

پراکنش مکانی ریشه درختان ممرز در جنگل‌های پایین‌بند هیرکانی (جنگل خیرود، نوشهر)

آزاده دلجویی^۱، احسان عبدی^{۲*}، باریس مجنونیان^۳ و ماسیمیلیانو شوارتز^۴

- ۱- دکتری مهندسی جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. (a.deljooei@ut.ac.ir)
- ۲- دانشیار، گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. (abdie@ut.ac.ir)
- ۳- استاد، گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. (bmajnoni@ut.ac.ir)
- ۴- استادیار، دانشکده کشاورزی، جنگلداری و صنایع غذایی، دانشگاه برن، زولیکوفن، سوئیس. (massimiliano.schwarz@bfh.ch)

تاریخ پذیرش: ۹۷/۰۲/۲۳

تاریخ دریافت: ۹۶/۱۲/۰۵

چکیده

هدف از این پژوهش بررسی پراکنش مکانی ریشه درختان ممرز در بخش پاتم جنگل خیرود بود. بدین منظور تعداد پنج درخت از سه طبقه قطری کم‌قطر، میان‌قطر و قطور به روش کاملاً تصادفی انتخاب شد (در مجموع ۱۵ درخت). برای بررسی و اندازه‌گیری نسبت سطح ریشه به سطح خاک (RAR)، با استفاده از روش مقطع پروفیل در اطراف هر پایه، سه پروفیل در سمت بالای درخت و سه پروفیل در سمت پایین درخت (ابعاد ۵۰ × ۱۰۰ سانتی‌متر) به فواصل افقی ۱، ۲ و ۳/۵ متر از تنه درخت حفر شد (در مجموع ۹۰ پروفیل). دیواره‌های پروفیل‌ها به افق‌های ۱۰ سانتی‌متری تقسیم و قطر کلیه ریشه‌های بیرون‌زده اندازه‌گیری شد. در آخر درصد نسبت سطح ریشه به سطح خاک در هر افق محاسبه شد. نتایج نشان داد با افزایش عمق مقدار شاخص نسبت سطح ریشه به سطح خاک به صورت رابطه لگاریتمی کاهش می‌یابد. نتایج حاصل از آنالیز کوواریانس نشان داد که پراکنش ریشه در سه طبقه کم‌قطر، میان‌قطر و قطور، دارای اختلاف معنی‌داری است. نتایج آزمون t نشان داد که مقدار شاخص در دیواره اول، دوم و سوم طبقه کم‌قطر در سمت بالا به‌طور معنی‌داری بیشتر از سمت پایین درخت است. در طبقه میان‌قطر تنها دیواره سوم در سمت بالا به‌طور معنی‌داری بیشتر از دیواره اول در سمت بالا به‌طور معنی‌داری بیشتر از دیواره اول سمت پایین بود.

واژه‌های کلیدی: روش مقطع پروفیل، کم‌قطر، میان‌قطر، قطور، نسبت سطح ریشه به سطح خاک.

مقدمه

مقابل کشش مقاوم و در برابر فشار ضعیف است (Wu, 2013, 2016)؛ بنابراین وجود ریشه در خاک، ماتریس مسلح شده‌ای را تشکیل می‌دهد که طی بارگذاری خاک، تنش وارده به ریشه‌ها منتقل می‌شود (Schwarz *et al.*, 2016).

کمی‌سازی مقدار تأثیر مسلح‌سازی ریشه یکی از مهم‌ترین مسائل در پایدارسازی دامنه‌ها است و امروزه مدل‌های متعددی به منظور مسلح‌سازی ریشه مانند Wu (Wu *et al.*, 1979)، اصلاح شده (Wu (Ji, 2012)، نوع یک (FBM Daniels, 1945— Fiber Bundle Model)، نوع دو یا Riproot (Pollen and Simon, 2005)، نوع سه (Hidalgo *et al.*, 2001)، نوع چهار (Schwarz *et al.*, 2010b)، RBM (Schwarz *et al.*, 2010a— Root Bundle Model) و RBMw (Schwarz *et al.*, 2013) در دنیا معرفی شدند. مسلح‌سازی ریشه بیشتر تابع دو عامل مهم مقاومت کششی ریشه و پراکنش ریشه در طبقات قطری مختلف است (Schwarz *et al.*, 2012). مقاومت کششی ریشه تا حد زیادی وابسته به قطر ریشه بوده و از رابطه توانی با قطر ریشه پیروی می‌کند (Vergani *et al.*, 2012) درحالی‌که پراکنش ریشه با توجه به عواملی مانند ترکیب گونه‌ها در منطقه، عمق خاک، تراکم درختان، فاصله از تنه درخت، موقعیت درخت بر روی دامنه و شرایط محلی رشد درخت مانند دمای خاک، مقدار مواد غذایی، رطوبت خاک و ویژگی‌های زیست‌مکانیکی، متغیر است (Schwarz *et al.*, 2012, 2010b, 2012). بنابراین بررسی ویژگی‌های سیستم ریشه به‌عنوان مهم‌ترین مواد و مصالح مورد استفاده در زیست‌مهندسی با هدف ایجاد پایداری در دامنه‌ها از ضروریات است چرا که منجر به افزایش مقاومت برشی خاک می‌شوند.

پدیده‌های زمین‌لغزش و فرسایش از مهم‌ترین آشفته‌گی‌های طبیعی هستند که سبب تغییر سیمای طبیعت در جنگل‌های مناطق کوهستانی می‌شوند (Sidle and Ochiai, 2006). جنگل‌های شمال کشور نیز از این امر مستثنی نبوده و وجود زمین‌لغزش‌های کم‌عمق، تهدید دائمی برای زیرساخت‌هایی مانند جاده‌های جنگلی به‌شمار می‌آید؛ به طوری‌که از بین رفتن بخشی از جاده جنگلی در بخش پاتم جنگل خیرود می‌توان اشاره کرد که منجر به متحمل شدن هزینه‌های گزاف مانند ساخت دوباره جاده و احداث گابیون در برخی نقاط شده است. تأثیرات مثبت هیدرولوژیکی و مکانیکی درختان در مناطق کوهستانی به مقدار قابل‌توجهی سبب بهبود مقاومت دامنه‌های خاکی شده و در نتیجه احتمال فرسایش، زمین‌لغزش و حرکات توده‌ای را کاهش می‌دهد. از کارکردهای مثبت هیدرولوژیکی که منجر به افزایش پایداری دامنه‌ها می‌شود این است که ریشه‌های گیاهان با جذب رطوبت از خاک، سبب کاهش فشار آب منفذی و افزایش مکش خاک می‌شوند و با پیوند دادن ذرات خاک سطحی، سبب افزایش چسبندگی ذرات خاک شده و در نتیجه موجب پایداری خاک می‌شود (Wu, 2013, 2016, 2016). (Bischetti *et al.*, 2016). هم‌چنین می‌توان به باران‌ریایی درختان که دیگر جنبه مثبت هیدرولوژیکی درختان در افزایش پایداری دامنه است، اشاره کرد (Sadeghi and Attarod, 2017). مهم‌ترین تأثیر مکانیکی پوشش گیاهی مسلح‌سازی دامنه توسط ریشه‌هاست که منجر به افزایش مقاومت برشی خاک و یا منجر به متصل شدن لایه‌های بالایی خاک به لایه‌های زیرین و یا سنگ مادری در نتیجه نفوذ عمیق‌تر ریشه‌ها است. خاک در مقابل فشار مقاوم ولی در برابر کشش ضعیف است و بر خلاف خاک، ریشه در

افزایش فاصله از تنه بر تراکم ریشه می‌کند (Vergani et al., 2014, 2016) که در ایران تاکنون پژوهش این چینی انجام نگرفته است. به‌منظور ارزیابی پایداری دامنه‌ها و کمی‌سازی نقش ریشه درختان در فرآیند مسلح‌سازی خاک، نیاز به بررسی دقیق پراکنش مکانی ریشه‌ها دیده می‌شود و هر تغییر در الگوی مکانی سیستم ریشه، مقدار مسلح‌سازی خاک را تغییر داده و در نتیجه تثبیت دامنه را تغییر می‌دهد (Jerome et al., 2011). با توجه به وجود زمین‌لغزش‌های کم‌عمق در شمال کشور به‌ویژه بخش پاتم جنگل خیرود، برای کنترل آن باید ویژگی‌های سیستم ریشه‌ای درختان مانند پراکنش مکانی آن‌ها را درک کرد، چراکه اطلاعات اندکی از آن‌ها در دسترس است؛ بنابراین هدف از این پژوهش بررسی الگوی مکانی پراکنش ریشه گونه ممرز که بیشترین فراوانی گونه درختی را در جنگل‌های هیرکانی به‌خود اختصاص داده است، است. نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش می‌تواند در تجزیه و تحلیل پایداری شیب برای بهبود تکنیک‌های زیست‌مهندسی خاک و از طرف دیگر در مسائل پیشگیری از زمین‌لغزش‌های سطحی مورد استفاده قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد پژوهش

این پژوهش در بخش پاتم، جنگل آموزشی-پژوهشی دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران (جنگل خیرود؛ ۳۶°۳۴' تا ۳۶°۳۷' عرض شمالی و ۵۱°۳۲' تا ۵۱°۳۵' طول جغرافیایی شرقی) انجام شد. بلندترین نقطه در این بخش ۹۳۴ متر و پایین‌ترین قسمت آن ۴۲ متر بالاتر از سطح دریا است. با توجه به اهداف پژوهش، منطقه مورد پژوهش به صورتی انتخاب شد که درختان ممرز شرایط محیطی مشابه را دارا بودند؛

پژوهش‌های بسیاری به اهمیت پراکنش و ویژگی‌های مکانیکی ریشه‌ها در فراهم ساختن پایداری دامنه‌ها در داخل و خارج از کشور اشاره کرده‌اند (Abdi et al., 2010, Abdi et al., 2013, Naghdi et al., 2014, Cohen and Schwarz et al., 2015, Kazemi et al., 2017, Schwarz, 2017, Salimi Zand et al., 2017, al., 2017). از آنجاکه ریشه‌ها بخش پنهان گیاهان هستند بررسی ویژگی‌ها و کمی‌سازی پراکنش آن‌ها دشوار است (Cohen and Schwarz, 2017) بنابراین در بحث پایداری دامنه‌ها این بخش به‌ویژه در دامنه‌های پرشیب همچنان پنهان باقی می‌ماند و فقط بخش کوچکی از ویژگی‌های ریشه و فرآیند مسلح‌سازی در آزمایشگاه‌ها و در عرصه کشف می‌شود (Roering et al., 2003, Docker and Hubble, 2008). پژوهش‌ها نشان می‌دهد که با افزایش عمق خاک (Bischetti et al., 2009, Preti and Giadrossich, 2009, Abdi et al., 2010, Abdi et al., 2010, Maleki et al., 2014, Esmaili et al., 2017, al., 2014) درخت (Genet et al., 2008, Ji et al., 2012, Vergani et al., 2014) پراکنش ریشه‌ها کاهش می‌یابد. همچنین طبق یافته‌های پژوهش‌های مختلف، در بیشتر موارد پراکنش ریشه در سمت پایین درختان بیشتر از سمت بالای آن است (Nicoll and Ray, 1996, Chiatante et al., 2003, Ji et al., 2012). در جنگل‌های هیرکانی نیز پژوهش‌هایی انجام شده است که برای نمونه، Abdi و همکاران (2010) با حفر یک پروفیل در بالا و پایین درخت انجیلی نشان دادند که پراکنش ریشه در سمت بالا و پایین درخت اختلاف معنی‌داری ندارند. در پژوهش‌های اخیر در دنیا، با حفر تعداد بیشتری پروفیل و در فاصله‌های مختلف افقی از تنه اقدام به بررسی پراکنش ریشه و تأثیر

در روابط بالا d_i قطر ریشه A_m برحسب میلی‌متر، A_r مساحت اشغال شده توسط ریشه‌ها و A_s مساحت خاک در هر لایه دیواره پروفیل است (Abdi et al., 2010).

تجزیه و تحلیل داده‌ها

نرمال بودن داده‌ها با آزمون کولموگروف-اسمیرنوف بررسی شد. آزمون t جفتی برای مقایسه نسبت سطح ریشه در سمت بالا و پایین درخت مورد استفاده قرار گرفت. سپس آزمون ANCOVA برای مقایسه مقدار RAR در سمت بالا و پایین درخت در طبقه‌های قطری مختلف با در نظر گرفتن عمق خاک به عنوان عامل کوواریت انجام شد. کلیه تجزیه و تحلیل‌ها در نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۴ انجام شد.

نتایج

نتایج این پژوهش نشان داد که با در نظر گرفتن عمق خاک و فاصله از درخت، مقدار RAR تغییر می‌کند (جدول ۱). با افزایش فاصله از تنه درخت و عمق خاک، مقدار RAR مطابق با رابطه لگاریتمی کاهش می‌یابد (شکل‌های ۱ تا ۳). بیشترین مقدار RAR در لایه‌های سطحی خاک واقع شده است. میانگین، کمینه و بیشینه مقادیر RAR در طبقه‌های قطری مختلف به تفکیک دیواره در جدول ۱ نشان داده شده است. میانگین و خطای معیار مقادیر RAR در افق‌های مختلف در طبقه کم‌قطر (شکل ۱)، میان‌قطر (شکل ۲) و قطور (شکل ۳) نشان داده شده است. در هر سه شکل با افزایش عمق خاک مقدار شاخص RAR کاهش می‌یابد که نشان‌دهنده حضور ریشه‌ها در لایه‌های سطحی خاک است.

بنابراین به منظور انجام پژوهش با جنگل‌گردشی اولیه، پارسل ۱۰۸ بخش پاتم (ارتفاع ۴۰۰ متر از سطح دریا) انتخاب شد.

شیوه پژوهش

به روش کاملاً تصادفی پنج پایه در سه طبقه قطری کم-قطر (۷/۵ تا ۳۲/۵ سانتی‌متر)، میان‌قطر (۳۲/۵ تا ۵۷/۵ سانتی‌متر) و قطور (۵۷/۵ تا ۸۲/۵ سانتی‌متر) (Sagheb-Talebi and Eslami, 2008) از گونه ممرز انتخاب و کدگذاری شد (در کل ۱۵ درخت ممرز). محل حفر پروفیل‌ها با استفاده از رنگ بر روی زمین مشخص شد تا کار حفر پروفیل‌ها به صورت دقیق‌تر انجام گیرد. برای بررسی و اندازه‌گیری نسبت سطح ریشه به سطح خاک، روش مقطع پروفیل انتخاب شد (Bischetti et al., 2016; Chiaradia et al., 2016; Schwarz et al., 2016; Vergani et al., 2016; Moos et al., 2016) و در اطراف هر پایه، سه پروفیل در سمت بالای درخت و سه پروفیل در سمت پایین درخت به فواصل افقی ۱، ۲ و ۳/۵ متر از تنه درخت حفر شد (Vergani, 2013). ابعاد پروفیل‌ها ۱۰۰×۵۰ سانتی‌متر بوده و عمق هر پروفیل تا حداکثر عمق ریشه‌دوانی ادامه یافت (Ji et al., 2012). سپس بر روی کلیه دیواره‌های پروفیل‌ها افق‌های ۱۰ سانتی‌متری با استفاده از ریسمان مشخص و علامت‌گذاری شد (Naghdi et al., 2013). در هر یک از افق‌ها قطر کلیه ریشه‌ها بیرون‌زده با استفاده از کولیس (با دقت ۰/۰۱ میلی‌متر) اندازه‌گیری شد. در نهایت درصد نسبت سطح ریشه (RAR) هر افق از هر دیواره در هر پروفیل از تقسیم مجموع سطح مقطع ریشه‌های بیرون‌زده هر افق تقسیم بر مساحت آن افق تعیین شد.

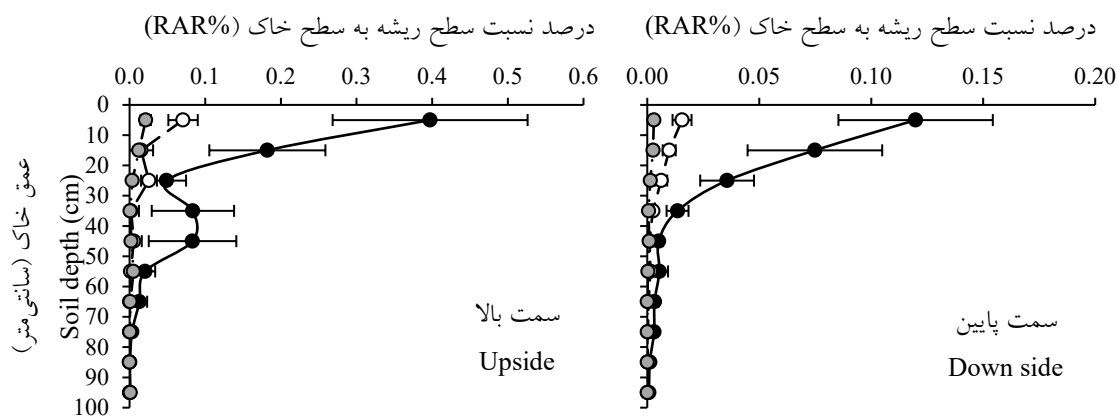
$$A_r = \sum_{i=1}^i \left(\frac{\pi}{4} \cdot d_i^2 \right) \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$RAR = \frac{A_r}{A_s} \quad \text{رابطه (۲)}$$

جدول ۱- میانگین، کمینه و بیشینه نسبت سطح ریشه به سطح خاک در طبقه‌های قطری مختلف با افزایش فاصله از تنه درخت

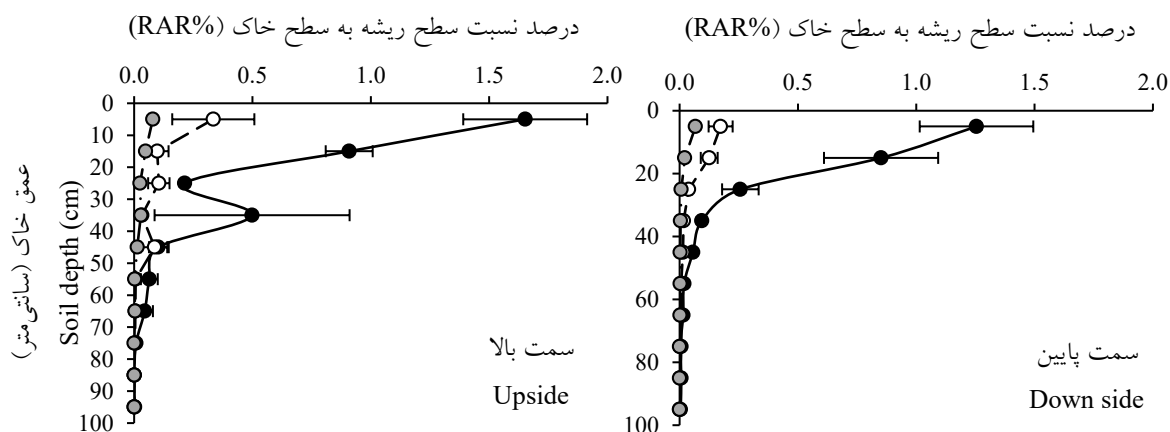
Table 1. Mean, minimum and maximum RAR in different tree diameter classes by increasing distance from tree stem

بیشینه Maximum			میانگین Mean			کمینه Minimum			طبقه قطری درختان Trees diameter class
دیواره سوم Third trench	دیواره دوم Second trench	دیواره اول First trench	دیواره سوم Third trench	دیواره دوم Second trench	دیواره اول First trench	دیواره سوم Third trench	دیواره دوم Second trench	دیواره اول First trench	
0.04	0.12	0.89	0.053	0.01	0.08	0.00	0.00	0.000003	طبقه کم قطر (بالا) Small class (up)
0.01	0.03	0.19	0.001	0.004	0.03	0.00	0.00	0.0001	طبقه کم قطر (پایین) Small class (down)
0.18	1.01	2.44	0.02	0.07	0.35	0.00	0.00	0.00	طبقه میان قطر (بالا) Medium class (up)
0.18	0.33	1.87	0.01	0.04	0.26	0.00	0.00	0.0001	طبقه میان قطر (پایین) Medium class (down)
7.91	7.29	18.92	0.21	0.34	1.83	0.00	0.00	0.00	طبقه قطور (بالا) Large class (up)
0.51	6.36	20.30	0.05	0.45	3.45	0.00	0.00	0.00	طبقه قطور (پایین) Large class (down)



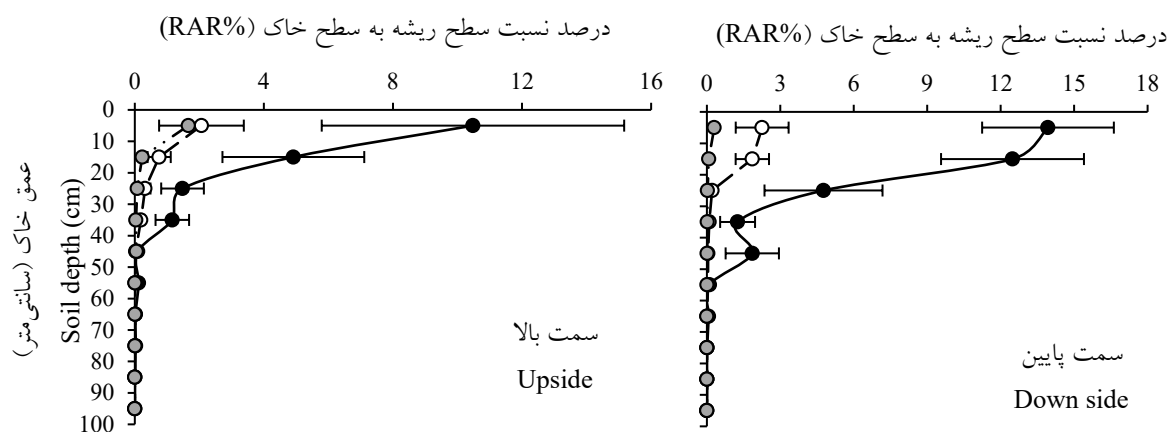
شکل ۱- شاخص نسبت سطح ریشه به سطح خاک در طبقه کم قطر در عمق‌های مختلف و افزایش فاصله از تنه درخت (دیواره اول: مشکی، دیواره دوم: سفید و دیواره سوم: طوسی)

Figure 1. Root area ratio for small diameter class at different soil depth and increasing distance from tree stem (first trench: black, second trench: white, and third trench: gray)



شکل ۲- شاخص نسبت سطح ریشه به سطح خاک در طبقه میان قطر در عمق‌های مختلف و افزایش فاصله از تنه درخت (دیواره اول: مشکی، دیواره دوم: سفید و دیواره سوم: طوسی)

Figure 2. Root area ratio for medium diameter class at different soil depth and increasing distance from tree stem (first trench: black, second trench: white, and third trench: gray)



شکل ۳- شاخص نسبت سطح ریشه به سطح خاک در طبقه قطر در عمق‌های مختلف و افزایش فاصله از تنه درخت (دیواره اول: مشکی، دیواره دوم: سفید و دیواره سوم: طوسی)

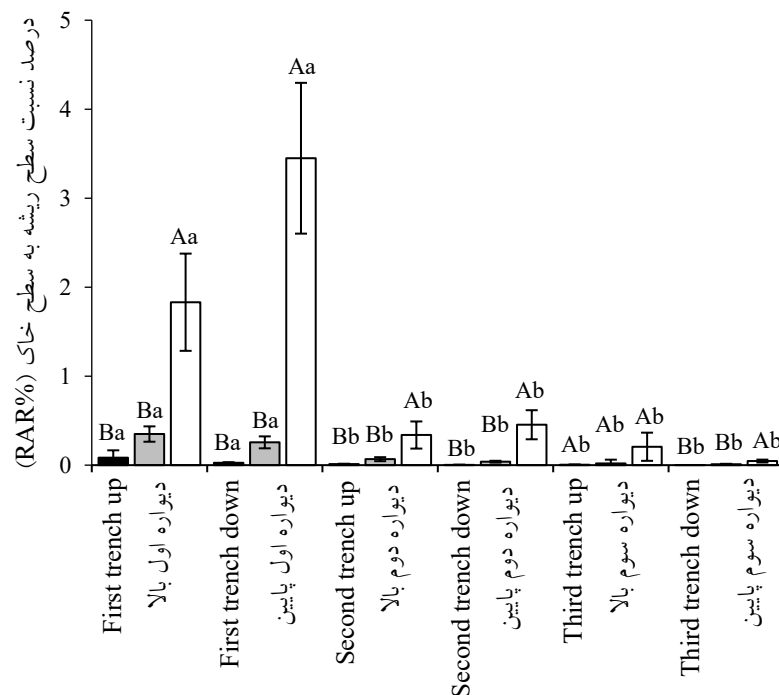
Figure 3. Root area ratio for large diameter class at different soil depth and increasing distance from tree stem (first trench: black, second trench: white, and third trench: gray)

در بقیه موارد، پراکنش ریشه در طبقه قطر به‌طور معنی‌داری بیشتر از دو طبقه دیگر است. هم‌چنین نتایج آزمون LSD در مورد آنالیز شاخص پراکنش ریشه در هر سمت درخت (یعنی بین سه دیواره) در هر طبقه قطری، نشان‌دهنده معنی‌داری بودن اختلاف و بیشتر بودن مقدار این شاخص در دیواره اول در هر سمت است.

نتایج حاصل از آنالیز کوواریانس نشان داد که پراکنش ریشه در سه طبقه کم‌قطر، میان‌قطر و قطر درختان، دارای اختلاف معنی‌داری است (شکل ۴). هم‌چنین در هر طبقه بین دیواره‌های اول، دوم و سوم سمت بالا و پایین درخت اختلاف معنی‌دار مشاهده شد. در تمامی موارد عمق خاک به‌عنوان عامل کوواریت معنی‌دار بود. برای نمونه، نتایج آنالیز LSD نشان داد که به‌جز در دیواره سوم سمت بالای درخت،

دار نشان داد و در دیواره بالا مقدار آن بیشتر از دیواره پایین بوده است ($t=2/1$). در طبقه قطور دیواره اول در سمت بالا به‌طور معنی‌داری بیشتر از دیواره اول سمت پایین بود ($t=2/3$) و در دیواره‌های دوم و سوم اختلاف معنی‌داری نداشتند.

نتایج آنالیز t-test نشان داد که مقدار شاخص RAR در دیواره اول ($t=2/9$)، دوم ($t=2/7$) و سوم ($t=3/5$) طبقه کم‌قطر در سمت بالا به‌طور معنی‌داری بیشتر از سمت پایین درخت است. در طبقه میان‌قطر تنها دیواره سوم در سمت بالا و پایین اختلاف معنی-



شکل ۴- شاخص نسبت سطح ریشه به سطح خاک در طبقه‌های قطری کم‌قطر، میان‌قطر و قطور در سه دیواره در هر سمت درخت. حروف بزرگ، نشان‌دهنده معنی‌دار بودن اختلاف بین طبقه‌های قطری در هر دیواره است ($P < 0/05$). حروف کوچک نشان‌دهنده معنی‌دار بودن اختلاف بین سه دیواره در هر سمت درخت با یکدیگر است (طبقه کم‌قطر: مشکی، طبقه میان‌قطر: طوسی و طبقه قطور: سفید)

Figure 4. Root area ratio in small, medium and large diameter classes at three trenches at both sides of the trees. Capital letters show significant difference between diameter classes at each trench ($p < 0.05$). Small letters show significant difference between three trenches at each side of trees. (Black small diameter class, gray medium diameter class and white large diameter class)

(Bischetti *et al.*, 2005). عوامل تأثیرگذار بر این شاخص عمق خاک و فاصله از تنه درخت نام‌برده شده است (De Abernethy and Rutherford, 2001, Baets *et al.*, 2008, Esmaili *et al.*, 2017). در این پژوهش نیز با افزایش عمق خاک، مقدار شاخص RAR کاهش یافت

بحث در بسیاری از پژوهش‌ها برای بررسی پراکنش ریشه‌ها از شاخص RAR استفاده شده است (Majnounian *et al.*, 2014). از اطلاعات به‌دست‌آمده از این شاخص در پهن‌بندی پایداری و درک وضعیت مسلح‌سازی ریشه‌ها در عمق‌های مختلف به کار می‌رود

Schmid and Kazda, 2001, Rutherford, 2001 و Kim (2002, Kim et al., 2010). برای نمونه، همکاران (2010) با بررسی شاخص پراکنش ریشه در سه فاصله یک، دو و سه متری از تنه در دو گونه *Pinus Koreaiensis* و *Larix kaempferi* کره به این نتیجه رسیدند که بیشترین شاخص پراکنش ریشه در فاصله یک متری حاصل شد. هم‌چنین مقدار شاخص پراکنش ریشه در طبقه‌ی قطر بیشتر از دو طبقه دیگر است و بین دو طبقه میان‌قطر و کم‌قطر تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. مرور منابع نشان می‌دهد که مقدار شاخص RAR بسیار وابسته به تعداد ریشه‌های قطر است (Genet et al., 2006)؛ بنابراین از آنجایی که با افزایش سن درختان، مقدار ریشه‌های قطر در درختان افزایش می‌یابد (Watson and O'Loughlin, 1990)، از این رو یافته‌های این پژوهش قابل توجیه است؛ بنابراین می‌توان اظهار داشت که پراکنش ریشه در درختان کم‌قطر و میان‌قطر رفتاری مشابه داشته و زمانی که درختان به قطرهای بالا می‌رسند، پراکنش ریشه‌های در آن‌ها متفاوت‌تر می‌شود که نیاز است در مدل‌های زیست‌مهندسی و آنالیز پایداری شیب، به این مهم توجه شود. Genet و همکاران (2006) در بررسی خود بر روی دو جنگلکاری با سنین متفاوت به این نتیجه رسیدند که با گذر زمان و تغییر قطر برابرسینه درختان، لازم است که پراکنش ریشه‌ها و به تبع آن، مسلح‌سازی ریشه‌های بررسی شود، زیرا که مقدار آن در قطرهای مختلف بسیار متفاوت است و در مدل‌های مسلح‌سازی، این نکته بایستی در نظر گرفته شود.

حضور ریشه‌ها در خاک منجر به افزایش مقاومت برشی خاک و در نتیجه افزایش پایداری خاک می‌شود. مقدار این افزایش به عوامل مختلفی مانند ویژگی‌های زیست‌فنی ریشه مانند نسبت سطح ریشه به سطح

که مطابق با نتایج به‌دست‌آمده از دیگر پژوهش‌ها است (Maleki et al., 2014, Bischetti et al., 2005). هم‌چنین در پژوهش (Kazemi et al., 2017). Esmaili (2016) بر روی گونه‌های پیسه‌آ و زبان‌گنجشک، فواصل ۰/۵ و یک متر از تنه درختان مورد بررسی قرار گرفت که نتایج آن نشان داد که با افزایش فاصله از درخت، مقدار شاخص RAR کاهش می‌یابد، البته نامبردگان تنها تا فاصله یک متری از تنه را مورد بررسی قرار دادند. بیشینه مقادیر RAR در لایه‌های سطحی خاک (تا عمق ۲۰ سانتی‌متر) مشاهده شد که مطابق با پژوهش‌های دیگر پژوهشگران است (Abdi, 2014, Mattia et al., 2005) و بدین معنی است که بیشترین مسلح‌سازی در لایه‌های بالایی صورت می‌گیرد (Abdi et al., 2010). الگوی کاهش RAR از تابع لگاریتمی پیروی می‌کند که با گونه‌های سوزنی‌برگ کاشته‌شده و پهن‌برگ در شمال کشور هم‌خوانی دارد (Esmaili et al., 2017). البته در دیگر پژوهش‌ها این به‌صورت تابع نمایی (Abdi et al., 2010) و یا توانی (Majnounian et al., 2014) نیز گزارش شده است. دلیل این تفاوت‌ها را می‌توان به نوع گونه، شرایط محیطی و خصوصیات خاک نسبت داد. همان‌طور که در شکل‌های یک، دو و سه نشان داده شده است مقدار RAR از عمق حدود ۳۰-۲۰ سانتی‌متری کاهش فراوانی دارد که به دلیل کاهش مواد غذایی، هوا و افزایش تراکم خاک در لایه‌های پایین است (Zhong et al., 2016, Ji et al., 2012).

نتایج پژوهش حاکی از این است که در فاصله نزدیک به تنه درختان، پراکنش ریشه نسبت به فواصل دورتر بیشتر است و این روند در هر سه طبقه قطری درختان، دیده می‌شود. در تأیید یافته‌های این پژوهش، مرور منابع نشان می‌دهد که با افزایش فاصله از تنه، مقدار شاخص RAR کاهش می‌یابد (Abernethy and

اهمیت پراکنش مکانی ریشه‌ها را در پایداری دامنه‌ها نشان می‌دهد و با توجه به اینکه ریشه‌ها در لایه‌های سطحی خاک بیشترین مقدار را دارند چسبندگی خاک را حتی در عمق‌های پایین‌تر نیز افزایش می‌دهند (Bischetti *et al.*, 2009). این فرآیند با توجه به تراکم ریشه‌ها کنترل می‌شود که به قطر ریشه‌ها و درختان بستگی دارد. چنین نتایج به‌دست‌آمده از گونه‌هایی که درصد فراوانی بالایی در منطقه دارند، آگاهی ما را در رابطه با نقش گیاهان در پایداری دامنه‌ها افزایش می‌دهد و سبب بهبود مدل‌سازی پایداری خاک در دامنه‌های ناپایدار جنگلی و در نتیجه مدیریت صحیح-تر می‌کند.

خاک بستگی دارد. نتایج این پژوهش نشان داد که بخش اعظم ریشه‌ها در لایه‌های سطحی خاک قرار گرفته است و تراکم ریشه با افزایش عمق خاک و فاصله از درخت کاهش می‌یابد. از سوی دیگر این پژوهش نشان داد که درختان قطورتر ریشه‌های بیشتری داشته و در فواصل طولانی‌تر ریشه‌های آن‌ها گسترده شده است که در پایداری و افزایش مقاومت برشی خاک نقش بسزایی دارند. در واقع حضور ریشه درختان در خاک پایداری خاک را افزایش می‌دهد و مقدار پایداری با تراکم ریشه‌ها رابطه مستقیم دارد. نتایج این پژوهش اطلاعاتی در رابطه با الگوی مکانی پراکنش ریشه‌ها در گونه ممرز و تأثیر آن در بر پایداری دامنه‌ها در اختیار قرار می‌دهد. این پژوهش

References

- Abdi, E., 2014, Effect of oriental beech root reinforcement on slope stability (Hyrcanian Forest, Iran), *Journal of Forest Science*, 60(4): 166-173.
- Abdi, E., B. Majnounian, M. Genet & H. Rahimi, 2010. Quantifying the effects of root reinforcement of Persian Ironwood (*Parrotia persica*) on slope stability: a case study: hillslope of Hyrcanian forests, northern Iran, *Ecological Engineering*, 36(10): 1409-1416.
- Abernethy, B. & I. D. Rutherford, 2001. The distribution and strength of riparian tree roots in relation to riverbank reinforcement, *Hydrological Processes*, 15(1): 63-79.
- Bischetti, G. B., C. Bassanelli, E. A. Chiaradia, G. Minotta & C. Vergani, 2016. The effect of gap openings on soil reinforcement in two conifer stands in northern Italy, *Forest Ecology and Management*, 359: 286-299.
- Bischetti, G. B., E. A. Chiaradia, T. Epis & E. Morlotti, 2009. Root cohesion of forest species in the Italian Alps, *Plant and Soil*, 324(1-2): 71-89.
- Bischetti, G. B., E. A. Chiaradia, S. Tommaso, B. Speziali, B. Vitali, P. Vullo, A. Zocco, 2005. Root strength and root area ratio of forest species in Lombardy (Northern Italy). *Plant and Soil*, 278: 11-22.
- Chiaradia, E. A., C. Vergani & G. B. Bischetti, 2016. Evaluation of the effects of three European forest types on slope stability by field and probabilistic analyses and their implications for forest management, *Forest Ecology and Management*, 370: 114-129.
- Chiatant, D., M. Sarnataro, S. Fusco, A. Di Dorio & G. S. Scippa, 2003. Modification of root morphological parameters and root architecture in seedlings of *Fraxinus ornus* L. and *Spartium junceum* L. growing on slopes, *Plant Biosystems-An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology*, 137(1): 47-55.
- Cohen, D. & M. Schwarz, 2017. Tree-root control of shallow landslides, *Earth Surface Dynamics*, 5(3): 451-477.
- Daniels, H. E., 1945. The statistical theory of the strength of bundles of threads, *Proceedings of the Royal Society of London Series A*, 183(995): 405-435.
- De Baets, S., J. Poesen, B. Reubens, K. Wemans, J. De Baerdemaeker, B. Muys, 2008. Root tensile strength and root distribution of typical Mediterranean plant species and their contribution to soil shear strength. *Plant and Soil*, 305: 207-226.
- Docker, B. & T. Hubble, 2008. Quantifying root-reinforcement of river bank soils by

- four Australian tree species, *Geomorphology*, 100(3-4): 401-418.
- Esmaili, M., 2016. Comparing the effect of reforested softwood and hardwood tree roots in soil reinforcement (case study: Kheyrod Educational and Research Forest, Nowshahr), University of Tehran, 65 p (In Persian).
 - Esmaili, M., E. Abdi, M. Jafary & B. Majnounian, 2017. Comparison of biotechnical characteristics of root in two forest plantations of *Fraxinus excelsior* and *Picea abies*, *Journal of Forest Research and Development*, 3(3): 237-247 (In Persian).
 - Genet, M., N. Kokutse, A. Stokes, T. Fourcaud, X. Cai, J. Ji & S. Mickovski, 2008. Root reinforcement in plantations of *Cryptomeria japonica* D. Don: effect of tree age and stand structure on slope stability, *Forest Ecology and Management*, 256(8): 1517-1526.
 - Genet, M., A. Stokes, T. Fourcaud, X. Hu & Y. Lu, 2006. Soil fixation by tree roots: changes in root reinforcement parameters with age in *Cryptomeria japonica* D. Don. Plantations, *Interpraevent*: 25-27.
 - Hidalgo, R. C., F. Kun & H. J. Herrmann, 2001. Bursts in a fiber bundle model with continuous damage, *Physical Review E*, 64(6): 1-10.
 - Jerome, I. P., 2011. The Role of Roots in Slope Stability. Forestry Undergraduate Essays/Theses. University of British Columbia, 497 p.
 - Ji, J., N. Kokutse, M. Genet, T. Fourcaud & Z. Zhang, 2012. Effects of spatial variation of tree root characteristics on slope stability. A case study on black locust (*Robinia pseudoacacia*) and arborvitae (*Platycladus orientalis*), stands on the Loess Plateau, China, *Catena*, 92: 139-154.
 - Kazemi, M., E. Abdi, B. Majnounian & H. Yousefzadeh, 2017. The effect of Persian oak species (*Quercus persica*) in soil reinforcement (case study: Tabarok, Bazaft basin), *Journal of Forest and Wood Products*, 70(1): 31-38 (In Persian).
 - Kim, D., S. H. Lee, E. A. Combalicer, Y. Hong & S. Im, 2010. Estimating soil reinforcement by tree roots using the perpendicular root reinforcement model, *International Journal of Erosion Control Engineering*, 3(1): 80-84.
 - Majnounian, B., E. Abdi, M. Foshat & H. Soofi Mariv, 2014. Determining biomechanical properties of poplar (*Populus nigra*) for soil bioengineering purposes, *Journal of Forest and Wood Products*, 67(1): 13-19 (In Persian).
 - Maleki, S., R. Naghdi, E. Abdi & M. Nikooy, 2014. Investigating the amount of reinforcement of *Alnus subcordata* root in order to use in bioengineering, *Iranian Journal of Forest*, 6(1): 49-58 (In Persian).
 - Mattia, C., G. B. Bischetti, F. Gentile, 2005. Biotechnical characteristics of root system of typical Mediterranean species. *Plant and Soil*, 278: 23-32.
 - Moos, C., P. Bebi, F. Graf, J. Mattli, C. Rickli & M. Schwarz, 2016. How does forest structure affect root reinforcement and susceptibility to shallow landslides?, *Earth Surface Process and Landforms*, 41(7): 951-960.
 - Naghdi, R., S. Maleki, E. Abdi, R. Mousavi & M. Nikooy, 2013. Assessing the effect of *Alnus* roots on hillslope stability in order to use in soil bioengineering, *Journal of Forest Science*, 59(11): 417-423.
 - Nicoll, B. C. & D. Ray, 1996. Adaptive growth of tree root systems in response to wind action and site conditions, *Tree Physiology*, 16(11-12): 891-898.
 - Pollen, N. & A. Simon, 2005. Estimating the mechanical effects of riparian vegetation on streambank stability using a fiber bundle model, *Water Resources Research*, 41(7): 1-11.
 - Preti, F. & F. Giadrossich, 2009. Root reinforcement and slope bioengineering stabilization by Spanish Broom (*Spartium junceum* L.), *Hydrology and Earth System Sciences*, 13(9): 1713-1726.
 - Roering, J. J., K. M. Schmidt, J. D. Stock, W. E. Dietrich & D. R. Montgomery, 2003. Shallow landsliding, root reinforcement, and the spatial distribution of trees in the Oregon coast range, *Canadian Geotechnical Journal*, 40(2): 237-253.
 - Sadeghi, S. M. M. & P. Attarod, 2017. Estimation of ecohydrological parameters of trunk and canopy of a *Pinus eldarica* plantation, *Journal of Forest Research and Development*, 3(3): 207-220 (In Persian).
 - Sagheb-Talebi, K. & A. Eslami, 2008. Nature-based silviculture - how can we achieve the equilibrium state in uneven-aged oriental beech stands?. Proceeding of 8th International Symposium, IUFRO Research Group, Hokkaido, Japan. pp. 79-81.

- Salimi Zand, M., E. Abdi, B. Majnounian & S. A. Hoseini, 2017. Effect of pollarding on biotechnical characteristics and reinforcement amount of Lebanon oak (*Quercus libani* Oliv.) roots, *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 25 (2): 298-309 (In Persian).
- Schmid, I. & M. Kazda, 2001. Vertical distribution and radial growth of coarse roots in pure and mixed stands of *Fagus sylvatica* and *Picea abies*, *Canadian Journal of Forest Research*, 31(3): 539-548.
- Schmid, I. & M. Kazda, 2002. Root distribution of Norway spruce in monospecific and mixed stands on different soils, *Forest Ecology and Management*, 159(1-2): 37-47.
- Schwarz, M., D. Cohen & D. Or, 2012. Spatial characterization of root reinforcement at stand scale: Theory and case study, *Geomorphology*, 171: 190-200.
- Schwarz, M., F. Giadrossich & D. Cohen, 2013. Modelling root reinforcement using a root-failure Weibull survival function, *Hydrology and Earth System Sciences*, 17(11): 4367-4377.
- Schwarz, M., P. Lehmann & D. Or, 2010b. Quantifying lateral root reinforcement in steep slopes: from a bundle of roots to tree stands, *Earth Surface Processes and Landform*, 35(3): 354-367.
- Schwarz, M., C. Phillips, M. Marden, I. R. McIvor, G. B. Douglas & A. Watson, 2016. Modelling of root reinforcement and erosion control by 'Veronese' poplar on pastoral hill country in New Zealand, *New Zealand Journal of Forestry Science*, 46(1): 4.
- Schwarz, M., F. Preti, F. Giadrossich, P. Lehmann & D. Or, 2010a. Quantifying the role of vegetation in slope stability: A case study in Tuscany (Italy), *Ecological Engineering*, 36(3): 285-291.
- Schwarz, M., A. Rist, D. Cohen, F. Giadrossich, P. Egorov, D. Büttner, M. Stolz, & J. J. Thormann, 2015. Root reinforcement of soils under compression. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 120(10): 2103-2120.
- Sidle, R. C. & H. Ochiai, 2006. Landslides: processes, prediction, and land use, American Geophysical Union, Washington, DC, USA, 315 p.
- Vergani, C., 2013. Spatial and temporal dynamics of root reinforcement in Alpine forests. PhD thesis. University Degli Studi Di Milano. Milan, Italy, 194 p.
- Vergani, C., E. A. Chiaradia & G. B. Bischetti, 2012. Variability in the tensile resistance of roots in Alpine forest tree species, *Ecological Engineering*, 46: 43-56.
- Vergani, C., M. Schwarz, D. Cohen, J. J. Thormann & G. B. Bischetti, 2014. Effect of root tensile force and diameter distribution variability on root reinforcement in the Swiss and Italian Alps, *Canadian Journal of Forest Research*, 44(11): 1426-1440.
- Vergani, C., M. Schwarz, M. Soldati, A. Corda, F. Giadrossich, E. A. Chiaradia, & C. Bassanelli, 2016. Root reinforcement dynamics in subalpine spruce forests following timber harvest: a case study in Canton Schwyz, Switzerland. *Catena*, 143: 275-288.
- Watson, A. & C. O'Loughlin, 1990. Structural root morphology and biomass of three age-classes of *Pinus radiata*, *New Zealand Journal of Forestry Science*, 20(3): 97-110.
- Wu, T. H., 2013. Root reinforcement of soil: review of analytical models, test results, and applications to design, *Canadian Geotechnical Journal*, 50(3): 259-274.
- Wu, T. H., W. P. McKinnell & D. N. Swantson, 1979. Strength of tree roots and landslides on Prince of Wales Island, Alaska, *Canadian Geotechnical Journal*, 16(1): 19-33.
- Wu, W., 2016. Recent Advances in Modelling Landslides and Debris Flows. Springer, Netherlands, 322 p.
- Zhong, R.H., X. B. He, Y. H. Bao, Q. Tang, J. Z. Gao, D. D. Yan, M. F. Wang, Y. Li, 2016. Estimation of soil reinforcement by the roots of four post-dam prevailing grass species in the riparian zone of Three Gorges Reservoir, China. *Journal of Mountain Science*, 13(3): 508-521.

Roots spatial distribution of *Carpinus betulus* in lowland Hyrcanian forests (Kheyroud forest, Nowshahr)

A. Deljouei¹, E. Abdi^{*2}, B. Majnounian³ and M. Schwarz⁴

1- PhD of Forest Engineering, University of Tehran, Karaj, I.R. Iran. (a.deljouei@ut.ac.ir)

2- Associate Professor, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I.R. Iran. (abdie@ut.ac.ir)

3- Professor, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I.R. Iran. (bmajnoni@ut.ac.ir)

4- Assistant Professor, School of Agricultural, Forest and Food Sciences HAFL, Bern University of Applied Sciences, Zollikofen, Switzerland. (massimiliano.schwarz@bfh.ch)

Received: 24.02.2018

Accepted: 13.05.2018

Abstract

The aim of this study was to assess spatial distribution of roots by *Carpinus betulus* trees in Patom district of Kheyroud forest. For this purpose, five trees at small, medium and large diameter classes were selected randomly (totally 15 trees). In order to measure root area ratio (RAR), three soil profiles were dug at both up and down sides of trees (size 50×100 cm) by wall trench method at the horizontal distance of 1, 2, and 3.5 m from tree stem (totally 90 profiles). 10 cm horizons were identified on wall trenches and all of the root diameters were measured. Finally, RAR was calculated for each soil horizon. The RAR was decreased logarithmically by increasing the soil depth. The results of ANCOVA showed significant difference between roots distribution at small, medium and large classes. The results of t-test showed that the value of the index at first, second and third trenches wall of small class at upside significantly more than down side. At medium diameter class only third trench of upside significantly more than down side. At large diameter class, first trench of upside was significantly greater than first trench of down side. The results of this study increase our information about vegetation role in stabilizing slopes and will improve the modeling of slope stability accordance to the DBH classes.

Keywords: Wall trench method, Root area ratio, Small diameter, Medium diameter, Large diameter.

* Corresponding author

Tel: +982632223044