

مطالعه‌ی عددی فیزیک جریان عبوری از تک صفحه‌ی مستغرق واقع در کانال قوسی و شناسایی تأثیر آن بر آبگیری

کیوان توکلی^۱، فاطمه عوض پور^۲، حسین منتصری^{۳*}

چکیده

در این تحقیق، با استفاده از مدل عددی فلوئنت به شبیه‌سازی میدان جریان حول تک صفحه‌ی مستغرق در کانال مستقیم، کانال قوسی بدون آبگیر و کانال قوسی با آبگیر پرداخته شده است. نتایج نشان می‌دهد که در حالت قرارگیری صفحه در مسیر مستقیم با زاویه‌ی 20° ، دو سلول چرخشی هم‌جهت در دو طرف صفحه قابل مشاهده است. در حالت قرارگیری صفحه با زاویه‌ی برخورد 40° ، علاوه بر دو سلول چرخشی ذکر شده یک گردابه‌ی نعل اسبی با جهت مخالف دو سلول چرخشی قبلی در لبه‌ی پایینی سمت کم فشار صفحه ایجاد می‌شود که ابعاد آن در مقابل دو سلول قبلی کوچکتر است. با قرارگیری صفحه در قوس، در حالتی که صفحه با جهت غالب جریان زاویه‌ی 20° و 40° درجه بسازد، جریان ثانویه باعث افزایش ابعاد دو سلول دو طرف صفحه می‌شود که بیانگر افزایش کارایی صفحه در قوس است. در حالت وجود آبگیر جانبی در مسیر قوسی، مکش ایجاد شده به وسیله آبگیر جانبی، باعث کاهش ابعاد گردابه‌های دو طرف صفحه می‌شود. الگوی جریان در تراز بستر نشان می‌دهد که وجود صفحه در کف کانال باعث به وجود آمدن یک گردابه‌ی افقی حول محور قائم می‌شود که از کف تا تاج صفحه ادامه دارد. با افزایش زاویه قرارگیری صفحه، این گردابه بزرگتر گشته و تغییر شکل می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: آبگیر جانبی، الگوی جریان، تک صفحه‌ی مستغرق، فلوئنت، کانال قوسی

^۱ کارشناس ارشد، مهندسی عمران - آب، دانشگاه یاسوج

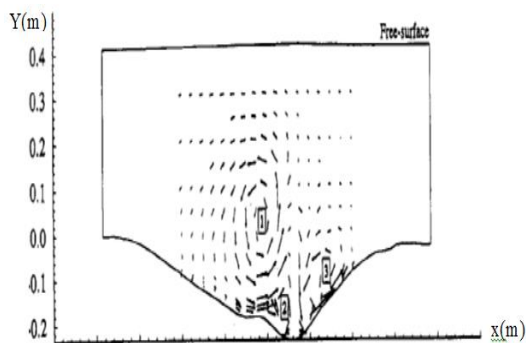
^۲ کارشناس ارشد، مهندسی عمران - آب، دانشگاه یاسوج

^۳ حسین منتصری، استادیار، مهندسی عمران - سازه‌های هیدرولیکی، دانشگاه یاسوج

*نویسنده مسول: hmontaseri@gmail.com

مقدمه

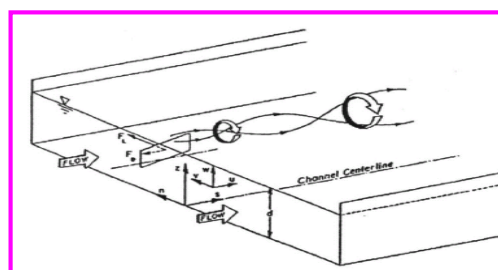
پرفشار در اطراف خود باعث به وجود آمدن سه گردابه می‌شود؛ این گردابه‌ها باعث تشکیل چاله فرسایشی می‌گردند. (۴). گردابه‌ی شماره (۱) در سمت پر فشار صفحه همان گردابه اصلی تشکیل شده به وسیله صفحه می‌باشد، گردابه‌ی شماره (۲) گردابه‌ی نعل اسبی در لبه‌ی پائین دست صفحه با جهت مخالف آن است و گردابه‌ی شماره ۳ با جهتی یکسان با گردابه‌ی شماره ۱ در سمت پر فشار صفحه ایجاد شده است. (شکل ۲)



شکل ۲- فیزیک جریان عبوری از تک صفحه در کانال مستقیم، (ماریلیوس و سینها، ۲۰۰۲).

عمده مطالعات انجام شده در زمینه‌ی کاربرد صفحات مستغرق در تثبیت جداره و بستر رود و مهار کردن رسوب ورودی به آبگیر جانبی انجام گرفته است. ادگارد و کندی (۱۹۸۳) و ادگارد و ونگ (۱۹۹۱) در کاربرد صفحات برای حفاظت سواحل در قوس خارجی رودخانه‌ها، وایزن و تانزن (۲۰۰۲) در تعیین ابعاد و آرایش آنها در قوس ۹۰ درجه به منظور جلوگیری از فرسایش کناره قوس مطالعاتی را انجام دادند (۵). فروغی و همکاران (۲۰۰۱)، در مورد کنترل فرسایش سواحل به وسیله صفحات مستغرق به مطالعه پرداختند (۶). برکدال و همکاران (۱۹۹۹) در طراحی آرایش مناسب صفحات برای جلوگیری از ورود رسوب به آبگیرهای جانبی در مسیر مستقیم با بستر آبرفتی اقدام کردند (۷). جان سنوک هو و همکاران (۲۰۱۰) اثر صفحات را جهت مهار کردن رسوب ورودی به آبگیر جانبی با زوایای مختلف آبگیری در یک نمونه آزمایشگاهی با بستر متحرک مورد بررسی قرار دادند (۸). دهقانی (۲۰۰۶) کاربرد صفحات مستغرق را در انحراف رسوب در کانال قوسی ۱۸۰ درجه مورد بررسی قرار داد (۹). منتصری (۲۰۰۸) به بررسی تأثیر آرایش صفحات

صفحات مستغرق در حقیقت پره‌های کوچکی هستند که از جنس فلز، بتن و یا چوب و با زاویه ۱۵ تا ۲۵ درجه نسبت به جهت جریان در ردیف‌های دو و سه تایی و با آرایش‌های منظم و کنگره‌ای با اهداف مختلفی از جمله تثبیت بستر و جداره رودخانه یا مهار کردن رسوب ورودی به آبگیرهای جانبی در بستر رودخانه نصب می‌شوند. ارتفاع این صفحات در حدود ۰/۵-۰/۲ برابر عمق آب است. این صفحات با تولید چرخش‌های ثانویه در محدوده معینی در پایین دست خود، مقدار و جهت تنش برشی بستر را تغییر می‌دهند که چنین تغییراتی باعث تغییر در نیم رخ بستر خواهد شد (ونگ، ۱۹۹۰) (۱). یک صفحه‌ی مستغرق، که زاویه‌ی کوچکی مانند α با جهت جریان می‌سازد باعث به وجود آمدن یک چرخش افقی در پایین دست جریان می‌شود (ادگارد و ونگ، ۱۹۹۱) (۲). این چرخش بر اثر اختلاف فشار قائمی که بر دو سطح صفحه وارد می‌شود، به وجود می‌آید. در سطح پرفشار، آب در امتداد صفحه بالا می‌آید و روی سطح کم فشار، پائین می‌رود. محل شکل‌گیری این گردابه در نزدیکی رأس لبه‌ی انتهایی صفحه است. این گردابه در نهایت به صورت یک حرکت مارپیچی درآمده و باعث تغییرات در تنش برشی بستر و پستی و بلندی کف رودخانه می‌شود. در علم آیرودینامیک، این گردابه، گردابه نوک باله‌ای^۱ نامیده می‌شود (شکل ۱).



شکل ۱- اثر تک صفحه بر الگوی جریان در نزدیکی بستر (ادگارد و ونگ، ۱۹۹۱)

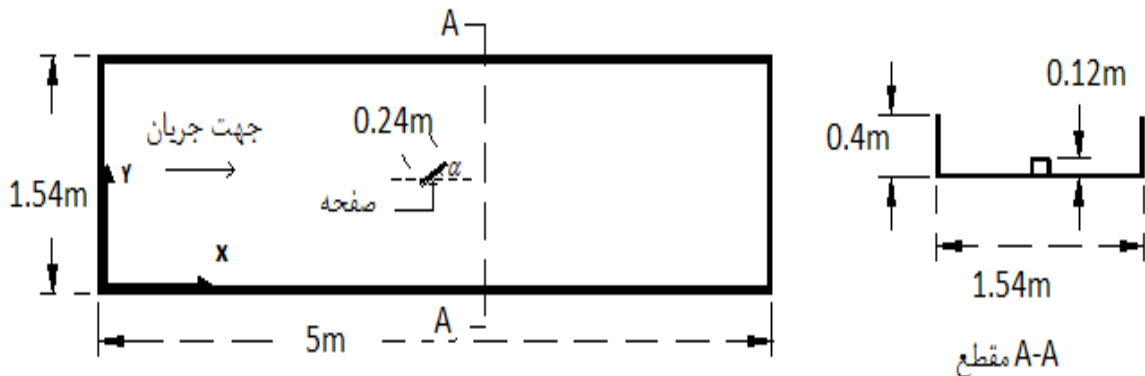
ادگارد و کندی (۱۹۹۳) (۳). بعدها از این تئوری (صفحات با ایجاد جریان ثانویه می‌گردند) برای کنترل رسوب ورودی به آبگیرهای جانبی استفاده کردند. ماریلیوس و سینها (۱۹۹۸) با بررسی جریان عبوری از تک صفحه‌ی مستغرق مشخص کردند که صفحه‌ی مزبور با زاویه‌ی برخورد بالا (۴۰ درجه)، با ایجاد نواحی کم فشار و

^۱ wing-tip vortex

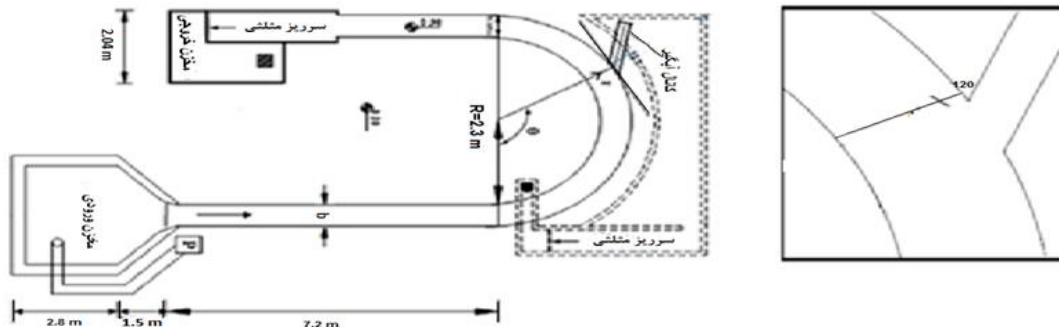
نمونه‌ی آزمایشگاهی: نمونه‌ی آزمایشگاهی اول شامل یک کانال مستطیلی مستقیم مربوط به مطالعات ماریلیوس و سینها (۲۰۰۲) به طول ۵ متر، عمق ۰/۴ متر و عرض ۱/۵۴ متر، دیوارها و کف صلب، که یک صفحه‌ی مستغرق به ارتفاع ۰/۱۲ متر، طول ۰/۲۴ متر و ضخامت ۰/۰۰۳ متر در فاصله‌ی حدود ۲/۵ متر از بالادست کانال در مرکز آن قرار دارد. (شکل ۳-الف). نمونه‌ی آزمایشگاهی دوم عبارت است از یک کانال قوسی ۱۸۰ درجه در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه تربیت مدرس با $r/B=4/33$ (که B عرض کانال، r شعاع متوسط قوس) با مقطعی به ابعاد 60×60 سانتی‌متر و شعاع متوسط ۲/۶ متر، که دو کانال مستقیم، با مقطعی مشابه مقطع کانال قوسی، به طول ۷ متر و ۳/۵ متر به ترتیب در ابتدا و انتهای قوس قرار دارند. یک آبگیر جانبی به عرض ۲۵ سانتی‌متر در موقعیت ۱۱۵ درجه‌ی قوس و با زاویه‌ی آبگیری ۴۵ درجه قرار دارد، در لبه‌ی پایین دست آبگیر در موقعیت ۱۲۰ درجه از قوس، یک صفحه با طول ۱۰ سانتی‌متر، ارتفاع ۵ سانتی‌متر، ضخامت ۳ میلی‌متر و با فاصله‌ی ۱۰ سانتی‌متر از دیواره‌ی خارجی قوس و با زاویه‌ی ۲۰ درجه نسبت به خط عمود بر شعاع گذرنده از مرکز صفحه در کف کانال نصب شده‌است (شکل ۳-ب) (۱۲)

مستغرق در مهار کردن ورود رسوبات به آبگیر در کانال قوسی ۱۸۰ درجه پرداخت (۱۰). رستم آبادی و همکاران (۲۰۰۸) به شبیه‌سازی عددی الگوی جریان حول صفحات مستغرق در کانال قوسی با آبگیر جانبی با نرم‌افزار فلوئنت پرداخت. (۱۱). تاکنون مطالعات اندکی در زمینه‌ی فیزیک جریان اطراف تک صفحه‌ی مستغرق انجام شده است. مریلیوس و سینها (۱۹۹۸) و ماریلیوس و سینها، (۲۰۰۰) در تعیین زاویه‌ی بهینه برخورد جریان با تک صفحه‌ی مستغرق، و بررسی الگوی جریان حول یک صفحه در مسیر مستقیم با بستر متحرک به صورت عددی و آزمایشگاهی پرداختند (۱۲)(۱۳). رستم آبادی (۲۰۰۸) به بررسی الگوی جریان حول تک صفحه مستغرق در یک کانال مستقیم با مقطع مستطیلی پرداخت (۱۱). در این تحقیق به مطالعه‌ی آزمایشگاهی و عددی فیزیک جریان عبوری از تک صفحه‌ی مستغرق در یک کانال قوسی، و تأثیر صفحه بر الگوی جریان ورودی به آبگیر پرداخته شده است. به منظور مقایسه‌ی نتایج کانال قوسی با مسیر مستقیم، تعدادی مدل در مسیر مستقیم توسعه داده شده اند.

مواد و روش‌ها



الف- مشخصات هندسی کانال مستقیم



ب- مشخصات هندسی کانال قوسی ۱۸۰ درجه و آبگیر جانبی، و وضعیت قرارگیری صفحه در لبه‌ی پایین دست آبگیر
شکل ۳- مشخصات هندسی نمونه‌های آزمایشگاهی.

شرایط هیدرولیکی نمونه‌های آزمایشگاهی در جدول‌های ۱ و ۲ نشان می‌دهند که در کلیه‌ی حالات، جریان وضعیت آشفته و زیر بحرانی دارد.

جدول ۱- مشخصات هیدرولیکی جریان در کانال مستقیم.

عمق هیدرولیکی (m)	عدد رینولدز	عدد فرود	سرعت (m/s)	بده (دبی) جریان (m ³ /s)
۰/۴	۱۹۴۸۰۵	۰/۲۴	۰/۴۸۷	۰/۳

جدول ۲- مشخصات هیدرولیکی میدان جریان در کانال قوسی.

عمق جریان (cm)	سرعت (m/s)	عدد رینولدز	عدد فرود	بده (دبی) آگیری	بده (دبی) (lit/s)
۰/۱۴۵	۰/۴۶	۶۳۸۴۰	۰/۳۷	٪۳۰	۴۰

برابر ارتفاع آب ورودی در همه‌ی حالات در نظر گرفته می‌شود. چون صفحه سازه‌ای مستغرق در عمق کم است، و تحقیقات بسیاری بیانگر تأثیر نداشتن صفحات مستغرق بر جریان سطحی است. (ادگار و اسپولجاریک، ۱۹۸۶)، بنابراین، سطح آزاد به روش صلب شبیه‌سازی شده و از شرایط مرزی تقارن برای سطح استفاده گردیده است. برای خروجی کانال و آگیری از شرایط مرزی جریان خروجی، و برای مرزهای صلب از شرایط مرزی دیواره استفاده شده است. روش RSM برای در نظر گرفتن اثر دیوار از روش تابع دیواره استفاده می‌کند؛ بنابراین، تعیین فاصله‌ی اولین گره از دیوار از اهمیت خاصی برخوردار است. فاصله‌ی اولین گره از دیواره از رابطه‌ی ۴ و ۵ به دست می‌آید (رستم آبادی، ۲۰۰۸) (۱۱):

$$\bar{c}_f / 2 \approx 0.0359 * Re^{-0.2} = 0.00314$$

$$u_\tau = \sqrt{\bar{c}_f / 2} * u = 0.0273 \quad m / sec \quad (4)$$

$$y_1 = 50 * v / u_\tau = 1.83 e - 3 \quad m$$

$$\frac{\bar{c}_f}{2} = \frac{0}{0359} \times Re^{-0/2} = 0/00412$$

$$u_\tau = \vartheta \cdot \sqrt{\bar{c}_f / 2} = 0.02141 \quad m/s \quad (5)$$

$$y_1 = \frac{50}{u_\tau} = 2.335e - 3m$$

در رابطه‌ی فوق Re عدد رینولدز و ϑ لزجت جنبشی سیال است. با توجه به مقادیر y_1 محاسبه شده، شبکه‌بندی میدان در نزدیکی دیوار، ریزتر است و به سمت میانه کانال

مدل عددی: در این تحقیق از نرم افزار Fluent

جهت شبیه‌سازی میدان جریان استفاده شده است. این مدل معادله‌های حاکم بر میدان جریان را با استفاده از طرح‌های مختلف آپویند، کوئیک و... که به وسیله‌ی کاربر تعیین می‌شود، و با استفاده از الگوریتم‌های مختلف تا رسیدن به همگرایی حل می‌کند. به منظور تهیه‌ی هندسه میدان از نرم‌افزار پیش‌پردازنده‌ی گمبیت^۱ استفاده می‌شود. در این پژوهش از نسخه (۲-۳) گمبیت استفاده شده است.

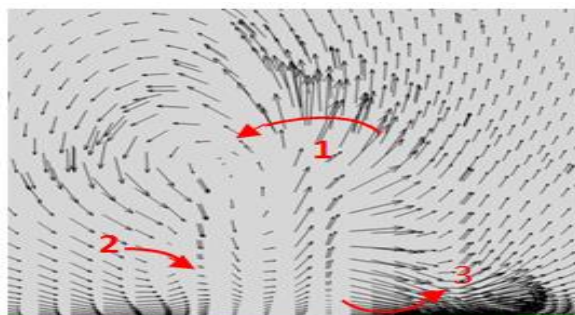
قوانین و معادلات حاکم بر میدان جریان: قوانین حاکم عبارتند از قانون بقای جرم و اندازه حرکت که در حالت جریان آشفته و با میانگین گرفتن در زمان، معادله‌های پیوستگی و رینولدز از آنها استخراج می‌شود. معادله‌ی رینولدز حاوی شش مولفه‌ی مجهول تنش رینولدز است. این معادله‌ها باید با استفاده از یکی از مدل‌های آشفستگی حل شوند. در این تحقیق از مدل آشفستگی RSM استفاده شده است (نیری ۱۹۹۵).

حل عددی معادله و شبکه‌بندی میدان حل: در این پژوهش، برای انفصال معادله‌ها از روش آپویند مرتبه‌ی دوم^۲ و برای جفت نیروی سرعت و فشار از روش سیمپل^۳ استفاده شده است. به منظور اعمال شرایط مرزی، در ورودی از شرایط مرزی سرعت ورودی ۰/۴۶ متر بر ثانیه عمود بر مرز جریان استفاده شده است، مقدار شدت آشفستگی سه درصد است (معمولاً این عدد در ابتدای جریان بین ۱ تا ۶ در نظر گرفته می‌شود). قطر هیدرولیکی

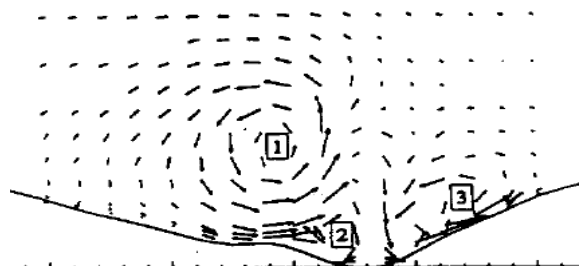
الگوی جریان شبیه‌سازی شده به وسیله نرم‌افزار فلوئنت با الگوی جریان به دست آمده از مطالعه‌ی آزمایشگاهی ماریلیوس و سینها (۲۰۰۰) در اطراف صفحه از نظر کیفی مقایسه شده است (شکل ۴).

با نسبت ۰/۲ افزایش می‌یابد. در این شبیه‌سازی از ۱۳۲۰۰۱۲ گره برای کانال‌های قوسی و ۷۰۰۰۰۰ گره برای کانال‌های مستقیم، به منظور تفکیک محیط پیوسته استفاده شده است. (رستم آبادی، ۲۰۰۸)

بررسی صحت عملکرد مدل عددی: به منظور صحت-سنجی نتایج مدل عددی، در شبیه‌سازی کانال مستقیم،



الف) نتایج حاصل از مدل عددی

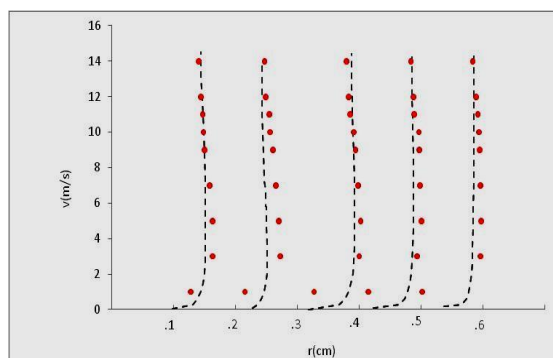


ب) نتایج حاصل از کار آزمایشگاهی ماریلیوس و سینها (۲۰۰۲)

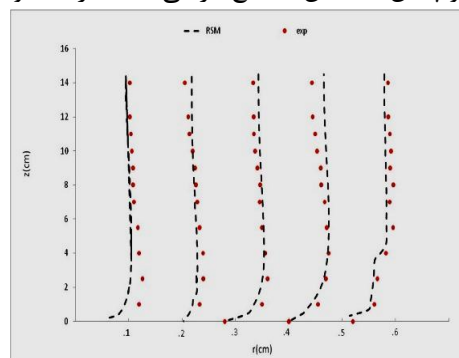
شکل ۴- صحت‌سنجی مدل عددی با نمونه آزمایشگاهی کانال مستقیم.

مقطع ۱۱۱ درجه حاصل از مدل عددی با نتایج آزمایشگاهی مقایسه شده اند. همان‌گونه که مشاهده می‌شود نتایج حاصل از مدل از تطابق بسیار خوبی برخوردار است (ماریلیوس و سینها ۱۹۹۸) (۴).

همان‌طور که مشخص است، الگوی جریان به دست آمده شبیه هم است. برای صحت‌سنجی نتایج مدل عددی مربوط به مدل آزمایشگاهی دوم، (در شکل ۵)، نیم رخ‌های قائم سرعت در مقاطع عرضی واقع در انتهای صفحه و پایین دست آن (مقطع عرضی ۱۲۰ درجه)، و در



ب) نیم‌رخ قائم سرعت طولی در مقطع ۱۱۱ درجه قوس با وجود آبیگر



الف) نیم‌رخ قائم سرعت عرضی مقطع ۱۲۰ درجه (وسط صفحه)

شکل ۵- صحت‌سنجی نیم‌رخ سرعت مدل عددی و نمونه‌ی آزمایشگاهی

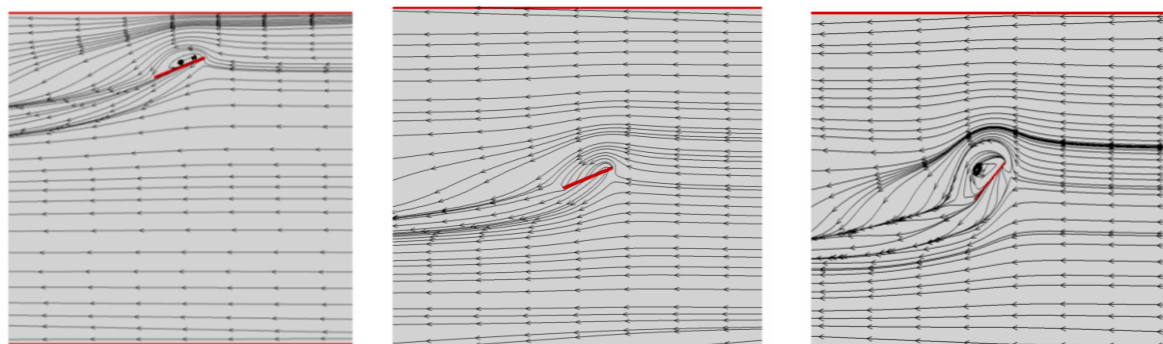
نتایج و بحث

نتایج حاصل از شبیه‌سازی در مسیر مستقیم

به منظور شناسایی اثرهای زاویه و دیواره‌ها بر فیزیک جریان عبوری از تک صفحه در کانال مستقیم و مقایسه‌ی آن با نتایج کانال قوسی، حالت اول یک کانال مستطیلی مستقیم به طول ۵ متر، عمق ۰/۱۴۵ متر و عرض ۰/۶ متر برابر با عرض کانال قوسی، دیواره‌ها و کف صلب، که یک صفحه‌ی مستغرق به ارتفاع ۰/۰۵ متر، طول ۰/۱۰۵ متر و ضخامت ۰/۰۰۳ متر در فاصله‌ی حدود ۲/۵ متر از بالادست کانال در وسط کانال قوسی با زاویه ۴۰ درجه نسبت به جهت جریان قرار دارد، شبیه‌سازی شده است. به منظور بررسی اثر زاویه در حالت دوم، زاویه‌ی صفحه با جهت جریان به زاویه‌ی ۲۰ درجه تغییر داده شده است. جهت بررسی اثر دیواره‌ها در حالت سوم صفحه در فاصله‌ی ۱۰ سانتی‌متری از جداره کانال قرار گرفته است.

خطوط جریان طولی: خطوط جریان در تراز نزدیک بستر مربوط به ۳ حالت شبیه‌سازی اخیر را نشان می‌دهند

(شکل ۶). پس از برخورد جریان به صفحه، جریان به دو قسمت تقسیم می‌شود: یک قسمت از جریان به سمت پر فشار و یک بخش از جریان به سمت کم فشار صفحه منتقل می‌گردد. آن بخش از جریان که به سمت قسمت کم فشار منحرف می‌شود، به علت کم بودن اندازه حرکت طولی در کف کانال در پشت صفحه، حالت برگشتی پیدا کرده و باعث به وجود آمدن یک گردابه در طول صفحه می‌گردد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، گردابه‌ی طولی تولید شده در حالت اول، به علت زیاد بودن زاویه‌ی صفحه مستغرق نسبت به جهت جریان، از ابعاد بسیار بزرگتری برخوردار می‌باشد. در حالت‌های دوم و سوم به علت کم شدن زاویه قرارگیری صفحه مستغرق نسبت به جهت جریان ابعاد گردابه طولی کوچکتر شده و برخورد خطوط جریان عبوری از قسمت کم فشار و پرفشار به یکدیگر از بین رفته است. قرارگیری صفحه در نزدیکی جداره‌ی کانال باعث فشرده شدن خطوط جریان در پشت صفحه شده است.



الف) صفحه در وسط با زاویه‌ی ۴۰ درجه ب) صفحه در وسط با زاویه‌ی ۲۰ درجه ج) صفحه در فاصله‌ی ۱۰ سانتی متری از جداره با زاویه‌ی ۲۰ درجه

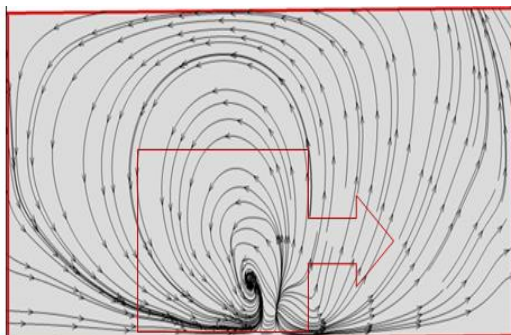
شکل ۶- خطوط جریان طولی در تراز نزدیک بستر (مسیر مستقیم- با ابعاد کانال قوسی)

اسبی نیز نامیده می‌شود، به علت انحراف جریان به وسیله صفحه به سمت کف کانال تشکیل می‌گردد. گردابه‌ی شماره سه نیز، به علت ایجاد مکش ناحیه‌ی کم فشار ایجاد شده در پشت صفحه به وجود می‌آید. وجود این سه گردابه در اطراف صفحه‌ی مستغرق واقع در کانال مستقیم به صورت آزمایشگاهی در تحقیق ماریلیوس و سینها (۲۰۰۰) بررسی و تأیید شده است. در حالتی که صفحه دارای زاویه‌ی ۲۰ درجه با جهت جریان در کف کانال مستقیم باشد گردابه‌ی شماره یک تشکیل گردیده است، اما گردابه‌ی نعل اسبی دارای ابعاد بسیار کوچکتری به علت

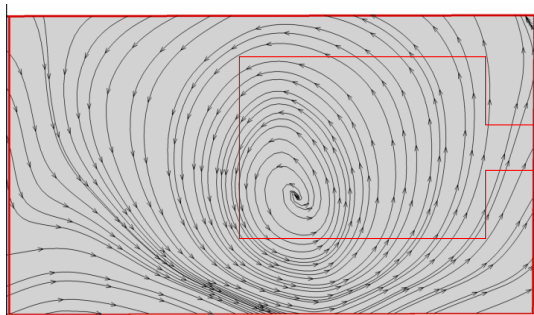
الگوی جریان عرضی: شکل (۷) بردارهای سرعت را در مقطع عرضی در فاصله‌ی یک برابر ارتفاع صفحه‌ی در پایین دست آن نشان می‌دهد. در حالتی که صفحه‌ی مستغرق با زاویه‌ی ۴۰ درجه نسبت به جهت جریان در کف کانال مستقیم قرار گرفته است، جریان پس از برخورد به صفحه به دو بخش تقسیم می‌شود: بخشی از آن به سمت تاج صفحه و بخشی دیگر به سوی کف کانال منحرف می‌شود. گردابه‌ی شماره یک، به علت انتقال جریان از ناحیه‌ی پر فشار به سمت ناحیه کم فشار واقع در دو سمت صفحه به وجود آمده است. گردابه‌ی شماره دو، که گردابه‌ی نعل

گردابه‌ی نعل اسبی با ابعاد کوچکتر تشکیل شده است. گردابه‌ی شماره ۳ نیز در این حالت‌ها وجود دارد (۴).

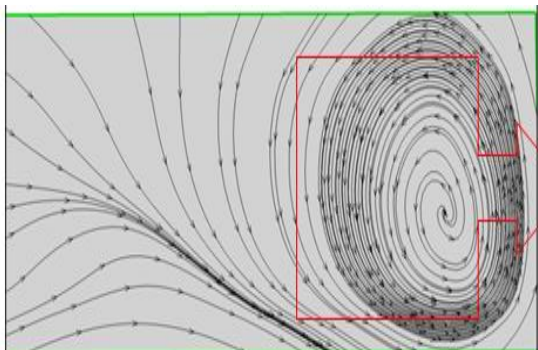
کاهش زاویه‌ی قرارگیری صفحه است. در این حالت، قرارگیری صفحه اختلاف فشار قابل توجهی برای برگشت جریان منحرف شده به سمت کف وجود ندارد، بنابراین،



الف) کانال مستقیم با زاویه‌ی قرارگیری صفحه ۴۰ درجه در مرکز کانال



ب) کانال مستقیم و زاویه‌ی قرارگیری ۲۰ درجه در مرکز کانال



ج) کانال مستقیم و زاویه‌ی قرارگیری صفحه ۲۰ درجه با فاصله‌ی ۱۰ سانتی‌متری از جداره

شکل ۷- الگوی جریان عرضی اطراف صفحه‌ی مستغرق در کانال مستقیم به عرض ۶۰ سانتی متر

آخر موقعیت صفحه بر اساس نمونه آزمایشگاهی، در موقعیت ۱۲۰ درجه قرار داده شده اند.

خطوط جریان طولی: در شکل (۸) خطوط جریان

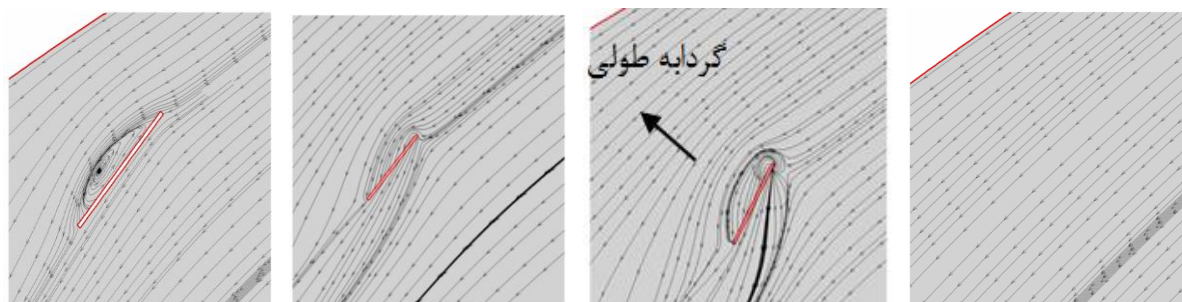
در نزدیکی کف برای حالات شبیه‌سازی نشان داده شده است. در حالت قوس تنها در تراز نزدیک بستر خطوط جریان به سمت دیواره داخلی متمایل هستند، که علت این امر جریان ثانویه تولید شده در داخل قوس است. با قرار دادن صفحه مستغرق در قوس، میزان انحراف خطوط جریان به سمت دیواره داخلی کانال قوسی بیشتر می‌شود. در حالتی که صفحه در وسط کانال قوسی با زاویه‌ی ۴۰

نتایج حاصل از شبیه‌سازی در مسیر قوسی

به منظور بررسی اثر قوس بر فیزیک جریان عبوری از تک صفحه، همچنین اثر زاویه و اثر دیواره، ۴ حالت مختلف بررسی شد. حالت اول شامل قوس تنها، حالت دوم قوس و صفحه در وسط عرض کانال با زاویه‌ی ۴۰ درجه و در موقعیت ۱۲۰ درجه، حالت سوم صفحه با زاویه‌ی ۲۰ درجه در وسط کانال قوسی، در حالت چهارم صفحه با زاویه‌ی ۲۰ درجه با فاصله ۱۰ سانتی‌متر از جداره‌ی خارجی کانال قرار گرفته است. لازم به ذکر است در حالات

که صفحه در وسط کانال قرار دارد بسیار کمتر است، به گونه‌ای که جریان منحرف شده به صورت موازی با صفحه حرکت می‌کند، دلیل این پدیده آن است که میزان فشار در کف کانال قوسی از سمت دیواره‌ی خارجی به سمت دیواره‌ی داخلی کاهش یافته، و هسته‌ی جریان ثانویه نزدیک قوس داخلی تشکیل می‌گردد. زمانی که صفحه در وسط کانال قرار می‌گیرد، به علت به وجود آمدن ناحیه پرفشار به وسیله صفحه در این ناحیه، با فشار متوسط خطوط جریان از ابتدای صفحه، شروع به منحرف شدن به سمت ناحیه‌ی کم فشار جداره‌ی داخلی با زاویه زیاد می‌کند. این در حالی رخ می‌دهد که صفحه با قرار گرفتن در نزدیکی دیواره‌ی خارجی در یک ناحیه‌ی پرفشار اطراف خود قرار گرفته و خطوط جریان را با زاویه‌ی کم منحرف می‌کند. این حالت برای گردابه‌ی طولی ایجاد شده در پشت صفحه نیز صادق است.

درجه قرار دارد، جریان با برخورد به صفحه به دو قسمت تقسیم می‌شود: بخشی به سمت کم فشار صفحه رفته و باعث ایجاد گردابه‌ی طولی شده و بخش دیگر پس از برخورد به قسمت پرفشار با زاویه‌ی زیادی به سمت دیواره داخلی منحرف می‌گردد. با تغییر زاویه صفحه به ۲۰ درجه ابعاد نواحی کم فشار و پرفشار تشکیل شده در اطراف صفحه کوچکتر شده، خطوط جریان برخورد کرده به صفحه با زاویه‌ی کمتری نسبت به حالت قبل به سمت دیواره‌ی داخلی متمایل می‌گردند. با جایگذاری صفحه در فاصله‌ی ۱۰ سانتی‌متری از دیواره‌ی خارجی کانال قوسی با زاویه ۲۰ درجه، گردابه‌ی طولی تشکیل شده در سمت کم فشار نسبت به حالتی که صفحه‌ی مستغرق در وسط کانال قوسی با همین زاویه قرار گرفته است قدری فشرده‌تر می‌شود. همچنین، میزان انحراف خطوط جریان پس از برخورد به صفحه، نسبت به حالتی



الف) کانال قوسی تنها (ب) صفحه با زاویه‌ی ۴۰ درجه در وسط کانال قوسی (ج) صفحه با زاویه‌ی ۲۰ درجه در وسط کانال قوسی (د) صفحه با زاویه‌ی ۲۰ درجه و با فاصله‌ی ۱۰ سانتی متری از جداره

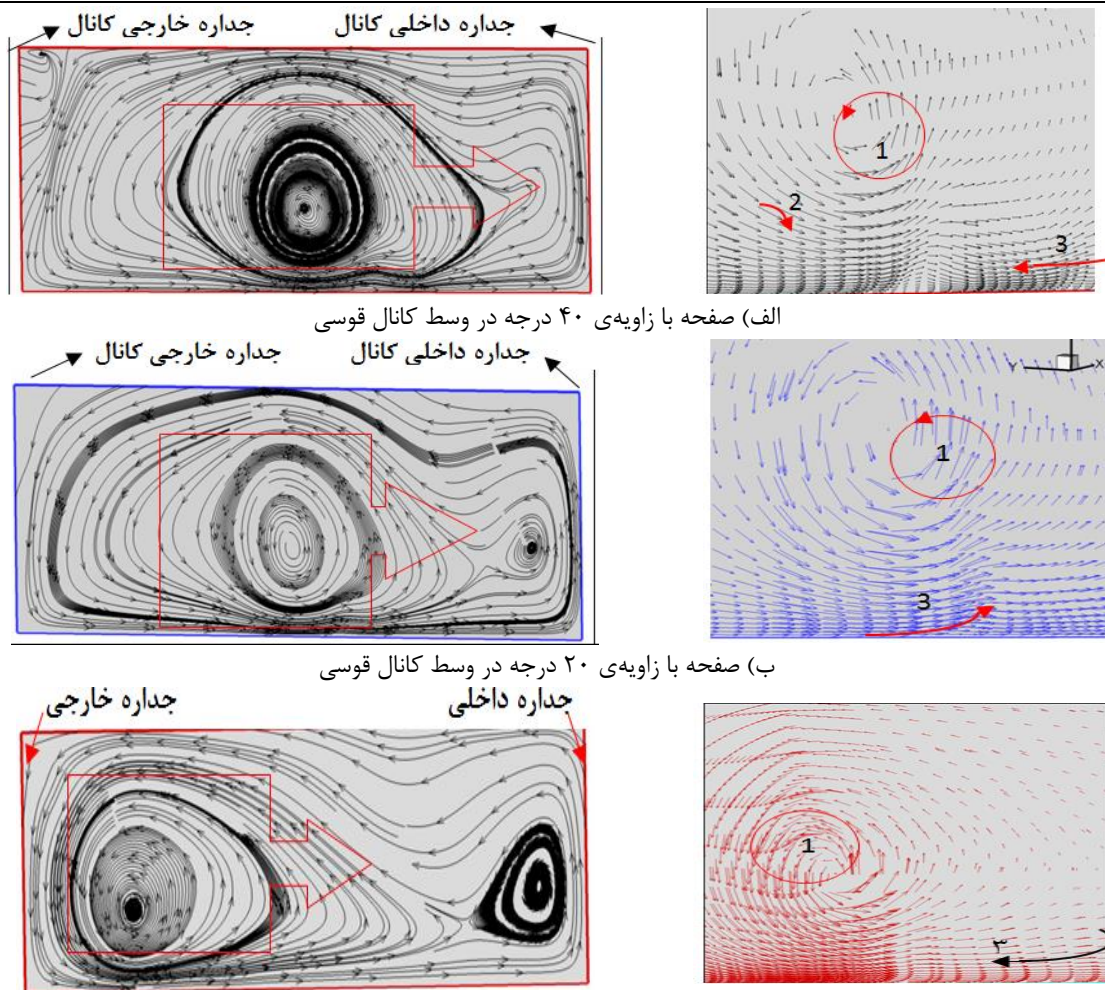
شکل ۸- خطوط جریان در تراز نزدیک بستر حول صفحه در مسیر قوسی

کانال قوسی با آبگیر جانبی در ۳ حالت قرارگیری صفحه در وسط آبگیر، قبل از لبه‌ی بالادست آبگیر و بعد از لبه پایین‌دست آبگیر در فاصله‌ی ۱۰ سانتی‌متری از جداره با زاویه‌ی ۲۰ درجه، و دو حالت قرارگیری صفحه در وسط عرض کانال در امتداد خط مرکزی آبگیر جانبی و موقعیت ۱۱۵ درجه با زاویه‌ی ۲۰ و ۴۰ درجه. لازم به ذکر است این موقعیت‌ها بر اساس مطالعات منتصری (۲۰۰۸) و رستم آبادی (۱۳۸۷) انتخاب شده اند (۱۱،۱۰).

الگوی جریان عرضی: با جایگذاری صفحه با زاویه‌ی برخورد ۴۰ درجه در وسط قوس و کف کانال، سه گردابه در اطراف صفحه به وجود می‌آید. همان‌طور که مشاهده می‌شود، با تغییر زاویه‌ی صفحه از ۴۰ به ۲۰ درجه گردابه‌ی نعل اسبی تقریباً از بین رفته است (شکل ۹).

نتایج حاصل از شبیه‌سازی در مسیر قوسی با آبگیر جانبی

به منظور بررسی اثر آبگیر ۶ حالت بررسی شدند: کانال قوسی با وجود آبگیر جانبی و بدون صفحه،

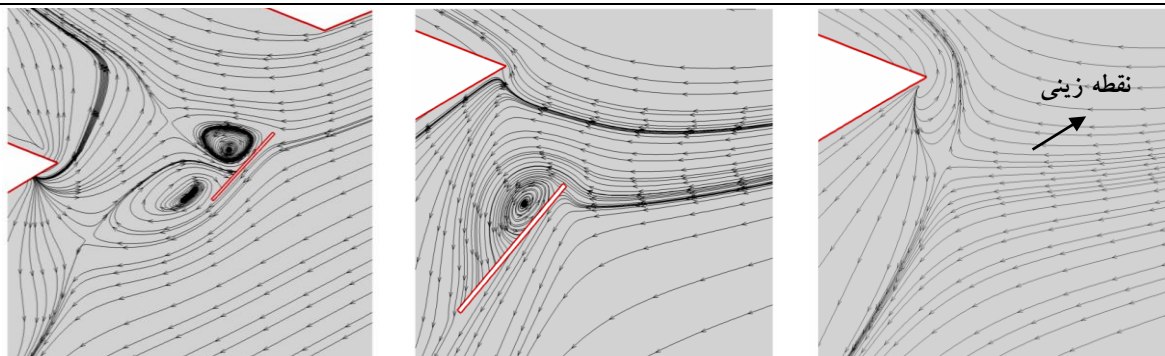


ج) صفحه با زاویه ی ۲۰ درجه و با فاصله ی ۱۰ سانتی متری از جداره

شکل ۹- الگوی جریان عرضی در کانال قوسی

رسوب گذاری در پشت صفحه است. با تغییر مکان صفحه به موقعیت قبل از لبه ی بالادست و وسط آبگیر، گردابه ی طولی تشکیل شده در پشت صفحه حالات متفاوتی را خواهد داشت. در حالتی که صفحه در موقعیت جدید به علت تداخل نواحی کم فشار ایجاد شده در پشت صفحه و نقطه ی زینی، که خود یک ناحیه کم فشار است، گردابه ی طولی دو هسته ای تشکیل گردیده است، که علت تشکیل آن تأثیر مکش شدید آبگیر بر عملکرد صفحه بوده و باعث کاهش چشمگیر سرعت جریان و تداخل در جریان ورودی به آبگیر می شود. ابعاد این گردابه با افزایش ارتفاع کاهش می یابد. با تغییر زاویه ی صفحه ی مستغرق به زاویه ی ۲۰ درجه، گردابه ی طولی تشکیل شده در پشت صفحه مستغرق فشرده تر شده است. با دور شدن صفحه از جداره ی خارجی در امتداد خط مرکز آبگیر، و کاهش مکش آن افزایش زاویه به ۴۰ درجه، ابعاد گردابه بزرگتر می شود.

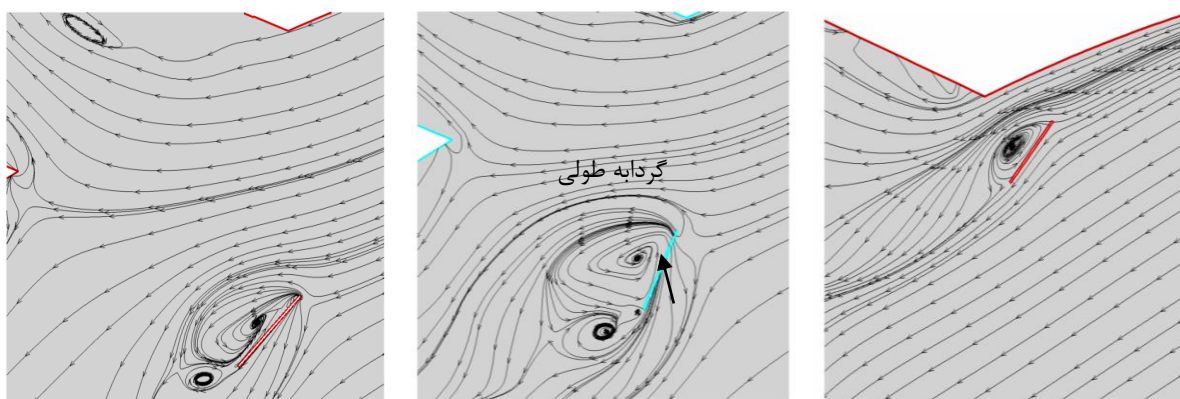
الگوی جریان طولی: الگوی جریان شبیه سازی شده در تراز نزدیک بستر در شکل ۱۰ نشان داده شده است. در کانال قوسی با آبگیر جانبی، به علت وجود مکش آبگیر یک نقطه زینی در لبه ی پایین دست آبگیر ایجاد می شود، که در آن جریان جهت مشخصی نداشته و محل مساعدی برای تله اندازی و ورود رسوب ها از پایین دست آبگیر به داخل آن است. با قرار دادن صفحه در پایین دست آبگیر، به علت جریان ثانویه تولید شده به وسیله صفحه این نقطه ی زینی از بین می رود، که در این حالت نیز، به علت برخورد جریان به صفحه در پشت آن جریان حالت برگشتی خواهد داشت، و گردابه ای پشت صفحه ایجاد می شود، گردابه مزبور در این حالت، به علت مکش آبگیر، بزرگتر از حالت قرارگیری صفحه در کانال بدون آبگیر بوده و به علت کشیده شدن جریان به سمت داخل آبگیر به طرف آن متمایل شده است. ابعاد این گردابه با افزایش ارتفاع تا تاج صفحه کاهش یافته و در ناحیه ی بالاتر آن از بین می رود. این گردابه به وجود آمده محل مناسبی برای



ه) صفحه در امتداد وسط آبگیر در فاصله‌ی ۱۰ سانتی متری از جداره

ب) صفحه بعد از لبه‌ی پایین دست آبگیر در فاصله‌ی ۱۰ سانتی متری از جداره

الف) کانال قوسی با وجود آبگیر



د) صفحه در موقعیت ۱۱۵ درجه (در امتداد وسط آبگیر) در وسط عرض کانال قوسی با زاویه‌ی ۲۰ درجه

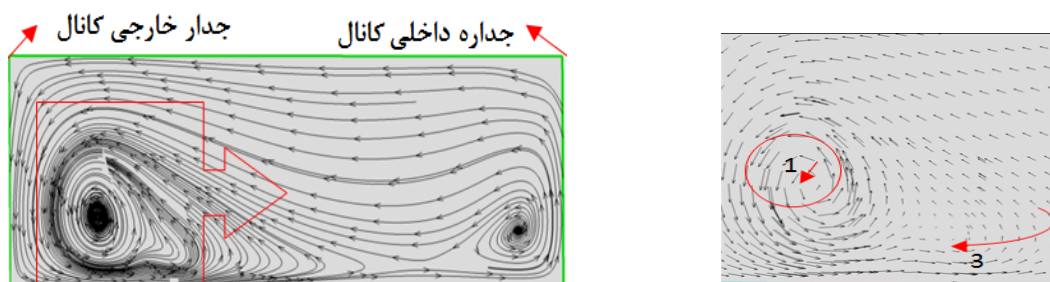
ج) صفحه در موقعیت ۱۱۵ درجه (در امتداد وسط آبگیر) در وسط عرض کانال قوسی با زاویه‌ی ۴۰ درجه

و) صفحه قبل از لبه‌ی بالادست آبگیر در فاصله‌ی ۱۰ سانتی متری از جداره

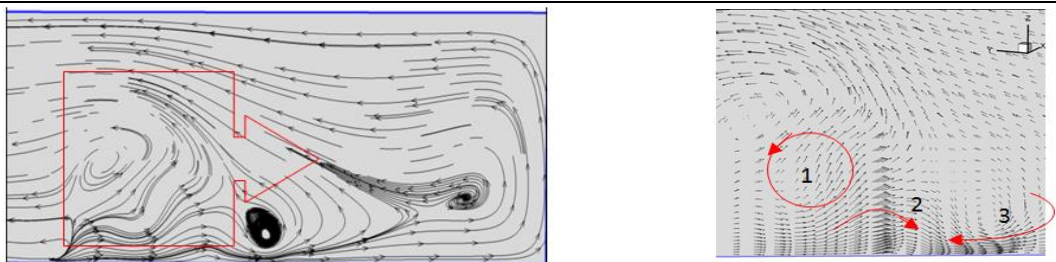
شکل ۱۰- خطوط جریان در تراز نزدیک بستر در کانال قوسی با آبگیر جانبی.

شماره‌ی ۲ بسیار کوچکتر شده است. با نزدیکتر شدن صفحه به جداره‌ی خارجی کانال، به علت مکشی که صفحه ایجاد کرده است، گردابه‌ی شماره‌ی یک تشکیل نگردیده و گردابه‌ی شماره‌ی ۲ با ابعاد بزرگتری تولید شده است. در این وضعیت، گردابه‌ی شماره‌ی ۳ در سمت پر فشار صفحه وجود دارد. علت تشکیل نشدن گردابه‌ی شماره‌ی ۳ برگشت جریان از ناحیه‌ی پر فشار در ورودی آبگیر به پشت صفحه است. این جریان در جریان ورودی به آبگیر به اختلال ایجاد کرده و مانع از آبگیری مناسب آن خواهد شد (شکل ۱۱).

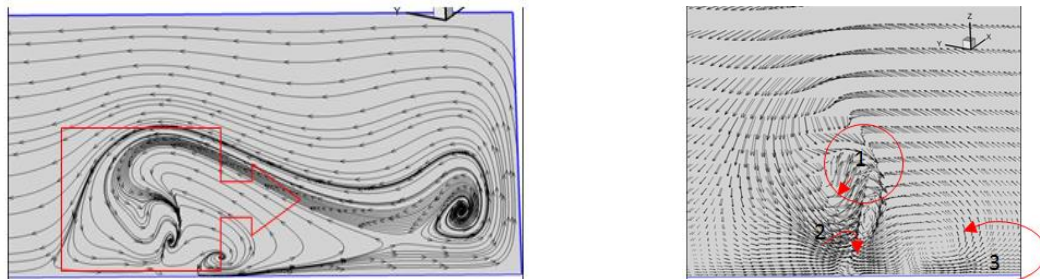
الگوی جریان عرضی: در حالتی که صفحه در لبه‌ی پایین دست آبگیر کانال قوسی قرار دارد، به علت مکش تولید شده توسط آبگیر، گردابه‌ی شماره‌ی یک به سمت آبگیر متمایل شده است و گردابه‌ی شماره ۳ در سمت پر فشار صفحه تشکیل می‌گردد. با تغییر مکان صفحه مستغرق به لبه بالادست آبگیر، گردابه‌ی شماره‌ی یک در نزدیکی تاج صفحه بوده و گردابه‌ی شماره ۳ به گردابه‌ی شماره‌ی یک نزدیک تر می‌شود. در حالت قرارگیری صفحه در موقعیت ۱۱۵ درجه با زاویه‌ی قرارگیری ۴۰ درجه، هر سه گردابه در اطراف صفحه تشکیل گردیده‌اند. با تغییر زاویه‌ی صفحه‌ی مستغرق به زاویه‌ی ۲۰ درجه، گردابه‌ی



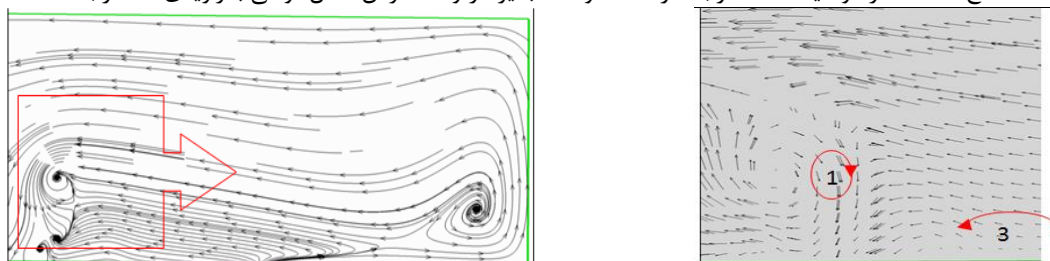
الف) صفحه در موقعیت ۱۱۸ درجه از کانال قوسی با وجود آبگیر



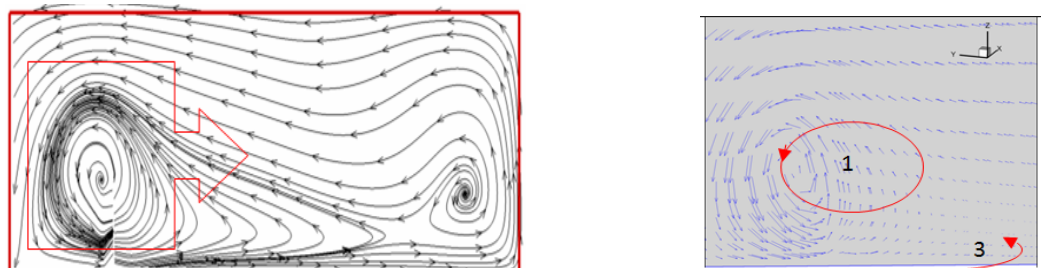
(ب) صفحه در موقعیت ۱۱۵ درجه (در امتداد وسط آبگیر) در وسط عرض کانال قوسی با زاویه ی ۴۰ درجه



(ج) صفحه در موقعیت ۱۱۵ درجه (در امتداد وسط آبگیر) در وسط عرض کانال قوسی با زاویه ی ۲۰ درجه



(د) صفحه در موقعیت ۱۱۵ درجه (در امتداد وسط آبگیر) در فاصله ۱۰ سانتی متری از جداری خارجی



(ه) صفحه واقع در لبه ی بالادست آبگیر

شکل ۱۱- الگوی جریان عرضی اطراف صفحه واقع در کانال قوسی با وجود آبگیر.

طرف صفحه می شود که بیانگر افزایش کارایی صفحه در قوس است. مکش گردابه ی ایجاد شده به وسیله ی آبگیر جانبی، باعث کاهش ابعاد گردابه های دو طرف صفحه می شود. الگوی جریان در تراز بستر نشان می دهد که وجود صفحه در کف کانال باعث به وجود آمدن یک گردابه ی افقی حول محور قائم در جهت طول صفحه شده است، که با توجه به محل قرارگیری صفحه در کانال مستقیم یا کانال قوسی، وجود آبگیر یا نبودن آن، و زاویه ی قرارگیری صفحه نسبت به جهت جریان دارای ابعاد و شکل های مختلف می باشد، ابعاد این گردابه از کف تا ارتفاع نوک صفحه کاهش می یابد. تعیین محل خط ایستایی بر روی

نتیجه گیری

نتایج نشان می دهند که در حالت قرارگیری صفحه در مسیر مستقیم با زاویه ی ۲۰ درجه، دو سلول چرخشی هم جهت در دو طرف صفحه قابل مشاهده است. در حالت قرارگیری صفحه با زاویه ی ۴۰ درجه، علاوه بر دو سلول چرخشی ذکر شده، یک گردابه ی نعل اسبی با جهت مخالف ۲ سلول چرخشی قبلی در لبه ی پایینی سمت کم فشار صفحه ایجاد می شود، که ابعاد آن در مقابل دو سلول قبلی کوچکترند. اگر محل و زاویه ی صفحه در قوس به نحوی باشد که جریان ثانویه حاصل از صفحه هم جهت با جریان ثانویه قوس باشد، باعث افزایش ابعاد دو سلول دو

hydraulic engineering, Tarbiat modares university. Tehran

10) Montaseri, H. (2008). Experimental investigation of the effect of different arrays of submerged vanes on sediment control at lateral intake in 180° bend. Ph.D. Thesis of Tarbiat Modares University.

11) Rostam abadi, M. (2008). Numerical simulation of submerged vanes on strength of secondary flow at 180 bend whit intakes. M.sc. Thesis of tarbiat modares university.

12) Marelius, F., and Sinha, K. (1998). Experimental investigation of flow past submerged vanes. J.Hydrulic Engin, 124:5. 542-546.

13) Marelius, F., and Sinha, K. (2000). Analysis of flow past submerged vanes. Hydrulic, 38:1.65-71.

قسمت پر فشار صفحه نشان می دهد پایداری گردابه بر روی سمت پرفشار صفحه در کانال مستقیم در حالت قرارگیری صفحه با زاویه‌ی ۴۰ درجه بیشتر بوده و پایداری گردابه‌ی مزبور در کانال قوسی در حالت قرارگیری صفحه در لبه‌ی پایین دست آنگیر از باقی حالات بیشتر است. با افزایش زاویه صفحه از ۲۵ درجه به ۳۰ درجه، قدرت جریان ثانویه واقع در لبه‌ی پایین دست قوس کاهش یافته است.

منابع

- 1) Wang, Y. and Odgaard A.J. (1993). "Flow control with vorticity". Journal of Hydraulic Research 31(4): 549-562
- 2) Odgaard, A. J. and Wang, Y. (1991a). "Sediment management with submerged vanes, I: Theory", J. Hydraul. Eng., 117(3), 267-28.
- 3) Odgaard, A.J. and Kennedy, J. F. (1993) "River bend bank protection by submerged vanes". Journal of Hydraulic Engineering 109(8):1161-1173.
- 4) Marelius, F., and Sinha, S.K. (1998), Experimental investigations on flow past submerged vanes. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 124: 5. 542-545.
- 5) Odgaard, A.J. and Kennedy, J. F. (1983) "River bend bank protection by submerged vanes". Journal of Hydraulic Engineering 109(8):1161-1173.
- 6) Foroughi B., Banirazi M., Shafai Bajestani, (2001). "Application of submerged vanes to organize and stabilize seasonal rivers" international conference of hydraulic structures, Iran, Kerman. (In persian)
- 7) Barkdoll, D., Ettema, R., and Odgaard, A.J. (1999). Sediment at lateral diversions: limits and enhancement to vane use. J. Hydrulic Engin., 125:8. 132-136.
- 8) Jungseok, H., Julie, c., Brent, m. (2010). Movable bed scaling for bed load sediment exclusion at intake structure on rio grande. J. Hydraulic Engin, ASCE, Hy.1943., 247-250.
- 9) Dehghani, A., A. (2006) 'Experimental study of sediment control inlet to lateral basin at 180 ° arc'. PHD thesis, civil-