



دانشگاه گواران

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک

جلد بیست و هفتم، شماره ششم، ۱۳۹۹

۱۶۹-۱۸۴

<http://jwsc.gau.ac.ir>

DOI: 10.22069/jwsc.2021.17610.3312

مقاله کامل علمی - پژوهشی

مدلسازی عددی تأثیر طول کوله پل در سیلاب‌دشت بر تنش برشی بستر و مومنتوم جریان

سعید صفائی^۱، فواد کیلاننه‌ئی^۲ و *امیر محجوب^۳

^۱دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد آب و سازه‌های هیدرولیکی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران،

^۲استادیار گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران،

^۳استادیار پژوهشکده حمل و نقل، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۰/۳۰؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۸/۲۷

چکیده

سابقه و هدف: با بالا آمدن تراز آب در کانال اصلی و عبور آن از مرز سیلاب‌دشت، به دلیل متفاوت بودن ضریب زبری و اختلاف سرعت بین کانال اصلی و سیلاب‌دشت، جریان در کانال اصلی با شتاب بیش‌تری نسبت به سیلاب‌دشت‌ها حرکت کرده و یک تبادل مومنتوم قوی بین جریان‌ها در فصل مشترک کانال اصلی و سیلاب‌دشت به وجود می‌آید. این تبادل باعث تولید گردابه‌هایی در فصل مشترک کانال اصلی و سیلاب‌دشت می‌گردد. تبادل مومنتوم باعث می‌شود از انرژی جریان پرسرعت مجرای اصلی کاسته و به انرژی جریان کم سرعت سیلاب‌دشت افزوده شود. تبادل مومنتوم هم‌چنین باعث کاهش دبی کانال اصلی، افزایش دبی سیلاب‌دشت و کاهش ظرفیت انتقال رودخانه می‌گردد. در فصل مشترک کانال اصلی و سیلاب‌دشت به علت وجود لایه برشی، پتانسیل ناپایداری و آبشستگی بالا است. شناخت پارامترهای تنش برشی بستر و مومنتوم در کانال مرکب و به‌خصوص در فصل مشترک کانال اصلی و سیلاب‌دشت کمک می‌کند که محاسبات دقیق‌تری در ارتباط با حفاظت بستر رودخانه و تعیین روش‌های محافظتی صورت پذیرد. در این پژوهش به کمی‌سازی پارامترهای تنش برشی بستر و مومنتوم جریان در شرایطی که کانال مرکب، طول تکیه‌گاه پل در سیلاب‌دشت و نوع دیوار هدایت به صورت هم‌زمان بر الگوی جریان تأثیرگذار هستند، پرداخته شده است.

مواد و روش‌ها: در پژوهش حاضر با استفاده از تحلیل عددی سه‌بعدی به بررسی تنش برشی بستر و اختلاف مومنتوم بین سیلاب‌دشت و کانال اصلی در یک کانال مرکب دوزنقه‌ای متقارن با استفاده از نرم‌افزار FLOW-3D پرداخته شده است. پس از تأیید صحت عملکرد مدل مذکور با استفاده از نتایج آزمایشگاهی موجود، تنش برشی بستر و اختلاف مومنتوم بین سیلاب‌دشت و کانال اصلی برای طول‌های مختلف تکیه‌گاه پل و در حالت‌های با و بدون دیوار هدایت بیضوی شکل مورد بررسی قرار گرفته است.

* مسئول مکاتبه: a.mahjoob@bhrc.ac.ir

یافته‌ها: تنش برشی بستر در حالت با دیوار هدایت بیضوی شکل نسبت به حالت بدون دیوار هدایت، در کانال اصلی افزایش و در سیلاب‌دشت کاهش یافته است. تنش برشی در کانال اصلی تا ۲۵/۵ درصد افزایش و در سیلاب‌دشت تا ۳۶/۶ درصد کاهش یافته است. همچنین اختلاف مومنتوم در حالت با دیوار هدایت بیضوی شکل نسبت به حالت بدون دیوار هدایت تا مقدار ۷۸/۵ درصد افزایش یافته است.

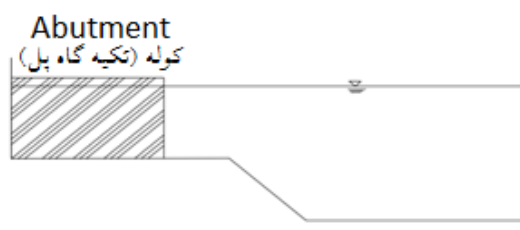
نتیجه‌گیری: از نتایج قابل‌توجه این است که در حالت تکیه‌گاه با دیوار هدایت بیضوی، تنش برشی بستر در سیلاب‌دشت کاهش می‌یابد که باعث بهبود شرایط در محل تکیه‌گاه پل می‌گردد ولی افزایش تنش برشی در کانال اصلی باعث می‌شود که شرایط پایه‌هایی که در کانال اصلی قرار می‌گیرند بحرانی‌تر گردد. همچنین در حالت تکیه‌گاه با دیوار هدایت بیضوی شکل اختلاف مومنتوم بین سیلاب‌دشت و کانال اصلی نسبت به حالت تکیه‌گاه بدون دیوار هدایت افزایش می‌یابد که این امر باعث افزایش تنش برشی و ایجاد گردابه‌ها در فصل مشترک کانال اصلی و سیلاب‌دشت می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: تبادل مومنتوم، تکیه‌گاه پل، تنش برشی بستر، کانال مرکب، مدل FLOW-3D

مقدمه

بر روی بستر رودخانه شده و می‌تواند عامل حرکت ذرات بستر و ایجاد آبستگي گردد. این روند تا جایی ادامه پیدا می‌کند که با جابجایی مصالح بستر رودخانه در محل پل، اطراف پی پایه‌ها و یا کوله‌های پل خالی شده و سبب سقوط اجزای سازه‌ای پل و در نهایت تخریب آن گردد. بنابراین تعیین مقدار تنش برشی بستر و عواملی که بر آن مؤثر هستند می‌تواند جهت شناخت بهتر رفتار جریان در محل پل بسیار مفید باشد. برای ساخت پل‌هایی که بر روی رودخانه‌ها واقع می‌شوند، معمولاً از خاکریزهای دسترسی جهت کاهش طول دهانه پل و اقتصادی‌تر شدن پروژه استفاده می‌شود. قرار گرفتن خاکریزهای دسترسی در طرفین رودخانه که به آن کوله و تکیه‌گاه پل نیز گفته می‌شود، باعث کاهش سطح مقطع جریان می‌گردد (شکل ۱).

پل‌ها یکی از مهم‌ترین اجزا ارتباطی در سامانه‌های حمل و نقل محسوب می‌شوند. امروزه پیشرفت‌های گسترده‌ای در خصوص مهندسی سازه و مهندسی زلزله در زمینه طراحی پل صورت پذیرفته است. همچنین دانش فنی مورد نیاز در زمینه بازرسی و نگهداری از پل‌ها حین بهره‌برداری در دسترس است. موارد مذکور سبب شده است تا تخریب کامل پل‌ها در اثر عوامل سازه‌ای و یا زلزله کمتر مشاهده شود. از سوی دیگر به‌علت پیچیده بودن ماهیت جریان در رودخانه و تأثیر متقابل جریان، سازه و خاک، تخریب کامل پل عمدتاً در حالت سیلابی شدن رودخانه‌ها و به‌علت عوامل هیدرولیکی به وقوع می‌پیوندد. در این میان پدیده آبستگي بستر رودخانه در محل پل، مهم‌ترین عامل هیدرولیکی تخریب پل است. تغییرات مقدار و جهت سرعت جریان در محل پل سبب ایجاد تنش برشی



شکل ۱- استقرار کوله پل در سیلاب دشت کانال مرکب.

Figure 1. Location of a bridge abutment in a floodplain of compound channel.

که به این پدیده انتقال مومنتوم نیز گفته می‌شود. انتقال مومنتوم باعث کاهش دبی کانال اصلی، افزایش دبی سیلاب دشت و کاهش ظرفیت انتقال جریان رودخانه می‌شود (۱۳). در ارتباط با موضوعات مطرح شده، مطالعات مختلفی انجام شده است که در ادامه به برخی از آن‌ها اشاره می‌شود.

شیونو و نایت (۱۹۹۱) به مطالعه تحلیلی توزیع عرضی سرعت و تنش برشی در کانال مرکب در حالت یکنواخت و ماندگار پرداختند. ایشان با انتگرال‌گیری از معادله ناویر استوکس در عمق، دریافتند که آشفتگی جریان و جریان‌های ثانویه در فصل مشترک سیلاب دشت و کانال اصلی باعث ایجاد تنش برشی می‌گردد (۱۰). تومینگا و نزو (۱۹۹۱) در یک مطالعه آزمایشگاهی کانال مرکب نامتقارنی را مدل کردند. آن‌ها دریافتند که در سیلاب دشت با نزدیک شدن به فصل مشترک کانال اصلی و سیلاب دشت، مقدار تنش برشی به دلیل وجود جریان‌های چرخشی و انتقال مومنتوم بین سیلاب دشت و کانال اصلی افزایش می‌یابد (۱۱). در پژوهشی دیگر، مولیانس و خیرالدین (۱۹۹۸) آزمایش‌هایی بر روی تکیه‌گاه‌های عمودی در یک کانال ساده به عرض سیلاب دشت ۲۵ سانتی‌متر برای جریان‌هایی با اعداد فرود در محدوده ۰/۳ تا ۰/۹ و نسبت پیشروی‌های ۰/۱، ۰/۲ و ۰/۳ (طول پیشروی‌های ۲۵، ۵۰ و ۷۵ میلی‌متر) انجام دادند. طبق گزارش آن‌ها، برای نسبت‌های پیشروی و شرایط مختلف جریان، تنش برشی و سرعت در تکیه‌گاه

بسیاری از رودخانه‌ها از دو بخش کانال اصلی برای عبور جریان پایه و یک یا دو سیلاب دشت در طرفین که در هنگام سیلاب وارد عمل می‌شوند، تشکیل شده‌اند. چنین مقطعی در اصطلاح کانال مرکب نامیده می‌شوند. نسبت طول کوله (تکیه‌گاه پل) به طول سیلاب دشت نسبت پیشروی نامیده می‌شود. ارتفاع آب در زمان وقوع سیلاب از تراز کانال اصلی فراتر رفته و جریان وارد سیلاب دشت‌ها می‌شود. مطالعات هیدرولیکی بر روی این مقاطع به دلیل تأثیر متقابل سیلاب دشت‌ها، کانال اصلی و خاکریزهای دسترسی به مراتب پیچیده‌تر از مقاطع ساده می‌باشد. در کانال‌های با مقاطع مرکب، تنش برشی بستر، سرعت متوسط جریان و ساختارهای آشفتگی در نزدیکی کف کانال، از مهم‌ترین پارامترها برای محاسبات هیدرولیکی، انتقال رسوب و حفاظت بستر رودخانه‌ها می‌باشند. همچنین آگاهی از توزیع تنش برشی در عرض رودخانه برای پیش‌بینی تغییرات هندسه مقطع عرضی رودخانه به‌ویژه در اثر عبور سیلاب ضروری است (۲). با توجه به تغییر عمق آب و ضریب زبری بستر در کانال اصلی و سیلاب دشت‌ها، تغییرات سرعت جریان و تنش برشی بستر در عرض رودخانه تشدید می‌شود. به دلیل اختلاف سرعت در فصل مشترک کانال اصلی و سیلاب دشت‌ها، یک تبادل قوی بین جریان‌ها در این منطقه به وجود می‌آید که باعث تولید گردابه‌های چرخشی می‌شود. در اثر این گردابه‌ها، انرژی جریان از کانال اصلی به سمت سیلاب دشت‌ها منتقل می‌شود

با توجه به موارد فوق مطالعات مختلفی بصورت آزمایشگاهی و عددی بر روی تغییرات تنش برشی در کانال‌های با مقطع مرکب و در حالت وجود تکیه‌گاه پل انجام شده است لیکن بررسی تأثیر متقابل نسبت پیشروی تکیه‌گاه پل بر روی تغییرات تنش برشی در سیلاب‌دشت و کانال اصلی و همچنین اختلاف مومنتوم بین آن‌ها کم‌تر مورد توجه بوده است. در پژوهش حاضر با استفاده از مدل عددی FLOW-3D، تنش برشی بستر و اختلاف مومنتوم بین سیلاب‌دشت و کانال اصلی در یک کانال مرکب دوزنقه‌ای متقارن برای طول تکیه‌گاه‌های مختلف و در حالت‌های با و بدون دیوار هدایت بیضوی شکل مورد بررسی قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

مدل عددی FLOW-3D: با پیشرفت تکنولوژی و علوم کامپیوتر، دینامیک سیالات محاسباتی به عنوان ابزاری برای شبیه‌سازی جریان‌های با سطح آزاد در طیف گسترده‌ای از سازه‌ها به کار می‌رود. نرم‌افزار FLOW-3D مدل عددی می‌باشد که برای شبیه‌سازی سه‌بعدی جریان، معادلات ناویراستوکس متوسط‌گیری شده رینولدز را به روش حجم محدود بر روی شبکه متناوب حل می‌نماید. در نرم‌افزار مذکور از دو تکنیک روش حجم سیال^۱ (VOF) و روش کسر مساحت حجم مانع^۲ (FAVOR) برای شبیه‌سازی سطح آزاد سیال و مرزهای هندسی استفاده می‌شود. معادلات پیوستگی و ناویراستوکس که معادلات حاکم بر جریان سیال هستند به قرار زیر می‌باشند (۵).

به ترتیب تا ۱۰ و ۱/۵ برابر تنش برشی و سرعت در بالادست افزایش می‌یابد (۷). در یک مطالعه عددی، کارا و همکاران (۲۰۱۲) کانال مرکب نامتقارنی را مدل کردند. آن‌ها نتایج خود را با داده‌های تومینگا و نزو (۱۹۹۱) مقایسه نمودند و دریافتند که سرعت حداکثر در کانال اصلی و در تراز پایین‌تر از تراز سطح آب سیلاب‌دشت، تشکیل می‌گردد. آن‌ها همچنین گزارش کردند که آشفتگی و انتقال مومنتوم بین کانال اصلی و سیلاب‌دشت یک سری جریان‌های ثانویه ایجاد می‌کند که باعث تولید تنش برشی می‌گردد (۳). در مطالعه دیگری رینالدو و رابرت (۲۰۱۳) به بررسی تأثیر طول تکیه‌گاه بر روی سرعت و تنش برشی بستر در یک کانال مرکب نامتقارن با استفاده از مدل آزمایشگاهی و مدل عددی دو بعدی پرداختند. ایشان نسبت پیشروی‌های تکیه‌گاه در سیلاب‌دشت را برابر با ۰/۳، ۰/۵، ۰/۷ و ۰/۹ در نظر گرفتند. نتایج مطالعه نشان داد که حداکثر مقدار سرعت در مقابل تکیه‌گاه و حداکثر تنش برشی بستر در لبه بالادست تکیه‌گاه اتفاق می‌افتد و هرچه طول تکیه‌گاه افزایش می‌یابد مقدار تنش برشی نیز بیشتر می‌گردد (۸). در یک مطالعه آزمایشگاهی، کوزیو (۲۰۱۳) به بررسی میدان جریان و ویژگی‌های آشفتگی جریان در یک کانال مرکب متقارن دوزنقه شکل پرداخت. وی مشاهده نمود که در کانال‌های مرکب علاوه بر اصطکاک ناشی از کف، نیروهای دیگری نیز در اثر انتقال مومنتوم به وسیله لایه برشی بین سیلاب‌دشت و کانال اصلی ایجاد می‌شود (۶). تروننگ و یوتیول (۲۰۱۹) مطالعات آزمایشگاهی را بر روی کانال مرکب نامتقارنی که در سیلاب‌دشت آن پوشش گیاهی وجود داشت، انجام دادند. ایشان دریافتند که فرآیند انتقال عرضی مومنتوم در کانال‌های مرکب از اهمیت زیادی برخوردار است زیرا مستقیماً با پایداری رودخانه، عبور جریان و رسوب‌گذاری در ارتباط می‌باشد (۱۲).

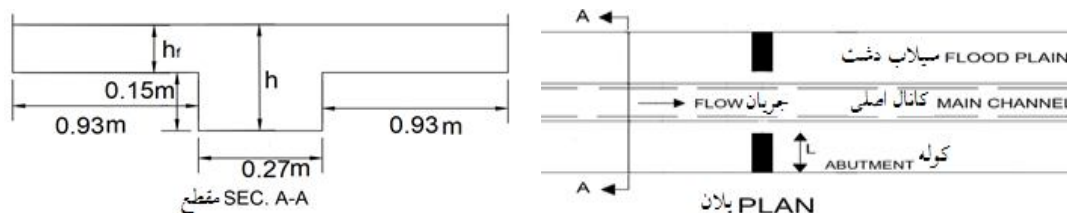
1- Volume of Fluid Function

2- Fractional Area/Volume Obstacle Representation

است که در خصوص دلایل انتخاب این مدل در بخش صحت‌سنجی مدل عددی توضیحاتی ارائه شده است.

شرایط مرزی: از جمله مسائل مهم در مدل‌سازی عددی، در نظر گرفتن شرایط مرزی مناسب برای دامنه حل می‌باشد. در پژوهش حاضر چهار نوع شرط مرزی دبی، فشار ثابت، تقارن و دیواره برای دامنه حل معرفی شده است. شرط مرزی دبی با ارتفاع آب مربوطه در مرز ورودی دامنه اعمال شده است. در ناحیه خروجی شرط مرزی فشار ثابت انتخاب شده است. شرط مرزی تقارن برای ناحیه فوقانی مدل و شرط مرزی دیواره نیز در کف دامنه و دیواره‌های آن معرفی شده‌اند.

صحت‌سنجی مدل: برای اطمینان از عملکرد مناسب مدل عددی و شبیه‌سازی جریان اطراف کوله‌های پل واقع در کانال مرکب، از داده‌های آزمایشگاهی صدیق (۱۹۹۴) استفاده شده است (۹). در شکل ۲ پلان و مقطع عرضی کانال آزمایشگاهی ارائه شده است.



شکل ۲- پلان و مقطع کانال آزمایشگاهی صدیق (۱۹۹۴).

Figure 2. Plan and cross section of Sadiq Laboratory channel (1994).

بالادست قرار گرفته‌اند. برای صحت‌سنجی مدل عددی، طول کوله (L) در دو حالت ۳۰۵ و ۴۵۷ میلی‌متر در نظر گرفته شده است. برای مدل‌سازی عددی، ابتدا هندسه مدل مطابق با ابعاد مدل فیزیکی

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(u_i A_i) = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left(u_j A_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right) = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x_i} + G_i + f_i \quad (2)$$

که در آن‌ها، u_i مولفه سرعت جریان، A_i کسر سطحی جریان، t زمان، V_F کسر حجمی سیال، P فشار، ρ چگالی و G_i مولفه شتاب بدنه‌ای است. f_i نیز شتاب ناشی از ویسکوزیته است که بر اساس روابط زیر تعیین می‌گردند.

$$f_i = \frac{1}{V_F} \left[\frac{\tau_{b,i}}{\rho} - \frac{\partial}{\partial x_i} (A_j S_{ij}) \right] \quad (3)$$

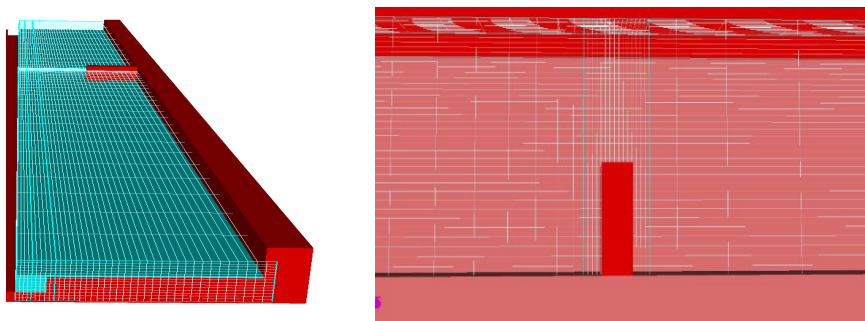
$$S_{ij} = -(v + v_i) \left[\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right] \quad (4)$$

که در آن، $\tau_{b,i}$ نشان‌دهنده تنش برشی دیواره، S_{ij} نرخ تانسور تنش، v ویسکوزیته سینماتیکی و v_i ویسکوزیته گردابی می‌باشند. در این پژوهش برای مدل‌سازی آشفتگی از مدل $k-\epsilon$ استفاده شده

عرض سیلاب‌دشت و عرض کانال اصلی به ترتیب برابر با ۹۳۰ و ۲۷۰ میلی‌متر است. طول کانال ۱۷ متر و شیب طولی آن ۰/۰۰۵ و میزان دبی ۵۶۷ لیتر بر ثانیه بوده است. کوله‌ها نیز در فاصله ۹/۷۵ متری از

طول و عرض کانال انجام شد. با توجه به مقارن بودن مقطع کانال، شبیه‌سازی کانال در راستای عرضی به صورت نیمه انجام شد و در مدل‌سازی عددی مقدار دبی ورودی به کانال برابر با نصف دبی مدل آزمایشگاهی لحاظ گردید. در شکل ۳ نمایی از شبکه‌بندی دامنه حل در مدل FLOW-3D آورده شده است.

به صورت سه‌بعدی در نرم‌افزار AutoCAD ترسیم و با فرمت .stl خروجی گرفته شد و سپس در مدل FLOW-3D فراخوان گردید. برای شبکه‌بندی مدل عددی یک بلوک مش مورد استفاده قرار گرفت ولی برای حصول به دقت بیشتر، در محل اتصال سیلاب‌دشت به کانال اصلی و در محل تکیه‌گاه ابعاد شبکه ریزتر در نظر گرفته شد. تغییر ابعاد سلول‌های محاسباتی با تعریف مش پلان‌های با ابعاد مختلف در



شکل ۳- نمایی از شبکه‌بندی دامنه حل.

Figure 3. Sketch of the solution domain and grid layout.

برای دستیابی به ابعاد مناسب، مدل عددی با سه اندازه سلول که در جدول ۱ آمده است، اجرا گردید و نتایج آن برای سرعت طولی میانگین‌گیری شده عمقی (U) در خط مرکزی کانال اصلی مورد مقایسه قرار گرفت. بررسی نتایج ارائه شده در جدول ۱ نشان می‌دهد که اختلاف بین حالت دوم و سوم بسیار ناچیز است بنابراین ابعاد حالت دوم با توجه به کاهش هزینه محاسبات و حصول به دقت مناسب مورد استفاده قرار گرفت.

نرم‌افزار FLOW-3D برای شبیه‌سازی آشفتگی، پنج مدل طول اختلاط پرانتل، یک معادله ای انرژی جنبشی آشفتگی، دو معادله‌ای $k-\epsilon$ گروه‌های نرمال شده (RNG^1) و شبیه‌سازی گردابه‌های بزرگ (LES^2) را در اختیار کاربر قرار می‌دهد. نتایج مدل عددی با مدل آزمایشگاهی به ازای مدل‌های آشفتگی مختلف مورد ارزیابی قرار گرفت و بهترین نتایج که دارای کمترین خطا باشد از مدل دو معادله‌ای $k-\epsilon$ به دست آمد بنابراین در این پژوهش، مدل یاد شده برای شبیه‌سازی آشفتگی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

- 1- Renormalization Group
- 2- Large Eddy Simulation Models

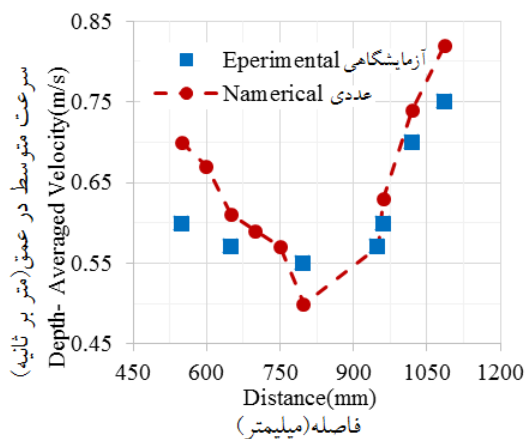
جدول ۱- آنالیز شبکه دامنه محاسباتی.

Table 1. Grid Analysis of the computational domain.

شماره حالت Mode Number	Δx (cm)	Δy (cm)	Δz (cm)	U (m/s)
اول First	4-200	3-6	5	0.772
دوم Second	2-120	1.5-4	2.5	0.835
سوم Third	1-80	1-3	1.5	0.831

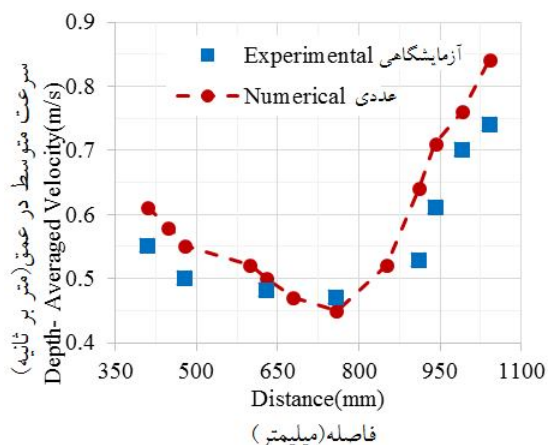
تکیه‌گاه برابر با ۳۰۵ میلی‌متر و ۴۵۷ میلی‌متر ارائه شده است. محور افقی این نمودارها بیانگر فاصله عرضی بین انتهای کوله تا وسط کانال اصلی می‌باشد.

در شکل ۴ سرعت طولی متوسط‌گیری شده عمقی حاصل از مدل عددی و نتایج مدل آزمایشگاهی در وسط کوله (۹/۷۵ متری از بالادست) به ازای طول



(ب)

B



(الف)

A

شکل ۴- مقایسه نتایج مدل آزمایشگاهی با مدل عددی: (الف) طول تکیه‌گاه برابر ۳۰۵ میلی‌متر، (ب) طول تکیه‌گاه برابر ۴۵۷ میلی‌متر.

Figure 4. Comparison of laboratory model results with numerical model (A) The length of abutment is 305 mm, (B) The length of abutment is 457 mm.

موضوع به برخورد دو جریان عبوری در جهت اصلی کانال و جریانی که به موازت کوله وارد مقطع پل می‌شود و آشفتگی بسیار در این ناحیه مرتبط است. در ادامه و به منظور ارزیابی مقدارهای به‌دست آمده از مدل عددی، میزان خطای محاسبه سرعت طولی متوسط‌گیری شده عمقی به روش عددی با مدل

همان‌گونه که در شکل ۴ ملاحظه می‌شود مدل عددی روند تغییرات سرعت طولی متوسط‌گیری شده عمقی را به ازای هر دو طول تکیه‌گاه با دقت مناسب پیش‌بینی نموده است هر چند که اختلاف نتایج مدل عددی و آزمایشگاهی به ازای طول تکیه‌گاه برابر با ۴۵۷ میلی‌متر در ابتدای کوله بیشتر است. علت این

مومتوم بین سیلاب‌دشت و کانال اصلی در حالت وجود کوله پل در سیلاب‌دشت، یک کانال مرکب متقارن به شکل ذوزنقه که مقطع عرضی آن در شکل ۵- ب آمده است، مورد استفاده قرار گرفت. دیواره جانبی مقطع ذوزنقه در بخش کانال اصلی و سیلاب‌دشت‌ها دارای زاویه ۴۵ درجه می‌باشد. عرض سیلاب‌دشت و کانال اصلی به ترتیب برابر با ۱۴۰ و ۷۰ متر است. ناحیه شیب‌دار که سیلاب‌دشت و کانال اصلی را به هم متصل می‌کند، ناحیه گذرا نامیده می‌شود. طول کانال برابر ۳۰۰۰ متر، شیب کف کانال برابر ۰/۰۰۲ و ضریب زبری مانینگ سیلاب‌دشت و کانال اصلی به ترتیب برابر با ۰/۰۵ و ۰/۰۳ لحاظ گردید.

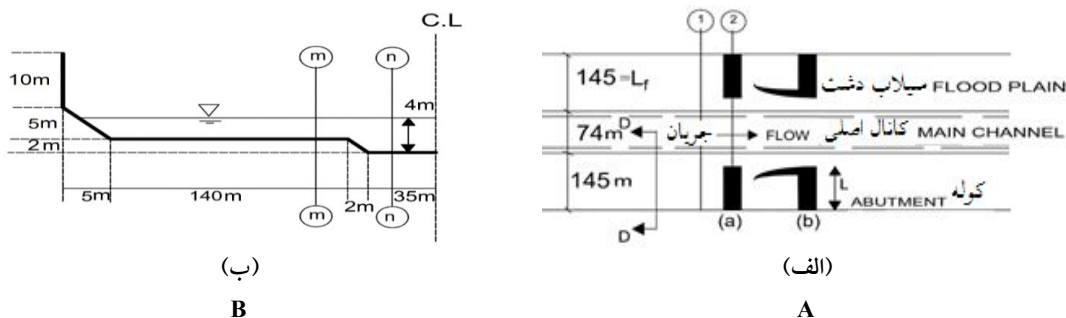
آزمایشگاهی با استفاده از رابطه جذر میانگین مربع خطاها (رابطه ۵) تعیین شده است.

$$RMSE = 100 \times \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (U_i^{Exp} - U_i^{Num})^2} \quad (5)$$

که در آن، U_i^{Exp} مقادیر آزمایشگاهی، U_i^{Num} مقادیر عددی و N تعداد داده‌ها می‌باشد. مقدار خطا برای طول تکیه‌گاه ۳۰۵ میلی‌متر برابر ۷/۲۹ درصد و برای طول تکیه‌گاه ۴۵۷ میلی‌متر برابر ۵/۵۴ درصد به دست آمده است که این محدوده خطا بین مدل‌سازی عددی و مدل‌سازی آزمایشگاهی قابل قبول است.

روش کار

مشخصات هندسی و هیدرولیکی مدل: در این پژوهش برای بررسی تنش برشی بستر و اختلاف



شکل ۵- (الف) پلان کانال مرکب، (ب) مقطع عرضی D-D.

Figure 5. (A) Plan of Compound channel, (B) Cross-section D-D.

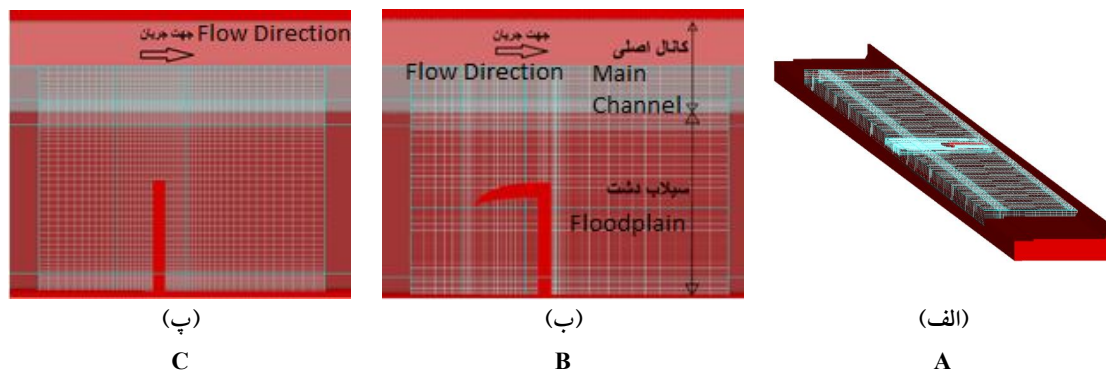
و ارتفاع کوله‌ها نیز بر اساس عرض راه عبوری و حداکثر ارتفاع آب در محل پل به ترتیب برابر با ۱۰ و ۷ متر انتخاب گردید. دیوار هدایت بیضوی از یک ربع بیضی، که قطر بزرگ‌تر آن ۲/۵ برابر قطر کوچک‌تر می‌باشد، تشکیل شده است. طول دیوار هدایت نیز با توجه به دبی عبوری از سیلاب‌دشت، دبی عبوری از کانال اصلی، طول کوله و سایر مشخصات هیدرولیکی که جزئیات محاسبه آن در

در این پژوهش به منظور بررسی اثرات دیوار هدایت آب در بالادست پل، مدل‌سازی‌ها در دو حالت وجود دیوار هدایت بیضوی و بدون دیوار هدایت انجام شده است. در شکل ۵- الف، کوله بدون دیوار هدایت (حالت a) و با دیوار هدایت بیضوی (حالت b) ارائه شده است. در این مطالعه با توجه به عرض سیلاب‌دشت، طول کوله برابر با ۱۵، ۳۰، ۴۵، ۶۰، ۷۵، ۹۰، ۱۰۵ و ۱۲۰ متر در نظر گرفته شد. عرض

بلوک مش اول که طول آن ۳۰۰۰ متر است به ۱۵۰ سلول، عرض آن که ۱۸۵ متر است به ۷۰ سلول و ارتفاع آن که ۱۵ متر است به ۸ سلول تقسیم شده است. بلوک مش دوم که طول آن از ۱۰۰ متر بالادست پل تا ۱۵۰ متر پایین دست پل می باشد، به ۳۱ سلول تقسیم شده است. عرض آن ۱۸۳ متر بوده و به ۷۴ سلول تقسیم و ارتفاع آن ۷ متر می باشد و به ۱۵ سلول تقسیم شده است. در محل اتصال سیلاب دشت به کانال اصلی و در محل تکیه گاه، در هر دو بلوک مش، از شبکه بندی ریزتری برای دستیابی به دقت بیشتر استفاده شده است. در این مدل با توجه به این که مقطع کانال به صورت متقارن می باشد، شبیه سازی در نصف کانال انجام گرفته و از شرط مرزی تقارن در جهت عرض استفاده شده است. در شکل ۶ نمای کلی از شبکه بندی مدل در حالتی که طول کوله برابر با ۹۰ متر می باشد، ارائه شده است.

کیلانه‌ئی و منتظری نمین (۲۰۱۶) آمده است، تعیین گردید. دبی ورودی کانال برابر ۱۸۶۵ مترمکعب بر ثانیه می باشد که با توجه به مدل سازی نصف کانال، دبی ورودی به مدل برابر ۹۳۲/۵ مترمکعب بر ثانیه و عمق آب متناظر با آن برابر ۴ متر در نظر گرفته شده است. برای بررسی نتایج دو مقطع لحاظ شده است. مقطع شماره ۱ که در فاصله یک متری بالادست خط مرکزی پل قرار دارد و مقطع شماره ۲ که در محل پل در نظر گرفته شده است.

شبکه بندی: در این بخش ابتدا فرآیند آنالیز شبکه و استقلال نتایج مدل عددی از ابعاد شبکه بگونه ای که در بخش ارزیابی و صحت سنجی مدل عددی ارائه گردید، انجام شد. در ادامه و با توجه به نتایج به دست آمده از مرحله قبل و به منظور بررسی دقیق تر پارامترها و کاهش هزینه محاسبات، منقطع سازی محیط فیزیکی با استفاده از دو بلوک مش تو در تو صورت گرفت.



شکل ۶- نمای هندسی در مدل FLOW-3D (الف) شبکه بندی مدل برای طول کوله برابر با ۹۰ متر (ب) بلوک مش دوم با دیوار هدایت بیضوی، (پ) بلوک مش دوم بدون دیوار هدایت.

Figure 6. Geometric view of FLOW-3D model (A) Meshing for abutment length of 90 m, (B) The second mesh block with elliptical guide wall, (C) The second mesh block without guide wall.

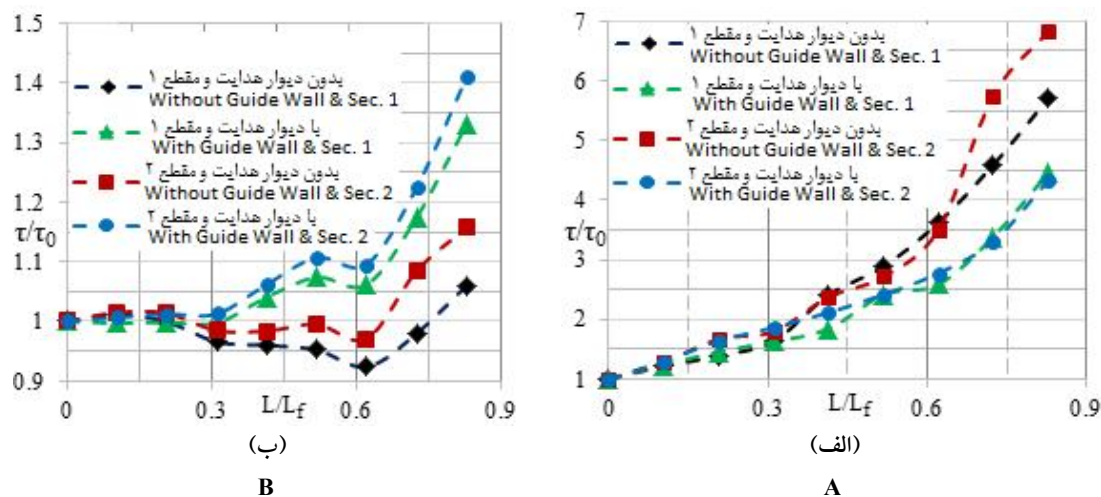
محل کانال اصلی و سیلاب دشت استخراج شد. در ادامه این پژوهش نسبت طول کوله (L) به طول سیلاب دشت (L_f) تحت عنوان پارامتر بدون بعد نسبت پیشروی تعریف می شود. در شکل ۷ نمودار بی بعد شده حداکثر تنش برشی در محل کانال اصلی و

نتایج و بحث

با توجه به توضیحات ارائه شده در بخش قبلی به ازای هر طول کوله، مدل در دو حالت وجود و عدم وجود دیوار هدایت آب شبیه سازی گردید سپس مقادیر بیشینه تنش برشی در مقاطع شماره ۱ و ۲ و در

تنش برشی در کل مقطع و در حالت بدون کوله است.

سیلاب‌دشت به ازای نسبت‌های مختلف پیشروی ارائه شده است. در این شکل τ_0 میزان حداکثر



شکل ۷- نمودار تغییرات تنش برشی بستر (الف) سیلاب‌دشت، (ب) کانال اصلی.

Figure 7. Diagram of bed shear stress changes A) In the floodplain, B) In the main channel.

روند تغییرات حداکثر تنش برشی در کانال اصلی متفاوت با سیلاب‌دشت است. با توجه به شکل ۷-ب ملاحظه می‌شود که در کانال اصلی حداکثر تنش برشی بستر در مقطع شماره ۲ و حالت وجود دیوار هدایت بیضوی شکل و نسبت پیشروی $0/83$ روی داده است و لحاظ نمودن دیوار هدایت موجب افزایش حداکثر تنش برشی به مقدار $25/5$ درصد شده است. وجود دیوار هدایت تا نسبت های پیشروی $0/31$ تأثیر چندانی در حداکثر مقدار تنش برشی در هر دو مقطع شماره ۱ و ۲ ندارد، اما با افزایش نسبت پیشروی، تغییرات قابل توجه می‌گردد. نکته قابل توجه این است که جریان در کانال مرکب در محدوده پیشروی ۵۱ درصد تا ۶۱ درصد از زیر بحرانی به بحرانی می‌رسد و از پیشروی ۶۱ درصد به بعد، جریان فوق بحرانی می‌گردد. با توجه به نتایج مشخص می‌گردد که دیوار هدایت بیضوی شکل حداکثر تنش برشی بستر را در سیلاب‌دشت و به‌ویژه

اولین نکته در خصوص نمودارهای ارائه شده در شکل ۷، تفاوت در روند تغییرات حداکثر تنش برشی در کانال اصلی و سیلاب‌دشت است. در سیلاب‌دشت با افزایش نسبت پیشروی، حداکثر تنش برشی در هر دو مقطع شماره ۱ و ۲ و در حالت وجود و عدم وجود دیوار هدایت آب افزایش می‌یابد این در حالی است که این روند در کانال اصلی مشاهده نمی‌شود. در سیلاب‌دشت، حداکثر مقدار تنش برشی در مقطع شماره ۲ و نسبت پیشروی $0/83$ و حالت عدم وجود دیوار هدایت آب روی داده است. با لحاظ نمودن دیوار هدایت در این مقطع مشاهده می‌شود که حداکثر مقدار تنش برشی به مقدار قابل ملاحظه‌ای و در حدود $36/6$ درصد کاهش می‌یابد. همین روند در سایر نسبت پیشروی‌ها نیز ملاحظه می‌شود و دیوار هدایت باعث کاهش حداکثر تنش برشی در سیلاب‌دشت می‌گردد که این درصد کاهش با افزایش نسبت پیشروی، افزایش می‌یابد.

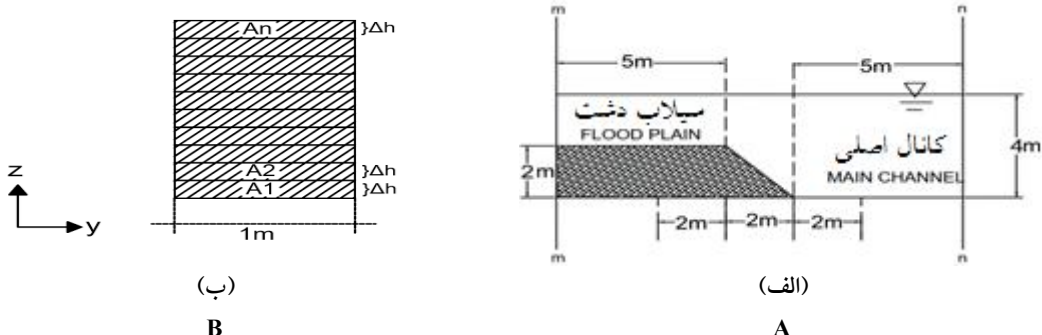
در محل تکیه‌گاه پل کاهش داده و موجب مناسب‌تر شدن شرایط در محل تکیه‌گاه پل شده است این در حالی است که کاهش تنش برشی در سیلاب‌دشت، موجب افزایش تنش برشی و بحرانی‌تر شدن شرایط در کانال اصلی شده است.

در ساخت پل‌ها اگر طول دهانه ساخت پل زیاد باشد، به جز تکیه‌گاه‌ها به پایه‌هایی نیز در طول پل نیاز است. قرار گرفتن این پایه‌ها در کانال اصلی، یعنی جایی که تنش برشی افزایش یافته شرایط را بحرانی می‌کند. توجه به این نکته لازم است که کاهش تنش برشی در محل تکیه‌گاه نیاز تکیه‌گاه را به مقاوم سازی احتمالی برطرف نموده و احتمال مقاوم سازی پایه‌هایی که در کانال اصلی قرار می‌گیرند را افزایش می‌دهد. با مقایسه حداکثر تنش برشی روی داده در

محل کوله و خط مرکزی کانال اصلی می‌توان به این مهم دست یافت که مقاوم‌سازی پایه‌های میانی از نظر اقتصادی بسیار به صرفه‌تر از مقاوم‌سازی تکیه‌گاه‌های پل‌ها بوده و با روش‌هایی کم‌هزینه‌تر امکان‌پذیر خواهد بود.

برای محاسبه مومنتوم عبوری از مقطع فرضی A از رابطه $F = \int_A u u dA$ استفاده شده است (۱). در این رابطه u برابر سرعت عمود بر مقطع و A برابر مساحت ناحیه عبوری جریان است. مومنتوم عبوری از ۲ متر سیلاب‌دشت، ۵ متر سیلاب‌دشت، ۲ متر کانال اصلی، ۵ متر کانال اصلی و ۲ متر ناحیه گذرا مطابق (شکل ۸-الف) محاسبه شده است.

در ساخت پل‌ها اگر طول دهانه ساخت پل زیاد باشد، به جز تکیه‌گاه‌ها به پایه‌هایی نیز در طول پل نیاز است. قرار گرفتن این پایه‌ها در کانال اصلی، یعنی جایی که تنش برشی افزایش یافته شرایط را بحرانی می‌کند. توجه به این نکته لازم است که کاهش تنش برشی در محل تکیه‌گاه نیاز تکیه‌گاه را به مقاوم سازی احتمالی برطرف نموده و احتمال مقاوم سازی پایه‌هایی که در کانال اصلی قرار می‌گیرند را افزایش می‌دهد. با مقایسه حداکثر تنش برشی روی داده در

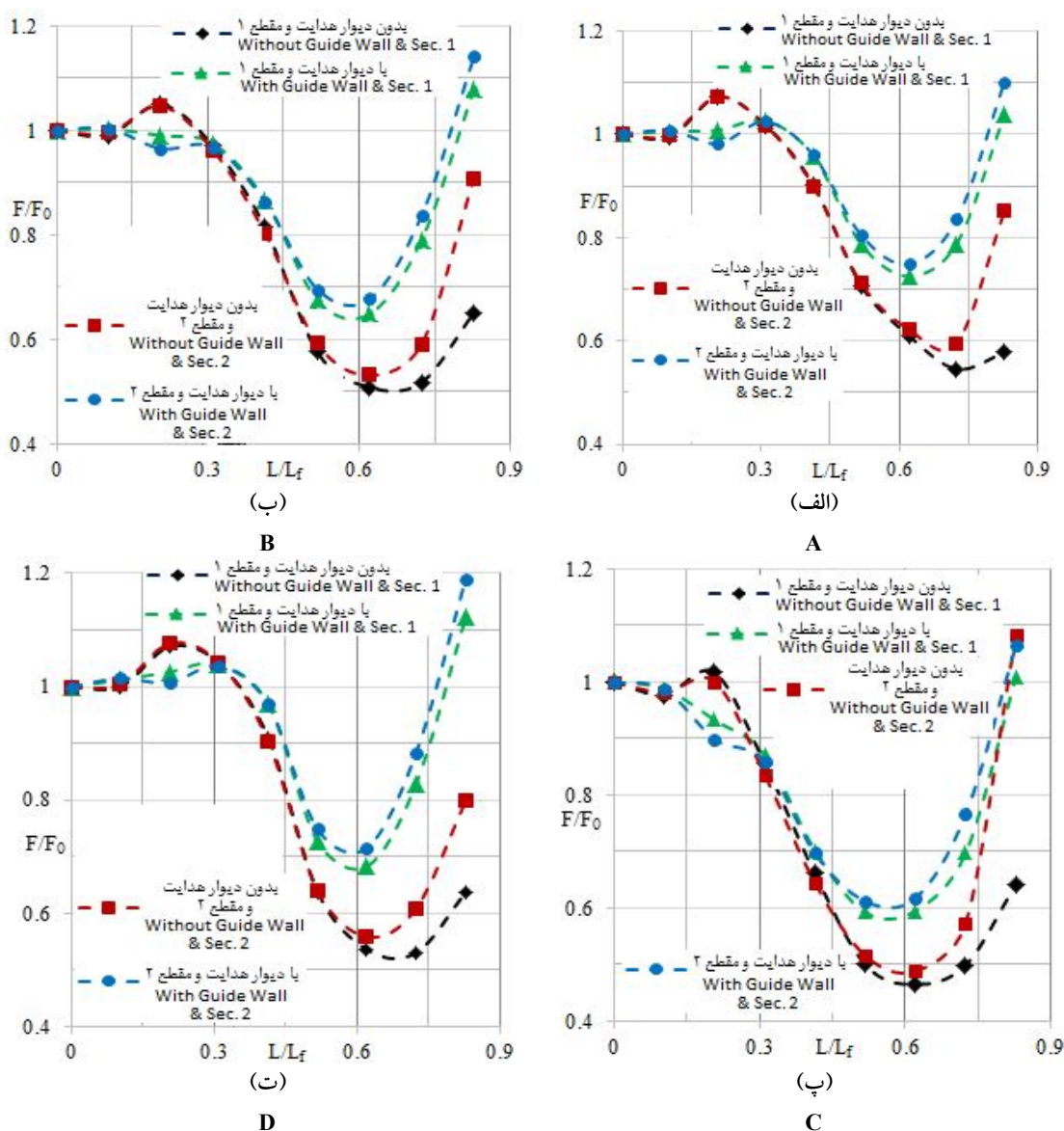


شکل ۸- (الف) ناحیه محاسبه انتقال مومنتوم (mm-nn)، (ب) سلول محاسبه مومنتوم به ازای یک متر عرض.

Figure 8. (A) Momentum exchanging calculation area (mm-nn), (B) Momentum calculation cell per meter of width.

متری، مومنتوم عبوری از هر ناحیه مشخص شده است. در شکل ۹-الف تا ۹-ت، اختلاف مومنتوم بین ۵ متر کانال اصلی و سیلاب‌دشت، ۲ متر کانال اصلی و سیلاب‌دشت، ۲ متر ناحیه گذرا و سیلاب‌دشت و ۲ متر کانال اصلی و ناحیه گذرا ارائه شده است.

با توجه به ارتفاع آب و ابعاد شبکه در ارتفاع، هر ناحیه به نوارهایی به عرض یک متر تقسیم شده (شکل ۸-ب) و مجموع مومنتوم عبوری از این سلول‌ها، مومنتوم عبوری از یک متر در جهت عرض را نشان می‌دهد. برای محاسبه مومنتوم عبوری از هر یک متر رابطه فوق به شکل رابطه $F = \sum_{i=1}^N u^2 A$ تبدیل شده است. با تجمیع اطلاعات نوارهای یک



شکل ۹- نمودار اختلاف مومنتوم بین (الف) ۵ متر کانال اصلی و ۵ متر سیلاب دشت، (ب) ۲ متر کانال اصلی و ۲ متر سیلاب دشت (پ) ۲ متر ناحیه گذرا و ۲ متر سیلاب دشت، (ت) ۲ متر کانال اصلی و ۲ متر ناحیه گذرا.

Figure 9. Momentum exchange diagram between (A) 5 m in the main channel and floodplain, (B) 2 m in the main channel and floodplain, (C) 2 m in the transient area and floodplain, (D) 2 m in the main channel and transient area.

را نشان می‌دهند. با توجه به نمودارها ارائه شده در شکل ۹، مشخص می‌گردد که مقدار اختلاف مومنتوم در حالت وجود دیوار هدایت از حالت بدون دیوار هدایت بیشتر است. بیشترین مقدار اختلاف مومنتوم برای شرایطی است که مومنتوم بین ۵ متر کانال اصلی و سیلاب دشت مورد بررسی قرار گرفته، که مقدار

در این شکل، محور طولی نسبت پیشروی و محور عرضی آن از تقسیم اختلاف مومنتوم بین مقاطع در پیشروی‌های مختلف، به اختلاف مومنتوم بین مقاطع در حالتی که کانال مرکب فاقد پیشروی می‌باشد، به دست آمده است. این نمودارها اختلاف مومنتوم بین سیلاب دشت، کانال اصلی و ناحیه گذرا

مصالحی جهت مقاومسازی استفاده شود. اما در حالت پیشروی با دیوار هدایت شرایط جریان در محل تکیه‌گاه پل بهبود می‌یابد و شرایط بحرانی به مرز سیلاب‌دشت و کانال اصلی یعنی ناحیه گذرا منتقل می‌گردد. این یعنی در حالت پیشروی با دیوار هدایت دیگر نیاز به مقاومسازی تکیه‌گاه پل نبوده بلکه باید به روش‌هایی ناحیه گذرا مقاوم‌تر گردد، روش‌هایی که از نظر اقتصادی صرفه بیش‌تری نسبت به مقاومسازی تکیه‌گاه پل دارند.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش شبیه‌سازی سه‌بعدی جریان اطراف تکیه‌گاه پل در یک کانال مرکب به کمک مدل FLOW-3D به منظور بررسی تنش برشی بستر و انتقال مومنتوم برای نسبت پیشروی‌های مختلف در دو حالت وجود دیوار هدایت آب و بدون آن صورت گرفت. پس از ارزیابی مدل عددی با نتایج آزمایشگاهی موجود و اطمینان از صحت عملکرد آن، به‌ازای هشت نسبت پیشروی مختلف مدل‌سازی جریان انجام شد. نتایج نشان داد که در کانال مرکب تنش برشی بستر با افزایش نسبت پیشروی، افزایش می‌یابد و حداکثر تنش برشی در سیلاب‌دشت، در محل تکیه‌گاه پل اتفاق می‌افتد. وجود دیوار هدایت بیضوی شکل باعث می‌گردد تنش برشی بستر در کانال اصلی تا ۲۵/۵ درصد افزایش و در سیلاب‌دشت تا ۳۶/۶ درصد کاهش یابد. بنابراین با وجود دیوار هدایت بیضوی تنش برشی بستر در سیلاب‌دشت کاهش می‌یابد که باعث بهبود شرایط در محل تکیه‌گاه پل می‌گردد ولی افزایش تنش برشی در کانال اصلی باعث می‌شود که شرایط پایه‌هایی که در کانال اصلی قرار می‌گیرند بحرانی‌تر گردد. همچنین اختلاف مومنتوم بین سیلاب‌دشت و کانال اصلی برای حالت وجود دیوار هدایت تا مقدار ۷۸/۵ درصد نسبت به حالت بدون دیوار هدایت افزایش یافته که این

افزایش مومنتوم به اندازه ۷۸/۵ درصد است. اختلاف مومنتوم بین مقاطع با افزایش نسبت پیشروی تا ۶۱ درصد کاهش می‌یابد ولی برای نسبت پیشروی‌های بیش‌تر، اختلاف مومنتوم بین مقاطع افزایش می‌یابد که دلیل آن تغییر شرایط جریان از زیر بحرانی به فوق بحرانی می‌باشد.

در حالتی که در بالادست پل دیوار هدایت آب در نظر گرفته می‌شود، به واسطه وجود دیوار هدایت، جریان از سیلاب‌دشت به کانال اصلی منتقل می‌گردد که باعث آرام‌تر شدن جریان در سیلاب‌دشت و بویژه در محل تکیه‌گاه پل می‌گردد؛ اما در کانال اصلی باعث می‌شود جریان با سرعت بیش‌تری عبور نماید. آرام بودن جریان در محل تکیه‌گاه پل باعث می‌شود سرعت و تنش برشی بستر در محل تکیه‌گاه پل کم‌تر گردد که این عوامل در نگاه اول باعث پایداری تکیه‌گاه پل در سیلاب‌دشت می‌گردند اما انتقال جریان به کانال اصلی و افزایش یافتن سرعت، با توجه به نمودارها منجر به افزایش اختلاف مومنتوم بین سیلاب‌دشت و کانال اصلی نسبت به حالت بدون دیوار هدایت می‌گردد. افزایش اختلاف مومنتوم باعث می‌گردد پتانسیل شکل‌گیری لایه برشی و تنش برشی در فصل مشترک کانال اصلی و سیلاب‌دشت، افزایش یابد. ایجاد لایه برشی باعث تولید گردابه‌ها بین سیلاب‌دشت و کانال اصلی شده و باعث شسته‌شدن مصالح بستر ناحیه گذرا می‌شود. آب‌ستکی به مرور زمان به سیلاب‌دشت و به‌خصوص تکیه‌گاه پل خواهد رسید و شرایط را در آن محل بحرانی خواهد کرد. بنابراین هرچند که وجود دیوار هدایت باعث انتقال جریان و بهبود شرایط در زمان ساخت پل می‌گردد اما با گذشت زمان، عکس‌العمل انتقال جریان، شرایط را در محل تکیه‌گاه پل بحرانی می‌کند. توجه به این نکته لازم است که در حالت پیشروی بدون دیوار هدایت به دلیل وجود جریان با سرعت و تنش برشی زیاد در محل تکیه‌گاه پل، برای حفاظت از تکیه‌گاه باید از

داده‌ها و اطلاعات

داده‌ها و اطلاعات مورد استفاده در این مقاله از پایان‌نامه کارشناسی ارشد آقای سعید صفائی تحت عنوان "بررسی میزان پیشروی تکیه‌گاه پل در سیلاب‌دشت رودخانه‌ها با مدل‌سازی عددی سه‌بعدی"، استخراج شده است.

تعارض منافع

در این مقاله تعارض منافی وجود ندارد و این مسأله مورد تأیید همه نویسندگان است.

اختلاف مومنتوم بین سیلاب‌دشت و کانال اصلی برای پیشروی با دیوار هدایت بیش‌تر از پیشروی بدون دیوار هدایت می‌باشد که می‌تواند منجر به افزایش تنش برشی و ایجاد گردابه‌ها در فصل مشترک کانال اصلی و سیلاب‌دشت گردد.

تقدیر و تشکر

این مقاله از پایان‌نامه کارشناسی ارشد انجام شده در دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره) استخراج شده است که بدین‌وسیله از حمایت‌های مالی و معنوی آن دانشگاه تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع

1. Cao, Z., Meng, J., Pender, G., and Wallis, S. 2006. Flow resistance and momentum flux in compound open channels. *J. Hyd. Eng.* 132: 12. 1272-1282.
2. Houshmandi, F., Zahiri, A.R., Dehghani, A.A., and Meftah Halaghi, M. 2015. Comparison of methods for estimating shear stress distribution in width of open channels. *J. Water Soil Cons.* 21: 5. 285-295. (In Persian)
3. Kara, S., Stoesser, T., and Sturm, T.W. 2012. Turbulence statistics in compound channels with deep and shallow overbank flows. *J. Hyd. Res.* 50: 5. 482-493.
4. Kilanehei, F., and Montazeri Namin, M. 2016. Instruction Manual for Design, Construction and Maintenance of Bridge Guide Walls. Road, Housing and Urban Development Research Center Press, 171p. (In Persian)
5. Kocama, S. 2014. Prediction of backwater profiles due to bridges in a compound channel using CFD. *Adv. Mech. Eng.* 6: 1. 1-9.
6. Koziol, A. 2013. Three-dimensional turbulence intensity in a compound channel. *J. Hyd. Eng.* 139: 8. 852-864.
7. Molinas, A., Kheireldin, K., and Wu, B. 1998. Shear stress around vertical wall abutments. *J. Hyd. Eng.* 124: 8. 822-830.
8. Reinaldo, M., and Robert, E. 2013. Insights from depth-averaged numerical simulation of flow at bridge abutments in compound channels. *J. Hyd. Eng.* 139: 5. 470-481.
9. Sadiq, A. 1994. Clear-water scour around bridge abutments in compound channel. Ph. D. dissertation, University of Georgia, Atlanta.
10. Shiono, K., and Knight, D.W. 1991. Turbulent open-channel flows with variable depth across the channel. *J. Fluid Mech.* 222: 1. 617-646.
11. Tominaga, A., and Nezu, I. 1991. Turbulent structure in compound open-channel flows. *J. Hyd. Eng.* 117: 1. 21-41.
12. Truong, S.H., and Uijtewaal, W.S. 2019. Transverse momentum exchange induced by large coherent structures in a vegetated compound channel. *Water Resources Research.* 55: 589-612.
13. Van Prooijen, B.C., Battjes, J.A., and Uijtewaal, W.S. 2005. Momentum exchange in straight uniform compound channel flow. *J. Hyd. Eng.* 131: 3. 175-183.



Effect of Abutment Length in the Floodplain on Bed Shear Stress and Flow Momentum by Numerical Modeling

S. Safaei¹, F. Kilanehei² and *A. Mahjoob³

¹M.Sc. Graduate of Water and Hydraulic Structures, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran,

²Assistant Prof., Dept. of Civil Engineering, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran,

³Assistant Prof., Transportation Research Institute, Road, Housing and Urban Development Research Center, Tehran, Iran

Received: 01.20.2020; Accepted: 11.17.2020

Abstract

Background and Objectives: As the free surface elevation of water rises in the main channel and crosses the floodplain boundary, because of different roughness coefficient and velocity between the main channel and the floodplain, the flow in the main channel move more acceleration than those in the floodplains and there will be strong momentum exchange between the flows in the intersection of the main channel and the floodplain. This momentum exchange generates vortices in the intersection of the main channel and the floodplain and reduces the high velocity flow energy of the main channel and adds to the low velocity flow energy of the floodplain. Also momentum exchange reduces the discharge of the main channel, increasing the discharge of the floodplain and decreasing river transmission capacity. At the intersection of the main channel and the floodplain, due to the shear layer, the potential of instability and scour are high. Recognition the bed shear stress and momentum exchange in the compound channel, especially in the intersection of the main channel and floodplain, helps to make more accurate calculations related to the protection of the riverbed and determine the protection methods. In this study, the parameters of bed shear stress and flow momentum are quantified and investigated in conditions where the compound channel, bridge abutment length in the floodplain and the type of guide-wall simultaneously affect the flow pattern.

Materials and Methods: In the present study, three-dimensional numerical analysis is performed to investigate the bed shear stress and momentum exchanging between the floodplain and the main channel in a symmetric trapezoidal compound channel by using FLOW-3D. After validating the mentioned model using the available experimental results, the bed shear stress and momentum exchange between the floodplain and the main channel for different bridge abutment lengths in cases with and without elliptical guide-wall have been investigated.

Results: The bed shear stress in the case with the elliptical guide wall compared to the case without ones increased in the main channel and decreased in the floodplain. Shear stress in the main channel has increased up to 25.5% and decreased up to 36.63% in the floodplain. The momentum exchange in the elliptical guide-wall case has increased up to 78.5% compared to without guide-wall case.

Conclusion: One of the remarkable results is that the bed shear stress in the floodplain decreases in the case with the elliptical guide-wall which improves the conditions at the bridge abutment. But increasing the shear stress in the main channel causes the conditions of the piers

* Corresponding Author; Email: a.mahjoob@bhrc.ac.ir

located in the main channel become more critical. Also, in the case of abutment with the elliptical guide-wall, the momentum exchange between the floodplain and the main channel increases compared to in the case of abutment without the guide wall, which increases the shear stress and generates vortices at intersection of the floodplain and the main channel.

Keywords: Bed Shear Stress, Bridge abutment, Compound Channel, Flow-3D, Momentum Exchange