

## بررسی عددی اثر دبی بر الگوی جریان حول آبشکن ساده مستغرق در کانال رو باز

محمد واقفی<sup>۱\*</sup>، افشین اقبالزاده<sup>۲</sup>، مختار رستم نژاد<sup>۳</sup>

### چکیده

یکی از اهداف مهم علم مهندسی رودخانه، محافظت از سواحل رودخانه‌ها از پدیده فرسایش ساحل خارجی آن‌ها و جلوگیری از جابجا شدن مجرای اصلی آن‌هاست. آبشکن از جمله سازه‌های هیدرولیکی است که به منظور حفظ سواحل از فرسایش و تثبیت کناره‌ها و افزایش عمق آب رودخانه کاربرد فراوانی دارد. با توجه به کاربرد گسترده این سازه، شناخت الگوی جریان اطراف آن از اهمیت فراوانی برخوردار است. از آنجا که الگوی جریان در این ناحیه پیچیده و دارای ماهیت سه‌بعدی است، شبیه‌سازی آن در این تحقیق به صورت سه بعدی انجام پذیرفت. شبیه‌سازی جریان عبوری از آبشکن مستغرق توسط نرم‌افزار FLOW-3D صورت گرفت. برای مدل‌سازی سطح آزاد از روش VOF و برای شبیه‌سازی آشفتگی از مدل RNG k-ε استفاده شد. بر اساس مقایسه نتایج حاصل از شبیه‌سازی عددی در خصوص پارامترهای سرعت طولی و عمق جریان مشخص شد مدل عددی می‌تواند بخوبی عبور جریان از آبشکن مستغرق را شبیه‌سازی نماید. در ادامه اثر افزایش دبی بر پروفیل‌های سرعت و سطح آزاد جریان بررسی شد. براساس نتایج بدست آمده با افزایش دبی سرعت ماکزیمم طولی در جلو دماغه و عمق جریان بالادست آبشکن افزایش یافت. در دبی‌های کمتر آهنگ تغییرات بیشتر و در دبی‌های بالاتر آهنگ تغییرات ملایم‌تر شد. همچنین نسبت عمق آب در بالادست به عمق آب در پایین دست نیز با افزایش دبی، افزایش یافت.

**واژه‌های کلیدی:** آبشکن مستغرق، سطح آزاد، شبیه‌سازی عددی، FLOW-3D.

<sup>۱</sup> - استادیار سازه‌های هیدرولیکی، گروه مهندسی عمران، دانشگاه خلیج فارس، بوشهر

<sup>۲</sup> - استادیار سازه‌های هیدرولیکی، گروه مهندسی عمران، پژوهشکده تحقیقات پیشرفته آب و فاضلاب، دانشگاه رازی کرمانشاه

<sup>۳</sup> - دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی بوشهر

\* نویسنده مسوول مقاله: vaghefi@pgu.ac.ir

## مقدمه

احداث آبشکن در رودخانه‌ها می‌تواند به دلایل مختلفی انجام شود. از جمله این دلایل می‌توان به حفاظت جداره‌های مجرای رودخانه‌ها در مقابل فرسایش، انحراف جریان، افزایش عمق آب، ایجاد رسوبگذاری و ... اشاره نمود. آبشکن‌ها در الگوی جریان، سطح آزاد و انتقال رسوبات تغییراتی ایجاد می‌کنند. احداث آنها منجر به کاهش عرض مجرا و در نتیجه افزایش سرعت جریان عبوری و تنش برشی وارده بر کف می‌شود. در صورتیکه بستر فرسایش پذیر باشد، این مسئله موجب وقوع فرسایش و آبشستگی در اطراف آن می‌شود. در بالادست و پایین دست آبشکن جریان گردابه‌ای ایجاد می‌شود که می‌تواند منجر به رسوبگذاری در این قسمت‌ها شود. از طرفی آبشکنها سطح آب در بالادست خود را افزایش می‌دهند. بنابراین با توجه به تاثیرات مهمی که پس از احداث آبشکن ایجاد می‌شود، مطالعه و بررسی در خصوص آنها از اهمیت زیادی برخوردار است. شبیه‌سازی عددی یکی از روشهای مناسب و کم‌هزینه برای انجام مطالعه در خصوص آنها می‌باشد که در تحقیق حاضر مورد استفاده قرار خواهد گرفت.

مطالعات انجام شده در خصوص الگوی جریان در اطراف آبشکن به دو دسته مطالعات عددی و آزمایشگاهی تقسیم‌بندی می‌گردند. از جمله کارهای آزمایشگاهی انجام شده می‌توان به مطالعات آزمایشگاهی مولیناس و همکاران (۱۹۹۸)، جیا و همکاران (۲۰۰۰)، بلزا و همکاران (۲۰۰۱)، یو و همکاران (۲۰۰۵)، شارما و موهاپاترا (۲۰۱۲)، اشاره نمود. با توجه به هزینه‌های بسیار زیاد کارهای آزمایشگاهی، امروزه روش‌های عددی به شدت گسترش یافته‌اند. پنگ و همکاران (۱۹۹۷) با ارائه یک مدل عددی سه‌بعدی، جریان در اطراف یک آبشکن مستغرق را شبیه‌سازی نموده آنها با ارزیابی مدل خود با داده‌های آزمایشگاهی به این نتیجه رسیدند که موقعیت، اندازه و ماکزیمم عمق آبشستگی در نزدیکی دماغه آبشکن اتفاق می‌افتد. ویتبرجت و جیرکا (۲۰۰۱) الگوی جریان در میدان آبشکن‌ها را به ازای نسبت طول به فاصله‌های مختلف به صورت تجربی بررسی کردند. گیری و همکاران (۲۰۰۴) به صورت عددی و آزمایشگاهی به شبیه‌سازی

جریان و آبشستگی در کانالی شبیه رودخانه پرداختند. ناگاتا و همکاران (۲۰۰۵) اقدام به مدل‌سازی عددی سه بعدی جریان و تغییرات حول بستر آبشکن منفرد نمودند. یجتوال (۲۰۰۵) با مشاهده اثر هندسه بر روی میدان جریان در اطراف آب شکن نتیجه گرفت که نسبت طول به عرض ناحیه جدا شدگی آبشکن می‌تواند بیانگر تعداد و شکل گردابه‌های نمایان شده در ناحیه جریان ایستا باشد. آذینفر و کلز (۲۰۰۶، ۲۰۰۷ و ۲۰۰۹) مقاومت جریان حول تک آبشکن در کانال باز را به شکل عددی و آزمایشگاهی بررسی کردند. مک کوی و همکاران (۲۰۰۶) به بررسی میدانهای جریان در اطراف و بین دو آب شکن عمودی در یک کانال باز مستقیم پرداختند. آنان از روش عددی شبیه‌سازی گردابه‌های بزرگ استفاده نموده و گزارش کردند که در جریان اصلی، گردابه‌های نعل اسبی ناماندگار در پایه‌ی آب شکن‌ها و در بالادست جریان ایجاد می‌گردد. حسنی (۱۳۸۰) الگوی جریان در اطراف آبشکن قائم را با استفاده از مدل‌های فیزیکی و عددی به صورت دو بعدی مورد بررسی قرار داد. وی در مدل عددی خود مدل‌های آشفتگی لزجت ثابت، طول اختلاط، مدل آشفتگی  $k-\epsilon$  و مدل LES را مقایسه نمود. نیشابوری و همکاران (۱۳۸۲)، میدان جریان در اطراف آبشکن‌ها را به صورت عددی مورد بررسی قرار دادند. آنها مدل خود را برای اعداد رینولدز مختلف به کار بردند و تاثیر عدد رینولدز را در پروفیل سرعت مورد بررسی قرار دادند. وافقی و همکاران (۱۳۸۸) با بررسی تغییرات زمانی آبشستگی اطراف آب شکن T شکل در قوس ۹۰ درجه مشاهده نمودند بال آبشکن T شکل باعث گسترده تر شدن ناحیه جدایی جریان می‌گردد و این باعث مکش جریان در فضای بین بال پایین دست و ساحل خارجی و ایجاد گردابه های افقی و قائم پایدار می‌شود که نتیجه آن کاهش آبشستگی در پایین دست آبشکن می‌باشد. نوربخش و همکاران (۱۳۹۰) به بررسی اثر نسبت طول بال به جان آبشکن سرسپری مستغرق در تغییرات توپوگرافی بستر پرداخته و نتیجه گرفتند با افزایش این نسبت و به منظور حفظ پایداری خود آبشکن می‌بایست عمق مدفون آبشکن در بستر افزایش یابد. وافقی و همکاران (۱۳۹۲) به بررسی الگوی جریان تحت تاثیر پارامتر هندسی طول جان

معادلات حاکم بر جریان در نرم‌افزار FLOW-3D شامل معادلات پیوستگی (معادله ۱) و معادلات مومنتوم (معادلات ۲-۴) هستند که تحت عنوان معادلات ناویر-استوکس شناخته می‌شوند. این معادلات در دستگاه مختصات کارتزین و برای سیال غیرقابل تراکم به شکل زیر معرفی شده‌اند.

$$V_f \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\delta}{\delta x} (\rho u A_x) + R \frac{\delta}{\delta y} (\rho u A_y) + \frac{\delta}{\delta z} (\rho u A_z) = RDIF + RSQR \quad (1)$$

که  $V_f$  کسر حجمی فضای باز به جریان،  $\rho$  دانسیته سیال، RDIF ترم نفوذپذیری آشفتگی و RSQR برابر منبع جرم است.  $w$  و  $v$  و  $u$  مولفه‌های سرعت در جهت‌های  $Z$  و  $y$ ،  $x$  هستند.  $A_x$ ،  $A_y$ ،  $A_z$  برابر مساحت کسری محیط به جریان و  $G_x$ ،  $G_y$ ،  $G_z$  معرف شتاب بدنه در جهت‌های  $Z$  و  $y$ ،  $x$  هستند.

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{1}{V_f} \left[ u A_x \frac{\partial u}{\partial x} + v A_y \frac{\partial u}{\partial y} + w A_z \frac{\partial u}{\partial z} \right] = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial x} + G_x + f_x \quad (2)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{1}{V_f} \left[ u A_x \frac{\partial v}{\partial x} + v A_y \frac{\partial v}{\partial y} + w A_z \frac{\partial v}{\partial z} \right] = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial y} + G_y + f_y \quad (3)$$

$$\frac{\partial w}{\partial t} + \frac{1}{V_f} \left[ u A_x \frac{\partial w}{\partial x} + v A_y \frac{\partial w}{\partial y} + w A_z \frac{\partial w}{\partial z} \right] = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial z} + G_z + f_z \quad (4)$$

برای مدل‌سازی سطح آزاد از روش VOF استفاده گردیده است.  $F$  یعنی جزء حجم سیال، از طریق معادله (۵)، به دست می‌آید.  $F$  معرف جزء حجمی اشغال شده توسط سیال است که برای آن مقدار ۱ حجم سلول پر از آب و به ازای مقدار ۰، حجم سلول خالی از آب و پر از هوا را نشان می‌دهد.

آبشکن سرسپری مستقر در مسیر مستقیم با استفاده از نرم‌افزار Fluent پرداختند. نتایج آن‌ها بیانگر این است که ناحیه جدایی جریان و اتصال مجدد آن با افزایش طول جان آبشکن تا طول جان معادل ۲۰ درصد عرض کانال، روندی صعودی داشته اما پس از آن روندی نزولی دارد. واقفی و همکاران (۱۳۹۳) با استفاده از نرم‌افزار Flow-3D به مطالعه تأثیر شعاع انحنا بر الگوی جریان پیرامون آبشکن T شکل مستقر در قوس به صورت مستغرق پرداختند. بررسی‌های آن‌ها بیانگر این است که با افزایش شعاع انحنا، در پایین دست آبشکن غیرمستغرق، ابعاد گردابه‌ها کاهش می‌یابد. علاوه بر این، آن‌ها مشاهده نمودند که هر چه شعاع انحنا نسبی کمتر باشد، ناحیه وسیع‌تری در پایین دست آبشکن مستغرق دارای سکون نسبی جریان خواهد بود. واقفی و همکاران (۱۳۹۳) با استفاده از نرم‌افزار SSIIM نیز به بررسی اثر شعاع انحنای قوس ۹۰ درجه توام با استقرار آبشکن سرسپری بر الگوی جریان و آبشستگی پرداختند. آن‌ها خطوط جریان در نیمرخ‌های طولی و عرضی را بررسی نموده و نتیجه گرفتند که با افزایش شعاع انحنا، طول ناحیه جدایی ناشی از گردابه‌های افقی کاهش یافته که مقادیر آن بین ۰/۷ تا ۰/۳ برابر طول بال آبشکن می‌باشد.

در تحقیقات انجام شده اثر دبی بر وضعیت الگوی جریان در اطراف آبشکن مستغرق مورد بررسی و مطالعه قرار نگرفته است. در تحقیق حاضر با استفاده از نرم‌افزار FLOW-3D الگوی جریان در اطراف آبشکن مستغرق شبیه‌سازی و مدل با استفاده از نتایج آزمایشگاهی آزینفر (۲۰۰۶) صحت‌سنجی می‌شود. سپس در ادامه اثر تغییر دبی بر الگوی جریان بررسی می‌شود.

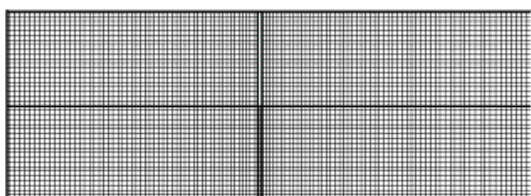
## مواد و روش‌ها

### معادلات حاکم و روش حل

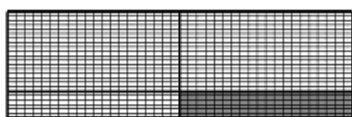
نرم‌افزار FLOW-3D کاربرد گسترده و قابلیت بسیار زیادی در زمینه شبیه‌سازی عددی دارد به نحوی که کاربر با وارد کردن اطلاعات می‌تواند مدل‌های مختلفی را به منظور شبیه‌سازی محدوده وسیعی از پدیده‌های جریان، انتخاب کند.

### نحوه مدل کردن کانال و آبشکنها

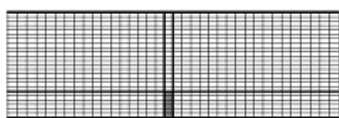
شبکه‌بندی میدان حل در نرم‌افزار FLOW-3D به صورت انجام شده است. در ابتدا آنالیز حساسیت در خصوص تعداد سلول‌های مختلف انجام شد و در نهایت شبکه با تعداد سلول‌های ۳۶\*۶۰\*۶۰ بترتیب در راستای X، Y و Z برای انجام شبیه‌سازیها انتخاب شد.



الف



ب



ج

شکل ۲- مش‌بندی کانال در راستاهای الف) X-Y، ب) Y-Z و ج) X-Z

این شبکه‌بندی که در شکل ۲ نمایش داده شده، در راستای طولی کانال غیر یکنواخت است بطوریکه در نزدیکی آبشکن از شبکه ریزتری استفاده شده است.

### شرایط مرزی

برای در نظر گرفتن شرایط مرزی، در مرز ورودی از شرط مرزی دبی ثابت استفاده شده است. در طرف دیواره‌ها و بستر کانال از شرایط مرزی دیوار و در مرز فوقانی میدان محاسباتی شرط تقارن بکار رفته است. در مرز خروجی نیز شرط مرزی جریان خروجی در نظر گرفته شده است.

### نتایج و بحث

جدول ۱- خطای میانگین مربع‌ها (RMSE) در سرعت های طولی

میزان خطا (متوسط)	عرض (سانتی متر)
۱۳/۷۶ درصد	۰/۴
۳/۵۲ درصد	۰/۶
۱/۰۹ درصد	۰/۷۶

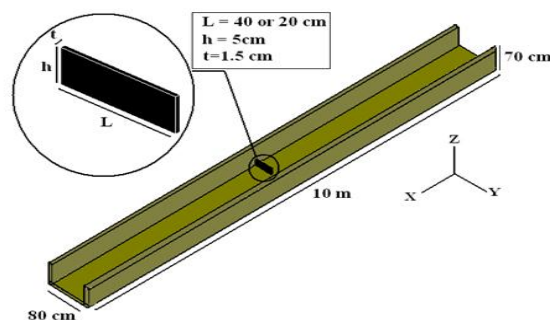
(۵)

$$\frac{\partial F}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left[ \frac{\partial}{\partial x} (FuA_x) + \frac{\partial}{\partial y} (FvA_y) + \frac{\partial u}{\partial z} (FwA_z) \right] = 0.0$$

به منظور مدل سازی آشفتگی از مدل آشفتگی RNG k-ε استفاده شده است.

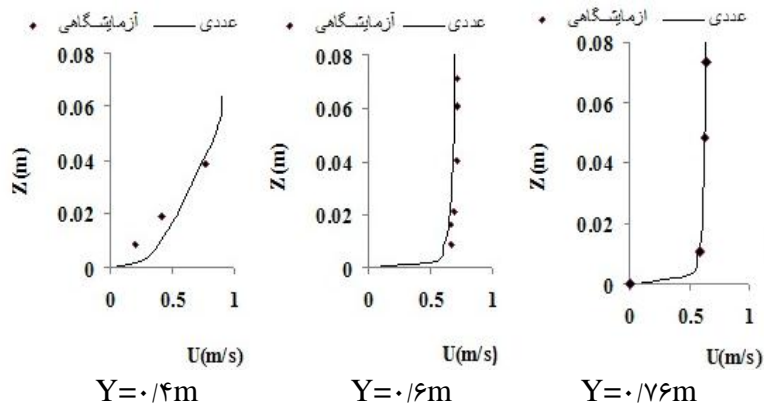
### شبکه بندی میدان محاسباتی و روش حل

در تحقیق حاضر، از نتایج آزمایشگاهی آزینفر (۲۰۰۶) که در یک فلوم مستطیلی با طول ۱۰ متر، عرض ۸۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۶۰ سانتی‌متر و با شیب کف ۰/۰۰۰۹۷۵ استفاده شده است. در شکل ۱ مشخصات و ابعاد کانال و آبشکن نمایش داده شده است. صحت‌سنجی مدل عددی با استفاده از نتایج مربوط به آزمایشات با آبشکنهای با طول ۴۰ و ۲۰ سانتی‌متر، ضخامت ۱/۵ سانتی‌متر و ارتفاع ۵ سانتی‌متر انجام شده است، ضمناً به منظور بررسی اثر دبی الگوی جریان با دبی‌های ۲۰، ۳۰، ۳۳/۱، ۴۰ و ۵۰ متر مکعب بر ثانیه در اطراف این دو طول مختلف از آبشکن شبیه‌سازی شده است. به منظور تهیه هندسه آبشکن، یک فایل با پسوند STL و با استفاده از نرم‌افزار AUTO CAD ساخته شده و مورد استفاده قرار گرفته است. مدل FLOW-3D از تکنیک FAVOR<sup>۴</sup> به منظور در نظر گرفتن اثر حجم‌های صلب در میدان جریان استفاده می‌کند.



شکل ۱- مشخصات کانال آزمایشگاهی و آبشکن مورد استفاده برای مدل عددی در قالب فایل STL

<sup>۴</sup> - Fractional Area/Volume obstacle Representation



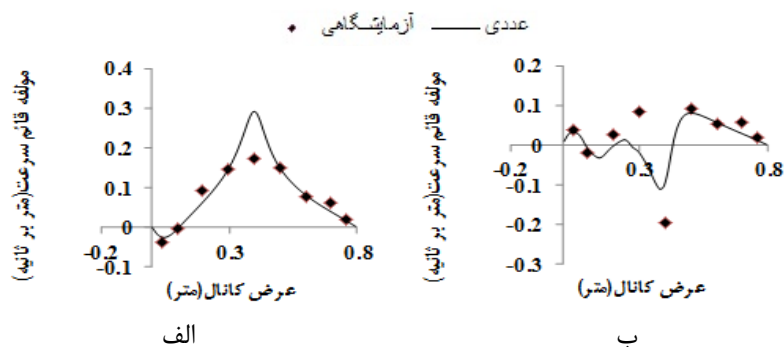
شکل ۳- مقایسه پروفیل سرعت طولی عددی و آزمایشگاهی در نقاط مختلف واقع در جلوی آبشکن در مقطع  $X=5/08m$

آزمایشگاهی است. در مقطع  $Y=0/4 m$  که در محل دماغه آبشکن واقع شده پیچیدگی الگوی جریان به علت گردابه‌های قائم و عرضی که به ترتیب در اطراف و روی تاج آبشکن ایجاد می‌شوند. انطباق نتایج عددی و آزمایشگاهی اندکی کمتر می‌شود.

جهت صحت سنجی مدل عددی از نتایج یکی از آزمایشات آزینفر (۲۰۰۶) با آبشکن با طول  $0/4$  متر و دبی  $33/1$  لیتر بر ثانیه در جلو آبشکن در چند نقطه با طول  $X=5/08m$  و عرض  $Y=0/4 m$  و  $Y=0/6 m$  و  $Y=0/76 m$  آزینفر (۲۰۰۶) استفاده شده است. شکل ۳ نشان دهنده انطباق خوب پروفیل‌های سرعت طولی بین نتایج عددی و

جدول ۲- خطای میانگین مربع‌ها (RMSE) در سرعت‌های عرضی

طول (متر)	میزان خطا (متوسط)
$X=4/96m$	۱۶/۰۸ درصد
$X=5/08m$	۲۴ درصد



شکل ۴- مقایسه مقادیر سرعت عرضی بین نتایج عددی و آزمایشگاهی در ۱۰ میلی‌متر بالاتر از کف کانال در دو موقعیت

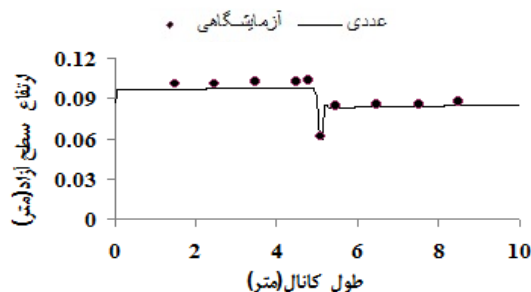
(الف)  $X=4/96m$  (ب)  $X=5/08m$

براساس نتایج نشان داده شده در این شکل نتایج عددی انطباق نسبتاً خوبی با نتایج مدل آزمایشگاهی دارند.

شکل ۴ پروفیل‌های سرعت عرضی را در حدود ۱۰ میلی‌متر بالاتر از کف کانال برای دو مقطع عرضی بالادست ( $X=4/96m$ ) و پایین دست ( $X=5/08m$ ) نشان می‌دهد.

جدول ۳- خطای میانگین مربع‌ها (RMSE) در عمق‌های مختلف

عرض (سانتی متر)	میزان خطا (متوسط)
0/6	3/06 درصد



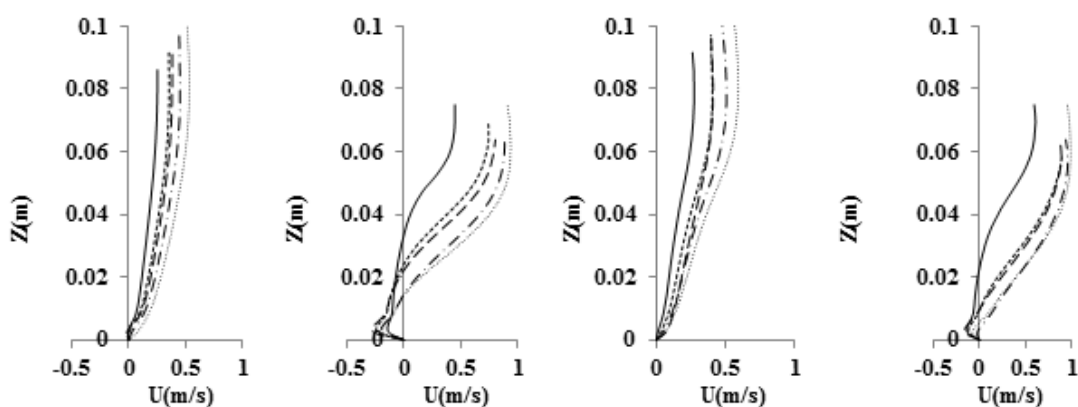
شکل ۵ - مقایسه سطح آزاد بین نتایج عددی و آزمایشگاهی در مقطع طولی وسط کانال برای آبشکن با طول ۴۰ سانتی‌متر

بیشتر شده و ارتفاع آب کمتر می‌شود. در محل دماغه آبشکن نیز به علت تغییر ناگهانی عرض عبور و فرار جریان، یک کاهش و افزایش ناگهانی در پروفیل سطح آب ملاحظه می‌گردد که منجر به نوسان سطح آب در پایین دست آبشکن می‌شود. با فاصله گرفتن از جداره محل استقرار آبشکن، این نوسان کاهش می‌یابد.

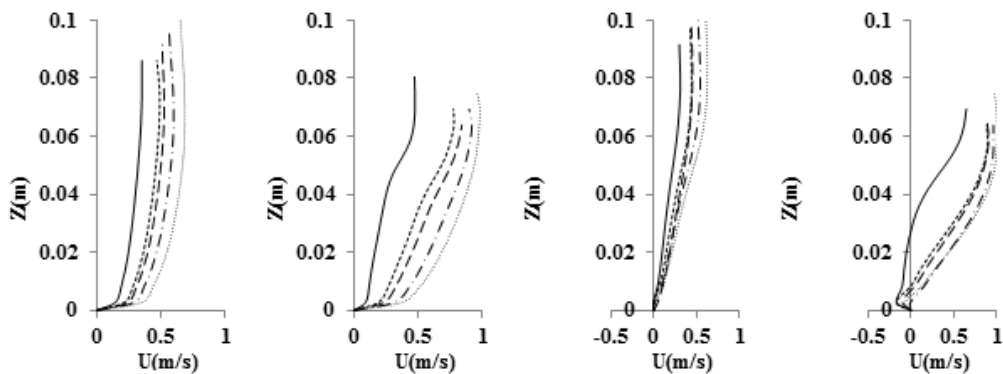
آبشکن به طول ۰/۲ متر

در شکل ۵ نتایج عددی و آزمایشگاهی پروفیل سطح آزاد آب در مقطع طولی وسط کانال مقایسه شده است. نتایج حاکی از انطباق نسبتاً مناسب بین داده‌های عددی و آزمایشگاهی است. با قرارگیری آبشکن در مسیر جریان، عرض عبور جریان کمتر شده و در بالادست آبشکن، آب بالا می‌آید و مجدداً پس از عبور از روی آبشکن عرض کانال آبشکن به طول ۰/۴ متر

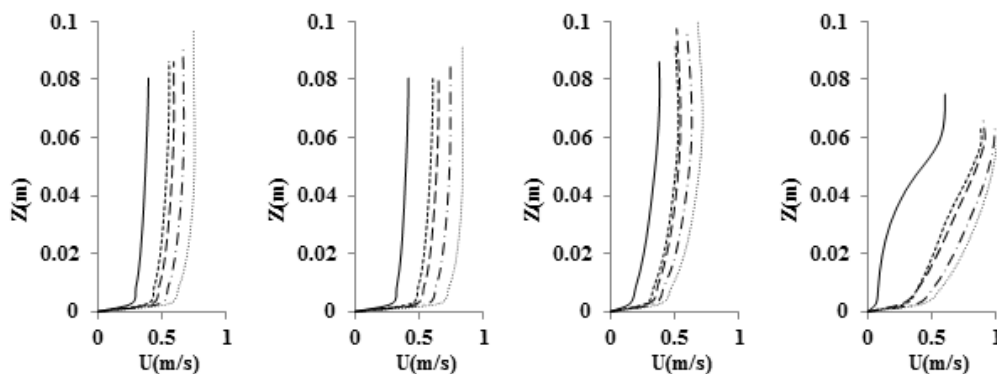
—  $q=20 \text{ l/s}$     - - - -  $q=30 \text{ l/s}$     - - - -  $q=33/1 \text{ l/s}$     - - -  $q=40 \text{ l/s}$     .....  $q=50 \text{ l/s}$



(ت)  $X=5/0.8m$  و  $Y=0/0.6m$  (پ)  $X=4/9.6m$  و  $Y=0/0.6m$  (ب)  $X=5/0.8m$  و  $Y=0/0.6m$  (الف)  $X=4/9.6m$  و  $Y=0/0.6m$



ت)  $X=5/08m$  و  $Y=0/2m$  (پ)  $X=4/96m$  و  $Y=0/2m$  (ب)  $X=5/08m$  و  $Y=0/2m$  (الف)  $X=4/96m$  و  $Y=0/2m$



ه)  $X=5/08m$  و  $Y=0/4m$  (د)  $X=4/96m$  و  $Y=0/4m$  (ج)  $X=5/08m$  و  $Y=0/4m$  (ب)  $X=4/96m$  و  $Y=0/4m$

شکل ۶: مقایسه پروفیل سرعت طولی در عمق، به ازای دبی‌های مختلف

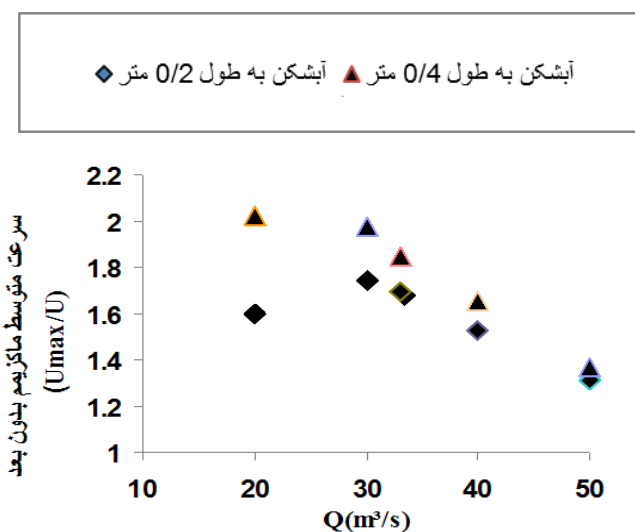
برای آبشکن‌های با طول‌های ۰/۲ و ۰/۴ متر

ب و ت). در فاصله ۰/۲ متر از جداره کانال که دماغه آبشکن به طول ۰/۲ متر و مرکز آبشکن به طول ۰/۴ متر باشد، مشاهده می‌شود که میزان سرعت در بالادست و پایین دست آبشکنها با افزایش دبی سیر صعودی دارد (شکل‌های ۶-ث، ج، چ و ح). در پایین دست آبشکن به طول ۰/۴ متر سرعت طولی در نزدیکی کف کانال منفی است که نشان دهنده جریان گردابه‌ای در پایین دست آبشکن است (شکل‌های ۶-ح). در فاصله ۰/۴ متر از جداره کانال، که محل دماغه آبشکن به طول ۰/۴ متر و محل واقع در میان دماغه آبشکن و جداره مقابل کانال است وضعیت سرعت‌های طولی در شکل‌های ۶-خ، د، ز و ر). نمایش داده شده‌اند.

در شکل ۶ به مقایسه نتایج سرعت طولی در نقاط مختلف کانال برای آبشکن‌های با طول‌های ۰/۲ و ۰/۴ متر پرداخته شده است. همانطور که مشاهده می‌شود در نزدیکی جداره بالادست آبشکن‌های با طول‌های ۰/۲ و ۰/۴ متر در نقطه‌ای به فاصله ۰/۰۶ متر از جداره کانال با افزایش دبی سرعت طولی افزایش پیدا می‌کند (شکل‌های ۶-الف و پ). در پایین دست آبشکن نیز با افزایش دبی، نقطه بعد از آبشکن نیز همواره شاید افزایش سرعت با آهنگ بیشتری رخ می‌دهد ولی در کف کانال سرعتها منفی می‌شوند که نشان دهنده وجود گردابه در این ناحیه می‌باشد که با مقایسه این گردابه‌ها در دو طول آبشکن این نتیجه مشهود است که قدرت این گردابه‌ها در آبشکن به طول ۰/۴ از آبشکن به طول ۰/۲ بیشتر است (شکل‌های ۶-ب و ت).

جدول ۴- مقایسه عددی سرعت متوسط ماکزیمم برای دبی های مختلف در آبشکن های ۰/۲ و ۰/۴ متر

برای دبی های مختلف بر حسب متر مکعب بر ثانیه	سرعت متوسط ماکزیمم بدون بعد برای آبشکن با طول ۰/۴ متر	سرعت متوسط ماکزیمم بدون بعد برای آبشکن با طول ۰/۲ و ۰/۴ متر	اختلاف نسبت نوسانات سرعت در آبشکن های با طول ۰/۲ و ۰/۴ متر
۲۰	۱/۵۹	۲/۰۵	۰/۴۶
۳۰	۱/۷۷	۱/۹۳	۰/۱۶
۳۳/۱	۱/۷۱	۱/۸۳	۰/۱۲
۴۰	۱/۵۴	۱/۶۴	۰/۱
۵۰	۱/۳۸	۱/۴	۰/۰۲



شکل ۷- مقایسه ماکزیمم نوسان سرعت آب در جلو آبشکن در مقطع (X=۵) برای آبشکن با طول های مختلف (مثلاً ۰/۴ و ۰/۲)

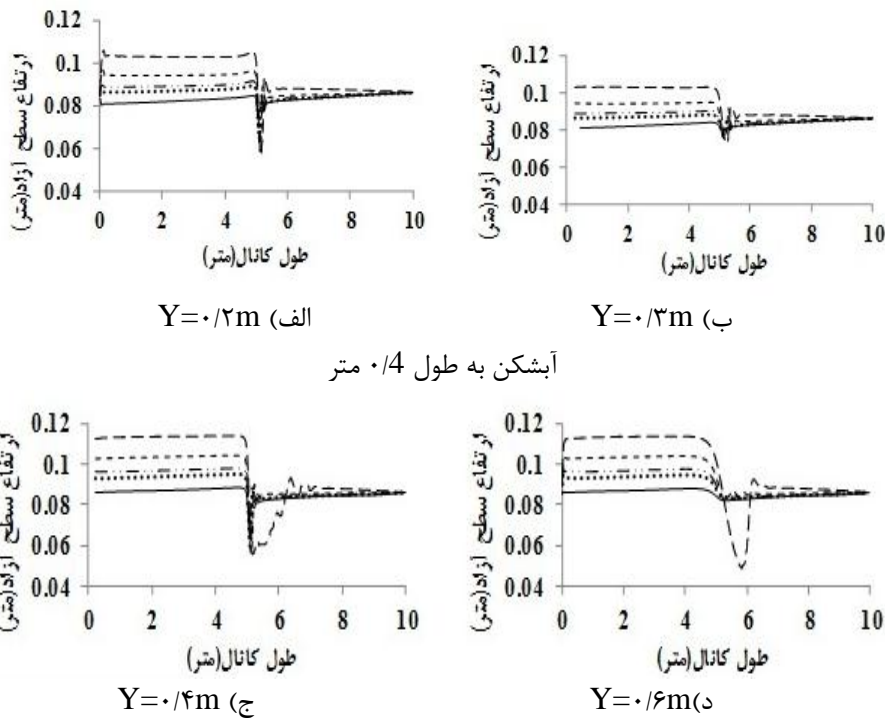
بطوریکه در شکل ۷ مشخص است که در دبی بیشتر از ۴۰ لیتر بر ثانیه افزایش مقدار بدون بعد سرعت طولی حداکثر نسبت به حالت های کمتر از آن به مقدار بسیار کمتری اتفاق افتاده است. همچنین در حالتی که طول آبشکن بیشتر است با توجه به اینکه تنگ شدگی مقطع افزایش می یابد همانطور که انتظار می رود سرعت طولی حداکثر بدون بعد برای تمامی دبی ها افزایش یافته است.

در شکل ۷ سرعت طولی حداکثر کانال که در جلو دماغه آبشکن به دلیل تنگ شدن مقطع در این ناحیه رخ می دهد، در حالتی که نسبت به سرعت و روی کانال بدون بعد شده است، مقایسه شده است. همانطور که در این شکل مشخص است با افزایش دبی این نسبت افزایش می یابد. در دبی های کمتر تغییرات این مقدار بیشتر است اما در دبی های بیشتر آهنگ تغییرات ملایم می شود

آبشکن به طول ۰/۲ متر

— q=۲۰ l/s    - - - - - q=۳۰ l/s    - - - - - q=۳۳/۱ l/s    - . . . q=۴۰ l/s    ..... q=۵۰ l/s





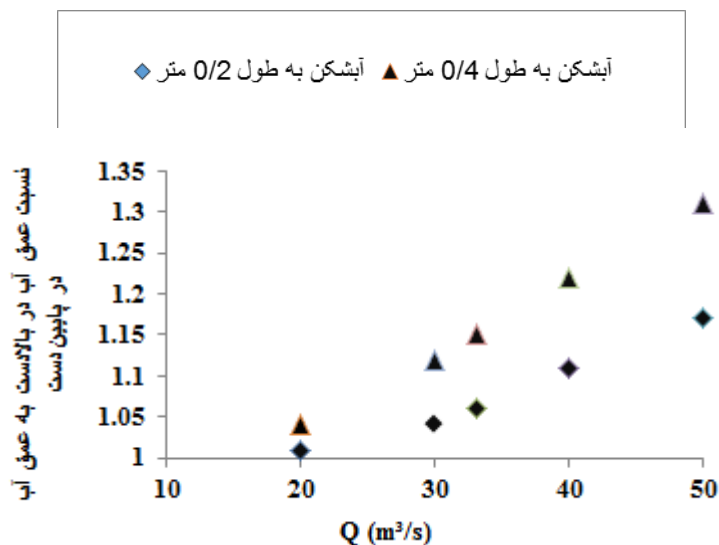
شکل ۸ - پروفیل سطح آزاد آب برای آبشکن با طول ۲۰ سانتی‌متر در مقاطع مختلف

بالادست آبشکن بیشتر می‌شود. در پایین دست آبشکن سطح آزاد پس از طی نوسانات هموار می‌شود (شکل‌های ۸- ج و ه).

در شکل ۸ سطح آزاد جریان در دو مقطع طولی که اولی از دماغه آبشکن و دومی از مرکز فاصله دماغه آبشکن و جداره دیگر عبور می‌کند نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود با افزایش دبی عمق جریان در

جدول ۵- مقایسه عددی نسبت عمق آب در بالا دست و پایین دست آبشکن برای دبی‌های مختلف برای آبشکن با طول‌های ۰/۲ و ۰/۴ متر

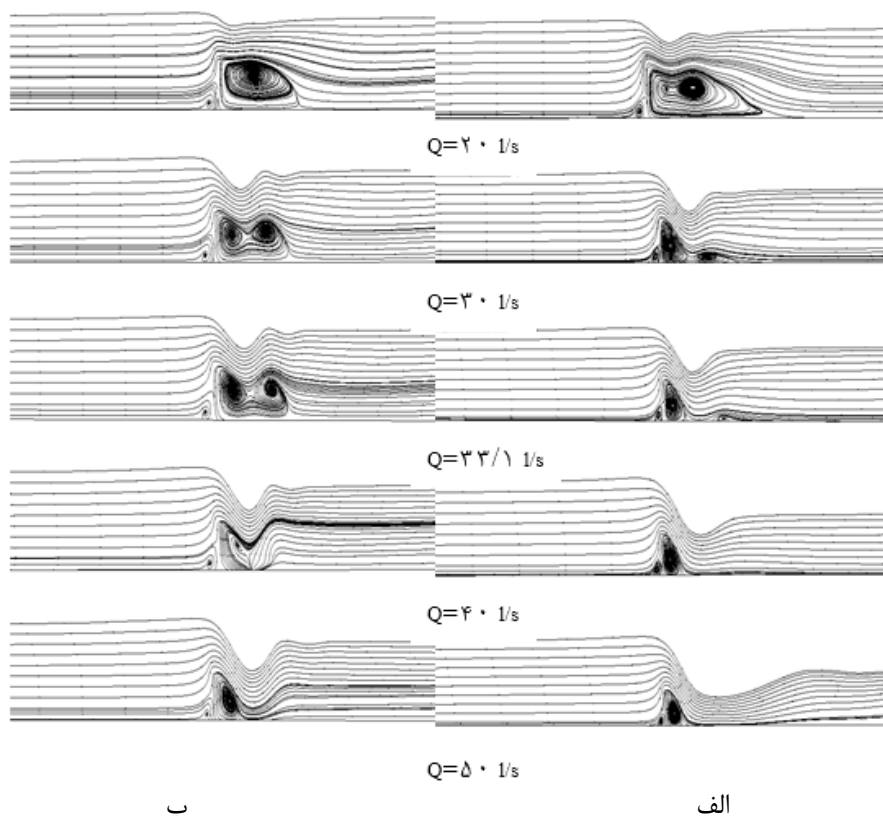
برای دبی‌های مختلف بر حسب متر مکعب بر ثانیه	برای آبشکن با طول ۰/۲ متر	برای آبشکن با طول ۰/۴ متر	اختلاف نسبت عمق آب در آبشکن‌های با طول ۰/۲ و ۰/۴ متر
۲۰	۱/۰۴	۱/۰۱	۰/۰۳
۳۰	۱/۱۲	۱/۰۴	۰/۰۸
۳۳/۱	۱/۱۵	۱/۰۶	۰/۰۹
۴۰	۱/۲۱	۱/۱۱	۰/۱
۵۰	۱/۳۱	۱/۱۷	۰/۱۴



شکل ۹- مقایسه نسبت عمق آب در بالادست و پایین دست آبشکن (مثلاً ۰/۴ و لوزی ۰/۲)

می‌یابد. اما در حالتی که طول آبشکن بیشتر است همانطور که انتظار می‌رود مقدار این نسبت، نسبت به طول کمتر آبشکن افزایش می‌یابد. اما در هر دو حالت روند تغییرات مشابه است.

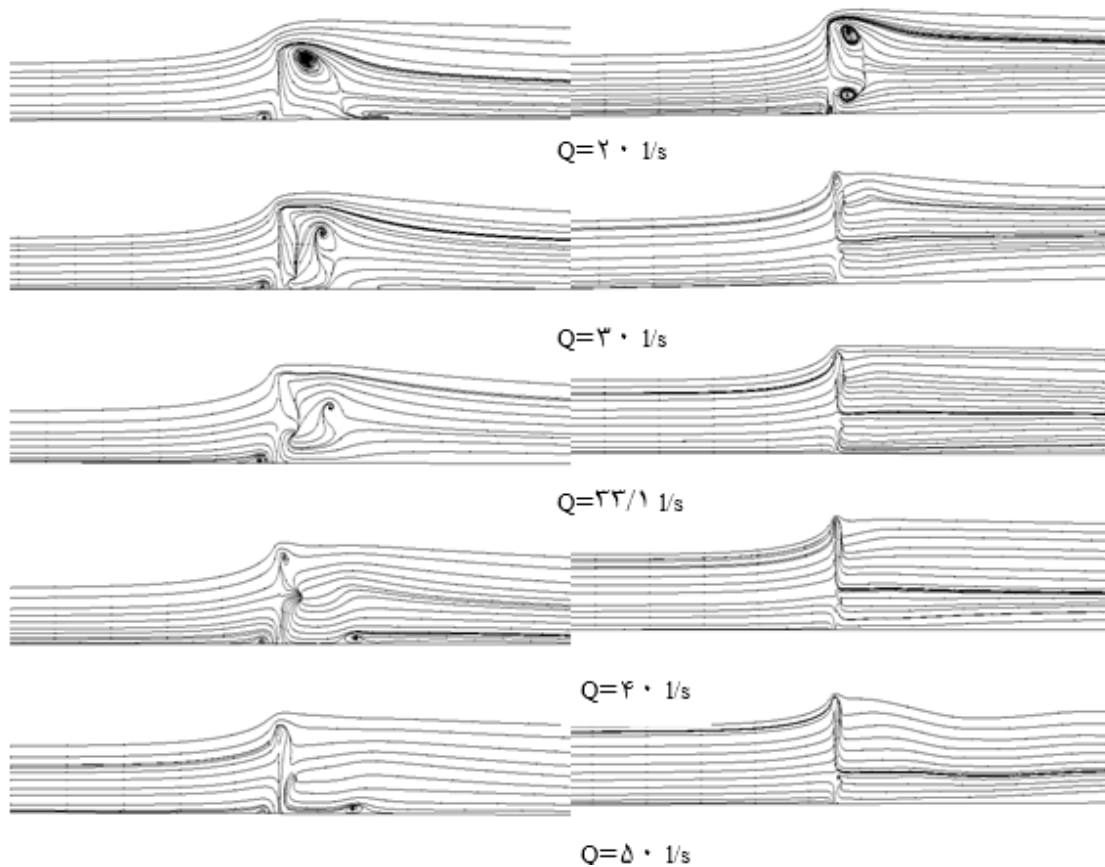
در شکل ۹ نسبت عمق آب در بالادست ( $h_1$ ) به عمق آب در پایین دست ( $h_2$ ) برای آبشکنهای با طولهای ۰/۲ متر و ۰/۴ متر در محور وسط کانال به ازای دبی‌های مختلف نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود در هر دو طول آبشکن با افزایش دبی مقدار این نسبت افزایش



شکل ۱۰ خطوط جریان در راستای X-Z (الف) در  $Y=0.2$  برای آبشکن به طول ۰/۴ متر، در  $Y=0.1$  برای آبشکن به طول ۰/۲ متر

مجدد دبی یعنی در حدود ۳۳ لیتر بر ثانیه برای آبشکن به طول ۰/۴ متر و دبی حدود ۴۰ لیتر بر ثانیه برای آبشکن با طول ۰/۲ متر گردابه دوم حذف شده و یک گردابه کوچکتر باقی می‌ماند. در بالادست آبشکن در تمام حالات گردابه‌ای با ابعاد بسیار کوچکتر نسبت به گردابه تشکیل شده در پایین دست آبشکن مشاهده می‌شود.

در شکل ۱۰ خطوط جریان در مقطع طولی وسط طول آبشکن برای آبشکن‌های با طول‌های ۰/۴ متر و ۰/۲ متر به ازای دبی‌های مختلف نشان داده شده است. همانطور که در این شکل مشاهده می‌شود ابعاد گردابه‌های دارای محور عرضی که در پایین دست آبشکن تشکیل شده است کاهش می‌یابد. در دبی ۲۰ لیتر بر ثانیه گردابه‌ای با بیشترین بعد نسبت به دبی‌های بالاتر تشکیل شده است. با افزایش دبی این گردابه به دو گردابه تبدیل می‌شود. به نظر می‌رسد مومنتوم ناشی از ریزش آب با ارتفاع بیشتر به سمت پایین دست عامل این مسأله بوده است. با افزایش



ب

الف

شکل ۱۱) خطوط جریان در راستای X-Y در  $Z=0/25$  (الف) برای آبشکن به طول ۰/۴ متر، (ب) آبشکن به طول ۰/۲ متر

مشاهده می‌شود با افزایش دبی همواره از ابعاد گردابه‌های ایجاد شده با محور چرخشی در راستای قائم کاسته می‌شود.

در شکل ۱۱ خطوط جریان عبوری در صفحه افقی واقع در وسط ارتفاع آبشکن با فاصله ۲/۵ سانتیمتر از کف برای دبی‌های مختلف در هر دو حالت آبشکن با طول ۰/۴ متر و ۰/۲ متر رسم شده‌اند. همانطور که در این شکل

## نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر ابتدا میدان جریان در اطراف یک آبشکن مستغرق با استفاده از نرم‌افزار شبیه‌سازی شد. همانطور که مشاهده شد خطای میانگین مربع ها در سرعت های طولی، عرضی و در عمق هم نشان داده شده است که با افزایش عمق خطای متوسط میانگین در سرعت‌های طولی به سرعت کاهش پیدا می کند و همچنین با افزایش طول کانال خطای متوسط میانگین در سرعت های عرضی افزایش پیدا می کند با توجه به مقایسه نتایج مدل عددی با نتایج آزمایشگاهی در خصوص مقادیر سرعت طولی، عرضی و سطح آزاد مشخص شد که این نتایج در تطابق مناسبی با هم می‌باشند سپس در ادامه اثر دبی و طول آبشکن بر جریان عبوری مورد بررسی و مطالعه قرار گرفت از این بررسی نتایج زیر بدست آمد.

با افزایش دبی مقدار سرعت طولی حداکثر بدون بعد افزایش می‌یابد. در دبی‌های کمتر آهنگ تغییرات بیشتر و در دبی‌های بالاتر آهنگ تغییرات کاهش می‌یابد.

نسبت عمق آب در بالادست نسبت به عمق آب در پایین دست آبشکن با افزایش دبی، افزایش می‌یابد.

در پایین دست آبشکن در دبی ۲۰ لیتر بر ثانیه گردابه‌ای با بیشترین بعد نسبت به دبی‌های بالاتر تشکیل می‌شود. با افزایش دبی این گردابه به دو گردابه تبدیل می‌شود و با افزایش مجدد دبی یک گردابه کوچکتر باقی می‌ماند.

در بالادست آبشکن در تمام حالات گردابه‌ای با ابعاد بسیار کوچکتر نسبت به ابعاد گردابه تشکیل شده در پایین دست آبشکن مشاهده می‌شود همچنین با مقایسه عددی سرعت متوسط ماکزیمم در دبی های مختلف برای آبشکن های با طول های مختلف نشان داده شد که همواره با افزایش دبی اختلاف نوسانات سرعت در آبشکن های با طول های ۰/۲ و ۰/۴ متر همواره کاهش و اختلاف نسبت عمق آب در آبشکن های با طول های بالا همواره در حال افزایش است.

- dike. Canadian Journal of Civil Engineering, NRC Press, 34(1): 107-115.
- 11- Azinfar, H. and Kells, J.A (2009): Flow resistance due to a single spur dike in an open channel, Journal of Hydraulic Research, 47:6, 755-763.
- 12- Belz, J.U., Busch, N., Engel, H. and Gasber, G. 2001. Comparison of river training measures in the Rhine catchment and their effects on food behavior. Water and Maritime Engineering, Proceedings of the Institution of Civil Engineers, London, UK, 148(3): 123- 132.
- 13- Giri, S., Shimizu, Y., and Surajate, B., "Laboratory Measurement and Numerical Simulation of Flow and Turbulence in a Meandering-like Flume with Spurs", Flow Measurement and Instrumentation, 15(2004) 301-309.
- 14- Jia, Y. and Wang, S.S.Y. 2000. Numerical study of turbulent flow around submerged spur dikes 4th International Conference on Hydro-Science and Engineering, Korea Water Resources Association, Seoul, South Korea, CD-ROM, 7 p.
- 15- McCoy, A., Constantinescu, S.G., and Weber, L. 2006a. Exchange processes in a channel with two vertical emerged obstructions. J. of Flow. Turbulence. Combustion. pp: 97-126.
- 16- Molinas, A. and Kheireldin, K., Wu, B., 1998., Shear Stress Around Vertical Wall Abutments. Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 124, No. 8.
- 17- Nagata, N., Hosoda, T., Nakato, T., and Muramoto, Y. (2005). "Three-Dimensional Numerical Model for Flow and Bed Deformation around River Hydraulic Structures." J. Hydraul. Eng., 131(12), 1074-1087.
- 18- Peng, J., Kawahara, Y. and Tamai, N. 1997. Numerical analysis of three-dimensional turbulent flows around
- منابع**
- ۱- حسنی، م. " مطالعه الگوی جریان کم عمق چرخشی در اطراف آبشکن‌ها با استفاده از مدل فیزیکی و ریاضی"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران ۱۳۸۰.
- ۲- نیشابوری، صالحی. "پیش‌بینی میدان جریان در اطراف آبشکن‌ها"، چهارمین کنفرانس هیدرولیک ایران ۱۳۸۲.
- ۳- نوربخش س م، قدسیان م، واقفی م. "بررسی اثر نسبت طول بال به جان آبشکن سرسپری مستغرق در تغییرات توپوگرافی بستر." دهمین کنفرانس هیدرولیک ایران، دانشگاه گیلان ۱۳۹۰.
- ۴- واقفی م، قدسیان م و صالحی نیشابوری س ع ا. بررسی تغییرات زمانی آبشستگی اطراف آبشکن T شکل در قوس ۹۰ درجه. مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، جلد شانزدهم، شماره اول، ۵۳-۶۲. ۱۳۸۸.
- ۵- واقفی، م، ک. بیروتی و م. اکبری. ۱۳۹۲. "مطالعه عددی اثر طول جان آبشکن سرسپری مستغرق در مسیر مستقیم با بستر صلب بر الگوی جریان". دوازدهمین کنفرانس هیدرولیک ایران. دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران ۱۳۹۲.
- ۶- واقفی، م. و پ. رادان. "مطالعه عددی آبشستگی و الگوی جریان در نهر قوسی ۹۰ درجه با وجود آبشکن T شکل با تغییر در شعاع انحنای قوس". مجله علمی پژوهشی مهندسی منابع آب. ۷(۲۳): ۳۷-۵۱. ۱۳۹۳.
- ۷- واقفی، م، ه. زره پوش شیرازی و م. اکبری. "مطالعه عددی تأثیر شعاع انحنا بر الگوی جریان پیرامون آبشکن سرسپری مستغرق". مجله علمی پژوهشی آبیاری و آب. ۵(۱۸): ۱۴۵-۱۵۶. ۱۳۹۳.
- 8- Azinfar, H. (2006): Flow resistance due to a single spur dike in an open channel,
- 9- Theses Department of Civil and Geological Engineering ,University of Saskatchewan.
- 10- Azinfar, H. and Kells, J.A. 2007. Backwater effect due to a single spur

- 21- Wim S. J. - Uijtewaal "Effect of Groyne Layout on the Flow in Groyne Fields: Laboratory Experiments", Journal of Hydraulics Engineering. Vol.131 , No 9, 2005, 782- 791.
- 22- Yeo, H. K., Kang, J. G., Kim, S. J. (2005). "An Experimental Study on Downstream Recirculation Zone of Single Groyne Cndition" XXXI IAHR Congress, Korea, PP. 5101-5110.
- submerged groins. Proc. of 27th IAHR Congress, Theme A, Managing Water, San Francisco, CA, USA, pp. 829-834.
- 19- Sharma, K. and Mohapatra, P. (2012). "Separation Zone in Flow past a Spur Dyke on Rigid Bed Meandering Channel."J. Hydraul. Eng., 138(10), 897-901.
- 20- V. Weitbrecht and G.H. Jirka, "Flow Patterns and Exchange Processes in Dead Zones of Rivers", IAHR Congress, 2001, Beijing.