

بررسی سامانه ریشه درختان گز در جهت جریان رودخانه، به منظور استفاده‌های کاربردی در پایداری شیب‌ها

علیرضا حسینی^{۱*}، محمود شفاعی بجستان^۲

۱. هیئت علمی گروه مهندسی آب دانشگاه ایلام

۲. استاد دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۴/۴ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۴/۱۰/۵)

چکیده

برای برآورد تأثیر ریشه درختان در افزایش مقاومت برشی خاک و پایداری شیب ساحل رودخانه‌ها، بررسی سامانه ریشه لازم است. هدف از انجام این تحقیق بررسی سامانه ریشه درختان گز ساحلی در جهت جریان رودخانه می‌باشد. به این منظور، تعداد ۵ پایه درخت گز، در بازه‌ی نسبتاً مستقیمی از رودخانه سیمره، در محدوده استان ایلام انتخاب شد. برای بررسی سامانه ریشه، از روش حفاری ترانشه‌ی دوار استفاده گردید. تعداد و قطر ریشه‌ها در ناحیه بالایی و پایینی پایه‌ها روی ساحل اندازه‌گیری شد. در جهت جریان، بالادست درخت، ناحیه بالایی و پایین‌دست نیز ناحیه پایینی نام‌گذاری شد. بررسی‌ها نشان داد که تعداد ریشه‌ها در ناحیه بالایی ۱۱/۶ درصد بیشتر از ناحیه پایینی است. در همه رده‌ها (اندازه قطر-های مختلف) درصد تعداد ریشه‌ها در ناحیه بالایی بیشتر از ناحیه پایینی می‌باشد. متوسط قطر ریشه‌ها در ناحیه بالایی بیشتر از ناحیه پایینی است. در ناحیه بالایی، ریشه‌های قطورتر، درصد بیشتری از کل قطر ریشه‌های این ناحیه را تشکیل می‌دهد. در حالی که در ناحیه پایینی، درصد ریشه‌های باریک‌تر بیشتر است. مجموع سطح مقطع ریشه‌ها در ناحیه بالایی، ۲۳ درصد بیشتر از مجموع سطح مقطع ریشه‌ها، در ناحیه پایینی است. نتایج این تحقیق نشان داد که جریان رودخانه بر توزیع سامانه ریشه درختان ساحلی گز مؤثر است.

واژه‌های کلیدی: زیست مهندسی خاک، مهندسی رودخانه، مقاومت برشی خاک، حفاظت سواحل، رودخانه سیمره.

مقدمه

رودخانه‌ها یکی از مهمترین منابع آبی دنیا هستند که نقش و اهمیت آنها در توسعه زندگی بشری سبب شده است که همواره تمدن‌های بزرگ انسانی در کنار رودخانه بوجود آیند. رودخانه‌ها بستر جریان یکی از بزرگترین نیروهای مخرب طبیعی (سیلاب-ها) هستند که پوشش‌های گیاهی به صورت هیدرولوژیکی و مکانیکی در کاهش خسارت‌های ناشی از آن موثراند (Docker and Hubble, 2008; Simon and Collison, 2002). افزایش جمعیت و نیاز به یافتن منابع جدید، انسان را به تصرف در حریم رودخانه‌ها و بهم‌زدن تعادل اکولوژیکی آنها وادار نموده است. برخی کشورها در دهه ۱۹۷۰، برای کاهش زبری آبراهه‌ها و به دنبال آن افزایش سرعت جریان و کاهش ارتفاع سیلاب، به منظور حفاظت تأسیسات زیربنایی از آب‌گرفتگی، اقدام به پاک‌سازی سواحل از درختان و بازمانده‌های گیاهی نمودند. بررسی‌ها نشان می‌دهد که در طول دهه ۱۹۸۰ تا ۱۹۹۰ قطع درختان ساحلی سبب عریض‌تر شدن و عمیق‌تر شدن رودخانه‌ها

شده است (Hubble et al., 2010). با وجود اینکه فرسایش یک پدیده طبیعی است اما از بین رفتن پوشش‌های گیاهی، سبب تشدید پدید فرسایش می‌شود. ناپایداری ساحل رودخانه؛ با فرسایش سطحی (Sub-aerial erosion) آغاز و در ادامه پدیده آبشستگی (Scouring) و سپس لغزش (Slumping) رخ می‌دهد (Docker and Hubble, 2008). این پدیده سبب از بین رفتن بخشی از زمین‌های حاصل‌خیز کشاورزی، افزایش رسوبات ته-نشین شده در دریاچه‌ی سدهای مخزنی، تخریب تأسیسات آبیگری از رودخانه، تخریب پایه پل‌ها و راه‌ها، افزایش هزینه تصفیه آب شرب و تغییرات زیست‌محیطی می‌شود. فرسایش کناره‌های رودخانه، به صورت خطی و در طول نسبتاً زیادی از آبراهه اتفاق می‌افتد که تثبیت سازه‌ی آن به دلیل بالا بودن هزینه‌ها تنها به صورت موضعی امکان‌پذیر است؛ بنابراین برای کاهش این پدیده، احیاء مجدد پوشش‌های گیاهی کنار رودخانه‌ها ضروری است. در چند دهه اخیر استفاده از پوشش‌های گیاهی، بنام روش‌های زیست‌مهندسی خاک (Soil Bioengineering) در حال گسترش است. معمولاً بیشتر مهندسان به‌طور سنتی استفاده از مصالح سخت (سازه‌ی) را برای پایداری شیب‌ها و جلوگیری از فرسایش انتخاب می‌کنند.

سازه‌ای اثر بخشی بیشتری دارد؛ به عبارت دیگر این دو روش مکمل یکدیگرند.

اثر مکانیکی ریشه در پایداری شیب‌ها، بیشتر از اثر هیدرولوژیکی گزارش شده است (Bischeti, 2009). Chiatante. *et al.* (2003) به این نتیجه رسیدند که گیاهانی که در مناطق مسطح می‌رویند، دارای ساختار ریشه‌ای متقارن هستند. گیاهان برای برقراری تعادل نیروها، سامانه ریشه را به صورت نامتقارن توسعه می‌دهند. تعدادی از محققان بیشترین تعداد ریشه‌ها را در سمت پایین شیب و برخی بیشترین تعداد را در بالای شیب گزارش کردند (Mattia, *et al.*, 2005; Nicoll and Ray, 1996). نیروهای مؤثر بر سامانه ریشه، نیروی وزن، باد و شیب گزارش شده است (Di Iorio *et al.*, 2005). حجم ریشه درختان (در قطر برابر سینه یکسان) در روی شیب‌ها بیشتر از حالت مسطح می‌باشد. در روی شیب، درختان تمایل به افزایش تعداد ریشه‌ها و جابجایی مرکز ثقل به سمت بالادست شیب دارند. در دامنه‌های کم شیب، بیشترین تعداد ریشه‌ها در سمت پایین شیب گزارش شده است.

یکی از عوامل محدودیت ساز در استفاده از فنون زیست-مهندسی، عدم آگاهی از ویژگی‌های سیستم ریشه گونه‌های مختلف و خواص مکانیکی آنها و مکانیزم مسلح سازی می‌باشد. بنابراین مشخص کردن سامانه ریشه‌ی گونه‌های مختلف گیاهی شاخص مؤثری به منظور انتخاب گونه مناسب برای مسلح کردن خاک و تعیین تأثیر گونه‌های مختلف در پایداری سواحل رودخانه‌ها می‌باشد. اطلاعات موجود در مورد اثر ریشه درختان ساحلی رودخانه‌های ایران بر میزان مسلح سازی شیب کناره‌ها بسیار اندک است. هدف از انجام این تحقیق، بررسی تأثیر جریان رودخانه بر سامانه ریشه درختان گز ساحلی در بازه‌ی نسبتاً مستقیمی از رودخانه سیمره، در محدوده استان ایلام، می‌باشد.

روش انجام تحقیق

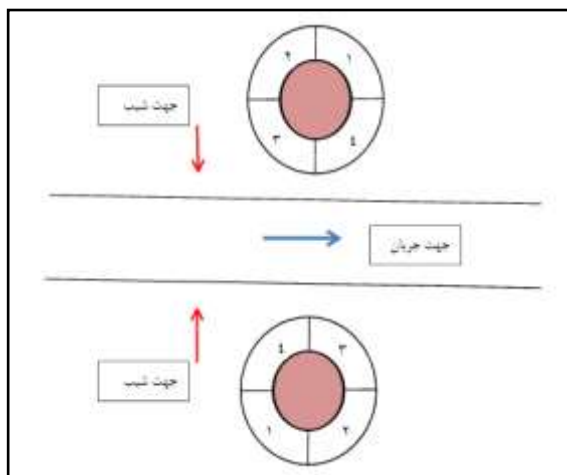
برای بررسی سامانه ریشه درختان ساحلی، بازه‌ی نسبتاً مستقیمی به طول یک کیلومتر از ساحل رودخانه سیمره واقع در استان ایلام - شهرستان دره‌شهر - روستای وحدت آباد انتخاب شد. این رودخانه یکی از سرشاخه‌های اصلی رودخانه کرخه است. نزدیک‌ترین ایستگاه آب‌سنجی به محل طرح، ایستگاه نظرآباد با ۲۶' و ۴۷° طول و ۱۱' و ۳۳° عرض جغرافیایی می‌باشد. متوسط بارندگی سالیانه ۴۴۱/۸ میلی‌متر، متوسط درجه حرارت سالیانه ۲۰/۲ سانتی‌گراد، متوسط تبخیر و تعرق سالیانه ۱۸۷۴/۲ میلی‌متر، متوسط سالانه رطوبت نسبی ۶۱/۷ درصد، متوسط سالیانه سرعت باد ۳/۴ متر بر ثانیه و بر اساس تقسیم‌بندی دومارتن و آمبرژه محدوده طرح، دارای اقلیم

در صورتی که استفاده از روش‌های زیست‌مهندسی خاک، در مراحل ابتدای فرسایش، با هزینه کمتری امکان پذیر است (Julien, 1955). در روش‌های زیست‌مهندسی خاک با گذشت زمان پایداری شیب‌ها افزایش می‌یابد و در صورت آسیب‌دیدگی، توانایی احیاء دوباره‌ی خود را دارند (Abernethy and Rutherford, 2001). ریشه می‌تواند ضریب ایمنی پایداری را نسبت به خاک بدون ریشه افزایش دهد (Hosseini *et al.*, 2014). ریشه‌ها با اتصال لایه‌های سطحی خاک به لایه‌های عمیق‌تر و سنگ بستر از فرسایش و لغزش توده خاک جلوگیری می‌کنند (Bischeti, *et al.*, 2005). در ساحل رودخانه‌ها، بیشتر رانش‌ها در عمق‌های کم ۱ تا ۱/۵ متری اتفاق می‌افتد. این عمق تقریباً برابر عمق توسعه ریشه بیشتر گونه‌های درخت و درختچه‌هایی است که در منابع مختلف به آنها اشاره شده است. ریشه‌های موجود در خاک از طریق؛ افزایش میزان نفوذپذیری، کاهش فشار آب منفذی، جذب رطوبت، افزایش مقاومت برشی، ایجاد چسبندگی در بین ذرات خاک و حضور مواد آلی، شدت فرسایش خاک را کاهش می‌دهد (Docker and Hubble, 2008; Cofie and Koolen; 2001). یکی از ویژگی‌های مهم مکانیکی ریشه‌ها، مقاومت قابل توجه آنها در برابر کشش است. مقاومت فشاری خاک زیاد و مقاومت کششی آن ضعیف است، بنابراین ترکیب خاک و ریشه باعث افزایش مقاومت برشی توده خاک می‌شود. هنگامی که خاک تحت برش قرار می‌گیرد، نیروی وارده در اثر چسبندگی بین خاک و ریشه به ریشه‌ها منتقل می‌شود. ریشه نیز از طریق مقاومت کششی در برابر نیروی وارده مقاومت می‌کند. مشخصه‌هایی از قبیل؛ ویژگی‌های مرفولوژیکی ریشه‌ها (توزیع سامانه ریشه نسبت به قطرهای مختلف، توزیع ریشه نسبت به سطح مقطع و توزیع ریشه نسبت به عمق)، مقاومت کششی ریشه‌ها، مدول کششی ریشه (Root tensile modulus values) انحناء ریشه (Root tortuosity)، اصطکاک داخلی خاک-ریشه و جهت ریشه نسبت به جهت کشیدگی، در اندازه مسلح سازی خاک توسط ریشه‌ها مؤثر است (Bischeti, 2009). بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهد که ریشه‌های باریک‌تر (با قطر ۲۰-۱ میلی‌متر) نسبت به ریشه‌های ضخیم‌تر دارای مقاومت کششی بیشتری هستند (Bischeti, 2009; Cofie and Koolen, 2001). بنابراین تعداد بیشتری از ریشه‌های نازک‌تر در مقایسه با تعداد کمتر ولی قطورتر از ریشه‌ها، اثر مسلح سازی بهتری در خاک دارند (Davoudi and Fatemi, 2009). زیست‌مهندسی خاک علاوه بر کارکردهای فنی، سبب تجدید حیات طبیعی آبراه‌ها نیز می‌شود (Abernethy and Rutherford, 2001). استفاده از این روش به همراه روش‌های

ساعت) شماره گذاری شدند. با این فرض، در جهت جریان و برای ساحل راست رودخانه، ربع‌های اول و چهارم ناحیه بالایی پایه و ربع‌های دوم و سوم ناحیه پایینی پایه را تشکیل دادند. عمق ترانشه بر حسب حداکثر عمق ریشه‌دوانی و شرایط منطقه تعیین گردید. حفاری به روش‌های معمول دستی انجام شد. سطح ترانشه، در راستای قائم، به افق‌های ۱۰ سانتی‌متری تقسیم شد. به طور مشابه در راستای افق، انحناء ترانشه به بخش‌های ۱۰ سانتی‌متری نیز افزاز گردید. بعد از شبکه بندی سطح ترانشه به تفکیک هر ربع، شمارش تعداد و اندازه‌گیری قطر ریشه‌ها برای مختصات‌های ۱۰×۱۰ سانتی‌متری انجام شد. قطر ریشه‌ها با استفاده از قطرسنج (کولیس) اندازه‌گیری شد. شکل حفاری و چگونگی بررسی سامانه ریشه در شکل (۲ و ۳) نشان داده شده است. برای تجزیه و تحلیل آماری داده‌های سامانه ریشه، از نرم افزار اسپاس (SPSS) استفاده شد. مقایسه‌ی تعداد، قطر و نسبت سطح مقطع ریشه در جهت جریان بر حسب ناحیه بالایی و پایینی پایه‌ها انجام شد.



شکل ۱- وضعیت کلی بازه مورد مطالعه - رودخانه سیمره - شهرستان دره- شهر



شکل ۲- آرایش ربع‌ها در ساحل راست و چپ رودخانه

نیمه‌خشک معتدل می‌باشد. مساحت حوزه بالادست در ایستگاه نظرآباد حدود ۲۸/۵ هزار کیلومترمربع، با شیب متوسط ۱۷/۴ درصد است. شیب متوسط آبراهه ۰/۲ درصد و طول آن ۵۵۶ کیلومتر می‌باشد. متوسط آبدهی سالانه رودخانه در ایستگاه نظرآباد ۱۲۲ مترمکعب در ثانیه است. بیشترین میزان آبدهی در فروردین ماه با متوسط ۲۸۵ و کمترین در مهر ماه با متوسط ۵۷/۳ مترمکعب در ثانیه می‌باشد. حداکثر سیلاب لحظه‌ای رودخانه با دوره برگشت ۵۰ ساله ۴۰۸۷ مترمکعب در ثانیه، متوسط رسوب ویژه رودخانه در ایستگاه ذکر شده ۵۳۴ تن در سال در کیلومترمربع است. رودخانه سیمره در بازه‌ی مورد نظر به عنوان یک رودخانه بالغ تلقی می‌گردد و از نظر شکل ظاهری در گروه رودخانه‌های مارپیچی و یا پیچان‌رودی قرار می‌گیرد (watwresources m.co., 2009 Iran).

یکی از عوامل مؤثر در موفقیت طرح‌های زیست‌مهندسی خاک، انتخاب درست گونه درختی است. گونه انتخاب شده بایستی با شرایط محیطی منطقه سازگار باشد؛ بنابراین بهترین راه برای انتخاب درخت و یا درختچه‌های مناسب با هدف مسلح‌سازی خاک، استفاده از گونه‌های بومی است (Hubble et al., 2010). برای شناسایی گونه‌های غالب حاشیه رودخانه سیمره، پیمایش‌های فراوانی در طول ساحل انجام گرفت. نتایج بررسی‌ها نشان داد که درخت گز یکی از گونه‌های غالب در رویشگاه‌های حاشیه رودخانه سیمره است. در انتخاب مکان پژوهش چند نکته اساسی مورد توجه قرار گرفت: (۱) دسترسی به مکان پژوهش امکان‌پذیر باشد، (۲) از این گونه‌ی درخت به اندازه نیاز طرح وجود داشته باشد، (۳) بازه انتخابی ترجیحاً مستقیم باشد، (۴) تراکم پوشش و فاصله درختان به اندازه‌ی باشد که امکان کار کردن در بین آنها وجود داشته باشد. (۵) سن درختان انتخاب شده نزدیک به هم باشد و (۶) تأثیر پوشش گیاهی در افزایش پایداری ساحل مشاهده شود. در شکل (۱) منطقه انجام تحقیق نشان داده شده است. در طول این بازه، پایه‌های مناسب برای انجام تحقیق شناسایی و شماره گذاری شدند. از بین ۱۲ پایه درخت گز شماره گذاری شده، تعداد ۵ پایه روی ساحل به روش کاملاً تصادفی انتخاب گردید. برای بررسی سامانه ریشه از روش مقطع پروفیل دایره‌ای استفاده شد. این روش با اندکی تفاوت مشابه روش مقطع پروفیل است (Abdi, 2009). برای این منظور در فاصله ۰/۵ متری از تنه درخت، ترانشه‌ای به شکل دایره کنده شد. روی مقطع عرضی ترانشه دستگاه مختصات قائم تعریف گردید. محورهای مختصات به گونه‌ای در نظر گرفته شدند که یکی از محورها بر ساحل رودخانه عمود و محور دیگر موازی ساحل و جریان عمومی آبراهه باشد. ربع‌ها در جهت مثلثاتی (خلاف جهت عقربه‌های

درختان برای برقراری تعادل بین نیروهای مکانیکی، سیستم ریشه را به طور ناهمگن توسعه می‌دهند. در جهت جریان، نیروی دراگ ناشی از وقوع سیلاب‌ها و دبی پایه آبراهه، عامل برهم زنده تعادل نیروهای مکانیکی است. به همین دلیل، درختان گز برای پایداری، سامانه ریشه را در جهت بالادست جریان توسعه می‌دهند. هر اندازه سیستم ریشه توسعه یافته‌تر و سن درخت بالاتر باشد تأثیرپذیری آنها از جریان کمتر می‌شود. دوری و نزدیکی درختان به ساحل رودخانه، حداقل رقوم سطح آب رودخانه در دوره‌های خشکسالی و جهت و سرعت وزش باد از دیگر عواملی هستند که ممکن است سامانه ریشه را تحت تأثیر قرار دهند.

تحقیقات Shafai-Bejestan and (2005) Di Iorio *et al*، Salimi-Golsheikh (2002) Abdi (2009) نشان می‌دهد که با افزایش عمق تعداد ریشه‌ها کاهش می‌یابد؛ اما نتایج این تحقیق نشان داد که تعداد ریشه‌ها در جهت عمق ابتدا افزایش و سپس کاهش می‌یابد. Chiatante *et al.* (2003) و Nicoll and Ray (1996) بیش‌ترین تعداد ریشه را در بالای شیب و Nicoll *et al.* (1995) در ناحیه پایین‌دست شیب گزارش نمودند و با توجه به یکسان بودن گونه مورد آزمایش علت این اختلاف را وزش بادهای غالب عنوان نموده‌اند (Abdi, 2009). با توجه به اثر شیب بر روی سامانه ریشه که بیشتر ناشی از اثر نیروی وزن می‌باشد، با دلیلی مشابه، می‌تواند نامتقارنی سامانه ریشه در جهت جریان را ناشی از اثر نیروی جریان دانست. Chiatante *et al.* (2003) نامتقارنی سامانه ریشه را نوعی سازگاری پیچیده و دقیق برای تعدیل توزیع و انتقال تنش‌های مکانیکی توسط ریشه به خاک بیان می‌کند. مشاهدات میدانی نشان می‌دهد که درختانی که دارای اندام هوایی انعطاف پذیرتری هستند دارای سامانه ریشه نامتقارن‌تری در جهت جریان می‌باشند.

برای اینکه بتوان تعداد ریشه‌ها را بر حسب قطرهای مختلف مورد بررسی قرار داد، همانند جدول (۲) ریشه‌ها در ۵ رده قطری، دسته‌بندی شدند. بررسی‌ها نشان داد که برای همه رده‌های قطری، تعداد ریشه در ناحیه بالایی پایه‌ها بیشتر از ناحیه پایینی است. بیش‌ترین تعداد ریشه‌ها مربوط به رده ۱ و کمترین آن مربوط به رده ۵ می‌باشد. این ویژگی در جدول (۳) نشان داده شده است.

بررسی تعداد ریشه‌ها در ناحیه بالایی و پایینی پایه‌ها برای رده‌های مختلف در شکل‌های (۵ و ۶) نشان داده شده است.



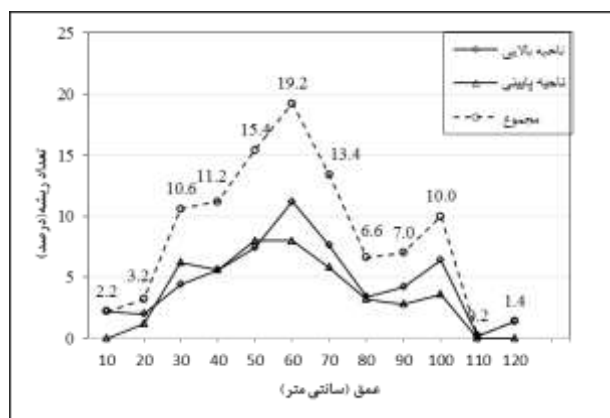
شکل ۳- روش مقطع پروفیل دایره‌ای

نتایج و بحث

تعداد ریشه‌ها:

در این پژوهش بررسی سامانه ریشه تا حداکثر عمق ۱۲۰ سانتی‌متر انجام شد. با افزایش عمق ابتدا تعداد ریشه در افق‌های ۱۰ سانتی‌متری، افزایش و سپس کاهش می‌یابد. در عمق ۶۰ سانتی‌متر بیشترین تعداد ریشه‌ها وجود داشت. بررسی‌ها نشان داد که در ناحیه بالایی جریان (نواحی ۲-۳ و ۴-۱ شکل ۲)، عمق نفوذ و تراکم ریشه در افق‌های پایین‌تر نسبت به ناحیه پایینی بیشتر است. شکل (۴) تعداد ریشه در افق‌های مختلف را نشان می‌دهد.

بررسی تعداد ریشه‌های ۵ پایه نشان داد که از ۵۰۲ عدد ریشه مشاهده شده، ۵۵/۸ درصد در ناحیه بالایی و ۴۴/۲ درصد در ناحیه پایینی جریان قرار دارند. از این رو در جهت جریان تعداد ریشه‌ها در ناحیه بالایی پایه‌ها ۱۱/۶ درصد بیشتر از ناحیه پایینی است. متوسط تعداد ریشه برای افق‌های ۱۰ سانتی‌متری در ناحیه بالایی بیشتر از ناحیه پایینی است. این مقدار به ترتیب ۲/۷۵ و ۲/۱۸ عدد ریشه می‌باشد. آماره‌های توصیفی تعداد ریشه بر حسب نواحی بالایی و پایینی جریان در جدول (۱) نشان داده شده است.



شکل ۴- تغییر تراکم ریشه نسبت به عمق

جدول ۱- آماره‌های توصیفی تعداد ریشه بر حسب نواحی بالایی و پایینی جریان

گونه	ناحیه	تعداد افق	تعداد ریشه	میانگین	انحراف معیار	کمینه	بیشینه	انحراف معیار	ضریب کشیدگی	نسبت تعداد ریشه (درصد)
گزن	ناحیه بالایی جریان	۱۰۲	۲۸۰	۲/۷۵	۰/۳۲	۰	۱۴	۳/۱۹	۱/۴۶	۵۵/۸
	ناحیه پایینی جریان	۱۰۲	۲۲۲	۲/۱۸	۰/۲۷	۰	۹	۲/۶۹	۱/۱۵	۴۴/۲
	کل	۲۰۴	۵۰۲	۲/۴۶	۰/۲۱	۰	۱۴	۲/۹۶	۱/۳۸	۱۰۰/۰

جدول ۲- رده‌بندی ریشه‌ها

رده	دسته قطر (میلی‌متر)
۱	۱-۳
۲	۳-۵
۳	۵-۱۰
۴	۱۰-۲۰
۵	۲۰-۵۰

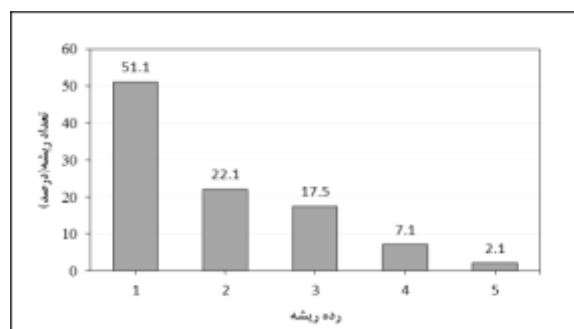
جدول ۳- تعداد ریشه بر حسب رده در ناحیه بالایی و پایینی پایه‌ها

رده	۱	۲	۳	۴	۵	جمع
ناحیه بالایی	۲۸/۵	۱۲/۴	۹/۷	۴/۰	۱/۲	۵۵/۸
ناحیه پایینی	۱۲/۵	۱۲/۰	۸/۷	۳/۶	۰/۴	۴۴/۲
جمع	۴۸	۲۴/۴	۱۸/۴	۷/۶	۱/۶	۱۰۰

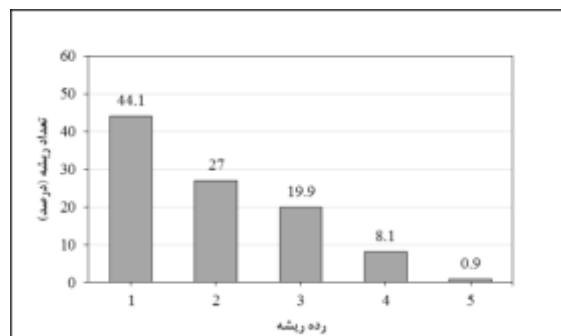
ترتیب، ۴۴/۱ و ۰/۹ درصد می‌باشد. در سایر رده‌ها، تعداد ریشه‌ها در ناحیه پایینی نسبت به ناحیه بالایی درصد بیشتری از کل ریشه‌های هر ناحیه را تشکیل می‌دهند؛ بنابراین در ناحیه بالایی، ریشه‌های باریک‌تر و قطورتر، درصد بیشتری از کل ریشه‌ها را تشکیل می‌دهد.

نسبت سطح مقطع ریشه‌ها

در بسیاری از پژوهش‌ها برای بررسی پراکنش ریشه‌ها از شاخص نسبت سطح ریشه استفاده شده است (Abernethy, 2001; Rutherford, 2010; Hubble et al., 2010). این شاخص تحت تأثیر عمق، گونه و شرایط محیطی قرار دارد و نشان دهنده وضعیت مسلح سازی ریشه‌ها در عمق‌های مختلف می‌باشد (De Baets et al., 2008; Bischetti et al., 2005). محاسبه نسبت سطح مقطع ریشه‌ها نشان داد که در افق‌های ۱۰ سانتی-متری، با افزایش عمق، متوسط سطح مقطع ریشه‌ها ابتدا افزایش و سپس کاهش می‌یابد. حداکثر متوسط سطح مقطع ریشه‌ها در عمق ۶۰-۵۰ سانتی‌متری رخ می‌دهد. این روند توسط Shafai-Bejestan and Salimi-Golsheikhi (2002)، برای گونه گزن و پده در ساحل رودخانه کارون نیز گزارش شده



شکل ۵- تعداد ریشه بر حسب رده در ناحیه بالایی پایه



شکل ۶- درصد تعداد ریشه بر حسب رده در ناحیه پایینی پایه

در ناحیه بالایی، ۵۱/۱ درصد ریشه‌ها در رده ۱ و ۲/۱ درصد در رده ۵ قرار دارند. در ناحیه پایینی این مقادیر به

در ناحیه بالایی و پایینی به ترتیب ۹۹/۵ و ۲۶/۶ میلی‌مترمربع است. ۶۱/۴ درصد مجموع سطح مقطع ریشه‌ها در ناحیه بالایی و ۳۸/۶ درصد در ناحیه پایینی قرار دارد؛ به عبارت دیگر مجموع سطح مقطع ریشه‌ها در ناحیه بالایی ۲۳ درصد بیشتر از ناحیه پایینی پایه‌ها است. بین سطح مقطع ریشه‌ها و افزایش مقاومت برشی خاک در اثر حضور ریشه، رابطه مستقیمی وجود دارد. به همین دلیل برای برقراری تعادل نیروها و افزایش پایداری شیب ساحل، سطح مقطع ریشه‌ها در بالادست شیب بیشتر است. آماره‌های توصیفی سطح مقطع ریشه‌ها در نواحی بالادست و پایین‌دست جریان در جدول (۴) نشان داده شده است.

است. Bischetti *et al.* (2001) Abernethy and Rutherford (2005) نسبت سطح ریشه در پروفیل‌ها را برای یک گونه درخت ۰/۱۰-۰/۳۵ درصد، *Mattia et al.* (2005) برای بوته ۰/۰۹-۰/۰۰۱ درصد، *Abernethy and Rutherford* (2001) برای یک گونه درختی ۰/۰۱-۰/۸۶ درصد، *De Baets et al.* (2008) برای یک گونه درختچه‌ای ۰/۰۲-۰/۷۵ درصد و *Abdi* (2009) برای سه گونه از درختان جنگلی ۰/۰۰۴-۶۵/۶ درصد، آدهیکاری و همکاران (۲۰۱۳)، متوسط نسبت سطح ریشه را برای چهار گونه از درختان ساحلی در کلرادو را ۰/۴۶ درصد گزارش نموده‌اند. میانگین سطح مقطع ریشه در افق‌های ۱۰ سانتی‌متری

جدول ۴- آماره‌های توصیفی نسبت سطح ریشه بر حسب نواحی بالایی و پایینی جریان

گونه	ناحیه	تعداد افق	میانگین (درصد)	انحراف معیار میانگین	کمینه	بیشینه	انحراف معیار	ضریب کشیدگی
ناحیه بالایی جریان	۱۰۲	۰/۱۲۷	۰/۲۸	۰/۰	۲/۰۳	۰/۲۸	۴/۲	
ناحیه پایینی جریان	۱۰۲	۰/۰۸۰	۰/۱۵	۰/۰	۰/۹۰	۰/۱۵۴	۲/۹	
کل	۲۰۴	۰/۱۰۳	۰/۱۶	۰/۰	۲/۰۳	۰/۲۳	۴/۶	

ناحیه بالایی نسبت به ناحیه پایینی درصد بیشتری از کل ریشه‌ها را تشکیل می‌دهد. در جدول (۶) این مقایسه نشان داده شده است.

در نواحی بالایی و پایینی جریان، سطح مقطع ریشه‌ها بر حسب رده، مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که مجموع سطح مقطع ریشه‌ها برای قطرهای بیش از ۲۰ میلی‌متر در ناحیه بالایی ۴۳/۴ درصد و در ناحیه پایینی تنها ۵/۸ درصد است. از این رو سطح مقطع ریشه‌های مربوط به قطرهای ۱ تا ۲۰ میلی‌متر در ناحیه پایینی، نسبت به قطرهای متناظر در ناحیه بالایی، بیشتر است. در جدول (۵)، سطح مقطع ریشه‌ها بر حسب رده‌های مختلف برای ناحیه بالایی و پایینی پایه‌ها نشان داده شده است.

جدول ۶- مجموع سطح مقطع ریشه‌ها بر حسب رده و ناحیه

رده	۱	۲	۳	۴	۵	جمع
ناحیه بالایی	۱/۷	۳/۹	۱۰/۵	۱۸/۷	۲۶/۷	۶۱/۵
ناحیه پایینی	۱/۵	۳/۷	۷/۹	۱۸/۱	۷/۳	۳۸/۵
جمع	۳/۲	۷/۶	۱۸/۴	۳۶/۸	۳۴	۱۰۰

جدول ۵- درصد سطح مقطع ریشه‌ها بر حسب رده‌های مختلف در ناحیه

بالایی و پایینی پایه‌ها

ناحیه پایینی	ناحیه بالایی	رده
۱۷/۶	۲/۸	۱
۲۲/۳	۶/۳	۲
۲۷/۷	۱۷/۱	۳
۲۴/۶	۳۰/۳	۴
۵/۸	۴۳/۴	۵
۱۰۰	۱۰۰	جمع

نتیجه‌گیری
برای برآورد افزایش مقاومت برشی خاک و افزایش پایداری شیب ساحل رودخانه در اثر حضور ریشه‌ها، بررسی سامانه ریشه‌ها لازم است. هدف از انجام این پژوهش بررسی سامانه ریشه درختان گزر در جهت جریان روی ساحل رودخانه می‌باشد. بررسی‌ها نشان داد که با افزایش عمق تعداد و مجموع سطح مقطع ریشه‌ها ابتدا افزایش و سپس کاهش می‌یابد و بیشینه آن در عمق ۵۰ تا ۶۰ سانتی‌متر وجود دارد. تعداد ریشه‌ها در ناحیه بالایی نسبت به ناحیه پایینی پایه‌ها، ۱۱/۶ درصد بیشتر است. برای اندازه قطرهای مختلف درصد تعداد ریشه در ناحیه بالایی بیشتر از ناحیه پایینی است. در ناحیه بالایی، ریشه‌های قطورتر

بررسی مجموع سطح مقطع ریشه‌ها در رده‌های مختلف، نشان داد که در همه اندازه‌های قطری، سطح مقطع ریشه در

نتایج این تحقیق نشان داد که سامانه ریشه درختان گز ساحل رودخانه سیمره در جهت جریان نامتقارن است.

سپاسگزاری

این مطالعه بخشی از طرح پژوهشی شرکت آب منطقه‌ای ایلام می‌باشد که به این وسیله از کمک‌های مالی آن شرکت تشکر و قدردانی به عمل می‌آید.

درصد بیشتری از کل قطر ریشه‌های این ناحیه را تشکیل می‌دهند. در حالی که در ناحیه پایینی درصد ریشه‌های باریک‌تر بیشتر است.

متوسط و مجموع سطح مقطع ریشه‌ها در ناحیه بالایی بیشتر از ناحیه پایینی است. مجموع سطح مقطع ریشه‌ها در ناحیه بالایی ۲۳ درصد از سطح مقطع ریشه‌ها در ناحیه پایینی بیشتر است.

REFERENCES

- Abdi, E. (2009). An investigation of the effect of tree roots in slope stability in order to use in practical Forest Road Construction and Bioengineering. Ph.D dissertation, University of Tehran, Faculty of Natural Resources, Department of Forestry. (In Farsi)
- Abernethy, B., and Rutherford, I.D., 2001, The distribution and strength of riparian tree roots in relation to riverbank reinforcement, *Hydrological Processes*, 15: 63–79
- Bischetti, G.B., Chiaradia, E.A., Simonato, T., Speziali, B., Vitali, B., Vullo, P., and Zocco, A., (2005), Root strength and root area ratio of forest species in Lombardy (Northern Italy), *Plant and Soil*, 278:11–22.
- Bischetti, G. B., (2009), Root cohesion of forest species in the Italian ALPS, *Plant soil*, 324:71–89.
- Chiatante, D. Scippa, G. S., Di Dorio, A., Sarnataro, M., (2003), The influence of steep slope on root system development, *Journal of Plant Growth Regulation*, 21: 247–260.
- Cofie, P. and Koolen, A. J., (2001), Test speed and other factors affecting the measurements of tree root properties used in soil reinforcement models, *Soil and Tillage Research*, 63: 51–56.
- Davoudi, M.H. and Fatemi Aqda, M., (2008), Effect of Diameter and Density of Willow Roots on Shear Resistance of Soils, *Journal of Geosciences*, Vol. 18, No. 71. (In Farsi)
- De Baets, S., Poesen, J., Reubens, B., Wemans, K., De Baerdemaeker, J., and Muys, B., (2008), Root tensile strength and root distribution of typical Mediterranean plant species and their contribution to soil shear strength, *Plant Soil*, 305: 207–226.
- Docker, B. B. and Hubble, T. C. T., (2008), Quantifying root-reinforcement of river bank soils by four Australian tree species, *Geomorphology*, 100: 401–418.
- Di Iorio, A. Lasserre. B., Scippa, G. S., and Chiatante, D., (2005), Root System Architecture of *Quercus pubescens* Trees Growing on Different Sloping Conditions, *Annals of Botany*, 95: 351–361.
- Hubble, T. C. T., Docker, B. B., and Rutherford, I. D., (2010), The role of riparian trees in maintaining riverbank stability: A review of Australian experience and practice, *Ecological Engineering*, 36: 292–304.
- Hosseini, A.R., M. Shafai-Bajestan and Musavi, S.H. (2014). Investigation of Root System of *Tamarix* Trees on Slope of SAIMERH Riverbanks. *Journal of Irrigation Sciences and Engineering*, 36(4), 98 -100. (In Farsi)
- Hosseini, A.R. (2013). Investigation of the effects of riparian tree roots on riverbanks stability (SAIMERH RIVER). Ph.D dissertation, University of Shahid Chamran University of Ahwaz, Water Science Faculty, Department of Hydraulic Structures Engineering. (In Farsi)
- Iran water Resource management company, (2009). Systematic study of waterched karkheh river.
- Julien, Pierre Y. (1955). *River Mechanics*, Colorado State University
- Mattia, C., Bischetti, G. B., and Gentile, F., (2005), Biotechnical characteristics of root system of typical Mediterranean species, *Plant and Soil*, 278: 23–32.
- Nicoll, B.C., and Ray, D., (1996), Adaptive growth of tree root systems in response to wind action and site conditions, *Tree Physiology*, 16: 891–898.
- Shafai-Bejestan, M., Salimi-Golsheikhi, M., (2002). Investigation of the effects of Tamaricaceae and Populuse Roots on the Stability of Karoon Banks by Root Geometry, *The Scientific Journal of Agriculture*, 25(1), sep. 2002. In Farsi
- Simon, A., and Collison, A. J. C., (2002), Quantifying the mechanical and hydrologic effects of riparian vegetation on stream bank stability, *Earth Surf. Process. Landforms* 27: 527–546.