ارزيابي تغيير مشخصه‌هاي مقاومت برشي خا ك هاي ريزدانه تحت تأثير تراكم ريشه درخت بيد

محمدهادي داودي*[۱]
[۱] استاديار مركز تحقيقات حفاظت خاک و آبخيزداري، ايران
(تاريخ دريافت: ۸۷/۱/۲۵، تاريخ تصويب: ۸۷/۹/۹)

چكيده

پايدارسازي تراس‌هاي ساحلي رودخانه ها و شيب‌هاي طبيعي خاكي در اراضي منابع طبيعي و بستر آبراهه‌هاي انتقال آب به كمک ريشه درختان به عنوان عامل مسلح كننده خاك يكي از رويكردهاي مناسب از نقطه نظر حفظ محيط زيست مي‌باشد. ميزان افزايش پايداري خاک تابع ويژگي‌هاي ريشه شامل نوع و گونه گياه، قطر و تراكم آن در خاک است. هدف از اين پژوهش عبارت از بررسي تأثير ريشه درخت بيد كه يک گياه آب دوست و سازگار با بسياري از اقليم‌هاي كشور و نيز تعيين رابطه بين تراكم ريشه آن در خاک و درصد افزايش مقاومت برشي ناشي از آن بوده است. در اين پژوهش با بهره‌گيري از دستگاه آزمايش برش مستقيم برجا مجموعه آزمايش‌هايي بر روي خاك داراي ريشه زنده درخت بيد و خاك بدون ريشه انجام گرفت. نتايج به دست آمده با بهره‌گيري از نظريه آزمايش برش مستقيم تحليل شده و چسبندگي و زاويه اصطكاك دروني خاك محاسبه و با خاك بدون ريشه مقايسه گرديد. نتايج نشان مي‌دهد كه در عين حالي كه وجود ريشه درخت بيد، زاويه اصطكاك دروني خاک را تا ۸% كاهش مي‌دهد اما در مقابل مي‌تواند چسبندگي خاك رس لاغر را تا۱۳۰% افزايش دهد. برآيند اين دو تغيير، موجب افزايش قابل توجه در مقاومت برشي خاک است. نتايج اين پژوهش به عنوان رابطه‌هاي كاربردي در طراحي پروژه‌هاي عمراني، ارائه شده و از آنها براي محاسبه درصد افزايش مقاومت برشي در عمق‌هاي مختلف خاك به ازاي ميزان اختياري تراكم ريشه، بهره‌گيري مي‌شود.

واژه‌هاي كليدي: درخت بيد، مقاومت برشي، چسبندگي، زاويه اصطكاك دروني، رس لاغر، تراكم ريشه، شيب‌هاي خاكي

* نويسنده مسئول: تلفن: ۰۲۱-۴۴۹۰۱۴۱۵ فاكس: ۰۲۱-۴۴۹۰۵۸۷۶ E-mail: davoudi_h@yahoo.com

مقدمه

ضرورت حفاظت از محيط زيست، اين تفكر را ايجاد نموده كه در طرح‌هاي عمراني حتي‌المقدور از مصالح و روش‌هاي طبيعي بهره‌گيري شود. در اين رويكرد، ريشه درختان به عنوان عامل مسلح كننده خاك مي‌تواند در پايدار سازي شيب‌ها و تراس‌هاي خاكي كاربرد داشته باشد. بررسي‌هاي گوناگوني در مورد تأثير نوع و گونه گياه، نظام پراكنش ريشه، قطر و تراكم ريشه آن بر مقاومت برشي خاك‌هاي متفاوت صورت گرفته است. تراكم ريشه درخت در خاك *(RAR)* به صورت "نسبت كل سطح برش ريشه‌ها به سطح توده خاك" توسط بورس و تُماس (۱۹۷۷)[۱] تعريف شده و از رابطه زير محاسبه مي‌شود كه در آن A_t سطح برش توده خاك در امتداد صفحه گسيختگي، A_r مساحت اشغال شده توسط ريشه‌ها در همان برش، a_i و d_i به ترتيب سطح برش و قطر ريشه است.:

$$RAR=\frac{A_r}{A_t}100=\frac{\Sigma a_i}{A_t}100=\frac{\pi}{4}\frac{\Sigma d_i^2}{A_t}100 \qquad (۱)$$

والدرن و داكسيان (۱۹۸۱)[۲] با انجام آزمايش برش مستقيم آزمايشگاهي نشان دادند كه در خاك‌هاي رسي لومي، افزايش مقاومت برشي ارتباط مستقيمي با تراكم ريشه دارد. والدرن (۱۹۷۷)[۳] براي خاك لوم سيلتي رسي يك رابطه خطي بين تراكم ريشه جو و مقاومت برشي افزوده شده به خاك ارائه نمود. زايمر (۱۹۸۱)[۴] نيز بر پايه نتايج بررسي‌هاي برش مستقيم برجا، رابطه خطي بين مقاومت برشي (τ) خاك ماسه‌اي سواحل كاليفرنيا و "زيست‌توده" (*BM*)[۵] *ريشه* گياه پينوس كُنتُرتا[۶] به شكل زير دست آورد كه در آن τ بر حسب kPa و *BM* بر حسب kg/m^3 مي‌باشد.

$$\tau=3.13+3.31\ BM \qquad (۲)$$

شفاعي و سليمي (۱۳۸۱) با انجام آزمايش‌هاي برش مستقيم برجا رابطه‌هاي خطي زير را براي محاسبه مقاومت برشي افزوده شده به خاك لوم سيلتي ساحل كارون در اثر وجود ريشه درختان گز و پده ارائه نموده و نشان دادند كه اين دو درخت به ترتيب به ترتيب ۶۹% و ۶۶% مقاومت برشي خاك را افزايش داده‌اند.

$$\Delta\tau=7.299\ RAR \qquad (۳)$$

$$\Delta\tau=4.23\ RAR \qquad (۴)$$

هنگچوانيک و نيلاويرا (۱۹۶۶)[۷] نيز از راه آزمايش‌هاي برش مستقيم برجا بر روي بلوک خاک، افزايش مقاومت برشي خاک ناشي از وجود ريشه گياه وتيور[۸] را تابعي خطي از تراكم ريشه دانست و به شكل رابطه زير آن را ارائه نمود.

$$\Delta\tau=2.7\text{x}10^{-6}\ RAR \qquad (۵)$$

در رابطه با تأثير وجود ريشه بر مشخصه‌هاي مقاومت برشي خاك، چسبندگي (c) و زاويه اصطكاك دروني (φ)، نيز پژوهش‌هاي نظري و تجربي بيشماري صورت گرفته است. در

۱- Burroughs & Thomas (1977)
۲- Waldron & Dakessian (1981)
۳- Waldron (1977)
۴- Ziemer (1981)
۵- biomass
۶- pinus contorta
۷- Hengchaovanich & Nilaweera (1996)
۸- vetiver

زمينه نظريه وو و همكاران (۱۹۷۹)[۱]، لوكمن و همكاران (۱۹۸۲)[۲]، كُپين و ريچاردز (۱۹۹۰)[۳]، آبِ و زايمر (۱۹۹۱)[۴] و ياربروگ (۲۰۰۰)[۵] ساز و كار تأثير ريشه بر مقاومت خاك و تبديل مقاومت كششي ريشه به دو عامل چسبندگي ظاهري و اصطكاك بين ذرات خاک را مورد بررسي قرار داده و مدل‌هاي تحليلي و عددي براي برآورد ضريب اطمينان پايداري تراس‌ها و شيرواني‌هاي خاكي تهيه كرده‌اند. تنگبه (۱۹۸۹)[۶] دو رابطه تجربي نمايي زير را براي محاسبه چسبندگي ظاهري دو خاك لوم ماسه‌اي رسي و خاك رسي بر پايه "زيست‌توده" ريشه گياه لُرتا[۷] ارائه نموده است كه در آن c و BM به ترتيب بر حسب kPa و kg/m^3 مي‌باشد.

$$c=10.54+8.63\ log\ (BM) \qquad (۶)$$

$$c=11.14+9.9\ log\ (BM) \qquad (۷)$$

اُلفلين و همكاران (۱۹۸۲)[۸] نيز با انجام آزمايش‌هاي برش مستقيم صحرايي نتيجه‌گيري نمود كه چسبندگي ظاهري خاك جنگلي ساحلي در صورت حذف درختان آن از kPa ۶,۶ به ۳,۳ كاهش مي‌يابد در حالي كه زاويه اصطكاك دروني آن تغييري نمي‌يابد. نظر بسياري از پژوهشگران مانند اندو و تسوروتا (۱۹۶۹)[۹]، اُلفلين (۱۹۷۴ الف، ب)[۱۰]، سوانتُن (۱۹۷۴ الف، ب)[۱۱]، والدرن (۱۹۷۷)، گري و مگاهان (۱۹۸۱)[۱۲] و والدرن و داكسيان (۱۹۸۱) در مورد زاويه اصطكاک دروني بر اين است كه تأثير ريشه گياه بر آن ناچيز است؛ اما برخي از پژوهشگران گزارش‌هاي متفاوتي ارائه كرده‌اند. به طور مثال تنگبه (۱۹۸۹) گزارش داد با وجود اين كه در خاك لوم ماسه‌اي رسي ريشه گياهان بر زاويه اصطكاك دروني بي‌تأثير است اما در خاك‌هاي ماسه‌اي موجب افزايش آن مي‌شود. داودي و همكاران (۱۳۸۴ ب) گزارش كرد كه ريشه درخت بيد موجب كاهش φ تا سقف ۱۰% شده و ميزان آن تابع قطر ريشه است.

در زمينه بررسي‌هاي آزمايشگاهي، علاوه بر پژوهشگران ياد شده، پژوهشگران ديگري مانند ستُک و همكاران (۱۹۹۶)[۱۳]، ستُک و همكاران (۱۹۹۵)[۱۴] و آبِ و زايمر (۱۹۹۱) نتايج خوبي ارائه كرده‌اند اما محدوديت‌هاي كارهاي آزمايشگاهي مانند خطاي ناشي از دست خورده بودن نمونه، كوچك بودن ابعاد نمونه، محدود بودن آزمايش‌ها به ريشه‌هاي نازك و گياهان كوچك بر اين نتايج حاكم است. به همين دليل برخي از پژوهشگران به آزمايش‌هاي برجا روي آورده‌اند كه به‌طور عمده به يكي از دو روش "بيرون كشيدن"[۱۵] و "برش مستقيم" بوده است. در روش اول، مقاومت خاك در مقابل بيرون كشيدن ريشه گياه اندازه‌گيري مي‌شود. نيلاويرا (۱۹۹۴)[۱۶] و نيلاويرا و نوتالايا (۱۹۹۹)[۱۷] به كمك اين روش، افزايش پايداري توده‌هاي خاكي در اثر وجود ريشه را برآورد كردند. در اين روش تأثير نظام پراكنش ريشه و طول آن‌ها بر مقاومت خاك و همچنين تأثير زواياي بين ريشه‌هاي فرعي و

۱- Wu et al (1979)
۲- Luckman et al (1982)
۳- Coppin & Richards (1990)
۴- Abe & Ziemer (1991)
۵- Yarbrough (2000)
۵- Tengbeh (1989)
۶- loretta
۷- O'Loughlin et al (1982)
۸- Endo & Tsuruta (1969)
۹- O'Loughlin (1974 a,b)
۱۰- Swanston (1974 a, b)
۱۱- Gray & Megahan (1981)
۱۲- Stokes et al (1996)
۱۳- Stokes et al (1995)
۱۴- pull out
۱۵- Nilaweera (1994)
۱۶- Nilaweera & Nutalaya (1999)

اصلي بر انتقال نيروي باد به زمين و مقاومت درخت در مقابل باد مورد بررسي قرار گرفته و مدل‌هاي تحليلي تهيه شده است (ستُک و همکاران، ۱۹۹۶). روش دوم، به دليل آساني نظريه، با اقبال بيشتري مواجه شده و علاوه بر پژوهشگراني که پيشتر نام برده شد توسط وو و همکاران (۱۹۸۸)[۱]، وو و واتسن (۱۹۹۸)[۲]، گرينوي (۱۹۸۷)[۳]،آبِ و ايوامتُ (۱۹۸۶)[۴]، و ايکانايک و فيليپس (۲۰۰۲)[۵] نيز به کار برده شده است. در اين روش پس از جدا کردن يك بلوك خاك با ابعاد مناسب از توده خاك، نيروي افقي برشي به آن اعمال شده و مقاومت آن در مقابل گسيختگي اندازه گيري مي‌شود. بديهي است بر پايه نظريه آزمايش برش مستقيم، لازم است که برش تحت تنش قائم صورت گيرد؛ اما همه پژوهشگران نام برده، به جز ايکانايک و فيليپس (۲۰۰۲)، آزمايش‌ها را بدون سربار قائم انجام داده‌اند. به عبارت بهتر آزمايش‌هاي آنان تحت تنش قائم معادل با وزن يک بلوك خاک به ضخامت حدود ۵۰ سانتي‌متر انجام شده، و لذا نتايج به دست آمده قابل به کار بردن براي بررسي دو مشخصه چسبندگي و زاويه اصطکاک دروني خاک به ويژه در لايه‌هاي پايين‌تر نيست. در اين پژوهش که با بهره‌گيري از دستگاه برش مستقيم برجا انجام شده، اين عيب رفع و مجموعه کاملي از آزمايش‌ها به عمل آمده و اثرگذاري تراکم ريشه بر مشخصه‌هاي مقاومت برشي مورد بررسي قرار مي‌گيرد.

مواد و روش‌ها

در اين پژوهش به دليل سازگاري درخت بيد با اقليم بسياري از نقاط لغزشي کشور، از ريشه زنده آن بهره‌گيري شده است. براي انجام آزمايش‌ها از توده‌هاي لغزشي فعالي بهره‌گيري شده که با بسياري از توده‌هاي لغزشي کشور همانندي داشته باشند. آزمايش‌ها در دو توده ميناوند و ابراهيم آباد واقع در حوزه آبخيز طالقان که در آن ۳۰۶ زمين لغزش ثبت شده و از آن ميان ۳۴ زمين لغزش فعال شناسايي شده است (داودي و همکاران ۱۳۸۴ الف). آزمايش‌ها به کمک دستگاه برش مستقيم برجا که در مرکز بررسي‌هاي حفاظت خاک و آبخيزداري طراحي و ساخته شده و جزئيات آن توسط داودي و همکاران (۱۳۸۵) ارائه شده، انجام شده است. براي انجام آزمايش، چاله‌اي به ابعاد حدود cm ۱۵۰x۱۵۰ حفر و هم زمان با حفاري تا رسيدن به عمق مورد نظر، در کف آن يك بلوك خاکي به ابعاد ۵۰x۵۰ و به ارتفاع ۳۰cm به صورت دست‌نخورده به جاي گذاشته مي‌شود. يك قاب فلزي به ابعاد بلوك به آرامي و از بالا به پايين بر آن رانده مي‌شود تا آن را تنگاتنگ در بر بگيرد. يک جك قائم وزن سرباري را که در سکوي بارگذاري گذاشته شده به عنوان تنش قائم مورد نظر به بلوك خاك وارد مي‌نمايد. پيش از آغاز آزمايش، اجازه تحکيم به خاك داده مي‌شود. پس از نصب دو نمايشگر تغيير مکان افقي در دو گوشه جلويي بلوک و چهار نمايشگر تغيير مکان قائم بر چهار گوشه بلوک، آزمايش با اعمال نيروي برشي افقي آغاز شده و در فواصل ۳۰ ثانيه ميزان نيروي برشي و تغيير مکان افقي با دقت mm ۰/۰۱ و در فواصل ۲ دقيقه‌اي تغيير مکان قائم قرائت مي‌شود. آزمايش با نرخ تغيير مکان افقي mm/min ۰/۲ و تا رسيدن به مقاومت برشي اوج و يا تغيير مکان نسبي افقي ده درصد (۵۰ mm) ادامه مي‌يابد. در پايان شمار و قطر ريشه‌هاي واقع در ناحيه برشي بلوك، اندازه گيري مي‌شود. بر هر بلوك تنها يك آزمايش قابل اجرا است و براي آزمايش‌هاي بعدي لازم است در دستکم يك متر پايين‌تر، بلوك ديگري تهيه شود و يا چاله‌اي ديگر حفر شود.

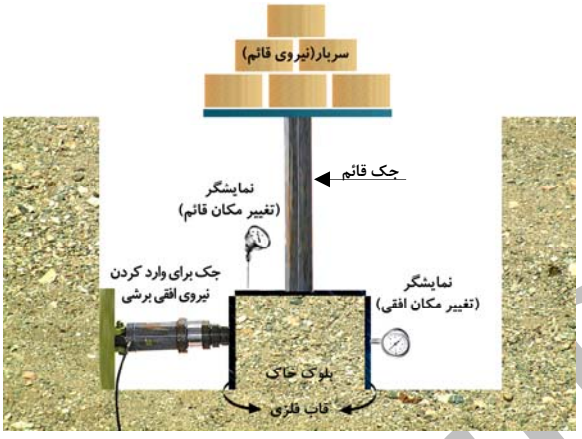
۱- Wu et al (1988)

۲- Wu & Watson (1998)

۳- Greenway (1987)

۴- Abe & Iwamoto (1986)

۵- Ekanayake & Phillips (2002)



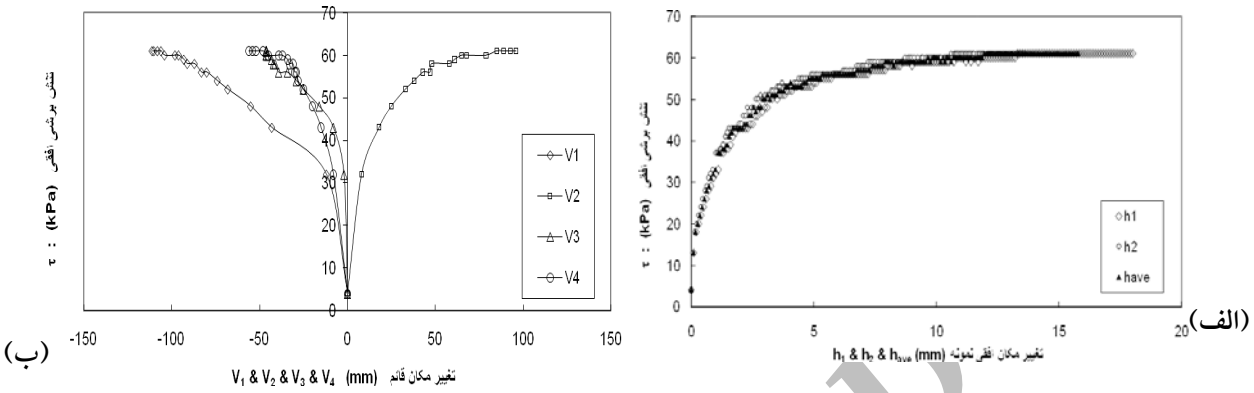
شکل ۱- نمایش اصول آزمایش برش مستقیم برجا در خاک

کلیه آزمایش‌ها تحت یکي از تنش‌هاي قائم kPa ۲۰، ۵۹ و ۹۸ انجام شد. ۱۷ آزمایش در منطقه میناوند که خاك آن بنابر استاندارد ASTM رس لاغر و داراي ۳۲% شن، ۱۶% ماسه، ۱۸% سیلت و ۳۴% رس مي‌باشد انجام شد. از این مجموعه، ۶ آزمایش در خاك بدون ریشه و ۱۱ آزمایش در خاك داراي ریشه درخت بید اجرا شد. به دلیل محدودیت در تهیه بلوك خاك داراي ریشه، دیگر آزمایش‌ها به منطقه ابراهیم‌آباد که داراي خاك رس لاغر با ۸% شن، ۳۸% ماسه، ۳۳% سیلت و ۲۲% رس است منتقل شده که ۳ آزمایش در خاك بدون ریشه و ۱۰ آزمایش در خاك داراي ریشه اجرا شد. جدول (۱) ویژگي‌هاي خاك دو ایستگاه را نشان مي‌دهد.

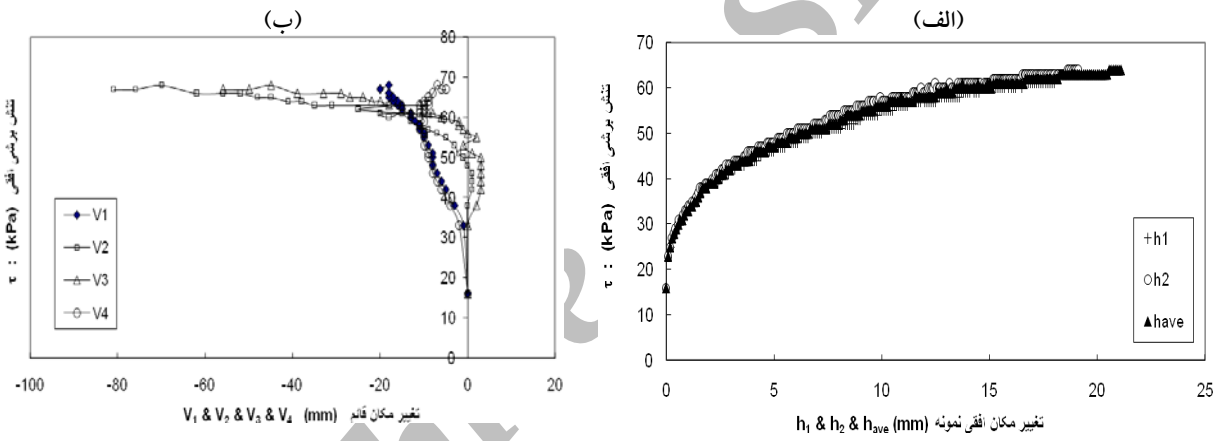
جزئیات نتایج آزمایش دو بلوك داراي ریشه و بدون ریشه، به عنوان نمونه، در شکل‌هاي (۲) و (۳) ارائه شده و نتایج کلي همه آزمایش‌ها به همراه مشخصات و شرایط آنها در جدول (۲) درج شده است. در این جدول τ_{max} بیشینه تنش برشي است که بلوك خاك تحت تنش قائم σ_v تحمل کرده است و d_{50} و d_{max} به ترتیب قطرهاي میانگین و بیشینه ریشه‌ها در بلوك مي‌باشد. قطر میانگین آن است که شمار ۵۰% از ریشه‌ها قطرشان برابر یا بزرگ‌تر از آن باشد.

جدول ۱- ویژگي‌هاي خاك در دو ایستگاه میناوند و ابراهیم‌آباد

ایستگاه	کلاس خاك	تشریح خاك	چگالي خشك ρ (kg/m^3)	رطوبت طبیعي (%) w	حد روانی LL (%)	شاخص خمیري IP (%)
میناوند	CL	Gravelly lean clay رس لاغر شني	۱۷۵۰	۱۷	۳۰	۱۲
ابراهیم‌آباد	CL	Sandy lean clay رس لاغر ماسه‌اي	۱۵۵۰	۱۶/۵	۳۹	۱۷



شكل ۲- تغيير مكان بلوك خاك در برابر تنش برشي تحت تنش قائم **kPa** ۹۸ در عمق ۱۵۰ سانتيمتري خاک بدون ريشه ابراهيم‌آباد؛ الف) تغيير مكان افقي با بهره‌گيري از دو نمايشگر (h_1 و h_2) و ميانگين (h_{ave}) آنها ب) تغيير مكان قائم با بهره‌گيري از چهار نمايشگر



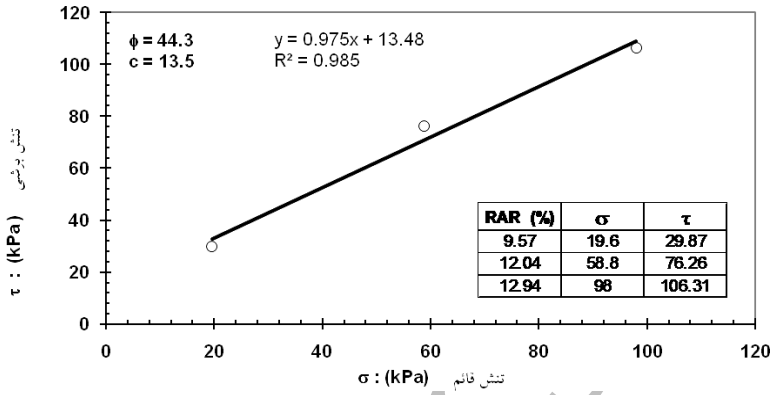
شكل ۳- تغيير مكان بلوك خاك در برابر تنش برشي تحت تنش قائم **kPa** ۹۸ در عمق ۵۰ سانتيمتري و تراكم ريشه ۰/۵۱% در ابراهيم‌آباد الف) تغيير مكان افقي با بهره‌گيري از دو نمايشگر (h_1 و h_2) و ميانگين آنها (h_{ave}) ب) تغيير مكان قائم با بهره‌گيري از چهار نمايشگر

نتايج

به دليل اينكه آزمايش‌ها در محيط طبيعي و غير قابل كنترل انجام شده و امكان يافتن دو بلوك خاك با تراكم ريشه يكسان وجود ندارد، به ناچار در تحليل نتايج از نمونه‌هاي با تراكم ريشه نزديك به هم بهره‌گيري شد. لذا بلوك‌ها بر پايه تراكم ريشه‌شان (*RAR*) دسته‌بندي شده، آنگاه بر پايه نظريه آزمايش برش مستقيم، زاويه اصطكاك دروني (φ) و چسبندگي ظاهري توده خاك ريشه‌دار (C) تعيين شد. آزمايش‌هاي منطقه ميناوند در سه گروه طبقه بندي شدند: نمونه‌هاي اول خاك بدون ريشه (تراكم ريشه صفر) و سري دوم و سوم به ترتيب با تراكم ريشه ۶-۴ درصد و ۱۳-۹ درصد. در ايستگاه ابراهيم‌آباد نيز سه گروه، به ترتيب داراي تراكم ريشه صفر (بدون ريشه)، ۰/۳-۰/۱ درصد و ۰/۷۵-۰/۴۵ درصد مي‌باشند. گروه بندي بالا به همراه نتايج در جدول (۳) ارائه شده است. در هر گروه، دستكم از سه آزمايش با تنش‌هاي قائم متفاوت بهره‌گيري شده و مقاومت برشي بيشينه بلوك‌ها در برابر تنش قائم مربوطه در فضاي دكارتي منعكس و پس از رسم پوش گسيختگي، مقدار φ و C به دست آمده‌اند. شكل (۴) به عنوان مثال پوش

گسيختگي را براي تراكم ريشه ۹/۵۷% الي ۱۲/۹۴% در ايستگاه ميناوند نمايش مي‌دهد.

جدول ۳ نشان مي‌دهد كه در هر دو ايستگاه، تقاوت قابل ملاحظه‌اي بين چسبندگي ظاهري خاک داراي ريشه و بدون ريشه وجود دارد به گونه‌اي كه در ميناوند چسبندگي ظاهري خاک از ۷/۴۵ به ۱۳/۴۸ و در ابراهيم‌آباد از ۱۵/۱۳۶ به ۳۴/۷۶ كيلو پاسكال افزايش يافته است.



شكل ۴- پوش گسيختگي و تعيين مشخصه‌هاي مقاومت برشي براي بلوك‌هاي با تراكم ريشه ۹/۵۷% الي ۱۲/۹۴% در ايستگاه ميناوند

جدول ۲- نتايج بدست آمده از آزمايش‌هاي برش مستقيم خاک به صورت برجا

منطقه	شماره چاله	وزن سربار (kg)	σ_v(kpa)	τ_{max}(kpa)	*RAR(%)*	d_{50}(mm)	d_{max}(mm)	شمار ريشه‌ها
ميناوند	۱	۵۰۰	۲۰	۲۶/۹	۰/۰	۰	۰	۰
		۱۵۰۰	۵۹	۶۳/۹	۰/۰	۰	۰	۰
		۲۵۰۰	۹۸	۱۰۳/۵	۰/۰	۰	۰	۰
	۲	۵۰۰	۲۰	۲۷/٤	۰/۰	۰	۰	۰
		۱۵۰۰	۵۹	٦۵/۵	۰/۰	۰	۰	۰
		۲۵۰۰	۹۸	۱۰۵/٦	۰/۰	۰	۰	۰
	۳	۵۰۰	۲۰	۲۹/۹	۹/۵۷	۳/۱	٦۲	۲۵۶
	٤	۵۰۰	۲۰	۳۷/۲	۲۵/۷۰	۷	٦۱	۳۰۳
		۱۵۰۰	۵۹	۷٦/۳	۱۲/۰٤	۵/۱	۳۲	۳۱۹
		۲۵۰۰	۹۸	۱۰٦/۳	۱۲/۹٤	۵	٤۵	۳۴۴
	۵	۱۵۰۰	۵۹	۸۸/۹	۲٦/۱۵	٤/۹	٦۸	۲۱۲
		۲۵۰۰	۹۸	۹۹/٦	۵/٦٤	۸/۵	۳٦	۱۲۹
	٦	۵۰۰	۲۰	۲۷/۷	٤/۰۵	٤	۳۵	۱۷۵
	۷	۱۵۰۰	۵۹	٦٦/۸	٤/۰۰	٦	۲۳	۱۸۶
		۲۵۰۰	۹۸	۹۹/۵	۱۱/۲۲	٤/٦	۱۰۵	۹۴
	۹	۵۰۰	۲۰	۳۳/۷	۰/۱۰	۲/۲	۱۲	۱۱
		۱۵۰۰	۵۹	٤۸/۲	۰/۲٦	۱/۷	۱۰	۳۵

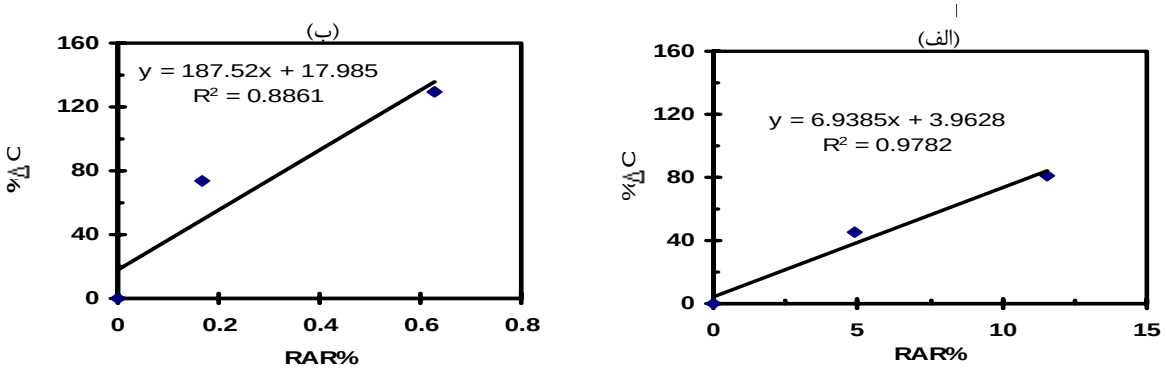
ادامه جدول ۲- نتايج بدست آمده از آزمايش‌هاي برش مستقيم خاک به صورت برجا

منطقه	شماره چاله	وزن سربار (kg)	σ_v(kpa)	τ_{max}(kpa)	*RAR(%)*	d_{50}(mm)	d_{max}(mm)	شمار ريشه‌ها
ابراهيم آباد	۱	۵۰۰	۲۰	٤۱/۲	۰/۷۳	۲/۹	۳۰	۳۳
		۱۵۰۰	۵۹	٦۷/٦	۳/۲۰	٤/۵	۱۰۰	۱۳
		۲۵۰۰	۹۸	۸۵/۵	۰/۷۵	۱/۷	۳۲	۵۴
	۲	۵۰۰	۲۰	۲۵/۹	۱/۰۰	۲	۲۰	۱۶
		۱۵۰۰	۵۹	٦۰/۲	۰/٤۵	۳/۷	۱۷	۳۰
	۳	۵۰۰	۲۰	٤٦/۵	۰/۵۱	٤	۲۷	۲۰
		۱۵۰۰	۵۹	۵۹/۱	۰/٦۹	۵	۱۳	۶
		۲۵۰۰	۹۸	٤۷/۵	۰/۱۰	۲	۱۲	۲۲
	۵	۵۰۰	۲۰	۲۲/۲	۰/۱۰	۰	۰	۰
		۱۵۰۰	۵۹	۵۳/۹	۰/۰	۰	۰	۰
		۲۵۰۰	۹۸	٦٤/٤	۰/۰	۰	۰	۰
	٦	۲۵۰۰	۹۸	۷۱/۸	۰/۳۰	۱/۵	۱۵	۳۰
		۲۵۰۰	۹۸	٤۸/٦	۲/۲٤	۷/۲	۵۰	۱۰

جدول ۳- مشخصه‌هاي مقاومت برشي خاک براي تراکم ريشه‌هاي متفاوت در ابراهيم‌آباد و ميناوند

ايستگاه	*RAR* (%)	d_{max} (mm)	d_{50} (mm)	C (kPa)	φ(درجه)	ΔC (kPa)	ΔC (%)	Δφ (درجه)	Δφ (%)
ميناوند	۰	۰	۰	۷/۴۵	۴۴/۹	۰	۰	۰	۰
	۴-۶	۳۶ ،۲۳ ،۳۵	۴/۴	۱۰/۷۹	۴۲/۵	۳/۲	۴۴	-۲/۵	-۶
	۹-۱۳	۴۵ ،۳۲ ،۶۲	۶/۲	۱۳/۴۸	۴۴/۳	۶	۸۰	-۰/۷	-۲
ابراهيم‌آباد	۰	۰	۰	۱۵/۱۳۶	۲۸/۳	۰	۰	۰	۰
	-۰/۳ ۰/۱	۱۵ ،۱۳ ،۱۲	۲/۸	۲۶/۲۹	۲۵/۹	۱۱/۲	۷۴	-۲/۴	-۸
	-۰/۷۵ ۰/٤۵	۳۲ ،۱۷ ،۲۷	۳/۱	۳۴/۷۶	۲۶/۵	۱۹/۷	۱۳۰	-۱/۸	-۶

در شكل ۵ تغيير چسبندگي ظاهري خاک (ΔC) بر حسب درصدي از چسبندگي خاک بدون ريشه براي دو منطقه ميناوند و ابراهيم آباد نشان داده شده كه با افزايش تراكم ريشه به ميزان قابل توجهي بهبود يافته و به ترتيب تا ۸۰% و ۱۳۰% افزايش مي‌يابد.



شكل ۵- تغيير چسبندگي توده خاك در برابر تراكم ريشه: الف) ميناوند؛ ب) ابراهيم‌آباد

به رغم اين كه خاك هر دو منطقه همساني زيادي با هم دارند، اما تأثير ريشه در چسبندگي خاك ايستگاه ميناوند كمتر از ابراهيم آباد است. بررسي اوليه جدول (۲) نشان مي‌دهد كه در ميناوند ريشه‌ها به مراتب قطورتر از ابراهيم‌آباد هستند. بر پايه گزارش داودي و همكاران (۱۳۸٤ ب) مقاومت كششي ريشه با قطر آن رابطه معكوس داشته و به صورت نمايي كاهش مي‌يابد و بدين جهت در مقاومت برشي افزوده شده به خاک نيز مؤثر است. همچنين چگالي خاك در ابراهيم‌آباد حدود ۱۱% كم‌تر از ميناوند است و لذا ريشه به عنوان عامل مسلح كننده با بازده بيشتري تأثيرگذار بوده است. از طرف ديگر خاك ابراهيم‌آباد ويژگي پلاستيكي بيشتري در مقايسه با خاك ميناوند دارد و از آنجايي كه ريشه‌ها نيز رفتار پلاستيكي دارند، در نظام مركب خاك-ريشه، همخواني رفتاري بيشتري بين دو فاز خاك و ريشه وجود دارد. مجموعه اين عامل‌ها موجب شده است كه در ابراهيم‌آباد ريشه تأثير بيشتري در چسبندگي ظاهري خاك داشته باشد.

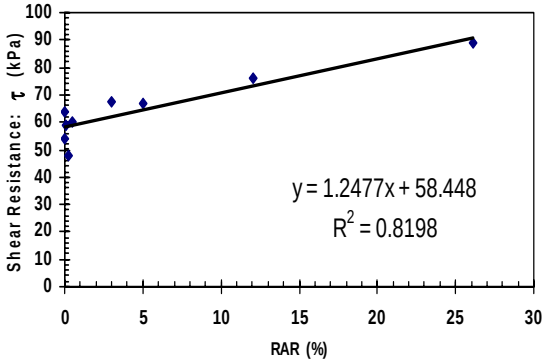
جدول (۳) همچنين گوياي آن است كه تأثير ريشه بر زاويه اصطكاك دروني خاك، بر خلاف چسبندگي، اندك و كاهشي است. بيشينه كاهش φ در گروه دوم ابراهيم‌آباد با mm d_{50}=۲/۸ و كمينه كاهش آن در گروه دوم ميناوند با mm d_{50}=۴/۴ مي‌باشد. در عين حال كاهش φ آن اندازه كوچک است كه در طرح‌هاي عمراني مي‌توان آن را در حد دقت آزمايش‌ها در نظر گرفته و وجود ريشه را بر زاويه اصطكاك دروني بي‌تأثير دانست.

براي بررسي تأثير ريشه درخت بيد به طور مستقيم بر مقاومت برشي خاک، نتايج دو ايستگاه تجميع شد و رابطه بين تراكم ريشه و مقاومت برشي در اعماق مختلف خاك با درجه اعتماد خوبي به دست آمد. شكل‌هاي (٦) و (۷) اين رابطه را براي تنش قائم kPa ۵۹ كه متناظر با فشار خاك در عمق حدود ٤ متر مي‌باشد ارائه مي‌دهند. بر اين پايه، تابع تغيير مقاومت برشي خاک CL به ازاي تراكم ريشه، در محدوده بررسي شده، بر پايه رابطه خطي (۸) مي‌باشد:

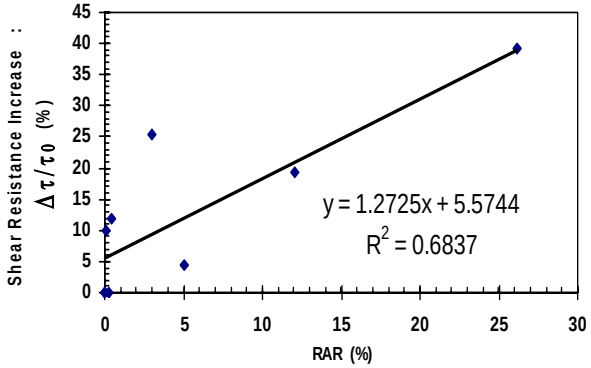
$$\tau = 1.25RAR + 58.45 \qquad (۸)$$

در اين رابطه، τ بر حسب kPa و RAR بر حسب درصد مي‌باشد. به عنوان يك رابطه كاربردي در خاك‌هاي همسان، افزايش نسبي مقاومت برشي كه عبارت است از افزايش مقاومت برشي ($\Delta\tau$) نسبت به مقاومت برشي خاك بدون ريشه (τ_0)، از رابطه (۹) با ضريب همبستگي R^2=۰/۶۸ بدست مي‌آيد.

$$\frac{\Delta\tau}{\tau_0} = (1.27RAR + 5.57) \div 100 \qquad (۹)$$



شكل ۶- تغيير مقاومت برشي خاك در برابر تراكم ريشه تحت تنش قائم **۵۹ kPa**



شكل ۷- تغيير افزايش نسبي مقاومت برشي خاك در برابر تراكم ريشه تحت تنش قائم **۵۹ kPa**

براي تنش قائم ۲۰ kPa كه متناظر با فشار خاك حدود ۱/۳ متر مي‌باشد روند تغييرها در دو حالت "كم‌ريشه" و "پرريشه" متفاوت است.

بنا به تعريف، خاك "كم‌ريشه" آن است كه تراكم ريشه آن از ۱% تجاوز ننمايد. براي اين نوع خاك، تابع تغيير مقاومت برشي بر پايه رابطه (۱۰) مي‌باشد:

$$\tau = 3.18Ln(RAR) + 44.34 \qquad (۱۰)$$

در اين محدوده، افزايش نسبي مقاومت برشي خاک CL در اثر وجود ريشه درخت بيد با ضريب همبستگي R^2=۰/۹۴ از رابطه (۱۱) كه در آن τ بر حسب kPa و RAR بر حسب درصد مي‌باشد قابل محاسبه است:

$$\frac{\Delta\tau}{\tau_0} = (14.34Ln(RAR) + 99.88) \div 100 \qquad (۱۱)$$

خاک‌هاي "پرريشه"، شامل خاک‌هايي مي‌شود كه تراكم ريشه در آنها بيش از ۱% باشد. در اين خاک‌ها رابطه‌هاي خطي با درجه اعتماد بسيار خوبي بين مقاومت برشي و تراكم ريشه به دست مي‌آيد كه در شكل (۸) ارائه شده‌اند. تابع تغيير مقاومت برشي براي خاک CL تحت بار قائم ۲۰ كيلوپاسكال به ازاي تراكم ريشهٔ در خت بيد بين ۱%-۲۶% بر پايه رابطه (۱۲) مي‌باشد:

$$\tau = 0.41RAR + 26.37 \qquad (۱۲)$$

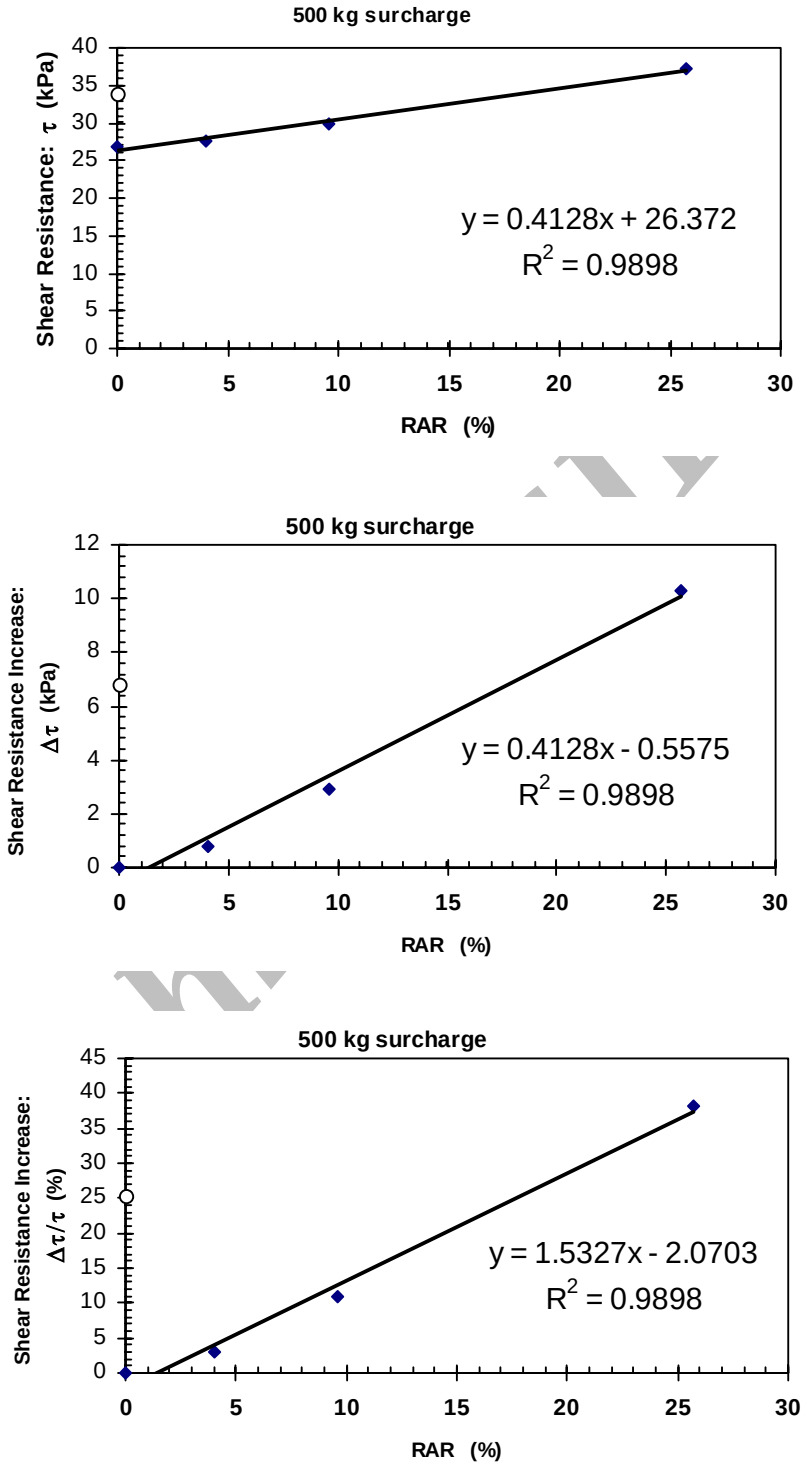
در همين شرايط، افزايش نسبي مقاومت برشي خاک با ضريب R^2=۰/۹۹ از رابطه خطي زير قابل محاسبه است كه به دليل ميزان ثابت كاهندهٔ آن، تنها براي تراكم ريشه‌هاي بيش از ۱/۴% قابل اعمال است.

$$\frac{\Delta\tau}{\tau_0} = (1.53RAR - 2.07) \div 100 \qquad (۱۳)$$

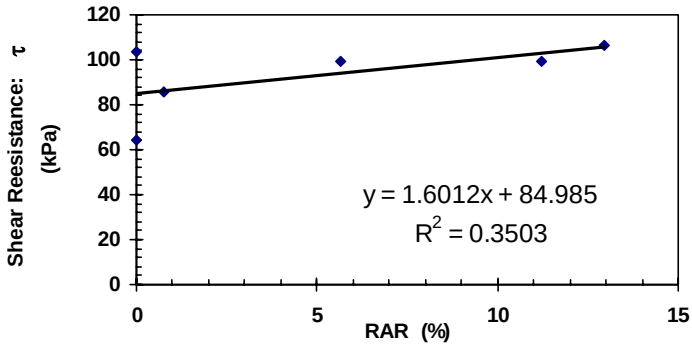
براي تنش قائم ۹۸ kPa كه متناظر با فشار ۶/۵ متر خاك مي‌باشد تابع تغيير مقاومت برشي خاک به ازاي ميزان‌هاي مختلف تراكم ريشه برابر شكل (۹) و رابطه (۱۴) كه در آن τ و RAR به ترتيب بر حسب kPa و درصد مي‌باشد.

$$\tau = 1.6RAR + 85 \qquad (۱۴)$$

لازم به يادآوري است كه پراكندگي ديده شده در داده‌هاي شكل‌ها به‌طور معمول ناشي از تفاوت قطر ريشه‌ها مي‌باشد. ضمن آنكه تفاوت رطوبت طبيعي خاك بلوك‌ها نيز به عنوان عامل غير قابل كنترل ديگر مؤثر مي باشد. به عبارت روشن‌تر، چنانچه همه آزمايش‌ها در محيطي انجام مي‌شد كه داراي ريشه‌هاي هم‌قطر و رطوبت يكسان مي‌بودند، نتايجي با همبستگي خيلي بهتري بدست مي‌آمد.



شكل ۸- تغيير مقاومت برشي خاك به ازاي تراكم ريشه بيش از ۱٪ تحت تنش قائم **kPa** ۲۰



شكل ۹- تغيير مقاومت برشي خاك با تراكم ريشه تحت تنش قائم **kPa** ۹۸

بحث و نتيجه گيري

نتايج بدست آمده از آزمايش‌هاي برش مستقيم بر خاک داراي ريشه درخت بيد و بدون ريشه در دو ايستگاه ابراهيم‌آباد و ميناوند نشان مي‌دهد كه همانند بسياري از گياهان ديگر، وجود ريشه زنده اين درخت موجب كاهش جزئي در زاويه اصطكاک دروني خاک تا حدود ۸% مي‌شود، اما از آنجايي كه افزايش چسبندگي به مراتب بيشتر از كاهش زاويه اصطكاک دروني است، لذا در مجموع، وجود ريشه موجب افزايش مؤثر در مقاومت برشي خاک مي‌شود. اين نتايج با نتايج داودي و فاطمي عقدا (۱۳۸۵) همسو است.

بر پايه شكل‌هاي (۶) الي (۹) و رابطه‌هاي (۸) الي (۱۴) به خوبي مشهود است كه شيب تابع تغيير مقاومت برشي در مقابل تراكم ريشه به‌طور عمده بين ۰/۴ و ۱/۶ محدود است و افزايش نسبي مقاومت برشي تحت سربار kPa ۹۸ بيشتر از دو سربار ديگر مي‌باشد. اين امر به دليل آن است كه با افزايش تنش قائم، درگيري و تبادل تنش بين ريشه و خاک بيشتر شده و لذا مقاومت برشي مجموعه، افزايش بيشتري مي‌يابد.

نتايج به دست آمده، همانند نتايج ديگر پژوهشگران، نشان مي‌دهد كه مقاومت برشي خاک ريزدانه به صورت خطي با تراكم ريشه زنده درخت بيد افزايش مي‌يابد. با وجود اين به دليل تفاوت نوع گياه و خاک، ضريب‌هاي ثابت به دست آمده در اين پژوهش با نتايج ديگر پژوهشگران، تا حدودي، متفاوت است. ضريب‌هاي بدست آمده از ضريب‌هاي نيلاويرا (۱۹۶۶) در مورد ريشه وتيور به مراتب بيشتر ولي از نتايج شفاعي و سليمي (۱۳۸۱) در مورد خاک ماسه‌اي و رسي و دو گياه گز و پده كمتر است.

چسبندگي ظاهري خاک ريزدانه نيز به صورت خطي با تراكم ريشه زنده درخت بيد افزايش مي يابد. نرخ اين افزايش با چگالي خاک نسبت معكوس داشته و لذا در خاک‌هاي سست تر، ريشه درخت بيد مي تواند نقش مؤثرتري در افزايش چسبندگي خاک ايفا نمايد. پلاستيسيته خاک نيز مي‌تواند نقش ريشه‌ها را در تقويت چسبندگي ظاهري خاک تا حدي تشديد نمايد.

بر پايه نتايج اين پژوهش، كاشت درخت بيد در صورت گسترش تراكم ريشه، مي تواند مقاومت برشي خاک را تا ميزان قابل توجهي افزايش دهد. اين تأثير براي شرايط متناظر تا عمق چهار متري خاک، مي تواند مقاومت برشي آن را تا ٤٠% افزايش دهد.

منابع

۱- داودي، محمد هادي، جعفر غيوميان، رضا ميرصانعي و ام‌البنين عطايي، ۱۳۸۴ الف، " طبقه بندي زمين‌لغزش‌هاي فعال با هدف كاربردي تعيين روش تثبيت، بررسي موردي حوضه آبريز طالقان رود"، چهارمين كنفرانس زمين شناسي مهندسي و محيط زيست، تهران، ص ۳۳۵-۳۲۵

۲- داودي، محمد هادي، رضا امام جمعه و داود نيک كامي، ۱۳۸۴ ب، تأثير ريشه گياهان بر مقاومت برشي خاک با بهره‌گيري از بررسي‌هاي بزرگ مقياس، پژوهشكده حفاظت خاک و آبخيزداري، گزارش نهايي طرح بررسي‌هايي، ۱۵۵ ص.

۳- داودي، محمد هادي، سيد محمود فاطمي عقدا و غلامرضا شاه عليپور، ۱۳۸۵، بررسي اثر قطر ريشه درخت بر چسبندگي و زاويه اصطكاك دروني خاك، مجله بررسي‌هاي مهندسي كشاورزي، ۷ (۲۸): ۵۳-۶۸.

۴- شفاعي بجستان، محمود و محمد سليمي گل شيخي، ۱۳۸۱، تعيين اثر ريشه درختان پده و گز بر مقاومت برشي خاك ساحل كارون در محل، علوم و فنون كشاورزي و منابع طبيعي، ۶ (۴) : ۲۷-۴۰.

5- Abe K. and R.R. Ziemer, 1991, Effect of Tree Roots on a Shear Zone: Modeling Reinforced Shear Stress", Canadian. J. of Forest Research, 21, 1012-1019.

6- Abe K. and M. Iwamoto, 1986, Preliminary Experiment on Shear in Soil Layers with a Large Direct Shear Apparatus", J. of Japanees Forestry Society, 68 2, 61-65.

7- Burroughs E.J.JR. and B.R. Thomas, 1977, Declining Root Strngth in Douglas-Fir after Felling as a Factor in Slope Stability. USDA For. Serv. Res. Pap. INT-190.

8- Coppin N.J. and I.J. Richards 1990, Use of Vegetation in Civil Engineering, Construction Industry Research & Information Association, Butterworths, London.

9- Ekanayake J.C. and C.J. Phillips, 2002, Slope Stability Thresholds for Vegetated Hillslopes: a Composite Model", Canadian Geotechnical j., 39, 849-862.

10- Endo T. and T. Tsuruta, 1969, The Effect of Tree's Roots on the Shear Strength of Soil", Annual Report of Hokkaido Branch Forest Experiment Station, Sapporo, Japan, 167-182.

11- Gray D.H. and W.F. Megahan, 1981, Forest Vegetation Removal and Slope Stability in the Idaho Batholith, USDA Forest Service Research Paper INT-271, 23 p.

12- Greenway D.R. 1987, Vegetation and Slope Stability, in Slope Stability, (Editors: Anderson M.G. and K.S. Richards), Wiley, Chichester, 187-230.

13- Hengchaovanich & Nilaweera 1996, Luckman P.G., R.L. Hathaway, and W.R.N. Edwards, 1982, Root Systems, Root Strength and Slope Stability, Water & Soil Conservation Organisation, Ministry of Works & Development, Internal Report No. 34, Wellington New Zealand, 31 p.

14- Nilaweera N.S, 1994, Influence of Hardwood Roots on Soil Shear Strength and Slope Stability in Souther Thailand, Ph.D. Dissertation, Asian Institute of Technology, Bankok.

15- Nilaweera N.S. and Nutalaya P. 1999, Role of Tree Roots in Slope Stabilization, Bull. of Eng. Geology and Environmental, vol. 57, 337-342.

16- O'Loughlin C.L, 1974a, The Effect of Timber Removal on the Stability of Forest Soils", J. of Hydrology, NZ, 13 (2), 121-134.

17- O'Loughlin C.L. 1974b, A Study of Tree Root Strength Deterioration Following Clearfelling, Canadian J. of Forest Research, 4 (1), 107-113.

18- O'Loughlin C.L., K.K. Rowe and A.J. Pearce, 1982, Experimental Storm Influences on Slope Erosion and Sediment Yields in Small Forest Catchments, North Westland, New Zealand", Proc. of National Symp. on Forest Hydrology. Melbourne.
19- Stokes A., J. Ball, A.H. Fitter, P. Brain and M.P. Coutts, 1996, An Experimental Investigation of the Resistance of Model Root Systems to Uprooting", J. of Annals of Botany, 78, 415-421
20- Stokes A., A.H. Fitter and M.P. Coutts, 1995, Responses of Young Trees to Wind and Shading; Effects on Root Architecture, J. of Experimental Botany, 46, 1139-1146.
21- Swanston D.N, 1974a, The Forest Ecosystem of Southeast Alaska: 5-Soil Mass Movement, USDA Forest Service General Technical Report PNW-17, 22 p.
22- Swanston D.N. 1974b, Slope Stability Problems Associated With Timber Harvesting in Mountanous Regions of the Western United States", USDA Forest Service General Technical Report PNW-21, 14 p.
23- Tengbeh G.T. 1989, The Effect of Grass Cover on Bank Erosion", PhD Thesis, Soil College, Cranfield Institute of Technology.
24- Waldron L.J. 1977, The Shear Resistance of Root Permeated Homogeneous and Stratified Soil, Soil Science Society of America Journal 41, 843-849.
25- Waldron L.J. and S. Dakessian, 1981, Effect of Grass, Legume and Tree Roots on Soil Shearing Resistance", Soil Sci. Soc. Am. J., 46, 894-899.
26- Wu H.T. and A. Watson, 1998, In-Situ Shear Test of Soil Blocks with Roots", Canadian Geotechnical J., 35, 579-590.
27- Wu T.H., P.E. Beal and C. Lan, 1988, In-Situ Shear Test of Soil-Root Interactions, J. of Geotechnical Engineering (ASCE), Vol. 114, No. GT12, 1351-1375.
28- Wu T.H, W.P. McKinnell and D.N. Swanston, 1979, Strength of Tree Roots and Landslides on Princeo Wales Island, Alaska", Canadian j. of Geotechnical Research, 16 (1), 19-33.
29- Yarbrough L.D. 2000, Channel Bank Stability Analysis and Design Considering Effects of Riparian Vegetation and Root Reinforcement", Thesis of M.Sc., uni. of Mississippi.
30- Ziemer R.R. 1981, The Role of Vegetation in Stability of Forested Slope", Proceedings-Reframe Exposes IUFRO R.R., 297-308.

Variation of shear resistance parameters in fine grain soils due to willow roots density

M. H. Davoudi[*1]
[1] Assistant Prof., Soil Conservation & Watershed Management Research Institute, Theran, I.R.Iran
(Received 13 April 2008, Accepted 29 November 2008)

Abstract

Stabilization of river terraces and natural soil slopes in rangelands by means of tree roots as a reinforcement agent is an environmental adopted method which needs to be developed. In this research a series of tests was carried out on soil blocks containing willow roots and without roots using a large scale in situ direct shear test apparatus. The results were analyzed based on direct shear theory to calculate the cohesion and internal friction angle of rooted and non-rooted soil. The results reveal that in spite of a slight decrease of 8% in the internal friction angle, the appearance cohesion of lean clay soils increase significantly up to 130%. The results of this research are presented in forms of linear and logarithmic relations between increased shear strength and root density at different depths of soil.

Keywords: Willow, Shear strength, Cohesion, Internal friction angle, Lean clay, Root density, Natural soil slope, Stabilization, Environment

*Corresponding author: Tel: +98 21 44901415 , Fax: +98 21 44905876 , E-mail: davoudi_h@yahoo.com