تحقیقات منابع آب ایران
Iran-Water Resources Research

سال هشتم، شماره ۲، پائیز ۱۳۹۱
Volume 8, No. 2, Fall 2012 (IR-WRR)
۲۴-۳۵

بررسی اثر تراکم و انعطاف‌پذیری پوشش گیاهی روی ضرائب زبری در سواحل رودخانه‌ها و دشتهای سیلابی درحالت غیر مستغرق

خسرو دریکوندی[۱*]، منوچهر فتحی مقدم[۲]
علیرضا مسجدی[۳] و محمود بینا[۴]

چکیده
ضرایب زبری در سواحل رودخانه‌ها و دشت‌های سیلابی تحت تأثیر دو عامل عمده یعنی شرایط جریان و مشخصات پوشش گیاهی است. در این میان یکی از مهمترین پارامترهای مشخصات پوشش گیاهی بحث تراکم و انعطاف پذیری آن است. تاکنون تحقیقات زیادی در زمینه اثر پوشش گیاهی روی ضریب زبری در سواحل رودخانه‌ها و دشتهای سیلابی انجام شده اما بحث تراکم گیاهی کمتر مورد توجه قرار گرفته است. بدین منظور این تحقیق جهت بررسی تاثیر تراکم و انعطاف پذیری پوشش گیاهی روی ضرائب زبری انجام شد. در بررسی که با استفاده از مدل آزمایشگاهی روی سه نوع پوشش گیاهی در حالت غیر مستغرق انجام شد اثر آنها روی ضریب زبری در چهار حالت تراکم مورد بررسی قرار گرفت. از نتایج این بررسی می‌توان به تغییرات خطی ضرائب زبری نسبت به میزان تراکم اشاره کرد. میزان کاهش ضریب زبری در هر تراکم گیاهی، بطور متوسط بین هشت الی ده درصد نسبت به حالت متراکم تر در شرایط یکسان جریان یعنی سرعت و عمق جریان (درصد استغراق) بدست آمد. همچنین در سرعت‌های و تراکم یکسان، بدلیل انعطاف پذیری متفاوت پوشش گیاهی ضریب زبری متفاوت بدست آمد.

کلمات کلیدی: پوشش گیاهی، ضریب زبری، میزان تراکم، شرایط جریان، انعطاف پذیری، غیرمستغرق.

تاریخ دریافت مقاله: ۲۱ اسفند ۱۳۸۷
تاریخ پذیرش مقاله: ۶ آبان ۱۳۹۱

۱- دانش آموخته دکتری سازه‌های آبی دانشگاه علوم و تحقیقات خوزستان، اهواز، ایران
۲- استاد دانشکده مهندسی آب دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران
۳- استادیار دانشگاه آزاد واحد اهواز، اهواز، ایران
۴- دانشیار دانشکده مهندسی آب دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران
*- نویسنده مسئول

Evaluation Effect of Density and Flaxibility of Non-Submerged Vegetation on River Banks and Floodplains on the Friction Factors

Kh. Drikvaandi [1] , M. Fathi- Moghadam[2], A. Masjedi[3] and M. Bina[4]*

Abstract
Friction coefficients of river banks and floodplains are influenced by two major factors which are the flow conditions and the characteristics of vegetation. The most important parameters of vegetation characteristics are its density and flexibility. Many research focused on the effects of vegetation on the friction factors of rivers and floodplains. Less attention has however been given to the effect of vegetation density. This research was performed using laboratory flume and three kinds of Non-Submerged vegetation, to evaluate the effect of the density and the flexibility of vegetation on friction coefficients. The effect of these parameters on friction factors was investigated in four density conditions. This research revealed a linear relationship between the friction coefficients and the vegetation density. For same flow conditions; same velocity and same depth of flow (submerge ratio), the amount of friction coefficient for the less dense vegetation was seven to ten percent less than that of the dense condition. Also in same flow and vegetation conditions, different friction factors were obtained because of the difference between flexibility of vegetation.

Keywords: Vegetation, Friction factor, Density, Flow conditions, flexibility, Non-submerged.

Received: March 11, 2009
Accepted: October 27, 2012

1- Ph.D. Graduate, Department of Irrigation, Islamic Azad University, Science and Research Branch of Khuzestan, Ahvaz, Iran, Email: drik_khosro@yahoo.com
2- Professor, Faculty of Water Engineering, University of Shahid Chamran, Ahvaz, Iran
3- Assistant Professor, Islamic Azad University of Ahvaz, Iran
4-Associate Professor, Faculty of Water Engineering, University of Shahid Chamran, Ahvaz, Iran
*- Corresponding Author

Archive of SID

www.SID.ir

۱- مقدمه

پوشش گیاهی واقع در سواحل رودخانه‌ها و دشتهای سیلابی اثرات متفاوتی روی این مناطق دارد. از یک طرف با کاهش سرعت جریان باعث افزایش عمق آب و آب گرفتگی این مناطق شود و از طرف دیگر با تثبیت این نواحی باعث پایداری و جلوگیری از فرسایش آنها می‌شود. بدلیل قرارگیری اراضی مستعد کشاورزی، ایستگاههای پمپاژ آب، تصفیه خانه‌های آب، استخرهای پرورش ماهی و میگو، دهانه‌های آبگیر، بزرگراه‌ها و ..... در ساحل رودخانه‌ها و احداث سازه‌هایی مانند بندهای انحرافی و پلها روی رودخانه‌ها و همچنین بحث حفاظت سواحل رودخانه‌ها که در آن استفاده از پوشش گیاهی بعنوان یکی از مناسب‌ترین و اقتصادی‌ترین روش‌های حفاظت سواحل مطرح می‌شود، شناخت دقیق اثر پوشش گیاهی از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است. همچنین در نبود یک تخمین درست از اثر پوشش گیاهی در سواحل رودخانه‌ها، مدلهای ریاضی موجود در زمینه هیدرولیک رودخانه‌ها و حتی رسوب در این مناطق نتایج قابل قبولی بدست نخواهند داد. لذا ضرورت دارد شناخت دقیقی از اثر پوشش‌های گیاهی مختلف در این مناطق بدست آید. ضرائب زبری پوشش گیاهی در سواحل رودخانه‌ها تابع دو عامل عمده یعنی مشخصات جریان و خصوصیات پوشش گیاهی است. مشخصات جریان شامل سرعت جریان و عمق جریان است که عمق جریان بیشتر بصورت نسبت استغراق بیان می‌شود. مشخصات پوشش گیاهی شامل نوع پوشش گیاهی، تراکم، انعطاف پذیری و ....است. مهمترین ویژگی پوشش گیاهی مؤثر بر ضریب زبری بحث تراکم و انعطاف پذیری پوشش گیاهی است که علیرغم تحقیقات زیادی که روی ضرائب زبری پوشش گیاهی انجام شده این موضوع کمتر مورد توجه قرار گرفته است. در صورت اضافه شدن تراکم پوشش گیاهی، المان‌های زبری یعنی شاخ و برگ گیاهان در جهت عمود بر مسیر جریان بیشتر شده و با مقاومت بیشتر در مقابل عبور جریان باعث کاهش سرعت جریان و افزایش ضریب زبری خواهند شد. در صورت افزایش سرعت جریان، بدلیل انعطاف پذیری پوشش گیاهی، شاخ و برگها هم جهت و همسو با جریان شده و سطح برگ مقابل جریان کم شده و باعث کاهش میزان ضریب زبری می‌شود.

تاکنون تحقیقات زیادی روی اثر پوشش گیاهی بر مقاومت جریان و یا به عبارت دیگر ضریب زبری، بویژه در دو دهه اخیر انجام شده است. اولین تحقیقات برای بدست آوردن رابطه بین مقاومت هیدرولیکی با عمق و سرعت جریان، نوع و ارتفاع پوشش گیاهی در کانالهای با پوشش گیاهی در آزمایشگاه هیدرولیک در اسپاتابرگ (*s.c*) بوسیله سرویس حفاظت خاک ایالات متحده[1] در سال ۱۹۳۶ انجام شد (Cook and Campbell, 1939). نتایج آزمایشات که با استفاده از کانال‌هایی به عرض ۱/۲-۰/۳ متر با شیب بدنه متغیرانجام شد بصورت ضرائب کاتر و مانینگ گزرش شد. در سال۱۹۵۴ در کتاب مرجع اداره حفاظت خاک آمریکا نتایج تقریباً دو دهه آزمایش برای پوشش گیاهی علفی جمع آوری شد. اداره حفاظت خاک ایالات متحده USDA (۱۹۵۴) رابطه بین مقدار n و VR (حاصلضرب سرعت در شعاع هیدرولیکی) برای تعدادی پوشش گیاهی علفی ارائه داد. Fisher (1996) نشان داد زبری ناشی از رویش گیاهان در مجاری روباز بستگی به نوع پوشش گیاهی، درجه سفتی یا صلبیت، ارتفاع، تراکم، سطح تصویر شده در مقابل جریان و توزیع پوشش گیاهی حاشیه آنها دارد.

Jarvela and Helmio (1999) در دو مطالعه موردی تاثیر پوشش‌های درختی کنار رودخانه، درجه پیچانرودی و تثبیت و نوسازی کناره را بر ضریب زبری مورد بررسی قرار دادند.

Fu-chun wu,et al (1999) با انجام آزمایش روی مدل فیزیکی که در آن بجای پوشش گیاهی از موی اسب استفاده شد نتیجه گیری کردند که در حالت غیر مستغرق با افزایش عمق، ضریب زبری پوشش گیاهی کاهش می‌یابد اما در حالت کاملاً مستغرق در عمق‌های کم، زبری افزایش یافته اما پس از مقدار معینی تا رسیدن به سطح آب ثابت می‌ماند.

Kouwen and Fathi-Moghadam (2000) با انجام آزمایش روی چند گونه گیاه مخروطی شکل نتیجه گرفتند که بین ضریب زبری گیاه، سرعت جریان و شاخص‌های گیاهی ارتباط وجود دارد. شاخص گیاهی جهت معرفی انعطاف پذیری گیاه بصورت تابعی از مد اول فرکانس طبیعی درخت، ارتفاع و وزن واحد طول تعریف و نتیجه‌گیری شد این پارامتر باعث نزدیک شدن نمودارهای سرعت-ضریب زبری بین انواع درختان می‌شود. *Jarvela (2002a)* ضمن بررسی مقاومت جریان ناشی از ترکیب‌های مختلف پوشش‌های طبیعی علف، بوته زنبق و درخت بید در شرایط مستغرق و غیر مستغرق در فلوم آزمایشگاهی نتیجه گیری کرد که با تغییر عمق، سرعت، عدد رینولدز و تراکم پوشش گیاهی تغییر زیادی در مقدار ضریب اصطکاک بوجود می‌آید به نحویکه حداکثر مقدار ضریب زبری زمانی بدست می آید که عدد رینولدز یا سرعت جریان کم باشد، همچنین با افزایش زبری نسبی k/h (k ارتفاع گیاه و h عمق جریان) مقدار ضریب زبری افزایش می‌یابد. Jarvela (2002b) اثرات نوع، دانسیته و ترکیب پوشش گیاهی، عمق و سرعت جریان را روی افت اصطکاک بررسی کرد. نتایج تغییرات زیادی در ضریب

Archive of SID
www.SID.ir

دارسی–ویسباخ با عمق و سرعت جریان، عدد رینولدز و خصوصیات پوشش گیاهی نشان داد. بعنوان مثال ضریب درگ برای بید در حالت با برگ در مقایسه با حالت بدون برگ سه تا هفت برابر بدست آمد. علیرضا مسجدی و حبیب موسوی جهرمی (۱۳۸۱) تحقیقی در خصوص ارزیابی استهلاک انرژی موج توسط گیاه نی در ساحل رودخانه‌ها انجام دادند نتایج بدست آمده نشان داد که گیاه نی یک گیاه مناسب جهت استهلاک انرژی موج در سواحل رودخانه‌ها است. همچنین یکی از پارامترهای مهم در استهلاک امواج رودخانه ای توسط گیاه نی، حرکت ساقه‌ها است و هنگامیکه این حرکت متناسب با حرکت اوربیتالی ذرات آب باشد استهلاک کاهش می یابد و در صورتیکه حرکت ساقه‌ها نسبت به حرکت اوربیتالی ذرات کم باشد، قابلیت استهلاک انرژی نسبتا افزایش خواهد یافت. افزایش تراکم گیاه نی نیز از جمله پارامترهای مهمی است که باعث افزایش استهلاک انرژی موج می گردد.

Jeimes and et al (2004) با کاربرد موازنه نیروها روی پوشش گیاهی در مجاری روباز معادلاتی را جهت محاسبه مقاومت جریان پوشش گیاهی ارائه نمودند. در این فرمولها تراکم بصورت تعداد شاخه در واحد سطح تعریف شد. طبق نتایج این تحقیق ضریب مقاومت وابسته به قطر، تراکم و ضریب کشسانی ساقه‌ها است. آنالیز حساسیت نشان داد که تعیین درست تراکم ساقه‌ها و ضریب کشسانی مهم هستند، اما قطر ساقه نسبتاً یک پارامتر غیرحساس است. Jarvela (2004) در بررسی که روی پوشش گیاهی انعطاف پذیر و صلب انجام داد یک روش برای بدست آوردن ضرائب زبری دارسی–ویسباخ و مانینگ با بکارگیری مشخصات جریان و پوشش گیاهی ارائه داد که برای درختان در حالت با برگ و بدون برگ و در حالت غیر مستغرق و در سرعت زیر ۱ متر بر ثانیه قابل استفاده است. Fathi-Moghadam (2006) اثر شیب زمین بر ضریب اصطکاک در پوشش گیاهی را مورد بررسی قرار داد و نتیجه گرفت که در اثر افزایش شیب، بدلیل افزایش سرعت و همسو شدن پوشش گیاهی با جریان، ضریب اصطکاک بطور چشمگیری کاهش می‌یابد. همچنین با افزایش عمق جریان، بدلیل افزایش المان‌های مستغرق، ضریب اصطکاک افزایش می‌یابد.

Baptist and et al (2007) معادلات وضع شده برای توصیف زبری پوشش گیاهی شامل معادلات تحلیلی مقاومت جریان و حل تحلیلی معادله ممنتم جریان و پوشش گیاهی را بررسی و یک راه حل با استفاده از شبکه عصبی برای حل معادله یک بعدی $k-\varepsilon$ ارائه و نتایج برنامه را با یکسری داده‌های آزمایشگاهی مقایسه کرده و نتیجه گیری کردند که روش شبکه عصبی نتایج بهتری از دیگر روش‌ها می‌دهد. Rameshwaran and Shiono (2007) یک مدل دو بعدی برای محاسبه عمق- سرعت متوسط و تنش برشی را برای جریان در یک کانال مرکب مستقیم با پوشش گیاهی در دشت‌های سیلابی آن ارائه دادند. این مدل با وارد کردن یک ترم کاهشی ممنتم در معادله ناویر–استوکس اثر پوشش گیاهی را مدل و ضریب اصطکاک پوشش گیاهی را با استفاده از معادله کلبروک–وایت بدست می‌آورد. مدل بصورت عددی معادله ناویر–استوکس را با وارد نمودن پارامترهای ورودی مورد نیاز از جمله ضریب اصطکاک و جریان ثانویه را حل و تغییرات عمق- سرعت جریان را در کانال مرکب را تخمین می‌زند.

Fathi-Moghadam (2007) با انجام آزمایش روی چهار گونه درخت کاج و بررسی رزونانس فرکانسی درختان، یک مدل ریاضی بر اساس اندیکسی که مبتنی بر اولین مد لرزش درختان بنا شده بود ارائه داد. این مدل توانایی تخمین ضریب اصطکاک (f) با در نظر گرفتن پارامترهای نظیر دانسیته برگ، شکل و صلبیت گونه‌های مختلف درخت را دارد. Lai sai Hin and et al (2008) با انجام چند اندازه گیری صحرایی فرکانس سیل در رودخانه طبیعی، تغییرات مقاومت جریان را با تغییرات شعاع هیدرولیکی و عمق جریان محاسبه کردند. در این تحقیق بیان شده که اثرات متقابل بین کانال اصلی و دشت‌های سیلابی، باعث پیچیدگی محاسبه مقاومت جریان در رودخانه می‌شود. همچنین این محققین با فرض دو ترم تنش برشی ظاهری و تنش برشی متوسط لایه مرزی، یک مدل عددی برای محاسبه ضریب اصطکاک مرکب در رودخانه‌ها ارائه دادند.

علیرغم اینکه بحث تراکم گیاهی در بعضی از تحقیقات فوق مورد توجه قرار گرفته است اما در هیچکدام از آنها نتایج واضحی از اثر تراکم روی ضریب زبری ارائه نشده است و بیشتر مساحت برگ در جلوی جریان بعنوان شاخص تراکم مورد توجه قرار گرفته است که در این مطالعه علاوه بر در نظر گرفتن پارامتر مساحت جلوی جریان، از زاویه دیگری تعداد شاخه با سطح برگ مساوی بعنوان شاخص تراکم گیاهی در نظر گرفته شد، از طرفی در بعضی از مطالعات فوق از جمله Fathi-Moghadam (2007) اثر انعطاف پذیری درختان به خوبی روی گیاهان مخروطی شکل مورد بررسی قرار گرفته اما بدلیل نوع متفاوت پوشش گیاهی، در این تحقیق نیز اثر این پارامتر مورد توجه قرار گرفت. بدلیل نوع مختلف پوشش گیاهی(انعطاف پذیری آن) و تراکم متفاوت آن در نقاط مختلف سواحل رودخانه‌ها و دشت‌های سیلابی، در نظر گرفتن ضریب زبری یکسان برای پوشش گیاهی این مناطق باعث عدم دقت در مطالعات اجرایی پروژه‌ها بویژه مطالعات پایه و صحیح نبودن نتایج محاسبات آن و به تبع مشکلات

www.SID.ir
Archive of SID

احتمالی این پروژه‌ها خواهد شد. از این رو این تحقیق روی اثر تراکم و انعطاف پذیری سه نوع پوشش گیاهی یعنی پده، گز و مخلوط مساوی آنها با استفاده از یک مدل آزمایشگاهی انجام گرفت. پده گیاه بومی آسیای مرکزی بوده و در مناطق مختلفی از ایران نیز می‌روید. پده درختی است پهن برگ با تنه اصلی و تاج زیبا که به فرمهای متفاوت دیده می‌شود. این گیاه تنها درخت پهن برگی است که در بیابان‌ها، عرصه تپه‌های ماسه‌ای و در حاشیه چاله‌های بیابانی که تحت تأثیر زه آب‌های اطراف قرار دارند یافت می‌شود. پده متعلق به رده دیسکوتیدونس[۲] ، راسته امنتالس[۳] ، تیره سالیکسیا[۴]، جنس پاپلوس[۵] و گونه اپراتیسیا[۶] است. ارتفاع این درخت بطور معمول به ۳ تا ۵ متر می‌رسد. این گیاه دارای ساقه اصلی با شاخه‌های جانبی فراوان و پوشش آسمانی۳ تا ۴ متر است. پده دارای چوبی سخت و مقاوم است که بطور معمول مورد استفاده‌های مختلفی قرار می‌گیرد. رشد اندامهای رویشی این گیاه از اواخر اسفند ماه آغاز می‌شود و در فروردین برگها و شاتوتهای گل ظاهر می شوند، برگهای پهن آن تا آبان‌ماه روی درخت باقی مانده و در آذرماه با شروع دوره برگ ریزان، دوره خواب زمستان نیز آغاز می‌شود. گز گیاهی از خانواده تاماریسکیا[۷] با نام علمی تاماریکس اسریکتا[۸] درختچه‌ای و یا درختی به بلندی تا ۷ متر، کاملاً بدون کرک یا غده، برگها به صورت غلاف، در انتها نوک تیز، خوشه گل به طول ۱/۵تا ۲ متر است. این درخت دارای برگهای ریز در تمام فصول بوده و علاوه بر سواحل رودخانه‌های مناطق گرمسیری و نیمه گرمسیری، در بیابانها نیز دیده می‌شود و بر خلاف درخت پده، چوب آن انعطاف پذیر است و قطر ساقه آن نسبت به پده کمتر بوده و حداکثر به۳۰ سانتیمتر می‌رسد.

۲- روش تحقیق و آزمایش

جهت بررسی اثر تراکم پوشش گیاهی روی ضرائب زبری اقدام به انجام آزمایش روی یک فلوم شیشه‌ای به طول ۱۲/۶ متر، عرض ۰/۵۰ متر و ارتفاع ۰/۶۰ متر در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز شد. آب مورد نیاز آزمایشات توسط یک دستگاه پمپ گریز از مرکز با دبی حداکثر ۵۵ لیتر در ثانیه و با ارتفاع تولیدی ۱۰ متر تامین شد. شاخه‌های طبیعی درختان ۱-گز ۲- پده ۳- مخلوط مساوی گز و پده به ارتفاع ۳۵ سانتیمتر تهیه و در پانلی به طول ۲/۸ متر- که در وسط فلوم قرار داشت- نصب شد. جهت نصب شاخه‌ها روی پانل سوراخهایی به فواصل منظم ۶ سانتیمتر در عرض پانل و ۱۳ سانتیمتر در طول پانل تعبیه شد. جهت تعریف تراکم پوشش گیاهی از روشی مشابه Jeimes and et al (2004) استفاده شد. بدین صورت که از تعداد شاخه‌های در معرض جریان آب استفاده شد و در هر رده تراکم به تناسب از تعداد شاخه کم شد. جهت اطمینان از یکنواختی سطح برگ شاخه‌ها، در هر مرحله قبل از آزمایش چند شاخه انتخاب و با جدا کردن شاخ و برگ آنها اقدام به تهیه عکس و محاسبه مساحت برگ مقابل جریان برای شاخه واحد با استفاده از نرم افزار Elvis شد و شاخه‌ها به نحوی انتخاب شدند که تعداد شاخه در واحد سطح بعنوان شاخصی برای تعریف تراکم گیاهی بکار رود. سپس با قرار دادن شاخه‌ها در نقاط تعبیه روی پانل چوبی در ابتدا تراکم به نحوی بود که کف فلوم قابل دیدن نبود که این حالت بعنوان پوشش گیاهی خیلی متراکم یا ۱۰۰ درصد در نظر گرفته شد و با کم کردن تعداد شاخه‌ها نسبت به حالت خیلی متراکم، سه حالت دیگر تراکم بصورت پوشش گیاهی متراکم یا ۷۵ درصد، تراکم متوسط یا۵۰ درصد و تراکم پائین یا ۲۵درصد برای پوششهای پده و گز و دو تراکم ۱۰۰ و ۵۰ درصد برای مخلوط مساوی آنها تعریف شد (شکل۱).

اساس کار بر مبنای معادله انرژی بصورت رابطه(۱) بنا شد:

$$Y_1+\alpha_1\frac{V_1^2}{2g}+Z_1=Y_2+\alpha_2\frac{V_2^2}{2g}+Z_2+h_{f(1-2)} \qquad (۱)$$

که با اندازه‌گیری مشخصات جریان شامل سرعت متوسط (V)، عمق (y)، ارتفاع کف فلوم از مبناء (Z)در۲۰ سانتیمتر بالا و پائین دست پوشش گیاهی و همچنین شتاب ثقل(g)، مقدار افت انرژی بین بالا و پائین دست پوشش گیاهی$(h_{f(1-2)})$ محاسبه شد. در ضمن چون کانال منشوری بود ضرائب $\alpha_1=\alpha_2=1$ در نظر گرفته شد. با داشتن طول پوشش گیاهی(L) از معادله (۲) شیب خط انرژی(S_f) محاسبه شد:

$$S_f=\frac{h_f}{L}=\frac{f}{4R}\frac{V^2}{2g} \qquad (۲)$$

که در آن R شعاع هیدرولیکی است و در رودخانه‌ها با توجه به عرض بالای رودخانه می‌توان در معادله فوق بجای شعاع هیدرولیکی از عمق جریان استفاده کرد. در نهایت با استفاده از رابطه Manning بصورت رابطه (۴) و داشتن پارامترهای سرعت متوسط جریان، عمق جریان و شیب خط انرژی ضریب زبری Manning(n) در هر حالت سرعت-عمق جریان محاسبه شد.

$$V=\frac{1}{n}R^{2/3}\sqrt{S_f} \qquad (۳)$$

$$n=\frac{1}{V}R^{2/3}\sqrt{S_f} \qquad (۴)$$

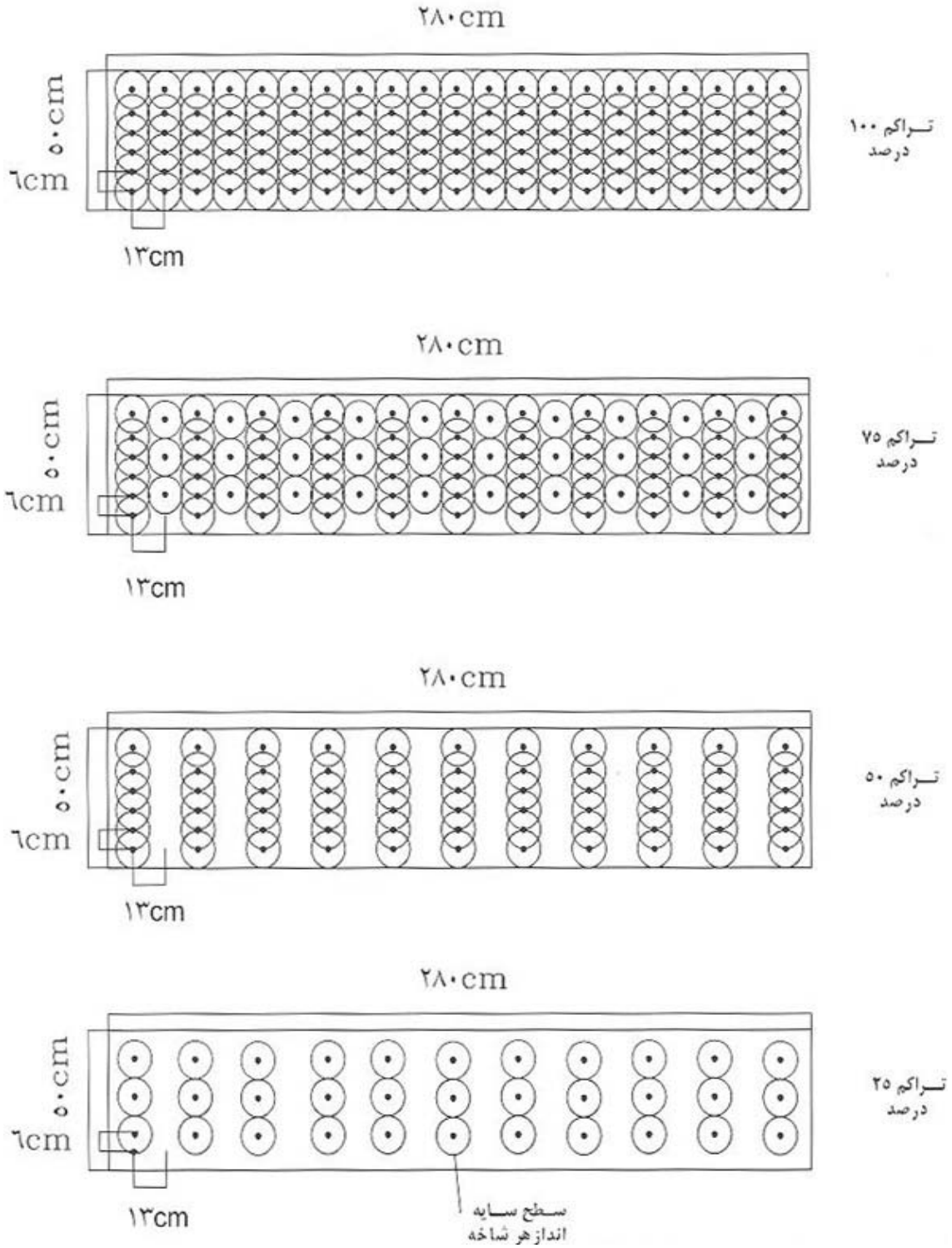
ضریب Darcy-Weisbach(f) با ترکیب رابطه‌های Manning و Darcy-Weisbach از رابطه (۵) بدست آمد :

$$f=8g\left(\frac{n}{R^{1/6}}\right)^2 \qquad (۵)$$

Archive of SID

www.SID.ir

سرعت آب در بالا و پایین دست پوشش گیاهی توسط یک دستگاه میکرومولینه (سرعت سنج پره ای) با مارک نیکسون مدل۴۳۰ ساخت کشور انگلستان با دقتی در حد ۱/۵± درصد و در هر مقطع عرضی در شش نقطه اندازه گیری شد. عمق آب در بالا و پایین دست پوشش گیاهی با استفاده از عمق سنج و ارتفاع کف کانال از مبناء در این نقاط با نصب یک سطح تراز فلزی در زیر فلوم توسط شاخص نقشه برداری و گونیا اندازه گیری شد. جهت جلوگیری از اثر برگشت آب روی پوشش گیاهی و تشکیل پروفیل M_1، دریچه انتهای فلوم بصورت کاملاً باز نگهداری و آب بصورت کاملاً آزاد در فلوم جریان داشت. به منظور دستیابی به عمق‌های متفاوت جریان در یک دبی



شکل ۱- نحوه آرایش شاخه‌ها در تراکم‌های مختلف از بالا به پائین تراکم ۱۰۰، ۷۵، ۵۰ و ۲۵ درصد

www.SID.ir

خاص، شیب فلوم با استفاده از یک اهرم که در زیر آن تعبیه شده بود تغییر داده شد و سپس با تغییر دبی ورودی به فلوم و با روند قبلی اندازه گیری‌ها انجام شد به نحوی که هر عمق جریان با چهار سرعت متفاوت مورد آزمایش قرار گرفت. در دبی‌های پائین که امکان دستیابی به عمق‌های بالا وجود نداشت با اندازه گیری چهار عمق و بدست آوردن رابطه بین عمق و سرعت جریان با استفاده از برون یابی سرعت جریان در آن عمق محاسبه گردید که در جداول (۱ تا ۳) تعدادی از اندازه گیریهای انجام شده قید شده است. دیگر پارامتر مورد مطالعه انعطاف پذیری پوشش گیاهی است. شاخص صلبیت از فرمول زیر قابل محاسبه است.

: (Nikolas and Moon,1988)

$$f_i = \frac{\lambda^2{}_i}{2\pi}\left(\frac{EI}{ml^4}\right)^{1/2} \qquad (۶)$$

که f_i روزنانس فرکانسی درخت، λ_i ضریبی برای محاسبه تأثیر شرایط مرزی و هندسه گیاه، EI شاخص صلبیت (E الاستیسیته و I لاغری شاخه)، m جرم واحد طول گیاه و L طول گیاه است.

در مکانیک کلاسیک مواد، جرم زنده پوشش گیاهی بعنوان یک ماده ویسکو- الاستیک غیرهمگن شناخته می‌شود. در درختان بزرگ بدلیل وجود رده‌های متفاوت شاخه‌ها، این غیرهمگنی بیشتر می‌شود. آب داخل شاخ و برگ درخت باعث انحراف و لرزش شاخه‌های فرعی شده که این موضوع باعث افزایش پیچیدگی و ابهام بیشتر مسئله می‌شود. بنابراین بصورت تئوری، درخت مانند یک تیر راست و ساده مدل می‌شود. پیچیدگی‌ها و غیرهمگنی‌های بزرگ مواد ویسکو- الاستیک مانند درختان بزرگ، مقادیر E ، I ، λ_i را برای طبقه بندی گونه‌های گیاهی غیرقابل قبول می‌کند و برای تخمین شاخص گیاهی، از یک رابطه نیمه تجربی که بر اساس آزمایشات گسترده روی گونه‌های مختلف درختان بدست آمده بصورت زیر استفاده می‌شود (Nikolas,1992):

$$\psi E = N{f_1}^2\left(\frac{m_s}{h}\right) \qquad (۷)$$

که m_s جرم کل درخت و (ψE) "شاخص گیاهی" درخت است. برای تعیین مقدار شاخص گیاهی باید ارتفاع درخت (h)، جرم و فرکانس طبیعی اولین مود ارتعاش آن اندازه‌گیری شود. معادله فوق یک معادله نیمه تجربی برای طبقه‌بندی گونه‌های گیاهی از نقطه نظر شکل، انعطاف‌پذیری و هر عاملی که باعث خم شدن درخت و کاهش مساحت پوشش گیاهی در مقابل جریان آب شود، می‌باشد. در هر حال شاخص (ψE) برای تعیین رفتار نسبی یک گونه گیاهی نسبت به گونه‌های دیگر است و صرفاً اثر ثانویه رفتار پوشش گیاهی را شامل می‌شود. بدین منظور اقدام به اندازه‌گیری پارامترهای فوق روی ۱۶ شاخه درخت پده و ۱۹ شاخه درخت گز در ساحل رودخانه کارون شد. جهت دقت در اندازه‌گیری این پارامتر سعی شد که ارتفاع شاخه‌ها شامل شاخه‌های کوچک، متوسط و بزرگ باشد تا در نهایت شاخص گیاهی (ψE) بدست آمده نماینده کل شاخه‌ها باشد. برای اندازه‌گیری مود اول روزنانس فرکانسی به این صورت عمل شد که نوک هر شاخه را گرفته و راستا به راستا به آرامی می‌کشیم همزمان با رها کردن شاخه، بوسیله کرونومتر مدت زمان نوسان شاخه اصلی اندازه‌گیری و تعداد نوسان شاخه‌ها نیز بصورت چشمی شمارش شد. به محض از حرکت ایستادن شاخه اصلی زمان سنجی متوقف و با تقسیم مدت زمان ثبت شده توسط کرونومتر به تعداد نوسان‌های شاخه، مود اول روزنانس فرکانسی (Nf_1) بدست آمد. برای بالا بردن دقت اندازه‌گیری برای هر شاخه حداقل ۸ الی۱۰ بار این عمل تکرار شد و از متوسط آنها استفاده شد. ارتفاع شاخه‌ها با متر و وزن آنها با ترازوی دقیق اندازه‌گیری شد که در جداول (۴ و ۵) این اندازه‌گیریها قید شده است.

۳- تحلیل داده‌ها

همانگونکه در بند ۲ بیان شد برای بررسی اثر تراکم پوشش گیاهی روی ضرائب زبری، دیگر شرایط از جمله سرعت و نسبت استغراق یکسان در نظر گرفته شد و تغییرات این پارامتر روی سه نوع پوشش گیاهی اندازه گیری شد که نتایج آن در جداول (۱تا ۳) قید شده است.

جدول ۱- ضریب مانینگ در سرعتها و تراکم‌های متفاوت در پوشش گیاهی پده

سرعت (متر بر ثانیه)	ضریب مانینگ			
	تراکم ۱۰۰درصد	تراکم ۷۵ درصد	تراکم ۵۰ درصد	تراکم ۲۵ درصد
۰/۲	۰/۱۴۷	۰/۱۳۴	۰/۱۲۹	۰/۱۰۷
۰/۴	۰/۱۰۵	۰/۰۹۶	۰	۰/۰۸۱
۰/۸	۰/۰۷۵	۰/۰۶۸	۰/۰۶۳	۰/۰۶۱
۱/۲	۰/۰۶۱	۰/۰۵۶	۰/۰۵۲	۰/۰۵۱
۱/۴	۰/۰۵۷	۰/۰۵۲	۰/۰۴۹	۰/۰۴۷

Archive of SID
www.SID.ir

جدول ۲- ضریب مانینگ در سرعتها و تراکم‌های متفاوت در پوشش گیاهی گز

سرعت (متر بر ثانیه)	ضریب مانینگ			
	تراکم ۱۰۰ درصد	تراکم ۷۵ درصد	تراکم ۵۰ درصد	تراکم ۲۵ درصد
۰/۲	۰/۱۵۵	۰/۱۳۳	۰/۱۲۳	۰/۱۱۰
۰/۴	۰/۱۲۷	۰/۱۰۹	۰/۱۰۲	۰/۰۹۰
۰/۸	۰/۱۰۳	۰/۰۹۲	۰/۰۸۴	۰/۰۷۳
۱/۲	۰/۰۹۱	۰/۰۸۳	۰/۰۷۶	۰/۰۶۵
۱/۴	۰/۰۸۷	۰/۰۸۰	۰/۰۷۲	۰/۰۶۲

جدول۳- ضریب مانینگ در سرعتها و تراکم‌های متفاوت در پوشش گیاهی مخلوط مساوی پده و گز

سرعت (متر بر ثانیه)	ضریب مانینگ			
	تراکم ۱۰۰ درصد	تراکم ۷۵ درصد	تراکم ۵۰ درصد	تراکم ۲۵ درصد
۰/۲	۰/۱۵۵	–	۰/۱۲۸	–
۰/۴	۰/۱۱۸	–	۰/۰۹۷	–
۰/۸	۰/۰۹۰	–	۰/۰۷۵	–
۱/۲	۰/۰۷۵		۰/۰۶۵	
۱/۴	۰/۰۷۲	–	۰/۰۶۱	–

جدول ۴- مشخصات فیزیکی شاخه‌های آزمایش شده برای محاسبه روزنانس فرکانسی و شاخص گیاهی درخت پده

نوع گیاه	نام نمونه	ارتفاع شاخه(سانتیمتر)	وزن کل(گرم)	وزن واحد (گرم در متر طول)	مود اول فرکانس (ثانیه) (N_f)	شاخص گیاهی (ψE)
پده	P1	۲۱۰	۷۲۰	۳۴۳	۲/۴۲	۲
	P2	۳۰۳	۳۲۳۰	۱۰۶۶	۱/۴۸	۲/۳۳
	P3	۲۱۲	۱۵۰۰	۷۰۸	۲/۵۰	۴/۴۱
	P4	۱۶۵	۳۶۰	۲۱۸	۲/۳۸	۱/۲۴
	P5	۱۹۵	۸۵۵	۴۳۸	۲/۹۹	۳/۹۳
	P6	۱۷۰	۲۱۰	۱۲۴	۳/۲۸	۱/۳۳
	P7	۲۱۳	۲۵۵	۱۲۰	۲/۸۵	۰/۹۷
	P8	۲۰۰	۷۳۵	۳۶۸	۲/۰۳	۱/۵۲
	P9	۲۳۷	۱۰۴۰	۴۳۹	۲/۰۶	۱/۸۵
	P10	۲۶۶	۱۰۹۰	۴۱۰	۱/۶۵	۱/۱۱
	P11	۲۱۴	۴۷۵	۲۲۲	۲/۱۳	۱/۰۱
	P12	۱۹۸	۵۵۰	۲۷۸	۲/۳۵	۱/۵۴
	P13	۱۳۰	۲۱۰	۱۶۲	۲/۸۹	۱/۳۵
	P14	۱۴۰	۳۲۵	۲۳۲	۲/۷۶	۱/۷۷
	P15	۲۳۰	۱۷۶۵	۷۶۷	۲/۰۷	۳/۲۷
	P16	۱۳۳	۲۵۵	۱۹۲	۲/۸۵	۱/۵۶
					متوسط شاخص گیاهی	۲/۰۲

جهت بررسی اثر این پارامتر داده‌های بدست آمده ترسیم شد که در اشکال (۲ تا ۶) نشان داده شده‌اند. در اثر کاهش تراکم پوشش گیاهی سطح برگ جلوی جریان کم شده و به عبارت دیگر زبری کاهش می‌یابد و به تبع ضرائب زبری نیز می‌بایست کاهش یابند. اما مسئله مهم نحوه کاهش این ضرائب است همانگون که در اشکال (۲،۴و ۵) نشان داده شده در تراکم ثابت در اثر افزایش سرعت جریان ضرائب زبری مانینگ و دارسی ـ ویسباخ بصورت غیر خطی کاهش می‌یابند و این روند کاهش در تمام تراکم‌ها و پوششهای گیاهی مختلف ثابت است. بعنوان مثال در شکل ۲ و در تراکم یکسان ۱۰۰ درصد گیاه پده، در صورت افزایش سرعت ۰/۱ به ۱ متر بر ثانیه

Archive of SID
www.SID.ir

ضریب زبری مانینگ از ۰/۲۰۹ به ۰/۰۶۷ کاهش می‌یابد یعنی زبری به $\frac{1}{3}$ مقدار قبلی خود کاهش می‌یابد. این نتیجه با تحقیقات دیگر محققین از جمله Kouwen and Fathi-Moghadam (2000) و Jarvela (2002) مطابقت دارد. اما علیرغم تغییرات غیر خطی ضرائب زبری با تغییر سرعت جریان و کاهش سریع مقدار آنها با افزایش سرعت، این ضرائب با تغییر در مقدار تراکم پوشش گیاهی از این روند تبعیت نمی‌کند و همانگونه که در اشکال ۲ و ۶ نشان داده شده است با کاهش میزان تراکم کاهش مقدار ضرائب زبری از یک روند خطی تبعیت نموده که شیب خط برازش شده آن نیز کم است به عبارت دیگر در اثر کاهش میزان تراکم، ضرائب زبری کاهش شدیدی نشان نمی‌دهند. بعنوان مثال در شکل۶ در پوشش گیاهی گز و در سرعت یکسان ۱ متر بر ثانیه در صورت کاهش میزان تراکم از ۱۰۰ درصد به ۲۵ درصد ضریب زبری مانینگ از ۰/۱۰۳ به ۰/۰۷۳ کاهش می‌یابد یعنی با کاهش ۷۵ درصدی تراکم، ضریب زبری مانینگ کمتر از ۳۰ درصد کاهش می‌یابد. این موضوع نشان می‌دهد که تاثیر کاهش تراکم در مقایسه با دیگر پارامترها از جمله افزایش سرعت جریان خیلی کمتر است.

در تحقیقات قبلی از جمله Jeimes and et al (2004) و Jarvela(2002) علیرغم ارائه روابطی برای محاسبه مقاومت جریان که در آنها اثر تراکم پوشش گیاهی در نظر گرفته شده هیچگونه مقدار عددی از اثر تراکم جهت مقایسه با نتایج این تحقیق ارائه نشده است.

همانگونه که در مقدمه بیان شد با افزایش سرعت جریان شاخ و برگ پوشش گیاهی همسو با جریان شده و به تبع مساحت برگ روبروی جریان کاهش یافته و یا مقاومت در مقابل جریان کم می‌شود. بدلیل انعطاف پذیری متفاوت پوششهای گیاهی شده مقاومت متفاوتی در مقابل جریان ایجاد می‌نمایند. طبق نتایج بدست آمده از جداول ۴ و ۵ درخت گز نسبت به درخت پده از انعطاف پذیری بیشتری برخوردار است لذا در سرعتهای بالا مقاومت در مقابل جریان پوشش گیاهی گز بیشتر از پده خواهد بود. این موضوع در شکلهای ۷ و ۸ به خوبی دیده می‌شود. طبق این اشکال در سرعتهای کمتر از ۰/۲ متر بر ثانیه پوشش گیاهی پده مقاومت بیشتری از گیاه گز نشان می‌دهد که دلیل ایـــن موضوع برگهای پهن گیاه پده بوده که در سرعتهای کـــم در مقابل جریان قرار گرفته و سطح برگ بیشتری در مقابل جریان ایجاد

جدول ۵- مشخصات فیزیکی شاخه‌های آزمایش شده برای محاسبه روزنانس فرکانسی و شاخص گیاهی درخت گز

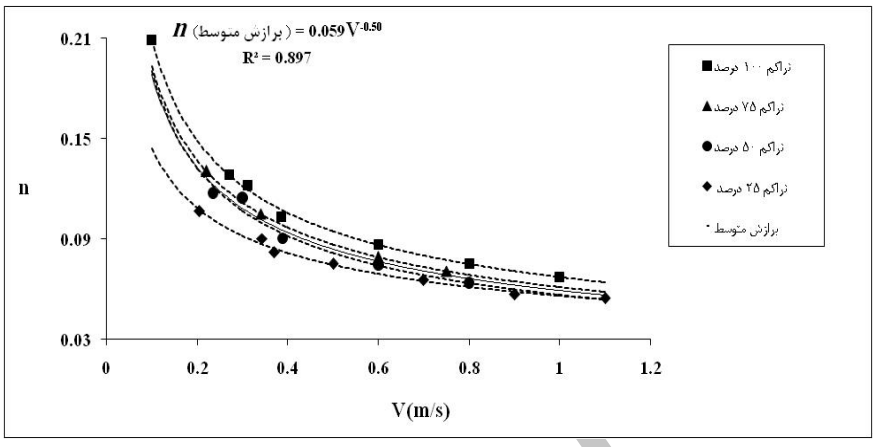
نوع گیاه	نام نمونه	ارتفاع شاخه(سانتیمتر)	وزن کل(گرم)	وزن واحد طول (گرم در متر طول)	مود اول فرکانس (ثانیه)	شاخص گیاهی
گز	*G1*	۱۸۰	۶۵۰	۳۶۱	۲/۶۲۸	۲/۴۹
	G2	۳۳۵	۱۹۰۰	۵۶۷	۱/۴۷	۱/۲۳
	G3	۳۰۰	۲۶۲۵	۸۷۵	۱/۷۱۴	۲/۵۷
	G4	۱۷۶	۶۸۰	۳۸۶	۲/۶۴	۲/۶۹
	G5	۳۱۵	۱۶۶۰	۵۲۷	۱/۶۴	۱/۴۲
	G6	۲۱۵	۹۰۰	۴۱۹	۱/۹۹۲	۱/۶۶
	G7	۲۲۰	۱۰۵۰	۴۷۷	۲	۱/۹۱
	G8	۲۲۷	۹۹۵	۴۳۸	۱/۸۵۴	۱/۵۱
	G9	۲۳۰	۱۴۷۵	۶۴۱	۲/۴۶	۳/۸۸
	G10	۱۶۵	۸۷۰	۵۲۷	۲/۳۸	۲/۹۹
	G11	۱۸۰	۱۲۸۰	۷۱۱	۲/۲۶	۳/۶۳
	G12	۲۳۰	۱۴۶۵	۶۳۷	۱/۹۲	۲/۳۵
	G13	۲۷۶	۲۱۵۰	۷۷۹	۱/۲۷	۱/۲۶
	G14	۲۷۸	۱۴۶۰	۵۲۵	۱/۸۳	۱/۷۶
	G15	۱۹۰	۱۰۰۰	۵۲۶	۱/۹۸	۲/۰۶
	G16	۱۴۳	۴۷۸	۳۳۴	۲	۳/۰۱
	G17	۱۹۰	۴۴۴	۲۳۴	۳/۴	۲/۷۱
	G18	۱۶۰	۳۶۲	۲۲۶	۲/۳۲	۱/۲۲
	G19	۲۱۰	۸۷۴	۴۶	۲/۲۲	۲/۰۵
					متوسط شاخص گیاهی	۲/۲۳

Archive of SID
www.SID.ir

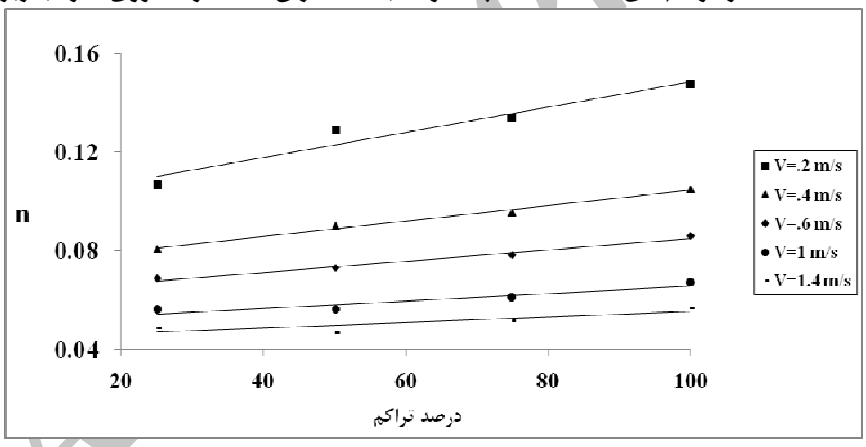
می‌کند لذا باعث افزایش مقاومت جریان می‌شود. اما در سرعتهای بیشتر از ۰/۲ متر بر ثانیه بدلیل انعطاف پذیری بیشتر گیاه گز، این گیاه مقاومت بیشتری از خود نشان می‌دهد ولی برگهای پوشش گیاهی پده در اثر سرعت زیاد و انعطاف پذیری کمتر کاملاً با جریان همسو شده و مقاومت کمتری در مقابل جریان از خود نشان می‌دهند. با توجه به نتیجه بدست آمده، در کارهای حفاظت سواحل که شیب طولی رودخانه زیاد و به تبع سرعت جریان نیز بالا است استفاده از پوشش گیاهی گز بدلیل انعطاف پذیری بالاتر تاثیر بیشتری در پایداری سواحل خواهد داشت.

۴- نتیجه گیری

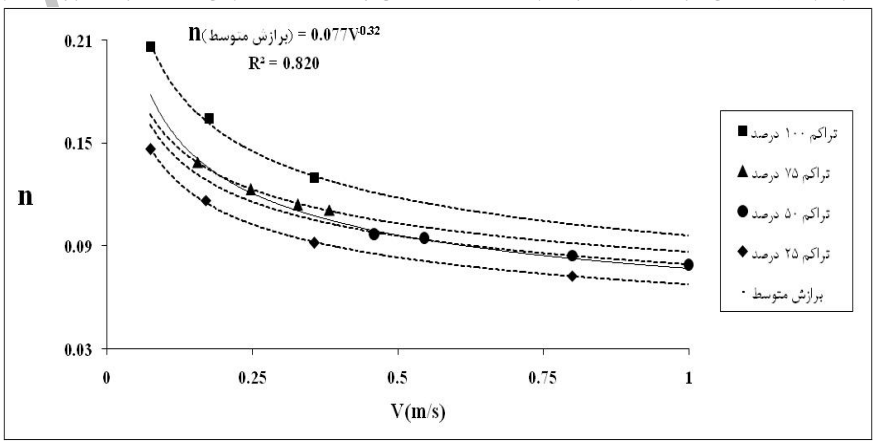
با توجه به نتایج بدست آمده که قسمتی از آنها در جداول و اشکال فوق مشاهده شد می‌توان نتایج این تحقیق را بصورت زیر خلاصه نمود:



شکل۲ - مقایسه تأثیر تراکم‌های مختلف گیاه پده در نسبت استغراق ۱۰۰ درصد روی ضریب زبری مانینگ

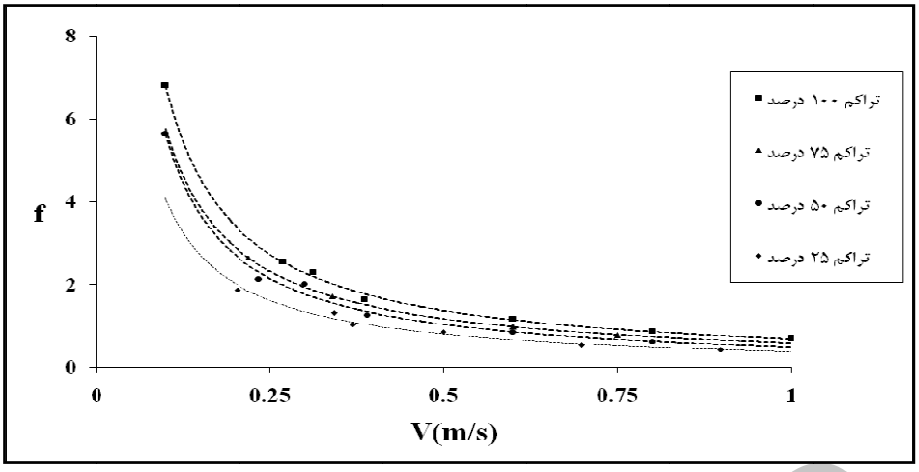


شکل۳ - مقایسه اثر تراکم گیاهی درخت پده در سرعت‌های یکسان و نسبت استغراق ۱۰۰ درصد روی ضریب زبری مانینگ

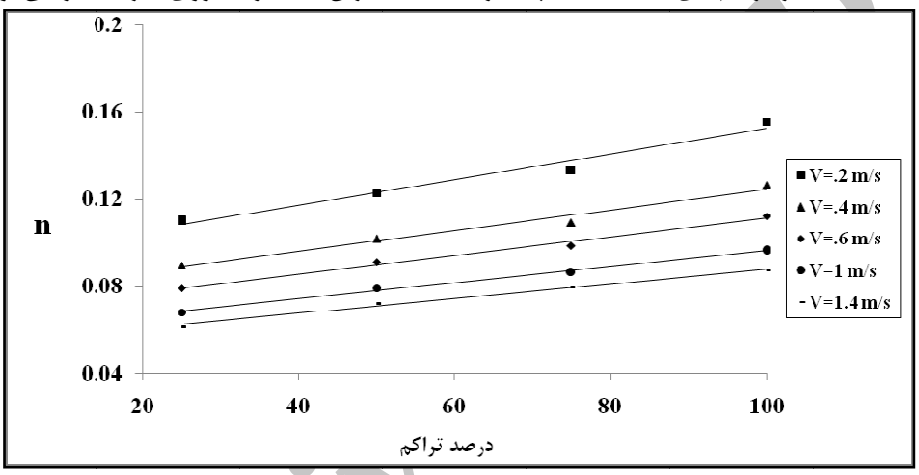


شکل۴- تأثیر تراکم گیاهی درخت گز روی تغییرات ضریب زبری مانینگ

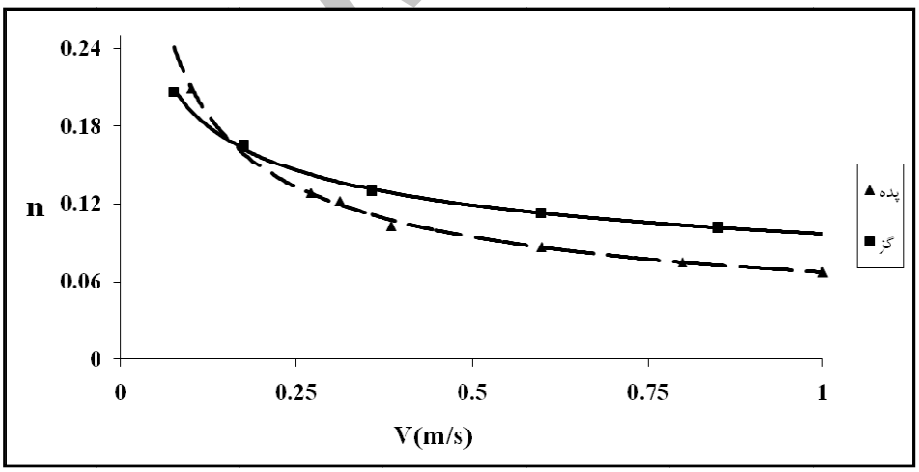
www.SID.ir



شکل۵- مقایسه تأثیر تراکم‌های مختلف گیاه پده در نسبت استغراق ۱۰۰ درصد روی ضریب دارسی-وایسباخ



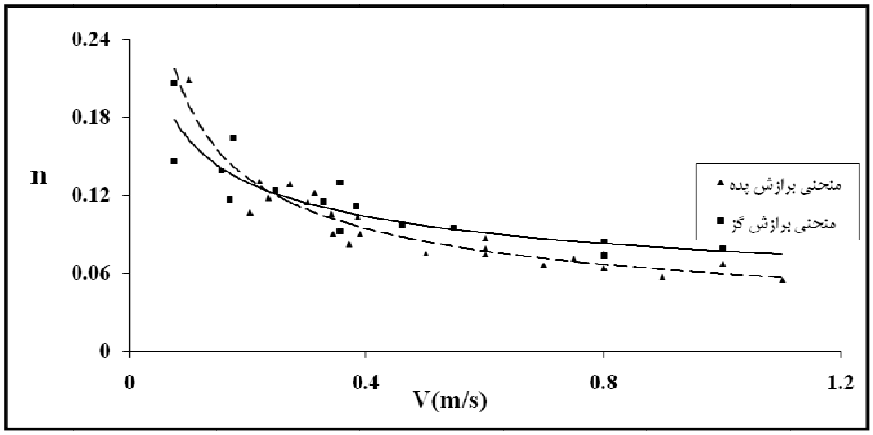
شکل ۶- مقایسه اثر تراکم گیاهی درخت گز در سرعت‌های یکسان و نسبت استغراق ۱۰۰ درصد روی ضریب زبری مانینگ



شکل ۷- مقایسه تفاوت پوشش گیاهی روی ضریب زبری مانینگ در استغراق کامل

در شرایط یکسان جریان و نوع گیاه در حالت غیرمستغرق، ضرائب زبری مانینگ و دارسی- ویسباخ با کم شدن میزان تراکم کاهش می‌یابند و روند کاهش آنها بصورت خطی می‌باشد به عبارت دیگر بهترین برازش رابطه بین ضرائب زبری و درصد تراکم بصورت خطی است یعنی با کاهش میزان تراکم ضرائب مقاومت جریان در مقایسه با تغییر در سایر پارامترها از جمله سرعت جریان که تغییرات شدیدی از خود نشان می‌دهند، تاثیر تراکم پوشش گیاهی خیلی کمتر است. لذا حذف پوشش گیاهی با تراکم خیلی کم، باعث افزایـــــش قدرت

www.SID.ir



شکل ۸- مقایسه اثر نوع پوشش گیاهی روی ضریب زبری مانینگ در تراکم ۱۰۰ درصد و نسبت‌های استغراق متفاوت

جریان در سواحل رودخانه‌ها و دشتهای سیلابی شده و خطراتی در این مناطق بدنبال خواهد داشت.

میزان کاهش ضرائب زبری از یک رده تراکم بالا به رده پائین تر تراکم بین ۸ الی ۱۰ درصد است.

نظر به اینکه یکی از راههای حفاظت سواحل رودخانه‌ها در بحث ساماندهی آنها استفاده از پوشش گیاهی است، بدلیل انعطاف پذیری بیشتر بعضی از پوششهای گیاهی مانند درخت گز و مقاومت بیشتر آنها در مقابل جریان آب، استفاده از این نوع پوششها جهت این انجام عملیات مناسبتر است.

با توجه به نتایج فوق ضرورت دارد کارشناسان و مهندسین در محاسبات جریان در رودخانه‌های با پوشش گیاهی و کالیبره کردن مدلهای ریاضی در این زمینه، علاوه بر در نظر گرفتن تغییرات ضرائب زبری با شرایط جریان و مشخصات پوشش گیاهی، اثر تراکم پوشش گیاهی روی این ضرائب را مد نظر قرار دهند.

پی‌نوشت‌ها

1- Soil Conservation Service :SCS
2- Discotyedones
3- Amentales
4- Salicaseae
5- Popululus
6- Euphratica
7- Tamaricaceae
8- Tamarix sricta

۵- مراجع

مسجدی،ع؛ موسوی جهرمی،ح. ۱۳۸۱. "ارزیابی انرژی موج توسط گیاه نی در ساحل رودخانه". ششمین سمینار بین المللی مهندسی رودخانه. دانشگاه شهید چمران اهواز. بهمن ماه.

Baptist, M.J., and et al (2007). "On inducing equations for vegetation resistance". *Journal of Hydraulic Research, International Association of Hydraulic Engineering and Research*, IAHR, 45(4), pp.435–450

Cook, H.L., and Campbell, F. B. (1939). "Characteristics of some meadow strip vegetation". Agricultural Engineering 20, pp.345-348

Fathi-moaghadam, M., Kouwen, N. (1997). "Nonrigid, nonsubmerg vegetative roughness on floodplains". *Journal of Hydraulic Engineering 123* (1), pp.51–57

Fathi-Moghadam, M. (2006). "Effects of Land slop and flow depth retarding flow in Non-submerge vegetated Land". *Journal of Agronomy*, 5(3):pp.536-540

Fathi-Mghadam, M. (2007). "Physical properties of tall Vegetation for resistance to flow". *Journal of Agronomy*,6(1):pp.194-198

Fenzl, R.N., and Davis, J.R. (1964). "Hydraulic Resistance Relationships for Surface Flows in Vegetated Channels", Trans. of ASAE

Fisher, K.R. (1996). "Handbook for assessment of hydraulic performance of environmental channels." Report SR 490, draft. HR Wallingford, Wallingford, Great Britain, 346 p.

Fu-chun, w.u., Hsieh w.s. (1999). "Varaition of roughness coefficients for un-submerged and

Archive of SID
www.SID.ir

Lai, sai Hin, and et al (2008). "determination of apparent and composite friction factors for flooded". Intl. J. River Basin Management 6(1), pp. 3–12

Nikolas, K.J. (1992). "Plant Iomechanics: An Engineering Approach to Plant Form and Function". The University of Chicago Press, Chicago & London, 607 p.

Nikolas, K.J, Moon, F.C (1988). "Flexural stiffness and modulus of elasticity of flower stalks from Allium sativum as measured by multiple resonance frequency spectra". American J. of Botany, 75:pp.1517-1525

Rameshwaran and Shiono (2007). "Quasi two-dimensional model for straiht overbank flows through emergent vegetation on floodplains" Journal of Hydraulic Research International Association of Hydraulic Engineering and Research, 45(3), pp. 302–315.

USDA Handbook of Channel Design for Soil and Water Conservation, (1954). Prepared by Stillwater outdoor hydraulic lab. at Stillwater, Okla., SCS, U.S.D.A., SCS-TP-61.

submerged vegetation". *Journal of Hydraulic engineering*,125(9),pp.934-942

Jeimes ,C.S., and et al (2004). "Flow resistance of emergent vegetation". *Journal of Hydraulic Research 42*(4):pp.390–398

Jarvela, J. and Helmio, T. (1999). "Hydraulic feature of boreal river rehabilitation-finish experience". 3rd international symposium on ecohydraulic, Salt Lake city, USA

Jarvela, J. (2002a). "Flow resistance of flexible and stiff vegetation: a flume study with natural plants". *Journal of Hydrology* 269(1–2):pp. 44–54

Jarvela, J. (2002b). "Determination of flow resistance of vegetated channel banks and floodplains". River flow 2002 ,Bousmar & Zech,pp. 311-318

Jarvela, J. (2004). "Determination of resistance caused by non-submerged woody vegetation". International Association of Hydraulic Engineering , IEHR, pp. 61-70

Kouwen, N., Fathi-Moghadam, M. (2000). "Friction factors for coniferous trees along rivers". *Journal of Hydraulic Engineering* 126(10),pp.732-740

Archive of SID

www.SID.ir