

# بررسی تاثیر استغراق آبشکن بر پارامترهای آشفستگی در اطراف آبشکن مستقر در قوس ۹۰°

مجتبی مهرآیین<sup>۱\*</sup>، مسعود قدسیان<sup>۲</sup>، مجتبی خسروی مشیزی<sup>۳</sup>

۱. استادیار گروه عمران دانشگاه خوارزمی

۲. استاد پژوهشکده آب دانشگاه تربیت مدرس

۳. دانش آموخته کارشناسی ارشد دانشگاه تربیت مدرس

Mehraein@khu.ac.ir

تاریخ پذیرش: [۱۳۹۴/۱/۱۸]

تاریخ دریافت: [۱۳۹۳/۲/۳۰]

**چکیده-** در این پژوهش میدان جریان اطراف آبشکن T شکل مستقر در قوس ۹۰° با مطالعه پارامترهای آماری بررسی شد. برای این منظور از دو آبشکن با درصد استغراق ۵٪ و ۵۰٪ استفاده شد. آبشکن‌ها در زاویه ۴۵° نسبت به ابتدای قوس قرار گرفتند و آزمایش‌ها در شرایط کف صلب (بدون حرکت رسوبات) انجام شد. در این پژوهش میدان جریان اطراف آبشکن مستغرق بررسی و احتمال ایجاد پدیده‌های چهارگانه آشفستگی و تنش‌های رینولدز در جهت‌های طولی و عرضی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این پژوهش نشان دهنده تشکیل دو جریان ثانویه در امتداد عرض کانال است. در نزدیک نوک بالادست آبشکن تنش‌های رینولدز برشی بزرگتری در آبشکن با ۵٪ استغراق مشاهده شد که نشان دهنده قدرت بیشتر گردابه نعل اسبی به دلیل جریان روبه پایین قوی تر در این ناحیه است. توسعه حفره آبشستگی به سمت پایین دست در امتداد لایه برشی می‌تواند به دلیل احتمال بیشتر پدیده‌های آشفستگی بیرون‌رانی و جارویی و افزایش تنش‌های رینولدز برشی در این ناحیه باشد. تنش‌های رینولدز برشی نیز در نزدیک کف در لایه برشی اطراف آبشکن با ۵٪ استغراق بیشتر از آبشکن با ۵۰٪ استغراق است و عامل توسعه بیشتر حفره آبشستگی به سمت پایین دست در آبشکن با درصد استغراق کمتر است.

**واژگان کلیدی:** آبشکن مستغرق، جریان آشفته، پارامترهای آماری، پدیده‌های چهارگانه.

## ۱- مقدمه

[3]. این پژوهش‌ها در مورد ابعاد حفره آبشستگی اطراف آبشکن‌های غیر مستغرق انجام شده است و تاکنون پژوهش‌های بسیار کمی به وسیله Elawady and Mansanory (2000) در مورد ابعاد آبشستگی در اطراف آبشکن‌های مستغرق انجام شده است [4, 5]. بررسی میدان جریان اطراف آبشکن‌ها می‌تواند در آنالیز بهتر روند آبشستگی و رسوبگذاری در اطراف آبشکن‌ها موثر باشد. از این رو پژوهش‌های متنوعی در این مورد به وسیله پژوهشگران مختلف از جمله Duan et al. (2011), Vaghefi et al. (2009), (2009) انجام شده است [6-9]. در این پژوهش‌ها بررسی میدان جریان اطراف آبشکن غیر مستغرق با استفاده از اندازه‌گیری سرعت به وسیله دستگاه ADV انجام شده است. (Duan et al. (2011) به

آبشکن‌ها سازه‌هایی است که برای ساماندهی سواحل رودخانه‌ها استفاده می‌شوند. این نوع سازه‌ها با منحرف کردن جریان از ساحل نزدیک (ساحلی که آبشکن در آن قرار می‌گیرد) به سمت ساحل دور باعث جلوگیری از رسوبگذاری در آن ساحل می‌شود که در نتیجه‌ی آن شرایط مناسبتری برای کشتیرانی در نزدیک ساحل دور ایجاد می‌کند. توسعه‌ی حفره آبشستگی تشکیل شده در اطراف آبشکن می‌تواند موجب تخریب آبشکن‌ها شود بنابراین پژوهش‌های بسیاری در مورد تخمین ابعاد حفره آبشستگی در اطراف آبشکن‌ها انجام شده است که می‌توان به پژوهش‌های انجام شده به وسیله Coleman et al. (2012), Vaghfi et al. (2008), Fazli et al. (2003) اشاره کرد [1-

کمتر اتفاق می‌افتد [13]. ایشان نشان دادند که اندرکنش بین ذرات رسوب و پدیده انفجار آشفته‌گی موجب انتقال رسوبات به صورت بار بستر و بار معلق خواهد شد. طبق نظر Nelson et al. (1995) پدیده جاروبی موجب افزایش تنش برشی وارد بر کف خواهد شد در حالی که پدیده اندرکنش رو به بیرون موجب کاهش تنش برشی وارد بر کف خواهد شد [17]. پژوهش‌های (Kaftori et al. (1998), Papanicolaou et al. (2001) نشان داده است که افزایش زبری کف موجب افزایش پدیده‌های اندرکنشی خواهد شد در حالی که پدیده‌های بیرون‌رانی و جاروبی با افزایش زبری بستر کاهش می‌یابند [18, 19].

با توجه به مطالب ارایه شده در این بخش بررسی میدان جریان اطراف آبشکن‌های مستغرق هنوز در مراحل ابتدایی است علاوه بر این تا به حال پژوهشی در مورد تاثیر استغراق بر پدیده انفجار آشفته‌گی اطراف آبشکن‌های T شکل مستقر در قوس  $90^\circ$  انجام نشده است و لازم است در این مورد پژوهشی برای شناخت بهتر این پدیده‌ها و ارتباط آنها با فرآیند آبشستگی انجام شود. از این رو در این پژوهش پدیده انفجار آشفته‌گی در اطراف آبشکن‌های مستغرق، تاثیر استغراق بر میدان جریان و پارامترهای آماری مشخص کننده پدیده‌های انفجار آشفته‌گی و ارتباط آن با فرآیند آبشستگی بررسی خواهد شد.

## ۲- وسایل و روش انجام آزمایش

آزمایش‌ها در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه تربیت مدرس در کانالی با قوس  $90^\circ$  انجام شد. عرض کانال  $0/6$  متر و ارتفاع آن  $0/7$  متر است. کانال شامل دو بخش مستقیم است که به وسیله قوس  $90^\circ$  به یکدیگر متصل شده است. طول کانال مستقیم بالادست و پایین‌دست به ترتیب  $7/1$ ،  $5/2$  متر بود. کانال‌های مستقیم قرارگرفته در بالادست و پایین‌دست به وسیله قوس  $90^\circ$  به یکدیگر متصل شدند. شعاع انحنای مرکزی قوس  $2/4$  متر بود. جنس دیواره‌های کانال از شیشه بود. برای تنظیم عمق آب در کانال از دریچه پروانه‌ای موجود در انتهای کانال استفاده شد. اندازه‌گیری دبی جریان به وسیله مانومتر کالیبره شده انجام شد. آبشکن‌ها از جنس پلکسی گلاس با ضخامت  $1$  سانتی‌متر ساخته شد. طول بال

بررسی میدان جریان اطراف آبشکن غیر مستغرق تیغه‌ای پرداخت و پدیده انفجار آشفته‌گی در عمق جریان را تجزیه و تحلیل کرد. (Vaghefi et al. (2009) میدان جریان اطراف آبشکن T شکل غیر مستغرق قرار گرفته در قوس  $90^\circ$  را با استفاده از خطوط جریان بررسی کردند [9, 11]. (Duan et al. (2009) میدان جریان اطراف آبشکن تیغه‌ای غیر مستغرق را بررسی کرد. بیشتر تحلیل‌های انجام شده در پژوهش (Duan et al. (2009) مربوط به بررسی پارامترهای آشفته‌گی از جمله انرژی جنبشی آشفته‌گی، نوسانات سرعت، تنش‌های رینولدز و تنش برشی وارد بر کف بود [7]. پژوهش‌های بسیار کمی در مورد میدان جریان اطراف آبشکن‌های مستغرق انجام شده است که از جمله این پژوهش‌ها می‌توان به پژوهش خسروی مشیزی (1390)، نوربخش (Elawady and Mansanory (2001), Kuhnle et al. (2008), اشاره کرد [8, 11, 12, 13]. خسروی مشیزی (1390) و نوربخش (1390) به بررسی تنش‌های برشی وارد بر کف و خطوط جریان پرداختند [8, 11]. (Kuhnle et al. (2008 مدلی عددی را برای شبیه‌سازی میدان جریان اطراف آبشکن‌های مستغرق دوزنقه‌ای توسعه داد و (Elawady and Mansanory (2001) میدان جریان اطراف آبشکن‌های مستغرق را به صورت کیفی و با استفاده از تزریق ماده رنگی بررسی کردند [10, 12]. پدیده‌های انفجار آشفته‌گی موجب نوسانات شدید فشار و در نتیجه سبب حرکت رسوبات خواهد شد. ارتباط بین فرآیند آبشستگی و پدیده انفجار آشفته‌گی نزدیک کف به وسیله پژوهشگران مختلف از جمله (Nezu and Nakagawa (1993) و (Cuthbertson and Ervine (2005) انجام شده است [13, 14]. (Throne et al. (1989 نشان داد که در شرایطی که فشار لحظه‌ای در نزدیک ذره رسوب کمتر از فشار متوسط می‌شود، پدیده بیرون‌رانی موجب انتقال رسوبات خواهند شد [15]. بر طبق پژوهش‌های (Bridge and Bennet (1992) پدیده‌های بیرون‌رانی و جاروبی ارتباط زمانی با یکدیگر دارند و پدیده جاروبی موجب انتقال رسوبات به صورت بار بستر خواهد شد در حالی که پدیده بیرون‌رانی موجب انتقال رسوبات به صورت بار معلق خواهد شد [16]. (Nezu and Nakagawa (1993) نشان دادند که پدیده‌های اندرکنشی نسبت به پدیده‌های بیرون‌رانی و جاروبی

در این پژوهش برداشت سرعت لحظه‌ای در هر نقطه تا زمانی ادامه یافت که بیشینه تغییرات انرژی جنبشی آشفتگی با افزایش مدت زمان برداشت داده‌ها کمتر از ۵٪ باشد. از این رو محدوده زمانی برداشت داده‌ها از ۱ تا ۴ دقیقه متغیر بود. از آنجایی که با افزایش فرکانس اندازه‌گیری سرعت داده‌های برداشت شده در هر نقطه نویزهای موجود در سری زمانی نیز افزایش می‌یابد، مطابق با پژوهش‌های پیشین از جمله Dey and Barbahuiya (2006) در مورد بررسی میدان جریان اطراف آبشکن‌ها است [۲۰].

### ۳- نتایج و بحث

#### ۳-۱- میدان جریان

شکل ۲ نشان دهنده خطوط جریان در مقطع  $0^\circ$  (ابتدای قوس)،  $35^\circ$  (بالادست آبشکن)،  $43/75^\circ$  (مقطع نوک بالادست آبشکن)، و  $67/25^\circ$  (مقطع نوک پایین دست آبشکن) است. اگر چه که مقطع  $0^\circ$  ابتدای قوس است (شکل ۲-الف)، اما جریانی عرضی از سمت دیواره خارجی به سمت دیواره داخلی وجود دارد که نشان از تاثیر گذاری جریان ثانویه موجود در قوس بر ابتدای قوس است. تاثیر جریان ثانویه تشکیل شده در قوس حتی در مقاطع قبل از قوس نیز گزارش شده است چنانچه طبق پژوهش‌های Rozovski (1957) باعث افزایش عمق آب در کانال مستقیم بالادست متصل به قوس می‌شود [21]. در مقطع  $35^\circ$  (شکل ۲-ب) دو جریان در عرض کانال مشاهده می‌شود که با نام‌های جریان ثانویه اول ( $R1$ ) و جریان ثانویه دوم ( $R2$ ) نام‌گذاری شده‌اند.  $R1$  در اثر نیروی گریز از مرکز قوس و ایجاد گرادیان فشار بین ساحل خارجی و داخلی ایجاد می‌شود که در اثر آن جریان در ترازهای نزدیک سطح آب از ساحل داخلی به خارجی و در ترازهای نزدیک بستر از دیواره خارجی کانال به سمت دیواره داخلی کانال ایجاد می‌شود.  $R2$  در اثر برخورد جریان ثانویه اول در ترازهای بالایی دیواره خارجی به دیواره خارجی کانال و تبدیل انرژی جنبشی جریان به انرژی پتانسیل و افزایش ارتفاع ستون آب در این منطقه ایجاد می‌شود. ایجاد ناحیه‌ای با سرعت کم در این منطقه و

و جان آبشکن ۹ cm بود که به صورت عمود به یکدیگر متصل شدند.

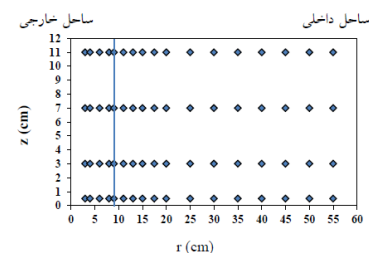
آبشکن در زاویه  $45^\circ$  نسبت به ابتدای قوس به صورتی به دیواره خارجی کانال متصل شد که جان آبشکن بر دیواره خارجی کانال عمود بود. آزمایش‌ها برای دو درصد استغراق ۵ و ۵۰ درصد انجام شد. استغراق آبشکن نسبت ارتفاع آب روی تاج آبشکن به ارتفاع تاج آبشکن تا بستر است. شرایط انجام آزمایش‌ها مطابق جدول (۱) است.

جدول (۱) شرایط انجام آزمایش‌ها

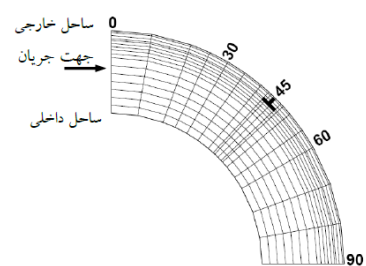
Q (m <sup>3</sup> /s) دبی جریان	H (cm) عمق جریان	h (cm) ارتفاع آبشکن	s (%) درصد استغراق
۰/۰۲۵	۱۱/۸	۵/۴	۵۰
۰/۰۲۵	۱۱/۸	۱۱/۲۱	۵

Table 1: Experimental conditions

شکل ۱- نقاطی که سرعت جریان در آنها اندازه‌گیری شده است: الف) پلان و ب) مقطع



(الف)



(ب)

Fig. 1 Measured points, a: Section view, b: Plan View

شکل (۱) نشان دهنده نقاطی است که سرعت جریان در آن نقاط اندازه‌گیری شده است. اندازه‌گیری سرعت جریان به وسیله‌ی دستگاه Vectrino انجام شد. این دستگاه سرعت لحظه‌ای نقاط را در محدوده ۱ mm/s تا ۴ m/s و تا فرکانس ۲۰۰ HZ برداشت می‌کند.

وجود دارد (شکل‌های ۲ ج و د) تشکیل جریان بالارونده در زاویه  $43/75^\circ$  در شرایط آبشکن  $50\%$  است که در نتیجه آن جریان روگذری شدیدی از روی آبشکن  $50\%$  تشکیل می‌شود. جریان روگذری تشکیل شده در آبشکن با درصد استغراق  $5\%$  بسیار ضعیف بوده و در اندازه گیری‌های سرعت به وسیله دستگاه ADV در این مقطع ( $\theta=43/75^\circ$ ) مشخص نمی‌شود. اما تریق رنگ در فواصل نزدیک به جان آبشکن وجود این جریان ضعیف را تایید می‌کند. شکل‌های (۲ و ۱) نشان دهنده خطوط جریان در مقطع  $\theta=46/25^\circ$  (نوک پایین دست آبشکن) است. در هر دو آبشکن مورد بررسی جریان روبه بالایی در پایین دست آبشکن تشکیل شده که به دلیل جریان روگذری از روی آبشکن است که موجب ایجاد جریان برگشتی در این ناحیه شده است. جریان برگشتی دیگری در شرایط استغراق  $50\%$  بوجود آمده است (R3) که به دلیل مکش جریان R1 و تاثیر آن بر جریان روگذری که در پایین دست آبشکن به سمت ترازهای پایین جریان حرکت می‌کند ایجاد می‌شود. از آنجایی که در شرایط آبشکن با استغراق  $5\%$  جریان روگذری بسیار ضعیفی ایجاد شده است

اعمال مومنتم از طریق R1 در مرز جریان ثانویه اول و این منطقه سبب ایجاد جریان ثانویه دوم (R2) می‌شود که جهت چرخش این ناحیه خلاف جهت حرکت R1 است. در مقطع  $\theta=43/75^\circ$  (شکل‌های ۲ ج و د)، R2 در ناحیه نزدیک سطح آب در ساحل خارجی ایجاد نمی‌شود. در حد فاصل بال آبشکن  $5\%$  تا دیواره خارجی (شکل ۲-ج) قسمتی از جریان در تراز نزدیک سطح آب به سمت دیواره خارجی متمایل شده و سپس به سمت کف کانال منحرف می‌شود. در این مقطع کل جریان نزدیک شونده به آبشکن به سمت بستر منحرف شده و در نتیجه آن جریان پایین رونده قوی در این منطقه بوجود می‌آید. قسمتی از جریان پایین رونده در اثر برخورد با کف کانال بسمت دیواره داخلی و قسمت دیگر به سمت بال آبشکن متمایل می‌شود. جریانی که به سمت بال آبشکن متمایل می‌شود در اثر اندرکنش با جریان بالادست گردابه نعل اسبی را در محدوده نوک بالادست آبشکن بوجود می‌آورد. مرکز جریان ثانویه R1 در این مقطع نسبت به مقطع  $\theta=35^\circ$  به سمت مرکز کانال و ترازهای بالایی جریان متمایل می‌شود. تفاوتی که بین ساختار جریان در شرایط آبشکن با درصد استغراق  $50\%$  و  $5\%$

شکل ۲- خطوط جریان در مقاطع مختلف و برای آبشکن با درصد استغراق متفاوت: الف- $\theta=0^\circ$  و استغراق  $50\%$ ، ب- $\theta=35^\circ$  و استغراق  $50\%$ ، ج- $\theta=43/75^\circ$  و استغراق  $50\%$ ، د- $\theta=43/75^\circ$  و استغراق  $5\%$ ، ه- $\theta=46/25^\circ$  و استغراق  $50\%$ ، ی- $\theta=46/25^\circ$  و استغراق  $5\%$ .

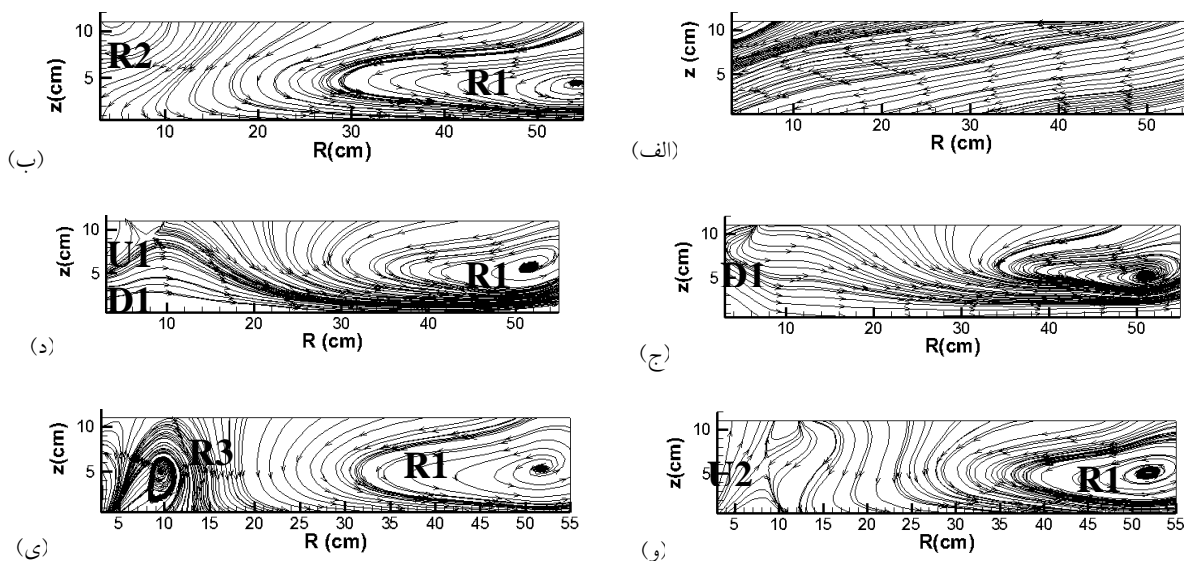


Fig. Stream lines for :a)  $\theta=0^\circ$ ,  $S=5\%$  and  $S=50\%$ , b) for  $\theta=35^\circ$ ,  $S=5\%$  and  $S=50\%$ , c) for  $\theta=75.43^\circ$ ,  $S=5\%$  and  $S=50\%$ , d) for  $\theta=75.43^\circ$ ,  $S=5\%$  and  $S=50\%$ , e) for  $\theta=25.46^\circ$ ,  $S=5\%$  and  $S=50\%$ , f) for  $\theta=25.46^\circ$ ,  $S=5\%$  and  $S=50\%$

### ۳-۲- بررسی احتمال ایجاد پدیده‌ها

احتمال ایجاد هر پدیده انفجار آشفتگی عبارتست از نسبت تعداد تکرار آن پدیده به تعداد کل پدیده‌های اتفاق افتاده در سری زمانی (رابطه ۲).

$$p_i = \frac{n_i}{\sum_{i=1}^4 n_i} \quad (2)$$

در رابطه (۲) تنها پدیده‌هایی در نظر گرفته شده‌اند که رابطه (۱) را نیز ارضا کرده باشند. شکل (۳) نشان دهنده توزیع احتمال پدیده‌های انفجار آشفتگی در مقطع  $\theta=35^\circ$  است. در این شکل‌ها R فاصله از دیواره خارجی کانال و Z فاصله از بستر رسوبات است. فرآیندهای چهارگانه آشفتگی در ترازهای مختلف مقادیر متفاوتی دارند. در نزدیک کف پدیده‌های اندرکنشی احتمال کمتری نسبت به پدیده‌های بیرون‌رانی و جاروبی دارند در حالی که در نزدیکی سطح احتمال این پدیده‌ها افزایش می‌یابد. احتمال ایجاد پدیده‌های بیرون‌رانی و

جاروبی در ترازهای نزدیک کف در این مقطع بیشتر است که در نتیجه آن، در صورت فرسایش پذیر بودن بستر، مصالح از این مقطع بسمت پایین‌دست انتقال می‌یابند که با فرآیند انتقال رسوب نیز در این مقطع هماهنگی دارد.

شکل (۴) نشان دهنده احتمال ایجاد پدیده‌های آشفتگی ( $v'w'$ ) در راستای عرض کانال است. در نزدیک کف احتمال پدیده‌های اندرکنشی به مقدار کمی از پدیده‌های بیرون‌رانی و جاروبی بیشتر است و در نتیجه می‌توان انتظار داشت انتقال رسوب در جهت عرضی انجام شود. علت اصلی افزایش احتمال پدیده‌های اندرکنشی در نزدیک کف تشکیل جریان R1 در جهت عرض کانال است. در نزدیک سطح آب و دیواره خارجی نیز احتمال ایجاد پدیده‌های بیرون‌رانی و جاروبی در جهت عرض جریان بیشتر بوده که در نتیجه تشکیل جریان R2 است.

شکل ۳- احتمال ایجاد پدیده‌های آشفتگی  $u'w'$  در  $\theta=35^\circ$  درجه: الف- اندرکنش رو به بیرون، ب- بیرون‌رانی، ج- اندرکنش رو به داخل و د- جاروبی

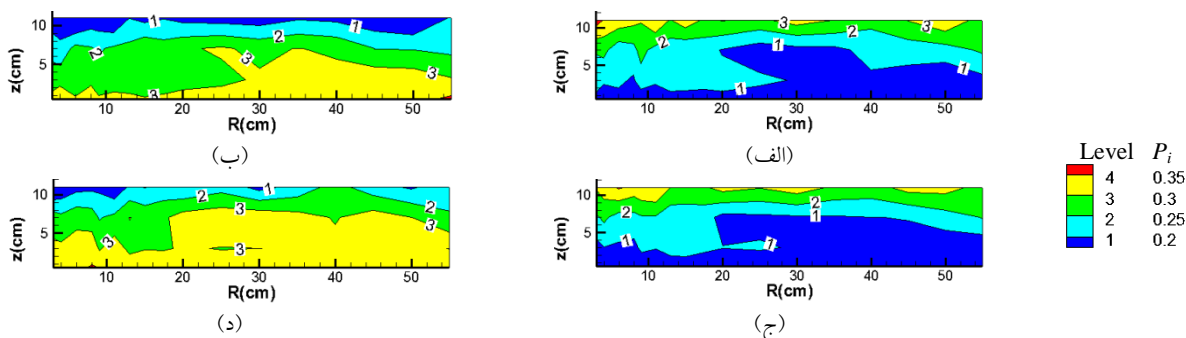


Fig. 3. Probability of turbulence events for  $u'w'$  at  $\theta=35^\circ$ , a) outward interaction, b) ejection, c) inward interaction, d) sweep

شکل ۴- احتمال ایجاد پدیده‌های آشفتگی  $v'w'$  در  $\theta=35^\circ$ : الف- اندرکنش رو به بیرون، ب- بیرون‌رانی، ج- اندرکنش رو به داخل و د- جاروبی

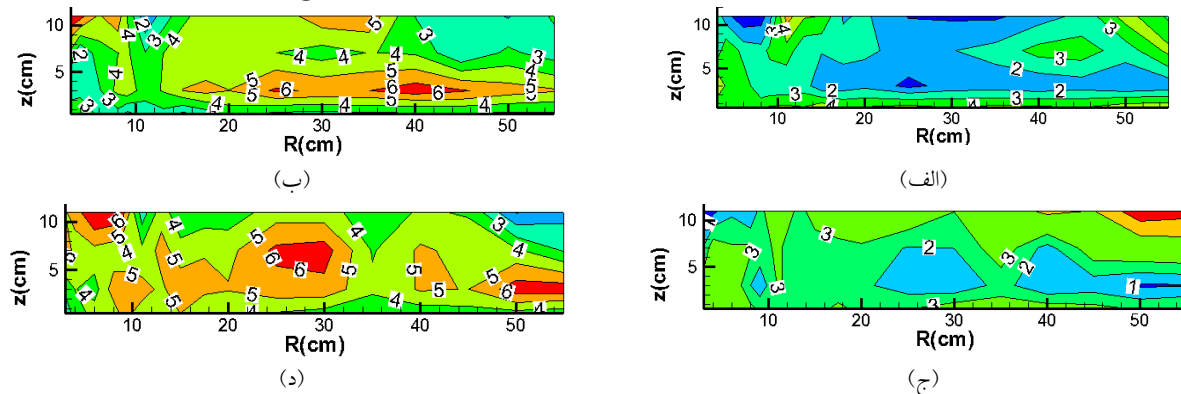


Fig. 4. Probability of turbulence events for  $v'w'$  at  $\theta=35^\circ$ , a) outward interaction, b) ejection, c) inward interaction, d) sweep

نزدیک نوک بال آبشکن پدیده‌های اندرکنشی به دلیل تاثیر گردابه نعل اسبی در این ناحیه محتمل است. در ناحیه نزدیک سطح آب و در محدوده جریان روگذری، دو ناحیه با دو ساختار متفاوت دیده می‌شوند. مرز این دو ناحیه در فاصله حدود  $4/5$  cm از دیواره خارجی کانال قرار دارد. در ناحیه نزدیک به دیواره خارجی پدیده‌های بیرون رانی و جارویی محتمل از پدیده‌های اندرکنشی است در حالی که در فاصله  $5/4$  cm تا  $9$  cm از دیواره خارجی پدیده‌های اندرکنشی احتمال بیشتری دارند. افزایش احتمال پدیده‌های بیرون رانی و جارویی در نزدیک دیواره خارجی می تواند منطقه‌ای با پتانسیل آبشستگی بالا در این ناحیه بوجود آورد. انحراف جریان در این مقطع به سمت کف کانال و شتاب جریان روگذری در این ناحیه موجب افزایش پدیده‌های بیرون رانی و جارویی در این ناحیه می‌شود.

با توجه به تاثیر ناچیز آبشکن در این مقطع تفاوت چندانی بین احتمال پدیده‌های آشفتگی در این مقطع برای آبشکن  $5\%$  و  $50\%$  وجود ندارد و از ارایه شکل‌های مربوط به آبشکن  $50\%$  خودداری می‌شود.

شکل (5) نشان دهنده احتمال ایجاد فرآیندهای آشفتگی در مقطع نوک بالادست آبشکن و در جهت جریان است. در این مقطع در محدوده قرارگیری بال آبشکن تا دیواره داخلی فرآیندهای بیرون رانی و جارویی در نزدیک کف احتمال بیشتری دارند در حالی که در نقاط نزدیک سطح آب پدیده‌های اندرکنشی احتمال بیشتری دارند. در نزدیک نوک بال آبشکن، پدیده جارویی نسبت به سایر پدیده‌ها احتمال بیشتری دارد. در محدوده قرارگیری بال آبشکن تا ساحل خارجی احتمال پدیده‌های بیرون رانی و جارویی در محدوده قرارگیری بال آبشکن تا ساحل خارجی بیشتر از پدیده‌های اندرکنشی است. اما در

شکل 5- احتمال ایجاد پدیده‌های آشفتگی  $u'w'$  در  $\theta=43.75^\circ$  الف- اندرکنش رو به بیرون، ب- بیرون رانی، ج- اندرکنش رو به داخل و د- جارویی

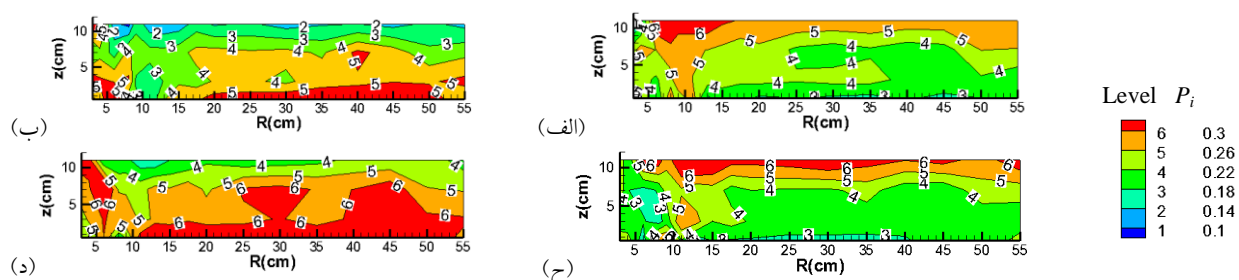


Fig. 5. Probability of turbulence events for  $u'w'$  at  $\theta=43.75^\circ$ , a) outward interaction, b) ejection, c) inward interaction, d) sweep

شکل 6- احتمال ایجاد پدیده‌های آشفتگی  $v'w'$  در  $\theta=43.75^\circ$  الف- اندرکنش رو به بیرون، ب- بیرون رانی، ج- اندرکنش رو به داخل و د- جارویی

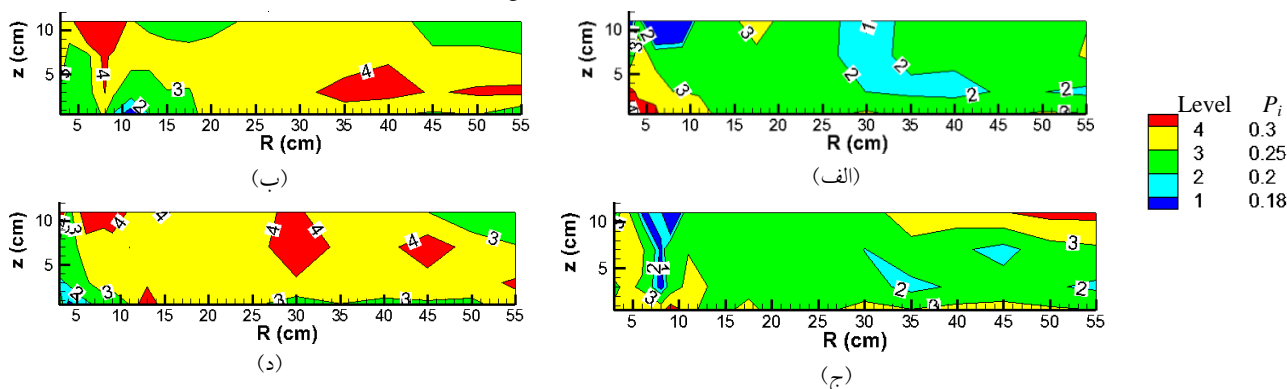


Fig. 6. Probability of turbulence events for  $v'w'$  at  $\theta=43.75^\circ$ , a) outward interaction, b) ejection, c) inward interaction, d) sweep

شکل (۶) نشان دهنده توزیع احتمال پدیده‌های آشفتگی در جهت عرضی در مقطع نوک بالادست آبشکن است. احتمال ایجاد فرآیندهای اندرکنشی در جهت عرضی در منطقه بین بال آبشکن تا ساحل خارجی محتمل از پدیده‌های بیرون‌رانی و جارویی است. از این رو در این ناحیه حجمی از آب در جهت عرضی به سمت دیواره داخلی حرکت می‌کند. این انتقال حجم آب در جهت عرضی می‌تواند به دلیل تاثیر آبشکن بر ساختار جریان باشد. به این ترتیب که با تشکیل جریان چرخشی رو به پایین در بالادست آبشکن و اندرکنش آن با جریان بالادست، گردابه‌های نعل اسبی در راستای عرض کانال بوجود می‌آیند که محور آنها به سمت پایین‌دست و دیواره داخلی است که موجب انتقال حجمی از آب به سمت دیواره داخلی و ترازهای بالایی و پایینی جریان (پدیده‌های اندرکنشی) می‌شود. در این ناحیه در نزدیک سطح آب پدیده جارویی احتمال زیادی دارد و نشان‌دهنده این است که حجمی از آب در جهت عرضی به سمت دیواره خارجی کانال و ترازهای پایین جریان حرکت کرده و احتمال پدیده بیرون‌رانی نیز برای تامین معادله پیوستگی بیشتر خواهد شد. محتمل‌تر بودن پدیده‌های بیرون‌رانی و جارویی در این منطقه به دلیل عبور جریان  $R1$  در ترازهای نزدیک سطح جریان و برخورد آن با تاج بال آبشکن است، که در نتیجه آن می‌توان انتظار داشت گردابه‌هایی از تاج آبشکن

جدا شده و به سمت دیواره خارجی کانال حرکت کنند. احتمال پدیده‌های آشفتگی در محدوده بال آبشکن تا دیواره داخلی تقریباً یکسان است. بنابراین در این محدوده پتانسیل جریان برای انتقال رسوبات در جهت عرضی کانال نسبت به جهت طولی کمتر خواهد بود. طبق پژوهش‌های انجام شده به وسیلهی خسروی (۱۳۹۰) گسترش چاله آبشستگی در جهت عرضی کمتر از گسترش طولی آن خواهد بود که می‌تواند با توجه به مطالب ارایه شده در این بخش توجیه شود.

شکل (۷) احتمال ایجاد هر کدام از پدیده‌های آشفتگی در مقطع نوک پایین‌دست آبشکن و در جهت جریان را نشان می‌دهد. احتمال ایجاد فرآیندهای بیرون‌رانی و جارویی در محدوده بال آبشکن تا ساحل خارجی به مقدار کمی بیشتر از پدیده‌های اندرکنشی است. در محدوده لایه برشی تشکیل شده در اطراف آبشکن پدیده‌های بیرون‌رانی و جارویی احتمال بسیار بیشتری نسبت به پدیده‌های اندرکنشی بخصوص در ترازهای نزدیک کف دارند که در نتیجه آن ناحیه‌ای با پتانسیل زیاد آبشستگی در راستای لایه برشی تشکیل شده در اطراف آبشکن ایجاد می‌شود. طبق پژوهش‌های انجام شده به وسیلهی خسروی (۱۳۹۰) حفره آبشستگی از نوک بالادست آبشکن تشکیل شده و در امتداد لایه برشی گسترش می‌یابد که دلیل آن می‌تواند احتمال بیشتر پدیده‌های بیرون‌رانی و جارویی در این ناحیه باشد.

شکل ۷- احتمال ایجاد پدیده‌های آشفتگی  $u'w'$  در  $\theta=46.25^\circ$ : الف- اندرکنش رو به بیرون، ب- بیرون‌رانی، ج- اندرکنش رو به داخل و د- جارویی

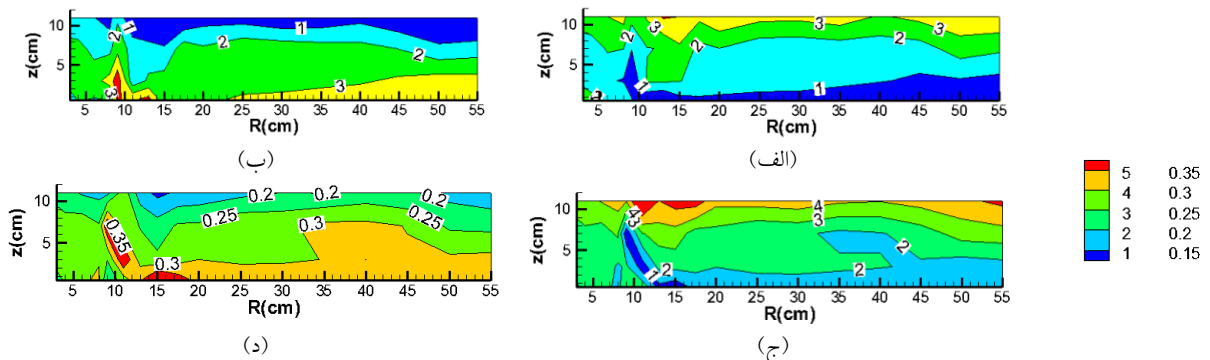


Fig. 7. Probability of turbulence events for  $u'w'$  at  $\theta=46.25^\circ$ , a) outward interaction, b) ejection, c) inward interaction, d) sweep

شکل ۸- احتمال ایجاد پدیده‌های آشفتگی  $v'w'$  در  $\theta=46.25^\circ$ : الف- اندرکنش رو به بیرون، ب- بیرون رانی، ج- اندرکنش رو به داخل و د- جارویی

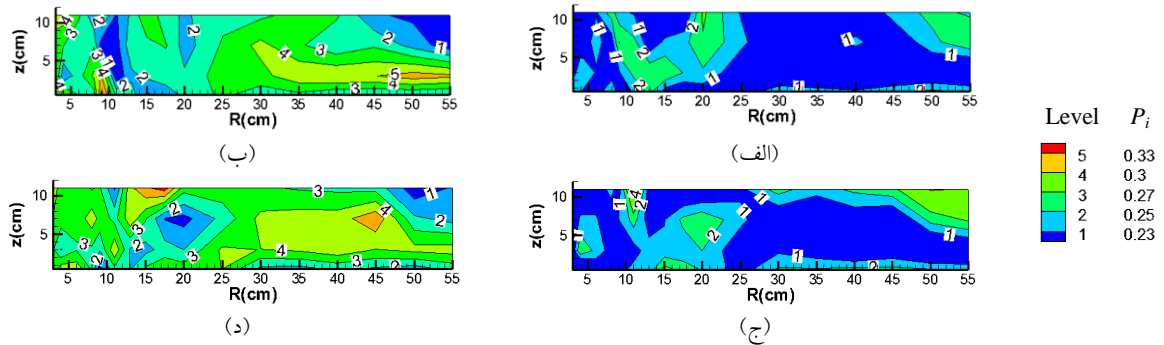


Fig. 8. Probability of turbulence events for  $v'w'$  at  $\theta=46.25^\circ$ , a) outward interaction, b) ejection, c) inward interaction, d) sweep

شکل ۹- تغییرات تنش رینولدز برشی: الف- در راستای جریان ب- در راستای عرض کانال

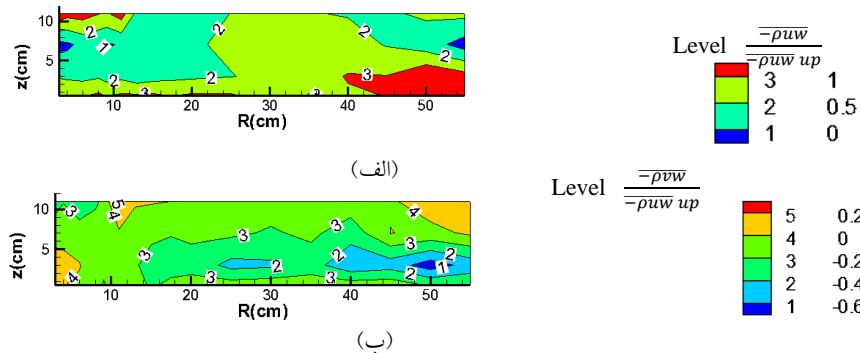


Fig. 9. Reynolds shear stress distribution, a) streamwise, b) spanwise

۳-۳- تنش‌های برشی رینولدز یکی دیگر از روش‌های بررسی حاکمیت پدیده‌های آشفتگی استفاده از تنش‌های برشی رینولدز است. تنش‌های برشی رینولدز میانگین‌های وزنی هر چهار پدیده آشفتگی است. یعنی این پارامترها با توجه به علامت آنها در بر گیرنده حاکمیت پدیده‌های اندرکنشی و یا پدیده‌های بیرون رانی و جارویی است. بررسی تنش‌های برشی رینولدز علاوه بر اینکه نشان دهنده حاکمیت پدیده‌های آشفتگی می‌باشند نشان دهنده چگونگی انتقال مومنتم بین لایه‌های مختلف و یا تنش‌های برشی وارد بر لایه‌های مختلف جریان است. از این رو از این پارامترها در مناطق نزدیک کف به عنوان تخمینی از تنش‌های برشی وارد بر کف استفاده می‌کنند [20]. تنش‌های برشی رینولدز امکان مقایسه حاکمیت پدیده‌های آشفتگی را در شرایط استغراق‌های مختلف فراهم می‌کند. بنابراین از این نظر نسبت به بررسی‌های احتمالاتی که در قسمت‌های قبل ارائه شد

شکل (۸) نشان دهنده احتمال ایجاد فرآیندهای آشفتگی در جهت عرضی در مقطع نوک پایین دست آبشکن است. در ناحیه جریان برگشتی در پایین دست آبشکن و نیز در محدوده لایه برشی تشکیل شده در اطراف آبشکن احتمال وقوع چهار پدیده آشفتگی تقریباً یکسان است. در لایه برشی پدیده‌های بیرون رانی و جارویی در نزدیک کف محتمل بوده و پیش‌بینی می‌شود بیشتر انتقال رسوب در ابتدای فرآیند آبشستگی از لایه برشی به سمت دیواره خارجی کانال صورت پذیرد. اگر چه که جریان عرضی ایجاد شده در نزدیک کف به وسیله  $R1$  تمایل به انتقال رسوبات به سمت ساحل داخلی دارد اما با توجه به ایجاد جریان چرخشی در حد فاصل دیواره خارجی تا لایه برشی و تاثیر گذاری آن بر جریان  $R1$  از قدرت این جریان برای انتقال رسوبات در راستای عرض کانال کاسته شده و چنانچه ملاحظه می‌شود احتمال پدیده‌های چهارگانه در این منطقه و نزدیک کف کانال تفاوت چندانی ندارند.



جریان ثانویه اول و جریان ثانویه دوم مقادیر تنش‌های رینولدز جریان در جهت عرضی افزایش می‌یابد که نشان دهنده تشکیل لایه برشی دیگر در مرز این دو جریان می‌باشد.

تفاوت چندانی بین توزیع تنش‌های برشی در این مقطع برای آبشکنهای با استغراق ۵٪ و ۵۰٪ وجود ندارد و از ارایه شکل‌های مربوط به آبشکن با ۵۰٪ خودداری می‌شود.

شکل (۱۰ الف و ب) نشان دهنده توزیع تنش‌های برشی در مقطع نوک بالادست آبشکن  $\theta=43/75^\circ$  است. چنانچه ملاحظه می‌شود در نقاط نزدیک دیواره خارجی و بین بال آبشکن و ساحل خارجی، تنش‌های رینولدز در راستای جریان مقادیر مثبتی دارند که نشان دهنده قدرت بیشتر پدیده‌های بیرون‌رانی و جاروبی در این ناحیه است. در ناحیه نزدیک نوک بالادست آبشکن و بین ساحل خارجی و بال آبشکن، مقدار تنش‌های رینولدز در جهت جریان افزایش شدید می‌یابد که نشان دهنده تاثیرگذاری گردابه نعل اسبی نزدیک کف بر ساختار جریان در این ناحیه است. در نزدیک کف و در ناحیه بین بال آبشکن تا ساحل داخلی نیز تنش‌های رینولدز مثبت مشاهده می‌شود. تنش‌های رینولدز در این ناحیه و در نزدیک بال آبشکن بیشتر از سایر نقاط این ناحیه می‌باشد و علامت آن مثبت است و نشان دهنده انتقال رسوب در این ناحیه به سمت پایین‌دست و قدرت زیاد پدیده‌های بیرون‌رانی و جاروبی در این ناحیه است. مقایسه تنش‌های رینولدز در راستای جریان، در نزدیکی نوک بالادست بال آبشکن، بین آبشکن با استغراق ۵٪ و ۵۰٪ نشان دهنده قدرت بیشتر پدیده‌های بیرون‌رانی و جاروبی در این ناحیه برای آبشکن با درصد استغراق کم است. مشاهده و گزارش‌های ارایه شده به وسیله‌ی خسروی (۱۳۸۸) نیز نشان‌دهنده شدت بیشتر آبستگی در این ناحیه برای آبشکن با درصد استغراق کم در اوایل آزمایش‌ها آبستگی است. تنش‌های رینولدز در راستای جریان برای آبشکن با درصد استغراق کم، در حد فاصل بال آبشکن تا دیواره داخلی، به مقدار کمی بیشتر از آبشکن با درصد استغراق زیاد است. دلیل این امر این است که در آبشکن با درصد استغراق ۵۰٪ مقدار بیشتری از جریان از روی تاج سرریز نسبت به آبشکن با استغراق کمتر عبور می‌کند.

ارجحیت دارد که بررسی این پارامتر در این بخش انجام خواهد شد.

شکل (۹) نشان دهنده تغییرات تنش‌های رینولدز ( $\rho v'w'$  -  $\rho u'w'$ ) در  $\theta=35^\circ$  است. برای بی بعد کردن پارامترهای مورد نظر از  $\rho u'w'$  - در مقطعی با فاصله ۱ متر از ابتدای قوس و در تراز ۵ mm از بستر استفاده شد. این پارامتر به عنوان تقریبی مناسب از تنش برشی وارد بر کف به وسیله‌ی بسیاری از پژوهشگران پیشین نیز استفاده شده است. ناحیه‌ای پر تنش در نزدیک کف در قوس داخلی است که منطبق بر پژوهش‌های فضلی (۱۳۸۷) در قوس بدون آبشکن است. در این مقطع تنش‌های رینولدز برشی در راستای طولی کانال در نزدیک کف تقریباً با تنش برشی وارد بر کف در بالادست قوس برابر است. از آنجایی که سهمی از تنش برشی وارد بر کف در این مقطع مربوط به تنش رینولدز برشی در راستای عرض کانال است، می‌توان انتظار داشت که تنش برشی وارد بر کف در این مقطع نسبت به تنش برشی وارد بر کف در قبل از قوس افزایش داشته که دلیل آن را می‌توان ایجاد جریان  $R1$  در قوس و افزایش توان جریان برای انتقال رسوبات دانست. پژوهش‌های فضلی (۱۳۸۷) نیز نشان داده است که تنش‌های برشی وارد بر کف در قوس توسعه یافته بدون آبشکن حدود ۱/۲ برابر تنش‌های برشی وارد بر کف در بالادست قوس است و در نزدیک ساحل داخلی اتفاق می‌افتد. ناحیه پر تنش دیگری در محل تشکیل جریان  $R2$  ایجاد می‌شود. تنش برشی رینولدز در این ناحیه قابل ملاحظه بوده و تقریباً با تنش برشی وارد بر کف در بالادست قوس برابر است. در همین ناحیه تنش‌های رینولدز برشی در راستای عرض جریان نیز تغییر جهت داده و به سمت ساحل داخلی است. افزایش تنش برشی رینولدز در راستای جریان و نیز تمایل جریان برای انتقال رسوبات در این ناحیه در جهت عرض کانال از عوامل آبستگی در این ناحیه تحت تاثیر جریان  $R2$  است. تنش‌های رینولدز برشی در راستای عرض جریان در مقابل تنش‌های رینولدز برشی در راستای طولی کمتر است که نشان دهنده قدرت بیشتر جریان برای انتقال رسوبات در راستای طولی جریان است. در مرز بین

شکل ۱۰- تنش‌های رینولدز برشی در  $\theta=43.75^\circ$ : الف- در جهت طولی و استغراق ۵٪ ب- در جهت عرضی و استغراق ۵٪، ج- در جهت طولی و استغراق ۵۰٪ و د- در جهت عرضی و استغراق ۵۰٪

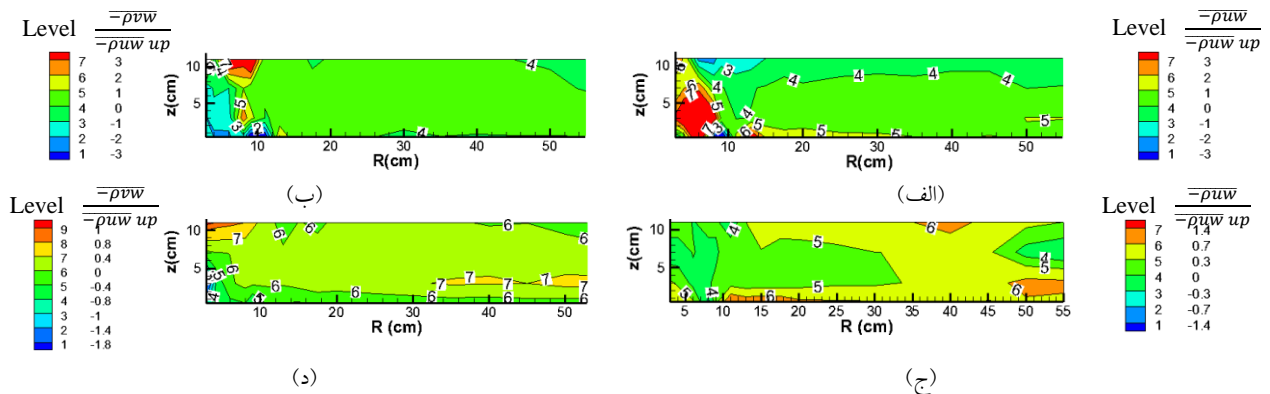


Fig. 10. Reynolds shear stress distribution at  $\theta=43.75^\circ$ , a) streamwise,  $s=5\%$ , b) spanwise,  $s=5\%$ , c) streamwise,  $s=50\%$ , d) spanwise,  $s=50\%$

پایین‌رونده در این ناحیه (بدلیل کمتر بودن جریان روگذری) و در نتیجه آن افزایش قدرت گردابه نعل اسبی (که ناشی از اندرکنش جریان درون کانال و جریان پایین‌رونده است) در آبشکن با استغراق ۵٪ باشد. از آنجایی که تنش‌های برشی وارد بر کف را می‌توان از تنش‌های رینولدز برشی نزدیک کف تخمین زد (Dey and Barbahuiya 2006)، با توجه به مطالب ارائه شده در این بخش می‌توان انتظار داشت که تنش‌های برشی وارد بر کف در مناطق نزدیک نوک آبشکن با استغراق ۵٪ بیشتر از آبشکن با ۵۰٪ است که در نتیجه آن انتقال رسوب در این ناحیه به وسیله‌ی جریان بیشتر است. آزمایش‌های انجام شده به وسیله‌ی خسروی (۱۳۹۰) نیز نشان داد که عمق بیشینه حفره آبستگگی در اطراف آبشکن با استغراق بیشتر کمتر از آبشکن با استغراق کمتر است.

شکل (۱۱) نشان دهنده تنش‌های برشی رینولدز در راستای جریان و در راستای عرض کانال برای مقطع  $\theta=46.25^\circ$  است. در تراز نزدیک بستر تنش‌های رینولدز برشی در محدوده حد فاصل بین دیواره خارجی تا بال آبشکن مقادیر کمی دارند اما در ناحیه لایه برشی بشدت افزایش می‌یابند. دلیل آن می‌تواند با توجه به ساختار جریان لایه برشی توضیح داده شود به این ترتیب که در لایه‌های برشی تشکیل شده در اطراف آبشکن گردابه‌های کوچکی که از بال آبشکن جدا شده‌اند به سمت پایین‌دست حرکت خواهند کرد که موجب افزایش آشفتنگی در

شکل‌های (۱۰ ب و د) نشان دهنده تنش‌های رینولدز در راستای عرض جریان در مقطع نوک بالادست آبشکن برای آبشکن با درصد استغراق ۵٪ و ۵۰٪ است. تنش‌های رینولدز برشی در راستای عرض کانال در محدوده بین ساحل خارجی و بالا آبشکن، مقادیر منفی داشته و در منطقه نزدیک نوک آبشکن با استغراق ۵٪ مقادیر زیادی دارد. تنش‌های رینولدز برشی در ناحیه بین بال آبشکن و دیواره داخلی نسبت به مناطق نزدیک بال آبشکن بسیار کوچک است. تنش‌های رینولدز در جهت عرضی در اثر جریان RI بوجود می‌آیند. در نواحی نزدیک سطح آب بین بال آبشکن و ساحل داخلی، تنش‌های رینولدز در راستای عرض جریان مقادیر بسیار کم و مثبت دارند اما در محل قرارگیری تاج آبشکن تنش‌های رینولدز برشی در راستای عرض کانال به شدت افزایش می‌یابد. دلیل این امر را می‌توان تاثیر بال آبشکن بر میدان جریان در این ناحیه دانست به گونه‌ای که در این مناطق تنش‌های رینولدز به دلیل جریان جدا شده از بال آبشکن و ایجاد آشفتنگی در این مناطق بشدت افزایش می‌یابند. مقایسه بین تنش‌های رینولدز برشی بین آبشکن با درصد استغراق زیاد و درصد استغراق کم نشان می‌دهد که تنش‌های رینولدز برشی در منطقه نوک آبشکن با درصد استغراق ۵۰٪ کمتر از آبشکن با درصد استغراق ۵٪ است. افزایش تنش‌های رینولدز برشی در این ناحیه برای آبشکن با استغراق ۵٪ می‌تواند به دلیل قدرت بیشتر جریان

آبشکن کاهش یابد. تنش‌های رینولدز برشی در جهت عرضی در شکل (۱۱ ج و د) نشان داده شده است. تنش‌های برشی عرضی نیز در محدوده لایه برشی شدت بیشتری نسبت به نقاط موجود در این محدوده دارد. تنش‌های برشی در راستای طولی است. کمتر از تنش‌های رینولدز در راستای طولی و عرضی در لایه همچنین تنش‌های رینولدز در راستای طولی و عرضی در لایه برشی برای آبشکن با درصد استغراق ۵٪ بیشتر از آبشکن با درصد استغراق ۵۰٪ است که نشان دهنده قدرت کمتر لایه برشی تشکیل شده در اطراف آبشکن برای انتقال رسوب در اطراف آبشکن با درصد استغراق ۵۰٪ است. پژوهش‌های انجام شده به وسیله‌ی خسروی (۱۳۹۰) نیز نشان داد که گسترش طولی حفره آبشستگی در اطراف آبشکن با استغراق ۵۰٪ کمتر از آبشکن با استغراق ۵٪ است.

این ناحیه خواهند شد. علاوه بر این لایه برشی تشکیل شده در اطراف آبشکن حد فاصل بین ناحیه جریان برگشتی و ناحیه جریان عبوری از اطراف آبشکن را تشکیل می‌دهند که اختلاف مومنتم بسیار زیادی دارند و در نتیجه تبادل مومنتم بین این دو ناحیه از طریق این لایه انجام می‌شود. بنابراین در این ناحیه گردابه‌هایی بین لایه‌های طولی مختلف جریان ایجاد می‌شود که در نتیجه آن تنش‌های رینولدز برشی در این ناحیه افزایش می‌یابد. در لایه برشی تنش‌های رینولدز در نواحی نزدیک سطح آب مقادیر کمتری را نسبت به عمق جریان دارد، که دلیل آن خاصیت مستهلک کنندگی سطح جریان بر نوسانات سرعت است. تنش‌های رینولدز در این ناحیه نسبت به تنش‌های رینولدز در نزدیک نوک بال بالادست آبشکن کاهش یافته است بنابراین می‌توان انتظار داشت که توانایی جریان در این ناحیه برای انتقال رسوبات نسبت به مناطق نزدیک نوک بالادست

شکل ۱۱- تغییرات تنش برشی در مقطع نوک پایین دست آبشکن: الف- در جهت طولی و استغراق ۵۰٪، ب- در جهت عرضی و استغراق ۵۰٪، ج- در

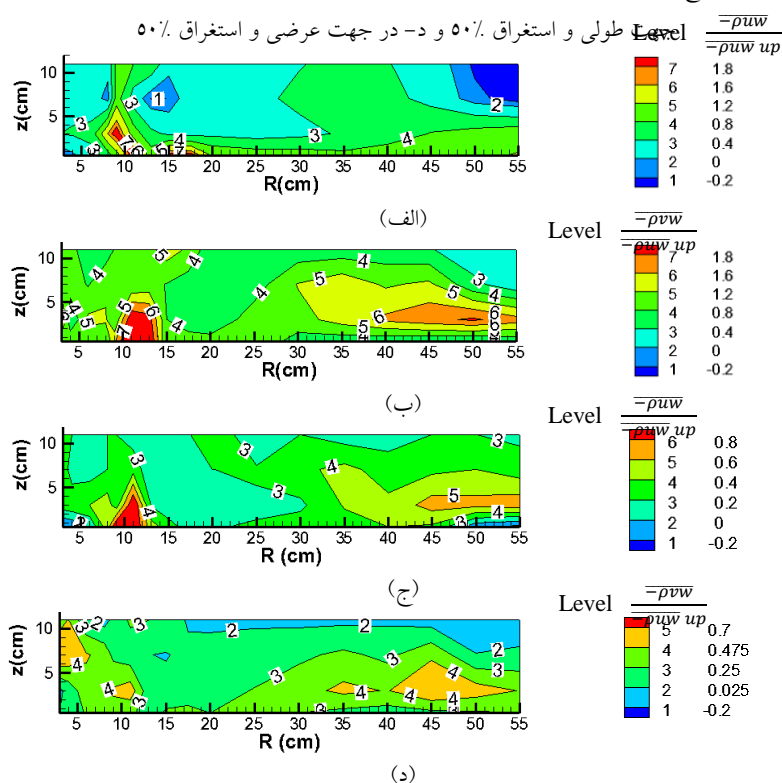


Fig. 11. Reynolds shear stress distribution at downstream section, a) streamwise, s=5%, b) spanwise, s=5%, c) streamwise, s=50% , d) spanwise, s=50%

## ۴- نتیجه گیری

در این مقاله بررسی پدیده‌های آشفتگی اطراف آبشکن مستغرق انجام شد. ارتباط بین پارامترهای آشفتگی و نتایج به دست آمده از بررسی‌های آبشستگی گزارش شده به وسیله‌ی پژوهشگران قبلی بررسی شد. با توجه به نتایج به دست آمده در این پژوهش در مقطع بالادست آبشکن دو جریان عرضی تشکیل که باعث انتقال رسوبات در راستای عرضی می‌شوند. جریان ثانویه اول (R1) موجب افزایش احتمال ایجاد پدیده‌های بیرون‌رانی و جاروبی در نزدیک کف شده و همین روند در محدوده قرارگیری جریان ثانویه دوم مشاهده می‌شود. تنش‌های برشی رینولدز در راستای عرض کانال نیز با افزایش احتمال و پایداری پدیده‌های اندرکنشی، افزایش یافته که موجب انتقال رسوبات در راستای عرض کانال در این نواحی می‌شود.

در مقطع نوک بالادست آبشکن حد فاصل دیواره داخلی تا بال آبشکن، احتمال پدیده‌های بیرون‌رانی و جاروبی بیشتر بوده و به دلیل میزان بیشتر جریان عبوری از اطراف آبشکن با استغراق ۵٪، تنش رینولدز در راستای جریان در مناطق نزدیک کف در آبشکن با استغراق کمتر، کمی بیشتر از آبشکن با استغراق بیشتر است. در این محدوده به دلیل کاهش پایداری پدیده‌های اندرکنشی و افزایش تبدیل این پدیده‌ها به پدیده‌های بیرون‌رانی و جاروبی توسعه حفره آبشستگی به سمت پایین‌دست بیشتر خواهد بود. در جهت جریان، پدیده‌های بیرون‌رانی و جاروبی در نواحی نزدیک به ساحل خارجی محتمل ولی در منطقه نزدیک نوک آبشکن و در حد فاصل بال آبشکن تا ساحل خارجی پدیده‌های اندرکنشی قوی‌تر است که در نتیجه وجود گردابه نعل اسبی در این ناحیه است و در نتیجه آن، تنش‌های برشی رینولدز نیز در این ناحیه افزایش می‌یابند. تنش‌های رینولدز در راستای جریان و در راستای عرض کانال به دلیل جریان پایین رونده قوی‌تر و تقویت جریان گردابه نعل اسبی در آبشکن با ۵٪ استغراق، بیشتر از آبشکن با ۵۰٪ استغراق است که می‌تواند نتایج پژوهش‌های پیشین در مورد بیشتر بودن ابعاد حفره آبشستگی تشکیل شده در اطراف آبشکن با درصد استغراق کمتر را توجیه کند.

در مقطع پایین‌دست آبشکن احتمال پدیده‌های بیرون‌رانی و

جاروبی به مقدار کمی از پدیده‌های اندرکنشی بیشتر است اما پایداری پدیده‌ها در این منطقه بیشتر از تبدیلات آنها به یکدیگر است. با توجه به اختلاف کم احتمال ایجاد پدیده‌ها در این ناحیه تنش برشی رینولدز وارد بر کف در این ناحیه کم بوده و انتقال رسوبات در این ناحیه با شدت کمتری انجام می‌شود. تنش‌های رینولدز برشی در نزدیک کف در این منطقه برای آبشکن با درصد استغراق بیشتر، کمتر است که در نتیجه آن انتظار می‌رود رسوبگذاری شدیدی در این ناحیه اتفاق افتد و پژوهش‌های گذشته این مطلب را تایید می‌کند. در ناحیه تشکیل لایه برشی پدیده‌های بیرون‌رانی و جاروبی احتمال بیشتری داشته و تبدیل پدیده‌های اندرکنشی به پدیده‌های بیرون‌رانی و جاروبی افزایش می‌یابد. در نتیجه این تبدیل احتمال ایجاد پدیده‌های بیرون‌رانی و جاروبی و تنش‌های رینولدز برشی افزایش می‌یابد. زاویه اعمال پدیده‌های بیرون‌رانی و جاروبی در نواحی نزدیک کف، مقادیر کوچکتری دارند. زاویه اعمال پدیده‌ها در ناحیه جریان روگذری به دلیل تاثیر جریان پر شتاب در جهت عمقی و به سمت پایین دست مقادیر بزرگی را در راستای عرض جریان و مقادیر کوچکی را در راستای طولی جریان دارند.

## References

## ۵- مراجع

- [1] Fazli, M, Ghodsian, M Salehi Neyshaboury, S, A, A. "Scour and flow field around a spur dike in a 90° bend" *Int. J. Sediment Res.* 23(1), 56-68.
- [2] Vaghefi, M., Ghodsian, M., and Neyshabouri, S. (2012). "Experimental Study on Scour around a T-Shaped Spur Dike in a Channel Bend." *J. Hydraul. Eng.* 138(5), 471-474.
- [3] Coleman, S. E., Lauchlan, C. S. and Melville, B. W. (2003). "Clear-water scour development at bridge abutments." *J. Hydraulic Res.*, 41(5), 521-532.
- [4] Kuhnle, R.A., Alonso, C.V. Shields, F.D. (1999). "Geometry of scour holes associated with 90° spur dikes." *J. Hydraulic Eng.* 125(9), 972-978.
- [5] Elawady, E., Mansanori, M. (2000). "Experimental study of flow behavior around submerged spur-dike on rigid bed." *Annual J. Hydraulic Eng.* 44, 539-544.
- [6] Vaghefi, M., Ghodsian, M. and Salehi Neyshaboori, S.A.A. (2009). "Experimental study on the effect of a T-shaped spur dike length on scour in a 90° channel bend." *Arab. J. Sci. Eng.* 34(2), 337-348.
- [7] Duan, J. G., He, L., Wang, G. Q. and Fu, X. D. (2009). "Mean flow and turbulence around experimental spur dike." *Adv. Water Resour.* 32(12), 1717-1725.

- [14] Cuthbertson A. J. S. and Ervine D. A. (2005). "Experimental study of fine particle settling in turbulent open channel flows over rough porous beds." *J. Hydraulic Eng.*, 133(8), 905-916.
- [15] Thorne P. D., Williams J. J., and Heathershaw A. D. (1989). "In situ acoustic measurements of marine gravel threshold and transport." *Sedimentology*, 36(1), 61-74.
- [16] Bridge J. S. and Bennett S. J. (1992). "A model for entrainment and transport of sediment grains of mixed sizes, shapes and densities." *Water Resour Res.*, 28( 2), 337-63.
- [17] Nelson, J.M., Shreve, R.L., Mclean, S.R. and Drake, T.G. (1995). "Role of near-bed turbulence structure in bed load transport and bed form mechanics." *Water Resour Res.* 31( 8), 2071-2086.
- [18] Kaftori D., Hestroni G., and Banerjee S. (1998). "The effect of particles on wall turbulence." *Int J Multi Flow.* 24(3), 359-386.
- [19] Papanicolaou A. N., Diplas P., Dancy C. L., and Balakrishnan M. 2001, "Surface roughness effects in near-bed turbulence: Implication to sediment entrainment." *J Eng Mech*, 127( 3), 211-218.
- [20] Dey S. and Barbhuiya A. K. (2006). "Velocity and turbulent in a scour hole at a vertical-wall abutment." *Flow. Meas Instrum.* 17, 13-21.
- [۸] خسروی مشیزی، مجتبی. (۱۳۹۰). "بررسی آزمایشگاهی الگوی جریان و آبستگي پیرامون آبشکن T شکل مستغرق در قوس ۹۰ درجه" پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه تربیت مدرس.
- [9] Duan, J. G., He, L., Wang, G. Q. and Fu, X. D. (2011). "Turbulent burst around experimental spur dike." *Int. J. Sediment Res.* 26(4), 471-486.
- [10] Elawady, E., Mansanori, M. (2001). "Movable bed scour around submerged spur-dikes." *Ann. J. Hydraulic Eng.* 45, 373-378.
- [۱۱] نوربخش، ماجد. (۱۳۹۰). "بررسی میدان جریان اطراف آبشکن تیغه ای مستغرق اطراف آبشکن مستغرق." پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه تربیت مدرس.
- [12] Kuhnle, R.A., Jia, Y. and Alonso, C.V. (2008). "Measured and simulated flow near a submerged spur dike." *J. Hydraulic Eng.* 134(7), 916-924.
- [13] Nezu, I., Nakagawa, H. (1993). "Turbulent in open-channel flow." *IAHR Monograph Series*, Balkema, Rotterdam, The Netherlands. Taylor and Francis.

# Experimental study of submergence effect on turbulent parameter around spur dike located in a 90 bend

M. Mehraein<sup>1\*</sup>, M. Ghodsian<sup>2</sup>, M. Khodravi M.<sup>3</sup>

1. Assistant Prof. Faculty of Engineering, Kharazmi University, Tehran- Iran
2. Prof. Water Resarch Institute, Tarbiat Modares University, Tehran- Iran.
3. Graduated Student, Tarbiat Modares University, Tehran- Iran.

Mehraein@khu.ac.ir

## Abstract

In this research, the statistical parameter of the flow around T shaped spur dike located in a 90 bend was investigated. Experiments were conducted in a 90 bend at Tarbiat Modares University. The velocity was measured using ADV apparatuses. the frequency of the ADV set to 50 HZ this frequency was used by many previous researchers. Two different submerged spur dike with submergence ratio equal to 5% and 50% were used. The submergence ratio is the ratio of the flow depth on crest of the spur dike to spur dike height. The spur dikes were located in 45 degree respect to the beginning of the bend and the experiments were done in freeze bed condition. As the flow structure has the main role on sediment transport phenomena, the flow around the spur dike were investigated using parameters such as: Probability of the events (the ratio of the number of the events to the total of the events during the velocity measurement), variation of the events during the velocity measurments, shear Reynolds stresses in streamwise and lateral direction and angle of the events (the ratio of the vertical velocity fluctuation to the streamwise velocity fluctuation). The results showed that two secondary flow formed in lateral direction of the channel and the secondary flow effect on the upstream of the bend. These flow effect on sediment transport mechanism in lateral and longitudinal directions. In the upstream toe of the spur dike the Reynolds stresses in 5% submergence spur dike is greater compared to the 50% submergence spur dike since stronger horseshoe vortex due to the stronger downflow formed in this region. The scour hole propagation along the shear layer in longitudinal direction may be due to the increasing the probability of the sweep and ejection events and variation of the interaction events, decreasing the angle of the events and increasing the Reynolds stresses. The Reynolds stresses along the shear layers located in 5% spur dike is greater than the 50% spur dike and larger scour process may be expected in this region. The stability of the events is more pronounced compared to the instability of the events. Hence, stability of the events has the main role on flow structure around the submerged spur dikes. The angle of the sweep and ejection were minimum near the bed surface and maximum in the middle of the flow depth. Two different zones with maximum angle of sweep and ejection were observed that showed the fluid parcels deviate to the downstream recirculating zone. The angle of the events has different value near the over topping flow that passed from the crest of the spur dike. The flow measurements and analysis of the statistical parameters confirms the previous researchers' conclusions about larger scour hole around the spur dikes with lesser submergence. This may related to the difference of the flow structures around the submerged spur dikes especially near the upstram toe of the spur dike. The maximum turbulent events occurred in the shear layer and hence different flow structure was detected in this region.

**Key words:** Submerged spur dike, turbulent flow, statistical parameter, four quadrant events.