

بررسی تأثیر ریشه درخت بید بر پایداری شیروانیهای خاکی

نویسنده: دکتر محمد هادی داودی*، دکتر سید محمود فاطمی عقدا** و غلام رضا شاه علیپور**

Effect of Willow Tree Root on Slope Stability

By: Dr. M. H. Davoudi*, Dr. S. M. Fatemi-Aghda** & G. R. Shahalipour**

چکیده

ریشه درختان با افزایش مقاومت برشی خاک و کاهش تنش برشی وارد شده به آن، موجب افزایش پایداری شیروانیهای خاکی می‌شوند. مقاومت برشی افزوده شده به خاک، علاوه بر خواص مکانیکی ریشه، تابعی از قطر، تعداد، جهت و زاویه تغییر شکل ریشه در هنگام گسیختگی نسبت به سطح لغزش می‌باشد. در این مقاله با استفاده از مدل تحلیلی Coppin & Richard به بررسی میزان تأثیر ریشه درخت بید بر افزایش پایداری شیبهای خاکی با سطح لغزش مسطوی پرداخته شده است. اطلاعات مورد نیاز مدل از طریق مجموعه‌ای از آزمایشات برش مستقیم برجا بر روی خاکهای بدون ریشه و ریشه‌دار در منطقه طالقان تهیه شد و طی آن چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی خاک تحت تراکمهای مختلف ریشه اندازه‌گیری گردید. بعد از اتمام هر آزمایش، قطر و زوایای تغییر شکل ریشه‌ها در ناحیه برشی خاک برداشت گردید.

نتایج مدل فوق برای یک شیروانی خاکی با شیب ۴۵ درجه و سطح لغزش مسطوی نشان داد که تراکم ریشه بین ۵ تا ۲۶ درصد می‌تواند ضریب اطمینان پایداری را، بسته به سطح آب زیرزمینی در توده، بین ۰/۵ تا ۳۶ درصد نسبت به خاک بدون ریشه افزایش دهد.

کلید واژه‌ها: تراکم ریشه، ناحیه برشی، ریشه درخت بید، شیروانی خاکی، سطح لغزش مستوی، مقاومت برشی

Abstract

Tree root, as a reinforcing agent, may improve the stability of soil slopes by two mechanisms: a decrease in the developed shear stress via distribution of applied loads within a larger area, an increase in the mobilized shear resistance via its tensile strength. The latter, in addition to mechanical properties of root, is a function of diameter, number, orientation and deflection angle of the roots with respect to the potential slip surface. Coppin & Richard analytical model was used to assess to what extent willow tree roots can improve the stability factor of a planar slip surface. The required data were provided by a series of in-situ tests in Taleghan region using a large scale field shear stress test apparatus. Tests were run in a natural deposit with and without willow root to measure cohesion and internal friction angle of soil under different root density. At the end of the tests, the diameter and angle at which the roots were deviated and cut were measured in the sheared zone. Experimental results were used in the model for different water levels, revealing that for a 45 degree planar slip surface and a root density of 5 to 26 percent the safety factor rises between 0.5 to 36 percent.

Key words: Root density, Shear zone, Willow tree root, Planar slip surface, Soil slope, Shear resistance.

مقدمه

گذشته داشته است. Gray (1974) مهم‌ترین تأثیر پوشش گیاهی در پایداری شیروانیهای خاکی را به طور کلی از دو طریق هیدرولوژیکی و مکانیکی معرفی کرده است. به دلیل اهمیت تأثیر ریشه درخت در پایداری شیروانیهای خاکی، پژوهشگران زیادی از جمله Qi (1974b), Ziemer (1981), Burroughs & Thomas (1977), Ziemer & Swanstone (1977), Waldran (1977), Gray & Megahan (1981) پایداری

اهمیت تأثیر تراکم ریشه درختان در پایداری شیروانیهای خاکی، در دهه‌های اخیر مورد توجه محققان زیادی قرار گرفته است. مطالعات انجام شده در نقاط مختلف جهان نشان می‌دهد که رابطه‌ای مستقیم بین افزایش تعداد و نوع زمین لغزش و از بین رفتن جنگلها وجود دارد. برای نمونه، مطالعه‌ای که به وسیله Bishop & Wanston (1964) در جنوب خاوری آلاسکا انجام شد، نشان داد که تعداد و نوع زمین لغزشها ۱۰ سال پس از قطع شدن درختان، به رغم بارندگی کم، فراوانی بیشتری نسبت به سالهای

ویژگیهای زمین ریخت شناسی و زمین شناسی منطقه

از نظر توپوگرافی، منطقه طالقان در ناحیه کوهستانی واقع شده است. پوشش گیاهی آن در تپه ماهورها، بوته‌های کوتاه و در دیگر مناطق اراضی کشاورزی، باغ و نواحی مسکونی است. ارتفاع اردوگاه میناوند از سطح دریا در بین ۲۰۰۰ و ۲۲۰۰ متر می‌باشد.

از دیدگاه زمین شناسی، منطقه طالقان منطقه‌ای کوهستانی متشکل از یک سری چین خوردگی و راندگی باختری-خاوری است که به سوی شمال و جنوب بر روی هم رانده شده‌اند. این ساختارها منطقه را به پهنه‌های مشخص محصور شده توسط سنگها تقسیم می‌کند. از میان ساختارهای مختلف زمین شناسی، گسلها وضعیت مشخص تری داشته و اهمیت بیشتری در شکل‌گیری کنونی منطقه داشته‌اند. جنس واحد سنگی منطقه مورد مطالعه را پادگانه‌های اغلب شنی پلیستوسن (Q) تشکیل می‌دهد. باتوجه به نقش سنگ‌شناسی در ویژگیهای مقاومتی خاک و وضعیت پایداری توده، نقشه سنگ شناسی منطقه در شکل ۱ ارائه شده است. گدازه‌های با زمان انوسن، توفهای اسیدی روشن و پادگانه‌های اغلب شنی پلیستوسن به ترتیب ۳۳/۴۷٪، ۳۰/۵۵٪ و ۵/۹۴٪ از حوضه آبخیز طالقان را تشکیل داده است (داودی و همکاران، ۱۳۸۱).

روش تحقیق

در این تحقیق، مدل تحلیلی آنالیز پایداری به روش تعادل حدی با استفاده از نتایج آزمایشهای به عمل آمده، برای یک توده لغزشی محدود تحت وضعیتهای هیدروژئولوژیکی تعریف شده و تراکم ریشه تعریف شده اجرا و نتایج مورد بحث واقع می‌شود. برای تضمین دقت اطلاعات داده شده به مدل، از نتایج آزمایشهای برجا استفاده می‌شود. آزمایشهای از نوع آزمایش برش مستقیم بزرگ مقیاس است و دستگاه و تجهیزات مربوطه در آزمایشگاه مکانیک خاک مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری وزارت جهاد کشاورزی طراحی و ساخته شد.

دوازده آزمایش برش مستقیم برجا با هدف تعیین ویژگیهای مقاومت برشی خاک و همچنین بررسی عملکرد ریشه در حین گسیختگی، تحت بارگذاریهای ۱۹/۶، ۵۸/۸ و ۹۸ کیلوپاسکال انجام شد. از این تعداد، نه آزمایش در خاک ریشه‌دار و سه آزمایش در خاک بدون ریشه اجرا شد.

موقعیت چاههای آزمایش

برای انجام آزمایشهای صحرائی، چاههایی در موقعیتهای مختلف شکل ۲ حفر گردید. انتخاب محلها صرفاً بر این اساس صورت گرفت که قطرهای مختلف ریشه و تراکمهای مختلفی از ریشه حاصل گردد. محل چاه شماره ۱ در فاصله ۲۲ متری درخت بید، انتخاب گردید. این چاه برای بررسی

شیرواییهای خاکی را قبل و بعد از قطع شدن ریشه درختان مورد بررسی قرار داده‌اند. این محققان عمدتاً به اندازه‌گیری مقاومت کششی ریشه‌ها از طریق آزمایش آزمایشگاهی پرداخته، آنگاه به کمک مدل‌های تحلیلی مقاومت کششی ریشه را به صورت یک نیروی برشی پایدار کننده تبدیل و به عنوان یک مؤلفه پایداری در مقاومت برشی کلی توده وارد نموده‌اند. برخی دیگر مانند (Kazutoki & Ziemer 1991) با استفاده از جعبه برشی نسبتاً بزرگ نمونه‌های خاک و ریشه را بازسازی کرده و با اعمال نیروی برشی رفتار خاک مسلح شده توسط ریشه را بررسی نموده و نتایج را با مدل تحلیلی (Waldron 1977) مقایسه کرده‌اند. در ایران نیز استیری و همکاران (۱۳۸۰) با انجام یک سری آزمایش برش مستقیم بر روی نمونه‌های دست خورده بازسازی شده از خاک درشت دانه، همراه با ریشه‌هایی به قطرهای متفاوت، در قالبهایی به ابعاد ۱۵×۱۵×۱۵ سانتی‌متر تأثیر تراکم ریشه بر افزایش مقاومت برشی خاک را بررسی کرده است. نکته‌ای که در اغلب تحقیقات فوق وجود دارد آن است که پراکنش ریشه در خاک به صورت یکنواخت در نظر گرفته شده و ریشه‌ها قطر یکسانی داشته‌اند. در بین تمامی محققان، به ندرت کسانی بر اندازه‌گیری مستقیم تأثیر ریشه بر مقاومت برشی خاک همت گمارده‌اند. به عنوان مثال می‌توان از (Endo & Tsuruta 1969) نام برد که بر روی ریشه گیاهان علفی آزمایشهای صحرائی را انجام داده‌اند. (Nilaweer & Nutalaya 1999) با انجام آزمایشهای صحرائی، مقاومت بیرون کشی درخت یک ساله از خاک را برای چند درخت در منطقه گرمسیری اندازه‌گیری نمودند. آنها واحد جدیدی برای بیان تراکم ریشه به شرح "حجم ریشه در واحد حجم توده خاکی" معرفی کردند و نتیجه گرفتند که برای یک تراکم معین، ریشه‌های باریک‌تر و طولی‌تر، مقاومت بیرون کشی بیشتری نسبت به ریشه‌های کلفت‌تر و کوتاه‌تر دارند. شفاعی و سلیمی (۱۳۸۱) نیز به روش آزمایش برشی برجا اثر ریشه درختان پده و گز بر مقاومت برشی خاک ساحل کارون را بررسی کردند. در این تحقیق در قسمتی از ساحل رودخانه کارون با درختان گز و پده که وضعیت نسبتاً پایدار داشته، توسط دستگاهی که برای همین منظور طراحی شده، به کمک یک سری آزمایشها نتیجه‌گیری نمود در عین حال که افزایش مقاومت برشی خاک با تراکم ریشه (درصد سطح مقطع ریشه‌ها به واحد سطح خاک) رابطه مستقیم خطی دارد، اما ریشه گیاه گز به طور میانگین بیشتر از ریشه درخت پده باعث افزایش مقاومت برشی خاک می‌گردد.

به دلیل تنوع اقلیمی کشورمان، درختان و گیاهانی که با کمترین هزینه و بیشترین سهولت در مناطق مستعد لغزش رشد کنند، متفاوتند. لذا ضرورت دارد که تحقیقات مشابهی برای نواحی حاشیه جنوبی البرز نیز به عمل آید.

و افقی برای انجام برش، سنجشگرهای مربوط به دگرشکلی عمودی و افقی نصب شدند. برای این منظور، چهار سنجشگر برای اندازه گیری دگرشکلی عمودی و دو سنجشگر دیگر برای اندازه گیری دگرشکلی افقی نصب شده‌اند. نحوه انجام آزمایش در شکل ۳ نشان داده شده است.

روش مطالعه ریشه در ناحیه برشی

پس از پایان هر آزمایش، جعبه برشی از نمونه جدا شده و در جهت عمود بر برش، خاکها از بالای آرامی با کاردک و چکش جدا شدند. این کار به آرامی و با احتیاط صورت می‌گرفت تا به ریشه‌ها هیچ گونه ضربه‌ای وارد نشود. پس از رسیدن به ناحیه برشی ۳ سانتی متری، قطر هر یک از ریشه‌ها و زاویه آنها نسبت به سطح افق در بالاتر از ناحیه برشی (β) و در داخل ناحیه برشی (β') اندازه‌گیری می‌شود. در ادامه با حفر زیر ناحیه برشی، زاویه ریشه‌ها نسبت به سطح افق در زیر ناحیه برشی (β'') نیز قرائت می‌گردد. به عبارتی سه زاویه β ، β' و β'' که نشان دهنده زاویه ریشه نسبت به سطح افق به ترتیب در بالای ناحیه برشی، ناحیه برشی و پایین ناحیه برشی است، به دست می‌آید. تغییر زاویه هر ریشه در اثر گسیختگی (θ_i) عبارت خواهد بود از میانگین تغییر زاویه در قسمت بالایی و قسمت زیرین ناحیه برشی (شکل ۴). بنابراین:

$$\theta_i = \frac{|\beta - \beta'| + |\beta' - \beta''|}{2} \quad (1)$$

برای اندازه‌گیری سطح مقطع ریشه، قطر آنها در محل با استفاده از کولیس به طور دقیق اندازه‌گیری و یادداشت می‌شد. ریشه‌های موجود در نمونه‌های تحت آزمایش، دارای قطرهای متنوعی بودند. بر اساس مشاهدات و اندازه‌گیری‌های به عمل آمده، بیشترین تعداد ریشه‌ها دارای قطری کمتر از ۴۷ میلی‌متر بودند. در عین حال در اندکی از موارد قطر ریشه‌ها به ۱۱۵ میلی‌متر نیز می‌رسید. کمترین قطر مشاهده شده ۲/۵ بود. آنگاه با فرض دایره بودن مقطع ریشه، سطح مقطع آن محاسبه می‌شد. برای اندازه‌گیری زاویه از نقاله و خط‌کش و تراز استفاده می‌شود.

تراکم ریشه و تأثیر آن در پایداری شبروانیهای خاکی

باتوجه به محدود بودن عمق گسترش ریشه‌ها، از مدل پایداری شبروانیهای خاکی محدود استفاده شده است. یک زمین لغزش با شیب ۴۵ درجه و ویژگیهای مکانیکی معادل با خاک میناوند فرض شده است. ضریب اطمینان پایداری این توده در سطوح لغزش واقع در اعماق بین ۲/۵ متر تا ۱۰ متر و برای هر یک از چهار تراکم ریشه‌ای متفاوت ۵، ۱۱/۳۳ و ۲۶/۳۳ درصد و همچنین خاک بدون ریشه (تراکم ریشه ۰٪) محاسبه گردید (شکل ۵). همچنین برای موقعیت سطح ایستایی در داخل توده، دو حالت

مقاومت برشی خاکهای بدون ریشه انتخاب شده بود، و به دلیل دستی بودن خاک در این قسمت، از انجام آزمایش صرف نظر شد. جایگزین آن، چاه شماره ۲ در فاصله ۲۱ متری از درخت حفر گردید، در چاه مذکور آثاری از ریشه درخت بید وجود نداشت و از آن برای انجام آزمایشهای برش مستقیم درجا استفاده شد.

چاه شماره ۳ در فاصله ۸/۵ متری از درخت جهت پیگیری ریشه حفر گردید که ریشه‌های فرعی در عمق ۹۰ سانتی متری مشاهده شدند. چاه شماره ۴ در فاصله ۲/۸ متری درخت جهت پیگیری ریشه‌های اصلی و عمق نفوذ آنها حفر گردید که در عمق ۱۳۰ سانتی با برخورد به سنگ بستر متوقف شد و آزمایش برش مستقیم تا این عمق انجام گردید. چاههای شماره ۵ و ۶ به ترتیب در فاصله ۲۵۰ و ۲۰۰ سانتی متری و با زاویه‌ای معادل ۹۰ درجه از چاه شماره ۴ حفر گردید و در نهایت، چاه شماره ۷ به منظور تکمیل مطالعات در کنار چاه شماره ۶ تا عمق ۱۷۰ سانتی متری حفر شد.

دستگاه آزمایش برش مستقیم برجا

این دستگاه برای آزمایش چاله شناساییهای کم عمق طراحی شده است. در عین حال، طراحی دستگاه به گونه‌ای است که تا عمق حدود ۲۰ متر را می‌توان مدل کرد. تجهیزات آن از سه قسمت عمده تشکیل شده است: سکوی بارگذاری برای تأمین بار قائم، قالب (چهارچوب) فلزی احاطه کننده نمونه، جکهای هیدرولیکی و ضامن مربوطه جهت اعمال نیروهای قائم و برشی.

روش انجام آزمایش برش مستقیم برجا

در انجام آزمایشهای برجا از استاندارد B.S استفاده شده است. در این آزمایش، ابتدا بلوک خاکی به ابعاد تقریبی ۶۰×۶۰ سانتی متر و به ارتفاع ۲۰ سانتی متر ایجاد شد. سپس قالب (چهارچوب) فلزی به ابعاد ۳۰×۵۰×۵۰ سانتی متر بر روی آن قرار داده شد. همزمان با به پایین راندن قالب، خاک اطراف به آرامی تراشیده می‌شد تا بلوک با کمترین دست خوردگی در قالب قرار گیرد. تراشیدن خاک اطراف بلوک و راندن قالب تا زمانی ادامه می‌یافت که بلوک خاک به طور کامل در داخل قالب قرار گیرد. در خاکهای ریشه دار از قیچی باغبانی برای قطع کردن ریشه‌هایی که به بلوک متصل بودند، استفاده شد، سپس سطح بالایی بلوک، تراز شده و به وسیله ماسه نرم هموار گردید تا بار قائم به طور یکنواخت به وسیله صفحه بالایی اعمال شود پس از گذاشتن صفحه فلزی بر روی بلوک خاک، نیروی عمود به وسیله جک هیدرولیکی به نمونه اعمال شده و تنش افقی نیز به وسیله جک جداگانه‌ای وارد گردید. پیش از اعمال نیروهای عمودی

Z: عمق سطح لغزش نسبت به سطح توده
 θ: تغییر زاویه ریشه در ناحیه برشی در اثر گسیختگی خاک

برای مثال در جدول ۱، برخی نتایج حاصل از آزمایشهای برش مستقیم صحرائی برای درصدهای متفاوت تراکم ریشه‌ای ارائه شده است. در این جدول، مقادیر چسبندگی در نمونه‌های دارای ریشه (C) با چسبندگی نمونه بدون ریشه مقایسه و مقدار افزایش چسبندگی ناشی از وجود ریشه (C_R) به دست آمده است.

برای به دست آوردن زاویه θ و استفاده آن در رابطه ۴، ابتدا ریشه‌ها بر اساس قطر رده بندی شده، سپس مقدار تغییر زاویه برای هر یک از ریشه‌ها (θ_i) محاسبه، آنگاه برای هر رده، میانگین زوایا محاسبه گردید. در انتها با استفاده از رابطه ۴ میانگین کلی تغییر زاویه ریشه نسبت به سطح افق در ناحیه برشی محاسبه شد. در جدول ۲ یک نمونه از نحوه رده بندی ریشه‌ها و محاسبه θ در چاله شناسایی شماره ۷ نشان داده شده است. این جدول:

... + میانگین زاویه (θ_i) در رده X تعداد در رده E + ...

$$\theta = \frac{A}{\text{تعداد کل ریشه‌ها}} \quad (5)$$

لازم به ذکر است به دلیل این که در آزمایشهای به عمل آمده سطح برش نمونه‌ها موازی با سطح افق بوده لذا مقدار β نسبت به سطح افق سنجیده شده است. همچنین نتایج حاصل از آزمایشها نشان می‌دهد که مقدار زاویه اصطکاک داخلی خاک منطقه بین ۴۰ تا ۴۲ است. لذا در محاسبات پایداری توده فرضی، از مقدار میانگین ۴۱ درجه استفاده شده است.

با جای گذاری φ و θ در رابطه ۴ مقدار افزایش مقاومت برشی خاک در اثر وجود ریشه (C_R) محاسبه و با منظور نمودن این پارامترها در رابطه ۳، ضرایب اطمینان برای شیروانیهای خاکی محدود با در نظر گرفتن متغیرهایی چون سطح ایستابی و نسبت مساحت ریشه‌ای در اعماق مختلف محاسبه گردید. در ادامه، نمودارهای ضریب اطمینان- عمق، با در نظر گرفتن نسبتهای مساحت ریشه‌ای متفاوت رسم گردید. نتایج به دست آمده در شکل‌های ۶ تا ۸ ارائه شده و نتایج آنها در شکل ۹ جمع بندی شده است.

در شکل ۶ تغییرات ضریب اطمینان پایداری در برابر تراکم ریشه رسم شده است. این نمودار و همچنین دیگر نمودارها نشان می‌دهند که برای یک عمق معین، با افزایش A_r/A_w، مقاومت برشی خاک بیشتر شده و این

متفاوت منظور شده و اثر آن بر ضریب اطمینان پایداری مورد بررسی قرار گرفت. فرضیات مدل برای هردو حالت، خاک بدون ریشه و ریشه‌دار عبارتند از:

- سطح گسیختگی به موازات سطح شیب‌دار است.
- سطح گسیختگی در عمق کمی در مقایسه با طول شیب قرار دارد، بنابراین می‌توان فرض کرد که تأثیر دو انتهای توده لغزشی بر پایداری آن قابل اغماض است.
- سطح آب زیرزمینی موازی با سطح شیب و جریان آب در خاک پایدار، و در امتداد شیب است.

ضریب اطمینان پایداری شیب، FS، برابر است با:

$$FS = \frac{\text{نیروهای مقاوم}}{\text{نیروهای محرک}} \quad (2)$$

با صرف نظر از نیروهای رانشی جزئی مانند باد و وزن درختان، ضریب اطمینان پایداری برای توده‌های خاکی مسلح به ریشه گیاهان بر اساس رابطه Coppin & Richard (1990) به شرح زیر محاسبه می‌شود.

$$FS = \frac{(C + C_R) + (\sigma - u) \cos^2 \alpha \cdot tg \varphi + T_r \sin \beta \cdot tg \varphi + T_r \cos \beta}{[(Z - h_w) \gamma + h_w \gamma_{sat}] \sin \alpha \cdot \cos \alpha} \quad (3)$$

در خاکهای دارای ریشه، نیروی کششی ریشه (T_r) به صورت دو مؤلفه T_r · cos β · tg φ و T_r · sin β به نیروهای پایدار کننده توده اضافه می‌شود. در نظریه تقویت خاک توسط ریشه، افزایش مقاومت برشی خاک به عنوان C_R تعریف شده، و عبارت است از افزایش چسبندگی خاک بر اثر وجود ریشه. برای محاسبه افزایش مقاومت برشی خاک در اثر وجود ریشه از رابطه Wu et al (1979) به شرح زیر استفاده شد.

$$C_R = \tau_{R_r} \cdot \frac{A_r}{A_w} (tg \varphi \cdot \cos \theta + \sin \theta) \quad (4)$$

که در آن:

C_R: افزایش مقاومت برشی کل توده به خاطر اثر تقویتی ریشه در خاک

T_r: بیشترین مقاومت کششی ریشه

A_r/A_w: نسبت مساحت ریشه به مساحت کل خاک در ناحیه برشی

β: زاویه بین ریشه و سطح گسیختگی در ناحیه برشی در خاک

φ: زاویه اصطکاک درونی خاک

α: زاویه سطح توده شیب‌دار نسبت به سطح افق

مؤلفه افقی حاصل از افزایش سربار خاکی نیز افزایش یافته و لذا تأثیر مقاومت برشی اضافی حاصل از ریشه را به تدریج کم تر می کند. البته این بحث فقط در محدوده نفوذ ریشه صادق است و در مدل سازی فوق، همواره عمق نفوذ ریشه تا زیر سطح گسیختگی مفروض بوده است.

شکل ۹ همچنین نشان می دهد که ریشه درختان در پایداری سازی توده های لغزشی اشباع شده از آب در مقایسه با توده های غیر اشباع، نقش مؤثرتری ایفا می کنند. البته در اعماق بیشتر، این تفاوت کاهش می یابد به گونه ای که برای حالت های مطالعه شده، از عمق ۴ متر به پایین تر درصد افزایش ضریب اطمینان پایداری در دو توده دارای ناحیه اشباع و بدون ناحیه اشباع یکسان است.

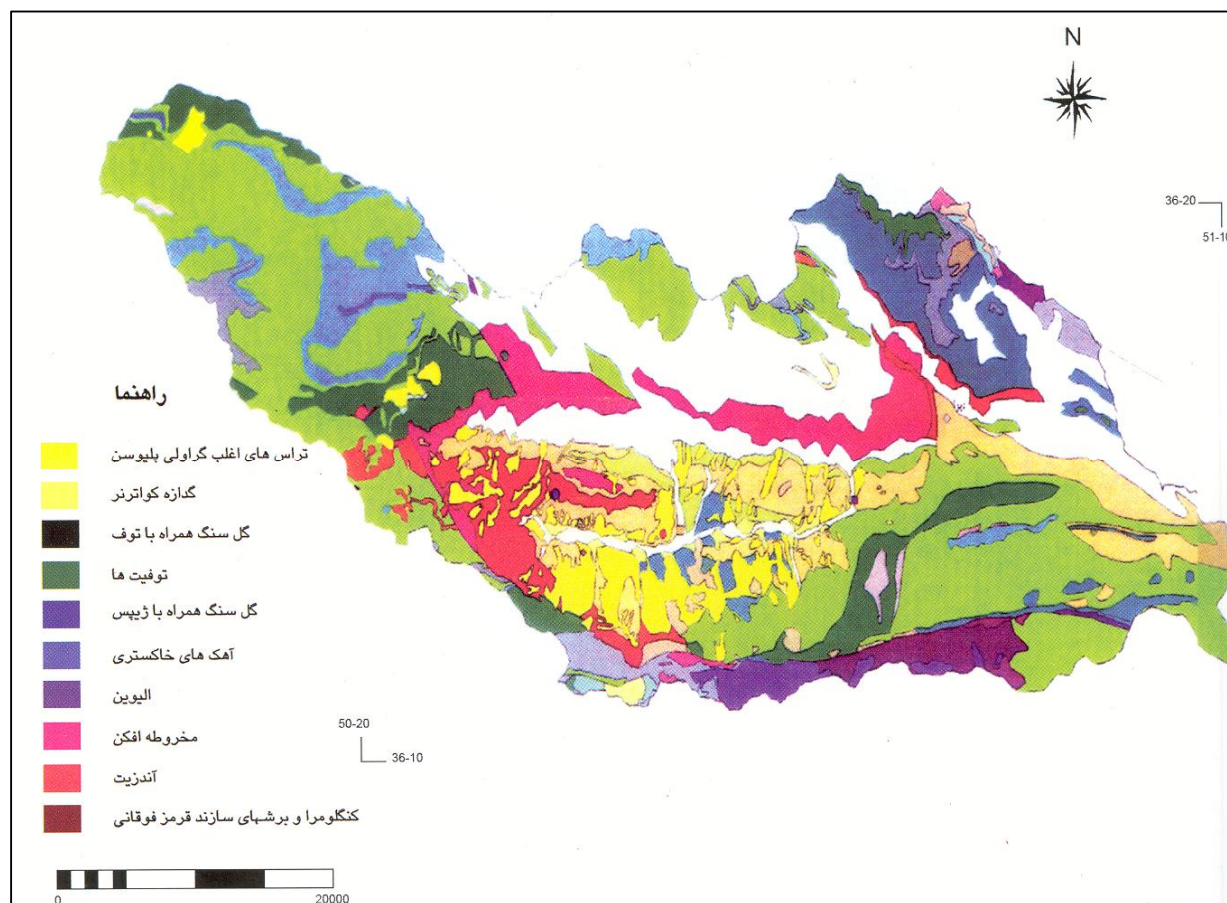
نتیجه گیری

حضور ریشه درخت در خاک پایداری توده های خاکی را افزایش می دهد. مقدار افزایش پایداری با تراکم ریشه ها رابطه مستقیم دارد. مقایسه ضریب اطمینان پایداری در دو زمین لغزش دارای ناحیه اشباع و بدون ناحیه اشباع گویای آن است که وجود ریشه گیاه در توده اول مؤثرتر از توده دوم است. در عین حال، این تفاوت از عمق خاصی به بعد قابل اغماض است. برای یک تراکم ریشه ثابت، با افزایش عمق سطح گسیختگی، تأثیر ریشه در ضریب اطمینان کم تر می شود. لذا در مدیریت و طراحی زمین لغزشها به روش زیست شناختی، باید علاوه بر محدودیت عمق نفوذ ریشه، محدودیت کاهش تأثیر این روش در اعماق بیشتر را نیز در نظر گرفت.

امر موجب افزایش ضریب اطمینان پایداری شبروانیهای خاکی می شود. شکل ۷ نتایج توده ای را نشان می دهد که در آن سطح ایستایی منطبق بر صفحه گسیختگی و یا پایین تر از آن قرار دارد. در این شکل، ضریب اطمینان برای تراکم ریشه ۲۶/۳٪، ۱۱/۳٪، ۴/۷٪ و بدون ریشه در هفت صفحه گسیختگی متفاوت (۲/۵، ۳، ۳/۵، ۴، ۴/۵، ۵ و ۱۰ متر عمق) رسم شده است. در تمامی این اعماق، در تراکم های ریشه ای بیشتر، توده پایدارتر است. این موضوع در شکل ۸ نیز صادق است. در این حالت، برای بررسی تأثیر همزمان تراکم ریشه و سطح ایستایی در پایداری شبروانیهای خاکی، سطح ایستایی خاک به ۲/۵ متر بالاتر از صفحه گسیختگی انتقال داده شده است. همان گونه که مشاهده می شود، برای خاک بدون ریشه $FS=0.82$ محاسبه شده و برای همان خاک با در نظر گرفتن $A_p/A_w = 26.3\%$ ضریب اطمینان به $FS=1.12\%$ افزایش یافته است. به عبارت دیگر یک شبروانی خاکی بدون ریشه و مستعد لغزش، در اثر وجود ریشه درخت به حالت پایدار رسیده است. این شکلها همچنین گویای آن است که در اعماق کم تر، ریشه درختان تأثیر بیشتری در پایداری شبروانیهای خاکی دارند. به عبارت دیگر، در اعماق پایین تر تأثیر افزایش مقاومتی حاصل از حضور ریشه کم رنگ تر است. این موضوع آشکارا در شکل ۹ دیده می شود. افزایش ضریب اطمینان در حالت تراکم ریشه ای ۲۶/۳٪ برای صفحه های گسیختگی واقع در اعماق ۲/۵ متر تا ۱۰ متر به ترتیب از ۳۶/۵٪ تا ۲/۳٪ کاهش یافته است. این موضوع برای تراکم ریشه ای ۱۱/۳٪ بین ۱۳/۳٪ تا ۰/۸۵٪ و برای تراکم ریشه ای ۴/۵٪ بین ۳/۷٪ تا ۰/۵٪ متغیر است. علت آن است که با افزایش عمق، در صورت ثابت در نظر گرفتن پارامترهای Φ , Tr , C و RAR ,

جدول ۱- نتایج آزمایشگاهی چسبندگی توده خاک (C) و افزایش چسبندگی خاک (C_R)

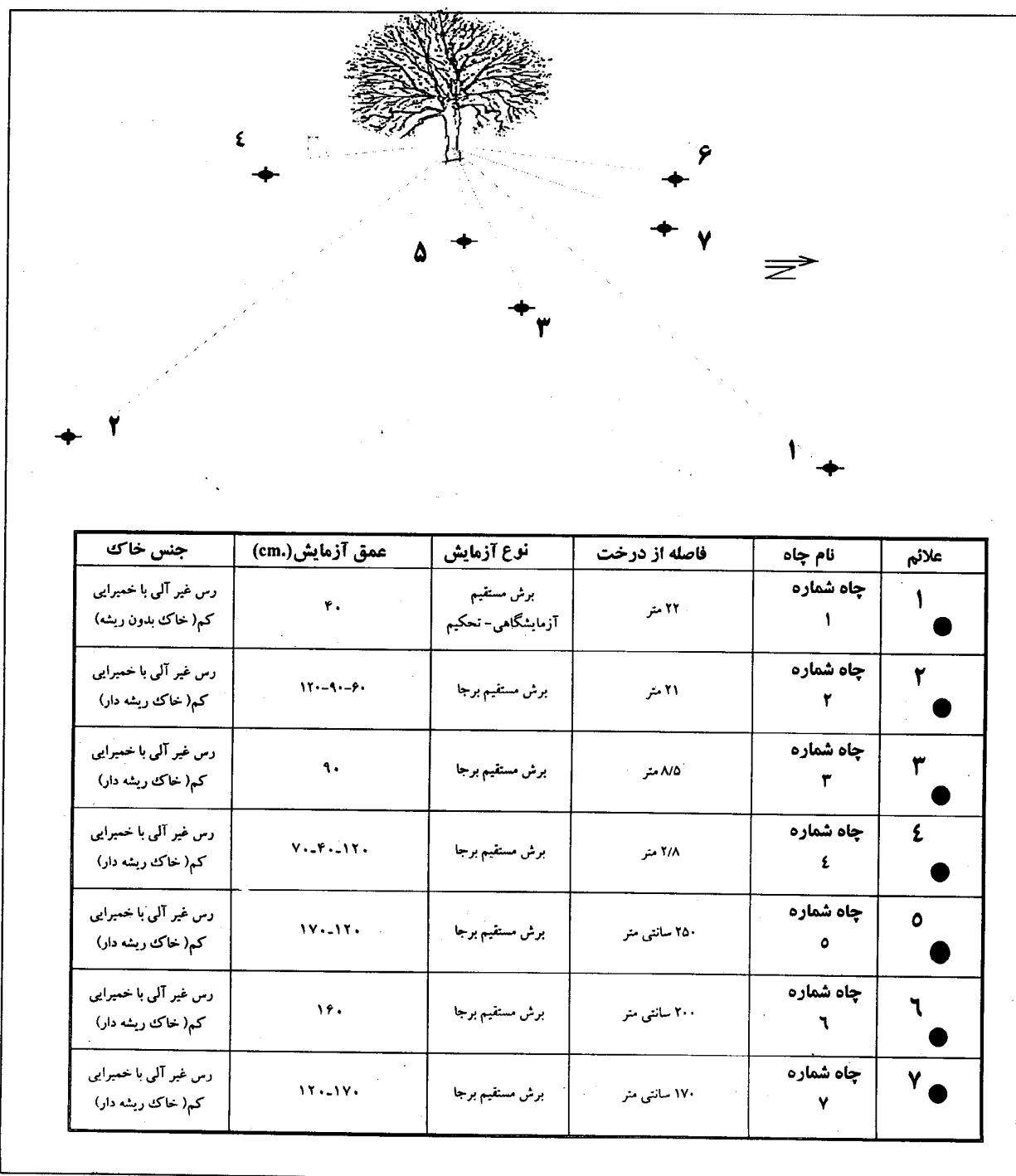
| | خاک بدون ریشه | خاک ریشه دار $A_p/A_w = 4.7\%$ | خاک ریشه دار $A_p/A_w = 11.3\%$ | خاک ریشه دار $A_p/A_w = 26.3\%$ |
|-------|---------------|-----------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| C | 8.58 | 10 | 14.49 | 25.9 |
| C_R | 0.0 | 1.42 | 5.91 | 17.22 |



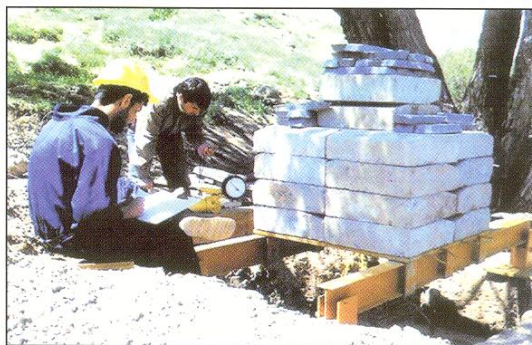
شکل ۱- نقشه سنگ شناسی منطقه با استفاده از نقشه‌های سازمان زمین شناسی کشور (به نقل از داودی و همکاران، ۱۳۸۱)

جدول ۲- مطالعه ریشه پس از پایان آزمایش در چاه شماره ۷ و عمق ۱۲۰ سانتی متر

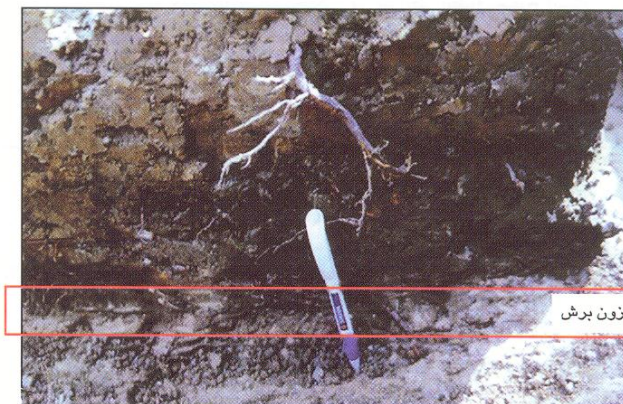
| رده | قطر ریشه (mm) | تعداد | درصد ریشه در ناحیه برشی A_r/A_{r0} | میانگین تغییر زاویه در هر رده (درجه) | (میانگین تغییر زاویه در هر رده) X (تعداد ریشه هر رده) | (θ) |
|-----|---------------|-------|--------------------------------------|--------------------------------------|---|--------------|
| A | 0-5 | 7 | 6.93 | 5.1 | 35.7 | 2.6 |
| B | 5-10 | 5 | 4.95 | 3.4 | 17 | |
| C | 10-20 | 4 | 3.96 | 4.6 | 18.4 | |
| D | 20-50 | 4 | 3.96 | 3.7 | 14.8 | |
| E | 50-100 | 2 | 1.98 | 4.8 | 9.6 | |
| F | 100-200 | 2 | 1.98 | 2.1 | 4.2 | |
| H | گسیخته | 77 | 76.24 | 2.2 | 169.4 | - |
| جمع | - | 101 | 100 | 27.1 | 269.1 | |



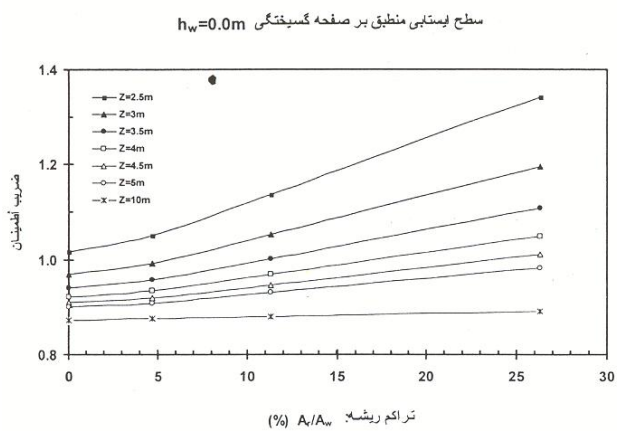
شکل ۲- موقعیت و مشخصات چاههای آزمایش



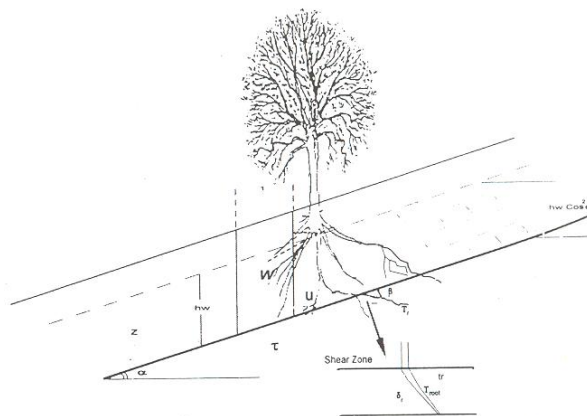
شکل ۳- انجام آزمایش برش مستقیم و تجهیزات آن



شکل ۴- ناحیه برشی که باید قطر و زاویه ریشه‌ها نسبت به سطح برش اندازه‌گیری شود

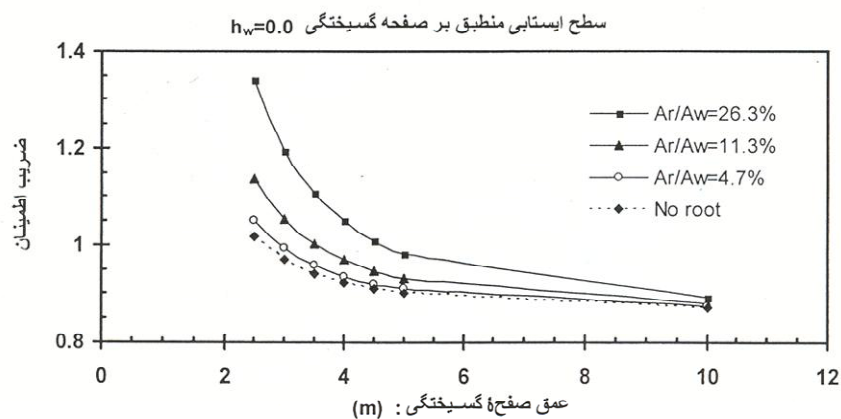


شکل ۶- تغییرات ضریب اطمینان پایداری یک توده خاکی غیر اشباع در مقابل تراکم ریشه برای اعماق مختلف صفحه گسیختگی

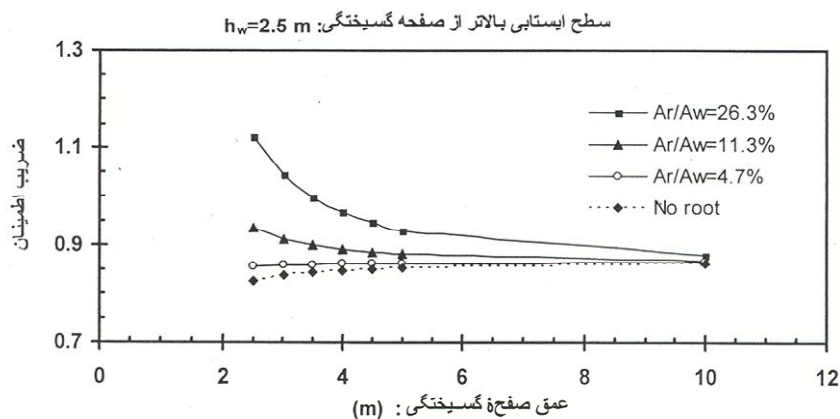


شکل ۵- زاویه سطح توده نسبت به افق، Z : عمق صفحه گسیختگی نسبت به سطح توده، h_w : ارتفاع سطح نسبت به صفحه گسیختگی

شکل ۵- سطح مقطع شماتیک زمین لغزش فرضی در خاکهای ریشه دار



شکل ۷- تغییرات ضریب اطمینان پایداری نسبت به عمق سطح گسیختگی در شرایط انطباق سطح ایستایی بر صفحه گسیختگی و برای تراکم ریشه‌ای (A_r/A_w) مختلف



شکل ۸- تغییرات ضریب اطمینان پایداری نسبت به عمق سطح گسیختگی در شرایط سطح ایستایی بالاتر از صفحه گسیختگی و برای تراکم ریشه‌ای (A_r/A_w) مختلف



شکل ۹- افزایش ضریب اطمینان پایداری خاک ریشه دار در مقایسه با خاک بدون ریشه برای اعماق مختلف صفحه گسیختگی و برای تراکم ریشه‌ای (A_r/A_w) مختلف

کتابنگاری

استیری، غ.، شاد، ه.، فتاحی، م.ع.، ۱۳۸۰- "استفاده از روش بیومهندسی در تثبیت شیپها"، مجموعه مقالات کنفرانس، ص ۴۰۱-۴۰۸
داودی، م.ه.، غیومیان، ج.، شعاعی، ض.، امام جمعه، ر.، ۱۳۸۱- "طبقه بندی زمین لغزش ها در حوزه آبریز طالقان از نقطه نظر عوامل اصلی ناپایداری"،
پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، گزارش طرح تحقیقاتی، ۱۲۸ ص
شعاعی بجنستان، م.، سلیمی گل شیخ، م.، ۱۳۸۱- "تعیین اثر ریشه درختان پده و گز بر مقاومت برشی خاک ساحل کارون در محل"، مجله علوم و فنون
کشاورزی و منابع طبیعی، ج ۶، ش ۴، ص ۲۷-۴۰

References

- Bishop, D.M. & Stevens, M.E. ,1964- "Land slides on logged Areas in southeast Alaska", USDA Forest service Research paper NOR-1,18pp.
- Burroughs, E.R. and Thomas, B.R., 1977- "Declining root strength in Douglas-fir after felling as a factor in slope stability", USDA For. Serv. Res. Pap. INT-190.
- Coppin, N.J. & Richards, I.G.,1990- "Use of vegetation in civil engineering", Construction Industry Research And Information Association / Butterworths, London.
- Endo, T. & Tsuruta, T. ,1969- "The effect of tree roots upon the shearing strength of soil", Annual report of the Hokkaido Branch, Tokyo Forest Experimental Station Vol. 18, pp. 168-179.
- Gray, D.H. & Megahan, 1980- "Forest vegetation removal and slope stability in the Idaho, Batholith", USDA Research Paper INT-271, Ogden, UT, 23 p.
- Gray, D.H., 1974- "Reinforcement and stabilization of soil by vegetation", Journal of the Geotechnical Engineering, Proceedings of the American Society of Civil Engineers. Vol. 100 No GT6, pp. 699.
- Kazutoki, A. & Ziemer, R.R.,1991"Effect of tree roots on a shear zone: modeling reinforced shear stress", Canadian Jour. For Research, Vol. 21, pp. 1012-1019
- Nilaweera, N.S. & Nutalaya, P.,1999- "Role of tree roots in slope stabilisation", Bull. Of Eng. Geology and Environment, Vol. 57, pp. 337-342
- O'Loughlin, C.L. ,1984- "Effects of introduced forest vegetation for protecting against Landslides and erosion in New Zealand steep lands", Paper presented to Symposium on effects of forest land use on erosion and slope stability, Honolulu, Hawaii.
- Waldron, L. J.,1977- "The shear resistance of root permeated homogeneous and stratified soil", Soil Science Society of America Proceedings, 41, pp. 843-849.
- Wu, T.H., McKinnell, W.P. & Swanston, D.N.,1979- "Strength of tree roots and landslides on Prince of Wales Island, Alaska", Canadian Geotechnical Journal, Vol. 16, No. 1, pp. 19-33.
- Ziemer, R. ,1981- "Roots and shallow stability of forested slopes", International Association of Hydrological Sciences, Publications No .132, pp.343-361.
- Ziemer, R.R. & Swamstom, D.N.,1977- "Root strength changes after logging in Southeast Alaska", USDA Forest Service Research Note, PNW -306, December, 10 p.

* مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری
** دانشکده علوم، دانشگاه تربیت معلم

* Soil Conservation & Watershed Management Research Institute
**Faculty of Sciences, Tarbiat-Moallem University;