



بررسی سه بعدی گسترش آشفتگی جریان عبوری از آبشکن‌های مستقیم، T و L شکل در مجاری روباز با استفاده از مدل فیزیکی

فاطمه ویسی^۱ و احمد جعفری^{۲*}

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی سازه‌های آبی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان

۲- نویسنده مسئول، استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ajafari@ramin.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۳/۲

بازنگری: ۱۳۹۶/۳/۱

دریافت: ۱۳۹۵/۱۲/۱۶

چکیده

آبشکن سازه‌ای است که در شرایط مختلف بازه‌ی رودخانه‌ها و با هدف حفاظت از سواحل رودخانه استفاده می‌شود. در این مقاله به مطالعه‌ی آزمایشگاهی ساختار جریان اطراف آبشکن‌های مستقیم، T و L شکل پرداخته شده است. بدین منظور هیدرودینامیک سه‌بعدی جریان اطراف این آبشکن‌ها به صورت آزمایشگاهی و در یک کانال مستقیم با بستر صاف مورد مطالعه قرار گرفت. مؤلفه‌های سرعت جریان در سه بعد در اطراف آبشکن‌ها به وسیله سرعت‌سنج سه‌بعدی ADV اندازه‌گیری شد. نتایج نشان می‌دهد نقطه جدایی جریان به فاصله‌ی ۲ برابر طول آبشکن‌ها و در بالادست آبشکن‌ها می‌باشد. حداکثر سرعت متوسط زمانی در امتداد صفحه جدایی جریان و در آبشکن مستقیم ایجاد می‌شود. طول صفحه‌ی برشی جریان در آبشکن‌های مستقیم، T شکل و L شکل به ترتیب ۱۰، ۹/۹ و ۹/۵ برابر طول جان آبشکن بوده و در نتیجه با افزایش طول بال آبشکن گستره طولی گردابه پایین دست آبشکن کاهش می‌یابد. حداکثر مؤلفه سرعت عمودی جریان در بالادست و دماغه آبشکن‌ها شکل گرفته و شدت آن در آبشکن مستقیم بیشتر از دو آبشکن دیگر در این مطالعه می‌باشد. همچنین حداکثر انرژی جنبشی آشفتگی (TKE) در تراز $Z/H=+0.6$ و در امتداد لایه برشی و در آبشکن مستقیم رخ می‌دهد.

کلیدواژه‌ها: جریان آشفته، سرعت‌سنج، گردابه، رودخانه، آزمایشگاهی.

مقدمه

از دیرباز رودخانه‌ها به‌عنوان یکی از اساسی‌ترین منابع تأمین آب، مورد توجه انسان بوده است. طغیان رودخانه‌ها در مواقع سیلابی باعث ایجاد خرابی‌های جبران‌ناپذیر می‌شود، لذا برای مهار سیلاب تمهیداتی از جمله حفاظت سواحل رودخانه‌ها در مقابل فرسایش در نظر گرفته می‌شود (Moosavi et al., 2010). یکی از روش‌های حفاظت رودخانه‌ها و مهار کردن فرسایش کناره‌ی آن، استفاده از سازه آبشکن می‌باشد (Vaghefi et al., 2016). آبشکن سازه‌ای است که در شرایط مختلف بازه‌ی رودخانه‌ها از مصالح سنگی، پاره سنگی، شن و ماسه، گابیونی و مانند آن، با اهداف منحرف کردن و ایجاد مسیر مناسب از سواحل فرسایش‌پذیر، تسهیل کشتیرانی از طریق ایجاد عمق جریان مناسب و ایجاد شرایط مناسب زیست‌محیطی برای آبزیان استفاده می‌شود (Dehghani et al., 2009, Hoseinzade Tabrizi et al., 2014, Safarzadeh and Safarzadeh, 2016, Li et al., 2005). هندسه آبشکن براساس شرایط رودخانه‌ای و اهداف مورد نظر طراحی و اجرا می‌شود. همچنین پارامترهای مختلفی از جمله طول، شکل دماغه، جنس مصالح، زاویه نصب به جهت جریان و نفوذپذیری در عملکرد آن مؤثر می‌باشد (Noorbakhsh Saleh et al., 2013). در اثر برخورد جریان به آبشکنی که در مسیر مستقیم نصب‌شده، جریان آشفته‌ی چرخشی و گردابی در اطراف آن شکل می‌گیرد و خطوط جریان

بسته به فاصله از دیواره و عمق دارای رفتارهای متفاوتی می‌باشند (Abbasi and Malek Nejad, Dehghani et al., 2009, Yazdi, 2014).

براساس بررسی‌های انجام شده توسط محققین در آبشکن‌های غیرمستغرق، ناحیه‌ی چرخشی در پایین‌دست آبشکن مشاهده می‌شود با این تفاوت که در ترازهای بالایی جریان، جهت حرکت به سمت بالادست و در لایه‌های نزدیک به بستر، جهت حرکت جریان به سمت پایین‌دست است (Mehraein et al., 2016, Koken and Constantinescu, 2008, Duan, 2009). با توجه به شکل (۱) الگوی جریان در اطراف یک آبشکن تیغه‌ای در کانال مستقیم شرح داده می‌شود. جدایی جریان از دیواره بالادست کانال از آبشکن باعث ایجاد یک ناحیه شبه‌دایمی می‌شود Paik و Sotiropoulos (2005) و به دلیل گرادبان فشار در بالادست آبشکن یک جریان پایین‌رونده قوی شکل می‌گیرد (Kwan, 1988). علاوه بر این، انحنای موج در نزدیکی سطح آب منجر به شکل‌گیری گردابه‌های نعل اسبی در پایین آبشکن، می‌شود (Koken and Constantinescu, 2009). با توسعه ناحیه برخاستگی (جریان برگشتی و ناحیه اتصال مجدد) در پایین‌دست آبشکن یک لایه برشی پویا و کاملاً آشفته بین ناحیه برخاستگی و جریان اصلی شکل می‌گیرد (Ettema and Muste, 2004, Koken and Constantinescu, 2009).

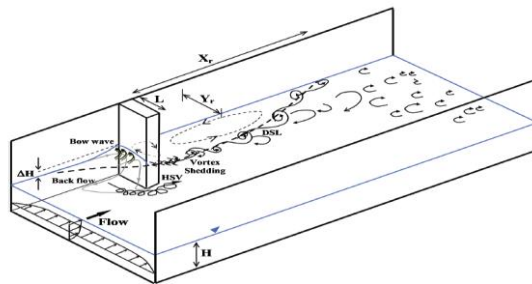


Fig. 1- Flow field around a single straight groyne (Safarzadeh et al., 2016)
شکل ۱- الگوی جریان اطراف یک آبشکن تیغه‌ای (Safarzadeh et al., 2016)

et al. (2016) به بررسی آزمایشگاهی تأثیر قدرت جریان ثانویه و چرخشی بر تغییرات تنش برشی بستر برای موقعیت‌های مختلف نصب آبشکن مستقر در قوس ۹۰ درجه ملایم پرداختند. نتایج بررسی‌های انجام شده در این پژوهش نشان داد که موقعیت‌های مختلف نصب آبشکن در فاصله‌ی حدود ۰/۶ طول آبشکن و در بالادست، بیشترین مقدار قدرت جریان ثانویه ایجاد می‌گردد و همچنین محل وقوع حداکثر چرخش و جریان ثانویه در جلوی بال آبشکن می‌باشد. Safarzadeh و Safarzadeh (2016) به منظور بررسی میدان جریان میان دو آبشکن مستقیم در جریان کم عمق، آزمایش‌هایی در کانالی به طول ۸ متر و عرض ۱/۸ متر انجام دادند. نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد به واسطه‌ی کم عمق بودن میدان جریان، بخش عمده‌ای از ساختارهای آشفتگی حالت دو بعدی داشته و شکل‌گیری یک جریان برگشتی از ناحیه پایین دست به داخل میدان آبشکن باعث پیچیدگی ساختار لایه اختلاطی و در نتیجه تبادل جرم بین ناحیه چرخشی میدان آبشکن و جریان آزاد می‌شود. Safarzadeh et al. (2016) با استفاده از سرعت سنج ADV به بررسی جریان آشفته سه بعدی حول آبشکن‌های T شکل در کانال مستقیم با بستر صاف و انقباض ۱۵ درصدی آبشکن در عرض کانال پرداختند. با توجه به اهمیت آبشکن‌ها، بررسی دقیق و سه بعدی جریان آشفته و شدت و گسترش آشفتگی‌ها در این سازه‌ها دارای اهمیت فراوان بوده و ضرورت انجام تحقیق حاضر را نشان می‌دهد. در تحقیق حاضر جریان آشفته سه بعدی به طور دقیق و کامل با استفاده از سرعت‌سنج پیشرفته ADV در آبشکن‌های مستقیم، T و L شکل در یک کانال مستقیم با بستر صلب با انقباض ۲۰ درصدی آبشکن‌ها در عرض کانال با برداشت مشخصات نقاط فراوان مورد بررسی قرار گرفته و گسترش آشفتگی به صورت سه بعدی مطالعه شده که از نوآوری‌های این تحقیق می‌باشد.

مواد و روش‌ها

آزمایش‌های تحقیق حاضر در یک کانال مستقیم به طول ۷ متر، عرض ۰/۵ متر و ارتفاع ۰/۶ متر با جداره‌های شیشه‌ای و حفاظ‌های فولادی در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان انجام گرفته است. برای تأمین آب

Duan et al. (2009) در یک کانال آزمایشگاهی به بررسی آبشکن مستقیم پرداخت. نتایج بررسی این پژوهش نشان داد که آبشستگی موضعی در بالادست دماغه آغاز و پس از آن تا پایین دست دماغه گسترش پیدا می‌کند. Alizadeh Armaki et al. (2015) الگوی جریان و آبشستگی اطراف آبشکن سرسپری مستغرق، جاذب و دافع در مسیر مستقیم را در یک مطالعه آزمایشگاهی مورد بررسی قرار دادند. نتایج بررسی آزمایشگاهی الگوی جریان نشان داد که یک صفحه جدایی جریان در بالادست آبشکن ایجاد شده که در آن قسمتی از جریان به صورت بالارونده و قسمت دیگر به صورت پایین‌رونده عمل می‌کند. از دیگر نتایج این مطالعه وسعت جریان پایین رونده به سمت بالادست آبشکن جاذب و دافع به ترتیب حدود ۰/۷۷ و ۱/۵ برابر طول مؤثر آبشکن است. همچنین طول ناحیه‌ی جدایی در بالادست آبشکن دافع بیشتر از آبشکن جاذب گزارش شده است. Kumar و Malik (2016) به مطالعه‌ی الگوی جریان اطراف آبشکن مستقیم (با زاویه ۴۵، ۶۰ و ۹۰ درجه نسبت به جهت جریان) و T شکل در شرایط بستر تخت، با استفاده از نرم‌افزار انسیس فلوئنت (ANSYS FLUENT) پرداختند. نتایج این مطالعه نشان داد شکل آبشکن بر آشفتگی جریان در لایه‌های نزدیک بستر تأثیرگذار می‌باشد. Alonso و Kuhnle (2013) در یک مطالعه آزمایشگاهی با استفاده از سرعت‌سنج ADV، مولفه‌های سرعت جریان را در ۳۴۸۴ نقطه در اطراف یک آبشکن دوزنقه‌ای مستغرق اندازه‌گیری کردند. نتایج بررسی آنان نشان داد تفاوت زیادی بین خطوط جریان در حالت بستر صاف و بستر دارای رسوب وجود دارد و تنش‌های برشی در حالت بستر زبر نسبت به بستر صاف بزرگ‌تر می‌باشد. Mehraein et al. (2016) جهت بررسی سرعت‌های میانگین، خطوط جریان و پارامترهای آشفتگی جریان اطراف آبشکن T شکل مستغرق، آزمایش‌هایی در مسیر مستقیم انجام دادند. نتایج بررسی ایشان نشان داد در پایین دست سازه آبشکن جریان چرخشی ایجاد می‌شود که جهت جریان چرخش به دلیل تأثیر جریان روگذر از روی آبشکن، خلاف جهت جریان چرخشی مشاهده شده در آبشکن غیرمستغرق است. همچنین بررسی پارامترهای آشفتگی در این مطالعه نشان داد که بیشترین مقدار تنش‌های رینولدز عمودی در نوک بالادست آبشکن مشاهده می‌شود. Vaghefi

پیشرفته ADV بوده، همانند تحقیق‌های قبلی در این زمینه مانند تحقیق Safarzadeh et al. (2016)، دبی جریان (Q) ثابت و برابر با ۳۰ لیتر بر ثانیه در نظر گرفته شده‌است. همچنین برای اندازه‌گیری دبی عبوری از کانال از دبی‌سنج مغناطیسی استفاده شده‌است. عمق جریان (H) نیز در تمام آزمایش‌ها ثابت و برابر با ۱۵ سانتی‌متر بود که با استفاده از دریچه پروانه‌ای که در انتهای مسیر پایین‌دست کانال می‌باشد، این عمق برای انجام این آزمایشات تنظیم شده است. مشخصات هندسی آب‌شکن‌ها در جدول (۱) ارائه شده است. در جدول (۲) به شرایط هیدرولیکی حاکم بر آزمایش‌ها در حین برداشت داده‌های سه‌بعدی سرعت جریان اشاره شده است.

مورد نیاز در این کانال مستقیم از یک مخزن تحتانی استفاده شده است. آب‌شکن‌ها با استفاده از صفحات مستطیلی از جنس پلکسی گلاس با ضخامت یک سانتی‌متر ساخته شده‌اند. شکل (۲-ا)، هندسه آب‌شکن‌های مورد استفاده، شکل (۲-ب) دریچه انتهایی فلوم در حین برداشت داده‌ها با سرعت‌سنج سه‌بعدی وکترینو (Vectrino)، شکل (۲-ج) پروب‌های سرعت‌سنج صوتی (ADV) و شکل (۳) نمایی از کانال مورد نظر در آزمایشگاه است. به‌منظور بررسی الگوی جریان اطراف آب‌شکن‌ها، آزمایش‌ها با نصب آب‌شکن در ساحل با ۲۰ درصد انقباض (نسبت طول جان (L) آب‌شکن به عرض کانال (B)) انجام شد. با توجه به‌آنکه هدف تحقیق بررسی تاثیر هندسه آب‌شکن‌ها بر روی جریان آشفته به‌طور دقیق و با برداشت‌های زیاد نقطه‌ای توسط سرعت‌سنج

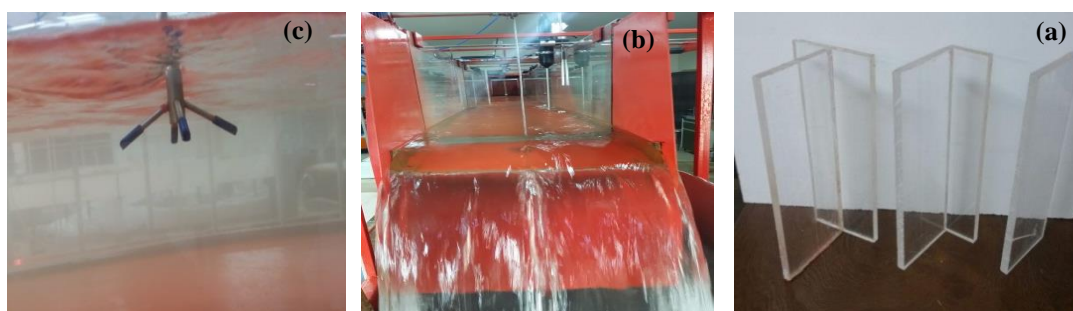


Fig 2- (a) Geometry of groynes , (b)end valve of flume and (c) ADV Probes
شکل ۲- (a) هندسه آب‌شکن‌های مورد استفاده، (b) دریچه انتهایی فلوم و (c) پروب‌های ADV

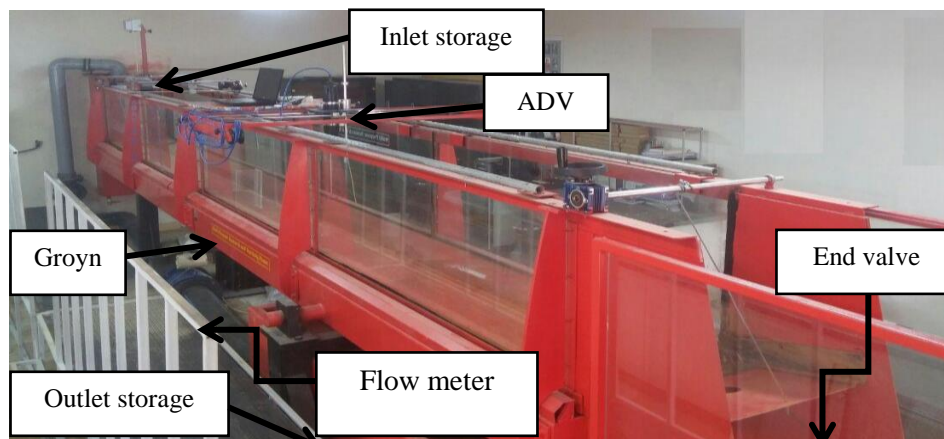


Fig 3- A view of the experimental system
شکل ۳- نمایی از سیستم آزمایشگاهی

جدول ۱- مشخصات هندسی آب‌شکن‌ها

Table 1- Geometirc properties of geroyne

Groyne	Groyne length(L)	Groyne length of the wing(L')
Straight groyne	10(cm)	-
L-shape groyne	10(cm)	5(cm)
T-shape groyne	10(cm)	10(cm)

جدول ۲- شرایط هیدرولیکی حاکم بر جریان

Table 2- hydraulic conditions of flow

Reynolds number	Froude number	Flow discharge(m ³ /s)	Water depth(cm)
60000	0.33	0.3	15

است. با توجه به فرکانس ۲۵ هرتز و زمان تعیین شده در این آزمایش با استفاده از سرعت سنج سه بعدی در هر نقطه ۴۵۰۰ داده سرعت جریان در سه بعد اندازه گیری و ثبت شده است. داده های اندازه گیری شده در زمان های مختلف با استفاده از نرم افزار Vectrino ثبت شده، سپس با تغییر فرمت و تجزیه و تحلیل این داده ها در اکسل با استفاده از نرم افزار Tecplot نمودارها مربوطه رسم شد. با توجه به اینکه به وسیله سرعت سنج ADV مؤلفه های سرعت لحظه ای در سه جهت به دست می آید می توان با استفاده از این سرعت های لحظه ای (u_i, v_i, w_i) در یک نقطه مشخص از میدان جریان آشفته، سرعت های متوسط (U, V, W) ، سرعت نوسانی (u', v', w') و پارامترهای آشفتگی جریان را محاسبه کرد. با توجه به شکل (۵) سرعت های نوسانی با استفاده از روابط زیر به دست می آید:

$$u_i = U + u_i' \quad (1)$$

$$v_i = V + v_i' \quad (2)$$

$$w_i = W + w_i' \quad (3)$$

در شکل (۶) نمایی از مش بندی کانال برای تعیین موقعیت نقاط برداشت شده در طول و عرض کانال نشان داده شده است.

همان طور که مشاهده می شود، رژیم جریان در کانال کاملاً آشفته و زیر بحرانی می باشد $(Re > 2000 \text{ و } Fr < 1)$. به منظور اندازه گیری مؤلفه های سرعت و تعیین الگوی سه بعدی جریان از دستگاه سرعت سنج سه بعدی و کترینو که یکی از پیشرفته ترین انواع سرعت سنج های صوتی (ADV) می باشد، استفاده شد.

شکل (۴) دستگاه ADV را هنگام برداشت میدان سرعت در کانال آزمایشگاهی نشان می دهد که روی یک دستگاه حرکت دهنده برای سهولت و ثابت نگه داشتن دستگاه ADV سوار شده است. با توجه به محدودیت سرعت سنج ADV در اندازه گیری سرعت جریان در فاصله ۵ سانتی متری از فرستنده آن و همچنین کاهش پروفیل سطح آب در بازه ی پایین دست آبشکن، بالاترین تراز اندازه گیری سرعت جریان معادل ۶۰ درصد از عمق جریان ورودی در کانال می باشد. شبکه بندی برداشت میدان، غیریکنواخت بوده و در نزدیکی آبشکن ریزتر و شامل ۲۰ مقطع عرضی و ۷ تراز ارتفاعی است. هم چنین در هر محور عرضی ۹ نقطه و در مجموع برای هر آبشکن ۱۲۶۰ نقطه برداشت شد. با توجه به بررسی های انجام شده توسط Rahman و Barua، (2000) Gonzalez-Castro et al. (1998) و Sukhodoov و Rhoads (2001) زمان ۱۸۰ ثانیه برای اندازه گیری هر نمونه در این آزمایش در نظر گرفته شده



Fig. 4- ADV device during measuring of flow velocity (a) Straight groyne (b) L-shape groyne and (c) T-shape groyne

شکل ۴- دستگاه ADV حین برداشت سرعت جریان اطراف آبشکن (a) مستقیم، (b) L شکل و (c) T شکل

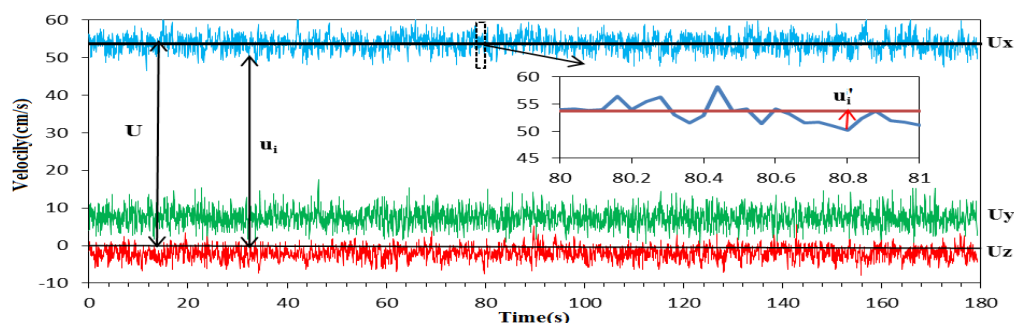


Fig. 5- time series of 3 flow component in one point in 9 cm level and in upstream groyne

شکل ۵- سری زمانی سه مؤلفه سرعت جریان در نقطه در تراز ۹ سانتی متری و به فاصله $3/4L$ در بالادست آبشکن و تعریف مقادیر لحظه ای، نوسانی و متوسط زمانی آن

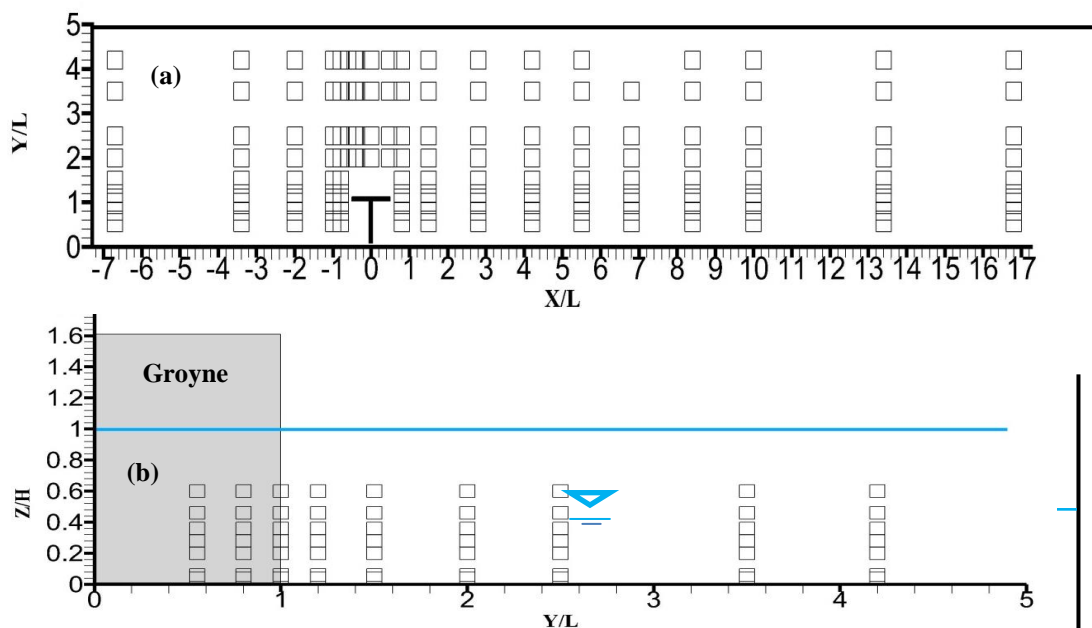


Fig 6- Meshing the points of pickup velocity components in a)- horizontal plane and b) vertical plane in transverse section

شکل ۶- مش بندی نقاط برداشت مؤلفه‌های سرعت در (A) صفحه افقی و (B) صفحه عمودی

در دماغه آبشکن مستقیم شکل می‌گیرد (شکل (A-a)). در پایین‌دست آبشکن مستقیم جریان گردابی پایدارتری نسبت به آبشکن T شکل، تشکیل شده است که با توجه به شکل (A-a) و شکل (A-c) جریان عرضی در دماغه آبشکن مستقیم نسبت به آبشکن T شکل، شدیدتر می‌باشد. همچنین در شکل (Y-b) الگوی جریان اطراف آبشکن L شکل نشان داده شده است. با توجه به الگوی‌های جریان اطراف سه آبشکن مشاهده می‌شود که نقطه شروع جدایی جریان به فاصله تقریباً ۲ برابر طول آبشکن و در بالادست آبشکن‌ها می‌باشد و گردابه پایین دست بیشتر در جهت فوقانی جریان توسعه می‌یابد. همچنین مرکز جریان چرخشی در پایین‌دست آبشکن T شکل به فاصله نزدیک‌تری نسبت به دو آبشکن دیگر ($Y/\Delta L$) تشکیل شده است. در مطالعه حاضر و مطالعه Safarzadeh et al. (2016) مرکز جریان چرخشی تشکیل شده در پایین‌دست به فاصله نزدیک‌تری نسبت به آبشکن T شکل ایجاد شده است. همچنین گستردگی جریان‌های چرخشی پایین‌دست آبشکن مستقیم در مطالعه Safarzadeh et al. (2016) نسبت به مطالعه حاضر ۸/۳۳ درصد بیشتر بوده و در آبشکن T شکل ۱۳/۱۳ درصد کمتر بود که با توجه به اختلاف در اندازه طول آبشکن‌ها و در درصد انقباض کانال این تفاوت معنی‌دار می‌باشد.

نتایج و بحث

به‌منظور بررسی تأثیر هندسه آبشکن بر ساختار جریان پیرامون آن، با استفاده از مقادیر مؤلفه‌های سرعت جریان اندازه‌گیری شده در سه بعد، الگوهای جریان حول آبشکن‌ها و همچنین نمودارهای انرژی جنبشی آشفته‌گی در ترازهای ارتفاعی مختلف رسم و در ادامه مورد تحلیل قرار گرفته است. در شکل (۷) نمونه‌هایی از خطوط جریان در بالادست و پایین دست آبشکن‌های تحقیق حاضر، در تراز تقریباً معادل ۶۰ درصد عمق جریان از کف ($Z/H=0/60$) آورده شده است. مشاهدات آزمایشگاهی انجام شده نشان می‌دهد که در اثر برخورد جریان با آبشکن مستقیم یک موج خمیده در سطح آب و در دماغه آبشکن شکل می‌گیرد که بر جریان بالادست آبشکن تأثیر می‌گذارد و همچنین سرعت جریان در ناحیه پشت آبشکن کاهش و در نواحی میانی افزایش می‌یابد که باعث ایجاد یک صفحه جدایی جریان و تشکیل گردابه در پایین‌دست سازه می‌شود. در نواحی بالادست آبشکن‌ها خطوط جریان موازی با دیواره‌های کانال می‌باشد و با نزدیک شدن به آبشکن، به‌علت جدایی جریان، به‌سمت نواحی میانی کانال منحرف می‌شود. همان‌طور که در شکل (۷-a) مشاهده می‌شود در اثر برخورد جریان به آبشکن مستقیم، جریان به سمت دماغه آبشکن منحرف می‌شود و در پایین‌دست آبشکن و نزدیک به دیواره کانال در ناحیه پشت آبشکن جریان گردابی رخ می‌دهد. همچنین جریان عرضی قوی

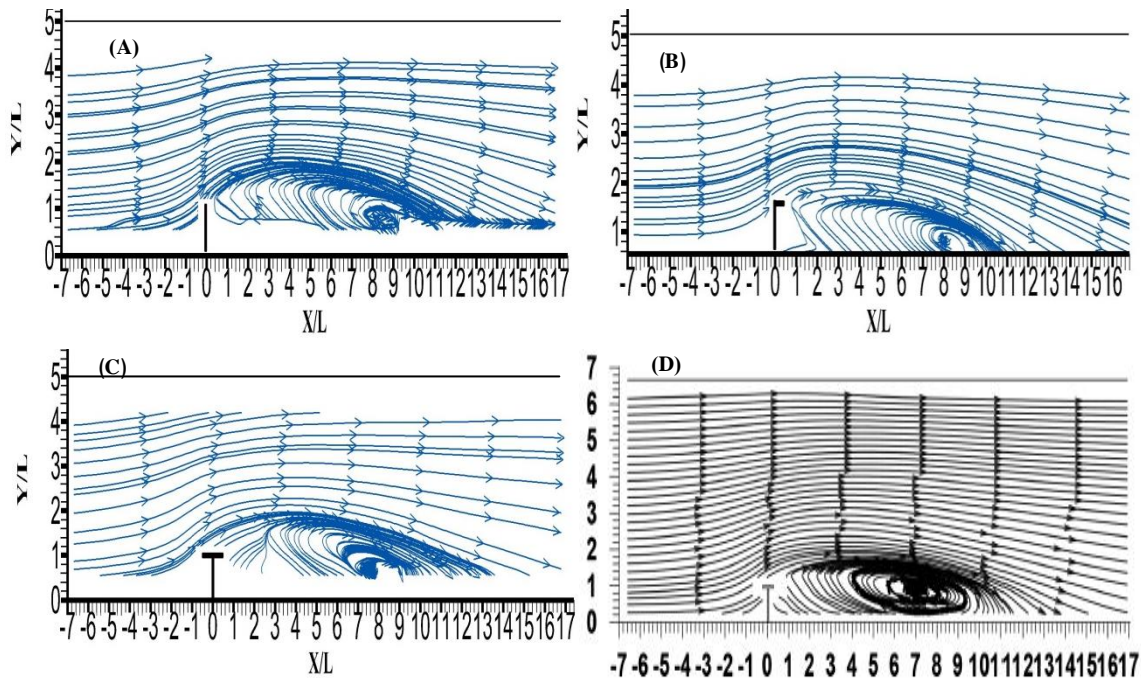


Fig 7- The comparison of flow lines around the groyne at the level of 60 percent of flow depth from the bed:(A, B, C) present study and (D) Safarzadeh et al. (2016) study

شکل ۷- مقایسه خطوط جریان حول آبشکن در تراز ۶۰ درصد از بستر: (الف-ب-ج) مطالعه حاضر و (د) مطالعه (2016) Safarzadeh et al.

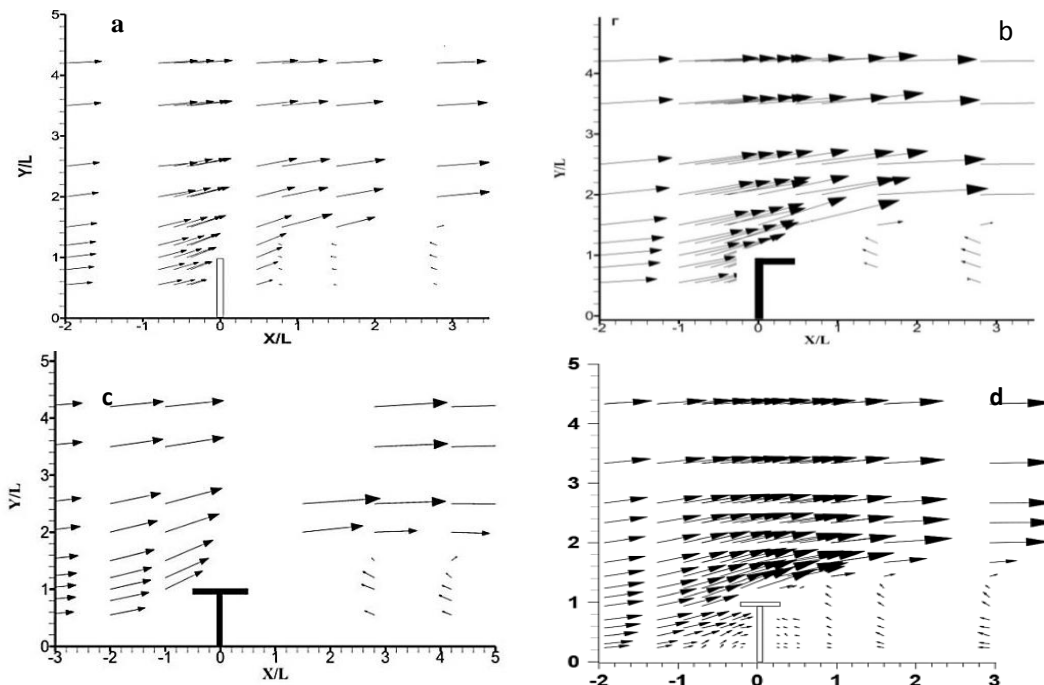


Fig 8- The comparison Velocity vectors at different horizontal planes for various tested groynes at the level of 60 percent of flow depth from the bed:(A, B, C) present study and (D) Safarzadeh et al. (2016) study

شکل ۸- مقایسه بردارهای سرعت در صفحات افقی اطراف آبشکن در تراز ۶۰ درصد از بستر: (a-b-c) مطالعه حاضر و (د) مطالعه (2016) Safarzadeh et al.

جدول ۳- طول و فاصله جانبی بی‌بعد از ناحیه گردابی در نزدیکی سطح جریان ($Z/H=0/6$)
Table 3- dimensionless length and lateral from vortices zone nearby the surface flow

Groyne	Yr/L	Xr/L
Staight Groyne	2.4	11
T-shape Groyne	1.8	9.9
L-shape Groyne	2.2	9.5

در دماغه آبشکن‌ها مورد مطالعه در تراز ارتفاعی ۹ سانتی‌متری از کف می‌باشد. مطابق شکل برای هر سه آبشکن سرعت متوسط در دیواره‌ها برابر با صفر در نظر گرفته شده است. همچنین به دلیل حد انقباض ناشی از احداث آبشکن و عرض ناحیه جدایی جریان در جلوی آبشکن، سرعت جریان در دماغه آبشکن نسبت به نواحی دیگر حداکثر است. در آبشکن تیغه‌ای به فاصله کمی از دماغه (ناحیه جدایی جریان)، سرعت طولی جریان حداکثر و تا نزدیک دیواره کانال ادامه داشته که در شکل ۱۰- ب نیز نشان داده شده است. آبشکن L نیز مشابه آبشکن تیغه‌ای بوده و به فاصله کمی از دماغه آبشکن (ناحیه جدایی جریان)، سرعت طولی جریان حداکثر و تا دیواره‌ی کانال ادامه یافته است. همچنین در آبشکن T شکل به فاصله‌ای برابر با طول آبشکن از دماغه سرعت جریان حداکثر و پس از آن سرعت تا دیواره‌ی کناری کانال روندی کاهشی داشته است. مطابق شکل (۱۱) تغییرات سرعت جریان در مقطع تنگ‌شدگی جریان نشان می‌دهد، تغییر سرعت جریان در آبشکن تیغه‌ای بیشتر از دو آبشکن دیگر بوده است. در شکل (۱۲) توزیع مؤلفه‌ی عمودی سرعت جریان در تراز ۰/۶ سانتی‌متری از کف در اطراف آبشکن‌های تحقیق حاضر و مطالعه Safarzadeh et al. (2016) نشان داده شده است.

با توجه به شکل (۱۲- الف) حداکثر مقدار مؤلفه‌ی عمودی جریان در جهت رو به پایین و در محل دماغه آبشکن مستقیم رخ داده است. شکل‌گیری این ناحیه با حداکثر سرعت رو به پایین در بالادست دماغه آبشکن مستقیم را می‌توان به وجود گردابه‌های نعل اسبی در جلوی دماغه آبشکن مستقیم و انحراف جریان به سمت مرکز کانال نسبت داد. همچنین مقایسه شکل (۱۲) a, b و c نشان می‌دهد حداکثر مؤلفه سرعت عمودی جریان در بالادست و دماغه آبشکن‌ها شکل گرفته و شدت آن در آبشکن مستقیم بیشتر از دو آبشکن دیگر در این مطالعه می‌باشد. با مقایسه شکل (۱۲) d و c مشاهده می‌شود ناحیه حداکثری مؤلفه عمودی سرعت جریان در مطالعه حاضر رو به پایین‌دست دماغه آبشکن شکل گرفته است درحالی‌که در مطالعه صفرزاده و همکاران این ناحیه دقیقاً در دماغه آبشکن‌ها رخ داده است. علت این تفاوت در محل تشکیل این ناحیه رو به پایین را می‌توان به تفاوت در درصد انقباض عرضی کانال نسبت داد.

طول بی‌بعد صفحه برشی جریان (Xr/L) و حداکثر فاصله عرضی از ناحیه جداشدگی اصلی (Yr/L) (در هر صفحه افقی مقدار مؤلفه سرعت در جهت جریان در دیواره‌ی کانال صفر در نظر گرفته شده است) برای آبشکن‌های مورد مطالعه در نزدیکی سطح جریان، در جدول (۳) ارائه شده است. با توجه به اطلاعات جدول (۳)، فاصله عرضی از ناحیه جداشدگی جریان در آبشکن T شکل کمتر از آبشکن L شکل و مستقیم بوده و گردابه شکل گرفته در پایین‌دست آبشکن مستقیم، گستره طولی و عرضی بیشتری نسبت به دو آبشکن دیگر دارد. همچنین این مقدار در آبشکن L شکل نسبت به آبشکن T شکل بیشتر است. بنابراین می‌توان بیان نمود با افزایش طول بال آبشکن، گسترده طولی گردابه پایین‌دست آبشکن کاهش می‌یابد. این نتیجه شبیه مشاهدات تحقیقات قبلی می‌باشد (Safarzadeh et al., 2016; Rajaratnam and Nwachukwu, 1983).

در شکل (۹) نحوه‌ی تغییرات جریان در مقطع طولی (به فاصله ۰/۵۵، ۰/۸ و ۱ برابر طول آبشکن از دیواره‌ی فلوم) در بالادست آبشکن‌ها نشان داده شده است. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود از ترکیب جریان‌های طولی و عرضی، گردابه‌های نعل اسبی در نزدیکی آبشکن تشکیل می‌شود که در آبشکن مستقیم به فاصله ۰/۸ برابر طول آبشکن از دیواره فلوم این گردابه‌ها به‌طور کامل تشکیل می‌شود. در شکل (۱۰) مقادیر سرعت متوسط زمانی ($U = \sqrt{u^2 + v^2 + w^2}$) در ترازهای ۰/۶ و ۹ سانتی‌متری از کف در آبشکن‌های مورد مطالعه نشان داده شده است. این تصاویر نشان‌دهنده‌ی وجود ناحیه‌ای با سرعت حداکثر در بالادست آبشکن‌ها می‌باشد که در امتداد لایه برشی و در جهت جریان می‌باشد. همچنین گسترش این ناحیه با سرعت حداکثر به سمت مرکز جریان و دیواره‌ی سمت چپ کانال می‌باشد. مقایسه تصاویر، شکل (۹) نشان می‌دهد که شدت سرعت متوسط زمانی به دلیل هندسه آبشکن و حد انقباض مقطع کانال و همچنین عرض زیاد ناحیه جدایی در آبشکن مستقیم بیشتر از آبشکن T و L شکل است. همچنین مقایسه‌ی شدت سرعت متوسط زمانی در ترازهای ۰/۶ و ۹ سانتی‌متری از کف در هر سه آبشکن مورد مطالعه، نشان می‌دهد که شدت سرعت متوسط زمانی در لایه‌ی فوقانی جریان بیشتر از لایه نزدیک به بستر می‌باشد. شکل (۱۱) نشان‌دهنده‌ی پروفیل عرضی سرعت جریان

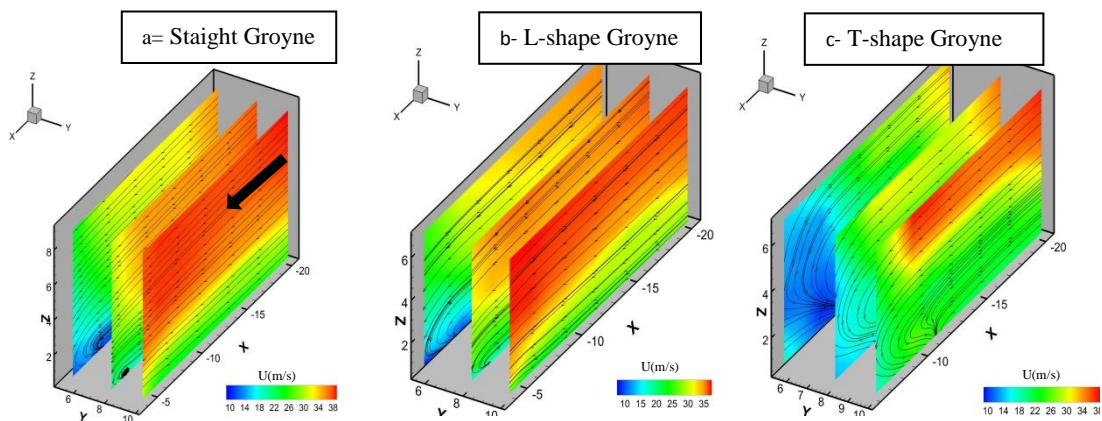


Fig 9- Upstream flow pattern of groyne in the longitudinal cross section with the 5.5, 8 and 10 cm distance from groyne bank and contours of average velocity time

شکل ۹- الگوی جریان بالادست آبشکن در مقطع طولی به فاصله ۵/۵، ۸ و ۱۰ سانتی متری عرض کانال از ساحل مجاور آبشکن و کانتور سرعت متوسط زمانی جریان

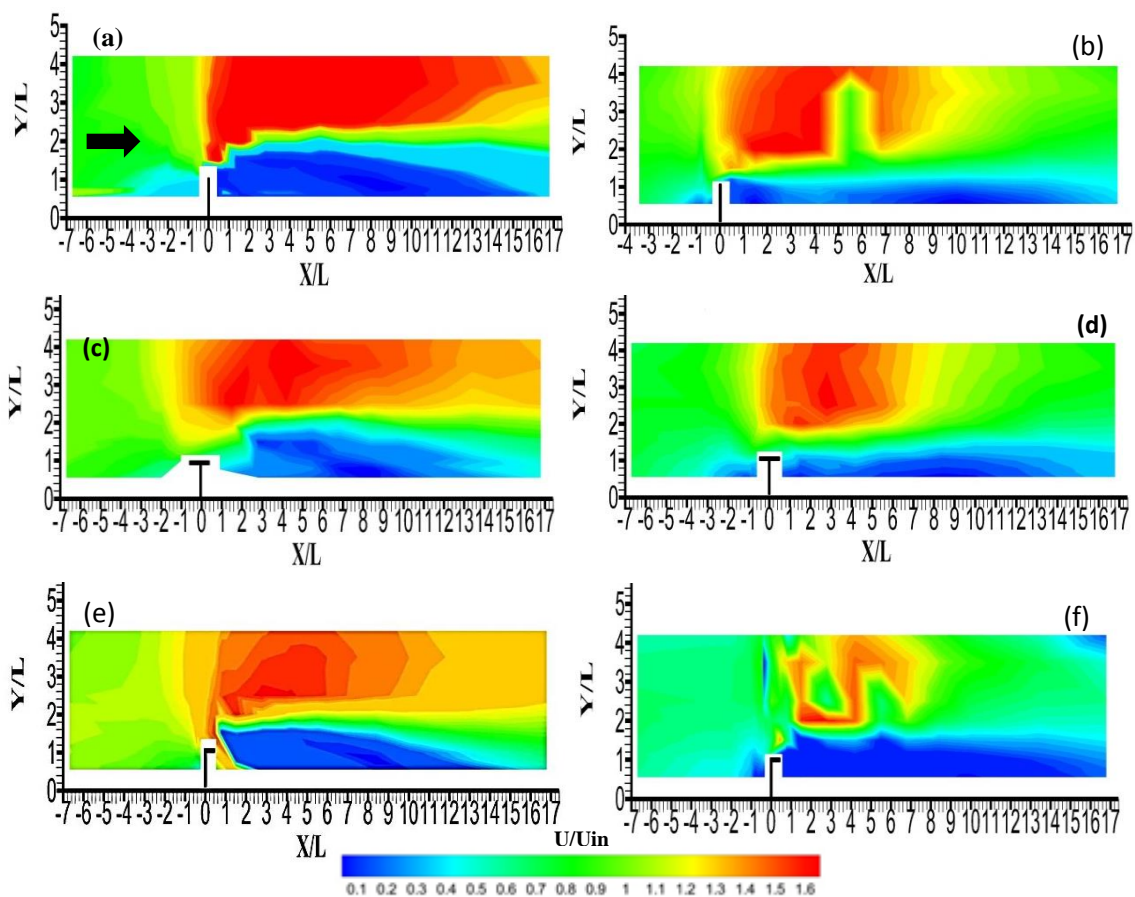


Fig 10-The magnitude of flow average velocity at (a-b-c) level of 0.6 and (d-e-f) 9 of flow depth from the bed

شکل ۱۰- بزرگی سرعت زمانی متوسط در (الف-ج-ه) تراز ۰/۶ و (ب-د-و) تراز ۹ سانتی متری از کف

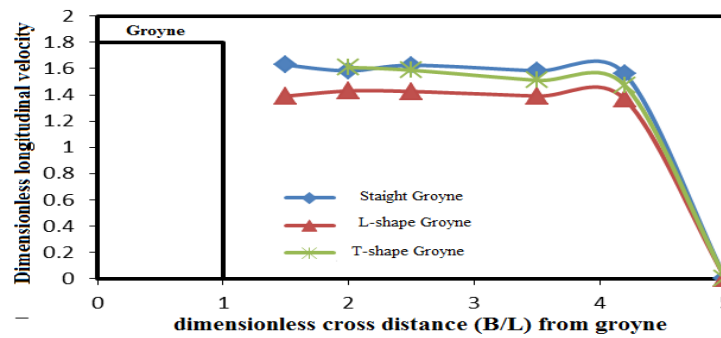


Fig11- Flow velocity of cross section in constriction of channel for 3 groyne

شکل ۱۱- پروفیل عرضی سرعت جریان در مقطع انقباض کانال برای سه آبشکن

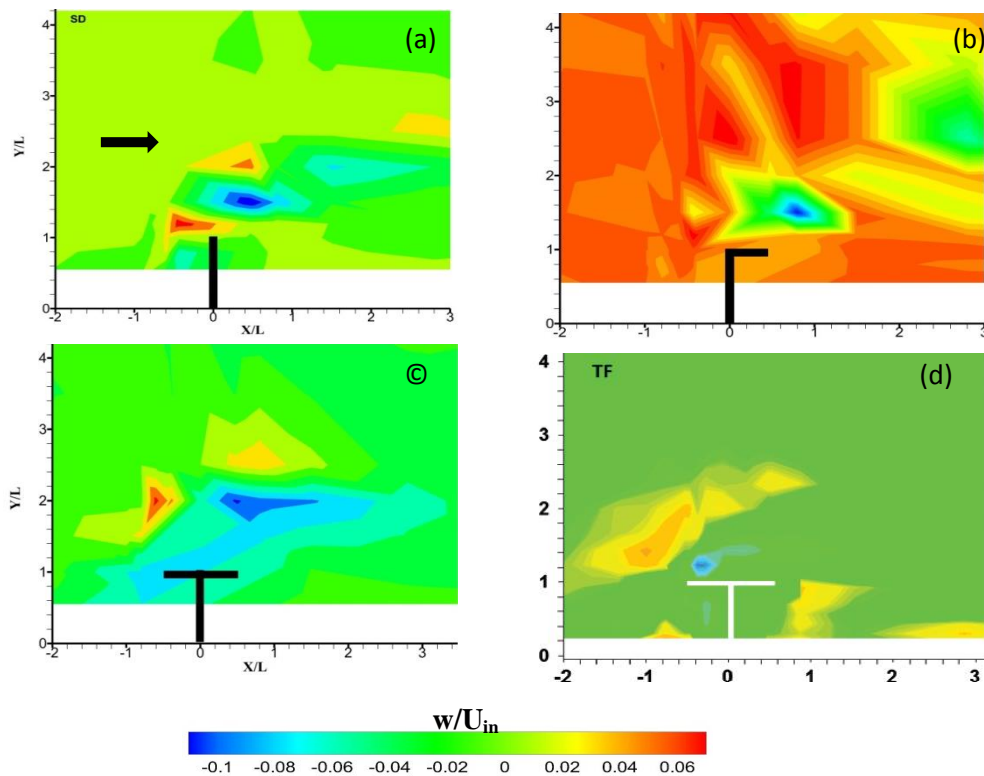


Fig 12- The comparison of vertical component around the groyne at the level of 0.6cm of flow depth from the bed: (A, B, C) present study and (D) Safarzadeh et al. (2016) study

شکل ۱۲- مقایسه مؤلفه عمودی سرعت جریان در تراز ۰/۶ سانتی متری از کف جریان در اطراف آبشکن (الف- ب- ج) مطالعه حاضر و (د) مطالعه Safarzadeh et al. (2016)

آبشکن مستقیم بیشتر از دو آبشکن دیگر بوده است. تشکیل این ناحیه بسیار آشفته به علت شکل گیری گردابه‌های نعل اسبی در دماغه آبشکن نسبت داده می‌شود. همچنین گسترش و کشیدگی TKE منطبق بر صفحه جدایی جریان بوده و گسترش آن در پایین دست آبشکن مستقیم به ترتیب ۱۶/۴۵ درصد و ۴/۹۵ درصد بیشتر از آبشکن‌های T و L شکل می‌باشد. این پدیده به شکل گیری گردابه‌های پایین دست آبشکن T و L شکل نسبت داده می‌شود. همچنین به علت بالا بودن سرعت جریان در لایه فوقانی جریان نسبت به لایه‌های نزدیک بستر، توزیع انرژی جنبشی در لایه فوقانی بیشتر از لایه نزدیک به کف می‌باشد.

انرژی جنبشی آشفتگی

توزیع انرژی جنبشی آشفتگی (TKE = $0.5[u'^2 + v'^2 + w'^2]$) برای هر سه آبشکن مورد مطالعه در ترازهای ۰/۶ و ۰/۹ سانتی متری از کف در شکل (۱۳) نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل (۱۳) نشان داده شده است، حداکثر آشفتگی در امتداد لایه جدایی جریان شکل گرفته است، همچنین در تراز نزدیک به بستر یک ناحیه آشفته در دماغه آبشکن‌ها نیز تشکیل شده که این ناحیه از بالادست آب-شکن آغاز و با زاویه حدود ۴۵ درجه در امتداد لایه جدایی جریان، تا پایین دست گسترش یافته است. شدت آشفتگی این ناحیه در

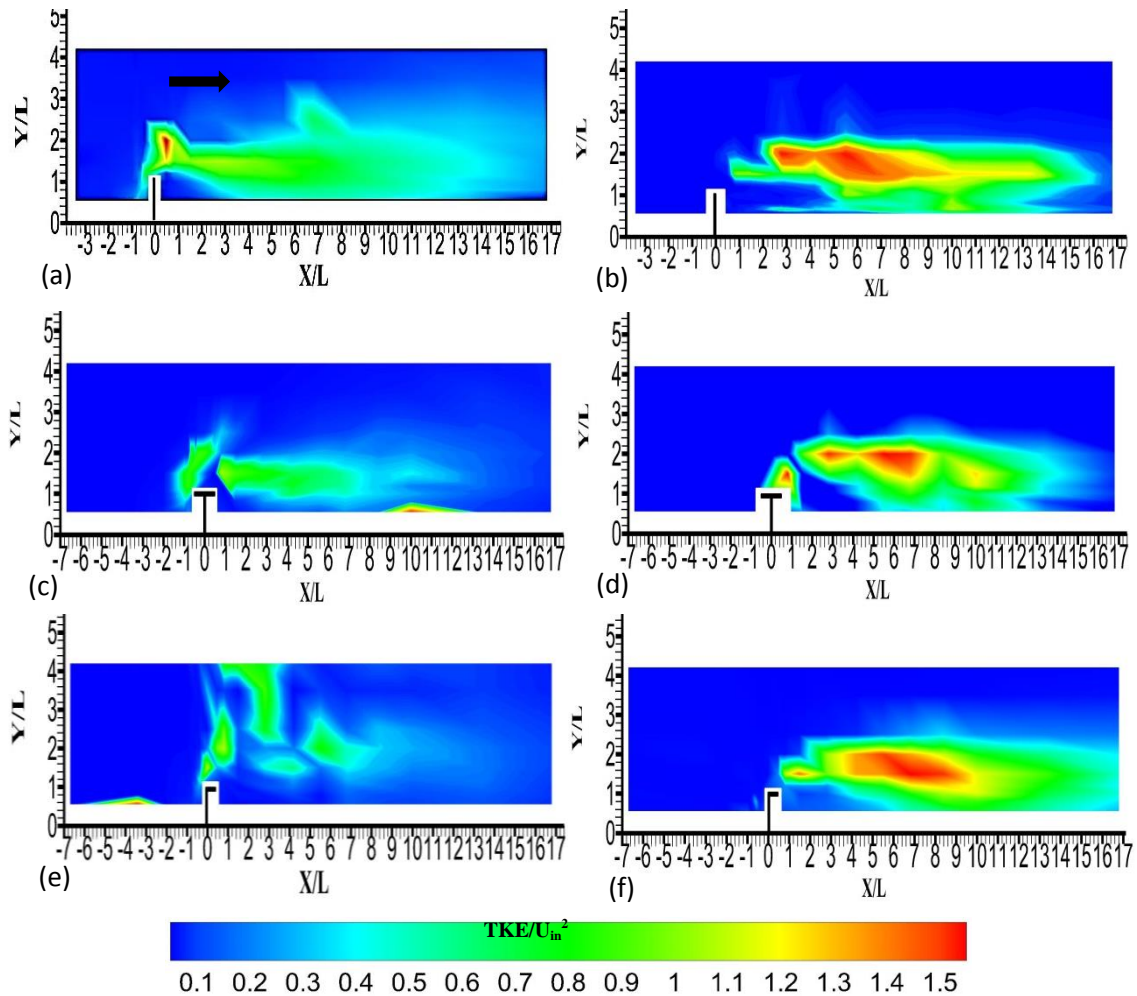


Fig 13- Distribution of turbulence intensity of the flow in (a-b-c) 0.6 cm and (d-e-f)9 cm level of flow depth from the bed in Straight Groyne, T-shaped and L-shaped groynes

شکل ۱۳- توزیع شدت آشفتگی جریان در (الف-ج-ه) تراز ۰/۶ و (ب-د-و) تراز ۹ سانتی متری در آبشکن های تیغه ای، L و T شکل

جریان در آبشکن های مستقیم، T شکل و L شکل به ترتیب ۱۰، ۹/۹ و ۹/۵ برابر طول جان آبشکن بود. بنابراین می توان بیان نمود با افزایش طول بال آبشکن گسترده طولی گردابه پایین دست آبشکن کاهش می یابد. همچنین حداکثر مؤلفه سرعت عمودی جریان رو به پایین دست دماغه آبشکن شکل گرفته است و شدت آن در آبشکن مستقیم بیشتر از دو آبشکن دیگر در این مطالعه می باشد. حداکثر شدت آشفتگی جریان (TKE) در امتداد لایه برشی و در آبشکن تیغه ای بوده و گسترش آن در پایین دست آبشکن تیغه ای به ترتیب ۱۶/۴۵ درصد و ۴/۹۵ درصد بیشتر از آبشکن های T و L شکل می باشد.

تشکر و قدردانی

بدینوسیله از دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان جهت ارائه تسهیلات و امکانات آزمایشگاهی این تحقیق تشکر و قدردانی می نماید.

نتیجه گیری

در این تحقیق به بررسی ساختار جریان سه بعدی و آشفتگی اطراف آبشکن های تیغه ای، T شکل و L شکل در یک کانال مستقیم با بستر صاف با دستگاه سرعت سنج سه بعدی و کترینو که یکی از پیشرفته ترین انواع سرعت سنج های صوتی (ADV) می باشد، پرداخته شده است. با بررسی خطوط جریان در بالادست و پایین دست آبشکن ها در تراز ۶۰ درصدی ارتفاع جریان از کف، مشاهده شد که نقطه جدایی جریان به فاصله ۲ برابر طول آبشکن ها و در بالادست آبشکن ها می باشد. همچنین انحنای جریان به سمت مرکز جریان و در آبشکن تیغه ای بیشتر از آبشکن L شکل و T شکل می باشد که با نتایج مطالعه Safarzadeh et al. (2016) تطابق دارد. بررسی های انجام شده حاکی از آن است که گردابه شکل گرفته در پایین دست سازه بیشتر در جهت فوقانی جریان توسعه می یابد و گسترش این جریان گردابی در جهت عرضی نیز افزایش می یابد. طول صفحه ی برشی

References

- 1- Abbasi, A.A. and Malek Nejad Yazdi, M. 2014. Experimental investigation on the effect of length, space and shape of Gabion Groynes on local scouring depth. *Journal of Water and Soil Conservation*. Vol. 21(4). (In Persian).
- 2- Alizadeh Armaki, H., Vaghafi, M., Ghodsian, M. and Khosravi, M. 2015. Experimental Investigation of Flow and Scour Pattern around Submerged Attracting and Repelling T head Spur Dike. *Modares Civil Engineering Journal (MCEJ)*. Vol. 15. (In Persian).
- 3- Barua, D. K., and K. H. Rahman. 1998. Some aspects of turbulent flow structure in large alluvial rivers. *Journal of Hydraulic Research.*, 36(2), 235-252.
- 4- Dehghani, A.A., Barzli, M., Fazloulou, R. and Zea Tabar Ahmadi, M.KH. 2009. Experimental study of scouring around a series of L-head groynes. *Journal of Water and Soil Conservation*. Vol. 16(3). (In Persian).
- 5- Duan, J., 2009. Mean flow and turbulence around a laboratory spur dike. *Journal of Hydraulic Engineering.*, 135(10), 803-811.
- 6- Duan, J., He, L., Fu, X., and Q. Wang. 2009. Mean flow and turbulence around an experimental spur dike. *Adv. Water Resour.*, 32(12), 1717-1725.
- 7- Ettema, R., and Muste, M. 2004. Scale effects in flume experiments on flow around a spur dike in flat bed channel. *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*, 130(7), 635-646.
- 8- González-Castro, J. A., K. Oberg, and Duncker, J. J. 2000. Effect of temporal resolution on the accuracy of ADCP measurements. In *Building Partnerships*, 1-9.
- 9- Hoseinzade Tabrizi, H., Vaghefi, M. and Ghodsian, M. 2014. Effect of Froude Number on flow pattern and scour around T-shaped spur dikes under submerged and unsubmerged conditions. *Modares Civil Engineering Journal (M.C.E.J)*. Vol. 14, No. 2. (In Persian).
- 10- Koken, M., and G., Constantinescu, 2009. An investigation of the dynamics of coherent structures in a turbulent channel flow with a vertical sidewall obstruction. *Phys. Fluids*, 21(8).
- 11- Koken, M., G., Constantinescu, 2008. An investigation of the flow and scour mechanisms around isolated spur dikes in a shallow open channel: 1. Conditions corresponding to the initiation of the erosion and deposition process. *Water Resources Research*, 44(8), W08406.
- 12- Kuhnle, R., and C., Alonso, 2013. Flow near a model spur dike with a fixed scoured bed. *International Journal of Sediment Research*, 28(3), 349-357.
- 13- Kumar, M., and A., Malik, 2016. 3D Simulation of flow around different types of groyne using aNSYS fluent. *Imperial Journal of Interdisciplinary Research*, 2(10).
- 14- Kwan, T. F. 1988. A study of abutment scour. Rep. No. 451, School of Engineering, Univ. of Auckland, Auckland, New Zealand.
- 15- Li, H., Barkdoll, B. D., Kuhnle, R., and C., Alonso, 2006. Parallel walls as an abutment scour countermeasure. *Journal of Hydraulic Engineering*, 132(5), 510-520.
- 16- Mehraein, M., Ghodsian, M. and Khodravi M, M. 2016. Experimental study of submergence effect on turbulent parameter around spur dike located in a 90 bed. *Modares Civil Engineering Journal (MCEJ)*. Vol. 16. (In Persian).
- 17- Moosavi, B., Saneie, M., Salajeghe, M. and Motamed Vaziri, B. 2010. *Iran-Watershed Management Science & Engineering*. Vol. 4, No. 12. (In Persian).

- 18- Noorbakhsh Saleh, S.M., Vaghefi, M. and Ghodsian, M. 2013. Experimental Investigation of Scour Pattern around Submerged T-Shape Spur Dike in Straight Channel. *Iran-Water Resources Research*. Vol. 9, No. 2. (In Persian).
- 19- Paik, J., and F., Sotiropoulos, 2005. Coherent structure dynamics upstream of a long rectangular block at the side of a large aspect ratio channel. *Phys. Fluids*, 17(11).
- 20- Rajaratnam, N. and B., Nwachukwu, 1983. Erosion near groyne-like structures. *Journal of Hydraulic Research*., 21(4), 277-287.
- 21- Rhoads, B. L., and A. N. Sukhodolov. 2001. Field investigation of three-dimensional flow structure at stream confluences: 1. Thermal mixing and time-averaged velocities. *Water Resources Research*, 37(9), 2393-2410.
- 22- Safarzadeh, Z. and Safarzadeh, A. 2016. Experimental Study of Turbulent Flow Structures in Two Groynes Field using PIV Method. *Modares Civil Engineering Journal (M.C.E.J)*. Vol. 16, No. 1. (In Persian).
- 23- Safarzadeh, A., Salehi Neyshabouri, S. A. A., and A.R., Zarrati, 2016. Experimental investigation on 3D turbulent flow around straight and T-shaped groynes in a flat bed channel. *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*, 142(8).
- 24- Vaghefi, M. Ghodsian, M. and Akbari, M. 2016. The Effect of Secondary Flow Strength on Bed Shear Stress around T-Shaped Spur Dike Locating in Various Positions of a 90 Degree Bend with Rigid Bed. *J. Sci. & Technol. Agric. & Natur. Resour., Water and Soil Sci.*, Vol. 20, No. 75. (In Persian).