



برآورد پروفیل سطح آب در کانال مرکب با وجود پوشش گیاهی در سیلابدشت

مرضیه محسنی^۱، فاطمه توکلی نژاد الله آبادی^۲

تاریخ ارسال: ۱۳۹۸/۰۹/۲۷

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۷/۲۷

مقاله پژوهشی

چکیده

تخمین سطح آب در زمان وقوع سیلاب یکی از مهم‌ترین چالش‌ها در مدیریت و کنترل سیلاب می‌باشد. در هنگام وقوع سیلاب، رودخانه به صورت یک کانال مرکب شامل کانال اصلی و سیلابدشت‌ها عمل می‌کند. وجود پوشش گیاهی در سیلابدشت تاثیر قابل توجهی بر هیدرولیک جریان دارد و میزان این تاثیر به نوع پوشش گیاهی، انعطاف پذیری، چیدمان، تراکم، استغراق و عدم استغراق وابسته است. مدلسازی پروفیل سطح آب برای برآورد رابطه دبی اشل، طراحی سازه‌های هیدرولیکی، مدیریت رودخانه و کنترل سیلاب ضروری است. هدف از این مطالعه ارائه مدلی جهت تخمین سطح آب در کانال مرکب با وجود پوشش گیاهی صلب در سیلابدشت می‌باشد، به این منظور تاثیر پارامترهای مختلفی از جمله چیدمان، تراکم، عمق نسبی و فاصله نسبی بر پروفیل سطح آب به صورت آزمایشگاهی بررسی شده است. آزمایشات در دو چیدمان مربعی و شطرنجی، سه تراکم مختلف و پنج عمق نسبی مختلف انجام و وابستگی پروفیل بدون بعد سطح آب به تغییر این چهار پارامتر بی‌بعد بررسی گردید. سپس با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی، یک مدل رگرسیونی چند متغیره (MRM) به منظور پیش‌بینی پروفیل سطح آب ارائه شد. نتایج نشان می‌دهد که رابطه دبی اشل در کانال مرکب با وجود پوشش گیاهی در سیلابدشت، در تمام شرایط به صورت نمایی و با R^2 بالاتر از ۰/۹ می‌باشد. مقایسه نتایج حاصل از مدل رگرسیونی برآورد پروفیل سطح آب با داده‌های آزمایشگاهی توافق خوبی با R^2 ۰/۹۶ و درصد میانگین خطای مطلق ۲/۳۱٪ را نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: پروفیل سطح آب، کانال مرکب، پوشش گیاهی، رگرسیون گیری چندمتغیره

^۱ استادیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی سیرجان، سیرجان، ایران، ۰۹۱۳۳۸۷۷۹۸۰، mohseni_m@sirjantech.ac.ir (نویسنده

مسول)

^۲ دانش‌آموخته کارشناسی ارشد سازه‌های هیدرولیکی، دانشگاه صنعتی سیرجان، سیرجان، ایران، tavakoliii73@gmail.com



مقدمه

در هنگام وقوع سیلاب، جریان در رودخانه‌ها غیریکنواخت می‌باشد. غیریکنواختی جریان، ممکن است ناشی از تغییرات تراز بستر، تغییر عرض و زبری کانال در جهت طولی یا توزیع نامتناسب دبی در عرض کانال باشد. از آنجا که سرعت در کانال اصلی با سرعت در سیلابدشت متفاوت است، دبی جرمی عرضی منجر به تبادل مومنتم میان دو بخش کانال می‌شود. انتقال مومنتم اضافی موجب افزایش افت انرژی در کانال و در نتیجه کاهش ظرفیت انتقال کانال مرکب می‌شود و بر توزیع عرضی دبی و عمق جریان نیز اثر می‌گذارد. غیریکنواختی ناشی از این افت انرژی به هندسه کانال، دبی کل و عمق نسبی (نسبت عمق جریان در سیلابدشت به عمق در کانال اصلی) وابسته است (Pruost et al., 2009). بر طبق مطالعات سلین (۱۹۶۴) و ژلزنیاکو (۱۹۷۲) در یک عمق مشخص اثرات متقابل جریان کانال اصلی و سیلابدشت بر یکدیگر باعث ایجاد جریان‌های با دبی کمتر در کانال مرکب نسبت به کانال ساده می‌گردد. تلاش‌های بسیاری به منظور محاسبه تبادل مومنتم در حدفاصل کانال اصلی و سیلابدشت با استفاده از نظریه دیواره فرضی انجام شده است (Das and Khatua, 2018). با این وجود اغلب سیلابدشت‌ها محل رویش پوشش گیاهی می‌باشند که تاثیر قابل توجهی بر پدیده تبادل مومنتم دارد و بنابر مطالعات انجام گرفته موجب افزایش تبادل مومنتم می‌گردد (محسنی و همکاران، ۱۳۹۳).

ین و همکارانش در سال ۱۹۸۵ یک روش محاسباتی پسرور را برای محاسبه پروفیل سطح آب در کانال‌های مرکب مستقیم ارائه کردند. این روش برای یک کانال مجازی مستقیم با شرایط مرزی مختلف به کار برده و میزان تاثیر تبادل جرم و تنش برشی آشفتگی بر انتقال مومنتم میان مقاطع بررسی شده است. تنها بر اساس نتایج عددی، نشان داده شد که تاثیر تنش برشی آشفتگی بر پروفیل سطح آب

در مقابل تبادل جرم ناچیز و قابل صرفنظر کردن است. متاسفانه نتایج این مدل با داده‌های آزمایشگاهی مقایسه نشده است. (Yen et al., 1985). این روش توسط پروست و همکاران برای محاسبه پروفیل جریان غیریکنواخت در کانال‌های مرکب با تغییر مقطع، توسعه و مدل یک بعدی جدیدی به نام روش جزء مقاطع مستقل ISM^۳ ارائه داده شد. در روش ISM دو پارامتر مهم طراحی شامل عمق جریان و سرعت متوسط در هر یک از مقاطع جزء (کانال- اصلی یا سیلابدشت‌ها) برآورد می‌گردد (Proust et al., 2009).

در سال ۱۹۹۹، ال-سامان تاثیر نی آبی هم‌تراز جریان را بر پروفیل سطح آب، توزیع سرعت و راندمان هیدرولیکی کانال روباز بررسی نمود. نتایج این مطالعه نشان داد که وجود پوشش گیاهی موجب افزایش شیب سطح آب و غیریکنواختی جریان و کاهش راندمان کانال می‌گردد. در آخر، نویسنده بیان می‌کند که کاهش ارتفاع پوشش گیاهی تاثیری بر افزایش راندمان کانال ندارد (El-Saman, 1999). عثمان (۲۰۰۳) مطالعه آزمایشگاهی را در آزمایشگاه هیدرولیک موسسه تحقیقات ملی مصر انجام داد. در این مطالعه پروفیل سطح آب در پنج دبی مختلف و پنج بازشدگی متفاوت دریچه و با دو تراکم متفاوت ۰/۲۵ و ۰/۰۶۲۵ ساقه در هر مترمربع انجام شده است. نتایج حاصل از این مطالعه آزمایشگاهی نشان‌دهنده افت ناگهانی و قابل توجه عمق آب در ابتدای پوشش گیاهی می‌باشد اما پس از آن، سطح آب در طول پوشش گیاهی به صورت ثابت باقی می‌ماند، در این مطالعه مقایسه‌ای با شرایط بدون پوشش گیاهی انجام نشده است (Osman, 2003).

عبدالحمید در پایان‌نامه کارشناسی ارشد خود، برای شبیه‌سازی پوشش گیاهی از علف‌های آبی انعطاف‌پذیر و غیرمستغرق در کف فلوم بتنی دوزنقه‌ای استفاده نمود. در این شبیه‌سازی، پروفیل سطح آب در ۶ بازشدگی مختلف بررسی و مشخص گردید که به ازای هر بازشدگی ثابت، عمق

و چیدمان پوشش گیاهی بر پروفیل سطح آب و هدف دوم ارائه یک مدل رگرسیونی چندمتغیره به منظور پیش‌بینی پروفیل سطح آب می‌باشد.

مواد و روش‌ها

-انتخاب پارامترهای موثر

از بررسی مطالعات مختلف و داده‌های آزمایشگاهی بر روی کانال‌های مرکب مانند مطالعه نایت و دیمیتریو (۱۹۸۳)، نایت و حامد (۱۹۸۴)، یانگ و همکاران (۲۰۰۵) و داس و خاتو (۲۰۱۶) مشخص گردید که جریان در کانال مرکب به نسبت عرض، عمق نسبی و نسبت ابعاد وابسته است. بعدها نیاک و خاتو (۲۰۱۶) به این جمع‌بندی رسیدند که متغیر جریان به خصوصیات هندسی، هیدرولیکی و پارامترهای جریان وابسته است و فاصله نسبی و زاویه تغییر سطح مقطع کانال را نیز به این فهرست اضافه نمودند. در مطالعه حاضر، با توجه به وجود پوشش گیاهی در سیلابدشت‌ها، پارامترهای بدون بعد چیدمان و تراکم نیز مورد توجه قرار گرفتند. پارامترهای بدون بعد در این مطالعه در بخش زیر معرفی می‌گردند:

(۱) نسبت عرض (α) ، یعنی نسبت عرض سیلابدشت (B) به عرض کانال اصلی (b).

(۲) عمق نسبی جریان (Dr) که برابر است با $(H - h)/H$. در اینجا H عمق آب در کانال اصلی و h ارتفاع لبریزی می‌باشد.

(۳) فاصله نسبی (χ) از یک مرجع یا یک نقطه مشخص، یعنی نسبت فاصله (l) یک بخش یا شاخه در جهت طولی کانال به کل طول کانال غیر منشوری و می‌تواند به صورت $\chi = l/L$ تعریف شود.

(۴) نسبت ابعاد (δ) ، یعنی، نسبت عرض کانال اصلی (b) به عمق لبریزی (h)

(۵) چیدمان پوشش گیاهی (E) به نحوه قرارگیری گیاهان گفته می‌شود که غالباً به صورت شطرنجی یا مربعی می‌باشد.

جریان در بالادست منطقه دارای پوشش گیاهی نسبت به حالت بدون پوشش گیاهی افزایش می‌یابد (Abd Elhalim, 2005).

آبدین (۲۰۰۸) در مطالعه‌ای به برآورد پروفیل سطح آب در حضور پوشش گیاهی با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی پرداخت؛ او در این مطالعه از داده‌های آزمایشگاهی عبدالحلیم (۲۰۰۵) به منظور آموزش شبکه عصبی استفاده کرد، نتایج مطالعه نشان داد که شبکه عصبی در پیش‌بینی رفتار جریان در حضور پوشش گیاهی موفق عمل می‌نماید (Abdeen, 2008)

طبق مطالعات زمیری و همکاران در یک کانال مرکب، عمق آب در سیلابدشت در مقایسه با عمق آب در کانال اصلی تاثیر بیشتری بر دبی جریان دارد. علاوه بر این، با افزایش زبری بستر یعنی همان حضور پوشش گیاهی در سیلابدشت، ظرفیت انتقال سیلابدشت کاهش پیدا می‌کند که همین عمل بر دبی کل جریان تاثیر گذاشته به طوریکه با افزایش تراکم پوشش گیاهی در سیلابدشت، زبری بیشتر و ظرفیت انتقال به همان میزان کمتر می‌شود. از طرفی تبادل مومنوم به شدت به عمق نسبی بستگی دارد و بیشترین تبادل مومنوم در عمق نسبی ۰/۱ تا ۰/۳ اتفاق (Zamri et al., 2011)

در اغلب مطالعاتی که در گذشته بر روی تاثیر پوشش گیاهی بر خصوصیات جریان انجام شده است، پوشش گیاهی به صورت زبری یکنواخت در بستر شبیه‌سازی شده است. مطالعات اخیر نشان می‌دهد چنین فرضی چندان دقیق نیست و نمی‌توان از تاثیر تراکم و الگوی چیدمان پوشش گیاهی بر خصوصیات جریان صرف‌نظر کرد. علاوه بر این در اکثر این مطالعات، جریان به صورت یکنواخت فرض شده است و از این مساله مهم که وجود پوشش گیاهی موجب غیریکنواخت شدن جریان می‌گردد چشم‌پوشی شده است لذا در این مطالعه سعی شده است که تاثیر این عوامل بر پروفیل سطح آب بررسی گردد. در این مطالعه دو هدف کلی مورد توجه قرار گرفته است: هدف اول بررسی تاثیر متغیرهای بدون بعد مانند عمق نسبی، فاصله نسبی، تراکم



مستقیم ایجاد گردد. در این مطالعه، عرض کانال اصلی ۰/۲۴ متر، عرض سیلابدشتها ۰/۲۸ متر، ارتفاع لبریزی ۰/۰۶ متر و شیب جانبی کانال صفر در نظر گرفته شده است، نسبت عرض کانال (نسبت عرض کل کانال به عرض کانال اصلی) برابر ۳/۳۳ و نسبت ابعاد کانال (نسبت عرض به عمق کانال اصلی) برابر ۴ می باشد که با مطالعات گذشته همخوانی داشته و بر اساس نظر محققین، نتایج حاصل را می توان به مقاطع واقعی رودخانه تعمیم داد. نمایی از فلوم آزمایشگاهی در شکل (۱) ارائه شده است.



شکل (۱) نمایی از فلوم آزمایشگاهی (توکلی، ۱۳۹۸)

به منظور مدلسازی پوشش گیاهی از چوبهایی به قطر ۷ میلی متر و طول ۱۴ سانتی متر استفاده شده است. قطر پوشش گیاهی با بررسی مطالعات گذشته انتخاب شده است، در جدول (۱) قطر پوشش گیاهی در برخی از مطالعات گذشته ارائه شده است. طبق مطالعه نف و همکاران (۱۹۹۷) قطر پوشش گیاهی در محدوده ۶ تا ۱۲ میلی متر نشان دهنده پوشش گیاهی واقعی در رودخانهها می باشد، بر اساس مطالعه لئونارد و لوتر (۱۹۹۵) مقدار عدد رینولدز گیاهی (Re_d) در شرایط واقعی جریان درون پوشش گیاهی در محدوده ۱۰ تا ۱۰۰۰ می باشد (Nepf et al., 1997). در

(۶) تراکم پوشش گیاهی Na که به صورت تعداد گیاه در هر متر مربع تعریف می شود. وابستگی پروفیل سطح آب (Ψ) به پارامترهای بی بعد به صورت رابطه (۱) بیان می گردد:

$$\Psi = f(\alpha, \beta, \chi, \delta, \theta, Na, \epsilon) \quad (1)$$

- توسعه مدل برآورد پروفیل سطح آب

به منظور توسعه مدل پیش بینی پروفیل سطح آب، پیش از هر چیز، پروفیل سطح آب بایستی به صورت یک پارامتر بدون بعد تعریف شود. پروفیل سطح آب بدون بعد را می توان به صورت نسبت عمق آب در کانال اصلی (H) به ارتفاع لبریزی (h) معرفی و به صورت پارامتر $\Psi = H/h$ ، تعریف نمود. در این مطالعه از روش رگرسیون گیری غیرخطی چند متغیره به منظور برآورد مدل پروفیل بدون بعد سطح آب استفاده شده است. برای این منظور نیاز به داده های واقعی وجود داد که در این مورد آزمایشاتی به منظور جمع آوری داده و بررسی تاثیر پارامترهای بی بعد بر روی پروفیل بدون بعد سطح آب انجام گرفته است.

روش آزمایشگاهی

آزمایشات در آزمایشگاه سازه های هیدرولیکی دانشگاه صنعتی سیرجان انجام شده اند. فلوم از جنس فولادی با سطح مقطع مستطیلی دارای دیواره ها و کف پلکسی گلاس است. این فلوم به طول ۸/۶ متر، عرض ۰/۸ متر و ارتفاع ۰/۶ متر با شیب ثابت ۰/۰۱۲ می باشد که دارای سیستم گردش آب چرخشی می باشد. به منظور مرکب کردن فلوم از یونولیت هایی به عرض ۰/۲۸ متر و ضخامت ۰/۰۵۶ متر و صفحات پلی کربنات به عرض ۰/۲۸ متر و ضخامت ۰/۰۴ متر استفاده شده است. صفحات پلی کربنات روی یونولیت ها جهت صاف بودن کف و آب بندی قرار می گیرند. قسمتی از پلی کربنات هایی که پوشش گیاهی روی آنها قرار می گیرد توسط دستگاه لیزر با دو چیدمان متفاوت شطرنجی و مربعی سوراخ شده است. این صفحات در دو طرف فلوم قرار داده شده تا کانال مرکب متقارن منشوری و با مقطع مستطیلی

جدول (۲) فاصله طولی و عرضی پوشش گیاهی، تراکم و معیار نف ارائه شده است.

ردیف	ln(m)	ls(m)	Na (1/m ²)	ah _v	وضعیت تراکم
۱	۰/۱	۰/۱	۰/۰۱	۰/۰۸۴	پراکنده
۲	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۳۳	متراکم
۳	۰/۰۲۵	۰/۰۲۵	۰/۱۶	۱/۳۴	متراکم

تراکم $Na = 0.01 (1/m^2)$ معادل ۱۰۰ ساقه در هر مترمربع و پوشش ۰/۴۱٪ کل سطح، تراکم $Na = 0.04 (1/m^2)$ معادل ۴۰۰ ساقه در هر مترمربع و پوشش ۱/۶۴٪ کل سطح و تراکم سوم $Na = 0.16 (1/m^2)$ معادل ۱۶۰۰ ساقه در هر مترمربع و پوشش ۶/۰۴٪ کل سطح می‌باشد. این سه تراکم برای هر دو چیدمان مربعی و شطرنجی تکرار شده است.

در ابتدای فلوم به منظور کاهش تلاطم از یک لانه زنبوری و یک صفحه یونولیت روی سطح جریان استفاده شده است. همچنین یک تبدیل شامل دو رمپ هم‌عرض با سیلاب‌دشت ایجاد شده است تا رقوم بستر ابتدای فلوم به صورت تدریجی به رقوم کف سیلاب‌دشت‌ها افزایش پیدا کند. برای کنترل عمق جریان، در انتهای فلوم یک دریچه کشویی قرار دارد. در طول آزمایش با تغییر عمق نسبی، تراکم و چیدمان پوشش گیاهی، عمق جریان با استفاده از عمق سنج با دقت ۰/۱ میلی‌متر اندازه‌گیری شده است. در شکل (۳) مقاطع اندازه‌گیری عمق جریان، در طول کانال نشان داده شده است. برای تشکیل پروفیل سطح آب، ابتدا با استفاده از شیر تنظیم جریان، دبی جریان ورودی به کانال در یک مقدار مشخص ثابت و مقدار آن از فلومتر الکترومغناطیس با دقت ۰/۲۵ مقیاس کامل (۲/۰۵ لیتر بر ثانیه) قرائت شده است. سپس با استفاده از دریچه انتهایی، عمق نسبی مورد نظر در فاصله ۵/۵ متری از ابتدای فلوم (مقطع میانی منطقه دارای پوشش گیاهی) تنظیم گردید. پس از تثبیت جریان، پارامترهای جریان اندازه‌گیری و برای دیگر تراکم‌ها و چیدمان‌ها تکرار شده است.

مطالعه حاضر با انتخاب قطر ۷ میلی‌متر، عدد رینولدز گیاه در محدوده ۵۰ تا ۴۰۰ است که در محدوده شرایط واقعی است.

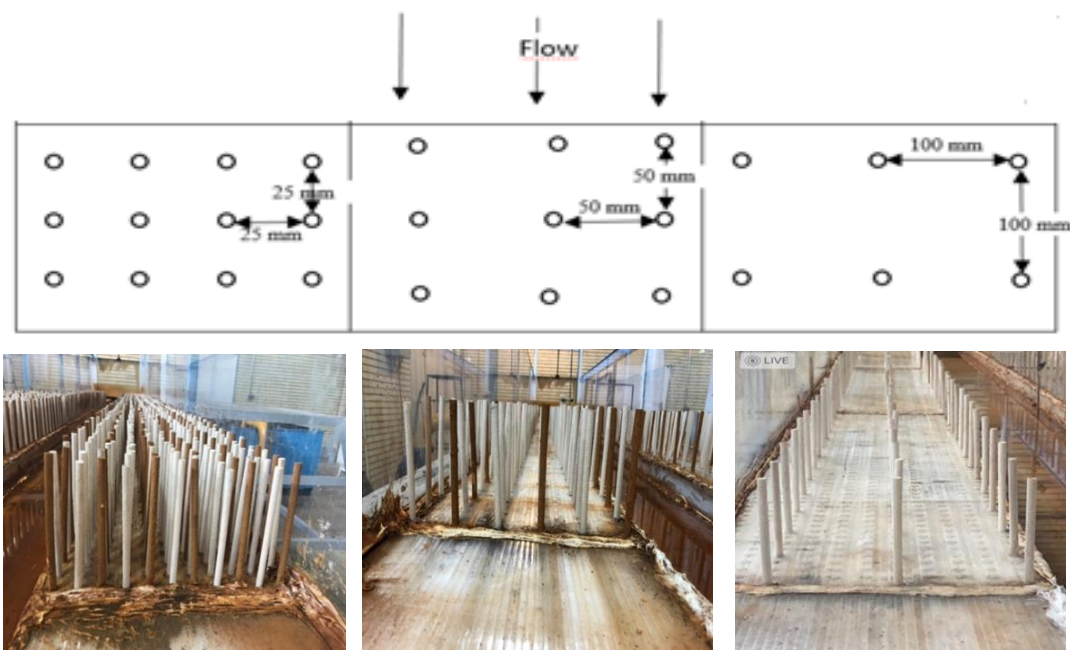
جدول (۱) قطر پوشش گیاهی در مطالعات گذشته

محققین	قطر پوشش گیاهی (mm)
لیو و همکاران (۲۰۰۸)	۶/۳۵
افضلی‌مهر و ستایش (۱۳۹۷)	۱۰
حمیدفر و امید (۲۰۱۳)	۱۰
چن و همکاران (۲۰۱۲)	۶/۴
وایت و نف (۲۰۰۷)	۶/۵
نف و همکاران (۱۹۹۷)	۱۲ و ۶
برایان و همکاران (۲۰۰۲)	۱۲/۷ و ۶/۵
زمری و همکاران (۲۰۱۱)	۵ میلی‌متر

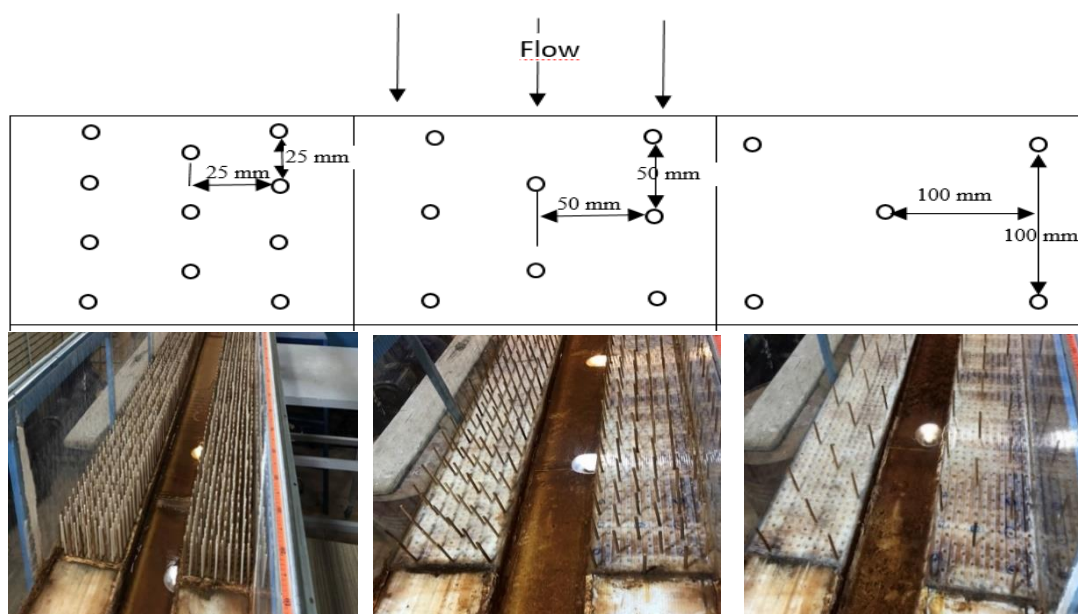
در این مطالعه سعی شده است تا حد امکان وضعیت جریان در تراکم‌های مختلف اعم از متراکم و پراکنده بررسی گردد، بر اساس معیار نف (۲۰۱۲) چنانچه $ah_v > 0.1$ باشد پوشش گیاهی متراکم و در غیر این صورت پراکنده می‌باشد (Nepf, 2012). در این رابطه h_v ارتفاع گیاه بر حسب متر، a سطح عمودی مقابل جریان $(a = d_v/l_s l_n)$ ، قطر گیاه و l_s و l_n فاصله پوشش گیاهی از یکدیگر، به ترتیب، در جهت جریان و در جهت عمود بر جهت جریان می‌باشد. به منظور بررسی تراکم پوشش گیاهی، از سه تراکم مختلف استفاده شده است به این ترتیب، پوشش گیاهی در فاصله ۳/۶ متری از ابتدای فلوم و به طول ۳/۹ متر بر روی سیلاب‌دشت قرار گرفته است. در جدول (۲) فاصله طولی و عرضی پوشش گیاهی در تراکم‌های مختلف، معیار نف برای تراکم (ah_v) و وضعیت تراکم (متراکم یا پراکنده) ارائه شده است. تراکم (Na) به صورت مساحت اختصاص یافته برای هر ساقه ($1/m^2$) تعریف و از رابطه (۲) محاسبه می‌گردد.

$$Na = \frac{1}{l_s l_n} \quad (2)$$

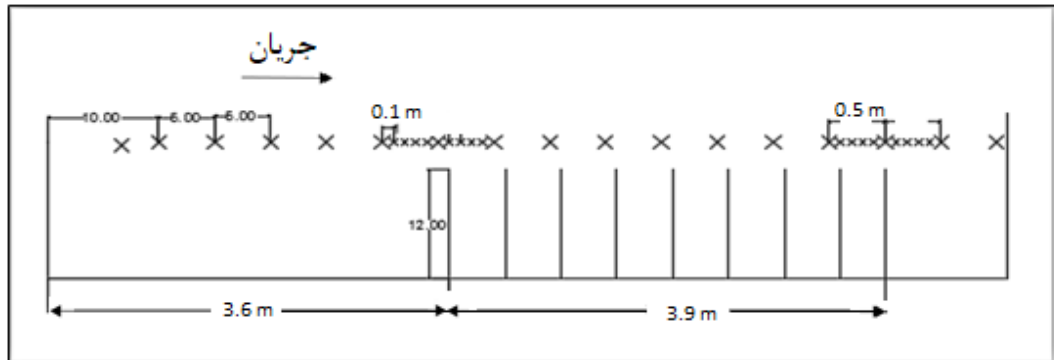
در اینجا، l_s و l_n فاصله پوشش گیاهی از یکدیگر، به ترتیب، در جهت جریان و در جهت عمود بر جهت جریان می‌باشد. در شکل (۲) و (۳) نحوه قرارگیری پوشش گیاهی و فاصله آنها از یکدیگر در چیدمان مربعی و شطرنجی نشان داده شده است.



شکل (۲) نمایی از پوشش گیاهی با چیدمان مربعی در تراکم‌های مختلف نشان داده شده و فاصله طولی و عرضی پوشش گیاهی در هر تراکم مشخص گردیده است (توکلی، ۱۳۹۸).



شکل (۳) نمایی از پوشش گیاهی با چیدمان شطرنجی در تراکم‌های مختلف نشان داده شده و فاصله طولی و عرضی پوشش گیاهی در هر تراکم مشخص گردیده است (توکلی، ۱۳۹۸).



شکل (۴) مقاطع اندازه‌گیری عمق جریان با علامت * نشان داده شده است، پوشش گیاهی در فاصله ۳/۶ متری از ابتدای فلوم قرار داده شده است.

نسبت مساوی و کوچکتر از یک باشد به معنای استغراق و در غیر این صورت به معنی عدم استغراق پوشش گیاهی است. لازم به ذکر است که در عمق نسبی‌های ۰/۴۵، ۰/۲۹ و ۰/۱۵ پوشش گیاهی به صورت غیرمستغرق و در عمق نسبی ۰/۶۷ و ۰/۷۵ پوشش گیاهی به صورت مستغرق می‌باشد. جزئیات پارامترهای هندسی و هیدرولیکی آزمایشات در جدول (۳) ارائه شده است.

آزمایشات شامل دو چیدمان (مربعی و شطرنجی)، سه تراکم پوشش گیاهی، ۵ عمق نسبی مختلف (۰/۲۹، ۰/۴۵، ۰/۱۵، ۰/۶۷ و ۰/۷۵)، دو حالت مستغرق و غیرمستغرق و یک حالت بدون پوشش گیاهی می‌باشد که در مجموع ۳۵ آزمایش انجام و ۴۸۰ داده جمع‌آوری شده است. درجه استغراق به صورت نسبت ارتفاع پوشش گیاهی (h_p) به عمق جریان (H) تعریف شده است ($h^* = h_p/H$)، چنانچه این

جدول (۳) جزئیات پارامترهای هندسی و هیدرولیکی در آزمایشات حاضر

فاصله نسبی X	نسبت عمق		نسبت ابعاد α	دبی $Q(m^3/s)$	تراکم Na ($1/m^2$)	چیدمان
	عرض δ	نسبی Dr				
۰/۲۳، ۰/۱۰۲، ۰/۰۷۶، ۰/۰۵۱، ۰/۲۵، ۰	۴	۰/۴، ۰/۲۹	۱/۱۶۶	۰/۰۱۷۵، ۰/۰۰۹۳	۰/۱۶	شطرنجی
۰/۱۸۹، ۰/۱۸۷، ۰/۱۷۴، ۰/۱۶۱، ۰/۱۴۸، ۰/۱۳۵		۰/۶۷، ۰/۱۵		۰/۰۳۹، ۰/۰۳۱، ۰/۰۲۳	۰/۰۴	
۱، ۰/۰۹۷، ۰/۰۹۴۸، ۰/۰۹۲		۰/۷۵			۰/۰۱	
۰/۲۳، ۰/۱۰۲، ۰/۰۷۶، ۰/۰۵۱، ۰/۲۵، ۰	۴	۰/۴، ۰/۲۹	۱/۱۶۶	۰/۰۲۳، ۰/۰۱۷۵، ۰/۰۰۹۳	۰/۱۶	مربعی
۰/۱۸۹، ۰/۱۸۷، ۰/۱۷۴، ۰/۱۶۱، ۰/۱۴۸، ۰/۱۳۵		۰/۶۷، ۰/۱۵		۰/۰۳۹، ۰/۰۳۱	۰/۰۴	
۱، ۰/۰۹۷، ۰/۰۹۴۸، ۰/۰۹۲		۰/۷۵			۰/۰۱	
۰/۲۳، ۰/۱۰۲، ۰/۰۷۶، ۰/۰۵۱، ۰/۲۵، ۰	۴	۰/۴، ۰/۲۹	۱/۱۶۶	۰/۰۲۳، ۰/۰۱۷۵، ۰/۰۰۹۳	--	بدون پوشش
۰/۱۸۹، ۰/۱۸۷، ۰/۱۷۴، ۰/۱۶۱، ۰/۱۴۸، ۰/۱۳۵		۰/۶۷، ۰/۱۵		۰/۰۳۹، ۰/۰۳۱		
۱، ۰/۰۹۷، ۰/۰۹۴۸، ۰/۰۹۲		۰/۷۵				

تعاریفی که برای این روابط ارائه شده است توسط محققین مختلفی مانند نیاک و خاتو (۲۰۱۶) و دوی (۲۰۱۷) مورد استفاده قرار گرفته است (Das and Khatua, 2018). روابط (۳) تا (۷)، مقدار پیش‌بینی شده، O_i مقدار مشاهده شده و \bar{O} میانگین مقادیر مشاهده شده می‌باشد.

برآورد خطا

به منظور اطمینان از کارایی مدل ارائه شده، مقادیر مختلف خطا مانند میانگین خطای مطلق (MAE)، درصد میانگین خطای مطلق (MPAE)، جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)، معیار ناش ساتکلیف (E) و شاخص سازگاری (Id) معرفی و با استفاده از روابط (۳) تا (۷) محاسبه شده‌اند.



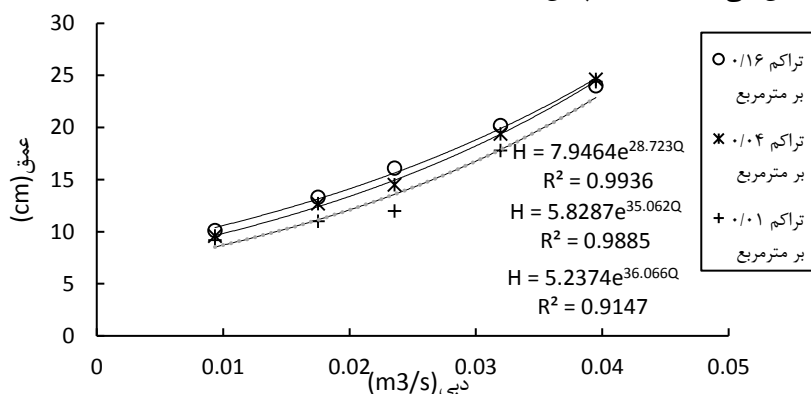
بینی مدل با دقت در برآورد میانگین داده‌های مشاهده‌ای برابر است و $E < 0$ زمانی اتفاق می‌افتد که میانگین داده‌های مشاهده‌ای پیش‌بینی‌کننده بهتری از مدل می‌باشد.

– مدل رگرسیونی چند متغیره

به منظور برازش بهترین تابع برای پارامتر بدون بعد Ψ ، برحسب سه پارامتر بدون بعد تراکم، عمق نسبی، فاصله نسبی بر روی داده‌های آزمایشگاهی رگرسیون‌گیری چند متغیره انجام شده است، از ۷۰٪ مجموع داده‌ها، در مرحله رگرسیون‌گیری و استخراج مدل و از ۳۰٪ به منظور اعتبارسنجی مدل استفاده شده است. برای این منظور از نرم افزار ایویز نسخه ۹ و روش حداقل مربعات خطا استفاده شده است.

نتایج و بحث

روابط دبی اشل در تراکم‌های مختلف برای چیدمان مربعی در ابتدا، میانه و انتهای پوشش گیاهی در شکل-های (۵)، (۶) و (۷) ارائه شده است، همانگونه که از شکل‌ها مشخص است روابط دبی اشل به صورت توابع نمایی با R^2 بالاتر از ۰/۹ می‌باشند. رابطه دبی اشل برای همه تراکم‌ها و در همه مقاطع از رابطه $H = a \exp(bQ)$ تبعیت می‌کند، a و b ضرایب رابطه می‌باشند که در شکل‌ها به صورت دقیق مشخص شده‌اند، برای چیدمان شطرنجی هم همین بررسی انجام و روند مشابهی مشاهده شده است.



شکل (۵) رابطه دبی اشل در مقطع ابتدایی ($\chi=0$) برای تراکم‌های مختلف با چیدمان مربعی

۱- میانگین خطای مطلق (MAE): میانگین خطای مطلق از رابطه (۳) برآورد می‌گردد:

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_i^n \frac{P_i - O_i}{O_i} \quad (3)$$

۲- درصد میانگین خطای مطلق (MAPE): میانگین خطای مطلق معمولاً به صورت درصد بیان و از رابطه (۴) محاسبه می‌گردد:

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_i^n \frac{P_i - O_i}{O_i} \times 100 \quad (4)$$

۳- جذر میانگین مربعات خطا (RMSE): جذر میانگین مربعات خطا با استفاده از رابطه (۵) محاسبه می‌شود:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_i^n (P_i - O_i)^2} \quad (5)$$

۴- شاخص سازگاری (Id): ویلموت (۱۹۸۱) شاخص سازگاری را به صورت نسبت جذر میانگین خطا و خطای پتانسیل و به صورت رابطه (۶) ارائه داد:

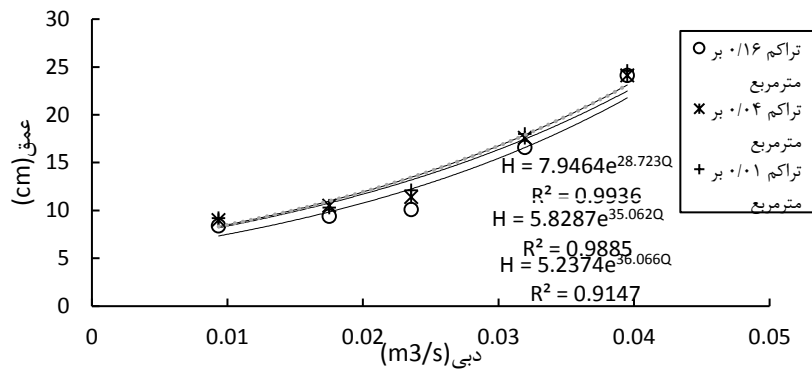
$$Id = 1 - \frac{\sum_i^n (O_i - P_i)^2}{\sum_i^n (|P_i - \bar{O}| + |O_i - \bar{O}|)} \quad (6)$$

محدود Id مشابه R^2 میان 0 (بدون همبستگی) تا یک (برازش کامل) می‌باشد.

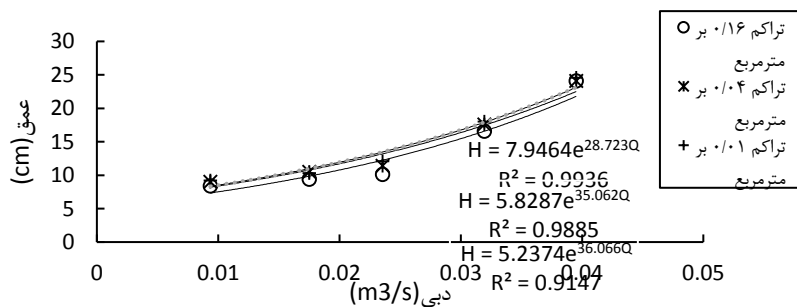
۵- معیار کارایی ناش ساتکلیف (E): این معیار توسط ناش ساتکلیف در سال ۱۹۷۰ به صورت رابطه (۷) ارائه شده است:

$$E = 1 - \frac{\sum_i^n (O_i - P_i)^2}{\sum_i^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (7)$$

محدوده E بین $(-\infty)$ و یک می‌باشد. کارایی یک ($E=1$) به معنای تطابق کامل داده‌های مشاهداتی و پیش‌بینی شده می‌باشد. کارایی صفر نشان می‌دهد که دقت پیش



شکل (۶) رابطه دبی اشل در مقطع میانی ($\chi=0.5$) برای تراکم‌های مختلف با چیدمان مربعی

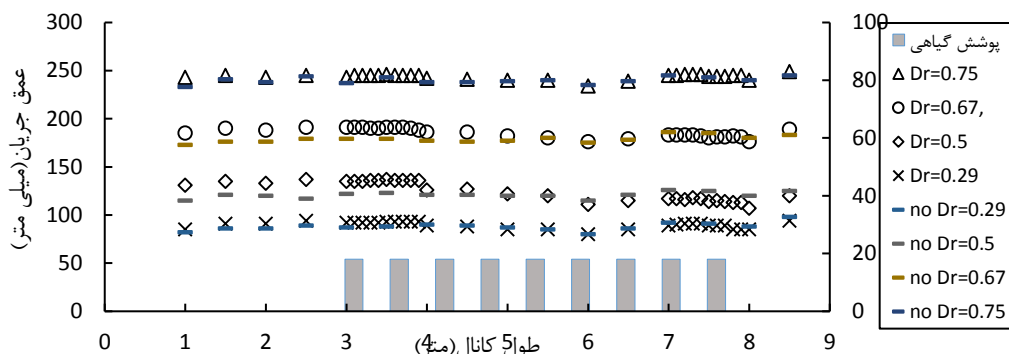


شکل (۷) رابطه دبی اشل در مقطع انتهایی ($\chi=1$) برای تراکم‌های مختلف با چیدمان مربعی

یافته اما پس از آن، افت ناگهانی در سطح آب مشاهده می‌گردد. چنین افت ناگهانی در سطح آب با مشاهدات عثمان (۲۰۰۳) نیز تطابق دارد، این روند کاهش سطح آب تقریباً تا انتهای منطقه گیاهی ادامه پیدا می‌کند. همچنین با افزایش عمق نسبی از ۰/۲۹ تا ۰/۵، اختلاف میان سطح آب در حالت وجود پوشش گیاهی و عدم وجود پوشش گیاهی افزایش می‌یابد اما پس از آن و با افزایش عمق نسبی از ۰/۵ تا ۰/۷۵ این اختلاف کاهش می‌یابد به طوری که در عمق نسبی ۰/۷۵ تفاوت چندانی میان سطح آب در شرایط وجود و عدم وجود پوشش گیاهی وجود ندارد که البته به دلیل مستغرق شدن جریان پس از عمق نسبی ۰/۵ تاثیر پوشش گیاهی بر روی توزیع سرعت به مقدار قابل توجهی کاهش می‌یابد که می‌تواند دلیل این کاهش اختلاف باشد.

پروفیل سطح آب

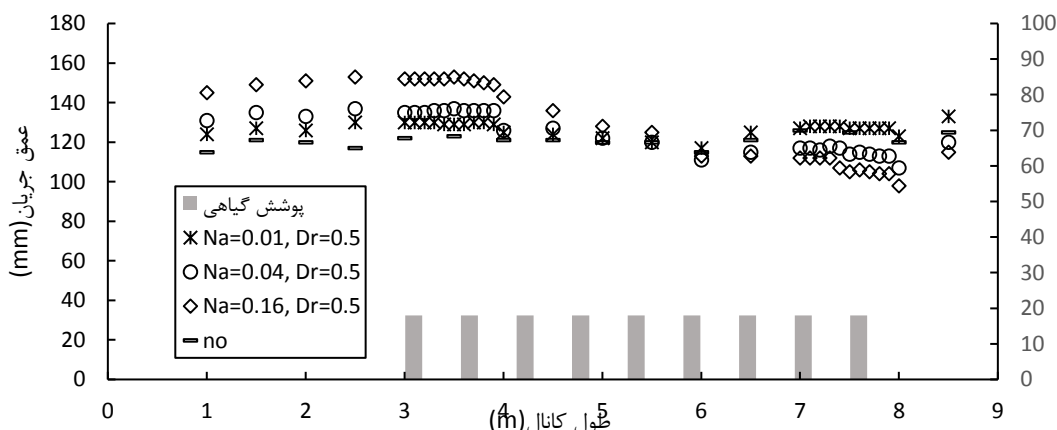
در این بخش به بررسی تاثیر تغییر عمق نسبی، تراکم و چیدمان پوشش گیاهی بر پروفیل سطح آب پرداخته شده است، در شکل (۸) تاثیر عمق نسبی‌های مختلف بر روی پروفیل سطح آب برای چیدمان شطرنجی و در تراکم $0.04(1/m^2)$ ارائه شده است. مقایسه پروفیل سطح آب در شرایط وجود پوشش گیاهی با وضعیت بدون پوشش گیاهی نشان می‌دهد که وجود پوشش گیاهی به طور کلی موجب افزایش شیب سطح آب در طول کانال می‌گردد به نحوی که سطح آب در بالادست پوشش گیاهی به مقدار قابل توجهی نسبت به شرایط بدون پوشش گیاهی می‌یابد، این افزایش عمق آب تا فاصله نسبی $\chi=0.7$ درون پوشش گیاهی ادامه



شکل (۸) مقایسه پروفیل سطح آب در شرایط بدون پوشش گیاهی و پوشش گیاهی شطرنجی با تراکم ۰/۰۴ ساقه در هر مترمربع در عمق نسبی ۰/۲۹، ۰/۵، ۰/۶۷ و ۰/۷۵

شده است. همانگونه که مشخص است افزایش تراکم موجب افزایش قابل توجه عمق آب در ابتدای پوشش گیاهی و کاهش بیشتر سطح آب در طول پوشش گیاهی نسبت به شرایط بدون پوشش گیاهی و تراکم‌های کمتر می‌گردد.

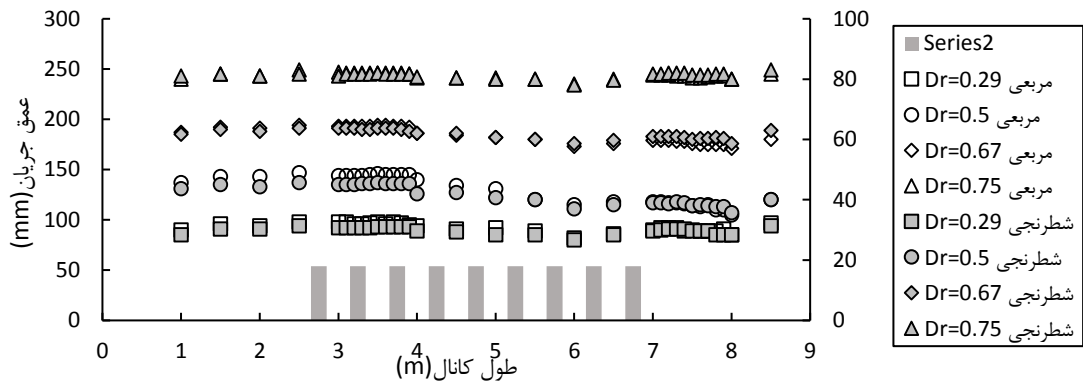
یکی از پارامترهای موثر بر پروفیل سطح آب در شرایط وجود پوشش گیاهی، تراکم پوشش گیاهی می‌باشد. در شکل (۹) تاثیر تراکم‌های مختلف پوشش گیاهی بر پروفیل سطح آب در چیدمان شطرنجی و عمق نسبی ۰/۵ نشان داده



شکل (۹) مقایسه پروفیل سطح آب-در چیدمان شطرنجی با تراکم‌های مختلف

شطرنجی است، دلیل این موضوع می‌تواند کاهش تداخل دنباله‌های ایجاد شده ناشی از پوشش گیاهی در چیدمان مربعی نسبت به چیدمان شطرنجی باشد که منجر به افزایش مقاومت جریان در چیدمان مربعی می‌گردد که البته این مساله با افزایش عمق نسبی به مقدار ۰/۷۵ و استغراق کامل پوشش گیاهی از بین می‌رود.

در شکل (۱۰) پروفیل سطح آب در یک تراکم و عمق نسبی‌های مختلف و در دو چیدمان مختلف شطرنجی (St) و مربعی (L) مقایسه شده است. همانگونه که ملاحظه می‌شود پروفیل سطح آب در چیدمان مربعی مشابه چیدمان شطرنجی می‌باشد، در این حالت نیز وجود پوشش گیاهی موجب افزایش شیب سطح آب می‌گردد با این حال میزان افزایش سطح آب در چیدمان مربعی کمی بیشتر از چیدمان

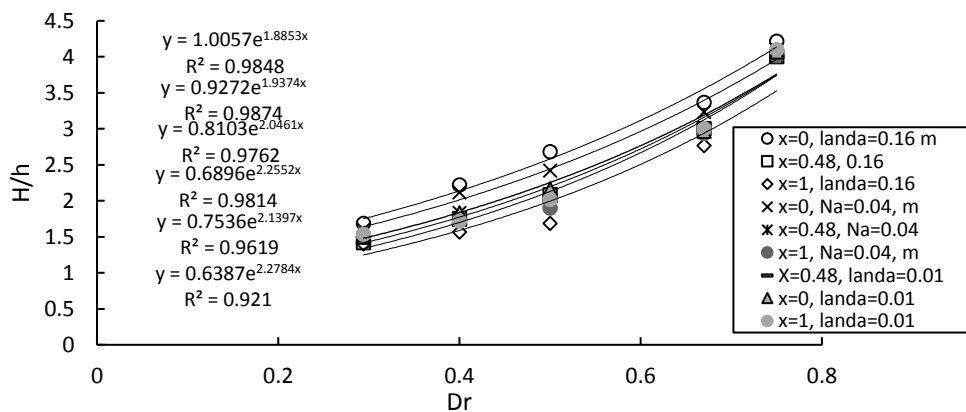


شکل (۱۰) مقایسه پروفیل سطح آب-در دو چیدمان مختلف شطرنجی (ST)، مربعی (L) و بدون پوشش گیاهی در تراکم ۰/۰۴ ساقه در هر مترمربع و در عمق نسبی ۰/۴۵، ۰/۶۷ و ۰/۷۵

مختلف در مقاطع مختلف از کانال، در شکل (۱۱) نشان داده شده است. همانگونه که ملاحظه می شود در هر سه تراکم و در مقاطع مختلف (مقطع ابتدایی، میانی و انتهایی)، یک رابطه نمایی با R^2 بالای ۰/۹ میان پروفیل بی بعد و عمق نسبی وجود دارد. این بررسی برای چیدمان شطرنجی نیز انجام شده و نتایج مشابهی بدست آمده است.

رابطه پارامترهای بی بعد با پروفیل بدون بعد سطح آب:

رابطه پروفیل بدون بعد سطح آب با عمق نسبی: در این بخش تاثیر چهار پارامتر بدون بعد عمق نسبی، طول نسبی، چیدمان و تراکم پوشش گیاهی بر پروفیل بی بعد سطح آب (Ψ) بررسی شده است. تغییر پروفیل بی بعد سطح آب (Ψ) با عمق نسبی برای چیدمان مربعی با تراکم های



شکل (۱۱) تغییر پروفیل سطح آب (Ψ) با عمق نسبی برای چیدمان مربعی و تراکم های مختلف در مقاطع مختلف

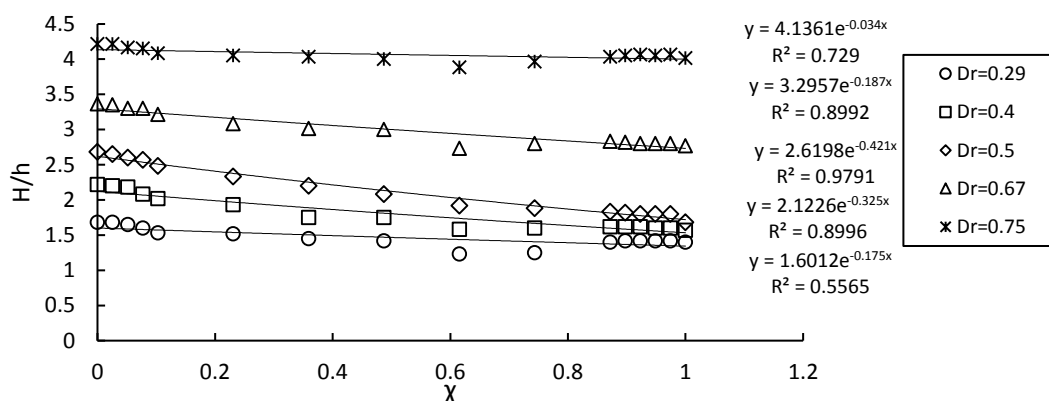
رابطه نمایی دارای بیشترین R^2 می باشد. وجود پوشش گیاهی به طور کلی موجب نوسان در سطح آب می گردد به نحویکه در نزدیکی پوشش گیاهی (قبل و بعد از گیاه)، بالارفتن سطح آب و در حدفاصل بین دو گیاه افت سطح آب مشاهده می گردد که این امر به طور کلی موجب کاهش ضریب همبستگی رابطه پروفیل سطح آب و طول نسبی

رابطه پروفیل بدون بعد سطح آب با طول نسبی:

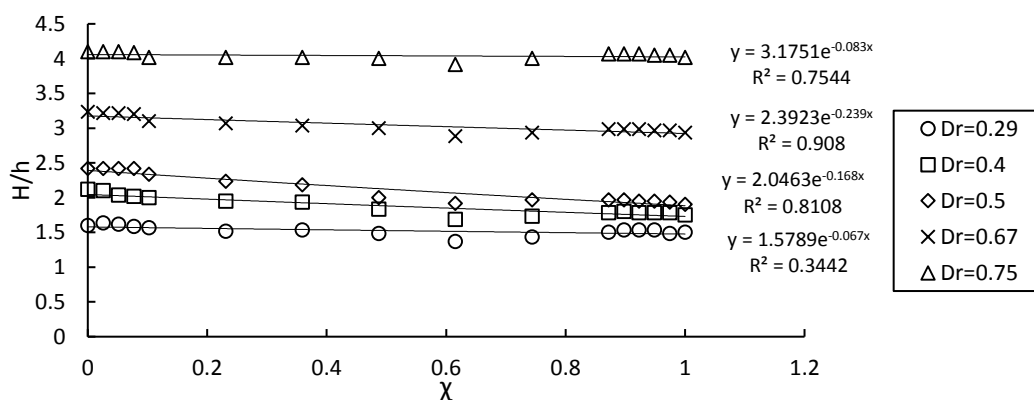
در شکل های (۱۲)، (۱۳) و (۱۴) پروفیل بی بعد سطح آب در مقابل طول نسبی جریان برای چیدمان مربعی و تراکم های مختلف نشان داده شده است. بررسی توابع مختلف به منظور برآزش بهترین تابع میان پروفیل بی بعد سطح آب و طول نسبی نشان داد که در میان روابط مختلف،

همبستگی در عمق نسبی ۰/۲۹ به علت تبادل مومنتم شدید و در نتیجه افزایش آشفستگی اتفاق می‌افتد، تاثیر عمق نسبی بر خصوصیات جریان در مطالعه محسنی و همکاران (۱۳۹۳) و حمیدفر و امید (۲۰۱۳) بررسی و افزایش تبادل مومنتم با کاهش عمق نسبی تأیید شده است.

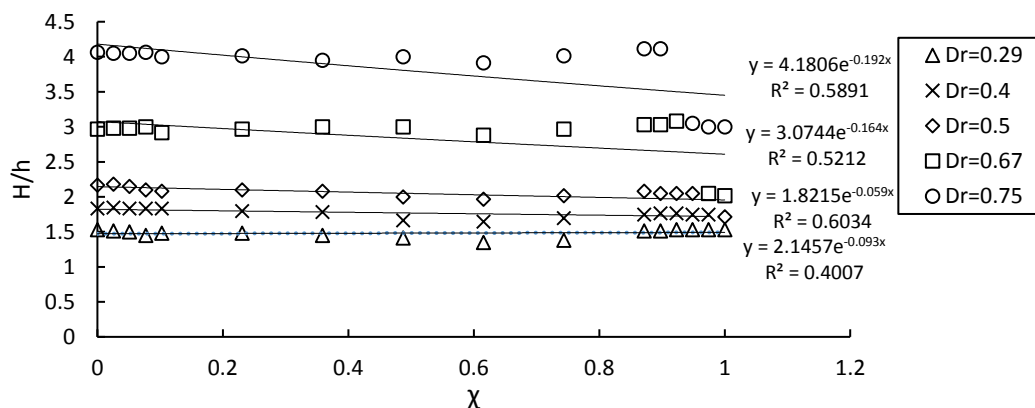
می‌گردد. اما با افزایش تراکم، این نوسانات به دلیل نزدیکی گیاهان به یکدیگر به مقدار زیادی کاهش می‌یابند لذا رابطه میان طول نسبی و پروفیل بدون بعد سطح آب در پوشش گیاهی متراکم دارای R^2 بالاتری نسبت به پوشش گیاهی پراکنده می‌باشد. علاوه بر این بررسی ضریب همبستگی در عمق نسبی‌های مختلف نشان می‌دهد که کمترین ضریب



شکل (۱۲) پروفیل سطح آب (Ψ) در مقابل طول نسبی برای چیدمان مربعی و تراکم ۰/۱۶ در عمق نسبی‌های مختلف



شکل (۱۳) پروفیل سطح آب (Ψ) در مقابل طول نسبی برای چیدمان مربعی و تراکم ۰/۰۴ در عمق نسبی‌های مختلف

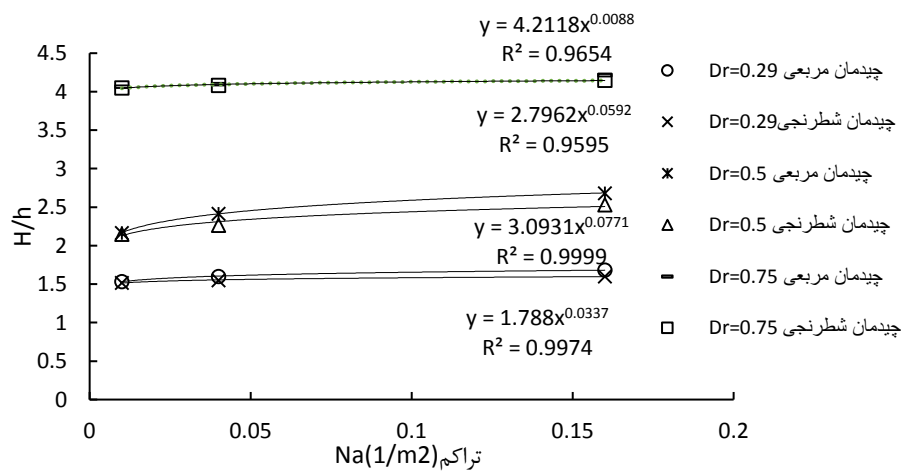


شکل (۱۴) پروفیل سطح آب (Ψ) در مقابل طول نسبی برای چیدمان مربعی و تراکم ۰/۰۱ در عمق نسبی‌های مختلف

وجود دارد، این ارتباط در مطالعات مختلف از جمله زمیری و همکاران (۲۰۱۱) و برایان و همکاران (۲۰۰۲) به صورت تاثیر تراکم بر زبری بررسی شده است نتایج این مطالعات حاکی از افزایش زبری با افزایش تراکم می باشد که در نتیجه موجب کاهش سرعت و افزایش سطح آب می گردد. تفاوت بسیار کمی میان چیدمان مربعی و شطرنجی مشاهده می گردد و این تفاوت ناچیز نیز با افزایش عمق نسبی کاملاً از بین می رود.

رابطه پروفیل بدون بعد سطح آب با چیدمان و تراکم پوشش گیاهی:

در این بخش رابطه چیدمان و تراکم پوشش گیاهی با پروفیل بدون بعد سطح آب در سه عمق نسبی ۰/۲۹، ۰/۵ (غیر مستغرق) و ۰/۷۵ (مستغرق) بررسی و نتایج در شکل (۱۵) ارائه شده است. نتایج نشان می دهد که با افزایش تراکم در هر دو چیدمان مربعی و شطرنجی، پروفیل بی بعد سطح آب افزایش یافته و یک رابطه توانی با R^2 بالاتر از ۰/۹۵ میان تراکم و پروفیل سطح آب



شکل (۱۵) تغییر پروفیل سطح آب (Ψ) با عمق نسبی در چیدمان مربعی و شطرنجی و تراکم های مختلف در مقاطع مختلف

آماري F ، $1332/32$ بدست آمده که نشان دهنده سطح اطمینان ۰/۹۵ برای مدل پیشنهاد شده می باشد. ضریب همبستگی R^2 ، ۰/۹۶ می باشد. مقدار درصد میانگین خطای مطلق محاسبه شده ۶/۴۶ بدست آمده است که مقدار نسبتاً کوچکی است.

$$\Psi = f(Dr, \chi, \lambda) \quad (۸)$$

$$= 0.73 * \exp(2.282Dr) * \exp(-0.067\chi) * \lambda^{0.0022}$$

تجزیه و تحلیل مدل رگرسیونی چند متغیره

رگرسیون گیری چند متغیره برای پارامتر بدون بعد Ψ ، برحسب سه پارامتر بدون بعد تراکم، عمق نسبی، فاصله نسبی برای داده های آزمایشگاهی انجام و رابطه (۸) ارائه شده است. تحلیل آماری و مقادیر خطا در جدول (۴) ارائه شده است، مقدار پارامتر آماری t برای هر سه متغیر مستقل بزرگتر از ۶/۴۱ می باشد که به معنای معنادار بودن در سطح اطمینان ۰/۹۵ می باشد. مقدار پارامتر

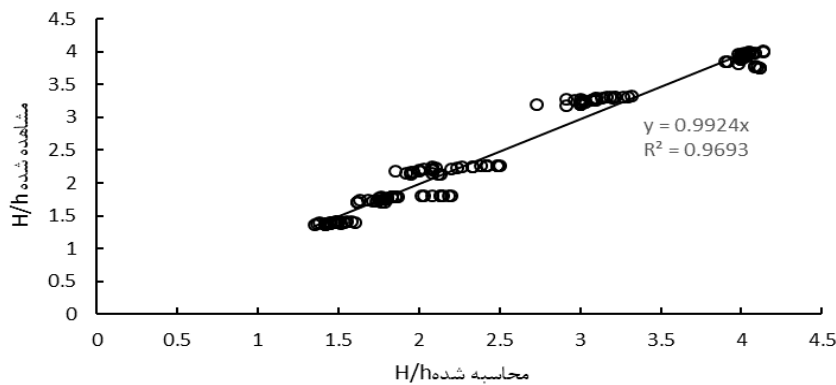


جدول (۴) پارامترهای مختلف آماری مدل رگرسیونی چند متغیره

متغیر	ضریب	پارامتر t	سطح اطمینان	پارامتر f	R ²	درصد میانگین خطای مطلق	جذر میانگین مربعات خطا
عمق نسبی	۲/۲۸	۱۰۱/۷۴	۹۵	۱۳۳۲/۲۲	۰/۹۶	۶/۴۶	۰/۱۸
فاصله نسبی	-۰/۰۶	-۸/۴۱	۹۵				
تراکم نسبی	۰/۰۰۲	۶/۳۴	۹۵				

قابل قبول مدل ارائه شده در برآورد پروفیل سطح آب می- باشد.

در شکل (۱۶) مقدار متغیر H/h واقعی (مشاهده شده) بر حسب مقدار H/h برآورد شده از رابطه (۸) نشان داده شده است. در جدول (۵) مقادیر مختلف خطا در مرحله اعتبار سنجی ارائه شده است که نشان دهنده توانایی



شکل (۱۶) مقایسه مقادیر مشاهده شده و محاسبه شده نسبت عمق آب به ارتفاع لبریزی

جدول (۵) پارامترهای خطا در مرحله اعتبارسنجی مدل

پارامتر خطا	خطای مطلق MAE	درصد خطای مطلق MAPE	معیار همبستگی R ²	معیار ناس ساتکلیف E	جذر میانگین مربعات خطا RMSE	معیار سازگاری Id
مقدار	۰/۰۲	-۲/۳۱٪	۰/۹۶۹	۰/۹۷	۰/۱۶	۰/۹۶

چیدمان بر پارامتر بدون بعد پروفیل سطح آب (نسبت عمق آب به ارتفاع لبریزی) بررسی شده است. نتایج نشان داد که پروفیل بدون بعد سطح آب با عمق نسبی دارای رابطه نمایی و با ضریب همبستگی بالا است. وابستگی پروفیل سطح آب با فاصله نسبی در اعماق نسبی و تراکم‌های مختلف به صورت نمایی کاهش می‌یابد البته در عمق نسبی ۰/۲۹ رابطه همبستگی بسیار کمتر از عمق نسبی‌های دیگر است

نتیجه‌گیری

در مطالعه حاضر، پروفیل سطح آب در کانال مرکب با وجود پوشش گیاهی صلب در سیلابدشت برای سه تراکم، دو چیدمان و پنج عمق نسبی به صورت آزمایشگاهی بررسی شده است. رابطه دبی اشل برای تمامی شرایط، به صورت نمایی و با R² بالاتر از ۰/۹ بدست آمده است. تاثیر تغییر پارامترهای بدون بعد عمق نسبی، فاصله نسبی، تراکم و

یک مدل رگرسیونی چند متغیره به منظور محاسبه پروفیل سطح آب برحسب سه متغیر مستقل عمق نسبی، فاصله نسبی و تراکم پوشش گیاهی ارائه شده است. توانایی مدل توسعه داده شده با استفاده از مقادیر مختلف خطا بررسی شده است مقدار درصد خطای مطلق ۲/۳۱٪ (کمتر از ۰/۵) و ضریب همبستگی R^2 ، ۰/۹۶ گزارش شده است.

که می‌تواند به دلیل افزایش قابل توجه تبادل مومنتم در این عمق نسبی باشد.

رابطه میان تراکم و چیدمان پوشش گیاهی با پروفیل بی بعد سطح آب به صورت نمایی می‌باشد و البته تفاوت معناداری میان چیدمان مربعی و شطرنجی وجود ندارد و این اختلاف با افزایش عمق نسبی تقریباً صفر می‌شود.

جدول علائم

علائم	توضیحات
a	سطح عمودی مقابل جریان
α	نسبت عرض کانال اصلی به عرض سیلابدشت
B	عرض سیلابدشت
b	عرض کانال اصلی
d_v	قطر گیاه
Dr	عمق نسبی جریان
h	ارتفاع لبریزی
H	عمق آب در کانال اصلی
h_v	ارتفاع گیاه
ϵ	چیدمان پوشش گیاهی
L	مربعی
l_s و l_n	فاصله پوشش گیاهی از یکدیگر
Na	تراکم پوشش گیاهی
\bar{O}	میانگین مقادیر مشاهده شده
Oi	مقدار مشاهده شده
Pi	مقدار پیش‌بینی شده
Q	دبی
Red	عدد رینولدز گیاهی
R^2	ضریب همبستگی
St	شطرنجی
U	متوسط سرعت در پوشش گیاهی
X	فاصله نسبی

منابع

- افضلی مهر، ح.، ستایش، پ. ۱۳۹۷. بررسی قوانین لگاریتمی و کولز در تراکم‌های مختلف پوشش گیاهی غیرمستغرق. نشریه هیدرولیک، دوره ۱۳، شماره ۱، ص ۴۷-۶۲.
- توکلی، ف.، ۱۳۹۷. مطالعه آزمایشگاهی تاثیر وجود پوشش گیاهی بر پروفیل سطح آب، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی سیرجان، سیرجان، ایران.
- محسنی، م.، محمد ولی سامانی، ج.، ایوب زاده، س. ع. ۱۳۹۳. توزیع سرعت متوسط عمقی در کانال مرکب با وجود پوشش گیاهی در سیلاب دشت. نشریه هیدرولیک، دوره ۸، شماره ۳، ص ۶۳-۷۵.
- Abdeen, M. 2008. Predicting the impact of vegetations in open channels with different distributaries' operations on water surface profile using artificial neural networks. Journal of Mechanical Science and Technology. 22:1830-1842.
- Abd Elhalim, M.S. 2005. Impacts of Vegetated Channels on Distributaries. M.Sc. Thesis, Ain Shams University, Cairo, Egypt.
- Brian M. Stone, A.M., Shen, H. T. 2002. Hydraulic Resistance of Flow in Channels with Cylindrical Roughness, Journal of Hydraulic Engineering. 128(5): 500-506.



- Das, B. Sh., Khatua, K. K. 2018. Water surface profile computation for compound channel having diverging floodplains. *ISH Journal of Hydraulic Engineering*. 1-14.
- Devi, K., Khatua, K.K., Das, B.S., Khuntia, J.R. 2017. Evaluation of interacting length in the prediction of overbank flow. *ISH Journal of Hydraulic Engineering*. 4: 1-8.
- El-Samman, T. A. 1999. Hydraulic Efficiency of Vegetated Channels, International Conference on Integrated Management of Water Resources in the 21st Century. Cairo, Egypt: 451-466.
- Hamidifar H. and Omid M.H. 2013. Floodplain Vegetation Contribution to Velocity Distribution in Compound Channels. *J. Civil Eng. Urban*. 3(6): 357-361.
- Leonard, L., M. Luther. 1995. Flow hydrodynamics in tidal marsh canopies. *Limnol. Oceanogr*. 40: 1474-1484.
- Liu, C., Nepf, H. 2016. Sediment deposition within and around a finite patch of model vegetation over a range of channel velocity, *Water Resour. Res.* 52: 600-612.
- Liu, D., P. Diplas, J. D. Fairbanks, and C. C. Hodges. 2008. An experimental study of flow through rigid vegetation, *J. Geophys. Res.* 113: F04015.
- Naik, B., Khatua, K.K. 2016. Water surface profile computation for compound channels with narrow flood plains. *Arab. J. Sci. Engineering*. 42(3): 1-15.
- Nepf, H. 2012. Flow and transport in regions with aquatic vegetation, *J. Annu. Rev. Fluid Mech*, 44: 123-142.
- Nepf, H. M., 1999. Drag, turbulence, and diffusion in flow through emergent vegetation, *Water Resources Research*. 35: 479-489.
- Nepf, H. M., Sullivan, J. A., Zavistoski, R. A. 1997. A model for diffusion within emergent vegetation, *American Society of Limnology and Oceanography, Inc.* 42:1735-1745.
- Osman, E. A. 2003. The Hydraulic Behavior of Vegetated Channel, M. Sc. Thesis, Ain Shams University, Cairo, Egypt.
- Proust, S., Bousmar, D., Riviere, N., Paquier, A., Zech, Y. 2009. Non uniform flow in compound channel: A 1-D method for assessing water level and discharge distribution, *Water Resources Research*, 45: 1 - 16.
- Yen, B. C., R. Camacho, R. Kohane, Westrich, B. 1985. Significance of flood plains in backwater computation. International Association of Hydro-Environment Engineering and Research 21st Congress, Melbourne, Victoria, Australia, 19-23 Aug.
- White, B. and Nepf, H. 2007. Shear instability and coherent structures in shallow flow adjacent to a porous layer, *Journal of Fluid Mechanics*. 593:1-32.
- Zamri, N., Ismail, Z., Ibrahim, Z. 2011. Flow Characteristics on Floodplain Vegetation in Compound Straight Channels. Faculty of Civil Engineering, Universiti Teknologi Malaysia, Malaysia. 3: 185-197.



Water surface profile computation for compound channel with vegetated floodplains

Marzieh Mohseni¹, Fatemeh Tavakoli Nezhad²

Abstract:

Water level determination during a flood is always a challenging task for river engineers. During the flood, river channel becomes compound consisting of the main river channel which carries low flows and floodplains that carry overbank flows. Flow velocity and structures are affected by vegetation, the degree to which depends on vegetation density, flexibility, type, and whether it is in a submerged or emergent condition. Water surface modeling help for the study of flood waves, water level calculation during flood, stage discharge relation, design of water work structures. This work develops a model which can be used to simulate water surface profile in compound channel with vegetated floodplains with various vegetation covers. To predict the water surface, experiments have been conducted in the laboratory for different hydraulic conditions. It can be seen from the results that the trend of stage-discharge relationships is found to be an exponential function giving a high value of R^2 . A multivariable regression model (MRM) has been developed to predict the water surface profile for such channels. The dependency of water surface profiles on four different non-dimensional parameters such as canopy arrangement, canopy density, relative depth and relative distance are analyzed. Using the relevant experimental data, non-linear regression has been performed. The results obtained from the present water surface profile model shows good agreement with the observed data.

Keywords: Water surface profile, Compound channel, Vegetation, MRM: Multivariable Regression model

¹ Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Sirjan University of Technology, Sirjan, Iran.
mohseni_m@sirjantech.ac.ir

² M.Sc. Graduate student, Department of Civil Engineering, Sirjan University of Technology, Sirjan, Iran.
tavakoliii73@gmail.com

Water surface profile computation for compound channel with vegetated floodplains

Marzieh Mohseni¹, Fatemeh Tavakoli Nezhad²

Introduction

Currently, floods have become one of the natural disasters that occur frequently in Iran and most parts of the world. During the flood, river channel becomes compound consisting of the main river channel which carries low flows and floodplains that carry overbank flows. Most waterways suffer from the infestation of aquatic weeds that cause numerous problems such as water loss, blockage and reducing the efficiency of hydraulic structures. Therefore, it is important to investigate the effect of vegetation on water surface profiles to control the flood. In most studies, the effects of vegetation on the general characteristics of the flow are investigated. For example, many researchers have attempted to quantify the effects of vegetation on flow depth by using a roughness coefficient. Very few research has considered the water surface profiles in vegetated channels. Osman (2003) conducted an experimental study in the hydraulic laboratory of the Egyptian National Research Institute. In his research, the water surface profile was estimated in five different discharges and sluice gate openings with two different densities of 0.25 and 0.0625 (1/m²) in a simple rectangular channel. The results show a sudden and significant drop in water depth at the beginning of the vegetation, but after that, the water surface remains constant during the vegetation (Osman, 2003). Abd Elhalim used flexible, emergent aquatic plants in the trapezoidal concrete flume to simulate vegetation. In this simulation, the water surface profile was examined in 6 different sluice gate openings and it was found that for each fixed opening, the flow depth in the upstream vegetated area increases compared to the non-vegetated area (Abd Elhalim, 2005).

Abdeen is one of the few researchers who has studied the water surface profiles in order to estimate it in a simple vegetation channel. He has used the dataset of Abd Elhalim(2005) to develop a neural network model. The results showed that the neural network predicted the flow behavior in the vegetation channel successfully (Abdeen, 2008). Das and Khatua used multivariate regression to estimate the water surface profile in a non-prismatic compound channel (non-vegetated case), they modeled the flow characteristics successfully (Das and Khatua, 2018).

This study is an attempt for providing water surface model for compound channel with vegetated floodplains. Moreover, no study exists in the literature yet to model the water surface profile in compound channel with vegetated floodplains using regression models. In this research work, there are two main objectives. Firstly, the variation of non-dimensional water surface profile with four different hydraulic conditions are examined by analyzing the experimental results. Secondly, a multivariable regression model (MRM) has been developed to predict the water surface profile in compound channel with vegetated floodplains.

Methodology

In order to develop a water surface profile prediction model, first the water surface profile should be defined as a dimensionless parameter. The dimensionless water surface profile is introduced as the ratio of water depth in the main channel (H) to bank full height (h) and defined as $\Psi = H/h$. The dependency of water surface profiles on four different non-dimensional parameters such as relative depth, relative distance

¹ Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Sirjan University of Technology, Sirjan, Iran.
mohseni_m@sirjantech.ac.ir

² M.Sc. Graduate student, Department of Civil Engineering, Sirjan University of Technology, Sirjan, Iran.
tavakoliii73@gmail.com



and vegetation arrangement and density are analyzed. Using the relevant experimental data, non-linear regression has been performed.

The experiments are performed in the hydraulic structures laboratory of Sirjan University of Technology. The flume is 8.6 meters long, 0.8 meters wide and 0.6 meters high with a fixed slope of 0.0012. The straight compound channel is a rectangular cross-section with main channel dimension of 0.24 m wide, 0.6 m deep with 0.28 m wide floodplain which has a recirculation water system. Vegetation were simulated by wooden dowels. The wooden dowels were 140 mm tall and 7 mm in diameter. The dowels were attached to a PVC sheet bolted to the bottom of the floodplain in linear and staggered arrangement. The spacing of the dowels varies from 2.5-10 cm in both lateral and streamwise directions forming stem density of 100, 400, 1600 stems per m^2 , equals to density of 0.41, 1.64%, and 6.04%. The flow discharge was measured by an ultrasonic flow meter. For a given discharge, the water depth in the flume is controlled by means of a revolving gate at the end of the flume. Water surface elevations were measured directly using some point gauges installed in 0.1 m intervals along the flume.

-Discussion and Conclusion

This work develops a model which can be used to simulate water surface profile in compound channel with vegetated floodplains with various vegetation covers. It can be seen from the results that the trend of stage-discharge relationships is found to be an exponential function giving a high value of R^2 .

The variation non-dimensional water surface profile for a compound channel having vegetated floodplains with relative flow depth, relative distance and vegetation arrangement and density has been analyzed and they are found to follow a non-linear relationship.

A multivariable regression model (MRM) has been developed to predict the water surface profile for compound channels with vegetated floodplains. The results obtained from the present water surface profile model shows good agreement with the observed data. Various statistical error analyses are performed to verify the reliability of the developed multivariable regression model. The strength of the proposed model is tested from the error analysis results and MAPE is found to be 2.31% (which is less than 5%) with a coefficient of determination, R^2 as 0.96, which shows the efficacy of the present model in predicting water surface profile for the compound channels with vegetated floodplains.

-The most important references

Abdeen, M. 2008. Predicting the impact of vegetations in open channels with different distributaries' operations on water surface profile using artificial neural networks. *Journal of Mechanical Science and Technology*. 22:1830-1842.

Abd Elhalim, M.S. 2005. Impacts of Vegetated Channels on Distributaries. M.Sc. Thesis, Ain Shams University, Cairo, Egypt.

Das, B. Sh., Khatua, K. K. 2018. Water surface profile computation for compound channel having diverging floodplains. *ISH Journal of Hydraulic Engineering*. 1-14.

Osman, E. A. 2003. The Hydraulic Behavior of Vegetated Channel, *M. Sc. Thesis, Ain Shams University*, Cairo, Egypt.

Tavakoli, F., 2019, Experimental study on the effects of vegetation on water surface profile in compound channels, M. Sc. Thesis, Department of Civil Engineering, Sirjan University of Technology, Sirjan, Iran.