مجله تحقیقات کاربردی مهندسی سازه‌های آبیاری و زهکشی/جلد ۱۶/ شماره ۶۵/سال ۱۳۹۴/ص ۸۴-۷۱

بررسی آزمایشگاهی تله‌اندازی رسوب و مولفه‌های جریان در کانال با پوشش گیاهی

نادرقلی ابراهیمی*، عظیم شیردلی و حسنا شفائی**

* نگارنده مسئول: پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، تهران، ایران. تلفن: ۴۴۹۰۱۲۱۴(۰۲۱)، پیام‌نگار: nebrahimi81@yahoo.com

** به ترتیب: استادیار پژوهشی پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی؛ استادیار دانشکده کشاورزی؛ و دانشجوی کارشناسی‌ارشد رشته سازه‌های آبی، دانشگاه زنجان

تاریخ دریافت: ۹۴/۷/۴؛ تاریخ پذیرش: ۹۴/۱۰/۱۹

چکیده

مدیریت، حفاظت و بهره‌برداری از رودخانه‌ها، آبراهه‌ها و کانال‌های آبیاری دارای پوشش گیاهی اهمیت فراوان دارد. بررسی شرایط رسوب‌گذاری، از مهم‌ترین مسائل مبتلا به شبکه‌های آبیاری و زهکشی تلقی می‌شود. پوشش گیاهی در کانال‌های آبیاری به عنوان یک محدودیت، ظرفیت انتقال آب را کاهش و رسوب‌گیری را افزایش می‌دهد و هزینه‌های نگهداری کانال‌ها و به طور کلی شبکهٔ آبیاری و زهکشی را بالا می‌برد. اما پوشش گیاهی در رودخانه‌ها عامل کاهنده انتقال رسوب تلقی می‌شود. در این پژوهش، اثر پوشش گیاهی بر تله‌اندازی رسوب در آبراهه‌ها و همچنین، ارتباط نسبت دبی ورودی رسوب به خروجی، عدد فرود، شیب و تراکم پوشش گیاهی با راندمان تله‌اندازی بررسی شده است. این پژوهش در آزمایشگاه هیدرولیک پژوهشکدهٔ حفاظت خاک و آبخیزداری و در یک فلوم آزمایشگاهی شیب‌پذیر به طول هفت متر و پهنای ۲۵ سانتی‌متر با پوشش گیاهی درختچه‌ای مصنوعی به ارتفاع هفت سانتی‌متر (در کف) و با تراکم ۱۲، ۲۵ و ۵۰ درصد، سه دبی جریان چهار، شش و هشت لیتر بر ثانیه، در سه شیب مختلف دو، چهار و شش در هزار و با تزریق ۴۰۰۰ گرم رسوب در دقیقه اجرا شد. نتایج پژوهش نشان می‌دهد که بیشترین راندمان تله‌اندازی رسوب در شرایط تراکم ۵۰ درصد و با کمترین دبی چهار لیتر بر ثانیه و با عدد فرود ۰/۱۵ و در شیب ۰/۰۰۲ محقق شده است و با کاهش عدد فرود، نسبت دبی رسوب ورودی به دبی رسوب خروجی افزایش می‌یابد. با افزایش تراکم پوشش گیاهی، میزان رسوب تله افتاده افزایش می‌یابد و با افزایش شیب نیز دبی رسوب خروجی افزایش و تله‌اندازی رسوب کاهش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی

تراکم پوشش گیاهی، راندمان تله‌اندازی، رسوب‌گیری، کانال‌های آبیاری

مقدمه

مهم‌ترین مسئله در مدیریت و حفاظت رودخانه‌ها، آبراهه‌ها و کانال‌ها، پیش‌بینی رفتار هیدرولیکی جریان است. وجود پوشش گیاهی در بستر و نیز رسوب معلق همراه جریان، رفتار جریان را پیچیده‌تر می‌کند. در این شرایط، شناخت مؤثرترین عوامل برای مدیریت بهینه و کاهش تاثیرات محدودکنندهٔ آبراهه‌ها اهمیت دارد. از طرفی، ارائه الگوهای مناسب پوشش گیاهی به منظور افزایش راندمان انتقال آب در کانال، کاهش خطر سیل، مهار فرسایش نامطلوب و بهره‌برداری بهینه از منابع آب به نحوی که پاسخگوی نیازهای فعلی و نسل‌های آینده باشد از اهمیت بالایی برخوردار است. انواع گیاهان خودرو در دیواره‌ها و بستر کانال‌ها یا انواع پوشش گیاهی ضمن آنکه محدودکنندهٔ ظرفیت انتقال آب هستند از عوامل مؤثر برای حفاظت ساحل و کنترل فرسایش آبراهه‌ها نیز تلقی می‌شوند که با هدف حفاظت، ارزان‌تر از روش‌های سازه‌ای

هستند که با شرایط زیست محیطی نیز تطابق مناسبی دارند.

میرصادقی (Mirsadeghi, 2013) برای بررسی اثر تغییر اندازهٔ ذرات بستر بر خصوصیات جریان در کانال با پوشش گیاهی جداره، آزمایش‌هایی را در یک فلوم با مقطع مستطیلی، جدارهٔ شیشه‌ای و کف فلزی به طول ۹، پهنای ۰/۴ و بلندی ۰/۷ متر و با شیب متغیر انجام داد. نتایج آزمایش نشان داد که برای ذرات با قطر بزرگتر سرعت جریان کمتر و در نتیجه زبری حاصل از ذره بیشتر است و با تغییر ناگهانی دانه‌بندی، از درشت‌دانه به ریزدانه، سرعت در فاصلهٔ نزدیک به مقطع شکستگی دانه‌بندی شروع به کاهش می‌کند و پس از آن به تدریج افزایش می‌یابد تا به مقداری ثابت برسد. همین طور، قرار گرفتن ذرات درشت‌تر در بالادست و تغییر ناگهانی دانه‌بندی منجر به افزایش سرعت پایین‌دست می‌شود. آشفتگی به طور کلی در محل جدایی خطوط جریان رخ می‌دهد و در محل تغییر ناگهانی دانه‌بندی شدیدتر می‌شود. قره‌باغی و همکاران (Gharabaghi *et al.*, 2000) کارایی باریکه‌های پوشش گندم را به عنوان یک صافی در دورسازی رسوبات بررسی نمودند. آزمایش‌های میدانی در مرکز تحقیقات محیط زیستی گلف، آنتاریو و کانادا در طول آگوست و سپتامبر ۲۰۰۰ برای مقایسه رفتار روانآب در هنگام اجرای طرح تحت شرایط جریان و بارهای آلوده‌کننده مختلف انجام شد. آنها در تحقیق خود بیان نمودند که به طور معمول راندمان تله‌اندازی رسوبات توسط پوشش، تابعی از طول مسیر جریان، نرخ جریان و کیفیت و مقدار بار رسوبات است.

جین و رومکنز (Jin & Römkens, 2001) به طور آزمایشی اثر فاکتورها در تخمین تله‌اندازی رسوب را با استفاده از پوشش گیاهی بررسی کردند. این آزمایش در یک فلوم با تراکم‌های مختلف پوشش گیاهی و مقدار رسوب و شیب‌های مختلف اجرا شد؛ در این تحقیق، تراکم بوته از ۲۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰ بر مترمربع و شیب ۲، ۴ و ۶ درصد در نظر گرفته شده است. نتایج نشان می‌دهد که تراکم بوته، شیب فلوم و اندازهٔ ذرات رسوب فاکتورهای اصلی در تخمین کارایی تله‌اندازی است. در حالی که سرعت جریان اثری اندک و جمع‌شدگی رسوب اثر بیشتری روی کارایی تله‌اندازی برای شرایط مختلف دارد. با افزایش تراکم زبری از ۲۵۰۰ به ۱۰۰۰۰ بوته بر مترمربع، کارایی تله‌اندازی به ۴۵ درصد افزایش می‌یابد. زمانی که شیب افزایش داده شود، کارایی تله‌اندازی کاهش می‌یابد. از طرفی، تراکم ۲۵۰۰ بوته بر مترمربع در تله‌اندازی رسوبات در شیب ۴ درصد جواب نمی‌دهد. در تراکم ۱۰۰۰۰ بوته بر مترمربع تله‌اندازی با شیب ۶ درصد شکست خورده است. سرعت سقوط ذرات وابسته به اندازهٔ ذرات و تراکم است.

دلتیک (Deletic, 2005) انتقال رسوب در رواناب شهری را برای مناطق علفی در آزمایشگاه بررسی کرد. دو گروه آزمایش به منظور بررسی ته‌نشینی رسوب و جداسازی آن در شرایط کنترل شده که به ترتیب آزمایش "ته‌نشینی" و آزمایش "جداسازی" نامیده می‌شود، هدایت شده است. طی ۲۱ آزمایش ته‌نشینی مشاهده شد که تجمع رسوب در رواناب به طور نمونه با فاصلهٔ پایین باریکه کاهش می‌یابد جایی که ذرات ریزتر بیشتر از ذرات درشت حرکت می‌کنند. در حین آزمایش جداسازی نتیجه گرفته شد که جداسازی رسوب در مقایسه با ته‌نشینی ناچیز است. ویکتور و همکاران (Victor *et al.*, 2004) در مقالهٔ خود تله‌اندازی رسوب را در مصب رود با حاشیهٔ ماندابی بررسی کردند و با مقایسهٔ وضعیت رسوب در حاشیهٔ مرداب‌های مصب رود در یک جزیره توانستند حدود ۳۰ درصد رسوب را در رودخانه در تله بیندازند. در این تحقیق از قایق‌های اقیانوس شناسی استفاده و در ایستگاه‌های مختلف قرار داده شدند. ری و همکاران (Rey *et al.*, 2005) دینامیک پوشش گیاهی را روی ته‌نشین شدن

مواد رسوبی در جریان بالادست آبراهه‌های کوهستانی با خاک آهکی با آب و هوای مدیترانه‌ای در ناحیه آلپ فرانسه بررسی کردند. در این مطالعه حصاری از پوشش گیاهی برای به تله انداختن رسوب طراحی شد تا بتواند به طور همیشگی مواد رسوبی در بالادست را نگه دارد. مشاهدات طی دو سال، آثار مثبت پوشش گیاهی را در ته‌نشینی نشان می‌دهد.

شارپ و جامز (Sharpe & James, 2006) در دانشکدهٔ مهندسی عمران دانشگاه ویتواتر اسراند در جنوب آفریقا ته‌نشینی مواد رسوبی را در میان پوشش گیاهی در دو سری فلوم آزمایشگاهی سری (A) و (B) بررسی کرده‌اند. در سری (A) انتقال طولی در یک فلوم با عرض ۰/۳۸ متر و شیب ۰/۰۰۱۹ و ساقه‌هایی با قطر ۱۰ میلی‌متر و جریان یکنواخت برقرار شده و میزان رسوب ۱۷۳ گرم بر ثانیه در نظر گرفته شده است. در سری (B) انتقال عرضی در یک فلوم با طول ۱۲ متر و پهنای ۰/۷۶ متر و شیب ۰/۰۰۲۱ بررسی شده است. همچنین در این تحقیق میزان ته‌نشست مواد رسوبی در دو حالت، یکی با پوشش گیاهی و دیگری بدون پوشش گیاهی، مقایسه شده است. نتایج بررسی نشان داد که ته‌نشست مواد رسوبی با افزایش عمق جریان و تراکم ساقه افزایش می‌یابد و رسوب بیشتری درون پوشش گیاهی متوقف می‌شود.

قدیری و همکاران (Ghadiri *et al.*, 2007) کارایی بافر پوشش گیاهی را در کاهش انتقال رواناب همراه با رسوب و مواد پیش‌بینی کردند و نشان دادند که بافرها به طور معمول مواد رسوبی و بارهای آلوده‌کننده را از طریق ترکیب ته‌نشینی و فرآیندهای پالایش کاهش می‌دهند.

لیو و همکاران (Liu *et al.*, 2008) فاکتورهای مهمی را که به وسیلهٔ بافرهای پوشش داده شده روی تله‌اندازی مواد رسوبی اثر دارند بررسی کرده‌اند. بافرهای پوشش داده شده مواد رسوبی را با کاهش سرعت آب رونات ته‌نشین می‌کنند. در این آزمایش فاکتورهایی از قبیل عرض بافر، نسبت مساحت، شیب بافر، شدت بارندگی و پوشش گیاهی بررسی شدند. عرض بافر یکی از مهم‌ترین فاکتورهای مؤثر در تله‌اندازی رسوب است. نتایج به دست آمده از مدل نشان می‌دهد که عرض بافر تنها می‌تواند حدود ۲۹ درصد تغییرات را شرح دهد. همچنین نشان داده شد که کارایی قابل توجه تله‌اندازی رسوب وقتی عرض بافر به ۱۰ متر افزایش داده شود، بهبود نمی‌یابد. دیگر فاکتور مهم شیب است بدین معنا که یک ارتباط غیر خطی بین تله‌اندازی رسوب و شیب بافر مشاهده شد.

یوان و همکاران (Yuan *et al.*, 2009) بررسی کارایی بافرهای رویشی در تله‌اندازی رسوب را در منطقهٔ کشاورزی بررسی کردند. نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد که اگرچه ظرفیت تله‌اندازی رسوب متفاوت است، ولی تعداد زیادی فاکتور روی راندمان تله‌اندازی آنها اثر دارند، مانند عرض بافرها در زلال کردن رواناب کشاورزی و بافرهای پهن‌تر که به تله انداختن رسوب بیشتر میل دارند. راندمان تله‌اندازی رسوب همچنین تحت تأثیر شیب است. در کل، راندمان تله‌اندازی رسوب با نمونهٔ پوشش گیاهی تغییر نمی‌کند و بافرهای علفی و بافرهای جنگلی راندمان تله‌اندازی یکسانی دارند. در پژوهش دیگری، کارن و هشن (Curran & Hession, 2013) در دانشگاه ویرجینیا اثر پوشش گیاهی و زبری را در سیستم‌های رودخانه‌ای بررسی کرده و نشان دادند که چگونه پوشش گیاهی روی دینامیک رسوب اثر می‌گذارد و زبری رودخانه بر ارتفاع سطح آب، انتقال رسوب و مرفولوژی رودخانه اثر می‌گذارد. در این مطالعه، اثر پوشش گیاهی و زبری روی جریان‌های رودخانه‌ای و رسوب بر اساس معادلهٔ شزی پایه‌ریزی و همچنین اثر زبری در رابطهٔ مانینگ بیان شده است. از طرفی، گیاهان پروفیل سرعت جریان را تغییر می‌دهند.

ژوآ و همکاران (Zhou, *et al.*, 2013) تله‌اندازی رسوب را از جریان بیش از حد متمرکز شده بر اثر باریکه‌های فیلتر و نیز اثر باریکه‌های پوشش گیاهی را روی تله‌اندازی

رسوب و توزیع فضایی ته‌نشین شده‌ها و اندازهٔ ذرات ته‌نشین شده از جریان‌های با حد بالا بررسی کردند. آزمایش‌ها با استفاده از شبیه‌سازی پوشش گیاهی علفی به صورت پلاستیکی و یک شیب قابل تعدیل فلوم آهنی اجرا شد. تراکم پوشش ۳۶ درصد و غلظت رسوب ورودی جریان ۳۲۰، ۲۳۸، ۱۴۷ و ۴۲۹ کیلوگرم بر مترمکعب بود. نتایج بررسی نشان داد که فیلتر پوشش علفی بیشترین رسوبات را از درون جریان با کمترین تمرکز رسوب به تله انداخته است. راندمان ته‌نشینی با افزایش تجمع رسوب از ۵۵/۲ به ۱۵/۷ درصد کاهش یافته است. بیشترین رسوب در بالای فلوم دیده شده است. به علاوه، فیلترهای پوشش گیاهی عمدتا دانه‌های رسوبی درشت (بزرگتر از ۱۰-میکرومتر) را به تله انداخته است.

شیونو و همکاران (Shiono *et al.*, 2009) اثر زبری سیلاب‌دشت را روی سازه‌های هیدرولیکی و جریان، فرم بستر و سرعت انتقال رسوب بررسی کردند. این تحقیقات برای بررسی ارتباط زبری سیلاب‌دشت با میزان انتقال رسوب انجام شد. تحقیق در یک فلوم آزمایشگاهی با پهنای ۳۰ سانتی‌متر و طول چهار متر و اندازهٔ متوسط ذرات رسوب ۰/۸۸ میلی‌متر و با جریان یکنواخت و سرعت انتقال رسوب ۲۰ دقیقه انجام گرفت. مقادیر عدد رینولدز به دست آمده بیش از ۱۰۰۰۰ است. در این آزمایش‌ها سه نوع زبری برای سیلاب‌دشت به کار رفته که شامل نرم، پوشش علفی تنها و پوشش علفی با بلوک است. نتایج آزمایش‌ها نشان می‌دهد که سرعت انتقال رسوب ابتدا با تغییر عمق آب کاهش و سپس افزایش می‌یابد.

با توجه به بررسی منابع موجود و ضرورت مطالعهٔ تاثیر آورد رسوب با دبی رسوبی ثابت، در رودخانه‌های با پوشش گیاهی، در این مقاله تاثیر همزمان پوشش گیاهی و جریان همراه رسوب با دبی رسوبی ثابت، بر راندمان تله‌اندازی رسوب بررسی و آزمایش شده است.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق، ابتدا با آنالیز ابعادی مهم‌ترین پارامترهای بی بعد استخراج و پس از آن، با طراحی مدل آزمایشگاهی و ساخت دستگاه تزریق رسوب، تاثیر آورد رسوب در محدوده با پوشش گیاهی بر ضریب زبری در فلوم آزمایشگاهی بررسی شد. آزمایش‌هایی با تغییر سرعت و عمق جریان در شرایط تزریق و بدون تزریق رسوب‌های خشک ریزدانه در یک فلوم شیب‌پذیر به طول ۱۰ متر و پهنای ۲۵ سانتی‌متر در سه دبی (۴، ۶ و ۸ لیتر بر ثانیه)، سه تراکم (۵۰، ۲۵ و ۱۲ درصد) و سه شیب (۲، ۴ و ۶ در هزار) اجرا شد. در وسط فلوم بازه‌ای معادل ۳ متر از پوشش گیاهی مستقر شد. در این آزمایش‌ها، با روشن کردن پمپ، شیرهای تنظیم دبی باز و دبی از طریق سرریز مثلثی شکل پایین‌دست فلوم تنظیم شد.

بستر فلوم با ذرات ماسه (به قطر متوسط ۱/۹ میلی‌متر) و با ضخامت ۱۰ سانتی‌متر به عنوان بستر ثابت پوشش داده شد. در هر مرحله، با یک تراکم و یک شیب دبی تنظیم شده جریان آب در فلوم جاری و با استفاده از دستگاه سرعت‌سنج الکترومگنتیک مدل OSK (14077) در پنج مقطع و در هر مقطع در سه نقطهٔ عرضی و در هر نقطه در عمق‌های ۰/۲، ۰/۶ و ۰/۸ از سطح آب و با عمق‌سنج نیز در پنج مقطع داده‌برداری شد.

آزمایش‌ها با تعدای نمونه خاک ریزدانه در قطرهای مختلف آغاز شد که امکان معلق شدن را در آزمایش‌های مختلف نشان دادند. معلق ماندن نمونه با قطر متوسط ۰/۱۵ میلی‌متر نسبت به سایر نمونه‌ها بهترین شرایط را برای معلق بودن نشان داد. به همین دلیل از این نمونه در ادامهٔ آزمایش‌ها استفاده شد. در طول آزمایش با استفاده از دستگاه تزریق رسوب مستقر در بالادست فلوم به طور

یکنواخت حجم رسوب با سرعت ۴۰۰۰ گرم در دقیقه وارد فلوم شد؛ حجم تزریق رسوب، بر اساس تعداد زیادی آزمایش اولیه انتخاب شد به طوری که بعد از تله‌اندازی رسوب، در درون محدودهٔ پوشش گیاهی، ذرات معلق خروجی همچنان وجود داشته باشد. پارامترهای سرعت و ارتفاع آب در پنج مقطع قرائت شد. رسوب خروجی در یک مخزن با شیب معکوس که در انتهای فلوم قرار داده شده بود، جمع‌آوری و وزن آن بعد از خشک شدن در آون با ترازوی دیجیتال اندازه‌گیری شد.

به منظور برآورد راندمان تله‌اندازی، با در نظر گرفتن جریان دائمی و ثابت بودن خصوصیات سیال، رابطهٔ ۱ بین پارامترهای مؤثر بر ضریب تخلیه در حالت تعادل برقرار است:

$$f_1=(f,y_n,g,h,u,\rho,\mu,u_*,d_{50},p_s,d,s_f,l_1,....,l_n)=0 \qquad (۱)$$

که در آن،

f= ضریب اصطکاک دارسی وایسباخ؛ y_n= عمق آب (سانتی‌متر)؛ g= شتاب گرانش زمین (متر بر مجذور ثانیه)؛ h= ارتفاع پوشش گیاهی (سانتی‌متر)؛ u= سرعت متوسط جریان آب (سانتی‌متر بر ثانیه)؛ ρ= جرم مخصوص آب (کیلوگرم بر متر مکعب)؛ μ= لزوجت دینامیکی (پاسکال در ثانیه)؛ u_*= سرعت برشی جریان (سانتی‌متر بر ثانیه)؛ d_{50} = ۵۰ درصد اندازه ذراتی که قطری مساوی و یا کمتر از این قطر دارند (سانتی‌متر)؛ s_f = شیب خط انرژی (متر بر متر)؛ l_1، l_2 و l_n= ابعاد بی‌بعد مربوط به سطح، طول و فواصل پوشش؛ ρ_s= خصوصیات مربوط به رسوب شامل جرم مخصوص (کیلوگرم)؛ و d = اندازهٔ متوسط ذرات رسوبی (میلی‌متر).

با استفاده از تئوری باکینگهام رابطهٔ ۱ با تجزیه تحلیل و آنالیز به صورت پارامترهای بدون بعد استخراج شد. از آنجا که در مدل کانال‌های باز ابعاد به گونه‌ای انتخاب می‌شوند که تاثیر نیروهای کششی سطحی و لزوجت سیال بسیار کم است، بنابراین از تاثیر عدد رینولدز صرف‌نظر شد. در آنالیز ابعادی با استفاده از روش باکینگهام (π)و پارامترهای رابطه ۱ سه متغیر اصلی سرعت (u) به عنوان واحد زمان، عمق آب (y_n) به عنوان واحد طول و جرم مخصوص (ρ) به عنوان واحد وزن، که رابطه بی‌بعد ۲ ارائه می‌شود:

$$f_2=u^2y^2\rho.f(Fr,S_f,\mathrm{Re},\frac{u}{u_*},\frac{l_1}{y_n},\frac{l_2}{y_n},\frac{h}{y},R_e^*) \qquad (۲)$$

بعضی پارامترها ثابت هستند و از این رو پارامترهای مؤثر عبارت خواهند بود از عدد فرود، نسبت‌های سرعت متوسط به سرعت برشی، نسبت طول و فواصل پوشش به عمق جریان، ارتفاع پوشش به عمق جریان، شیب خط انرژی و رینولدز برشی. در بیشتر کانال‌ها جریان یکنواخت، زیربحرانی و به عدد فرود وابسته است. در شرایطی که جریان از بین پوشش گیاهی و در شرایط کاملاً آشفته عبور می‌کند، جریان به عدد رینولدز وابستگی معنی‌داری ندارد و در بیشتر رودخانه‌های دارای پوشش گیاهی جریان آشفته و زیربحرانی است. بنابراین، علاوه بر پارامترهای اثرگذار بر مقاومت (f) و ضریب زبری مانینگ (n) که به عنوان ضرایب مشترک در جریان کانال‌های باز استفاده می‌شود، نسبت‌های سرعت به سرعت برشی (u/u*) عمق جریان به ارتفاع پوشش گیاهی(y/h) و نسبت پوشش سطح به کل سطح (a/A) یا همان تراکم پوشش گیاهی در واحد سطح پارامترهای اثرگذار بر تله‌اندازی هستند و در این صورت رابطهٔ ۲ به صورت زیر برای بررسی راندمان تله‌اندازی ساده می‌شود (رابطه ۳).

$$Te=f((u/u^*)\ ,Fr,D,) \qquad (۳)$$

شکل ۱ نمای مدل استفاده شده و شکل ۲ جانمایی دستگاه تزریق رسوب را در آزمایشگاه هیدرولیک نشان می‌دهد.

شکل ۱- تصویر از بالای فلوم آزمایشگاهی

شکل ۲- جانمائی دستگاه تزریق رسوب در بالادست فلوم

نتایج و بحث

در خلال آزمایش، با استفاده از دستگاه تزریق، رسوب مستقر در بالادست فلوم به طور یکنواخت مواد رسوبی غیر چسبنده (با قطر متوسط ۰/۱۵ میلی‌متر) وارد فلوم شد که متعاقبا پارامترهای سرعت و عمق آب در پنج مقطع قرائت و رسوب خروجی نیز در یک مخزن با شیب معکوس، که در انتهای فلوم قرار داده شده بود، جمع‌آوری و وزن آن بعد از خشک شدن در آون با ترازوی دیجیتالی اندازه‌گیری شد. با توجه به حجم و وزن رسوب ورودی در ابتدای فلوم و وزن رسوب خروجی از انتهای فلوم در مدت زمانی معلوم، مقدار و درصد رسوب به تله افتاده از رابطهٔ ۴ اندازه‌گیری شد.

$$T_e = \frac{M_i - M_o}{M_i} = 1 - \frac{M_o}{M_i} = 1 - SDR \qquad (۴)$$

که در آن،

T_e= راندمان تله‌اندازی رسوب (درصد)؛ SDR= میزان رسوب رهانیده شده (کیلوگرم)؛ M_i= مجموع جرم درون جریان منطقهٔ پوشش گیاهی (کیلوگرم)؛ و M_o= مجموع جرم خروجی جریان منطقهٔ پوشش گیاهی (کیلوگرم). در جدول ۱، قسمتی از داده‌های آزمایشی در تراکم پوشش گیاهی ۲۵ درصد ارائه شده است.

جدول ۱- داده‌های جریان و رسوب در تراکم پوشش گیاهی ۲۵ درصد

دبی جریان	شیب کف	عمق جریان	بدون پوشش گیاهی		با پوشش گیاهی	
			راندمان تله‌اندازی اندازه‌گیری شده	راندمان تله‌اندازی محاسبه شده	راندمان تله‌اندازی اندازه‌گیری شده	راندمان تله‌اندازی محاسبه شده
۴	۰/۰۰۲	۰/۱۰۷	۶۱/۵۰	۶۲/۸۵	۹۳/۸۹	۹۲/۵۳
۴	۰/۰۰۴	۰/۰۹۷	۴۹/۶۶	۵۰/۶۰	۹۲/۵۱	۹۱/۴۱
۴	۰/۰۰۶	۰/۰۹	۳۶/۰۹	۳۵/۷۰	۹۱/۷۴	۸۹/۹۹
۶	۰/۰۰۲	۰/۱۲۵	۵۵/۵۰	۵۳/۱۰	۹۳/۲۶	۹۰/۸۴
۶	۰/۰۰۴	۰/۱۱۶	۴۶/۲۳	۳۴/۹۰	۹۱/۹۵	۸۹/۶۱
۶	۰/۰۰۶	۰/۱۱۰	۲۳/۳۲	۳۲/۷۸	۹۱/۳۹	۸۸/۵۵
۸	۰/۰۰۲	۰/۱۴۲	۵۱/۶۲	۵۳/۴۱	۹۲/۴۶	۹۰/۰۶
۸	۰/۰۰۴	۰/۱۳۴	۴۱/۷۳	۳۷/۲۵	۹۱/۱۲	۸۹/۱۷
۸	۰/۰۰۶	۰/۱۲۴	۲۳/۵۸	۳۰/۹۵	۹۰/۶۳	۸۷/۶۸

با استفاده از نرم‌افزار Excel و از طریق برنامه Solver با ارائهٔ اولیهٔ یک رابطهٔ توانی که تاثیرات متقابل عوامل به حداقل برسد و مؤثرترین پارامترهای مرتبط با تله‌اندازی رسوب بر اساس آنالیز ابعادی در آن لحاظ شده باشد، رسوب تله‌اندازی با استفاده از رابطهٔ ۵ بررسی و محاسبه شده است:

$$Te = \alpha(u/u^*)^{\gamma} Fr^{B} D^{a} \qquad (۵)$$

که در آن،

D= تراکم پوشش گیاهی (درصد)؛ T_e= راندمان تله‌اندازی رسوب (درصد)؛ و a, β, γ, α = ضریب و توان‌های رابطه است که با اجرای مراحل رگرسیون به دست می‌آید (سایر پارامترها قبلا معرفی شده‌اند).

در همین برنامه با رعایت معیار حداقل کردن مجموع مربعات اختلاف مقادیر (راندمان تله‌اندازی از مشاهده آزمایشگاهی و محاسبه شده از طریق رابطهٔ توانی) ضرایب رابطهٔ توانی بهینه و با تدقیق روابط ریاضی حاصل از مدل فیزیکی از طریق مقایسهٔ نتایج مشاهده‌ای (آزمایشگاهی) و محاسبه‌ای با اجرای مراحل رگرسیون به صورت یک سری روابط در ادامهٔ بحث ارائه شده است.

در جدول‌های ۲ تا ۴ داده‌های برداشت شده با وجود پوشش در دبی ۴ لیتر بر ثانیه و شیب‌های مختلف و درصد تراکم‌های مختلف نشان داده شده است. این پارامترها شامل نسبت دبی رسوب ورودی به دبی رسوب خروجی، تراکم، عدد فرود، دبی جریان، راندمان تله‌اندازی و شیب هستند. نتایج نشان می‌دهد که کمترین راندمان تله‌اندازی مربوط به حداقل تراکم و بیشترین عدد فرود به دست آمده مربوط به حداقل تراکم است.

جدول ۲- داده‌های برداشت شده در دبی ٤ لیتر بر ثانیه و شیب دو در هزار

نسبت دبی رسوب ورودی به دبی رسوب خروجی	تراکم پوشش گیاهی (درصد)	عدد فرود	دبی جریان (لیتر بر ثانیه)	راندمان تله‌اندازی و شیب (درصد)
۲۶/۴۸	۵۰	۰/۱۴۲۵	۴	۹۶/۲۲
۱۶/۳۷	۲۵	۰/۱۴۶۶	۴	۹۳/۸۹
۸/۶۹	۱۲	۰/۱۵۶۶	۴	۸۸/۴۹

جدول ۳- داده‌های برداشت شده در دبی ٤ لیتر بر ثانیه و شیب چهار در هزار

نسبت دبی رسوب ورودی به دبی رسوب خروجی	تراکم پوشش گیاهی (درصد)	عدد فرود	دبی جریان (لیتر بر ثانیه)	راندمان تله‌اندازی و شیب (درصد)
۱۹/۹۵	۵۰	۰/۱۶۸۹	۴	۹۴/۹۸
۱۳/۳۶	۲۵	۰/۱۷۰۱	۴	۹۲/۵۱
۶/۷۳	۱۲	۰/۱۷۶۷	۴	۸۵/۱۴

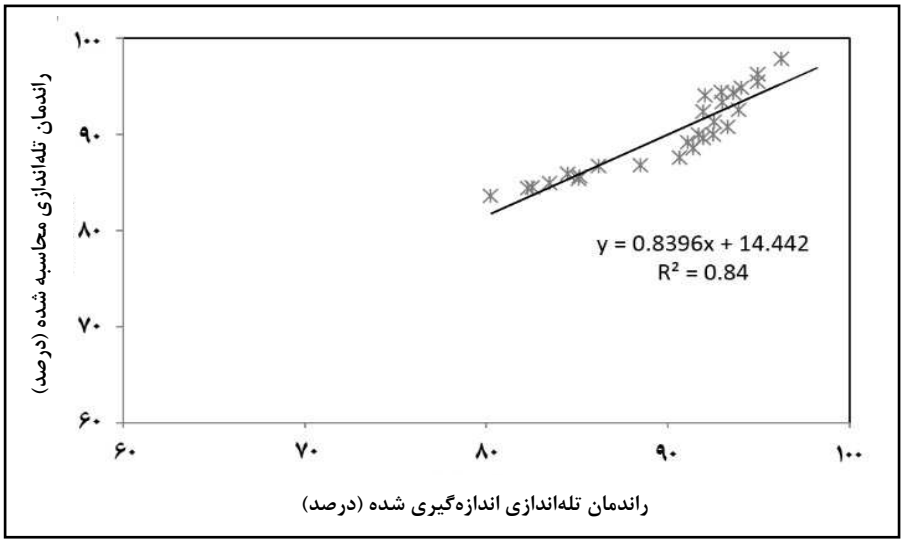
جدول ٤- داده‌های برداشت شده در دبی ٤ لیتر بر ثانیه و شیب شش در هزار

نسبت دبی رسوب ورودی به دبی رسوب خروجی	تراکم پوشش گیاهی (درصد)	عدد فرود	دبی جریان (لیتر بر ثانیه)	راندمان تله‌اندازی و شیب (درصد)
۱۴/۰۷	۵۰	۰/۱۸۸۷	۴	۹۲/۸۹
۱۲/۱۱	۲۵	۰/۱۸۸۹	۴	۹۱/۷۴
۶/۰۴	۱۲	۰/۱۸۶۱	۴	۸۳/۴۵

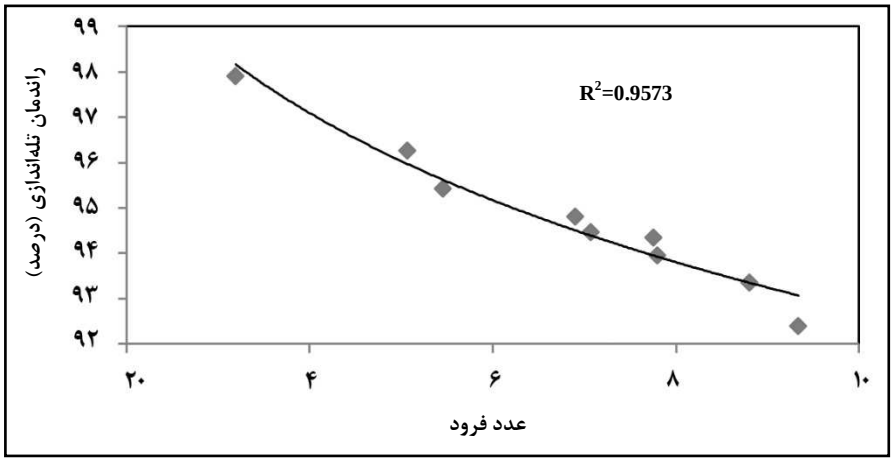
تأثیر متقابل پوشش گیاهی بر راندمان تله‌اندازی رسوب و پارامترهای نسبت سرعت متوسط جریان به سرعت برشی، عدد فرود، شیب و تراکم پوشش گیاهی، در رابطهٔ محاسبه شده ۶، ارائه شده است:

$$Te = 8.14\left(Fr^{-0.209}\right)\left(\frac{u^{-0.09}}{u*}\right)\left(S_f^{-0.049}\right)\left(D^{0.071}\right) \qquad (۶)$$

شکل ۳ رابطهٔ راندمان تله‌اندازی اندازه‌گیری شده و محاسبه شده را با ضریب همبستگی ۸۴ درصد نشان داده است. شکل ۴ مقایسهٔ راندمان تله‌اندازی رسوب و عدد فرود را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش عدد فرود و یا افزایش سرعت جریان، راندمان تله‌اندازی کاهش می‌یابد. راندمان تله‌اندازی با عدد بی‌بعد فرود رابطهٔ عکس دارد، بدین معنا که با افزایش عدد فرود راندمان تله‌اندازی رسوب کاهش می‌یابد. رابطهٔ فرود با نسبت سرعت متوسط جریان به جذر شتاب گرانش در عمق جریان تعریف می‌شود و بنابراین، سرعت عاملی است که هرچه بیشتر باشد رسوب کمتری به تله می‌افتد و در نتیجه راندمان تله‌اندازی کاهش می‌یابد.



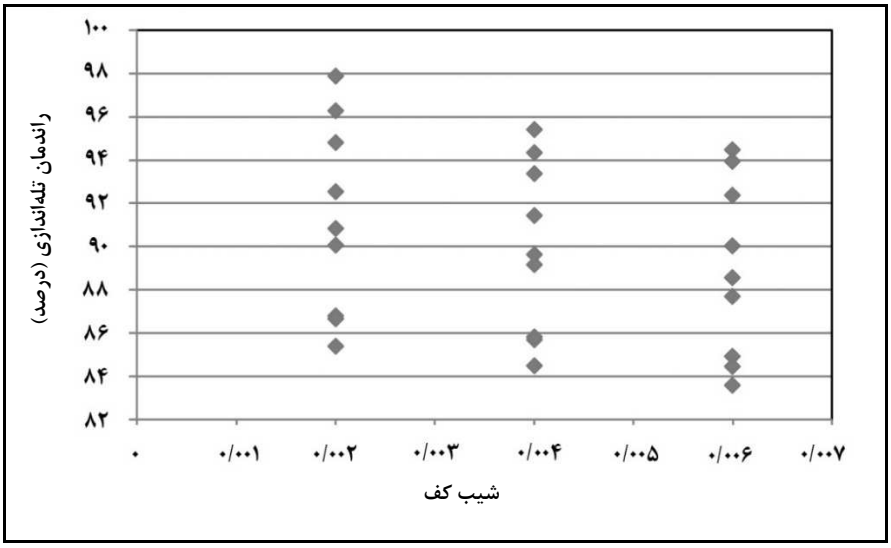
شکل ۳- ارتباط راندمان تله‌اندازی اندازه‌گیری و محاسبه شده



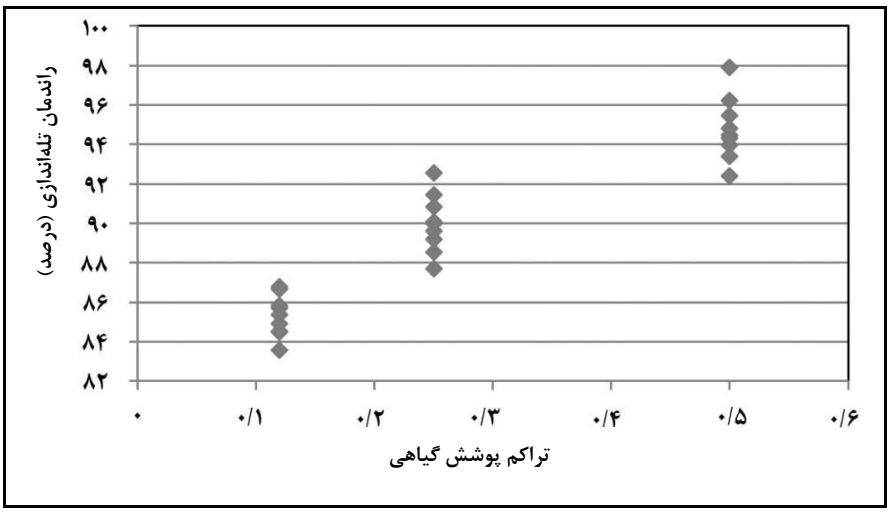
شکل ٤- مقایسهٔ راندمان تله‌اندازی رسوب و عدد فرود

در شکل ۵، ارتباط بین راندمان تله‌اندازی رسوب و شیب کف کانال در سه شیب ثابت ۲، ۴ و ۶ در هزار بررسی شده است؛ نتایج این بررسی نشان می‌دهد که بالاترین تله‌اندازی رسوب در حداقل شیب (۲ در هزار) و کمترین تله‌اندازی رسوب در حداکثر شیب (۶ در هزار) اتفاق می‌افتد. به عبارت دیگر، اگر شیب افزایش یابد میزان رسوب خروجی افزایش و راندمان تله‌اندازی کاهش می‌یابد. شکل ۶ ارتباط راندمان تله‌اندازی و تراکم پوشش گیاهی را نشان می‌دهد. بر این اساس، در حداکثر تراکم پوشش گیاهی راندمان تله‌اندازی افزایش می‌یابد و برعکس. تراکم پوشش گیاهی یکی از مؤثرترین عوامل در کنترل و تله‌اندازی رسوب به شمار می‌رود. پوشش گیاهی باعث کاهش سرعت جریان می‌شود و در نتیجه میزان تله‌اندازی رسوب را افزایش می‌دهد. نتایج حاصل از آزمایش نشان می‌دهد که مؤثرترین پارامتر در رابطهٔ راندمان تله‌اندازی پوشش گیاهی است. بر اساس بررسی‌ها، در این پژوهش تغییر تراکم پوشش گیاهی در دبی رسوبی ثابت تغییر ۱۰ تا ۱۵ درصدی را در راندمان تله‌اندازی در تراکم‌های مختلف نشان می‌دهد ولی در مقایسه با شرایط بدون پوشش، تغییرات راندمان تله‌اندازی زیاد است. به طوری که با توجه به داده‌های جدول ۱، در تیمار شاهد (شرایط بدون پوشش گیاهی) مشاهده می‌شود که راندمان

تله‌اندازی رسوب در این تیمار که صرفا ناشی از زبری بستر است، در دبی ۸ لیتر بر ثانیه و شیب ۶ در هزار راندمان در شرایط بدون پوشش ۲۳/۶ و برای شرایط دارای پوشش به ۹۰/۶ درصد می‌رسد که این تفاوت ۳۰۰ درصدی در راندمان، در دبی و شیب ثابت صرفا به دلیل ۲۵ درصد پوشش گیاهی مستقر در بازه است.

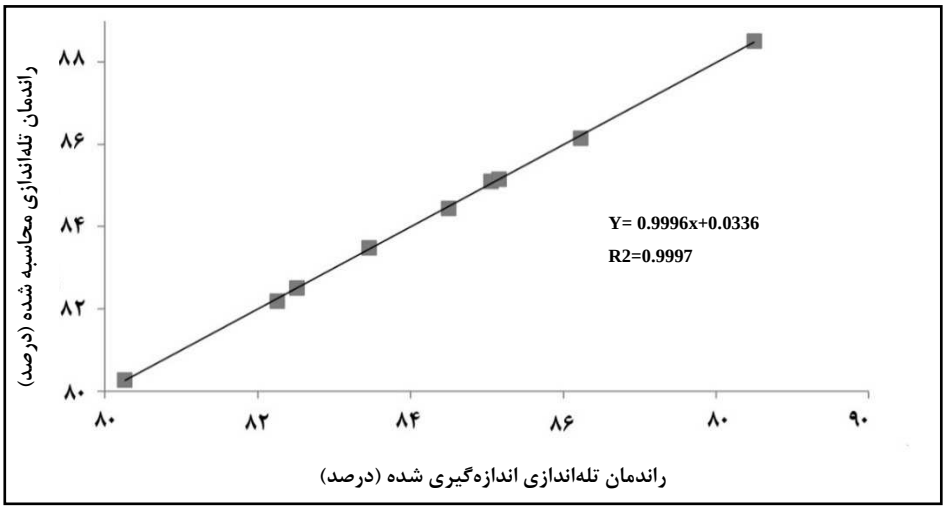


شکل ۵- ارتباط بین راندمان تله‌اندازی رسوب و شیب کف کانال

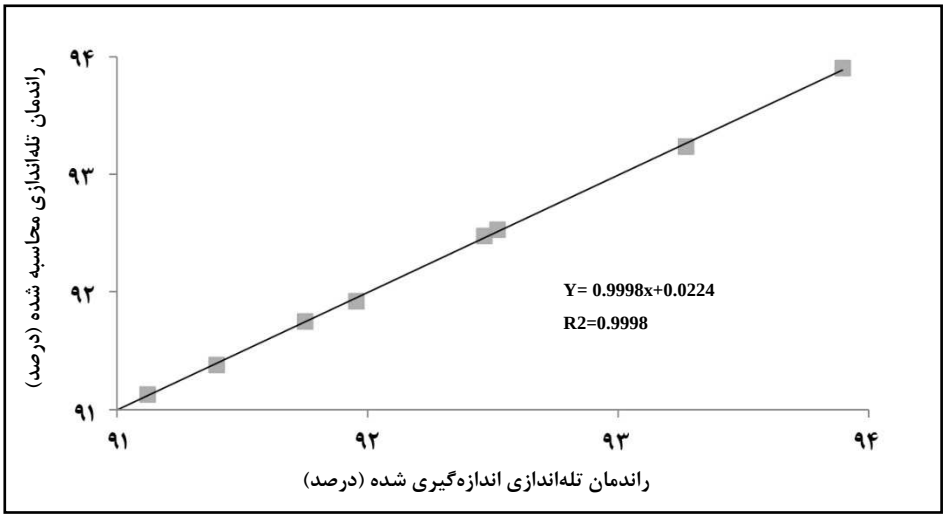


شکل ٦- ارتباط راندمان تله‌اندازی و تراکم پوشش گیاهی

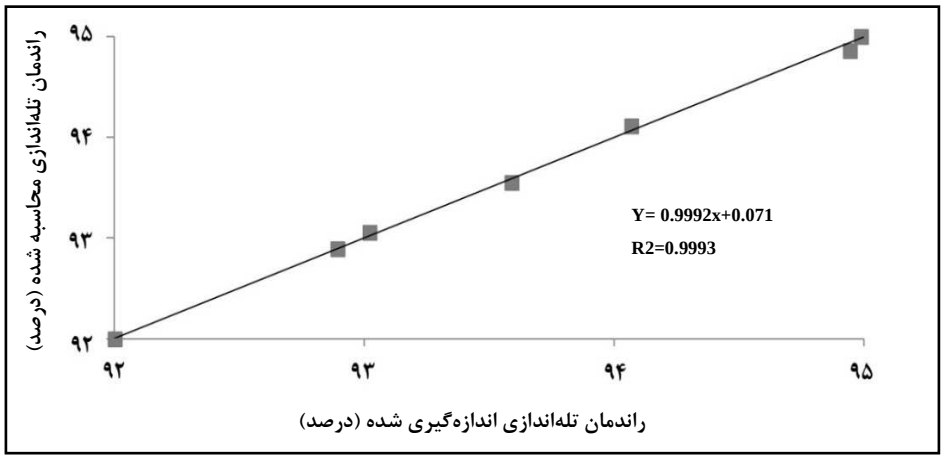
در شکل‌های ۷ تا ۹، مقایسهٔ بین راندمان تله‌اندازی اندازه‌گیری شده و محاسبه شده در تراکم‌های مختلف پوشش گیاهی ۱۲، ۲۵ و ۵۰ درصد نشان داده شده است که دارای ضریب همبستگی بالایی هستند. پیشتر گفته شد که پارامترهای شیب، تراکم پوشش گیاهی، نسبت سرعت متوسط جریان به سرعت برشی و عدد فرود بر راندمان تله‌اندازی مؤثر هستند. تراکم پوشش گیاهی و شیب بیشترین تأثیر را روی راندمان تله‌اندازی دارند. از طرفی، بالا بودن نسبت سرعت متوسط جریان به سرعت برشی سبب کاهش راندمان تله‌اندازی رسوب می‌شود زیرا با افزایش سرعت میزان رسوب خروجی افزایش یافته و درصد تله‌اندازی رسوب کاهش می‌یابد. با افزایش تراکم پوشش گیاهی درصد تله‌اندازی رسوب افزایش می‌یابد.



شکل ۷- مقایسهٔ راندمان تله‌اندازی اندازه‌گیری و محاسبه شده در تراکم ۱۲ درصد



شکل ۸- مقایسهٔ راندمان تله‌اندازی اندازه‌گیری و محاسبه شده در تراکم ۲۵ درصد



شکل ۹- مقایسهٔ راندمان تله‌اندازی اندازه‌گیری و محاسبه شده در تراکم ۵۰ درصد

نتایج و بحث

هدف از این پژوهش عبارت است از بررسی تأثیر پارامترهای تراکم پوشش گیاهی، شیب، نسبت دبی رسوب ورودی به دبی رسوب خروجی، عدد فرود و دبی جریان در شرایط وجود پوشش گیاهی روی راندمان تله‌اندازی. نتایج نشان می‌دهد که در صورت وجود پوشش تا ۹۶ درصد، راندمان تله‌اندازی رسوب افزایش می‌یابد اما با افزایش دبی این میزان کاهش می‌یابد. بیشترین راندمان تله‌اندازی رسوب در شرایط تراکم ۵۰ درصد و با کمترین دبی ۴ لیتر برثانیه و با عدد فرود ۰/۱۵ و در شیب ۰/۰۰۲ محقق می‌شود. با کاهش عدد فرود، نسبت دبی رسوب ورودی به دبی رسوب خروجی افزایش می‌یابد. نتایج نشان می‌دهد که با افزایش تراکم پوشش گیاهی، نسبت دبی رسوب ورودی و دبی رسوب خروجی با دبی جریان افزایش می‌یابد یعنی با افزایش تراکم پوشش میزان دبی رسوب تله افتاده افزایش می‌یابد. از طرفی، با کاهش شیب میزان این نسبت افزایش می‌یابد یعنی با افزایش شیب دبی رسوب خروجی افزایش یافته و تله‌اندازی رسوب کاهش می‌یابد. روابط ارائه شده می‌تواند برای شرایط مشابه با شرایط مورد آزمایش به کار برده شود. وجود یا توسعهٔ پوشش گیاهی یکی از ارزان‌ترین راهکارهای عملی برای کنترل رسوب و حفظ محیط زیست طبیعی در رودخانه‌ها است به خصوص در رودخانه‌هایی که با بار رسوب معلق و بستر زیاد به دریاچهٔ سدهای مخزنی یا تنظیمی وصل می‌شود. قسمت اعظم رسوب در این شرایط با پوشش گیاهی قابل کنترل است. از طرفی در کانال‌های آبیاری و زهکشی رشد و نمو پوشش گیاهی که عمدتا از نوع نی است، باعث کاهش سرعت جریان و به دنبال آن کاهش عدد فرود می‌شود و در نتیجه میزان تله‌اندازی رسوب را افزایش می‌دهد. ایجاد این شرایط از مهم‌ترین مسائل مبتلا به شبکهٔ آبیاری و زهکشی تلقی می‌شود. که به عنوان یک مانع باعث کاهش ظرفیت آبدهی و راندمان انتقال آب و بالا رفتن هزینه‌های نگهداری کانال‌ها و به طور کلی شبکهٔ آبیاری و زهکشی می‌شود.

قدردانی

این مقاله بخشی از نتایج طرح تحقیقاتی بررسی آزمایشگاهی اثر پوشش درختی و درختچه‌ای بر فرسایش و رسوب در بستر مسیل‌هاست. در اینجا از مساعی ارزشمند مدیریت و کارشناسان محترم پژوهشکدهٔ حفاظت خاک و آبخیزداری، به ویژه کارکنان آزمایشگاه هیدرولیک، به دلیل همکاری ارزشمندشان در انجام این پژوهش صمیمانه سپاسگزاری می‌شود.

مراجع

Curran. J. C. and Hession, W. C. 2013. Vegetative impacts on hydraulics and sediment processes across the fluvial system. J. Hydrol. 505, 364-376.

Deletic, A. 2005. Sediment transport in urban runoff over grassed areas. J. Hydrol. 301, 108-122.

Ghadiri, H., Hussein. J., Rose, C., Yu, B. and Abedinia, M. 2008. Predicting vegetation buffer efficiency in reducing runoff transport of sediments and nutrients. CD Proceeding of 15th ISCO Congress: Soil and Water Conservation, Climate change and Environmental Sensitivity. 18-23 May. Geographical Research Institute. Hungarian Academy of Sciences. Budapest.

Gharabaghi, B., Rudra, R. P., Whiteley, H. R. and Dickinson, W. T. 2000. Sediment removal efficiency of vegetative filter strips. American Society of Agricultural and Biological Engineers (ASAE) International Annual Meeting. Sacramento. California. Paper No. 01-2071.

Jin, C. X. and Römkens, M. 2001. Experimental studies of factors in determining sediment trapping in vegetative filter strips. T. ASAE. 44(2): 277-288.

Liu. X., Zhang. X. and Zhang, M. 2008. Major factors influencing the efficacy of vegetated buffers on sediment trapping: a review and analysis. J. Environ. Qual. 37(5): 1667-1674.

Mirsadeghi, F. 2013. Reviews of hydraulic flow in channels with fitted wall vegetation and seed classification variable in the floor. M. Sc. Thesis. Tarbiat Modares University. Tehran. Iran. (in Persian)

Rey, F., Isselin-Nondedeu, F. and Be´de´carrats, A. 2005. Vegetation dynamics on sediment deposits upstream of bioengineering works in mountainous marly gullies in a Mediterranean climate (Southern Alps, France). Plant Soil. 278, 149-158.

Sharpe, R. G. and James, C. S. 2006. Deposition of sediment from suspension in emergent vegetation. Water SA. 32(2): 211-218.

Shiono, K. L., Chan, T. L., Spooner, J., Rameshwaran. P. and Chandler, J. H. 2009. The effect of floodplain roughness on flow structures, bedforms and sediment transport rates in meandering channels with overbank flows: Part II. J. Hydraul. Res. 47(1): 20-28.

Victor. S., Golbuu. Y., Wolanski. E. and Richmond, R. H. 2004. Fine sediment trapping in two mangrove-fringed estuaries exposed to contrasting land-use intensity, Palau, Micronesia. Wetlands Ecol. Manage. 12, 277-283.

Yuan. Y., Bingner, R. L. and Locke, M. A. 2009. A review of effectiveness of vegetative buffers on sediment trapping in agriculture areas. Ecohydrol. Hydrobiol. 2, 321-336.

Zhou. Z. C., Gan, Z. T. and Shangguan, Z. P. 2013. Sediment trapping from hyperconcentrated flow as affected by grass filter strips. Pedosphere. 23(3): 372-375.

Journal of Applied Research in Irrigation and Drainage Structures Engineering/Vol.16/No.65/2016/P:71-84

Sediment Trap and Flow Components in the Channel with Vegetation Cover

N. Gh. Ebrahimi*, A. Shirdeli and H. Shafaei

* Corresponding Author: Associate Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, AREEO, Tehran, Iran. Email: nebrahimi81@yahoo.com
Received: 26 September 2015, Accepted: 9 January 2015

Vegetation cover is a major environmental issue in rivers, streams, and irrigation channels. It constrains water discharge, increases sediment accumulation, and traps river loads. The present research experimentally determined the effects of vegetation coverage in an irrigation channel on its hydrological characteristics. The rate of sediment trapping, sediment load from the exit point of the flume, Froude number, and bed slope were assumed as the experimental boundaries to test different types of vegetation coverage. A flume was constructed at the Soil Conservation and Watershed Management Institute that was 7 m in length and 25 cm in width. Testing was conducted at three vegetation densities (12%, 25%, and 50%) at water discharge rates of 4, 6, and 8 $l.s^{-1}$. These conditions were repeated at bed slopes of 0.002, 0.004, and 0.006. A sediment load of 4000 g/min was added for each test. The highest sediment trap efficiency was reported at 50% vegetation coverage density and a Froude number of 0.015 with water discharge of 4 ($l.s^{-1}$) and a bed slope of 0.002%. The results revealed an increase in sediment discharge as the Froude number decreased. The rate of sediment trapping increased as the vegetation density increased. An increase in load and a decrease in rate trap efficiency of vegetation were recorded for the steeper flume bed.

Keywords: Deposition, Irrigation Canal, Trapping Efficiency, Vegetation Cover Density