

بررسی آزمایشگاهی اثر آرایش و تراکم پوشش گیاهی بر ضریب مقاومت جریان

سمیرا سلمان زاده^{۱*}، منوچهر فتحی مقدم^۲، جواد احدیان^۳، سید محسن سجادی^۴

۱) دانشجوی دکتری، گروه سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

۲) استاد، گروه سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

۳) دانشیار، گروه سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

۴) استادیار، گروه سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

* نویسنده مسئول: samira.salmanzade@yahoo.com

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۵/۱۰

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۲/۱۸

چکیده

این مقاله با در نظر گرفتن شرایط هیدرولیکی جریان رودخانه و شرایط مورفولوژیکی پوشش گیاهی در حاشیه و سیلاب‌دشت رودخانه انجام شده است. نیروی هیدرودینامیکی درگ در شرایط آزمایشگاهی و با استفاده از یک نیروسنج در حضور پوشش گیاهی انعطاف‌پذیر به صورت مستقیم اندازه‌گیری شد. براین اساس تمامی آزمایش‌ها در فلومی تحت عنوان "فلوم لبه چاقویی" با طول ۸/۳ متر، عرض ۰/۸ متر و ارتفاع ۰/۵۵ متر انجام شد. نمونه پوشش گیاهی انعطاف‌پذیر به صورت غیرمستغرق با ۳ تراکم ۳۰، ۵۰ و ۱۰۰ درصد با آرایش زیگزاگی در سه عمق نسبی آب ۰/۶، ۰/۸ و ۱ مورد آزمون واقع شد. در این مطالعه تراکم پوشش گیاهی با افزایش فاصله و سطح برگ گیاهان تغییر کرد. نتایج نشان داد نیروی درگ به میزان قابل توجهی به آرایش و تراکم پوشش گیاهی به عنوان یکی از ویژگی‌های مورفولوژیکی قابل اندازه‌گیری گیاه بستگی دارد. نتایج مربوطه می‌تواند به عنوان معیار مفید در تخمین مقاومت ناشی از وجود زبری‌های گیاهی در رودخانه باشد.

واژه‌های کلیدی: ضریب مقاومت، آرایش زیگزاگی، تراکم، پوشش گیاهی انعطاف‌پذیر، نیروی درگ.

مقدمه

امروزه تغییر اقلیم و افزایش دمای کره زمین به دلیل گسترش فعالیت‌های صنعتی بشر تاثیر بسزایی بر چرخه هیدرولیکی و ذخیره منابع آب، خشک‌سالی‌های پی در پی، طغیان رودخانه‌ها و بروز سیلاب دارد. رودخانه‌ها از مهمترین منابع آبی در جهان محسوب می‌شوند؛ از این رو بهره‌برداری بهینه از این منابع به همراه حفظ شرایط زیست‌محیطی آبراهه و به حداقل رساندن خرابی‌های ناشی از سیلاب‌ها به عنوان یکی از اهداف توسعه پایدار در مهندسی رودخانه تلقی می‌شود. مهندسی نو دانشمندان هیدرولیک که در زمینه بهینه‌سازی رودخانه‌ها مطالعه می‌نمایند، نیاز برای فهم عمیق‌تر آبراهه‌های طبیعی به عنوان یک سیستم دینامیک و پیچیده‌ای که نه فقط شامل المان‌های بی‌جان همچون رسوب است بلکه حاوی مؤلفه‌های بیولوژیک و جاندار است را سازماندهی می‌کنند. از این نقطه نظر نقش گیاهان رودخانه‌ای در دینامیک رودخانه و شرایط جریان، نقشی حیاتی است. با گسترش میل به بهینه‌سازی رودخانه‌ها تعدادی از مطالعات انجام شده با تمرکز بر اثرات هیدرولیکی در حوزه کلی جریان در نتیجه زبری‌های طبیعی می‌باشد. (Stephan and Gutknecht, 2002). پوشش گیاهی در حاشیه رودخانه‌ها به دلیل تاثیر بر تنوع زیستی رودخانه‌ها و همچنین انتقال رسوب، نقش به‌سزایی در مدیریت محیط زیست رودخانه و کنترل فرسایش و رسوب دارد؛ به دلیل وجود ریشه‌های گیاهان، خاک به طور مکانیکی تقویت شده و در پایداری بستر و ساحل رودخانه تاثیرگذار است (Wynn and Mostaghimi, 2006; Afzalimehr and Subhasish, 2009; Nepf, 2012; Krzeminska, et al. 2019). با این حال پوشش گیاهی بر ظرفیت انتقال رودخانه‌ها و کانال از طریق کاهش سرعت جریان نقش داشته و به‌عنوان یکی از روش‌های غیرسازه‌ای کنترل سیلاب در فعالیت‌های مهندسی رودخانه حائز اهمیت است (Aberle and Järvelä, 2015). در رودخانه‌های مناطق مستعد سیلاب، پوشش گیاهی حاشیه رودخانه باعث به تاخیر افتادن سیلاب شده و در هنگام بارندگی‌های شدید، سرعت رواناب سطحی که به رودخانه می‌پیوندد را کم کرده و مشکلات سیلاب را کاهش می‌دهد (Tsujiimoto, 1999; Liu and Shen, 2008; Pasche and Rouvé, 1985). در سالهای اخیر وقوع سیلاب‌هایی با دوره بازگشت کوتاه مدت در بسیاری از کشورها باعث شده است تا پروژه‌های مهندسی رودخانه با هدف پیشگیری از خسارت‌های سیل، بازسازی رودخانه‌ها و کانال‌های خاکی اهمیت زیادی پیدا کند. حفاظت غیر سازه‌ای و بیولوژیکی سواحل علاوه بر حفظ زیستگاه‌های طبیعی، از نظر اقتصادی مقرون به صرفه بوده و به دلیل ایجاد زبری در مسیر رودخانه باعث افزایش مقاومت در برابر جریان می‌شود. تخمین مقاومت جریان جهت حفاظت از بستر و ساحل رودخانه‌ها، احیای تالاب‌ها و سایر جنبه‌های اکولوژیکی و هیدرولیکی امری ضروری است. از این رو Fathi-Moghadam و Kouwen (۱۹۹۷) به بررسی اثر پوشش گیاهی انعطاف‌پذیر و غیرمستغرق در سیلاب‌دشت‌ها پرداختند. آنها برای بدست آوردن مدل ریاضی به منظور تخمین زبری سیلاب‌دشت‌ها و مناطقی از رودخانه که دارای پوشش گیاهی هستند از نهال‌ها و شاخه‌های درختان کاج و سرو در فلوم آزمایشگاهی استفاده کردند و آزمایش‌ها جهت نشان دادن اثر عدم صلبیت و عمق آب گرفتگی

پوشش گیاهی انجام شد. Fathi-Moghadam و Kouwen (۲۰۰۰) از یک مدل فیزیکی برای تخمین ضریب مقاومت درختان کاج در کانال روباز برای محاسبه تغییرات در انعطافپذیری بین گونه‌های درختان استفاده کردند. این مدل با فرض افزایش خطی سطح شاخ و برگ با ارتفاع و تجزیه تحلیل ابعادی پایه‌گذاری شد. برای تخمین فاکتورهای مقاومت پارامترهای سرعت، عمق جریان، شرایط پوشش گیاهی (شامل نوع، اندازه، مرحله بلوغ و تکامل و همچنین تراکم پوشش گیاهی) در این مدل در نظر گرفته شد. تغییرات قابل توجه مقدار n مانینگ با شرایط جریان و پوشش گیاهی، در نظر گرفتن این شرایط را در برآورد ضریب زبری مانینگ ضروری می‌کند. از این رو Ebrahimi و همکاران (۲۰۰۸) به بررسی وضعیت جریان و پوشش گیاهی بر ضریب زبری رودخانه‌ها پرداخت. نتایج نشان داد زمانیکه تراکم پوشش گیاهی افزایش می‌یابد، ضریب زبری مانینگ افزایش یافته در حالیکه با افزایش عمق و سرعت جریان زبری مانینگ کاهش می‌یابد. Ebrahimi و همکاران (۲۰۰۸) برای ارزیابی سیل‌های زمستانی و تابستانی در دره‌های کم‌شیب و سیلاب‌دشت‌ها یک روش کاربردی برای تخمین مقاومت جریان ارائه دادند. این روش با در نظر گرفتن ساختار شاخه‌ای درخت، از پارامترهای مشخصه پوشش گیاهی استفاده کرده و قادر به محاسبه مقاومت جریان پوشش گیاهی با برگ و بدون برگ می‌باشد. برای شرایط بدون برگ، این روش با خطای کمتری (۵- تا +۴ درصد) قادر به محاسبه ضرایب اصطکاک مانند مانینگ است. علاوه بر شاخ و برگ پوشش گیاهی، سایر اندام‌های گیاه مانند ریشه‌ها و ساقه هنگامی که در مقابل جریان قرار می‌گیرند در جذب نیرو تاثیرگذارند. Kothyari و همکاران (۲۰۰۹) مقاومت در مقابل جریان را برای ساقه‌های سفت و دایره‌ای در شرایط آزمایشگاهی بررسی کردند. رابطه ضریب درگ برای ساقه صلب و غیر مستغرق با آرایش زیگزاگی نشان داد که مقاومت در مقابل جریان به صورت لگاریتمی با تراکم ساقه‌ها افزایش می‌یابد. مطالعه اعداد بدون بعد نشان داد که تاثیر عدد رینولدز بر ضریب درگ با در نظر گرفتن آرایش ساقه‌ها بسیار کم است اما در جریان‌های فوق بحرانی ضریب درگ با افزایش عدد فرود کاهش می‌یابد. با توجه به مروری بر مطالعات گذشته، آرایش و تراکم پوشش گیاهی و سطح مقابل جریان پارامتری تاثیرگذار در مقاومت جریان است. از این رو در این مقاله این موضوع بررسی می‌گردد.

مواد و روش‌ها

آنالیز ابعادی

پارامترهای موثر به منظور بررسی اثر خصوصیات پوشش گیاهی بر نیروی هیدرودینامیکی درگ ناشی از جریان رودخانه بصورت زیر است:

$$f(F_D, A_L, D, H, V, y_n, \rho, \mu, g) = 0$$

رابطه ۱:

که در آن: FD نیروی درگ سیال، AL سطح یک طرفه برگ، D تراکم پوشش گیاهی (درصد)، H ارتفاع پوشش گیاهی، V سرعت جریان ماندگار و یکنواخت، y_n عمق نرمال جریان، ρ جرم واحد حجم سیال، μ لزجت دینامیکی، g شتاب گرانش. با تحلیل ابعادی و بر اساس روش پی باکینگهام و در نظر گرفتن V ، y_n ، ρ به عنوان متغیرهای تکراری و در نهایت ترکیب پارامترهای بدون بعد، رابطه (۱) بصورت رابطه (۲) بازنویسی شد.

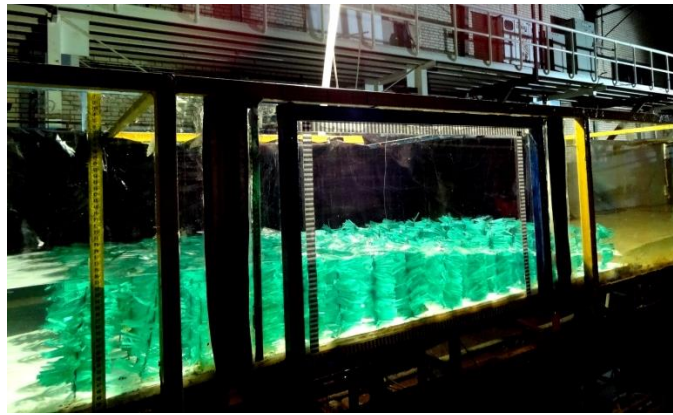
$$f\left(\frac{FD}{\rho AV^2}, \frac{y_n}{H}, D, \frac{V}{\sqrt{gy_n}}, \frac{\rho Vy_n}{\mu}\right) = 0 \quad \text{رابطه ۲:}$$

اولین پارامتر بدون بعد ضریب درگ جریان، دومین پارامتر بدون بعد عمق آب‌گرفتگی پوشش گیاهی، پارامتر سوم تراکم پوشش گیاهی (درصد)، دو پارامتر بدون بعد آخر به ترتیب عدد فرود و رینالدز می‌باشند. (Fathi-Maghadam and Kouwen, 1997) به نقل از (Koloseus and Davidian, 1966) نشان داد که در جریان‌های پایدار زمانیکه عدد فرود کمتر از $1/6$ باشد ضرایب اصطکاک مستقل از اثرات گرانشی است؛ از اینرو اثر جاذبه نادیده گرفته می‌شود. با توجه به اینکه محدوده عدد فرود جریان در این مقاله حدوداً $0/5$ می‌باشد از این رو از بررسی عدد فرود صرف‌نظر می‌شود. همچنین جریان در ناحیه متلاطم قرار گرفته و مستقل از عدد رینالدز در نظر گرفته می‌شود. بنابراین پارامترهای موثر بر ضریب مقاومت جریان در این مقاله به صورت زیر می‌باشد:

$$CD = f\left(D, \frac{y_n}{H}\right) \quad \text{رابطه ۳:}$$

تجهیزات آزمایشگاهی

آزمایش‌ها در آزمایشگاه هیدرولیک دانشکده مهندسی آب و محیط زیست دانشگاه شهید چمران اهواز، ایران، در فلومی با بدنه‌ای فلزی به طول $8/3$ متر، عرض $0/8$ متر و ارتفاع $0/55$ متر با دیواره‌هایی از جنس پلکسی گلاس انجام گرفت. طولی به اندازه یک متر در میلنه فلوم از بالا دست و پایین دست آن جدا شده و بخش متحرکی تحت عنوان "لبه چاقویی" برای اندازه‌گیری نیروی وارده بر بخش گیاهی تعبیه شد. در شکل (۱) نمایی از فلوم آزمایشگاهی به همراه پوشش‌های گیاهی نشان داده شده است.



شکل ۱: فلوم انجام آزمایش‌ها به همراه پوشش‌های گیاهی

نیروسنج نصب شده در قسمت لبه چاقویی و متحرک فلوم به یک نمایشگر الکتریکی متصل بوده و عکس‌العمل نیروی جریان بر قسمت متحرک فلوم را نشان می‌دهد. در طول آزمایش‌ها دبی متغیر جریان توسط سیستم گردش آب آزمایشگاه شامل استخر آب، سیستم پمپاژ، مخزن تامین بار ثابت و شبکه لوله‌کشی تامین شده و به وسیله دبی‌سنج آلتراسونیک قرائت شد. سرعت جریان بوسیله سرعت سنج سه بعدی الکترومغناطیسی اندازه‌گیری شد. همچنین به منظور اندازه‌گیری عمق متوسط جریان از عمق‌سنج با دقت میلیمتر استفاده شد. در ابتدای فلوم، صفحه مشبک با همان عرض فلوم به منظور آرام نمودن جریان و از بین بردن اغتشاشات استفاده شد. نمونه‌های مصنوعی پوشش گیاهی در طول فلوم در قسمت لبه چاقویی، قبل و بعد از لبه چاقویی در مسیر جریان قرار داده شدند. صفحه‌ی PVC با ضخامت ۱ سانتی‌متر توسط مته‌ای با قطر ۲ میلی‌متر دریل کاری شد و در کف فلوم نصب شد و نمونه‌های مصنوعی پوشش گیاهی با ارتفاع ۱۵ سانتی‌متر با آرایش زیگزاگی در تراکم‌های ۱۰۰، ۵۰ و ۳۰ درصد بر روی صفحه چیده شدند.

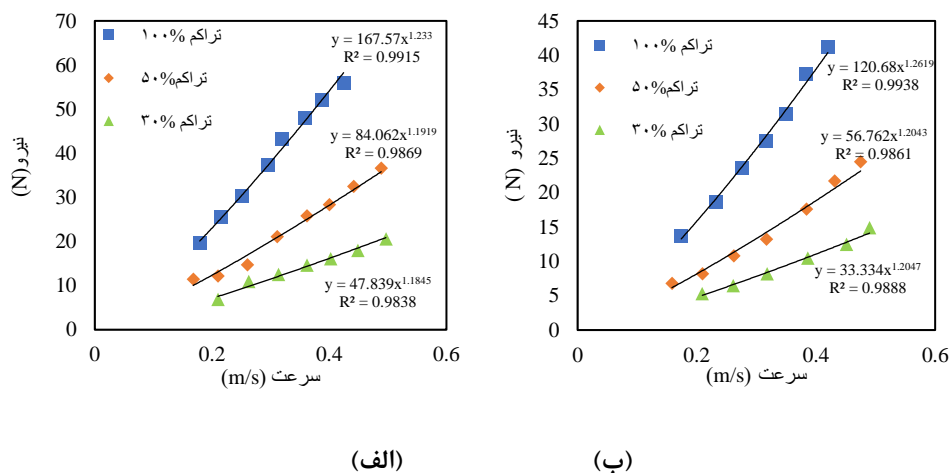
نتایج و بحث

شکل (۲) میانگین نیروی درگ به صورت تابعی از سرعت متوسط جریان را در تراکم‌های ۱۰۰، ۵۰ و ۳۰ درصد برای دو نسبت عمق آبگرفتگی ۱ و ۰/۸ نشان می‌دهد. انعطاف‌پذیری گیاهان تاثیر مهمی در مقاومت هیدرولیکی ایجاد می‌کند و باعث پیچیدگی مساله می‌شود. خم شدن گیاه تحت اثر جریان می‌تواند منجر به کاهش مقاومت در مقابل جریان شود. برازش تابع توانی به سری داده‌های پوشش گیاهی انعطاف‌پذیر نشان داد منحنی‌های (سرعت-نیرو) برازش شده از داده‌های آزمایشگاهی پوشش گیاهی انعطاف‌پذیر با اختلاف زیادی از توان ۲ در رابطه نیروی درگ فاصله گرفته و به سمت نمودار خطی بصورت $F_D \sim U^{1.23}$ و اختلاف توان سرعت با مقداری برابر ۰/۷۷-، به سمت منحنی درجه ۱ متمایل شده است. رابطه غیرخطی پارامترهای مقاومت با سرعت جریان با نتایج سایر محققین (Fathi-Maghadam and Kouwen, 1997, Kouwen and Fathi-Moghadam, 2000, Järvelä, 2002, Lei and Nepf, 2021) مطابقت دارد اما میزان آن با توجه به تفاوت در نوع

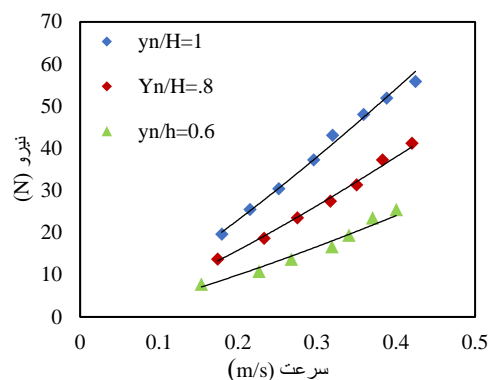
پوشش گیاهی استفاده شده و شرایط آزمایشگاهی متغیر است. به طور مشابه در مطالعات دیگر رابطه‌ای خطی برای درختان برگ‌دار انعطاف پذیر مشاهده شده است. (Armanini et al., 2005, Wilson et al., 2008).

تجزیه و تحلیل‌ها نشان داد که در سرعت‌های جریان قابل مقایسه و در یک نسبت عمق آبگرفتگی، نیروی درگ به تراکم سطح برگ پوشش گیاهی بستگی داشته و افزایش تراکم منجر به افزایش مقاومت جریان می‌شود؛ بررسی داده‌ها نشان داد با ۲ و ۳ برابر کردن تراکم پوشش گیاهی، میزان نیرو به همان نسبت افزایش نمی‌یابد؛ میزان افزایش نیرو در حالت ۲ برابر کردن تراکم، ۱/۷ و در حالت ۳ برابر کردن تراکم ۲/۵ برابر حاصل شد. این تفاوت می‌تواند بدلیل برهم کنش بین گیاهان، اثرگذاری بر یکدیگر و خاصیت هم‌پوشانی در حالت افزایش تراکم باشد. با افزایش تراکم بدلیل اینکه سطح مقابل جریان افزایش یافته و تعداد گیاه بیشتری در مقابل جریان قرار گرفته است مقاومت بیشتر شده و میزان نیروی هیدرودینامیکی درگ افزایش می‌یابد.

در شکل (۳) میانگین نیروی درگ در حالت تراکم ۱۰۰ درصد برای سه نسبت عمق آبگرفتگی ۱، ۰/۸ و ۰/۶ نشان داده شده است. با افزایش عمق آبگرفتگی، سطح مقابل جریان پوشش گیاهی افزایش یافته و باعث ایجاد مقاومت بیشتر شده و میزان تغییرات در نیروی درگ افزایش می‌یابد. نتایج نشان داد با افزایش عمق آبگرفتگی از ۰/۶ به ۰/۸ و ۰/۸ به ۱، سطح مقابل جریان به ترتیب ۱/۶۷ و ۱/۲۵ برابر افزایش می‌یابد. این افزایش سطح به ترتیب باعث افزایش ۲/۶ و ۱/۵ برابری نیروی هیدرودینامیکی درگ خواهد شد.



شکل ۲: نیروی درگ در مقابل سرعت جریان (الف) $y_n/H=1$ ، (ب) $y_n/H=0.8$



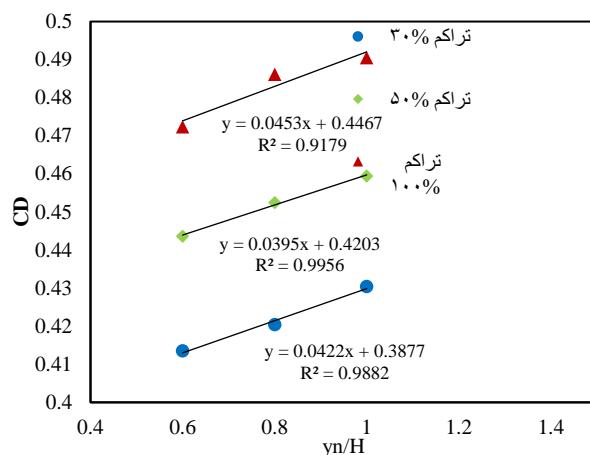
شکل ۳: نیروی درگ در مقابل سرعت جریان با در نظر گرفتن اثر عمق آبگرفتگی

نیروی درگ اعمال شده بر روی المان پوشش گیاهی را می‌توان از فرمول کلاسیک موریسون بصورت زیر محاسبه کرد:

$$F_D = \frac{1}{2} C_D \rho V^2 A_L + \rho C_m V \left(\frac{dU}{dt} \right) \quad \text{رابطه ۴:}$$

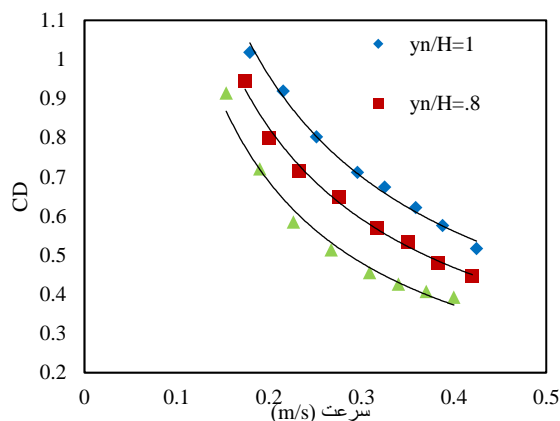
که در آن: F_D نیروی درگ، ρ دانسیته سیال، C_D ضریب درگ، A_L سطح یک طرفه برگ، V سرعت جریان ماندگار است. C_m ضریب اینرسی، V حجم مقابل جریان است. در جریان‌های ماندگار از تغییرات سرعت با زمان بدلیل ناچیز بودن صرف نظر می‌شود. با استفاده از رابطه (۴) ضریب درگ جریان محاسبه شده و تغییرات آن با سرعت در شکل (۴) نشان داده شده است.

با توجه به شکل (۴) با افزایش عمق آبگرفتگی مقدار ضریب درگ برای هر تراکم پوشش گیاهی افزایش می‌یابد. شکل مورفولوژیکی پوشش گیاهی مورد مطالعه در این مقاله به گونه‌ای است که رابطه خطی بین ارتفاع پوشش گیاهی و سطح مقابل جریان برقرار است. با افزایش عمق آبگرفتگی و ثابت بودن ارتفاع پوشش گیاهی، جریان با ارتفاع بیشتری به پوشش برخورد کرده در نتیجه سطح مقابل جریان و به تبع آن میزان نیروی درگ افزایش می‌یابد. با توجه به رابطه (۴)، ضریب درگ با نیرو رابطه مستقیم و با سطح مقابل جریان رابطه معکوس دارد. با توجه به تاثیر بیشتر روند افزایشی نیرو نسبت به سطح مقابل جریان، تاثیر نیرو غالب بوده و باعث افزایش ضریب درگ با افزایش تراکم می‌شود. نتایج حاصل شده با تحقیقات (Kothyari et al., 2009) مطابقت دارد.



شکل ۴: تغییرات ضریب درگ با عمق آبگرفتگی و تراکم پوشش گیاهی

اندازه گیری آزمایشگاهی نیروی درگ تاثیر شدید انعطاف پذیری پوشش گیاهی در انحراف سطح شاخ و برگ و کاهش ضریب درگ با افزایش سرعت متوسط را تایید می کند. با توجه به شکل (۵) و در نظر گرفتن معادله (۴)، رابطه بین ضریب درگ و سرعت جریان، رابطه معکوس بوده و از طرفی با توجه به افزایش عمق آبگرفتگی و افزایش سطح مقابل جریان میزان ضریب درگ افزایش یافته است.



شکل ۵: تغییرات ضریب درگ با سرعت جریان

نتیجه گیری

استفاده از روش های مدل سازی در کنار تجزیه و تحلیل داده ها برای توصیف اثر مقاومت جریان در بستر و حاشیه رودخانه ها و سواحل امری ضروری است. در بسیاری از فعالیت های مهندسی رودخانه به کارگیری نتایج مشاهدات آزمایشگاهی و کالیبراسیون داده ها می تواند گامی موثر در ارائه راه حل ها و برنامه ریزی در هنگام مواجه با شرایط بحرانی باشد. در این مقاله اثر تراکم پوشش گیاهی مصنوعی انعطاف پذیر با تغییر در چیدمان و فاصله بین پوشش ها و همچنین اثر عمق آبگرفتگی پوشش گیاهی بر میزان

جذب نیروی هیدرودینامیکی درگ بررسی شد. نتایج مشاهداتی را مبنی بر اینکه مدل‌سازی مقاومت جریان بر اساس تراکم پوشش و عمق آبگرفتگی قابل اعتماد است، ارائه کرد.

منابع

- Aberle, J. And Jarvela, J. (2015).** Hydrodynamics of vegetated channels. Rivers–physical, fluvial and environmental processes. Springer.
- Afzalimehr, H. And Subhasish, D. (2009).** Influence of bank vegetation and gravel bed on velocity and Reynolds stress distributions. International Journal of Sediment Research, 24, pp: 236-246.
- Armanini, A., Righetti, M. And Grisenti, P. (2005).** Direct measurement of vegetation resistance in prototype scale. Journal of Hydraulic Research, 43(5), pp:481-487.
- Ebrahimi, N. G., Fathi-Moghadam, M., Kashefipour, S., Saneie, M. And Ebrahimi, K. (2008).** Effects of flow and vegetation states on river roughness coefficients. Journal of Applied Sciences, 8, pp: 2118-2123.
- Fathi-Moghadam, M. And Kouwen, N. (1997).** Nonrigid, nonsubmerged, vegetative roughness on floodplains. Journal of Hydraulic Engineering, 123, pp:51-57.
- Jarvela, J. (2002).** Flow resistance of flexible and stiff vegetation: a flume study with natural plants. Journal of hydrology, pp: 269, 44-54.
- Koloseus, H. J. And Davidian, J. (1966).** Free-surface Instability Correlations: And Roughness-concentration Effects on Flow Over Hydrodynamically Rough Surfaces. US Government Printing Office.
- Kothyari, U. C., Hashimoto, H. And Hayashi, K. (2009).** Effect of tall vegetation on sediment transport by channel flows. Journal of Hydraulic Research, 47, pp:700-710.
- Kouwen, N. And Fathi-Moghadam, M. (2000).** Friction factors for coniferous trees along rivers. Journal of hydraulic engineering, 126, pp: 732-740.
- Krzeminska, D., Kerkhof, T., Skaalsveen, K. And Stolte, J. (2019).** Effect of riparian vegetation on stream bank stability in small agricultural catchments. Catena, 172, pp:87-96.
- Lei, J. And Nepf, H. (2021).** Evolution of flow velocity from the leading edge of 2-D and 3-D submerged canopies. Journal of Fluid Mechanics, 916.
- Liu, C. And Shen, Y.M. (2008).** Flow structure and sediment transport with impacts of aquatic vegetation. Journal of Hydrodynamics, 20, pp: 461-468.
- Nepf, H. M. (2012).** Hydrodynamics of vegetated channels. Journal of Hydraulic Research, 50, pp:262-279.
- Pasche, E. And Rouve, G. (1985).** Overbank flow with vegetatively roughened flood plains. Journal of Hydraulic Engineering, 111, pp:1262-1278.
- Stephan, U. And Gutknecht, D. (2002).** Hydraulic resistance of submerged flexible vegetation. Journal of Hydrology, 269, pp: 27-43.
- Tsujimoto, T. (1999).** Fluvial processes in streams with vegetation. Journal of hydraulic research, 37, pp:789-803.
- Wilson, C., Hoyt, J. And Schnauder, I. (2008).** Impact of foliage on the drag force of vegetation in aquatic flows. Journal of Hydraulic Engineering, 134, pp:885-891.
- Wynn, T. And Mostaghimi, S. (2006).** The effects of vegetation and soil type on streambank erosion, southwestern virginia, usa 1. JAWRA Journal of the American Water Resources Association, 42, pp: 69-82.

Laboratory study of the effect of vegetation arrangement and density on flow resistance coefficient

Samira SalmanZadeh^{1*}, Manoochehr FathiMoghadam², Javad Ahadiyan³, Seyed Mohsen Sajadi⁴

- 1) Ph.D candidate, Hydraulic Structure Department, Faculty of Water and Environmental Engineering, ShahidChamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran
- 2) Professor, Hydraulic Structure Department, Faculty of Water and Environmental Engineering, ShahidChamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran
- 3) Associate Professor, Hydraulic Structure Department, Faculty of Water and Environmental Engineering, ShahidChamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran
- 4) Assistant Professor, Hydraulic Structure Department, Faculty of Water and Environmental Engineering, ShahidChamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

*Correspondence author: samira.salmanzade@yahoo.com

Received Data: 2022. 05. 08

Accepted Data: 2022. 08.01

Abstract

This paper has been done by considering the hydraulic conditions of the river flow and the morphological conditions of the vegetation along the river and floodplain. The hydrodynamic drag force was measured directly by use of loadcell in the presence of flexible vegetation. Accordingly, all experiments were performed in a flume named "knife edge flume" with 8.3 m length, 0.8 m width and a 0.55 m height. Flexible non-submerged vegetation models with 3 densities (30, 50 and 100%) and staggered arrangement in three relative water depths (0.6, 0.8 and 1) were tested. In this study, vegetation density changed with increasing distance and leaf area of models. The results showed that the drag force significantly depends on the density of vegetation as one of the measurable morphological features of the plant. Density results can be used as a useful criterion in estimating the resistance due to the presence of plant roughness in the river.

Keywords: Resistance coefficient, staggered arrangement, flexible vegetation, drag force.