



بررسی آزمایشگاهی ناحیه جدا شدگی جریان پیرامون آبشکن مستقر در قوس 90 درجه

مسعود قدسیان¹، محمد واقفی²، نیما پناه پور³

1- استناد مهندسی هیدرولیک، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس

2- دانشجوی دکتری مهندسی سازه‌های هیدرولیکی، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس

3- فارغ التحصیل کارشناس ارشد مهندسی آب، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس

vaghefi@modares.ac.ir

خلاصه

در این مقاله به مقایسه ابعاد ناحیه جدا شدگی جریان حول آبشکن مستقیم و مستقر در قوس 90 درجه پرداخته شده است. بدین منظور برای سه طول آبشکن و برای پنج موقعیت استقرار در قوس آزمایشاتی طراحی و اجرا گردید. این تحقیق در فلووم قوسی با زاویه 90 درجه، با شعاع داخلی 1/8 متر، با کف و دیواره‌هایی از جنس شیشه و با عرض 60 سانتی متر انجام گردیده است. نتایج تحقیق بیانگر طول و عرض ناحیه جدا شدگی جریان و تغییرات آن نسبت به پارامترهای طول و موقعیت استقرار آبشکن و در لایه‌های مختلف جریان می‌باشد.

کلمات کلیدی: آبشکن، ناحیه جدا شدگی، سرعت دو بعدی، الگوی جریان

مقدمه

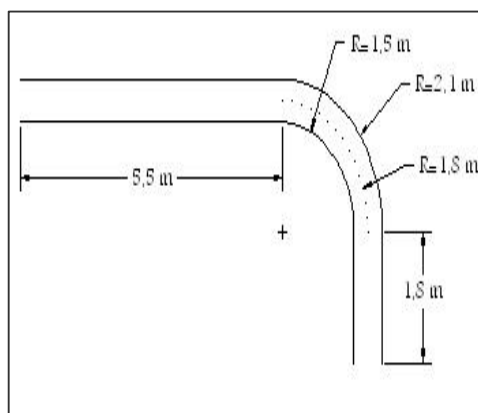
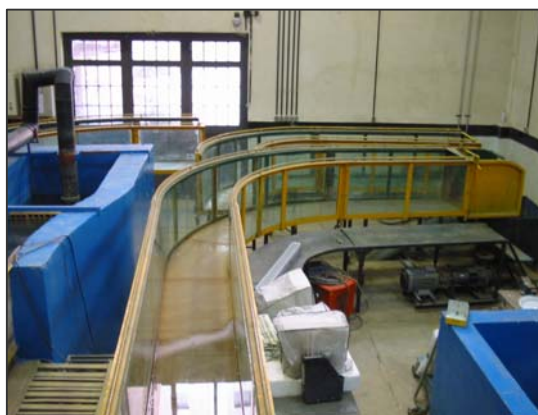
درک هیدرولیک جریان در قوس رودخانه، مطالعه جریانهای ثانویه، سرعتهای طولی و عرضی، قدرت جریانهای ثانویه، آشفته‌گی جریان و پیچیدگی آن توجه بسیاری از محققین را بخود جلب نموده است. توزیع سرعت طولی و عرضی، نوسانات سرعت و همچنین تغییرات توزیع سرعت در عمق، تغییرات بردارهای سرعت در پلان و در مقطع عرضی، شدت جریانها، سرعت جریان در نقاط مختلف و اثر هندسه رودخانه بر آنها نیز مسائل دیگری از الگوی جریان در قوس رودخانه هستند که مورد تحقیق و بررسی می‌باشد. آنچه مسلم است در رابطه با بررسی الگوی جریان در رودخانه در مسیر مستقیم و یا قوس تحقیقات فراوانی توسط دانشگاه‌ها و مراکز تحقیقاتی انجام گرفته، اما بررسی الگوی جریان حول آبشکن در مسیر مستقیم کم و در قوس به ندرت انجام شده است. در اینجا خلاصه‌ای از تحقیقات انجام شده در رابطه با الگوی جریان پیرامون آبشکن ارائه می‌گردد.

تینگسانچالی و ماهسوران در سال 1990 یک مدل میانگین عمق دوبعدی را جهت الگوی جریان در اطراف آبشکن مورد استفاده قرار دادند که منجر به اضافه کردن یک فاکتور تصحیح به مدل k-ε و معرفی یک فاکتور تصحیح سه بعدی برای محاسبه تنش‌های برشی کف گردید. آنها یک آنالیز حساسیت ضرائب مدل k-ε و فاکتورهای تصحیح خط مرکزی قوس را انجام دادند. به عنوان یک نتیجه آنها عقیده دارند که امکان موازنه اثر سه بعدی کجی پروفیل افقی سرعت‌ها در تمام عمق با استفاده از یک تصحیح تجربی وجود دارد تا امکان محاسبه تنش‌های برشی کف در نزدیکی آبشکن بخوبی وجود داشته باشد و اعلان داشتند که این تصحیح یک تأثیر مهمی روی میدان سرعت محاسبه شده با یک مدل دوبعدی میانگین عمق دارد. جنبه‌ی مهم دیگر الگوی جریان حول آبشکن، گردابه‌های بزرگی است که از انتهای آبشکن منتشر می‌شود. پنگ و همکاران در سال 1997 مدل سه بعدی عددی را با نتایج آزمایشگاهی مقایسه نمودند و به این نتیجه رسیدند که این مدل عددی، الگوی جریان و ویژگی‌های مهم جریان سه بعدی پشت آبشکن را نشان می‌دهد. اندازه گردابه در پشت یک آبشکن به طور تدریجی با نزدیک شدن به سمت بالای آبشکن کم می‌شود. نتیجتاً طول اتصال از کف به بالا کاهش می‌یابد و موقعیت مرکز گردابه در جهت Z متغیر است و از انتهای آبشکن (نزدیک بستر) به سمت دیواره حرکت می‌کند (نزدیک به سطح آب) همچنین در وجه بالا دست آبشکن، به دلیل تأثیر انسداد آبشکن، جریان به سمت بالا حرکت می‌کند. زانو و همکاران در سال 2001 به مطالعه عددی و مقایسه خصوصیات جریان سه بعدی اطراف آبشکن‌های مستغرق پرداختند و این کار را در مورد 3 نوع آبشکن جاذب، دافع و منحرف کننده انجام دادند و با شبکه‌بندی تقریبی به شبیه‌سازی گردابه‌های بزرگ پرداختند و مدل خود را با بهره‌گیری از داده‌های آزمایشگاهی تصدیق نمودند و نهایتاً توزیع سرعت اطراف سه نوع آبشکن را با هم مقایسه نمودند. گیری و همکاران در سال 2004 به بررسی آزمایشگاهی و عددی شبیه‌سازی جریان و آشفته‌گی در فلوومی شبیه به رودخانه‌های مائندری با وجود آبشکن‌های غیرمستغرق پرداختند. و با (ADV) به اندازه‌گیری سرعت با تغییر دادن موقعیت آبشکن‌ها پرداختند. و تأثیر آن را بر روی میدان جریان اطراف آبشکن مدنظر قرار دادند و میدان گردابه‌ها و شدت آشفته‌گی را با تکنیک درون یابی درجه سوم شبه ذره (CIP) و بصورت دو بعدی اندازه‌گیری نمودند. مک کوی و همکاران در سال 2005 به بررسی میدان‌های جریان در اطراف و بین دو آبشکن عمودی در یک کانال باز پرداختند که از خصوصیات جریان، جدایی‌های بزرگ، گردابان فشارهای مخالف و ایجاد گردابه‌های ناماندگار می‌باشد. آنان از روش عددی LES یعنی شبیه‌سازی گردابه‌های بزرگ استفاده نمودند و با توجه به این که سازه آبشکن به صورت منسجم و یکپارچه با دیوار

کانال در نظر گرفته شده بود در جریان اصلی گردابه‌های نعل اسبی نامانگار در پایه‌ی آبشکن‌ها و در بالا دست جریان ایجاد گردید. همچنین جدا شدن لایه‌ی برشی در بالا دست نوک آبشکن باعث تشکیل گردابه‌های بعدی می‌شد که این گردابه‌ها در اندرکنش با گردابه‌های داخل دو آبشکن قابل تشخیص می‌باشد. تنگ و همکاران در سال 2006 به پیش بینی شبیه سازی گردابه‌ی بزرگ (LES) پرداختند همچنین از مدل Sub-Grid- (SGS) Scale با ترکیب معادله Poisson برای آنالیز جریان ثانویه نزدیک آبشکن مورد استفاده قرار دادند از روش حجم محدود (FVM) برای جداسازی معادلات ناویراستوکس استفاده نمودند. در این تحقیق بررسی طول و عرض ناحیه جدا شدگی جریان در اطراف آبشکن مستقر در قوس 90 درجه و تحت تاثیر تغییرات دو پارامتر طول آبشکن و موقعیت استقرار آبشکن مد نظر قرار گرفته است.

شرایط آزمایشگاهی

کلیه آزمایشات در یک فلوم مستطیل شکل با مقطعی به عرض 0/6 متر و ارتفاع 0/7 متر انجام گرفته است. شعاع انحناء قوس ثابت 3 برابر پهناى فلوم یعنی 1/8 متر می‌باشد. شکل (1) تصویر فلوم مذکور را نشان می‌دهد. فلوم دارای جداره و کف شیشه ای می‌باشد و از یک قسمت 5/5 متری که متری با انحنایی در ورودی خود جریان را بصورت آرام وارد خم می‌کند سپس فلوم تحت شعاع انحناء 3 برابر پهناى آن یعنی 1/8 متر وارد قوسی با خم 90 درجه می‌شود و بعد از خم در یک مسیر مستقیم به طول 1/5 متر و تحت کنترل یک دریچه تنظیم ارتفاع پروانه ای قرار دارد، به مخزن متصل می‌گردد. آبشکن‌ها از جنس فایبرگلاس، به طولهای 5، 10 و 15 سانتیمتر و دماغه نیم دایره ای شکل و به ضخامت 1 سانتیمتر که به صورت غیر مستغرق و قائم در موقعیت های 15، 30، 45، 60 و 75 درجه قوس دیواره خارجی کانال نصب گردیدند. همچنین دبی جریان ثابت و برابر 45 لیتر بر ثانیه می‌باشد. در اندازه گیری سرعت‌ها از دستگاه P-EMS که یک سرعت سنج بسیار دقیق می‌باشد و بر اساس اختلاف الکترو مغناطیسی بین دو الکتروود در یک سیال جاری اندازه گیری را انجام می‌دهد و زمان نمونه برداری برای هر نقطه بسته به موقعیت نقطه بین 20 تا 50 ثانیه بوده است. همچنین برای هر آزمایش در طول قوس 13 تا 18 مقطع در نظر گرفته شده که هر مقطع نیز شامل 13 نقطه عرضی و 5 لایه مختلف می‌باشد.



شکل (1) پلان و جزئیات خم مورد نظر و نمایی از فلوم

نتایج

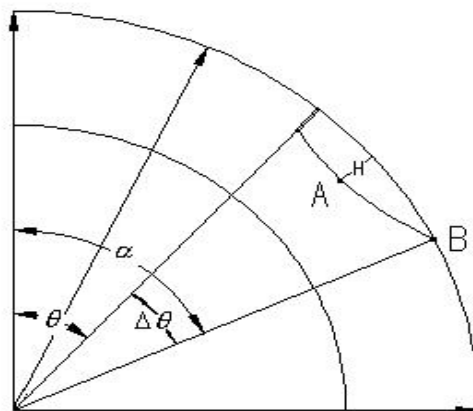
در اینجا تأثیرات آبشکن روی سرعت جریان در دو بعد مورد ارزیابی قرار گرفته است. یعنی با قرار دادن طول‌های متفاوت در موقعیت‌های مختلف قوس روی دیواره خارجی مؤلف‌های سرعت جریان مورد اندازه‌گیری قرار گرفته‌اند. در نزدیکی آبشکن نیز مش‌های اندازه‌گیری برای بررسی و تجزیه و تحلیل دقیق تر الگوی جریان ریز تر شده است. با توجه به تأثیر پارامترهای مختلف روی مولفه‌های جریان در قوس، در اینجا اقدام به بررسی نحوه تغییر میدان جریان در حالت‌های مختلف آزمایش گردید. به این صورت که با استفاده از رابطه $\bar{W} = \sqrt{u^2 + v^2}$ ابتدا مقدار سرعت متوسط محاسبه و سپس میادین جریان ترسیم و مورد بررسی قرار گرفت. این بررسی طوری انجام شده که حالات مختلف و ممکن قرار گیری متغیرهای آزمایش در کنار یکدیگر به صورت مقایسه‌ای مورد بحث قرار گیرد. همچنین برای تفسیر این بخش نمودارهای موقعیت سرعت‌های ماکزیمم در لایه‌های مختلف برای هر آزمایش رسم شده است.

بررسی خصوصیات ناحیه جداشدگی جریان اطراف آبشکن

با قرار گرفتن آبشکن در دیواره خارجی کانال گردابه‌هایی بعد از آبشکن تشکیل می‌شود که این گردابه‌ها با استفاده از نرم افزار Tecplot ترسیم گردید.



جهت تعیین ابعاد گردابه های ایجاد شده در قوس (در نتیجه قرارگیری آبشکن) از روابط زیر استفاده گردید (مختصات شعاعی قوس تبدیل به مختصات کارتیزین). در شکل (2) نحوه انجام این تبدیل در جهت مشخص نمودن ابعاد ناحیه جداشدگی جریان نشان داده شده است.



شکل 2- چگونگی تبدیل از استوانه ای به کارتیزین

$$A = \begin{vmatrix} x_H \\ y_H \end{vmatrix} \quad B = \begin{vmatrix} x_l \\ y_l \end{vmatrix} \quad (1)$$

$$\alpha = \arcsin \frac{x_l}{\sqrt{x_l^2 + y_l^2}} \quad (2)$$

$$\Delta\theta = \alpha - \theta \quad (3)$$

$$L = \sqrt{x_l^2 + y_l^2} \cdot \Delta\theta \quad (4)$$

$$H = R_{out} - \sqrt{x_h^2 + y_h^2} \quad (5)$$

که در روابط بالا پارامترهای زیر تعریف شده اند

: بر حسب رادیان $\Delta\theta$

α : زاویه نقطه انتهایی ناحیه جداشدگی جریان بر حسب رادیان

θ : زاویه استقرار آبشکن در قوس بر حسب رادیان

x_l, y_l : طول و عرض نقطه انتهایی ناحیه جداشدگی جریان

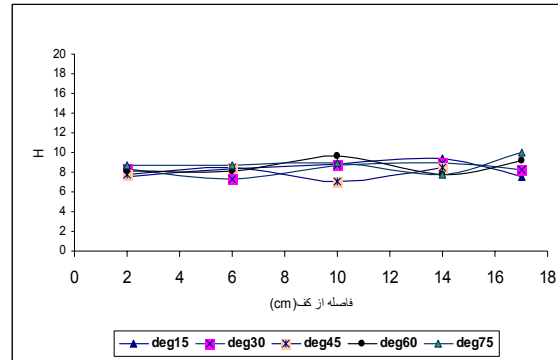
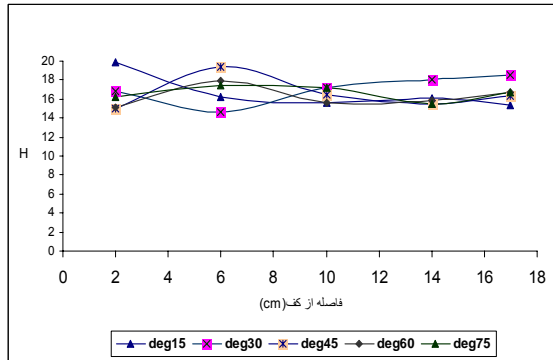
x_k, y_k : طول و عرض نقطه ای که بیشترین عرض ناحیه جداشدگی جریان در آنجا واقع شده

L : فاصله انتهایی ناحیه جداشدگی جریان تا آبشکن (طول ناحیه جداشدگی جریان)

H : عرض ناحیه جداشدگی جریان می باشند.

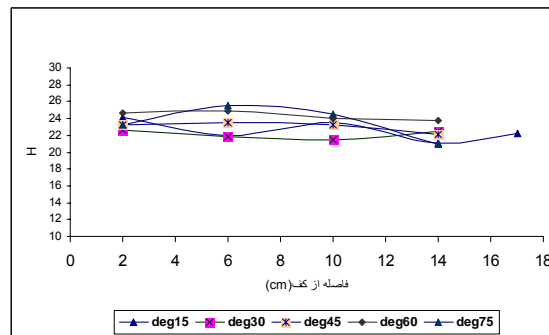
اثر موقعیت آبشکن بر عرض ناحیه جداشدگی

در این آزمایشات موقعیت قرارگیری آبشکن متغیر و دبی ثابت می باشد. با بررسی گراف های تولید شده به این نتایج می رسیم که روند منظمی برای تغییرات عرض ناحیه جداشدگی جریان با تغییرات موقعیت آبشکن دیده نمی شود و اینکه اختلاف عرض ناحیه جداشدگی جریان ها بسیار ناچیز می باشد و می توان گفت که در محدوده آزمایشات انجام شده تغییرات موقعیت قرارگیری آبشکن در قوس تأثیر قابل توجهی بر روی اندازه عرض ناحیه جداشدگی جریان ندارد شکلهای (3) تا (5) نیز بیانگر این است که عرض ناحیه جداشدگی جریان در لایه های مختلف با هم اختلافی ندارد.



شکل 4 - تغییرات عرض ناحیه جداشدگی جریان در لایه های مختلف برای آبشکن با موقعیت های متفاوت و طول 5 سانتیمتر

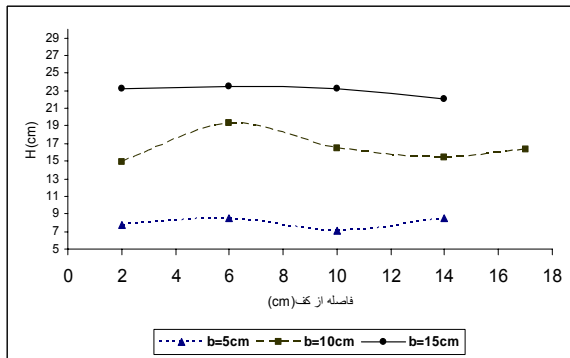
شکل 3 - تغییرات عرض ناحیه جداشدگی جریان در لایه های مختلف آبشکن با موقعیت های متفاوت و طول 10 سانتیمتر



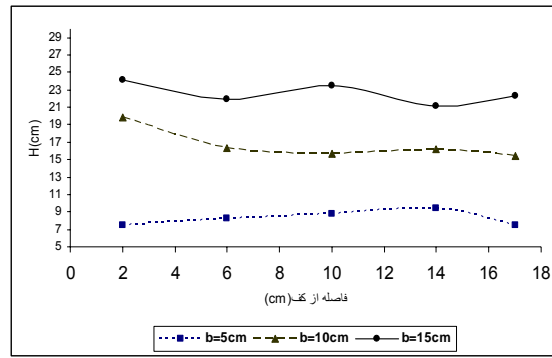
شکل 5 - تغییرات عرض ناحیه جداشدگی جریان در لایه های مختلف برای آبشکن با موقعیت های متفاوت و طول 15 سانتیمتر

اثر طول آبشکن بر عرض ناحیه جداشدگی

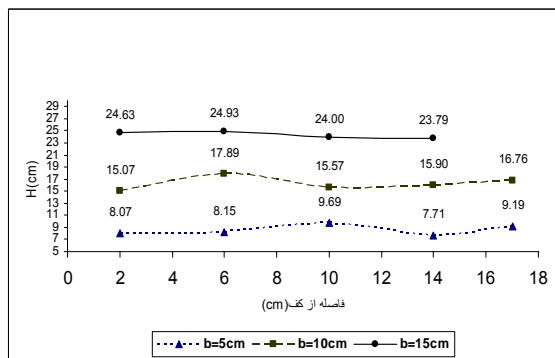
برای تجزیه و تحلیل این قسمت عرض ناحیه جداشدگی جریان در لایه های مختلف را برای طول آبشکن 5، 10 و 15 سانتی متر برای دبی ثابت 45 لیتر بر ثانیه و در موقعیت های مختلف محاسبه و ترسیم گردید پس از بررسی و مشاهده به این نتایج می رسیم که عرض ناحیه جداشدگی جریان ارتباط کاملاً مستقیم با طول آبشکن دارد و هرچه طول آبشکن افزایش یابد عرض ناحیه جداشدگی جریان نیز زیادتر می شود. اما با افزایش مقدار طول آبشکن روند افزایش عرض ناحیه جداشدگی جریان کاهش می یابد. همچنین عرض ناحیه جداشدگی جریان در لایه های مختلف اختلاف چندانی با هم ندارد. برای طول آبشکن 5 سانتی متری محدوده تغییرات ناحیه جداشدگی بین 8/5 تا 9/5 سانتی متر می باشد و این محدوده برای آبشکن با طول 10 سانتی متری بین 15/5 تا 17/5 سانتی متر بوده و برای آبشکن 15 سانتی متری بین 22 تا 24 سانتی متر است. روند این تغییرات در شکلهای (6) تا (10) نشان داده شده است.



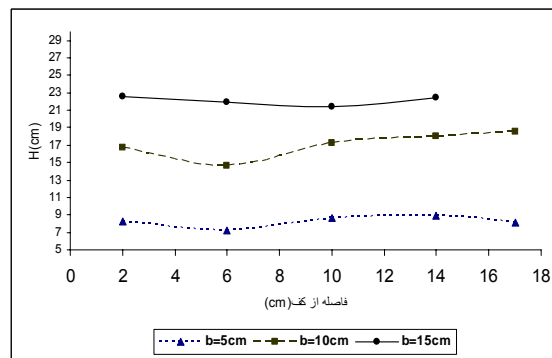
شکل 7 - تغییرات عرض ناحیه جداسدگی جریان در لایه های مختلف برای آبشکن با طول های متفاوت در موقعیت 30 درجه



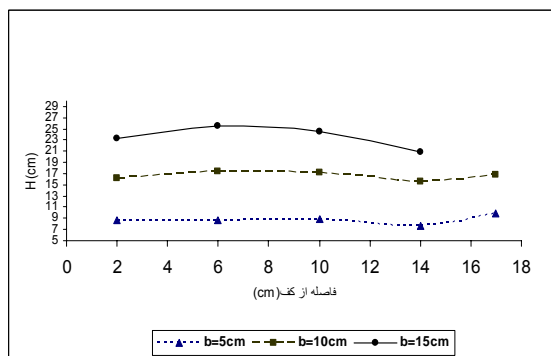
شکل 6 - تغییرات عرض ناحیه جداسدگی جریان در لایه های مختلف برای آبشکن با طول های متفاوت در موقعیت 30 درجه



شکل 9 - تغییرات عرض ناحیه جداسدگی جریان در لایه های مختلف برای آبشکن با طول های متفاوت در موقعیت 60 درجه



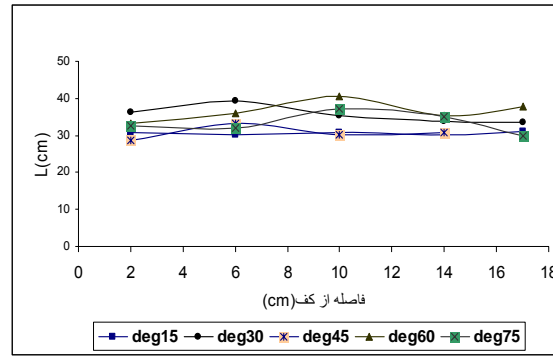
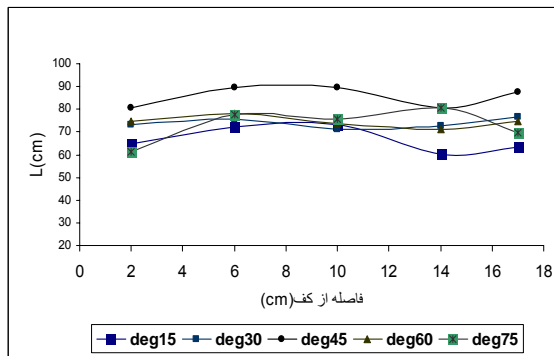
شکل 8 - تغییرات عرض ناحیه جداسدگی جریان در لایه های مختلف برای آبشکن با طول های متفاوت در موقعیت 45 درجه



شکل 10 - تغییرات عرض ناحیه جداسدگی جریان در لایه های مختلف برای آبشکن با طول های متفاوت در موقعیت 75 درجه

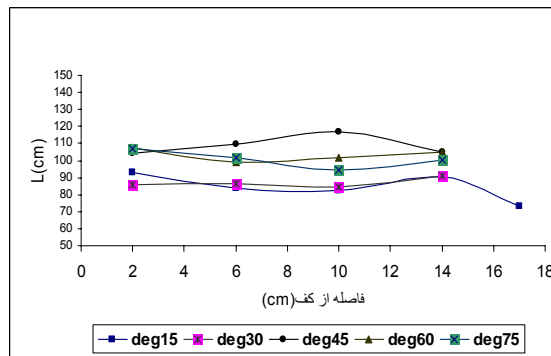
اثر موقعیت آبشکن بر روی طول ناحیه جداسدگی

تغییرات طول ناحیه جداسدگی جریان با تغییرات موقعیت آبشکن محدود بوده است. این تغییرات بدین صورت است که طول ناحیه جداسدگی جریان وقتی در موقعیت 15 درجه خم می رسد کمتر از حالات دیگر بوده و باتغییر موقعیت آبشکن به سمت پایین دست در طول قوس، طول ناحیه جداسدگی جریان نیز افزایش می یابد. افزایش طول ناحیه جداسدگی جریان در زوایای 30 تا 60 درجه به صورت منظم نیست ولی در این ناحیه طول ناحیه جداسدگی جریان به حالات ماکزیمم خود می رسد و بعد از زاویه 60 درجه دوباره طول ناحیه جداسدگی جریان کاهش می یابد ولی اختلاف طول ناحیه جداسدگی بسیار ناچیز می باشد. اشکال (11) تا (13) بیانگر تاثیر موقعیت آبشکن بر طول ناحیه جداسدگی جریان می باشد.



شکل 12 - تغییرات طول ناحیه جداسدگی جریان در لایه های مختلف برای آبشکن با موقعیت های متفاوت و طول 10 سانتیمتر

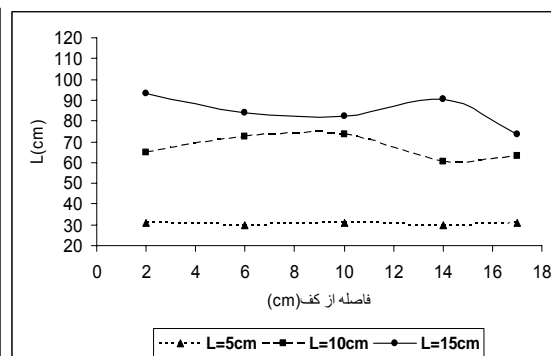
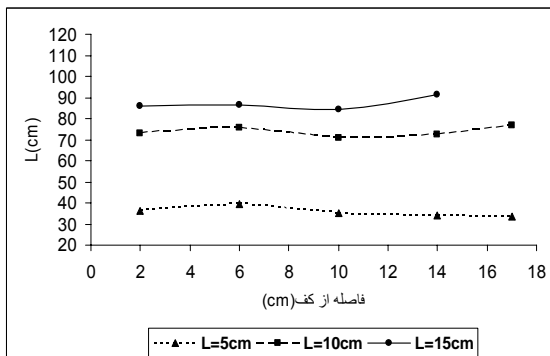
شکل 11 - تغییرات طول ناحیه جداسدگی جریان در لایه های مختلف برای آبشکن با موقعیت های متفاوت و طول 5 سانتیمتر



شکل 13 - تغییرات طول ناحیه جدا شدگی جریان در لایه های مختلف برای آبشکن با موقعیت های متفاوت و طول 5 سانتیمتر

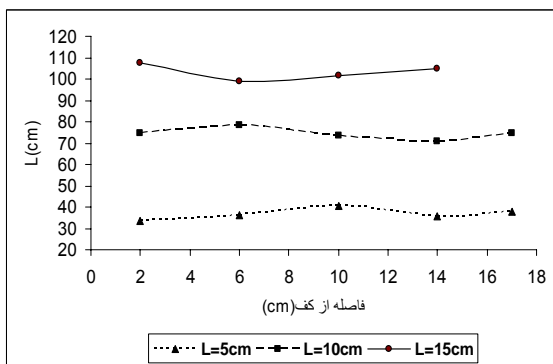
اثر طول آبشکن بر روی طول ناحیه جداسدگی جریان

با بررسی نمودار های ترسیم شده به این نتایج میرسیم که با افزایش طول آبشکن، طول ناحیه جداسدگی جریان نیز افزایش می یابد ولی با افزایش طول آبشکن روند افزایشی طول ناحیه جداسدگی جریان کاهش می یابد. شکل های (14) تا (18) طول ناحیه جداسدگی جریان در لایه های مختلف و برای دبی ثابت 45 لیتر بر ثانیه و آبشکن با طول های 5، 10 و 15 سانتی متر در موقعیت های مختلف استقرار در قوس را نشان می دهد.

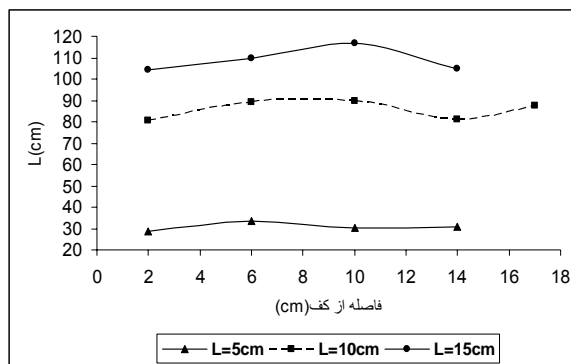


شکل 15 - تغییرات طول ناحیه جداسدگی جریان در لایه های مختلف برای آبشکن با طول های متفاوت در موقعیت 15 درجه

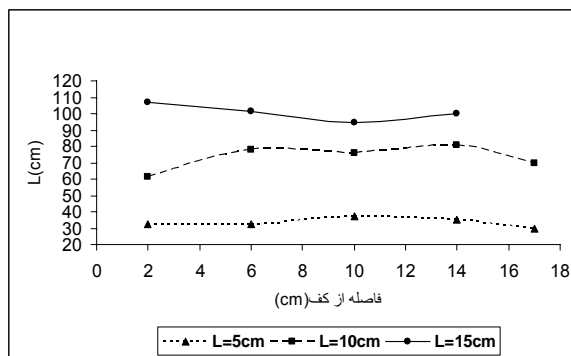
شکل 14 - تغییرات طول ناحیه جداسدگی جریان در لایه های مختلف برای آبشکن با طول های متفاوت در موقعیت 30 درجه



شکل 17- تغییرات طول ناحیه جداشدگی جریان در لایه های مختلف برای آبشکن با طول های متفاوت در موقعیت 60 درجه



شکل 16- تغییرات طول ناحیه جداشدگی جریان در لایه های مختلف برای آبشکن با طول های متفاوت در موقعیت 45 درجه



شکل 18 - تغییرات طول ناحیه جداشدگی جریان در لایه های مختلف برای آبشکن با طول های متفاوت در موقعیت 75 درجه

نتیجه گیری

- ذکر این نکته ضروری است که نتیجه قرار گیری آبشکن در قوس در مقابل جریان دو تغییر کاملاً مشخص در شرایط جریان قابل تشخیص است:
- 1- تشکیل گردابه ها و 2- تشکیل نواحی با سرعت زیاد. این تحقیق، با استفاده از فلوم آزمایشگاهی با نسبت شعاع انحنا به عرض برابر 3 که در دسته قوس های نسبتاً تند سرعت های جریان می باشد، انجام شده است. و پس از رسم میدان جریان، پارامترهایی نظیر طول ناحیه جداشدگی جریان و عرض ناحیه جداشدگی جریان اندازه گیری شد و نتایج زیر به دست آمد.
 - 1- عرض و طول ناحیه جداشدگی در لایه های مختلف جریان نزدیک هم می باشد و اختلافی ندارد.
 - 2- موقعیت آبشکن بر عرض و طول ناحیه جداشدگی تأثیری ندارد.
 - 3- متوسط عرض ناحیه جداشدگی جریان برای آبشکن 5 سانتیمتری بین 8/2 تا 9/5 سانتیمتر و برای آبشکن 10 سانتیمتری بین 15/5 تا 17/5 سانتیمتر و برای آبشکن 15 سانتیمتری بین 21/8 تا 24/2 سانتیمتر می باشد.
 - 4- مقدار نسبت عرض ناحیه جداشدگی به طول آبشکن در تمام آزمایشات بین 1/55 تا 1/9 میباشد.
 - 5- متوسط طول ناحیه جداشدگی برای آبشکن 5 سانتیمتری بین 30 تا 40 سانتیمتر می باشد. و متوسط طول ناحیه جداشدگی برای آبشکن 10 و 15 سانتیمتری به ترتیب بین 65 تا 80 سانتیمتر و 90 تا 120 سانتیمتر است.
 - 6- مقدار نسبت طول ناحیه جداشدگی به طول آبشکن بین 6 تا 8 می باشد.



مراجع

1. Tingsanchali, Maheswaran., (1990). "2-D Depth-Averaged Flow computation Near Groyne" Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, V. 116 N.1 pp71-86.
2. Peng, Tamal, Kawauara, Huang, (1997). "Numerical Modeling of Local Scour Around Spur dikes" IAHR Co
3. Zhou Y. and Michiue M. and Hinokidani O. (2001). "A Numerical Study On The Comparison of 3-D Flow Properties Around Submerged Spur-Dikes".
4. Giri S., Shimizu Y. and Surajata B. (2004). "Laboratory Measurement And Numerical Simulation Of Flow And Turbulence In A Meandering-Like Flume With Spurs". Flow Measurement and Instrumentation, 15, PP 301-309.
5. McCoy. A. and Constantinescu G. and Webber L. (2005). "Coherent Structures In A Channel With Groyne Fields: A Numerical Investigation Using LES".
6. Tang XL, chen ZC, Yang F. "Dynamic Large Eddy Simulation Of Secondary Flow Near A Groyne"., Internationa Journal of Nonlinear Sciences and Numerical simulation, 2006, 7(3)., pp. 257-262.