

بررسی عددی عمل کرد صفحات مستغرق در پتانسیل آب شستگی و رسوب گذاری جریان کانال باز با تقاطع ۹۰°

سعید محمدیون^۱، سید علی اکبر صالحی نیشابوری^{۲*}، حمیدپرهیزکار^۳، حامد وهابی^۴

^۱ دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

^۲ دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست و پژوهشکده مهندسی آب، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

^۳ دانشکده مهندسی هوافضا، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، ایران

^۴ دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه ایالتی کلرادو، کلرادو، آمریکا

تاریخچه داوری:

دریافت: ۳۱ اردیبهشت ۱۳۹۵
بازنگری: ۲۵ تیر ۱۳۹۶
پذیرش: ۱۲ شهریور ۱۳۹۶
ارائه آنلاین: ۲۸ شهریور ۱۳۹۶

کلمات کلیدی:

تقاطع کانال‌های باز
صفحات مستغرق
حل عددی
رسوب گذاری
آب شستگی

چکیده: تقاطع کانال‌های باز پدیده‌ای رایج در رودخانه‌ها، کانال‌های زهکش، شبکه‌های آبیاری و دیگر موارد می‌باشد. شکل‌گیری ناحیه جدایش در لبه پایین-دست تقاطع (ناحیه با جریان‌های چرخشی و پتانسیل رسوب گذاری بالا) و نیز ناحیه انقباض در دیواره روبرویی تقاطع (ناحیه دارای سرعت‌های بالا و با پتانسیل آب شستگی زیاد) از مهم‌ترین مشخصه‌های جریان در این کانال‌ها به حساب می‌آیند. تاکنون تحقیقات وسیعی در زمینه شناسایی الگوی جریان در این کانال‌ها و رفع مشکلات هیدرولیکی مذکور با کاربرد روش‌های مختلفی مانند اصلاح هندسه تقاطع، کاربرد دیوار جداکننده کانال جانبی، تغییر زاویه کانال جانبی و مانند آن، صورت گرفته است. در این تحقیق نیز استفاده از صفحات مستغرق به عنوان راهکاری به منظور کاهش آب شستگی و رسوب گذاری مورد بررسی کامل قرار گرفته است. بدین ترتیب که ابتدا مدل عددی یک نمونه آزمایشگاهی موجود تولید شده و نتایج آن صحت‌سنجی شده‌اند. در ادامه اثر راهکار مذکور بر الگوی جریان مورد بررسی قرار گرفته و پارامترهای بهینه مربوطه (ارتفاع، چینش، تعداد و زاویه قرارگیری) ارائه شده‌است. نتایج این تحقیق کاهش قابل ملاحظه‌ای را در پتانسیل آب شستگی و رسوب گذاری جریان نشان می‌دهد. یک راهکار پیشنهادی، منجر به کاهش ۸۹ درصدی طول ناحیه جدایش و لذا تا حد زیادی کاهش پتانسیل رسوب گذاری گردیده است. همچنین، با بررسی نسبت دبی‌های مختلف کانال اصلی و جانبی، بهترین عملکرد صفحات در دبی نسبی ۰/۲۵ مشاهده شده و کاربرد صفحات با ارتفاع بیش از نصف عمق جریان و/یا با زاویه بیش از ۴۰ درجه نسبت به راستای جریان اصلی، توصیه نمی‌گردد.

۱- مقدمه

تقاطع کانال‌های باز از پدیده‌های رایج در طبیعت و سیستم‌های آبیاری و زهکشی می‌باشد. این سازه‌ها در پخش و انتقال آلاینده‌ها نیز حائز اهمیت هستند. تبادل مومنتوم ورودی از کانال جانبی با جریان اصلی پس از برخورد با آن، باعث انحراف جریان کانال فرعی به سمت پایین دست تقاطع می‌گردد. شکل‌گیری ناحیه بازچرخشی با فشار پایین در مجاورت دیواره سمت کانال جانبی، از جمله بارزترین مشخصات جریان در این تقاطع‌ها می‌باشد. جریان بازچرخشی در این ناحیه با فشار پایین، از یک سو فضای کافی برای رسوب گذاری را در اختیار جریان قرار داده و از طرف دیگر ضمن کاهش سطح مقطع عبوری جریان، منجر به افزایش سرعت عبوری در مجاورت کف و دیواره روبروی کانال جانبی می‌گردد. این افزایش سرعت در درازمدت، آب شستگی این ناحیه را در برخواهد داشت. کاهش رسوب گذاری در ناحیه بازچرخشی و آب شستگی در فضای بالای صفحه برشی (صفحه فرضی جدا کننده دو جریان اصلی و جانبی)، از جمله مهم‌ترین دغدغه‌های طراحی این

سازه‌ها می‌باشد.

تحقیقات آزمایشگاهی، عددی و تحلیلی متعددی در زمینه شناسایی الگوی جریان در تقاطع‌ها با هدف کاهش اثر رسوب گذاری و آب شستگی صورت گرفته است. بست و رید^۱ به بررسی عوامل موثر بر تغییر ابعاد ناحیه جدایش پرداخته و کاستی‌های مدل ریاضی مورد استفاده در تحقیق را برشمردند. آن‌ها بیان نمودند با افزایش دبی در کانال فرعی نسبت به دبی کل، عرض حداکثر ناحیه جدایش و طول آن افزایش می‌یابد [۱]. رامامورت^۲ و همکارانش از طریق حل قانون بقا مومنتوم، به بررسی ارتباط بین افزایش عمق آب کانال و نسبت دبی کانال جانبی به دبی کل پرداختند. نتایج تحقیق آن‌ها بیانگر اهمیت تخمین تبادل مومنتوم جانبی در بررسی الگوی این نوع از جریان بوده است [۲]. وبر^۳ و همکارانش طی مجموعه آزمایشات، اطلاعات سه بعدی بسیار کاملی را در زمینه سرعت و نیز مقادیر پارامترهای آشفستگی استخراج کرده و نگاشتی برای سطح آزاد اطراف تقاطع تیز قائم ارائه

1 Best and Reid
2 Ramamurthy
3 Weber

* نویسنده عهده دار مکاتبات: salehi@modares.ac.ir

یک تقاطع از کانال‌های باز مستقیم بهبود بخشیدند. آن‌ها با بکارگیری این اصلاحات کاهش قابل ملاحظه‌ای را در پتانسیل رسوب‌گذاری با کاهش ابعاد و یا حذف ناحیه جدایش و نیز پتانسیل آب‌شستگی با کاهش تنش‌های برشی ایجاد نمودند [۱۳]. هم‌چنین محمدیون و همکارانش با کاربرد دیوار جداکننده کانال فرعی در یک تقاطع از کانال‌های باز مستقیم، الگوی جریان این نوع از تقاطع را بهبود بخشیدند. آن‌ها اثر هندسه‌های مختلف سر دیوار بر الگوی جریان را نیز مورد بررسی قرار دادند. کاربرد دیوار جداکننده مذکور منجر به کاهش ابعاد ناحیه جدایش در پایین دست تقاطع گردید [۱۴].

صفحات مستغرق سازه‌های نازکی هستند که با هدف تنظیم جهت حرکت جریان، به صورت عمود بر کف کانال با زاویه مناسب نسبت به جهت جریان نصب می‌شوند. حضور این صفحات منجر به شکل‌گیری جریان ثانویه بعد از صفحه می‌گردد. صفحات مستغرق به گونه‌ای طراحی می‌شوند که جریان آب در نزدیکی کف کانال را اصلاح نموده و ضمن پخش مجدد جریان، روند انتقال رسوب در کانال را تحت تاثیر قرار دهند. به همین دلیل در حفاظت از حاشیه رودخانه‌ها، بازپخش رسوبات و مانند آن، مورد استفاده قرار می‌گیرند [۱۵].

ادگار و کندی^۶ برای اولین بار به کنترل فرسایش حاشیه ماریچ رودخانه‌ها به کمک صفحات مستغرق پرداخته و اصول طراحی آن‌ها را ارائه نمودند [۱۶]. ونگ^۷ و همکارانش از روش حل عددی برای بررسی جریان اطراف صفحه مستغرق استفاده کرده و نتایج را با مقادیر تجربی مقایسه نمودند [۱۷]. مارلیوس و سینا^۸ از کانالی با مقطع مستطیلی و کف متحرک به منظور شناسایی زاویه برخورد بهینه به صفحه مستغرق استفاده کردند [۱۸]. آن‌ها هم‌چنین مطالعات پیشین را از طریق ساخت یک نمونه آزمایشگاهی به منظور صحت‌سنجی نتایج تحلیل عددی توسعه دادند [۱۹]. تن^۹ و همکارانش تحقیقات جامعی به منظور شناسایی رابطه مشخصی بین رسوب‌گذاری و هندسه صفحه مستغرق در یک آب‌گیر انجام دادند [۲۰]. هم‌چنین صمیمی مجموعه‌ای از تحقیقات آزمایشگاهی را روی کانال مستقیمی با صفحه مستغرق گالوانیزه‌ای با اشکال مختلف انجام داد تا اثرات شکل هندسی صفحه بر حفاظت از حاشیه رودخانه را مورد بررسی قرار دهد [۲۱].

بر خلاف آب‌گیرها، اثر صفحات مستغرق در طراحی تقاطع کانال‌ها چندان مورد توجه قرار نگرفته است. در این تحقیق، راهکار استفاده از صفحات مستغرق به منظور کاهش طول و عرض ناحیه جدایش و کاهش بیشینه سرعت جریان پس از تقاطع در کانال اصلی مورد ارزیابی قرار گرفته است.

در تحقیق حاضر به منظور ارزیابی دقیق اثر صفحات مستغرق بر رژیم جریان، از روش حل عددی سه بعدی استفاده شده است. بدین منظور ابتدا

نمودند. آن‌ها بیان می‌کنند، ناحیه جدایش هم از جهت طول و هم عرض در نزدیکی بستر، به دلیل زاویه ورود جریان، کوچک‌تر است. هم‌چنین در سطح، چرخش بیش‌تری داخل ناحیه جدایش دیده می‌شود [۳]. هوانگ^۱ و همکارانش از روش عددی به منظور بررسی پارامتری جریان در تقاطع‌ها و ارزیابی اثر زاویه تقاطع استفاده کردند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان دهنده افزایش محسوس تراز سطح آب قبل از تقاطع و کاهش عمق پس از آن است [۴]. شاملو و پیرزاده از روش حل عددی به منظور بررسی اثرات نسبت دبی بر ویژگی‌های جریان در ناحیه اختلاط کانال باز با تقاطع ۹۰ درجه، استفاده نمودند [۵]. تینگ^۲ و همکارانش به مقایسه مدل‌های آشفستگی LES^۳ و RSM^۴ پرداخته و مزایای مدل LES را در مدل‌سازی جریان‌های چرخشی در جریان‌های پیچیده نظیر کانال‌های باز برشمردند [۶]. چنگ^۵ و همکارانش به بررسی عددی ساختار جریان در تقاطعی با زاویه ۳۰ درجه در پنج دبی نسبی متفاوت پرداختند. در این تحقیق از مدل‌سازی عددی دو فاز با رویکرد اوایلین استفاده شده و سطح آزاد توسط روش حجم سیال مدل شده است [۷]. برقی و همکارانش به بررسی آزمایشگاهی پدیده فرسایش و الگوی رسوب در تقاطع کانال‌های قائم باز پرداخته و اثر پارامترهایی هم‌چون نسبت دبی و نیز نسبت عرض کانال فرعی به اصلی را مورد بررسی قرار دادند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان می‌دهد، عمق حداکثر آب‌شستگی برای همه حالات در محل اتصال و یا نزدیکی کانال اصلی و شاخه فرعی صورت گرفته است [۸]. امرایی و همکارانش از روش حل عددی برای ارزیابی اثرات زوایای مختلف اتصال کانال فرعی به اصلی بر الگوی جریان بعد از تقاطع و هم‌چنین ابعاد ناحیه جدایش استفاده کردند [۹]. محمدی و شفاعی بجستان ضمن ساخت یک مدل فیزیکی، تاثیر شعاع گردشگری لبه پایین دست محل اتصال بر عمق آب‌شستگی را مورد بررسی قرار دادند. نتایج این آزمایشات نشان می‌دهد، کاربرد گردشگری در لبه پایین دست، موجب کاهش عمق آب‌شستگی می‌گردد [۱۰]. هم‌چنین سیدیان و همکارانش با استفاده از مدل سه‌بعدی SSIM2 به ارزیابی اثر شعاع گردشگری ناحیه تقاطع بر ابعاد ناحیه جدایش پرداخته و نتایج را به کمک روش آزمایشگاهی مورد صحت‌سنجی قرار دادند. نتایج بیانگر عملکرد مناسب مدل مذکور و اثر قابل ملاحظه گردشگری بر الگوی جریان بوده است [۱۱]. صباغ یزدی و بیرجندی نیز از روش عددی به منظور بررسی اثرات نسبت عرض کانال جانبی به اصلی بر ابعاد ناحیه جدایی و نسبت شکل آن پرداختند. از نتایج تحقیق آن‌ها می‌توان به اثر اندک نسبت عرض کانال‌ها در مقایسه با دبی و عدد فرود جریان، بر عرض ناحیه جدایش اشاره نمود؛ هم‌چنین آن‌ها نسبت عرض به طول ناحیه جدایش را از نسبت دبی کانال فرعی به اصلی، تقریباً مستقل دانستند [۱۲]. محمدیون و همکارانش با استفاده از اصلاحات هندسی مختلف، الگوی جریان را در

1 Huang

2 Ting

3 Large Eddy Simulation

4 Reynolds Stress Modeling

5 Zeng

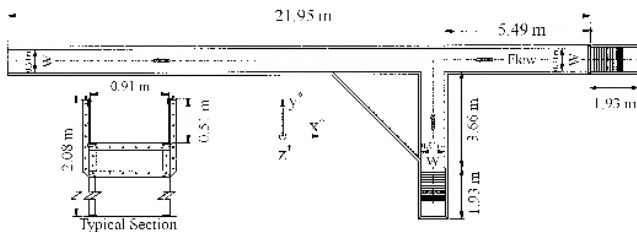
6 Odgard and Kennedy

7 Wang

8 Marelius and Sinha

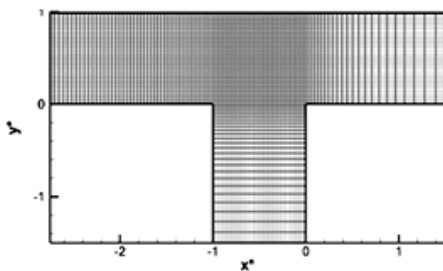
9 Tan

مشابه به طول و عرض به ترتیب ۰/۹۱ و ۰/۵۱ متر مورد آزمایش قرار گرفته است [۳]. ابعاد و موقعیت دستگاه مختصات در شکل ۱ نمایش داده شده‌اند. در این تحقیق، مختصات بدون بعد که توسط عرض مقطع ($W=0.914$ m) بی‌بعد شده، با x^* ، y^* و Z^* نشان داده شده است. نظر به مشخص نبودن سطح آزاد جریان، توزیع سرعت ورودی نمی‌تواند به صورت کاملاً توسعه یافته در نظر گرفته شود. به همین دلیل در مدل‌سازی عددی، بنا به توصیه هوانگ و همکارانش [۴]، طول کانال اصلی قبل از تقاطع به $10/973$ و طول کانال جانبی به $9/144$ ($10 \times W$) متر افزایش یافته‌اند.



شکل ۱: هندسه کانال مورد آزمایش توسط وبر و همکارانش

Fig. 1. Channel geometry of weber et al. study



شکل ۲: نمایی از شبکه محاسباتی در ناحیه اختلاط

Fig. 2. Computational grid around the junction

در معرفی مرزهای ورودی جریان از شرط مرزی سرعت ورودی^۵ و مرز خروجی از شرط مرزی فشار خروجی^۶ استفاده شده و کلیه پارامترهای مرتبط با مرزهای مذکور (سرعت میانگین و مقادیر آشفتگی) از نتایج مدل آزمایشگاهی وبر و همکارانش [۳] استخراج شده است. در دیواره‌ها و کف کانال از شرط مرزی عدم لغزش استفاده شده و ضریب زبری پیش‌فرض نرم‌افزار (۰/۵)، که مناسب فلوم‌های آزمایشگاهی می‌باشد [۲۴]، مورد استفاده قرار گرفته است. ضمن اینکه آنالیز پایا^۷ با هدف شناسایی الگوی جریان در شرایط ثابت عملیاتی اجرا شده است. با توجه به مطالعات عدم وابستگی به ابعاد شبکه و نیز ظرفیت محاسباتی موجود، تعداد $60 \times 40 \times 30$ سلول (به ترتیب در جهات X, Y, Z) در کانال اصلی و قبل از تقاطع، تعداد $20 \times 40 \times 30$ (به ترتیب در جهات X, Y, Z) در کانال اصلی بعد از تقاطع و

مدل عددی تقاطع قائم ساده با استفاده از نتایج آزمایشگاهی وبر و همکارانش [۳] صحت‌سنجی شده و در ادامه اثر صفحات مستغرق، به طور کامل مورد بررسی عددی قرار گرفته است. در نهایت طرح بهینه پیشنهاد شده و میزان تاثیر آن بر کاهش ابعاد ناحیه جدایش و اصلاح رژیم جریان در ناحیه بعد از تقاطع معرفی شده است.

۲- مدل عددی

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

$$\rho U_j \frac{\partial U_i}{\partial x_i} = -\frac{\partial P}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} (2\nu S_{ji} - \overline{\rho u_i u_j}) \quad (2)$$

معادلات حاکم بر جریان دائمی سیال تراکم‌ناپذیر در کانال‌های باز عبارتند از معادلات متوسط‌گیری زمانی شده ناویر-استوکس^۱ که در مختصات کارتزین مطابق روابط ۱ و ۲ هستند.

که در آن U_i سرعت متوسط در سه جهت X (هم جهت با جریان)، Y (جانبی) و Z (قائم)، P فشار، ρ چگالی سیال، ν لزجت سینماتیکی و $u_i u_j$ مولفه‌های تانسور تنش رینولدز - که این مولفه‌ها، در نتیجه متوسط‌گیری زمانی از معادلات ناویر استوکس ایجاد شده‌اند می‌باشند. تعیین تنش‌های رینولدز مستلزم تعریف یک مدل آشفتگی برای حل معادلات فوق می‌باشد. در تحقیق حاضر به منظور لحاظ کردن اثرات آشفتگی از مدل هفت معادله‌ای RSM استفاده شده است که در آن، فرض ساده کننده لزجت گردابه‌ای همگن^۲ حذف شده و از حل معادلات انتقال برای تنش‌های رینولدز همراه با یک معادله برای نرخ استهلاك آشفتگی^۳ به منظور بسته شدن دستگاه معادلات استفاده شده است. از آنجا که مدل RSM در مقایسه با اغلب مدل‌های آشفتگی، قابلیت بهتری در لحاظ کردن اثرات خطوط جریان با انحناهای شدید، چرخش، دوران و تغییرات شدید نرخ کرنش، در گستره وسیع‌تری از جریان‌ها را داراست، لذا این مدل پتانسیل بیشتری در پیش‌بینی اثرات آشفتگی در جریان‌های پیچیده نظیر استخراج جریان‌های ثانویه و نواحی جدایش دارد [۲۲].

حل معادلات حاکم بر فیزیک مساله توسط نرم‌افزار تجاری انسیس فلونت ۱۴ انجام شده است. انسیس فلونت یک نرم‌افزار قدرتمند است که در حل معادلات جریان، آشفتگی، انتقال حرارت و واکنش‌های شیمیایی در طیف وسیعی از مسائل به روش حجم محدود مورد استفاده قرار می‌گیرد.

حل عددی بر مبنای ابعاد ارائه شده در مدل آزمایشگاهی وبر و همکارانش [۲۳] اجرا شد که در آن، یک تقاطع ۹۰ درجه با مقاطع مستطیلی

1 RANS (Reynolds Average Navier-Stokes)

2 Isotropic eddy-viscosity hypothesis

3 Dissipation rate

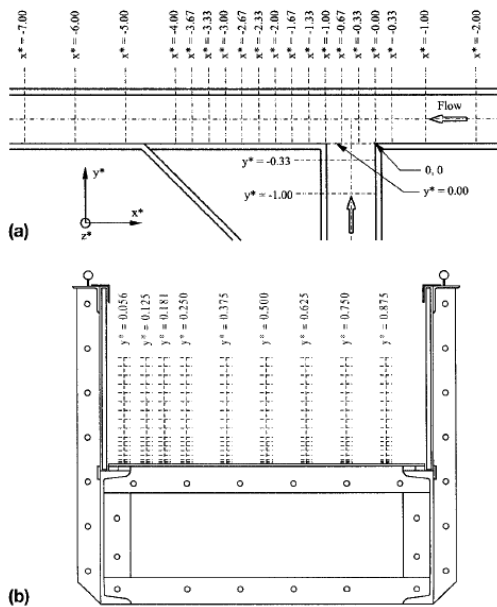
4 ANSYS FLUENT 14

5 Velocity Inlet

6 Pressure Outlet

7 Steady State

با توجه به ماهیت سه بعدی جریان و توانایی مدل سازی ماندگار (با زمان محاسباتی نسبتاً کوتاه) نرم افزار فلوئنت، از این مدل در حالت محاسبات ماندگار استفاده شده است.



شکل ۳: موقعیت مقاطع و نقاط اندازه گیری سرعت جریان در آزمایشات وبر و همکارانش [۳]

Fig. 3. Experimental grid of weber et al. study

منحنی های هم تراز سرعت u^* حاصل از حل عددی و نتایج آزمایشگاهی در شکل ۴ مقایسه شده اند. همان طور که ملاحظه می شود، ناحیه باز چرخشی پس از تقاطع (ناحیه I) که در مدل عددی پیش بینی شده است، در نتایج آزمایشگاهی وبر و همکارانش نیز مشاهده می شود. شکل گیری سرعت های کوچک مثبت و منفی از جمله مهم ترین ویژگی های این ناحیه می باشد. وجود ناحیه باز چرخشی، سطح مقطع عبوری جریان را کاهش داده و سرعت در ناحیه II را افزایش می دهد. پس از عبور از نواحی مذکور، جریان به مرور حالت کاملاً توسعه یافته به خود می گیرد (عبور از ناحیه III). بر خلاف تشابهات مورد اشاره، گرادین سرعت شدید در مجاورت دیوارها ناحیه IV در شکل ۴-ج، در مدل آزمایشگاهی قابل رویت نمی باشد شکل ۴-د، که با توجه به فواصل نسبتاً زیاد سرعت سنج ها در مدل آزمایشگاهی (شکل ۳) قابل پیش بینی است. بررسی مقادیر حداکثر سرعت u^* در راستای کانال اصلی و پس از تقاطع حاصل از حل عددی و نتایج آزمایشگاهی نیز اختلاف قابل اغمازی (کمتر از ۷ درصد) را نشان می دهد.

به منظور بررسی دقیق تر مدل عددی، مقادیر مولفه سرعت u^* در موقعیت $x^* = -2$ و $y^* = 0.25, 0.375, 0.5, 0.625$ ، در عمق کانال، که از مدل عددی و نتایج آزمایشگاهی استخراج شده اند، در شکل ۵ نمایش داده شده است.

نیز $55 \times 40 \times 30$ سلول محاسباتی (به ترتیب در جهات X, Y, Z) در کانال جانبی مورد استفاده قرار گرفته اند. ضمن اینکه در نواحی مجاور تقاطع از شبکه ریزتری استفاده شده است شکل ۲. به منظور برقراری وابستگی سرعت-فشار^۱ از الگوریتم سیمپل سی^۲ استفاده شده است.

جریان در کانال های باز ذاتاً مشتمل بر دو فاز آب و هوا می باشد. هر چند در صورت عدم شکل گیری اختلاف ارتفاع قابل ملاحظه در سطح آزاد جریان، می توان از مدل سازی تک فاز که هزینه محاسباتی بسیار کمتری نسبت به مدل سازی دو فازی دارد، به عنوان جایگزین استفاده کرده و سرعت نرمال در سطح آزاد جریان را صفر فرض نمود. لشزاینر و ردی بیان می کنند که اگر حداکثر بریلندی سطح آب از ۱۰ درصد عمق کانال تجاوز نکند، می توان سطح آب را به عنوان یک پوشش صلب در نظر گرفته و از شرط مرزی تقارن برای آن استفاده کرد [۲۵] در نتیجه در تحقیق حاضر، سطح آزاد سیال در مدل تک فاز به عنوان یک مرز فاقد سرعت عمودی مدل شده که هیچ محدودیتی در سرعت مماس بر مرز ایجاد نمی کند (شرط مرزی تقارن) و لذا عمق در تمام کانال ثابت و برابر با عمق پایاب آزمایشات وبر و همکارانش [۳] فرض شده است.

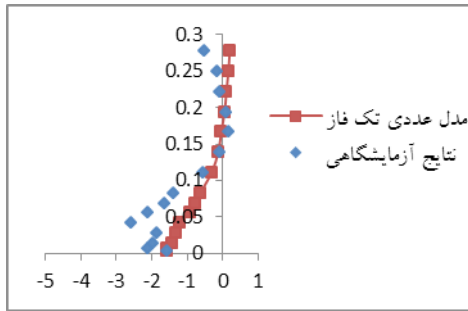
۳- صحت سنجی

نتایج تحقیق آزمایشگاهی وبر و همکارانش [۳] به منظور صحت سنجی مورد استفاده قرار گرفته است. مولفه های مختلف سرعت جریان در مقاطع نشان داده شده در شکل ۳ اندازه گیری و به کمک سرعت میانگین جریان پایین دست ($V_t = 0.628 \text{ m/s}$) بی بعد شده و با $v^* u^*$ و w^* (به ترتیب در جهات x^*, y^*, z^*) نشان داده شده اند. از مجموعه اطلاعات این آزمایش، نتایج مربوط به نسبت دبی $0.25 (q^*)$ که ناحیه جدایش مشخص تری ایجاد می کند، به منظور صحت سنجی مورد استفاده قرار گرفته اند. در این نسبت دبی، دبی ورودی کانال های اصلی و فرعی به ترتیب 0.42 و 0.127 متر بر ثانیه بوده است [۳].

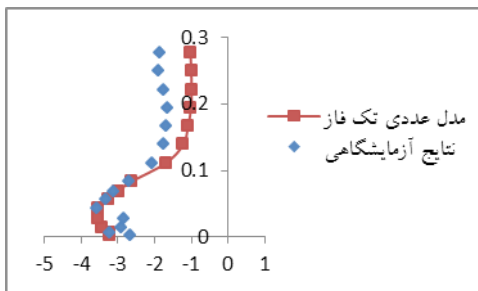
همان طور که پیش تر مطرح شد، یافته های لشزاینر و ردی [۲۶]. نشان می دهد که اگر حداکثر بریلندی سطح آب از ۱۰ درصد عمق کانال تجاوز نکند، می توان سطح آب را به عنوان یک پوشش صلب در نظر گرفته و از شرط مرزی تقارن برای آن استفاده نمود. استفاده از مدل تک فاز به عنوان جایگزین مدل دو فازی، زمان محاسبات را تا حد قابل ملاحظه ای می کاهد. به همین دلیل با توجه به این که بیش ترین بریلندی سیال (ارتفاع سیال نسبت به تراز میانگین آن) در این تحقیق، قبل از تقاطع شکل گرفته که نسبت به تراز میانگین، قابل اغماض می باشد (کمتر از ۶ درصد)، امکان جایگزینی گزینه تک فاز با مدل عددی دو فاز، وجود دارد. در مدل عددی تک فاز، عمق در تمام کانال ثابت و برابر با عمق پایاب آزمایشات وبر و همکارانش [۳] (یعنی 0.29 متر معادل $z^* = 0.32$) فرض شده است. لذا در تحقیق حاضر

1 Pressure-Velocity Coupling
2 SIMPLE C

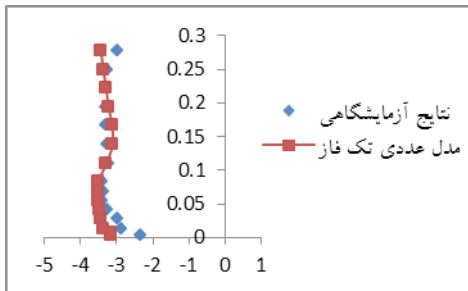
همچنین این نواحی در خارج از ناحیه جدایش قرار می‌گیرند شکل ۵-ج و د.



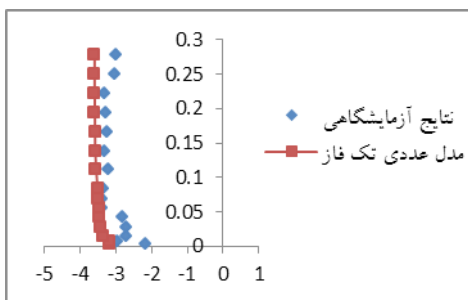
الف: $x^*=-2$ و $y^*=0.25$



ب: $x^*=-2$ و $y^*=0.375$



ج: $x^*=-2$ و $y^*=0.5$



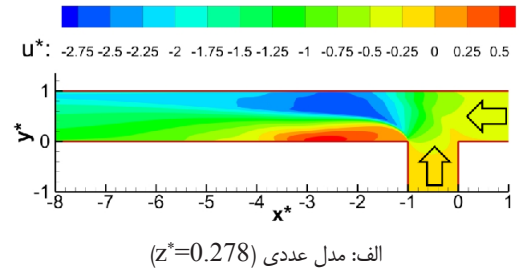
د: $x^*=-2$ و $y^*=0.625$

شکل ۵: تغییرات مولفه سرعت u^* در عمق کانال در موقعیت $x^*=-2$

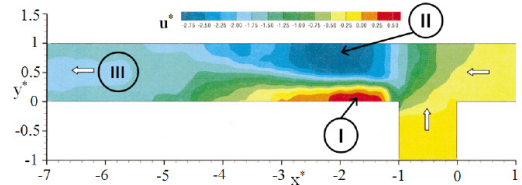
Fig. 5. Variation of u^* in channel depth at $x^*=-2$

۴- صفحات مستغرق

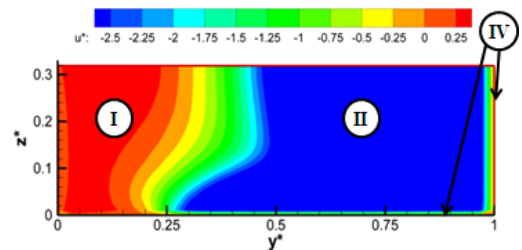
همان‌طور که در قبل مطرح شد، اثرات صفحه مستغرق بر کاهش بیشینه



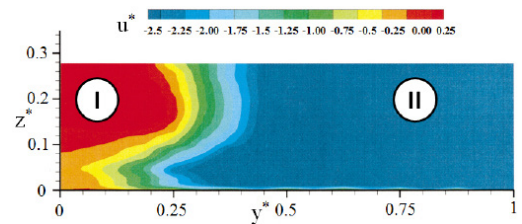
الف: مدل عددی ($z^*=0.278$)



ب: مدل آزمایشگاهی ($z^*=0.278$) [۳]



ج: مدل عددی ($x^*=-2$)

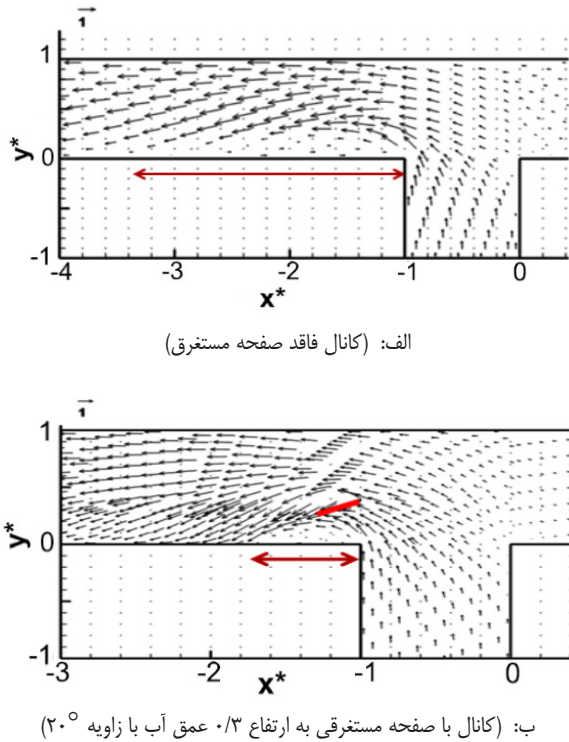


د: مدل آزمایشگاهی ($x^*=-2$) [۳]

شکل ۴: منحنی‌های هم‌تراز سرعت u^* در ارتفاع $z^*=0.278$ و مقطع عرضی ($x^*=-2$) در مدل عددی و نتایج آزمایشگاهی

Fig. 4. Contours of u^* at $z^*=0.278$ and $x^*=-2$ in experimental and numerical models

تطابق مناسبی بین نتایج آزمایشگاهی و حل تک فاز وجود دارد. شکل ۵-الف مقادیر سرعت u^* در مقطع $y^*=0.25$ را نشان می‌دهد. قسمت بالایی این مقطع در ناحیه بازچرخشی قرار می‌گیرد؛ بنابراین مقادیر سرعت در بخش بالایی مقطع $y^*=0.25$ کوچک و مثبت می‌باشد. با دور شدن از ناحیه بازچرخشی، سرعت‌ها در نزدیکی سطح نیز افزایش می‌یابند؛ همچنین می‌توان مشاهده نمود، با حرکت از سطح به کف کانال، ناحیه جدایش در حال کاهش ابعاد و حذف شدن می‌باشد شکل ۵-ب. با حرکت از دیوار پایینی کانال به سمت لبه بالایی آن و دور شدن از ناحیه بازچرخشی، به مرور از گرادین سرعت کاسته شده و پروفیل سرعت حالت یکنواخت‌تری به خود گرفته و به شکل پروفیل سرعت در نواحی دور از تقاطع نزدیک می‌گردد؛



شکل ۷: بردارهای سرعت اطراف تقاطع (در ارتفاع بی بعد ۰/۱۴)

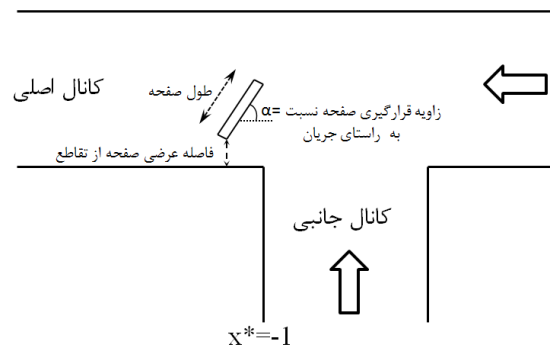
Fig. 7. Vectors of velocity near the junction (in $z^*=0.014$)

برخورد جریان با صفحه مستغرق قرار گرفته در مسیر آن، منجر به افزایش هد فشاری در جلوی صفحه و کاهش فشار در پشت آن می‌گردد که به شکل گیری جریان‌های ثانویه در مقطع عرضی کانال منتهی می‌شود [۲۹]. شکل ۸-الف و ج جریان ثانویه در یک کانال فاقد صفحه مستغرق را در موقعیت‌های به ترتیب $x^* = -1.5$ و $x^* = -2$ نمایش می‌دهد. هم‌چنین حرکت جریان ثانویه به سمت ناحیه بازچرخشی هنگام عبور از یک صفحه مستغرق به ارتفاع ۰/۳ عمق آب و زاویه ۳۰° نسبت به راستای جریان در کانال اصلی، در شکل ۸ (ب و د) در موقعیت‌های مشابه قبل، نشان داده شده است. نفوذ جریان ثانویه تقویت شده به داخل ناحیه بازچرخشی می‌تواند الگوی جریان در نزدیکی دیوار کانال را تحت تاثیر قرار داده ابعاد ناحیه بازچرخشی را کاهش دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، با حرکت به سمت پایین دست، حضور صفحه مستغرق منجر به حرکت جریان ثانویه به سمت دیوار پایینی کانال (دیوار نزدیک تقاطع) شده و در نتیجه ناحیه جدایش را تا پیش از مقطع $x^* = -2$ از بین می‌برد (شکل ۸-ب و د و شکل ۹).

منحنی‌های هم‌تراز سرعت u^* در ارتفاع $z^* = 0.278$ در یک کانال ساده (فاقد صفحه مستغرق) و نیز یک کانال دارای صفحه مستغرقی به ارتفاع ۰/۳ عمق آب و زاویه نصب ۳۰° نسبت به راستای جریان در کانال اصلی، در شکل ۹ نمایش داده شده‌اند. وجود صفحه مستغرق به کاهش ۶۵٪ در طول و ۲۸٪ در عرض ناحیه بازچرخشی (در $z^* = 0.278$) انجام شده است.

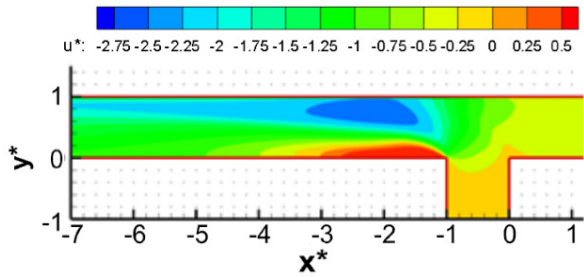
مقادیر سرعت پس از تقاطع و نیز طول و عرض ناحیه بازچرخشی، در یک کانال باز مشابه کانال مورد بررسی در آزمایشات وبر و همکارانش [۳]، در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۶). ادگارد و کندی در مطالعات خود در زمینه حفاظت از حاشیه رودخانه، نشان دادند که با توجه به زاویه نصب صفحه مستغرق، یک جریان ثانویه اطراف صفحه تولید شده و بر الگوی پخش جریان در این ناحیه اثر گذاشته و بدین ترتیب روند انتقال رسوب را تغییر می‌دهد [۲۷]. در تحقیق حاضر، اثر پارامترهایی هم‌چون ارتفاع صفحات و تعداد آن‌ها، تعداد ردیف‌ها و هم‌چنین زاویه قرارگیری آن‌ها بر سرعت جریان پس از تقاطع (آب‌شستگی) و ابعاد ناحیه جدایش (رسوب‌گذاری)، مورد بررسی قرار گرفته است. بدین منظور، با توجه به مقادیر پیشنهادی برای ابعاد، ارتفاع و فاصله صفحات به کار گرفته شده در آب‌گیرها [۲۸] تعداد یک تا چهار صفحه نازک (با ضخامت ۲ میلی‌متر) مستطیلی با ارتفاعی بین ۲۰٪ تا ۱۰۰٪ عمق آب به ازاء زوایای ۱۰°، ۲۰°، ۳۰° و ۴۰° درجه نسبت به راستای جریان در کانال اصلی مورد بررسی قرار گرفت. طول صفحه در کلیه حالت‌ها برابر ۰/۲۸۶ (کلیه ابعاد به کمک عرض مقطع کانال‌ها $W=0.914$ m) بی‌بعد شده‌اند) در نظر گرفته شد. چینش صفحات از محل $x^* = -1$ آغاز گردیده و در حالت بیش از یک صفحه، فاصله آن‌ها از یکدیگر برابر با ۰/۷۶۵ در نظر گرفته شده است.

حضور صفحه در مسیر جریان، باعث انحراف جریان به سمت ناحیه بازچرخشی می‌گردد. ورود این جریان منحرف شده به ناحیه بازچرخشی، سرعت در این محل را بالا برده و بدین ترتیب ابعاد ناحیه بازچرخشی را کاهش می‌دهد. شکل ۷ الگوی جریان در یک کانال فاقد صفحه مستغرق (الف) و کانالی با شرایط مشابه و با یک صفحه مستغرق به ارتفاعی معادل ۰/۳ عمق آب و زاویه ۳۰° نسبت به راستای جریان در کانال اصلی (ب) را نشان می‌دهد. اثر قابل ملاحظه صفحه مستغرق بر کاهش ابعاد ناحیه بازچرخشی در این شکل به سادگی قابل تشخیص می‌باشد.

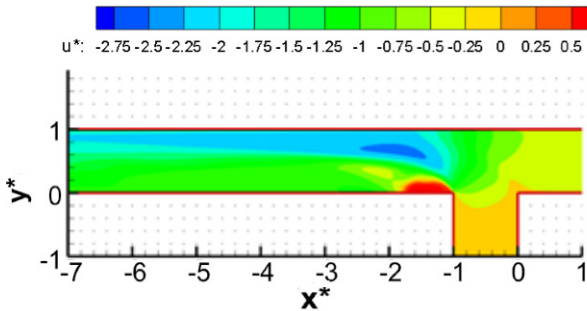


شکل ۶: شمایی از یک صفحه مستغرق به کار رفته

Fig. 6. Sketch of an applied submerged vane



الف: (کانال ساده)



ب: (کانال دارای صفحه مستغرقی به ارتفاع ۰/۳ عمق و زاویه نصب ۲۰°)

شکل ۹: منحنی‌های هم‌تراز سرعت u^* در ارتفاع $z^*=0.278$

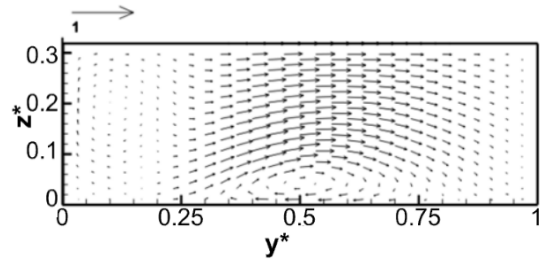
Fig. 9. Contours of u^* at $z^*=0.278$

۴-۱ اثر ارتفاع صفحات بر الگوی جریان

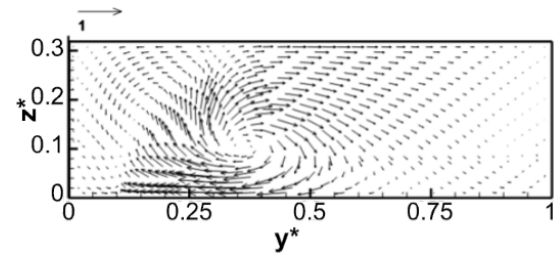
به طور کلی صفحه مستغرق نوعی مانع در برابر حضور جریان محسوب می‌شود که شکل‌گیری گردابه پس از آن اجتناب‌ناپذیر می‌باشد. افزایش ارتفاع صفحات مستغرق باعث مسدود شدن فضای بالای صفحه در برابر عبور جریان و در نتیجه تقویت گردابه‌های پشت صفحه می‌شود. بخشی از جریان در برخورد با صفحات کوتاه، به سمت بالا منحرف شده و از بالای صفحه مستغرق عبور کرده و باعث تضعیف گردابه‌های پشت صفحه می‌گردد. به همین دلیل، با افزایش ارتفاع صفحات مستغرق، ابعاد ناحیه گردابه‌ای پشت آن را افزایش می‌یابد.

به منظور شناسایی اثرات تغییر ارتفاع صفحه مستغرق بر الگوی جریان، صفحاتی به ارتفاع ۰/۲ تا ۱ برابر عمق آب داخل کانال مدل‌سازی شد. صفحات مذکور در کلیه مدل‌ها با زاویه ۲۰° نسبت به راستای جریان در کانال اصلی و در موقعیت $x^*=-1$ مدل شدند.

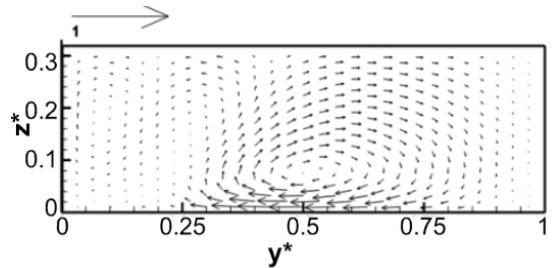
شکل ۱۰ نشان می‌دهد که با افزایش ارتفاع صفحه مستغرق، از یک سو جریان بیشتر به سمت ناحیه بازچرخشی و هم‌چنین لبه بالایی کانال منحرف می‌شود، و از طرف دیگر، از یک ارتفاع مشخص به بعد با انسداد بیش‌تر یا کامل مسیر جریان، مانع جهش آن از بالای صفحه می‌شود. این انسداد علاوه بر اینکه گردابه پشت صفحه را تشدید کرده و بر قابلیت رسوب‌گذاری پشت آن می‌افزاید، با کاهش عرض مقطع عبوری جریان و بالا بردن سرعت، میزان پتانسیل آب‌شستگی را نیز در این ناحیه افزایش می‌دهد.



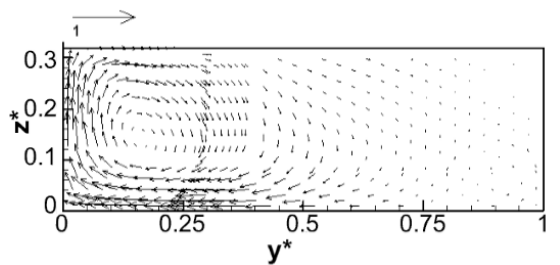
الف: ($x^*=-1.5$ فاقد صفحه مستغرق)



ب: ($x^*=-1.5$ دارای یک صفحه مستغرق)



ج: ($x^*=-2$ فاقد صفحه مستغرق)

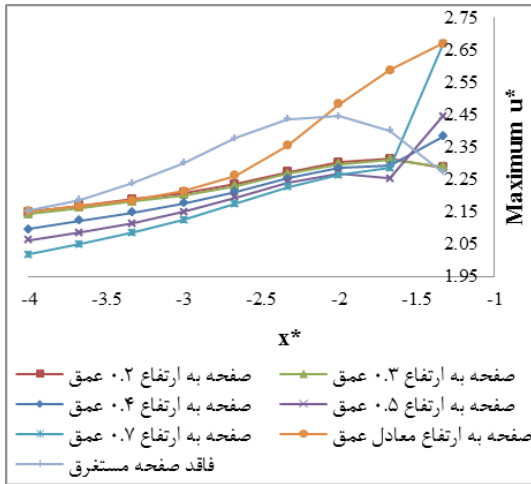


د: ($x^*=-2$ دارای یک صفحه مستغرق)

شکل ۸: میدان برداری سرعت $v-w$

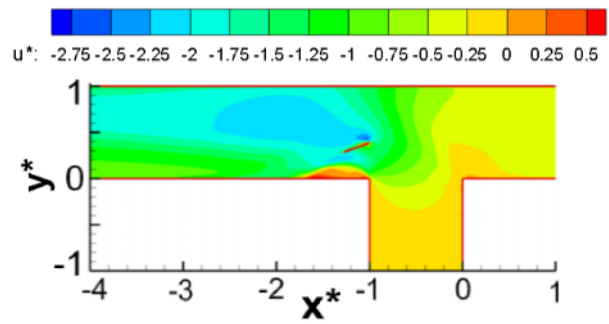
Fig. 8. Vectors of velocity field of $v-w$

وجود صفحات مستغرق نه تنها ضمن کاهش ابعاد ناحیه بازچرخشی، از پتانسیل رسوب‌گذاری می‌کاهد، بلکه با توجه به افزایش سطح مقطع کانال پس از صفحه و در نتیجه کاهش بیشینه سرعت پس از تقاطع، پتانسیل فرسایش را نیز کاهش می‌دهد.

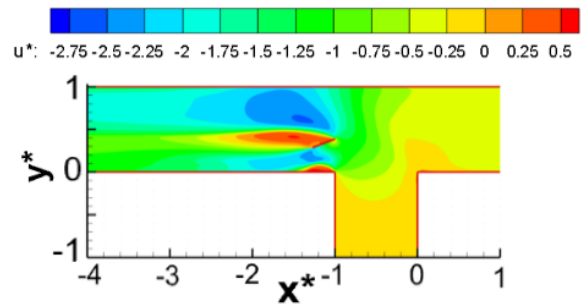


شکل ۱۱: تغییرات بیشترین مقدار مطلق u^* با افزایش ارتفاع صفحه مستغرق

Fig. 11. Variation of maximum u^* with submerged vanes' height



الف: (کانالی با یک صفحه به ارتفاع ۰/۳ عمق جریان و زاویه 20°)



ب: (کانالی با یک صفحه به ارتفاع عمق جریان و زاویه 20°)

شکل ۱۰: منحنی‌های هم‌تراز مولفه سرعت u^* در ارتفاع $z^*=0.014$

Fig. 10. Contours of u^* at $z^*=0.014$

۴-۲- اثر زاویه قرارگیری صفحات بر الگوی جریان با وجود اینکه افزایش زاویه برخورد می‌تواند مقدار بیش‌تری از جریان را به سمت نقطه شروع ناحیه بازچرخشی منحرف نموده و از طول آن بکاهد، این افزایش زاویه، سطح تصویر صفحه در مقابل جریان را نیز بزرگ‌تر کرده و بدین ترتیب سرعت و در نتیجه آب‌شستگی در طرفین صفحه را تشدید می‌نماید. به منظور ارزیابی اثر زاویه برخورد، الگوی جریان در کانالی با صفحات مستغرق به ارتفاع ۰/۳ عمق جریان، با زوایای برخورد مختلف نسبت به راستای جریان در کانال اصلی (۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ درجه) مورد بررسی قرار گرفت. در کلیه مدل‌ها تنها یک صفحه در موقعیت $x^*=-1$ در نظر گرفته شد. شکل ۱۲ نشان می‌دهد که صفحاتی با زاویه برخورد بین ۲۰ تا ۳۰ درجه بهترین تاثیر را بر کاهش بیشینه مقادیر قدر مطلق u^* در راستای x^* خواهند داشت.

بررسی‌ها نشان می‌دهد که استفاده از یک صفحه با ارتفاع کم‌تر از نصف عمق جریان با زاویه ۲۰ تا ۳۰ درجه بهترین عمل کرد را در کاهش ابعاد ناحیه جدایش خواهد داشت. به عنوان مثال صفحه مستغرق به ارتفاع $0.3h$ که با زاویه ۲۰ درجه در امتداد جریان نصب می‌شود، قادر خواهد بود طول ناحیه جدایش را تا حدود ۹۰٪ کاهش دهد.

۴-۳- اثر تعداد صفحات بر الگوی جریان

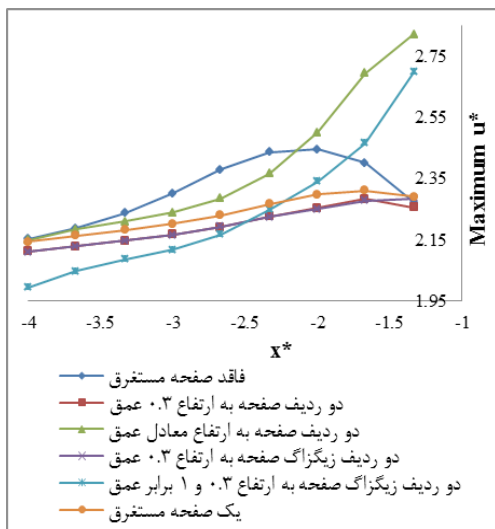
به منظور شناسایی اثر افزایش تعداد صفحات مستغرق بر الگوی جریان، تعداد زیادی مدل مورد ارزیابی قرار گرفت. بررسی مدل‌هایی حاوی تعداد ۱ تا ۴ صفحه در یک ردیف زاویه قرارگیری 20° نسبت به راستای جریان در کانال اصلی و ارتفاع ۰/۳ عمق جریان شکل ۱۳ نشان می‌دهد که بر خلاف اثر قابل اغماض استفاده از بیش از یک صفحه در یک ردیف و بعد از تقاطع (پایین دست صفحه اول)، بهره‌گیری از یک صفحه مستغرق مشابه صفحه

شکل ۱۱ نحوه تغییرات بیشترین مقدار مطلق u^* نسبت به x^* در راستای طول کانال پس از تقاطع را در هر مورد نمایش می‌دهد. همان‌طور که دیده می‌شود، افزایش ارتفاع صفحه مستغرق، به رشد قابل ملاحظه‌ای در بیشترین مقدار مطلق u^* بعد از صفحه منجر می‌گردد. این موضوع به خصوص در صفحاتی با ارتفاع بیش از ۰/۵ عمق جریان کاملاً قابل مشاهده است.

مقایسه کانال ساده فاقد صفحه مستغرق با کانال‌های دارای صفحه‌ای با ارتفاع کم‌تر از نصف عمق جریان شکل ۱۱ نشان می‌دهد که علی‌رغم کوچک شدن سطح مقطع عبوری جریان توسط صفحه مستغرق، بیشترین مقدار مطلق u^* کم‌تر از مقدار مشابه آن در کانال ساده می‌باشد. هم‌چنین طول ناحیه بازچرخشی در این کانال‌ها، کاهش قابل ملاحظه‌ای نسبت به کانال ساده را نشان می‌دهد. استفاده از صفحه‌ای با ارتفاع معادل عمق جریان، باعث کاهش سطح مقطع عبوری جریان و در نتیجه افزایش شدید سرعت جریان بعد از صفحه می‌شود که در امتداد جریان به مرور افت خواهد کرد (شکل ۱۱). شکل ۱۱ مویب آن است که بیش‌ترین میزان کاهش در سرعت و هم‌چنین آب‌شستگی وقتی رخ می‌دهد که صفحاتی با ارتفاع بین ۰/۲ تا ۰/۵ عمق جریان مورد استفاده قرار گرفته باشند.

بررسی‌های قبلی نشان داد که استفاده از تنها یک صفحه مستغرق در زمینه اصلاح الگوی جریان بسیار مفید خواهد بود. چهار مدل نیز با هدف شناسایی اثرات چیدمان صفحات، مورد بررسی قرار گرفتند. در مدل اول، دو صفحه به ارتفاع مشابه $0/3$ عمق جریان در موقعیت $x^* = -1$ و در دو ردیف در نظر گرفته شدند به گونه‌ای که فاصله آن‌ها در راستای y برابر $0/478$ بود. در مدل دوم، ارتفاع دو صفحه مدل اول به h (عمق آب) افزایش یافت. در مدل سوم از دو صفحه با ارتفاع $0/3$ عمق جریان به صورت زیگزاگ استفاده شد بدین ترتیب که صفحه اصلی در موقعیت $x^* = -1$ در نظر گرفته شده و فاصله صفحه دوم از صفحه اصلی در راستای x و همچنین y یک بار معادل $0/478$ و بار دیگر برابر $0/765$ لحاظ شد. در حالت آخر نیز از چیدمان زیگزاگ مشابه حالت قبل استفاده شد با این تفاوت که ارتفاع صفحه اصلی برابر h (عمق آب) و ارتفاع صفحه دوم برابر $0/3$ عمق جریان در نظر گرفته شد. در تمامی حالات مذکور زاویه قرارگیری صفحات نسبت به راستای جریان در کانال اصلی برابر با 20 درجه فرض شده است. وجود صفحه‌ای با ارتفاع h در امتداد جریان علی‌رغم آنکه ابعاد ناحیه بازچرخشی را کاهش می‌دهد، به شکل‌گیری یک جریان گردابه‌ای پشت صفحه نیز کمک می‌نماید. بهره‌گیری از یک صفحه به ارتفاع $0/3$ عمق جریان در موقعیت مذکور، از طریق منحرف کردن جریان به پشت صفحه اصلی (صفحه به ارتفاع h)، از شدت جریان گردابه‌ای مذکور می‌کاهد.

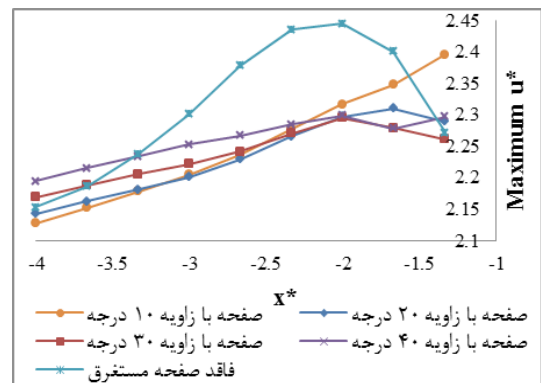
شکل ۱۴ نشان می‌دهد که استفاده از بیش از یک صفحه مستغرق در یک ردیف، درست همانند بهره‌گیری از بیش از یک صفحه در دو ردیف به صورت موازی یا زیگزاگ، اثر چندان‌ی بر الگوی جریان داخل کانال ندارد. این در حالی است که اثر چیدمان زیگزاگ حالت چهارم (صفحه اصلی به ارتفاع h و صفحه دوم به ارتفاع برابر $0/3$ عمق جریان) قابل ملاحظه است.



شکل ۱۴: اثرات چیدمان صفحات مستغرق بر بیشترین مقدار مطلق u^*

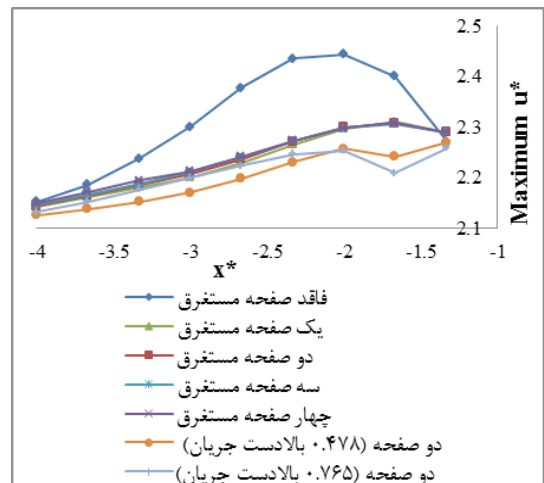
Fig. 14. Effects of submerged vanes layout on maximum u^*

اصلی (صفحه نصب شده در موقعیت $x^* = -1$) در بالادست آن می‌تواند اثر قابل ملاحظه‌ای بر الگوی جریان داخل کانال داشته باشد. موقعیت صفحه مستغرق دوم داخل تقاطع باید بر مبنای الگوی جریان داخل کانالی با یک صفحه مستغرق در موقعیت $x^* = -1$ مشخص شود. همان‌طور که در شکل ۱۳ مشاهده می‌شود، اثر مثبت بهره‌گیری از صفحه مستغرق دوم داخل کانال (به فاصله بی‌بعد $0/478$ و $0/765$ از صفحه اصلی و در بالادست این صفحه) بر کاهش سرعت‌های حداکثر پس از تقاطع دیده می‌شود؛ لذا موارد آخر و نیز بهره‌گیری از تنها یک صفحه در $x^* = -1$ بهترین عمل کرد را در بهبود الگوی جریان داشته‌اند.



شکل ۱۲: تغییرات بیشترین مقدار مطلق u^* در راستای x^* تحت تاثیر تغییر زاویه حمله در یک صفحه مستغرق به ارتفاع $0/3$ عمق جریان

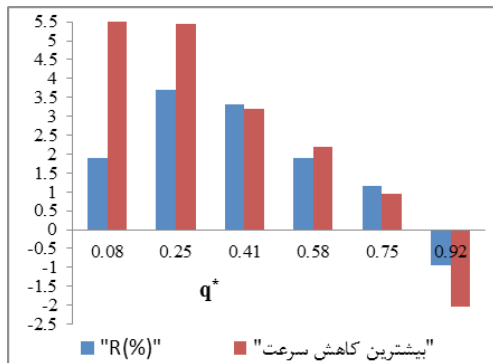
Fig. 12. Variation of maximum u^* in x^* direction for different attack angles



شکل ۱۳: تاثیر تعداد صفحات مستغرق (در یک ردیف) بر الگوی جریان

Fig. 13. Effects of number of submerged vane on flow pattern

بعد سرعت هم‌جهت جریان در مقطع مورد بررسی و در حالت فاقد صفحه مستغرق و u_2^* مقدار حداکثر مولفه بی بعد سرعت هم‌جهت جریان در مقطع مورد بررسی و در حالت دارای صفحه مستغرق می‌باشد.



شکل ۱۵: میانگین و بیشترین درصد کاهش سرعت جریان تحت تاثیر صفحات مستغرق در هر دبی نسبی

Fig. 15. Mean and maximum of velocity reduction for different discharge ratios

بر اساس این شکل، عملکرد صفحه مستغرق در $q^*=0.25$ از سایر نسبت دبی‌ها بهتر بوده است. در $q^*=0.92$ حضور صفحه مستغرق نه تنها باعث بهبود رژیم جریان و کاهش حداکثر مقادیر سرعت پس از تقاطع نشده است؛ بلکه منجر به افزایش سرعت جریان در این نواحی شده است که با توجه به ابعاد ناحیه جدایش در این حالت قابل پیش‌بینی بود. در $q^*=0.25$ ناحیه جدایش به صورت کاملاً ملموس شکل گرفته و بر طبق آنچه وبر و همکارانش [۳] نیز بیان نمودند این نسبت دبی چالش برانگیزترین حالت برای بررسی جریان در تقاطع‌ها می‌باشد ولی در $q^*=0.92$ ناحیه جدایش و به تبع آن ناحیه انقباضی تقریباً شکل نمی‌گیرد؛ بنابراین در این حالت، حضور صفحه مستغرق که عملاً ابعاد این نواحی را کاهش می‌دهد، کارکرد مثبت خود را از دست داده و حتی از طریق کاهش سطح مقطع عبوری جریان، باعث افزایش سرعت پس از تقاطع می‌گردد.

مقدار حداکثر سرعت بی‌بعد هم‌جهت جریان در میان مقاطع مذکور برای هر دبی نسبی، در دو حالت دارای صفحه مستغرق و فاقد آن نیز استخراج شده و در رابطه ۳ قرار داده شده است. همان‌طور که در گراف شکل ۱۵ مشاهده می‌شود، بیش‌ترین کاهش در مقدار سرعت حداکثر پس از مقطع در $q^*=0.25$ و نیز $q^*=0.08$ رخ داده و در $q^*=0.92$ مقدار سرعت حداکثر پس از تقاطع افزایش می‌یابد که مطابق آنچه پیش‌تر بیان شد، این روند نیز قابل پیش‌بینی می‌باشد.

شایان ذکر است با توجه به محدودیت‌های محاسباتی و فرضیات موجود در تحقیقات حاضر، از قابلیت‌هایی همچون توانایی شبیه‌سازی انتقال بار بستر و یا تغییرات عمق در زمان صرف‌نظر شده است که می‌تواند در تحقیقات آتی مد نظر قرار گیرد.

استفاده از دو صفحه به ارتفاع h در مقایسه با سایر حالت‌ها، انقباض بیش‌تری در مقطع عبوری جریان ایجاد می‌کند که به افزایش شدیدی در سرعت جریان بعد از صفحه می‌انجامد که به مرور ضمن دور شدن از صفحه، از مقدار آن به سرعت کاسته می‌شود.

۵- درصد کاهش سرعت جریان تحت تاثیر صفحات در نسبت دبی‌های مختلف

در ادامه این تحقیق، درصد کاهش سرعت جریان تحت تاثیر صفحات مستغرق برای نسبت دبی‌های مختلف کانال اصلی به پایین‌دست (q^*) مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. بدین صورت که مطابق جدول ۱، به ازای یک نسبت دبی (q^*) مشخص، مقادیر سرعت‌های ورودی به دو مدل عددی از تقاطع کانال‌های باز با ابعاد پیشین، یکی فاقد صفحه مستغرق و دیگری دارای صفحه مستغرقی به ضخامت ۲ میلی‌متر، ارتفاع h ($0.3h$) عمق کانال و برابر با 0.29 متر، طول 0.286 که با زاویه 20° درجه نسبت به راستای جریان در کانال اصلی قرار گرفته است؛ اعمال شده و مقادیر سرعت‌های حداکثر در راستای جریان و پس از تقاطع در این دو مدل عددی با یکدیگر مقایسه می‌شوند.

جدول ۱: مقادیر سرعت در دو کانال به ازاء نسبت دبی‌های مختلف

Table 1. Velocity in two channels for different discharge ratios

q*	سرعت جهت X در کانال اصلی	سرعت جهت Y در کانال جانبی
0.08	0.077	0.147
0.25	0.233	0.691
0.41	0.374	0.550
0.58	0.532	0.392
0.75	0.691	0.233
0.92	0.847	0.077

مقادیر سرعت‌های حداکثر هم‌جهت با جریان در کانال اصلی و پس از تقاطع، در ۹ مقطع عرضی (از $x^*=-1.33$ تا $x^*=-4$ در شکل ۳) و برای هر نسبت دبی در دو حالت دارای صفحه مستغرق و فاقد آن، استخراج شده و در رابطه ۳ قرار داده شده‌اند. میانگین مجموع مقادیر R_i (بر حسب درصد) به عنوان میانگین درصد کاهش سرعت جریان تحت تاثیر صفحه مستغرق در هر دبی نسبی مشخص (R) در شکل ۱۵ ارائه شده است.

$$R_i = \frac{u_1^* - u_2^*}{u_1^*} \times 100 \quad (3)$$

که در آن R_i (بر حسب درصد) معرف درصد کاهش سرعت جریان در هر دبی نسبی و در مقطع عرضی مورد بررسی، u_1^* مقدار حداکثر مولفه بی

۶- نتیجه گیری

- استفاده از صفحه مستغرق اثر قابل ملاحظه‌ای بر بهبود الگوی جریان پس از تقاطع و کاهش پتانسیل آب‌شستگی و رسوب‌گذاری در کانال دارد. به عنوان مثال وجود صفحه مستغرق در یکی از بهترین حالت‌ها (صفحه‌ای با ارتفاع $0/3$ عمق جریان و زاویه نصب 20°) باعث $6/5$ درصد کاهش در بیشترین مقدار مطلق سرعت و نیز 53 درصد کاهش در طول ناحیه جدایش می‌گردد.

- استفاده از صفحه‌ای با ارتفاع بیش‌تر از $0/5$ عمق جریان پیشنهاد نمی‌شود.

- استفاده از صفحاتی با زاویه نصب بزرگ‌تر از 40° نسبت به راستای جریان در کانال اصلی، پیشنهاد نمی‌شود.

- بررسی چیدمان صفحات نشان می‌دهد، استفاده از دو صفحه با چیدمان "صفحه اصلی به ارتفاع در موقعیت $x^* = -1$ و صفحه دوم به ارتفاع برابر $0/3$ عمق جریان به فاصله بی‌بعد طولی و عرضی معادل $0/286$ از صفحه اصلی و در جهت جریان کانال‌های اصلی و فرعی"، اثر بیش‌تری بر بهبود الگوی جریان دارد.

۷- فهرست علائم

h عمق جریان، m

p فشار، Pa

q^* نسبت دبی بی‌بعد

R میانگین درصد کاهش سرعت جریان در دبی نسبی مشخص، %

R_i درصد کاهش سرعت جریان در دبی نسبی مشخص و مقطع عرضی i ، %

S_{ji} مولفه‌های تانسور کرنش

U_i سرعت متوسط در جهت i ، m/s

u^* مولفه سرعت بی‌بعد جهت x

$u_i u_j$ مولفه‌های تانسور تنش رینولدز

V_t سرعت میانگین جریان پایین‌دست، m/s

W عرض کانال، m

x_i مختصه جهت i ، m

x^* مختصه بی‌بعد جهت x

y^* مختصه بی‌بعد جهت y

z^* مختصه بی‌بعد جهت z

علائم یونانی

α زاویه قرارگیری صفحه نسبت به راستای جریان در کانال اصلی،

درجه

ρ چگالی، kg/m³

ν لزجت سینماتیکی، m²/s

زیرنویس

i شماره‌دهنده جهت‌های مختصاتی، از ۱ تا ۳

j شماره‌دهنده جهت‌های مختصاتی، از ۱ تا ۳

t عمق پایاب، m

بالانویس

* معرف پارامتر بی‌بعد شده

مراجع

- [1] J.L. Best, I. Reid, Separation Zone at Open-Channel Junctions, Journal of Hydraulic Engineering, 110(11) (1984) 1588-1594.
- [2] A.S. Ramamurthy, L.B. Carballada, D.M. Tran, Combining Open Channel Flow at Right Angled Junctions, Journal of Hydraulic Engineering, 114(12) (1988) 1449-1460.
- [3] L.J. Weber, E.D. Schumate, N. Mawer, Experiments on Flow at a 90° Open-Channel Junction, Journal of Hydraulic Engineering, 127(5) (2001) 340-350.
- [4] J. Huang, L.J. Weber, Y.G. Lai, Three-Dimensional Numerical Study of Flows in Open-Channel Junctions, Journal of Hydraulic Engineering, 128(3) (2002) 268-280.
- [5] H. Shamloo, B. Pirzadeh, Investigation of Characteristics of Separation Zones in T-Junctions, WSEAS Transactions on Mathematics, 7(5) (2008) 303-312.
- [6] T. Zhang, W.-l. Xu, C. Wu, Effect of discharge ratio on flow characteristics in 90° equal-width open-channel junction, Journal of Hydrodynamics, Ser. B, 21(4) (2009) 541-549.
- [7] C. Zeng, C.W. Li, A hybrid RANS-LES model for combining flows in open-channel T-junctions, Journal of Hydrodynamics, Ser. B, 22(5) (2010) 154-159.
- [8] S.M. Borghei, A. Nazari, A. Alireza, Experimental study of sedimentation pattern in junctions, 6th civil engineering international conference, Isfahan University of Technology, Isfahan (2003).
- [9] M. Omarai, S. Gohari, A. Falakoddin, Effects of junctions' angle on flow pattern in rectangular channels, 11th Iranian hydraulic conference, Urmia University, Urmia (2012).
- [10] S. Mohammadi, M. Shafaei Bajestan, Evaluation of erosion depth in curved junctions, 1st special conference about Methods for sustainable agriculture, Khuzestan (2011).
- [11] S.M. Seyedian, M. Karami Moghaddam, M. Shafaei Bajestan, Evaluation of flow pattern in 90 degrees junction using SSIIM2, 4th national civil congress,

- [17] F. Marelius, S.K. Sinha, Experimental Investigation of Flow Past Submerged Vanes, *Journal of Hydraulic Engineering*, 124(5) (1998) 542-545.
- [18] S.K. Sinha, F. Marelius, Analysis of flow past submerged vanes, *Journal of Hydraulic Research*, 38(1) (2000) 65-71.
- [19] S.-K. Tan, G. Yu, S.-Y. Lim, M.-C. Ong, Flow Structure and Sediment Motion around Submerged Vanes in Open Channel, *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, 131(3) (2005) 132-136.
- [20] T. Samimi Behbahan, Laboratory Investigation of Submerged Vane Shapes Effect on River Banks Protection, *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 5(12) (2011) 1402-1407.
- [21] ANSYS-FLUENT, 2006. FLUENT 6.3 User's Guide, FLUENT Documentation, Fluent Inc., See also URL: http://aerojet.engr.ucdavis.edu/fluenthelp/html/ug/main_pre.htm
- [22] M.A. Leschziner, W. Rodi, Calculation of Strongly Curved Open Channel Flow, *Journal of the Hydraulics Division*, 105(10) (1979) 1297-1314.
- [23] S. Gohari, Experimental study on flow pattern and sediment control in lateral intake with application of submerged vane and spur dike, Ph.D. thesis, Faculty of Agricultural Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran (2009).
- Tehran (2008).
- [12] S.R. Sabagh Yazdi, S. Birjandi, Numerical evaluation of effects of channel's width ratio on separation zone dimensions, 1st Conference on Optimum Utilization of Water Resources of Karun and Zayanderud, Shahr-e Kord (2006).
- [13] S. Mohammadiun, S.A.A. Salehi Neyshabouri, G. Naser, H. Parhizkar, H. Vahabi, Effects of Open-Channel Geometry on Flow Pattern in a 90° Junction, *Iranian J. of Science and Technology, Transaction of Civil Eng.*, 39(C2+) (2015) 559-573.
- [14] S. Mohammadiun, S.A.A. Salehi Neyshabouri, H. Parhizkar, H. Vahabi, Effect of separating wall geometry on flow pattern of a large-scaled 90° open-channel junction, *Journal of Modares Civil Engineering*, 16(3) (2016) 165-175.
- [15] A.J. Odgaard, J.F. Kennedy, River-Bend Bank Protection by Submerged Vanes, *Journal of Hydraulic Engineering*, 109(8) (1983) 1161-1173.
- [16] Y. Wang, A.J. Odgaard, B.W. Melville, S.C. Jain, Sediment Control at Water Intakes, *Journal of Hydraulic Engineering*, 122(6) (1996) 353-356.

Please cite this article using:

S. Mohammadiun, S. A. A. Salehi Neyshabouri, H. Parhizkar, H. Vahabi, Numerical Evaluation of Submerged Vanes Application in Sedimentation and Erosion Potential of Open-Channel Junctions Flow, *Amirkabir J. Civil Eng.*, 50(3) (2018) 567-578.

DOI: 10.22060/ceej.2017.11653.5053

