث) مرادیبک (ج) فقیره.



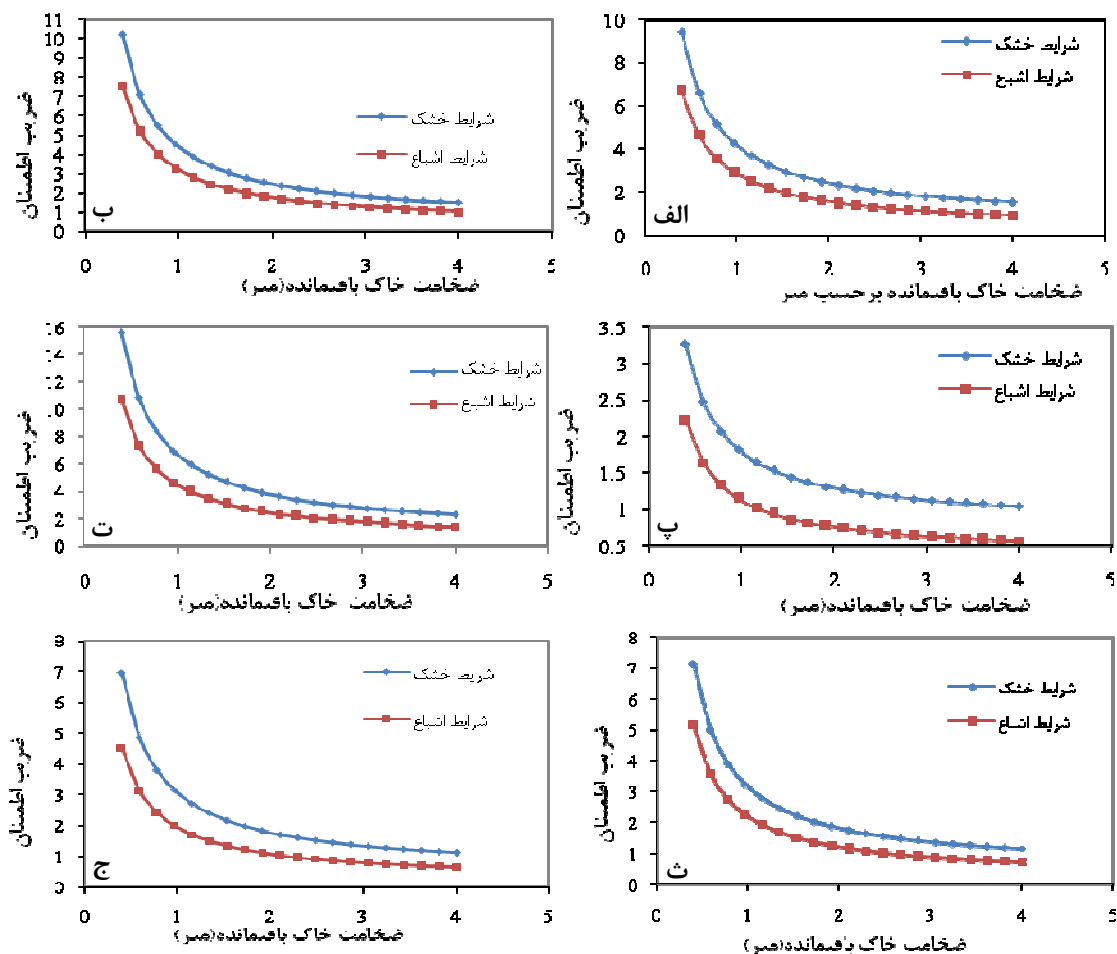
شکل ۸. تغییرات ضریب اطمینان بر حسب زاویه اصطکاک برای محل‌های مورد مطالعه در شرایط خشک و اشباع خاک. الف) حیدره (ب) آخر آسفالت پ گنجانامه (ت) چشمه ملک.



ادامه شکل ۸. ث) مرادبیک ج) فقیره



شکل ۹. تغییرات ضریب اطمینان بر حسب چسبندگی برای محل‌های مورد مطالعه در شرایط خشک و اشباع خاک. الف) حیدره (ب) آخرآسفالت (پ) گنج‌نامه (ت) چشمه ملک (ث) مرادبیک ج) فقیره.



شکل ۱۰. تغییرات ضریب اطمینان بر حسب ضخامت خاک باقی‌مانده برای محل‌های مورد مطالعه در شرایط خشک و اشباع خاک. (الف) حیدره (ب) آخر آسفالت (پ) گنج‌نامه (ت) چشمه ملک (ث) مرادبیک (ج) فقیره.

تحلیل پایداری شیب‌ها

اثر اشباع شدگی خاک بر روی دامنه‌های مستعد لغزش انتقالی از نظر کمی توسط دانکن (Duncan) مورد بررسی قرار گرفت [۱۵]. وی تراوش‌های احتمالی موازی با رویه شیب و به سمت بیرون رویه شیب را مطرح نمود. بر اساس بررسی‌های صحرایی در محل‌های شش‌گانه، تراوش به موازات رویه شیب رخ می‌دهد. همچنین، وی سه گام زیر را برای این روش تحلیل ارائه کرده است [۱۵]:

۱- تعیین نسبت فشار آب منفذی (ru)، که با استفاده از معادله (۱) تعیین می‌گردد.

$$ru = \left(\frac{X}{T}\right) \left(\frac{\gamma_w}{\gamma}\right) \cos^2 \beta \quad (1)$$

در این رابطه X ضخامت لایه خاک اشباع، T کل ضخامت لایه خاک (که عمود بر شیب اندازه‌گیری شده است)، γ_w

وزن واحد حجم آب، γ وزن واحد حجم خاک و β زاویه شیب می‌باشند.

۲- تعیین عوامل A و B ، که برای محاسبه ضریب اطمینان ضروری بوده که از طریق معادلات (۲) و (۳) محاسبه شوند.

$$A = 1 - \left(\frac{ru}{\cos^2 \beta}\right) \quad (2)$$

$$B = \frac{1}{\sin \beta \cos \beta} \quad (3)$$

که در این روابط عامل A مرتبط با فشار آب منفذی است که عمود بر سطح لغزش عمل می‌کند. همچنین، عامل B مربوط به مقاومت برشی در امتداد سطح لغزش می‌باشد.

۳- تعیین ضریب اطمینان (FS) از رابطه (۴):

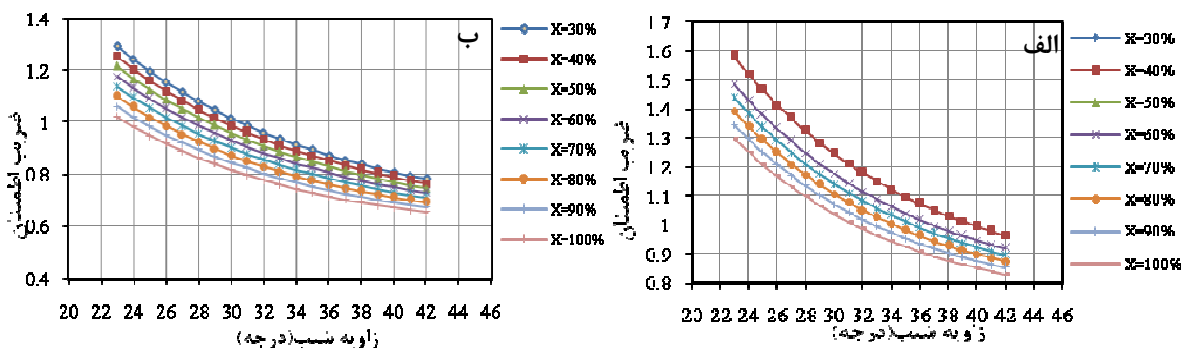
$$FS = (A) \frac{\tan \phi'}{\tan \beta} + (B) \left(\frac{c'}{\gamma H}\right) \quad (4)$$

درجه می‌باشند. وقوع زمین‌لغزش‌ها در این نواحی نشان دهنده صحت نتایج آنالیزهای پایداری می‌باشند. هم‌چنین، در محدوده دره گنج‌نامه زاویه آستانه شیب برای ۶۰٪ و ۱۰۰٪ اشباع خاک، به ترتیب ۴۱ و ۳۴ درجه می‌باشد. از سوی دیگر، نواحی چشمه‌ملک، فقیره و مرادیگ به دلیل شیب کم دامنه‌ها و ضخامت اندک خاک پایدار هستند.

مناطق گنج‌نامه، حیدره و آخر آسفالت با زاویه شیب نسبتاً زیاد در شرایط خشک به ترتیب ضریب اطمینان ۱/۷۹، ۱/۵۳ و ۱/۴۴ را دارا می‌باشند. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که زمین‌لغزش‌های حیدره و آخر آسفالت در طی بارندگی به ترتیب با ۸۵٪ و ۹۵٪ اشباع خاک رخ داده‌اند (جدول ۶). مناطق فقیره، مرادیگ و چشمه ملک در شرایط اشباع به ترتیب ضریب اطمینان ۲/۱۲، ۶/۸۱ و ۱/۷۹ دارند. ضریب اطمینان زیاد منطقه مرادیگ به علت ضخامت کم خاک (۴/۰ متر) در این ناحیه می‌باشد. نتایج آنالیزهای حساسیت مبین آن است که با افزایش ضخامت خاک، ضریب اطمینان پایداری شیب‌های نواحی شش‌گانه با پیروی از تابع لگاریتمی کاهش می‌یابد (شکل ۱۰ ج). زیرا که افزایش ضخامت خاک در این نواحی معرف افزایش شدت هوازگی در سنگ‌های هورنفلسی و قابلیت نفوذ بیش‌تر آب به درون دامنه می‌باشد، که می‌تواند ازدیاد فشار آب منفذی و کاهش مقاومت برشی خاک و نیز ناپایداری دامنه را در پی داشته باشد. هم‌چنین، به دلیل وجود گسل‌های محلی و قرار گرفتن شهر همدان در ناحیه لرزه‌ای نسبتاً فعال، وقوع زلزله می‌تواند به کاهش ضریب اطمینان و افزایش ناپایداری دامنه‌های متشکل از خاک‌های باقی‌مانده کمک نماید.

که در این رابطه ϕ و c عوامل مقاومت برشی موثر خاک، β زاویه شیب، γ وزن واحد حجم خاک و H عمق خاک است که فاصله عمودی بین سطح شیب و سطح لغزش می‌باشد.

نسبت اشباع لایه خاک (X) برای آنالیز پایداری شیب نامحدود در شش ناحیه، ۳۰ تا ۱۰۰٪ ضخامت خاک (T) در نظر گرفته شده است. مشابه آنالیز حساسیت، ۱۹ مقدار زاویه شیب (۲۳ تا ۴۲ درجه با فاصله ۱ درجه) جهت بررسی هر محل در نظر گرفته شده و نمودار آن‌ها ترسیم شده است. نمونه‌ای از نتایج آنالیز پایداری برای زمین‌لغزش‌های دارای بیش‌ترین ضخامت خاک (زمین‌لغزش حیدره و آخر آسفالت) در شکل (۱۱) نشان داده شده است. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که برای مقادیر مختلف نسبت اشباع لایه خاک (X)، بین زاویه شیب و ضریب اطمینان ارتباط مشخصی برقرار است. به این معنا که با افزایش نسبت اشباع، ضریب اطمینان نیز برای یک زاویه شیب معین کاهش می‌یابد. نتایج آنالیزهای پایداری انجام شده در جدول (۶) ارائه شده‌اند. این موضوع به دلیل آن است که با افزایش نسبت اشباع، فشار آب منفذی در توده خاک افزایش می‌یابد، که می‌تواند به کاهش مقاومت برشی خاک و ناپایداری دامنه بینجامد. خاک هورنفلسی ناحیه حیدره و آخر آسفالت تنها با ۳۰٪ اشباع، از بیش‌ترین پتانسیل لغزش انتقالی برخوردار می‌باشند. در حالی‌که، در محدوده گنج‌نامه لغزش زمانی رخ می‌دهد که نسبت اشباع به ۶۰٪ برسد (شکل ۸). زاویه آستانه شیب در ۳۰ و ۱۰۰٪ اشباع خاک برای ناحیه حیدره به ترتیب ۳۱ و ۲۳/۵ درجه است. اما این مقادیر برای منطقه آخر آسفالت به ترتیب ۴۰ و ۳۱



شکل ۱۱. رابطه بین بخش اشباع خاک، زاویه شیب و ضریب اطمینان. الف) منطقه آخر آسفالت ب) منطقه حیدره

جدول ۶. نتایج آنالیز پایداری برای نسبت‌های مختلف اشباع در خاک‌های باقی‌مانده هورنفلسی.

نام محل	فقیره	مرادبیک	چشمه ملک	آخرآسفالت	گنجانمه	حیدره
ضخامت لایه خاک برحسب متر (H)	۰/۹	۰/۴	۲/۷	۳/۷۵	۱	۴
زاویه شیب (درجه)	۲۵	۴۰	۲۷	۳۲	۲۹	۲۵
نسبت اشباع خاک	۱	۱	۱	۰/۹۵	۱	۰/۸۵
ضریب اطمینان	۲/۱۲	۶/۸۱	۱/۷۹	۱	۱/۱۲	۱

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

بررسی شواهد سطحی دامنه‌ها نشان می‌دهد که اثرات رانش زمین متفاوت و از خزش تا مدفون شدن ناگهانی یک محل قابل مشاهده است. در این پژوهش، بر اساس مطالعات صحرایی و آزمایشگاهی، آنالیز پایداری شیب‌های نامحدود برای مناطق مستعد لغزش و لغزش‌های رخ داده در جنوب و جنوب غرب همدان انجام شد. نتایج حاصله به شرح زیر می‌باشد:

۱- براساس بررسی‌های صحرایی (در فصول خشک و تر)، زمین‌لغزش‌ها عموماً ناشی از بارندگی بوده که عمدتاً کم عمق و از نوع انتقالی هستند.

۲- عمق لغزش‌ها بین ۳/۵ تا ۴ متر می‌باشد.

۳- ۸۰ درصد این لغزش‌ها بر روی تپه‌های مقعر ایجاد شده‌اند.

۴- زمین‌لغزش‌ها در منطقه مورد مطالعه زمانی که اشباع شدگی خاک بین ۸۵ تا ۹۵ درصد است، رخ می‌دهند. این موضوع به دلیل وجود فشار تراوش، افزایش فشار آب منفذی و کاهش تنش موثر است که طی بارندگی شدید به وجود می‌آید.

۵- در منطقه حیدره زوایای آستانه شیب با ۳۰ و ۱۰۰ درصد اشباع خاک، به ترتیب ۳۱ و ۲۳/۵ درجه و در منطقه آخرآسفالت به ترتیب ۴۰ و ۳۱ درجه می‌باشند.

۶- زوایای آستانه شیب تحت شرایط ۶۰ و ۱۰۰ درصد اشباع خاک در دره گنج‌نامه، به ترتیب ۴۱ و ۳۴ درجه می‌باشند.

به منظور مقابله با تهدیدات ناشی از رانش زمین در جنوب و جنوب غرب همدان پیشنهاد می‌گردد:

۱- خاک‌برداری بالای دامنه‌ها و پلکانی کردن شیب به منظور کاهش ناپایداری در مناطق آخر آسفالت و حیدره انجام شود. بدین منظور می‌توان از پله‌های با عرض ۲ و ارتفاع ۱/۵ متر استفاده نمود.

۲- با تعیین دقیق محل وقوع لغزش‌ها و انطباق آن با حداکثر بارندگی روزانه، آستانه بارندگی برای وقوع لغزش‌ها معین گردد.

۳- بر مبنای داده‌های حاصله از مقادیر آستانه بارندگی، سیستم هشدار وقوع لغزش (انحراف‌سنج) در نیمه بالایی شیب‌ها در محدوده‌های آخرآسفالت و حیدره نصب گردد.

منابع

- [۱] اقلیمی، ب (۱۳۷۹) نقشه چهارگوش زمین‌شناسی همدان (۱:۱۰۰۰۰۰)، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران.
- [۲] رمزی، ح. ر، حمیدی، ن، حیدری، ق (۱۳۸۰) لرزه زمین ساخت، لرزه‌خیزی و پهنه‌بندی خطر نسبی زمین‌لرزه در استان همدان، سازمان مسکن و شهرسازی همدان.
- [۳] شریعت جعفری، م (۱۳۷۵) زمین‌لغزش (مبانی و اصول پایداری شیب‌های طبیعی)، انتشارات سازه، تهران.
- [۴] قبادی، م. ح، سیدی، ح (۱۳۸۹) ارزیابی پایداری شیب‌های خاکی در جنوب غرب همدان (حد فاصل گنج‌نامه تا شهرستانه)، یافته‌های نوین زمین‌شناسی کاربردی، جلد ۸، صفحات ۶۷-۵۴.
- [5] Abramson, L.W., Thomas, L., Sharma, S., Boyce, G.M (2002) Slope stability and stabilization methods, John Wiley & Sons, Inc., New York.
- [6] ASTM (1996) Annual Book of ASTM Standards, Soil and Rock Construction, Section 4, American Society for Testing and Materials, Pennsylvania, US.
- [7] Amidi, M., Majidi, B (1977) Geological quadrangle map of Hamadan (1:250000), Geological Survey of Iran.
- [8] Bell, F.G., Maud, R.R (1999) Landslides associated with the colluvial soils overlying the Natal group in the greater Durban region of Natal, South Africa, Engineering Geology, Vol: 39, No: 9, p: 1029-1038.
- [9] Beven, K.J., Kirkby, M.J (1979) A physically based, variable contributing area model of basin hydrology, Bulletin of Hydrology Science, Vol: 24, p: 43-69.

- [10] Campbell, R.H (1975) Soil slips, debris flows, and rain storms in the Santa Monica Mountains and vicinity, Southern California, US Geological Survey, Professional Paper: 851, p:1-20.
- [11] Cornforth, D.H (2005) Landslide in practice, John Wiley & Sons, Inc., New York.
- [12] Cruden, D.M., Varnes, D.J (1996) Landslide types and processes, In: Turner AK, Schuster RL (Eds) Landslides: investigation mitigation. Sp. Rep. 247, Transportation Research Board, and National Research Council, National Academy Press, Washington DC, p: 36-75.
- [13] Dahal, R.K., Hasegawa, S., Nonomura, A., Yamanaka, M., Masuda, T., Nishino, K (2009) Failure characteristics of rainfall-induced shallow landslides in granitic terrains of Shikoku Island of Japan. Environmental Geology, Vol: 65, p: 1295-1310.
- [14] Duncan, J.M., Buchilgnani, A.L., DeWet, M (1987) An engineering Manual for slope stability studies, Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, Virginia, USA.
- [15] Duncan, M.J (1996) Soil slope stability analysis. Landslides: investigations and mitigation, Transportation Research Board, special report 247, chapter 13, National Research Council, Washington DC, p: 337-371.
- [16] Eshraghi, S.A., Mahmoudi, Gharai, M (2003) Geological quadrangle map of Tuyserkan (1:100000), Geological Survey of Iran.
- [17] Mitchell, J.K (1976) Fundamentals of soil behavior, John Wiley & Sons, Inc., New York.
- [18] O'Loughlin, E.M (1986) Prediction of surface saturation zones in natural catchments by topographic analysis, Water Resources Research, Vol: 22, p: 794-804.
- [19] Pons, N.A.D., Pejon, O.J., Zuquette, L.V (2007) Use of geoprocessing in the study of land degradation in urban environments: the case of the city of Sao Carlos, state of Sao Paulo, Brazil, Environmental Geology, Vol: 52, p: 727-739.
- [20] Shakoor, A., Smithmyer, A.J (2005) An analysis of storm-induced landslides in colluvial soils overlying mudrock sequences, southeastern Ohio, USA, Engineering Geology, Vol: 78, p: 257-274.
- [21] Wieczorek, G.F (1996) Landslide triggering mechanisms. In: Turner, AK, Schuster RL (ed), Landslides: investigation and mitigation, Transportation Research Board, Special Report 247, National Research Council, Washington DC, p: 76-79.