



دوره ۳۱، شماره ۲، شماره پیاپی ۱۱۹، تابستان ۱۳۹۷، صفحات ۹۳-۱۰۴
شناسه‌ی دیجیتال: 10.22092/WMEJ.2018.120707.1081

پژوهش‌های آبخیزداری

(پژوهش و سازندگی)

اثر سه نوع پوشش گیاهی بر تثبیت کناری رود فریزی در استان خراسان رضوی

سید حسین رجائی *

(نویسنده‌ی مسئول) * دکترای علوم و مهندسی آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی

مسعود ساجدی سابق

عضو هیئت‌علمی پژوهشکده‌ی حفاظت خاک و آبخیزداری

حسین پژمان

کارشناس بخش تحقیقات آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی

علی واحدی طرقی

کارشناس بخش تحقیقات آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی

زهرة شببانی‌زاده

کارشناس بخش تحقیقات آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی

تاریخ دریافت: بهمن ۱۳۹۶ تاریخ پذیرش: مرداد ۱۳۹۷

* Corresponding Email: h.rajaei@areeo.ac.ir

چکیده

پژوهش حاضر با هدف ارزیابی عملکرد حفاظت زیستی پوشش گیاهی بر تثبیت کناره‌های رود فریزی انجام شد. تیمارهای اصلی این پژوهش سه نوع پوشش گیاهی علفی و درختچه‌ای و درختی بود. یک تیمار بی‌پوشش هم برای شاهد انتخاب شد. میزان فرسایش در هر تیمار در یک بازه، با میخ‌کوبی در دو ردیف و سه مقطع عرضی اندازه‌گیری شد. در طول چهار سال، خصوصیات پوشش گیاهی با کاربرد اندازه‌گیری نواری و اطلاعات آب‌شناسی از داده‌های ایستگاه آب‌سنجی به‌دست آمد. نتایج نشان داد که پوشش درختچه‌ای بید (*Salix eleganos Scop.*) با عمر متوسط پنج سال و پوشش درختی همین گونه بید (*Salix alba L.*) و نیز سنجد (*Elaeagnus angustifolia L.*)، با عمر متوسط ۲۵ سال، عمل‌کرد مناسبی در تثبیت حاشیه‌ی رود دارند؛ زیرا فرسایش این دو تیمار در دوره‌ی طرح کمتر از ۱٪ تیمار شاهد بود. بیشترین پوشش علفی در این منطقه، از گونه‌های گندمیان (*poaceae*) بود که با ۵۰٪ کاهش فرسایش نسبت به تیمار شاهد، به‌رغم نصف‌شدن میزان فرسایش، انتظارات اولیه را در مقایسه با دو تیمار دیگر، درخصوص تثبیت کناره‌ی رود برآورده نکرد. دلیل آن را می‌توان به شرایط گونه‌های علفی و تطابق نداشتن دوره‌ی رشد آن‌ها با زمان وقوع سیل‌های رود مربوط دانست. بر این اساس می‌توان گفت که در شرایط مشابه، گونه‌های علفی، در رودهایی که روند سیل آن‌ها در خارج از فصل رشد گیاه است، عملکرد مناسبی در تثبیت حاشیه‌ی رود ندارند. در دوره‌ی اجرای پژوهش، سیل‌های رخ‌داده در رود فریزی در حد سیل‌های کوتاه‌مدت پنج‌ساله بودند.

واژگان کلیدی: پایداری زیستی، پوشش گیاهی، حفاظت سواحل رود، رود فریزی، فرسایش کناری

Riverbank Stabilization Using Vegetation Cover in the Ferizi River, Khorasan Razavi Province

Seyed Hossein Rajaei*

(Corresponding Author)* PhD in Water Sciences and Engineering, Khorasan Razavi Agriculture and Natural Resources Research and Education Center

Masoud sajadi sabegh

Academic staff in Soil Conservation and Watershed Management Institute

Hossein Pejman

Research Associate, Watershed Research Department, Khorasan Razavi Agriculture and Natural Resources Research and Education Center

Ali Vahedi Toroghi

Research Associate, Watershed Research Department, Khorasan Razavi Agriculture and Natural Resources Research and Education Center

Zohre Shybanizadeh

Research Associate, Watershed Research Department, Khorasan Razavi Agriculture and Natural Resources Research and Education Center

Abstract

The use of vegetation cover for the sustainable riverbank stabilization is not only economical in most cases, but also ameliorates the landscape. The purpose of this research was to evaluate vegetative stabilization of the Ferizi River's erodible banks. Considering that each vegetative form offers a unique type of protection, 8 grass species, short shrub and a tree species were selected for this research. *Salix elegans* Scop., *Salix alba* L. *Elaeagnos angustifolia* L. were planted at suitable spacing on the banks. A plot without vegetative protection was established as the control steel pins with specific lengths were driven in to the banks at two rows and three cross sections. The depth of erosion was measured monthly for 4 years by an increase in the length of the pins outside of the river side on transects. The flow data were collected at the hydrometry station. The results indicated that shrub and tree cover performed satisfactorily in stabilizing the riverbank. The erosion depth for the shrub and tree cover was <1% of the control; this was 50% for the grass cover; therefore it was not as effective in erosion control as we had expected. The reason for this poor performance is due to the growth season of these grass species which is not synchronized with flooding season of the Ferizi River. It is interesting to note that the study duration coincided with the 5-year flow regime of the river.

Keywords: Biological stabilization, Ferizi River, riverbank stabilization, riverbed Erosion, vegetative cover

مقدمه

رودها و مسیل‌ها در بیشتر مناطق کشور شریان اصلی زندگی و توسعه‌ی مناطق اند. پایداری و تثبیت شرایط هیدرولیکی و ریخت‌شناسی رود، ضامن بقای کار و زندگی در بسیاری از دشت‌ها خصوصاً برای ساکنان حاشیه‌ی رودها است که به‌طور مستقیم با جریان رود سروکار دارند. تغییرات شدید وضعیت آب‌شناسی حوزه‌های آبخیز رود و تغییر در سبک بهره‌برداری حاشیه‌ی رودها موجب شده است در بسیاری موارد وضعیت تثبیت یافته‌ی حاشیه‌ی رودها دچار دگرگونی و تخریب شود. گاهی تخریب دیواره‌های رود و فرسایش ناشی از تغییرات یادشده، موجب بروز مشکلاتی همچون تشدید سیل‌خیزی و تخریب باغ‌ها و مزارع حاشیه‌ی رودها شده است. سه روش اصلی برای تثبیت حاشیه‌ی رودها ۱. روش مکانیکی و ۲. روش زیستی و ۳. روش زیستی-مکانیکی است. تثبیت زیستی با استقرار انواع پوشش گیاهی در حاشیه‌ی رودها به کمک کاشت گونه‌های علفی و درختچه‌ای و درختی انجام می‌شود. در این پژوهش، به موضوع انواع پوشش گیاهی حاشیه‌ی رود فریزی، مانند نمونه‌ای از رودهای مناطق نیمه خشک در استان خراسان و نقش آن در تثبیت حاشیه‌ی رود پرداخته شده است.

اثر پوشش گیاهی در تثبیت حاشیه‌ی رود، از دیدگاه‌های مختلف ارزیابی شده است که در این زمینه می‌توان به موارد زیر اشاره کرد. شفاعی بجنستان و سلیمی گلشخی (۲۰۰۲) اثر ریشه‌ی درختان پده و گز را بر مقاومت برشی خاک در ساحل رود کارون بررسی کرده‌اند. نتایج نشان داد ریشه‌ی گونه‌های پده و گز ۲۰ تا ۶۶٪ مقاومت برشی خاک را افزایش می‌دهد. داوودی (۲۰۰۹) به‌منظور بررسی اثر ریشه‌ی گیاهان بر مقاومت برشی خاک، با انجام آزمایش‌هایی به کمک دستگاه آزمایش برش مستقیم برج، تأثیر ریشه‌ی درخت بید را ارزیابی کرد. نتایج نشان داد که وجود ریشه‌ی درخت بید زاویه‌ی اصطکاک داخلی خاک را ۸٪ کاهش می‌دهد؛ اما چسبندگی خاک رس لاغر را تا ۳۰٪ افزایش می‌دهد. برآیند این دو عامل موجب افزایش شایان توجه مقاومت برشی خاک شد. چپو و تان (۱۹۹۲) با بررسی میدانی سطحی پوشیده از چمن و اثر تراکم پوشش و عمق جریان بر زبری حاشیه‌ی رود نشان دادند هر دو متغیر بر میزان ضریب زبری و تغییر شرایط هیدرولیکی جریان رود، اثر مستقیم دارند. به سفارش وزارت کشاورزی و منابع طبیعی کانادا و با هدف توسعه‌ی روش‌های زیستی در تثبیت حاشیه‌ی رودها، دونات (۱۹۹۵) گزارشی از روش‌های زیستی حفاظت از سواحل رودهای اروپای مرکزی تهیه کرد و به‌صورت جامع انواع روش‌های حفاظت زیستی‌ای را که در گذشته در رودهای اروپای مرکز مرسوم بوده است، معرفی و ارزیابی کرد. وی گزینه‌ی تثبیت زیستی را جایگزین مناسبی برای روش‌های تثبیت با سازه‌های سنگ و سیمان و تورسنگی حتی در رودهای بزرگ می‌داند. بیسون و دوپلی (۱۹۹۵) پس از سیل بزرگی که در بریتیش کلمبیای کانادا، رخ داد و به خسارات شدیدی منجر شد، با مقایسه‌ی ۷۴۷ پیچ رودهای سیل‌گرفته و بررسی عکس‌های هوایی قبل و بعد از رخداد سیل در چهار بازه، به این نتیجه رسیدند که فرسایش در پیچ رودهای بی‌پوشش، حدود پنج‌برابر فرسایش در سواحل پوشش‌دار بوده است؛ بیشترین فرسایش مشاهده‌شده در یک انحنای بی‌پوشش نیز حدود سی‌برابر فرسایش در انحنای مشابه، با پوشش گیاهی بوده است. فتحی مقدم

و کوئن (۱۹۹۷) ضمن بررسی اثر انواع پوشش گیاهی بر سیل در دشت‌ها، تأثیر چند نوع پوشش را بر ضریب درگ، ضریب مانینگ و هیدرولیک جریان رود در حالت‌های پوشش مستغرق و غیرمستغرق بررسی کردند. این پوشش‌ها که شامل پوشش درختی، درختچه‌ای، نهال کوچک، تک‌درخت و شاخ‌وبرگ بودند، به‌صورت آزمایشگاهی بررسی شدند. نتایج نشان داد که ضریب زبری با افزایش استغراق نسبی در سرعت ثابت افزایش و در استغراق نسبی ثابت، کاهش می‌یابد؛ ضریب زبری مانینگ با جذر نسبت عمق جریان به ارتفاع تاج پوشش مستغرق متناسب است. سوتیر و همکاران (۱۹۹۸) ضمن بررسی استفاده از پوشش‌های ساختمانی زمین‌شناختی (ژئوسنتتیک) برای حفاظت شیب‌ها و دامنه‌ها، حالت ترکیبی استفاده از این مواد همراه با پوشش گیاهی را بررسی کردند. نتایج نشان دادند که این شکل ترکیبی، اثر مناسبی بر حفاظت از دامنه‌ی شیب‌دار رودها دارد. تومیناگا و همکاران (۱۹۹۹) تأثیر پوشش‌های مختلف گیاهی را در قوس خارجی پیچ رود بررسی کردند. آن‌ها گزارش کردند که تأثیر جریان چرخشی ناشی از جریان‌های ثانویه با وجود پوشش گیاهی کاهش پیدا می‌کند و جریان اصلی رود متأثر از رفتارهایی ترکیبی، همچون تنش جانبی، نیروی گریز از مرکز، شیب فشار و اندازه‌ی حرکت جریان، در جریان ثانویه است.

ترونک (۱۹۹۹) کاربرد فناوری خاصی از چمن‌کاری (VGT) را در کنترل فرسایش ناشی از سیل بررسی کرد و کاربرد آن را بسیار مؤثر و کم‌هزینه دانست و نشان داد که کیفیت پوشش از نظر نوع گونه و روش‌های کاشت و تلفیق این روش با سازه‌های حفاظتی بر تأثیر آن می‌افزاید. سامانی و کوئن (۲۰۰۲) نشان دادند میزان فرسایش در پوشش انواع گونه‌های گیاهی حاشیه‌ی رود، با میزان خمیدگی پوشش گیاهی (k) و طول ساقه‌ی گیاهان (h) رابطه دارد و میزان فرسایش با افزایش نسبت k/h کاهش می‌یابد. لی و همکاران (۲۰۰۶) با توجه به توسعه‌ی مراکز جمعیتی در حاشیه‌ی رودها و لزوم حفاظت رود از خطر فرسایش، برای جلوگیری از خسارت این پدیده در حاشیه‌ی یکی از رودهای شهر شانگ‌های، در مجاورت فرودگاه شهر، عملیات حفاظت زیستی را در حاشیه‌ی رود اجرا کردند و نشان دادند که تثبیت زیستی، علاوه بر نتایج حفاظتی موجب منظرسازی مناسب خواهد شد.

نورایانان و همکاران (۲۰۱۲) با توجه به سونامی سال ۲۰۰۴ اقیانوس هند، در یک تحقیق آزمایشگاهی تأثیر اجرای کمر بند سبز پوشش گیاهی با تراکم مختلف و قطر ساقه‌های متفاوت را بر متغیرهای هیدرولیکی جریان بررسی کردند و روابطی برای محاسبه‌ی ضریب اصطکاک داری و افت انرژی براساس ویژگی پوشش گیاهی جریان معرفی کردند. کامپوریال و همکاران (۲۰۱۳) سعی کردند یک مدل کمی و کیفی را درباره‌ی نقش پوشش گیاهی در تغییرات ریخت‌شناسی رود به‌دست آورند. در این بحث اثر عملکرد انسانی بر محیط رود و تغییرات پوشش گیاهی در اطراف رود، به‌عنوان متغیرهای مؤثر به‌صورت پویا مدل‌سازی شد. براساس نتایج به‌دست‌آمده باید ویژگی‌های دوره‌ی رشد گیاه، سختی و نرمی اندام هوایی، اثر رسوب‌گیری گیاهان در سیل دشت، الگوی زمانی سیل، اثر تراکم ریشه و مقاومت خاک، رطوبت اولیه‌ی خاک، وضعیت شیمیایی خاک و پستی‌وبلندی در نظر گرفته شود. کواپلی و همکاران (۲۰۱۵) روش‌های مختلف حفاظت حاشیه‌ی رودها را

Cynodon dactylon (L.) Pers.

Hemarthria altissima (L.f.) R.Br.

Hemarthria compressa (L.f.) R.Br.

Paspalum paspaloides (Michx.) Scribne.

را در حوضه‌ی رود یانگ‌تسه نزدیکی شهر شیبائو بر مقاومت خاک ارزیابی کنند. استحکام کششی ریشه‌ها حداکثر ۶۲/۲۶ مگاپاسکال برای *P.paspaloides*، ۵۱/۴۹ مگاپاسکال برای *C. dactylon*، ۵۰/۶۶ مگاپاسکال برای *H.compressa* و ۴۸/۸۱ مگاپاسکال برای گونه‌ی علفی *H. altissima* محاسبه شد.

پژوهشگران از جنبه‌های مختلف به اثر پوشش گیاهی بر تثبیت حاشیه‌ی رود توجه کرده‌اند؛ با وجود این، توصیه‌های کاربردی در مناطق مختلف با توجه به تفاوت‌های زیادی که در هر حوزه‌ی آبخیز وجود دارد، نیاز به بررسی میدانی مطابق با شرایط اقلیمی و ریخت‌شناسی دارد. در این تحقیق، با توجه به شرایط نیمه‌خشک استان خراسان رضوی و وضعیت جریان در رودهای استان که معمولاً فصلی و سیلی است، اثر سه نوع پوشش علفی، درختچه‌ای و درختی در حاشیه‌ی رود فریزی در شهرستان چناران بررسی شده است.

مواد و روش‌ها

منطقه‌ی مطالعه

رود فریزی از سرشاخه‌های اصلی حوزه‌ی کشف‌رود و یکی از رودهای دامنه‌ی جنوبی دشت مشهد است. این رود از ارتفاعات رشته‌کوه بینالود سرچشمه گرفته است و پس از گذشتن از کنار شهرهای چناران و گلپه‌هار به شاخه‌ی اصلی کشف‌رود منتهی می‌شود (ولایتی و توسلی ۱۹۹۱). شکل ۱ موقعیت حوضه‌ی آبخیز رود در خراسان رضوی را نشان می‌دهد.

در ۳۸ منطقه از کوهپایه‌های آلپ ارزیابی کردند. در این تحقیق چهار حالت حفاظت از حاشیه‌ی رود ارزیابی شد: ۱. حفاظت مکانیکی به صورت سنگ‌چین، ۲. حفاظت ترکیبی به صورت سنگ‌چین در پایین و پوشش گیاهی در لبه‌ی بالایی ساحل رود، ۳. حفاظت به صورت استقرار گونه‌های گیاهی و ۴. استفاده از ترکه‌های بید در حاشیه‌ی رود ارزیابی شد. حالت استقرار نهال‌های بید جوان به عنوان گزینه‌ی مرجع نیز مد نظر بود. نتایج نشان داد که حالت ۳ و ۴ بهترین عملکرد را در محافظت از ساحل رود و گزینه‌ی سنگ‌چین ساده کمترین عملکرد را داشته است. دیتال و تانگ (۲۰۱۵) اجرای طرح حفاظت رود به روش زیستی در حاشیه‌ی رود باگماتی کشور نپال را در سه سال ارزیابی کردند. عملیات زیستی شامل کاشت گونه‌های

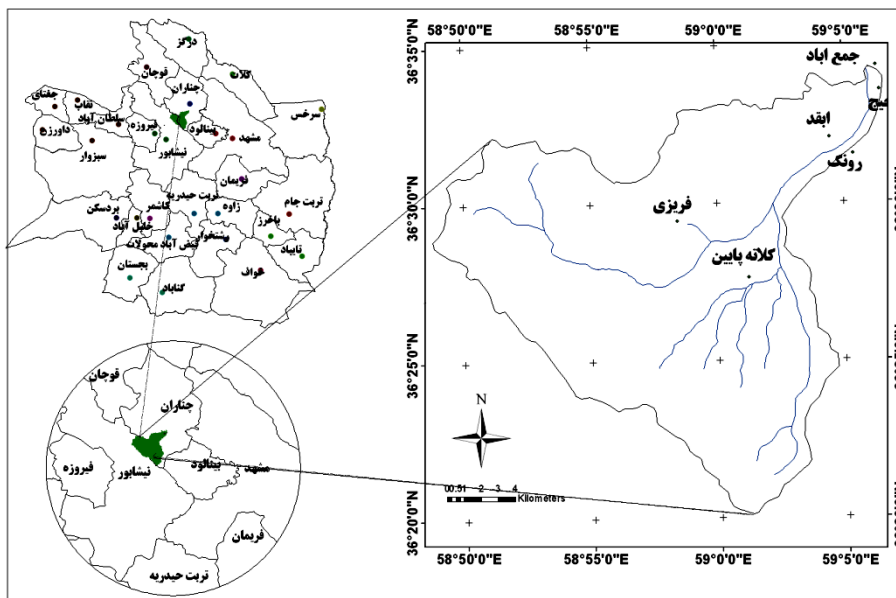
Bambuseae

Eucalypteae

Acacia catechu (L.F.) Wild.

Ziziphus mauritiana Lam.

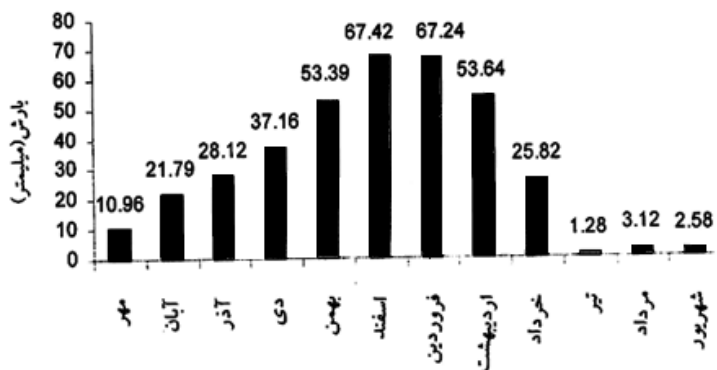
در حاشیه‌ی رود انجام شد. نتایج نشان داد که ساحل رود به طور کامل در سیل‌های کوتاه‌مدت با این عملیات زیستی تثبیت شده است. ترکیب چکدم و مامبو عملکرد مناسبی داشته است و قلمه‌های *Monarda fistulosa* L. گسترش زیادی در حاشیه‌ی رود داشته و موجب تثبیت حاشیه‌ی رود شده است. برخی گونه‌ها نظیر آکاسیای نقره‌ای و کنار آفریقایی نیز در مقایسه با کرانه‌های بدون پوشش تأثیر چندانی نداشته اند. زانگ و همکاران (۲۰۱۶) با توجه به این که فرسایش حاشیه‌ی رودها در مخازن سد بیشترین میزان انتقال رسوب را در بازه‌های نزدیک به مخزن سد ایجاد می‌کند، تلاش کردند اثر ریشه‌ی چهار گونه‌ی علفی



شکل ۱- نقشه‌ی موقعیت حوضه‌ی آبخیز رود فریزی در خراسان رضوی.

ماهانه‌ی بارندگی حوزه‌ی آبخیز در شکل ۲ آورده شده است (ولایتی و همکاران ۲۰۰۴).

میانگین بارندگی حوزه‌ی آبخیز براساس آمار بلندمدت، ۳۷۲ میلی‌متر است که بیش از ۸۰٪ آن در فصل‌های زمستان و بهار رخ می‌دهد. توزیع بارندگی



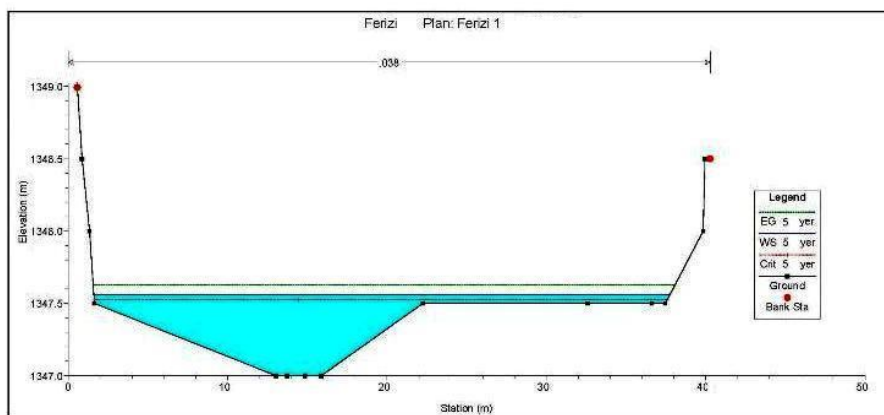
شکل ۲- توزیع ماهانه‌ی بارندگی حوزه‌ی فریزی.

شاهد انتخاب شد. اطلاعات وضعیت پوشش در فصل‌های بهار و پاییز شامل درصد پوشش در تیمارهای علفی و درختچه‌ای، به روش اندازه‌گیری نواری خطی، قطر یقه و قطر مقابل سینه در تیمار درختی، به کمک کولیس، در دوره‌ی اجرای طرح برداشت شد. پس از انتخاب بازه‌های اجرای طرح، میخ‌های فلزی از میل‌گرد آهنی ۸ میلی‌متری تهیه شد. برای تعیین موقعیت نصب میخ‌ها در حاشیه‌ی رود، براساس نتایج مطالعات آب‌شناسی و آب‌دهی اوج سیل در دوره‌های مختلف بازگشت، وضعیت تراز سطح آب در دوره‌های مختلف بازگشت سیل به کمک مدل نرم‌افزاری HEC-RAS مشخص شد (شکل ۳)؛ محل میخ‌ها با توجه به اهداف طرح در حاشیه‌ی رود انتخاب شد.

وضعیت جریان رود در طول سال، دارای آب‌دهی پایه است. این آب‌دهی پایه در ماه‌های گرم سال، ضمن کاهش، به‌واسطه‌ی انتقال از سردخانه‌های آبگیر در باغ‌های بالادست، به بخش‌های انتهایی رود نمی‌رسد (ولایتی و همکاران ۲۰۰۴).

روش پژوهش

اثر سه نوع پوشش گیاهی به‌صورت‌های علفی، شامل گیاهانی با تنه‌ی علفی و منشعب و ارتفاع حداکثر ۱/۵ متر؛ درختچه‌ای، گیاهانی با تنه‌ی منشعب چوبی و ارتفاع حداکثر ۳ متر و درختی، شامل گیاهانی با تنه‌ی واحد چوبی و ارتفاع دست‌کم بین ۳ تا ۵ متر، بر کاهش میزان فرسایش ارزیابی شد. افزون بر تیمارهای گفته‌شده، یک بازه‌ی بی‌پوشش گیاهی نیز برای تیمار



شکل ۳- شبیه‌سازی وضعیت هیدرولیکی مقاطع رود به کمک مدل HEC-RAS.

اثر سه نوع پوشش گیاهی بر تثبیت کناری رود...

پوشش دهند. میخ کوبی در سه مقطع با فاصله‌ی ۴ متری انجام شد که با توجه به فاصله‌ی میخ‌ها ۱۲ متر از حاشیه‌ی رود میخ‌کوبی شد (شکل‌های ۴ و ۵).

در هر تیمار، اولین میخ بر داغاب متوسط رود در آب‌دهی پایه کوبیده شد و میخ‌های بعدی در فاصله‌ی ۲ متری از میخ اول و در راستای عمود بر مسیر رود کوبیده شدند. با توجه به تراز سطح آب در نتایج مدل HEC-RAS، میخ‌ها طوری کوبیده شدند که سیل‌های بلندمدت را نیز



شکل ۴- نمونه‌ای از میخ‌کوبی در حاشیه‌ی رود.



تیمار ۲- پوشش علفی



تیمار ۱- شاهد، بدون پوشش گیاهی



تیمار ۴- پوشش درختی

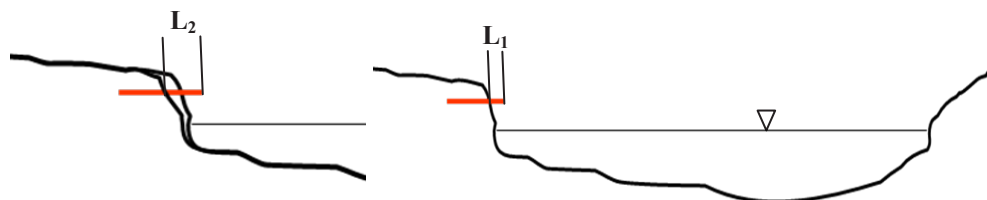


تیمار ۳- پوشش درختچه‌ای

شکل ۵- تیمارهای چهارگانه‌ی پژوهش.

تفاضل طول میخ در مرحله ی قبل و مرحله ی فعلی، به کمک رابطه ی ۱ محاسبه شد.
(رابطه ی ۱)

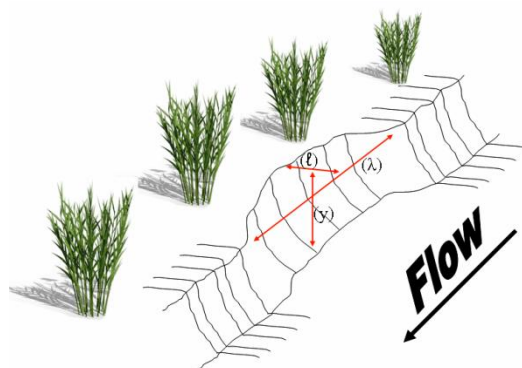
$$\ell = L_2 - L_1$$



شکل ۶- اندازه گیری میزان فرسایش به کمک میخ کوبی.

داده برداری ماهانه از ابتدای خرداد ۱۳۹۱ تا پایان خرداد ۱۳۹۵ انجام شد. برای محاسبه ی میزان فرسایش حاشیه ی رود در موقعیت هر میخ، علاوه بر عمق فرسایش (ℓ)، دو ویژگی طول متوسط فرسایش در امتداد حاشیه ی رود

داده برداری ماهانه از ابتدای خرداد ۱۳۹۱ تا پایان خرداد ۱۳۹۵ انجام شد. برای محاسبه ی میزان فرسایش حاشیه ی رود در موقعیت هر میخ، علاوه بر عمق فرسایش (ℓ)، دو ویژگی طول متوسط فرسایش در امتداد حاشیه ی رود



شکل ۷- متغیرهای محاسبه ی حجم فرسایش در یک محدوده ی فرسایش یافته.

تفاوت معنی دار بین انواع تیمارها، ابتدا تحلیل آنووا برای همه ی تیمارها انجام شد که نشان داد داده ها تفاوت معنی داری باهم دارند. چون در هر تیمار، داده های عمق فرسایش، ارتفاع فرسایش، طول فرسایش و حجم فرسایش تهیه شده بود، آزمون معنی داری برای هر چهار بخش جداگانه انجام شد؛ از طرفی تیمارهای مختلف، به صورت جفتی مقایسه شدند. برای این کار از نرم افزار SPSS و آزمون LSD در سطح ۹۹ و ۹۵٪ استفاده شد. برای رسم نمودارها از نرم افزار استفاده شد.

در هر تیمار و هر بازدید، مقادیر (λ)، (ℓ) و (y) برای میخ های مختلف یادداشت شد. با متوسط گیری بین چهار میخ هر بازه، یک مقدار میانگین برای تیمار ثبت شد. محاسبه ی حجم فرسایش از حاصل ضرب این سه عدد حاصل می شود. با توجه به طول ۴ متر فاصله ی بین میخ ها، حجم فرسایش در واحد طول در هر مرحله به کمک رابطه ی ۲ محاسبه شد:

$$V = \frac{\ell \times y \times \lambda}{1000 \times 4} \quad (\text{رابطه ی ۲})$$

بحث و نتایج

شناسایی پوشش گیاهی انجام شده در تیمارهای مختلف نشان داد در تیمار علفی، گونه ی غالب پوشش علفی تیره ی گندمیان *poaceae* است. در این تیره نیز بیشترین تعداد، گونه ی

در این رابطه، سه متغیر طولی برحسب متر وجود دارد؛ بنابراین، با توجه به حجم فرسایش مشاهده شده، اعداد در رابطه ی ۲، بر ۱۰۰۰ تقسیم و حجم فرسایش برحسب دسی متر مکعب در واحد طول رود، تحلیل آماری شد. آزمون های آماری به کمک نرم افزار SPSS انجام شد. برای اثبات وجود

اثر سه نوع پوشش گیاهی بر تثبیت کناری رود...

می‌شد. گونه‌ی اصلی مشاهده‌شده در تیمار درختچه‌ای از نوع بید با نام علمی *Salix elegans* Scop است. طبق کتاب فلور ایرانیکا، گونه‌ی بید به دو شکل درختچه‌ای و درختی مشاهده می‌شود. بیسمن و همکاران (۲۰۰۰) گونه‌ی *Salix elegans* را درختچه معرفی کرده‌اند. در تیمار درختی نیز گونه‌ی درختی بید با نام علمی (*Salix alba* L.) اصلی‌ترین پوشش کاشته‌شده در حاشیه‌ی رود بود؛ چند اصله درخت سنجد داشت و جنس *Rubus* به‌صورت زیراشکوب تیمار درختی مشاهده شد (جدول ۱).

Phragmites australis (Cav.) Trin. ex Steud
Avena sativa L.

و گونه‌ی علفی *Bromus tomentollus* Boiss است که ۶۸٪ طول حاشیه‌ی رود را پوشش داده بودند. گونه‌هایی با تراکم محدودتر شامل:

Trifolium resupinatum L.

Rumex acetosella L.

Epilobium hirsutum L.

Plantago major L.

Alhagi pseudalhagi (M.B.)Desv

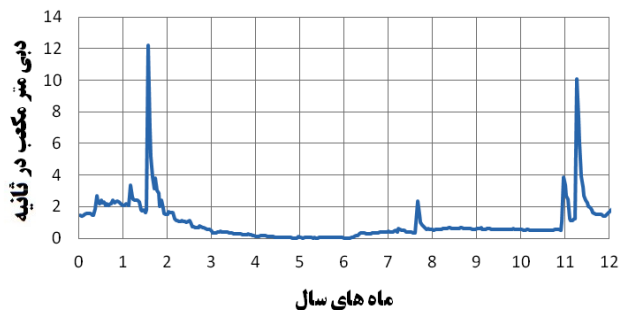
جدول ۱- وضعیت گونه‌های گیاهی حاشیه‌ی رود در سه تیمار طرح

تیمار	گونه‌ی گیاهی	درصد پوشش
علفی	نی (<i>Phragmites australis</i> (Cav.) Trin. ex Steud.)	۳۰
	جو دوسر (<i>Avena sativa</i> L.)	۲۵
	علف پشمکی (<i>Bromus tomentollus</i> Boiss)	۱۳
	شبدر (<i>Trifolium resupinatum</i> L.)	۸
	بارهنگ (<i>Plantago major</i> L.)	۵
	ترشک (<i>Rumex acetosella</i> L.)	۷
	علف فر پشمالو (<i>Epilobium hirsutum</i> L.)	۹
بدون پوشش		۳
درختچه‌ای	بید (<i>Salix elegans</i> Scop.) - شکل درختچه‌ای ۷ ساله	۱۰۰
	زیراشکوب علفی از گونه‌های نی، جو دوسر، بروموس و تمشک	۴۵
	بدون پوشش	-
درختی	بید (<i>Salix alba</i> L.) - شکل درختی (عمر تقریبی ۲۵ سال)	متوسط قطر مقابل سینه ۱۸ Cm
	سنجد (<i>Elaeagnus angustifolia</i> L.) زیر اشکوب حدود ۵٪ تمشک تاج پوشش کلی حدود ۸۵٪	متوسط قطر یقه ۲۳ Cm تعداد ۲۱ ۴

درصد کم آن می‌توان صرف‌نظر کرد. از برداشت میخ‌ها در تیمار در سه مقطع، میانگین گرفته شد و نتیجه به‌عنوان عمق فرسایش (عمود بر دیواره‌ی رود) مربوطه ثبت شد. متوسط طول فرسایش و ارتفاع فرسایش هم به همین روش گرفته شد. در ماه‌های مرداد تا دی، در هیچ سالی فرسایش مشاهده نشد. تطابق زمانی رخ داده‌های فرسایش و آب‌دهی سیل رود فریزی نیز نشان‌دهنده‌ی همین موضوع است. شکل ۸ وضعیت آب‌دهی رود را در سال ۱۳۹۳ نشان می‌دهد.

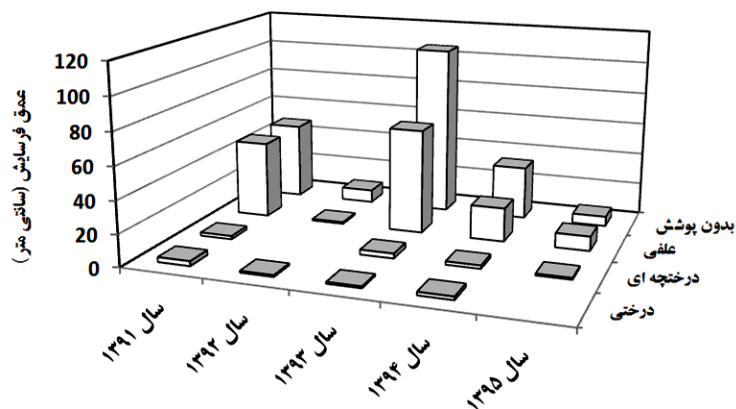
گندمیان، پوشش گیاهی علفی غالب در طول سال‌های مختلف بودند و گونه‌های دیگر در هر سال با درصد پوشش کمتری مشاهده شدند. نتایج جدول ۱ میانگین تغییرات در طول دوره‌ی اجرای طرح را نشان می‌دهد. در پوشش درختچه‌ای و درختی، به‌دلیل ثبات گونه، تغییر چندانی در پوشش وجود ندارد. صرفاً با افزایش حجم اندام هوایی تاج پوشش زیاد شده است. با توجه به این‌که بخشی از اندام هوایی گونه‌ی درختچه‌ای بید، در معرض سیل قرار می‌گیرد، افزایش تاج پوشش بر شرایط جریان اثر داشت. در تیمارهای درختی و درختچه‌ای زیراشکوب علفی هم مشاهده شد. از این زیراشکوب با توجه به

سال ۱۳۹۳



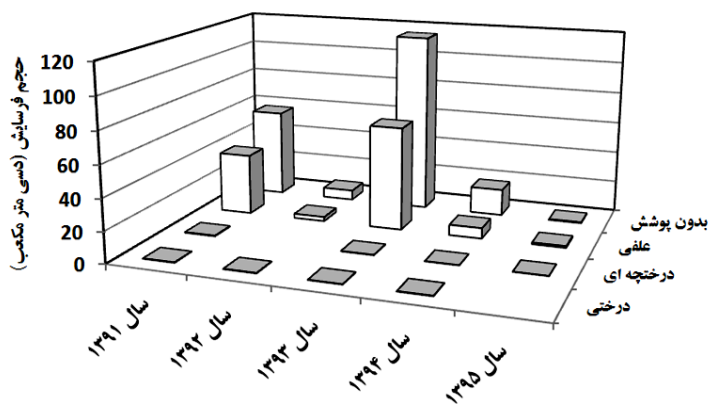
شکل ۸- آبدهی رود فریزی در سال ۱۳۹۳.

مجموع میزان عمق فرسایش (ℓ) در سال های مختلف (از خرداد ۱۳۹۱ تا خرداد ۱۳۹۵) اندازه گیری و ثبت شد (شکل ۹).



شکل ۹- مجموع عمق فرسایش کناری رود (ℓ) در تیمارهای مختلف سال های اجرای طرح.

مجموع حجم فرسایش در واحد طول در تیمارهای مختلف ثبت شد (شکل ۱۰).



شکل ۱۰- مجموع حجم فرسایش کناری رود (∇) در واحد طول و در تیمارهای مختلف سال های اجرای طرح.

اثر سه نوع پوشش گیاهی بر تثبیت کناری رود...

میانگین میزان فرسایش سالانه در دوره‌ی اجرای طرح برای انواع پوشش گیاهی حاشیه‌ی رود، براساس رابطه‌ی ۲ محاسبه شد (جدول ۲).

جدول ۲- میانگین حجم فرسایش در واحد طول هر تیمار برحسب دسی مترمکعب.

میانگین دوره‌ی اجرای طرح (مترمکعب در دسی متر)	نوع پوشش
۴۸/۸۸۷	بدون پوشش
۲۸/۹۴۶	علفی
۰/۱۵۸	درختچه‌ای
۰/۱۴۱	درختی

عملکرد تیمار علفی در حد انتظار نبود.

آزمون آماری

درواقع اصلی‌ترین آماره‌ی مربوط به فرسایش حاشیه‌ی رود، حجم متوسط فرسایش است که حجم نهایی فرسایش را در تیمارهای مختلف نشان می‌دهد. جدول ۳ خروجی نرم‌افزار را برای تعیین سطح معنی‌دار بودن تفاوت بین تیمارها نشان می‌دهد. هر یک از تیمارها در ستون A با سه تیمار در ستون J مقایسه شده است.

بیشترین میزان فرسایش به ترتیب در شرایط بی‌پوشش گیاهی، پوشش علفی، پوشش درختی و پوشش درختچه‌ای بود. این اعداد نشان می‌دهند که برای رود فریزی در شرایط جریان معمول سالانه در سال‌های اجرای طرح، میزان فرسایش در پوشش علفی حاشیه‌ی رود ۵۹/۲٪ فرسایش در شرایط بی‌پوشش است. در پوشش درختی این عدد به ۲/۹٪ کاهش یافت و در پوشش درختچه‌ای کمتر از ۳/۳٪ بود. بررسی وضعیت فرسایش حاشیه‌ی رود نشان می‌دهد که تیمار درختچه‌ای و درختی بهترین عملکرد را داشته‌اند.

جدول ۳- آزمون LSD برای حجم متوسط فرسایش.

تیمار مینا (I)	تیمار مقایسه (J)	تفاوت میانگین (I-J)	خطای استاندارد	سطح معنی‌داری	فاصله‌ی اطمینان ۹۵٪	
					کران بالا	کران پایین
	علفی	۰/۹۲۰۱۱	۰/۷۷۷۳۷	۰/۲۳۹	۲/۴۶۱۷	-۰/۶۲۱۴
شاهد	درختچه‌ای	* ۲/۷۶۵۷۶	۰/۷۷۷۳۷	۰/۰۰۱	۴/۳۰۷۳	۱/۲۲۴۲
	درختی	* ۲/۷۶۷۸۵	۰/۷۷۷۳۷	۰/۰۰۱	۴/۳۰۹۴	۱/۲۲۶۳
	شاهد	-۰/۹۲۰۱۱	۰/۷۷۷۳۷	۰/۲۳۹	۰/۶۲۱۴	-۲/۴۶۱۷
علفی	درختچه‌ای	* ۱/۸۴۵۶۶	۰/۷۷۷۳۷	۰/۰۱۹	۳/۳۸۷۲	۰/۳۰۴۱
	درختی	* ۱/۸۴۷۷۴	۰/۷۷۷۳۷	۰/۰۱۹	۳/۳۸۹۳	۰/۳۰۶۲
درختچه‌ای	شاهد	* -۲/۷۶۵۷۶	۰/۷۷۷۳۷	۰/۰۰۱	-۱/۲۲۴۲	-۴/۳۰۷۳
	علفی	* -۱/۸۴۵۶۶	۰/۷۷۷۳۷	۰/۰۱۹	-۰/۳۰۴۱	-۳/۳۸۷۲
	درختی	۰/۰۰۲۰۸	۰/۷۷۷۳۷	۰/۹۹۸	۱/۵۴۳۶	-۱/۵۳۹۵
درختی	شاهد	* -۲/۷۶۷۸۵	۰/۷۷۷۳۷	۰/۰۰۱	-۱/۲۲۶۳	-۴/۳۰۹۴
	علفی	* -۱/۸۴۷۷۴	۰/۷۷۷۳۷	۰/۰۱۹	-۰/۳۰۶۲	-۳/۳۸۹۳
	درختچه‌ای	-۰/۰۰۲۰۸	۰/۷۷۷۳۷	۰/۹۹۸	۱/۵۳۹۵	-۱/۵۴۳۶

هیدروگراف روزانه‌ی رود فریزی و دوره‌ی زندگی گونه‌های علفی، به‌نوعی نشان از تشدید این پدیده دارد. پوشش درختچه‌ای و درختی به‌دلیل مقاومت ساقه‌ها و اندام هوایی در معرض جریان‌شان، در طول سال به‌خوبی می‌توانند حاشیه‌ی رود را تثبیت کنند. این نتایج با گزارش داوودی (۲۰۰۹) درخصوص عملکرد ریشه‌ی بید در تقویت مقاومت فرسایش خاک همخوانی دارد. نتایج این پژوهش در شرایط اقلیمی استان خراسان رضوی که اقلیمی نیمه‌خشک است، تفاوت‌هایی با برخی گزارش‌های قبلی دارد. این یافته نشان می‌دهد که عملیات تثبیت زیستی حاشیه‌ی رود قبل از هر توصیه باید براساس شرایط اقلیمی و شناسایی آب و خاک محل، مطالعه و طراحی شود. نتایج این تحقیق در شرایط اقلیمی مشابه با خراسان رضوی، کاربرد دارد.

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که پوشش درختچه‌ای، مناسب‌ترین نوع پوشش برای پایداری زیستی حاشیه‌ی رود فریزی، به‌عنوان نمونه‌ای از رودهای مناطق خشک و نیمه‌خشک است و پوشش درختی در رتبه‌ی بعدی قرار دارد؛ البته تفاوت زیادی بین تیمار پوشش درختی و درختچه‌ای وجود ندارد؛ چراکه در هر دو تیمار، میزان فرسایش، کمتر از ۱٪ شرایط بدون پوشش گیاهی است. موفقیت نسبی پوشش درختچه‌ای در برابر پوشش درختی را می‌توان به تفاوت شرایط اندام هوایی گونه‌ی بید در دو شکل درختچه‌ای و درختی مربوط دانست. در شکل درختچه‌ای بید، تراکم ساقه‌ها نزدیک سطح آب زیاد است؛ وجود شاخ‌وبرگ‌های درهم‌پیچیده در درختچه‌ها موجب می‌شود که شرایط هیدرولیکی جریان، در عبور از این محل به‌دلیل افزایش زبری و کاهش سرعت، فرسایش را کاهش دهد؛ درصورتی که در شکل درختی، فواصل درختان به‌رغم قطوربودن ساقه‌هایشان در کاهش میزان شدت جریان حاشیه‌ی رود، تأثیر کمتری دارد. با وجود این، ریشه‌های عمیق و مستحکم چندساله‌ی درخت بید به نسبت ریشه‌ی شکل درختچه‌ای، این انتظار را ایجاد می‌کند که در شرایط سیل با دوره‌ی بازگشت طولانی‌تر، عملکرد پوشش درختی موفق‌تر باشد؛ اما به‌دلیل راه‌نیفتادن سیل با چنین شرایطی، در این پژوهش نمی‌توان به قطعیت در این خصوص اظهارنظر کرد. پوشش علفی، به‌دلیل تطابق‌نداشتن دوره‌ی رشد گونه‌ها با وضعیت جریان رود و تداوم رطوبت خاک در حاشیه‌ی رود، در اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک پوشش مؤثر در تثبیت حاشیه‌ی رود دانسته می‌شود.

این جدول نشان می‌دهد میزان فرسایش حاشیه‌ی رود فریزی از نظر حجم فرسایش در واحد طول، در تیمارهای درختی و درختچه‌ای به‌احتمال ۹۹٪ با شرایط تیمار شاهد، متفاوت است و به‌عبارتی، کاهش فرسایش با تیمارهای گفته‌شده، محقق خواهد شد؛ از طرفی بین تیمار علفی و تیمار شاهد، تفاوت معنی‌داری در تراز مطلوب وجود ندارد؛ تراز معنی‌داری کمتر از ۷۷٪ است. بین تیمار علفی و تیمارهای درختی و درختچه‌ای در سطح ۹۵٪ تفاوت میزان فرسایش مشاهده شد و بین دو تیمار درختچه‌ای و درختی در سطح ۹۹٪ تفاوت معنی‌داری وجود نداشت.

نتایج خروجی نرم‌افزار در رابطه با عمق فرسایش (متغیر l) نشان می‌دهد که اختلاف بین تیمار شاهد و دو تیمار درختچه‌ای و درختی در سطح ۹۹٪ معنی‌دار است؛ بین تیمار علفی با دو تیمار درختچه‌ای و درختی نیز در سطح ۹۹٪ تفاوت معنی‌دار است؛ اما بین تیمار شاهد و تیمار علفی و تیمار درختچه‌ای و درختی، تفاوت معنی‌داری در سطح آماری مناسب وجود ندارد. تحلیل آماری درخصوص ارتفاع فرسایش (متغیر Y) نشان داد که اختلاف بین تیمار شاهد و دو تیمار درختچه‌ای و درختی در تراز احتمال ۹۹٪ معنی‌دار است؛ بین تیمار علفی با دو تیمار درختچه‌ای و درختی نیز در تراز ۹۹٪ تفاوت معنی‌داری وجود دارد؛ اما بین تیمار شاهد و تیمار علفی تراز احتمال معنی‌دار ۹۱/۵٪ است و به ۹۵٪ نمی‌رسد. بین تیمار درختچه‌ای و درختی نیز تفاوت معنی‌داری در سطح آماری مناسب وجود ندارد.

پوشش علفی در این طرح، انتظارات اولیه را در زمینه‌ی تثبیت حاشیه‌ی رودخانه، مشابه نتایج چیو و تان (۱۹۹۲) و ترونک (۱۹۹۹) که در آن پوشش چمنی به‌کار رفته بود، برآورده نکرد. دلیل این وضعیت را می‌توان با شرایط آب‌شناسی رود در این سال‌ها مربوط دانست. به‌دلیل کاهش آب‌دهی پایه‌ی رود در طول ۷ تا ۸ ماه از سال، رطوبت ناحیه‌ی توسعه‌ی ریشه‌ی علف‌ها که معمولاً سطحی و افشان است، با فاصله‌گرفتن از حاشیه، عملاً زهکش می‌شود؛ در نتیجه علف‌ها در این بخش هرچند قادر به ماندگاری چندساله‌اند، دچار خزان سالانه می‌شوند و سامانه‌ی ریشه‌های آن‌ها هر ساله از بین می‌رود؛ تغییر و تنوع گونه‌های علفی در سال‌های اجرای طرح، مؤید این دیدگاه است. در این شرایط سیل‌هایی که قبل از دوره‌ی رشد کامل علف‌ها در رود جریان پیدا می‌کنند، عملاً با مقاومتی از سوی پوشش گیاهی علفی مواجه نخواهند شد. در ماه‌های بهمن و اسفند و اوایل فروردین که عملاً به‌دلیل سردی نسبی منطقه، هنوز پوشش علفی مستقر نشده است، میزان فرسایش بیشتر است. از طرفی مقایسه‌ی زمان وقوع جریان‌ها با آب‌دهی اوج، در

- Beeson CE, Doyle PF. 1995. Comparison of bank erosion at vegetated and non-vegetated channel bends. *Journal of the American Water Resources Association*. 31(6):983-990.
- Beismann H, Wilhelmi H, Baillères H, Spatz HC, Bogenrieder A, Speck T. 2000. Brittleness of twig bases in the genus *Salix*: fracture mechanics and ecological relevance. *Journal of Experimental Botany*. 51(344): 617-633.
- Camporeale C, Perucca E, Ridolfi L, Gurnell AM. 2013. Modeling the interactions between river morphodynamics and riparian vegetation. *Reviews of Geophysics*. 51(3):379-414.
- Cavaillé P, Ducasse L, Breton V, Dommanget F, Tabacchi E, Evette A. 2015. Functional and taxonomic plant diversity for riverbank protection works: Bioengineering techniques close to natural banks and beyond hard engineering. *Journal of Environmental Management*. 151:65-75.
- Chiew YM, Tan SK. 1992. Frictional resistance of overland flow on tropical turfed slope. *Journal of Hydraulic Engineering*. 118(1):92-97.
- Darby SE. 1999. Effect of riparian vegetation on flow resistance and flood potential. *Journal of Hydraulic Engineering*. 125(5):443-54.
- Davoudi MH. 2009. Variation of shear resistance parameters in fine grain soils due to willow roots density. *Journal of Range and Watershed Management*. 62(2):231-246. (In Persian).
- Dhital YP, Tang Q. 2015. Soil bioengineering application for flood hazard minimization in the foothills of Siwaliks, Nepal. *Ecological Engineering*. 74:458-462.
- Donat M. 1995. Bioengineering techniques for streambank restoration. A Review of Central European Practices. Vancouver, BC, Canada: Watershed Restoration Program. Ministry of Environment, Lands and Parks, and Ministry of Forests.
- Evette A, Labonne S, Rey F, Liebault F, Jancke O, Girel J. 2009. History of bioengineering techniques for erosion control in rivers in Western Europe. *Environmental Management*. 43(6):972-984.
- Fathi-Maghadam M, Kouwen N. 1997. Nonrigid, nonsubmerged, vegetative roughness on floodplains. *Journal of Hydraulic Engineering*. 123(1):51-7.
- Hosseini A, Shafai-Bajestān M. 2016. Investigating the impact of slope and flow of riverbank on the root system of riparian Trees. *J. Sci. & Technol. Agric. & Natur. Resour. Water and Soil Sci*. 20(75):101-112. (In Persian).
- Kouwen N, Fathi-Moghadam M. 2000. Friction factors for coniferous trees along rivers. *Journal of Hydraulic Engineering*. 126(10):732-40.
- Li MH, Eddleman KE. 2002. Biotechnical engineering as an alternative to traditional engineering methods: A biotechnical streambank stabilization design approach. *Landscape and Urban Planning*. 60(4):225-42.
- Li X, Zhang L, Zhang Z. 2006. Soil bioengineering and the ecological restoration of riverbanks at the Airport Town, Shanghai, China. *Ecological Engineering*. 26(3):304-14.
- Noarayanan L, Murali K, Sundar V. 2012. Performance of flexible emergent vegetation in staggered configuration as a mitigation measure for extreme coastal disasters. *Natural Hazards*. 62(2):531-50.
- Samani JM, Kouwen N. 2002. Stability and erosion in grassed channels. *Journal of Hydraulic Engineering*. 128(1):40-5.
- Shafai-Bajestān M, Salimi Golsheykhi M. 2002. Determination of the effect of root of puddah and gaz trees on shear resistance of Karun beach in place. *Journal of Agricultural Science and Technology, and Natural Resources*. 6(4):27-40. (In Persian).
- Sotir RB, Difini JT, McKown AF. 1998. Partnering geosynthetics and vegetation for erosion control. In *Geosynthetics in Foundation Reinforcement and Erosion Control Systems*. ASCE. pp. 92-102.
- Tominaga A, Nagao M, Nezu I. 1999. Flow structure and momentum transport processes in curved open-channels with vegetation. In *Proc. 28th IAHR Congress, Technical University of Graz, Austria*. Institute for Hydraulics and Hydrology.
- Truong P, Van TT, Pinnars E. 2008. *Vetiver system applications technical reference manual*. The Vetiver Network International, 89.
- Velayati S, Ghauor H, Shafaa P. 2004. Investigation of the hydrologic regime of the Frizi River (the Kashafrod catchment sub-basin) and its role in feeding the aquifer of Mashhad Plain. *Geography and Development Magazine*. Spring and Summer. 2004:47 ASCE. 72. (In Persian).
- Wilson CA, Sellin RH. 1999. A field investigation of vegetation effects in a doubly meandering compound channel. In *IAHR Congress, Graz*. 6 p.
- Zhong RH, He XB, Bao YH, Tang Q, Gao JZ, Yan DD, Wang MF, Li Y. 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 ASCE. 21.

