



دانشگاه گواران، دانشکده مهندسی عمران

مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک
جلد شانزدهم، شماره سوم، ۱۳۸۸
www.gau.ac.ir/journals

شبیه‌سازی عددی تأثیر صفحات مستغرق بر جریان ثانویه در قوس ۱۸۰ درجه در مقابل دهانه آبگیر جانبی

معصومه رستم‌آبادی^۱، *سیدعلی اکبر صالحی‌نیشابوری^۲، حسین منتصری^۳
و محمدرضا پیرستانی^۴

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی عمران، دانشگاه تربیت مدرس، استاد گروه مهندسی عمران،
دانشگاه تربیت مدرس، استادیار گروه مهندسی عمران، دانشگاه یاسوج،
^۲ استادیار گروه مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب
تاریخ دریافت: ۸۷/۲/۱۴؛ تاریخ پذیرش: ۸۸/۸/۴

چکیده

صفحات مستغرق سازه‌هایی می‌باشند که در کف رودخانه با زاویه‌ای نسبت به جریان اصلی نصب می‌شوند. عملکرد اصلی این صفحه‌ها ایجاد جریان ثانویه است. سیستم صفحه‌ها می‌تواند در انتقال رسوبات از مقابل دهانه آبگیر به‌کار رود. مطالعه تأثیر استفاده از صفحات مستغرق بر قدرت جریان ثانویه در قوس و احتمال انحراف جریان‌های پر رسوب نزدیک کف از اهداف اصلی این پژوهش می‌باشد. شبیه‌سازی شامل دو حالت وجود صفحات مستغرق در مقابل دهانه آبگیر و بدون صفحات است. به این منظور معادله‌های سه بعدی ناویر استوکس برای جریان آشفته در آبگیری جانبی از کانال قوسی ۱۸۰ درجه با روش عددی حل شده و حل معادله‌ها با استفاده از نرم‌افزار Fluent صورت گرفته و نتایج به دست آمده از مدل‌سازی در هر دو حالت با نتایج آزمایشگاهی موجود صحت‌سنجی شده است. نتایج مدل‌سازی نشان می‌دهد که جریان ثانویه حول صفحات مستغرق در جهت جریان ثانویه اصلی در قوس می‌باشد، بنابراین با تشدید قدرت جریان ثانویه در مقابل دهانه آبگیر، در انحراف جریان‌های پر رسوب نزدیک کف از مقابل دهانه آبگیر و انحراف بیشتر جریان‌های سطحی به سمت

* مسئول مکاتبه: salehi@modares.ac.ir

آبگیر مؤثر است. به این ترتیب آبگیری بیشتر از جریان سطحی با مقدار رسوب کمتر فراهم خواهد شد. ناحیه جدایی جریان در لبه داخلی قوس در مقابل دهانه آبگیر عریض تر شده و صفحات از تشکیل ناحیه سکون زینی در پایین دست آبگیر و جریان‌های برگشتی به سمت آبگیر جلوگیری کرده، از این رو رسوب کمتری وارد آبگیر خواهد شد.

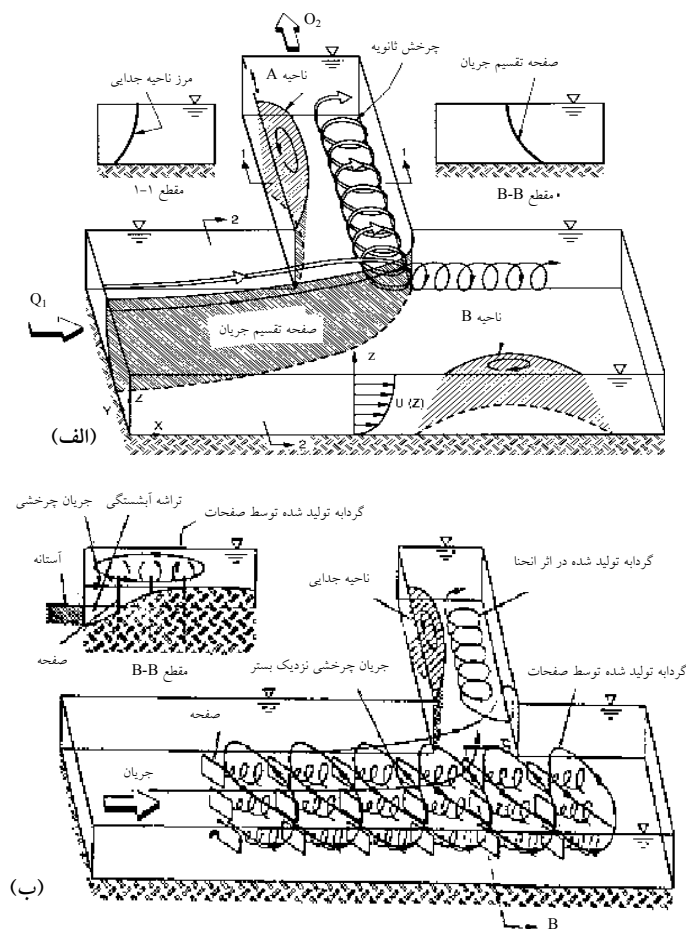
واژه‌های کلیدی: صفحات مستغرق، قوس ۱۸۰ درجه، قدرت جریان ثانویه، آبگیر

مقدمه

صفحات مستغرق سازه‌هایی صفحه‌ای می‌باشند که در کف رودخانه با زاویه‌ای نسبت به جریان اصلی نصب می‌شوند. عملکرد اصلی صفحه‌ها ایجاد جریان ثانویه است. سیستم صفحات می‌تواند در انتقال رسوبات از مقابل دهانه آبگیر، عمیق کردن کانال برای اهداف کشتیرانی و یا جلوگیری از فرسایش قوس خارجی در خم رودخانه به‌کار رود.

اساس روش استفاده از صفحات مستغرق در کانال‌های منحنی شکل بر اصول جریان در انحنای کانال‌ها استوار می‌باشد. وقتی جریان وارد قوس می‌شود سطح آب عمود بر متجه نیروهای ثقل و گریز از مرکز قرار می‌گیرد. از آنجا که نیروی گریز از مرکز با مربع سرعت جریان رابطه مستقیم دارد و با توجه به این که توزیع سرعت جریان از کف تا سطح غیریکنواخت است، لایه سطحی که سرعت بیشتری نسبت به لایه زیرین دارد به‌علت نیروی گریز از مرکز بیشتر به طرف قوس خارجی حرکت می‌کند و به‌علت پیوستگی محیط آب جریانی در جهت عکس جریان سطحی در کف برقرار می‌شود، به‌طوری که ذرات نزدیک کف به سمت قوس داخلی حرکت می‌کنند. به این ترتیب جریان ثانویه‌ای در قوس به‌وجود می‌آید و با وجود گرادیان طولی فشار، جریان حلزونی در کل مسیر قوس شکل می‌گیرد که باعث فرسایش قوس خارجی و رسوب‌گذاری در قوس داخلی و در نتیجه انتقال خط‌القعر مسیر به سمت قوس خارجی می‌شود. در محل آبگیری از رودخانه، مکش آبگیر (که در اثر گرادیان فشار عرضی شکل می‌گیرد) صفحه تقسیم جریانی مطابق شکل ۱ ایجاد می‌کند که مشابه قوس خارجی عمل نموده و جریان ثانویه‌ای در مقابل دهانه آبگیر به‌وجود می‌آید. به این صورت آبشستگی در مقابل ورودی آبگیر رخ داده و رسوبات به داخل آبگیر هدایت می‌شوند و رسوب‌گذاری در لبه بالایی آبگیر رخ می‌دهد، قسمتی از دهانه آبگیر مسدود و راندمان آبگیری کاهش می‌یابد. با تعبیه صفحات مستغرق

در مقابل دهانه آبگیر، به علت برخورد جریان با صفحه و اختلاف فشار موجود در دو سمت صفحه، جریان ثانویه‌ای در خلاف جهت جریان ثانویه ناشی از آبگیر ایجاد، و علاوه بر فرسایش در مقابل دهانه آبگیر باعث انتقال رسوبات به داخل رودخانه اصلی شده و امکان آبیگری بیشتر از جریان سطحی با مقدار رسوب کمتر فراهم می‌شود (نیری و همکاران، ۱۹۹۹).



شکل ۱- الگوی جریان آبیگری از مسیر مستقیم (الف) بدون صفحه مستغرق (نیری و همکاران، ۱۹۹۹).
(ب) با حضور سه ردیف صفحه مستغرق (برکدال و همکاران، ۱۹۹۹).

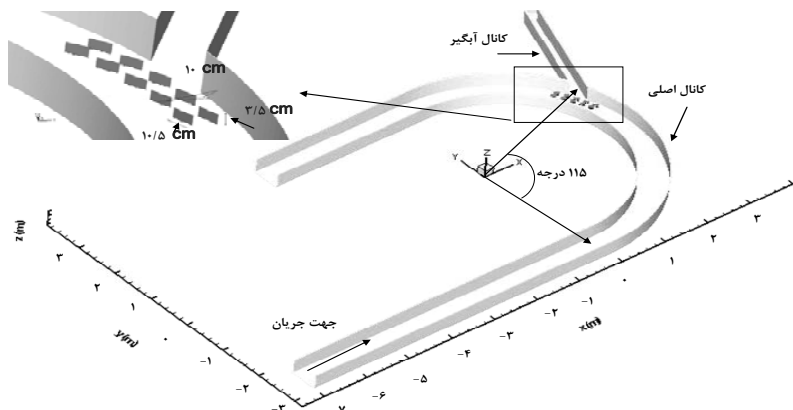
در چند دهه اخیر پژوهش‌های بسیاری توسط محققان مختلف از جمله ادگارد و کندی (۱۹۸۳) در طراحی سیستم صفحات مستغرق به منظور کاهش فرسایش کناره در انحنا رودخانه، ونگ و همکاران (۱۹۹۶) در کاربرد توصیه‌های طراحی ارائه شده توسط ادگارد برای سیستم صفحات، به صورت میدانی در جلوگیری از ورود رسوبات به آبگیر جانبی، نیل و ایوانس (۱۹۹۷) در کاربرد ترکیب صفحات با سازه‌های دیگر به منظور جلوگیری از ورود رسوبات به آبگیرهای جانبی در مسیرهای مستقیم، برکدال و همکاران (۱۹۹۹) در طراحی آرایش مناسب صفحات برای جلوگیری از ورود رسوبات به آبگیرهای جانبی در مسیرهای مستقیم با بستر آبرفتی، مریلیوس و سینها (۱۹۹۸) و مریلیوس و سینها (۲۰۰۰) در تعیین زاویه بهینه برخورد جریان با صفحه و بررسی الگوی جریان حول یک صفحه در مسیر مستقیم با بستر متحرک به صورت عددی و آزمایشگاهی، وایزن و تانزند (۲۰۰۲) در تعیین ابعاد و آرایش بهینه صفحه‌ها در قوس ۹۰ درجه به منظور جلوگیری از فرسایش کناره خارجی قوس، سونکیت و همکاران (۲۰۰۵) در بررسی الگوی جریان حول یک صفحه طویل در رودخانه‌های عریض با بستر متحرک و گوپتا و شارما (۲۰۰۷) در طراحی شکل هندسی مناسب صفحه برای عملکرد بهتر در جلوگیری از ورود رسوبات به آبگیرهای جانبی در خم رودخانه‌های آبرفتی انجام شده است. صفرزاده (۲۰۰۵) به منظور بررسی الگوی جریان با استفاده از نرم‌افزار Fluent به شبیه‌سازی عددی الگوی جریان در آبگیری از کانال قوسی ۱۸۰ درجه پرداخت. نیری و همکاران (۱۹۹۹) با استفاده از مدل عددی به بررسی الگوی جریان در آبگیری جانبی از مسیر مستقیم پرداختند حسن‌پور (۲۰۰۶) به مطالعه کاربرد صفحات مستغرق مرکب در کنترل رسوب ورودی به آبگیر جانبی در مسیر مستقیم، دهقانی (۲۰۰۶) به بررسی اثر صفحات مستغرق بر نسبت رسوب انحرافی به آبگیر جانبی در قوس ۱۸۰ درجه و الگوی تغییرات بستر و متصیری (۲۰۰۸) به بررسی تأثیر آرایش‌های مختلف صفحات مستغرق در جلوگیری از ورود رسوبات به آبگیر جانبی در کانال قوسی ۱۸۰ درجه پرداختند. مرور مطالعات انجام شده نشان می‌دهد عملکرد صفحات مستغرق و اندرکنش جریان‌های ثانویه در مقابل دهانه آبگیر در کانال قوسی ۱۸۰ درجه و جریان‌های چرخشی تولید شده توسط صفحات به صورت عددی تاکنون صورت نگرفته است. از طرفی بحث قدرت جریان ثانویه و تأثیر صفحات مستغرق بر روند رشد و استهلاک آن در طول قوس، از نکات بسیار مهمی است که ارتباط بسیار نزدیکی با پدیده انتقال رسوب دارد.

در این پژوهش با استفاده از نرم‌افزار Fluent به شبیه‌سازی عددی الگوی جریان حول صفحات مستغرق نصب شده در بستر صلب کانال قوسی ۱۸۰ درجه به همراه آبگیر و نیز شبیه‌سازی عددی

الگوی جریان در کانال یاد شده بدون صفحه و صحت‌سنجی نتایج مدل‌های عددی با داده‌های آزمایشگاهی، الگوی جریان دو حالت قوس با صفحه و بدون آن مقایسه شده و تأثیر سیستم صفحه‌ها بر قدرت جریان ثانویه موجود در قوس و انحراف جریان پر رسوب نزدیک کف از مقابل دهانه آبگیر مورد بررسی قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

مشخصات میدان حل: مطالعه حاضر بر اساس کارهای آزمایشگاهی پیرستانی (۲۰۰۴) و منتصری (۲۰۰۸) پی‌ریزی شده است. میدان حل مربوط به آزمایش‌های منتصری عبارت است از کانال قوسی ۱۸۰ درجه در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه تربیت مدرس با $t/B=4/33$ ، B عرض کانال، t شعاع متوسط قوس) با مقطعی به ابعاد 60×60 سانتی‌متر و شعاع متوسط $2/6$ متر، دو کانال مستقیم با مقطعی مشابه مقطع کانال قوسی، به طول ۷ متر و $3/5$ متر به ترتیب در ابتدا و انتهای قوس، به همراه آبگیری به ابعاد مقطع 25×30 سانتی‌متر در موقعیت ۱۱۵ درجه در قوس و زاویه آبگیری ۴۵ درجه (پیرستانی (۲۰۰۴) و دهقانی (۲۰۰۶) این موقعیت و زاویه آبگیری را پیشنهاد نموده‌اند) که میزان آبگیری آن با دریچه‌ای کشویی در انتهای کانال آبگیر کنترل می‌شود. آزمایش‌های با دبی ثابت ۳۸ لیتر بر ثانیه و عمق ثابت ۱۵ سانتی‌متر انجام شده است. لازم به ذکر است ابعاد انتخاب شده در این پژوهش به‌طور دقیق مطابق با ابعاد به‌کار رفته در مدل آزمایشگاهی منتصری می‌باشد. در داخل کانال قوسی و در مقابل دهانه آبگیر ۲ ردیف صفحه مستغرق، هر ردیف شامل ۵ صفحه هر یک به طول $10/5$ سانتی‌متر و ارتفاع $3/5$ سانتی‌متری با ضخامت ۳ میلی‌متر با زاویه ۲۰ درجه نسبت به جهت غالب جریان در قوس، در کف کانال نصب شده‌اند. فاصله عرضی دو صفحه مجاور و فاصله طولی دو صفحه متوالی به ترتیب ۱۰ و ۲۰ سانتی‌متر است. اولین ردیف صفحه‌ها با فاصله ۱۰ سانتی‌متر از دیوار خارجی قوس نصب شده و صفحه‌ها از مقطع ۱۰۵ درجه در قوس شروع، و با رعایت فواصل یاد شده در مقطع ۱۲۴ درجه به پایان رسیده است. شکل ۲ مشخصات هندسی میدان حل را نشان می‌دهد.



شکل ۲- مشخصات هندسی میدان حل قوس ۱۸۰ درجه با دو ردیف صفحه در مقابل دهانه آبگیر.

پیرستانی (۲۰۰۴) به منظور بررسی الگوی جریان در آبگیری جانبی از قوس، از کانال یاد شده بدون صفحات مستغرق استفاده نمود، و کنترلی بر دبی آبگیری در انتهای کانال آبگیر وجود نداشت. بنابراین در این مقاله ابتدا مدل آزمایشگاهی پیرستانی شبیه‌سازی شده و صحت‌سنجی نتایج مدل عددی صورت گرفته، سپس به منظور تأمین شرایط هیدرولیکی یکسان در هر دو حالت قوس با صفحه و بدون آن، مدل قوس بدون صفحه نیز با تعبیه دریچه‌ای در انتهای کانال آبگیر و سایر شرایط هیدرولیکی مشابه مدل قوس با صفحه، شبیه‌سازی شده است. شرایط هیدرولیکی نشان داده شده در هر دو حالت در جدول ۱ نشان‌دهنده برقراری جریان آشفته زیر بحرانی در کانال است.

جدول ۱- مشخصات هیدرولیکی میدان جریان.

مشخصات هیدرولیکی میدان جریان	عمق جریان (سانتی‌متر)	سرعت (متر/ثانیه)	عدد رینولدز	عدد فرود
قوس بدون صفحه	۱۵	۰/۳۳۴	۵۰۰۰۰	۰/۲۷۵
قوس با صفحه	۱۵	۰/۴۵	۶۳۸۴۰	۰/۳۷

قوانین و معادلات حاکم بر میدان جریان: قوانین حاکم عبارتند از قانون بقای جرم و بقای مومنتم که در حالت جریان آشفته و به صورت میانگین گرفتن در زمان، معادلات پیوستگی (رابطه ۱) و رینولدز (رابطه ۲) از آنها استخراج می‌شود (دیلی، ۱۹۷۳).

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

$$\frac{\partial(\rho u_i)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_i u_j)}{\partial x_j} = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \mu \left[\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right] + \frac{\partial(-\overline{\rho u'_i u'_j})}{\partial x_j} \quad (2)$$

که در آن مؤلفه سرعت در جهت x_i ، فشار، p ، چگالی، ρ ، لزجت دینامیکی، μ ، نوسان سرعت و جمله‌های $-\overline{\rho u'_i u'_j}$ به‌عنوان تنش‌های رینولدز شناخته می‌شوند. این معادله‌ها شامل ۴ مجهول مؤلفه‌های سرعت در سه جهت و فشار می‌باشند. از طرفی معادله مومنتم دارای ۶ مؤلفه مجهول تنش رینولدز است، بنابراین سیستم معادله‌های بالا بسته نیست و باید با استفاده از مدل آشفتگی مناسب تنش‌های رینولدز محاسبه شوند. در این پژوهش از مدل آشفتگی RSM^۱ استفاده شده است. این مدل ۶ معادله انتقال برای ۶ مؤلفه تنش رینولدز و ۱ معادله انتقال برای نرخ استهلاك انرژی جنبشی حل می‌کند. معادله انتقال تنش‌های رینولدز در مدل آشفتگی RSM به‌صورت رابطه ۳ است.

$$\begin{aligned} \frac{D \overline{u'_i u'_j}}{Dt} = & -\overline{u'_i u'_k} \frac{\partial u_j}{\partial x_k} - \overline{u'_j u'_k} \frac{\partial u_i}{\partial x_k} - \frac{2}{3} \delta_{ij} \varepsilon - 1/5 \frac{\varepsilon}{K} (\overline{u'_i u'_j} - \frac{2}{3} \delta_{ij} k) \\ & - 0/6_1 (p_{ij} - \frac{2}{3} p \delta_{ij}) + 0/22 \frac{\partial}{\partial x_k} \left(\frac{k}{\varepsilon} \overline{u'_i u'_k} \frac{\partial u'_j}{\partial x_i} \right) \end{aligned} \quad (3)$$

قابلیت نرم‌افزار: همان‌طور که اشاره شد جهت حل معادله‌ها از نرم‌افزار تحلیل جریان Fluent (نسخه ۶/۰/۱۲) استفاده شده است. این نرم‌افزار معادلات سه بعدی حاکم بر جریان را از طریق روش حجم محدود^۲ حل می‌کند، یعنی کل میدان جریان را به‌صورت حجم کنترل‌های مجزا در نظر می‌گیرد، از معادله‌های حاکم بر جریان سیال روی هر حجم کنترل انتگرال گرفته، با استفاده از طرح‌های مختلف انفصال معادلات مانند آپویند، کوئیک و... که توسط کاربر تعیین می‌شود، معادلات جبری منفصل شده را تعیین و با استفاده از الگوریتم‌های مختلف از جمله سیمپل و پیزو، معادله‌های وابسته به‌هم را تا رسیدن به مرحله هم‌گرایی حل می‌نماید. به‌منظور تهیه هندسه میدان جریان، شبکه‌بندی آن و اختصاص دادن انواع شرایط مرزی نیز از نرم‌افزار پیش‌پردازنده گمبیت^۳ استفاده می‌کند. در این پژوهش از نسخه ۲ گمبیت استفاده شده است (راهنمای فلوئنت، ۲۰۰۵).

حل عددی معادله‌ها: در این پژوهش روش آپویند مرتبه^۴ دوم در انفصال جملات جابجایی و روش سیمپل^۵ به‌منظور کوپل سرعت و فشار به‌کار رفته است. به‌منظور اختصاص دادن شرایط مرزی، در

1. Reynolds Stress Model
2. Finite volume
3. Gambit
4. Second Order Upwind
5. SIMPLE

ورودی میدان جریان از شرط مرزی سرعت ورودی معادل $0/45$ متر بر ثانیه عمود بر مرز ورودی استفاده شده است. کانال مستقیم و طولانی بالادست قوس شرایط لازم برای توسعه یافتن جریان ورودی به قوس را فراهم خواهد نمود. برای محاسبه پارامترهای آشفتگی در ورودی میدان، قطر هیدرولیکی معادل عمق جریان ($0/15$ متر) و شدت آشفتگی ۳ درصد (معمولاً شدت آشفتگی در ورودی میدان جریان بین ۱ تا ۶ درصد در نظر گرفته می‌شود). به مدل داده شده است. چون صفحه‌ها سازه‌های مستغرق با عمق کم هستند و تحقیقات بسیاری بیانگر تأثیر نداشتن صفحات مستغرق بر جریان سطحی است (ادگارد و اسپولجاریک، ۱۹۸۶)، بنابراین سطح آزاد به روش سطح صلب مدل شده و از شرط مرزی تقارن برای سطح استفاده شده است. لژینر و رودی (۱۹۸۹) نشان دادند با فرض سطح صلب برای سطح آزاد در قوس 180° درجه، از تغییرات سطح آب صرف‌نظر نمی‌شود، بلکه اثر آن به‌طور غیرمستقیم وارد معادله‌ها می‌شود. عمق آب در کل میدان جریان برابر مقدار ثابت ۱۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شده و معادله‌ها به‌صورت مستقل از زمان حل شده است. با این فرض تنش برشی و شار تمام کمیت‌ها در این سطح برابر صفر در نظر گرفته می‌شود. در این حالت برای خروجی کانال‌ها با توجه به طول $2/5$ متر کانال آبگیر و طول $3/5$ متر کانال مستقیم پس از آبگیر، از شرط مرزی جریان خروجی استفاده شده و تغییر مشخصات جریان در جهت عمود بر این مرزها صفر خواهد شد. برای مرزهای صلب و صفحه‌ها از شرط مرزی دیوار استفاده شده است. دریچه انتهایی آبگیر به‌منظور تنظیم دبی آبگیری در مدل آزمایشگاهی استفاده شده، بنابراین بسته به مقدار دبی آبگیری، دریچه به‌میزان لازم باز، و تا پایان هر آزمایش در همان موقعیت ثابت نگه داشته شده است. از طرفی با توجه به فاصله $2/5$ متری دریچه از دهانه آبگیر، تأثیر دریچه بر الگوی جریان در مقابل دهانه آبگیر قابل چشم‌پوشی می‌باشد (منتصری، ۲۰۰۸). در مدل عددی نیز فاصله از سطح جریان تا تراز بازشدگی دریچه به‌عنوان شرط مرزی دیوار در نظر گرفته شده است.

نکته مهم در شرط مرزی دیوار تنظیم فاصله اولین گره در جهت عمود بر دیوار می‌باشد. مدل RSM از روش تابع دیوار برای در نظر گرفتن اثر دیوار استفاده می‌کند. از این‌رو ناحیه زیر لایه لزج حل نمی‌شود و از فرض رابطه خطی تنش کرنش استفاده می‌کند. فاصله اولین گره در راستای عمود بر دیوار به شرح زیر تعیین می‌شود (کلیک، ۱۹۹۹):

الف- تعیین ضریب اصطکاک پوسته‌ای بر اساس رابطه زیر:

$$\frac{\bar{c}_f}{2} \approx 0.0359 \text{Re}^{-0.2} \quad (4)$$

ب- تعیین سرعت برشی با استفاده از رابطه زیر:

$$u_\tau = \sqrt{\tau_w / \rho} = U_e \sqrt{c_f / 2} \quad (5)$$

ج- فاصله اولین گره در جهت عمود بر دیوار از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$y_1 = 50\nu / u_\tau \quad (6)$$

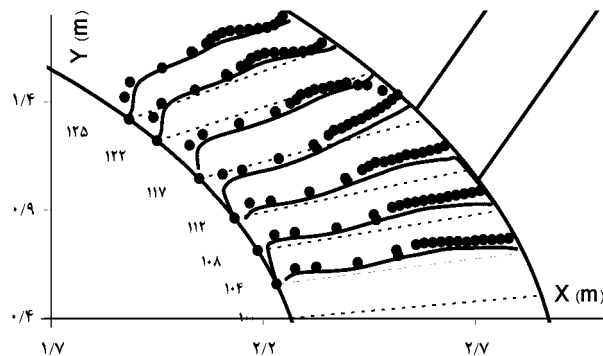
در رابطه‌های بالا Re عدد رینولدز جریان و U_e سرعت متوسط جریان است. با توجه به توضیحات فوق، فاصله اولین گره در جهت عمود بر دیوار به شرح ذیل تعیین شده است.

$$\bar{c}_f / 2 = 0.0359 \times \text{Re}^{-0.2} = 0.0039 \Rightarrow y_1 = \frac{50\nu}{u_\tau} = 1.87e-3m \quad (7)$$

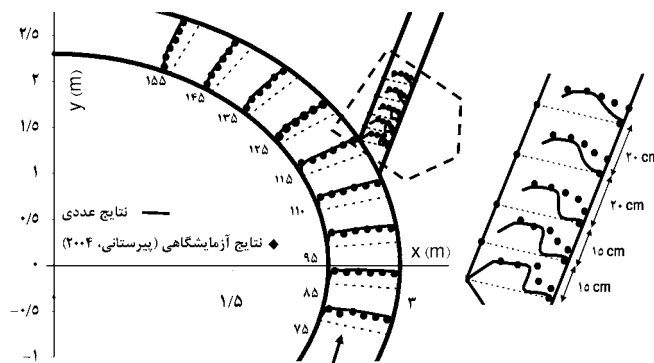
$$u_\tau = U_e \cdot \sqrt{c_f / 2} = 0.026 \text{ m/sec}$$

با توجه به y_1 محاسبه شده شبکه‌بندی میدان حل با رعایت این معیار در سه جهت طولی، عرضی و ارتفاعی برای فاصله اولین گره از دیوار و رعایت حداکثر نسبت طول دو سلول مجاور معادل $1/2$ ، شبکه ای شامل $17 \times 80 \times 292$ گره در جهت‌های طولی، عرضی و ارتفاعی کانال اصلی و $17 \times 42 \times 88$ گره در کانال آبگیر تنظیم شده و در نهایت درکل میدان جریان 459952 گره تولید شده است.

صحت‌سنجی نتایج مدل عددی: در شکل ۳ برای هر دو حالت قوس با صفحه و بدون صفحه مقادیر سرعت پیش‌بینی شده توسط مدل عددی با نتایج آزمایشگاهی در ترازهای مختلف مقایسه شده است. نتایج مدل عددی همان روند موجود در نتایج مدل آزمایشگاهی را دارد. اختلاف مقدار سرعت پیش‌بینی شده و سرعت اندازه‌گیری شده تقسیم بر مقدار سرعت اندازه‌گیری شده به‌عنوان خطا در نظر گرفته شده است. برای قوس با صفحه، میانگین خطا در مقاطع شکل ۳ در تراز ۱۲ سانتی‌متری از کف $6/39$ درصد و برای قوس بدون صفحه 7 درصد محاسبه شده است. این مقدار خطا در تراز ۱۴ سانتی‌متری (نزدیک سطح) حدود $5/37$ درصد، در تراز ۲ سانتی‌متری از کف (فقط برای مقاطع 1.02 ، 1.08 و 1.11 درجه) به‌طور متوسط $8/1$ درصد و به‌صورت گرفتن میانگین در عمق $3/25$ درصد بوده است. بنابراین می‌توان به نتایج مدل عددی اطمینان نمود.



الف) قوس با آبگیر با صفحه (تراز $Z=0.12m$ مقطع $100^\circ - 125^\circ$).



ب) قوس با آبگیر بدون صفحه (تراز $Z=0.1m$ مقطع $75^\circ - 155^\circ$).

شکل ۳- صحت سنجی نتایج مدل عددی.

نتایج و بحث

مقایسه جریان‌های ثانویه در مقاطع مختلف عرضی: به منظور بررسی تأثیر صفحات مستغرق بر جریان در مقابل دهانه آبگیر، به مقایسه نتایج به دست آمده از شبیه‌سازی در دو حالت قوس با صفحه و بدون صفحه پرداخته شده است.

شکل ۴ بردارهای جریان ثانویه را در مقاطع مختلف قوس با صفحه و قوس بدون صفحه نشان می‌دهد. با ورود جریان به قوس (مقطع صفر درجه) گرادیان طولی فشار بر الگوی جریان حاکم

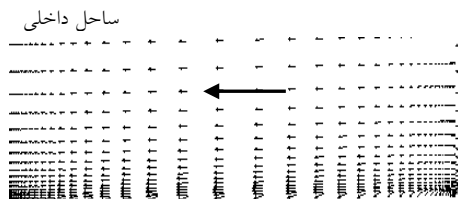
می‌باشد و جریانی شعاعی به سمت قوس داخلی برقرار است و تا مقطع ۳ درجه نیز ادامه دارد اما شدت آن در سطح کم می‌شود. در مقطع ۴ درجه با افزایش نیروی گریز از مرکز، جریان سطحی به سمت قوس خارجی و جریان کف همچنان به سمت قوس داخل در حرکت است و کم‌کم سلول چرخشی شکل گرفته تا این‌که در مقطع ۳۰ درجه کامل می‌شود. به تدریج مرکز سلول چرخشی به سمت لبه خارجی منتقل می‌شود و تا مقطع ۱۰۰ درجه همین روند ادامه دارد که برای هر دو حالت یکسان است (شکل‌های ۴-الف تا ۴-د). برای حالت قوس بدون صفحه از مقطع ۱۰۵ درجه به بعد به تدریج لایه‌های سطحی به سمت آبگیر هدایت می‌شوند و در مقطع ۱۱۰ درجه (ورودی آبگیر) مکش آبگیر کاملاً جریان را به داخل آبگیر می‌کشد و سلول چرخشی در نزدیکی کف لبه داخلی شکل می‌گیرد. این روند تا انتهای آبگیر ادامه دارد. در مقطع ۱۲۰ درجه (پس از آبگیر) نیز جهت جریان سطحی به سمت آبگیر است، اما در کف، سلول چرخشی شکل گرفته، به تدریج رشد کرده و در مقطع ۱۲۲/۵ درجه موجب هدایت جریان نزدیک کف به سمت لبه داخلی می‌شود. در مقطع ۱۳۰ درجه دوباره سلول چرخشی کامل شده و تا مقطع ۱۴۰ درجه ادامه دارد، اما از مقطع ۱۵۰ درجه به بعد شروع به ضعیف شدن می‌نماید. همچنین در مقطع ۱۲۲/۵ درجه سلول چرخشی دیگری در نزدیک سطح لبه داخلی قوس شکل گرفته که تا مقطع ۱۴۰ درجه ادامه دارد. برای قوس با صفحه، با برخورد جریان به هر صفحه، اختلاف فشار موجود در دو سمت صفحه جریان ثانویه‌ای را حول هر صفحه در جهت جریان چرخشی موجود در قوس، به مرکز تاج صفحه به وجود می‌آورد، بنابراین سبب افزایش قدرت جریان ثانویه قوس می‌شود. در خارج از محدوده صفحه‌ها نیز جریان ثانویه اصلی قوس حاکم است. در ورودی آبگیر برخلاف قوس بدون صفحه، قدرت جریان ثانویه حول صفحه‌ها به حدی است که مانع ورود جریان سطحی به داخل آبگیر می‌شود و لایه زیرین جریان نیز همچنان به سمت قوس داخلی در حرکت است. اما در مقابل دهانه آبگیر، مکش آبگیر بر مومتم ذرات غلبه کرده و کاملاً جریان را به داخل آبگیر می‌کشد، از این‌رو مرکز گردابه‌های اطراف صفحه‌ها نیز به دهانه آبگیر نزدیک

می‌شود و فقط محدوده بسیار کمی در اطراف صفحه را تحت تأثیر قرار می‌دهند. این روند تا انتهای آبگیر ادامه دارد. پس از آبگیر (در مقطع ۱۲۰ درجه) نیز جریان ثانویه حول صفحات هم جهت با جریان ثانویه موجود در قوس است و مانع انحراف جریانات سطحی به سمت آبگیر می‌شود. جریان ثانویه تولید شده توسط صفحه‌ها با عبور از انتهای صفحه‌ها به جریان ثانویه در قوس پیوسته، کم‌کم از قدرت آن کاسته شده و مرکز آن به سمت قسمت‌های میانی کانال تغییر مکان می‌دهد و تا انتهای قوس به تدریج مستهلک می‌شود.

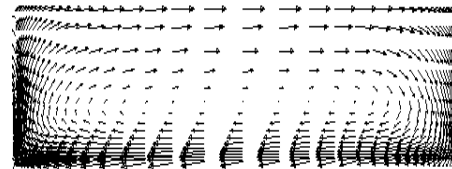
مقایسه قدرت جریان ثانویه به صورت کمی: به منظور بررسی تأثیر صفحه‌ها بر مقدار قدرت جریان ثانویه موجود در قوس، قدرت جریان ثانویه در مقاطع مختلف قوس محاسبه شده و به این منظور از پارامتر چرخش^۱ در مختصات استوانه‌ای استفاده شده است (دیلی، ۱۹۷۳). چرخش یک المان سیال به ابعاد $\Delta r, \Delta z$ حول محور θ به صورت رابطه ۸ تعریف می‌شود:

$$\omega_{\theta} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial v_r}{\partial z} - \frac{\partial v_z}{\partial r} \right) \quad (۸)$$

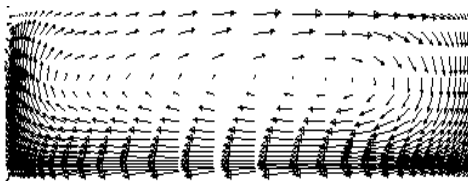
نرم‌افزار **Fluent** قادر به محاسبه پارامتر چرخش حول محور x و y است. با داشتن پارامتر چرخش حول محور x و y می‌توان مطابق شکل ۵ چرخش حول محور θ را تعیین نمود (θ زاویه هر مقطع از ابتدای قوس است). اگر زاویه بردار به دست آمده از چرخش حول محور x و y را با چرخش حول محور r, Γ, α و با چرخش حول محور y, β در نظر بگیریم، مطابق شکل ۵ خواهیم داشت:



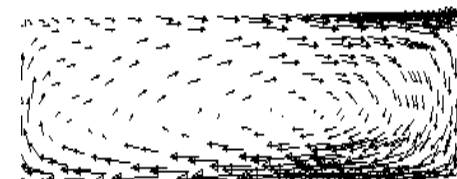
ب- مقطع عرضی $\theta = 0^\circ$ برای هر دو حالت با صفحه و بدون صفحه



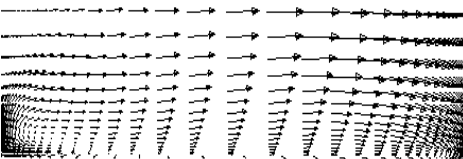
الف- مقطع عرضی $\theta = 30^\circ$ برای هر دو حالت با صفحه و بدون صفحه



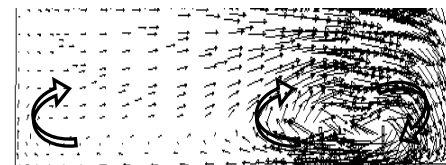
د- مقطع عرضی $\theta = 60^\circ$ برای هر دو حالت با صفحه و بدون صفحه



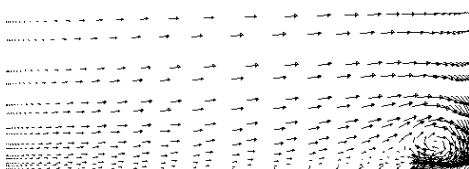
ج- مقطع عرضی $\theta = 90^\circ$ برای هر دو حالت با صفحه و بدون صفحه



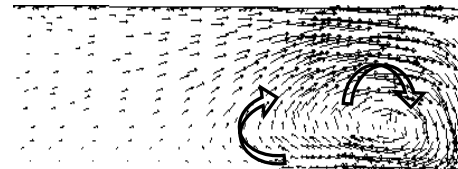
و- مقطع عرضی $\theta = 110^\circ$ برای حالت بدون صفحه



ه- مقطع عرضی $\theta = 110^\circ$ برای حالت با صفحه



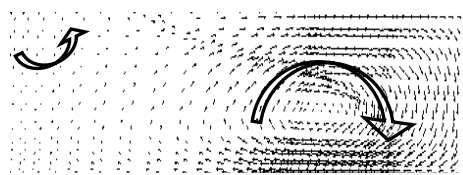
ح- مقطع عرضی $\theta = 120^\circ$ برای حالت بدون صفحه



ز- مقطع عرضی $\theta = 120^\circ$ برای حالت با صفحه



ی- مقطع عرضی $\theta = 130^\circ$ برای حالت بدون صفحه



ط- مقطع عرضی $\theta = 130^\circ$ برای حالت با صفحه

شکل ۴- جریان ثانویه در مقاطع عرضی مختلف و مقایسه آن در هر دو حالت قوس با صفحه و بدون صفحه.

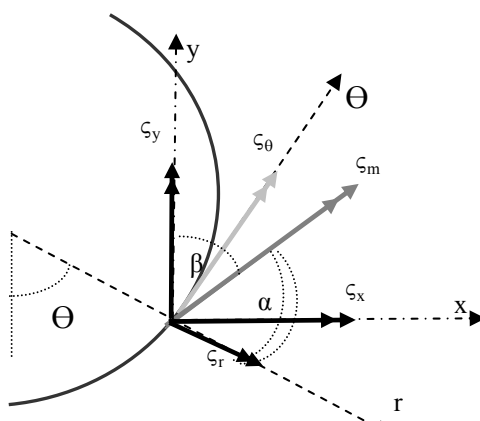
$$\zeta_{\theta} = \zeta_m \times \sin(\alpha) \quad (9)$$

$$\zeta_m = \sqrt{\zeta_x^2 + \zeta_y^2} \quad (10)$$

$$\beta = \tan^{-1}\left(\frac{\zeta_x}{\zeta_y}\right) \quad (11)$$

$$\alpha = \pi - (\theta + \beta) \quad (12)$$

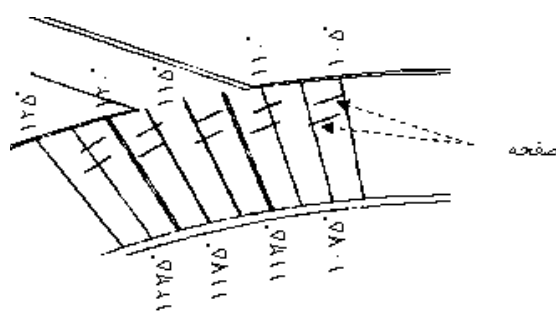
که در آن $\zeta = \text{vorticity}$ و ζ_m چرخش کل است. برای محاسبه چرخش در هر گره، با توجه به ابعاد و مؤلفه‌های سرعت در هر سلول، چرخش حول محورهای X و Y محاسبه می‌شود و با توجه به رابطه‌های بالا به چرخش حول محور θ تبدیل می‌شود. چرخش در هر مقطع نیز با میانگین گرفتن از چرخش کل سلول‌های آن مقطع به دست می‌آید.



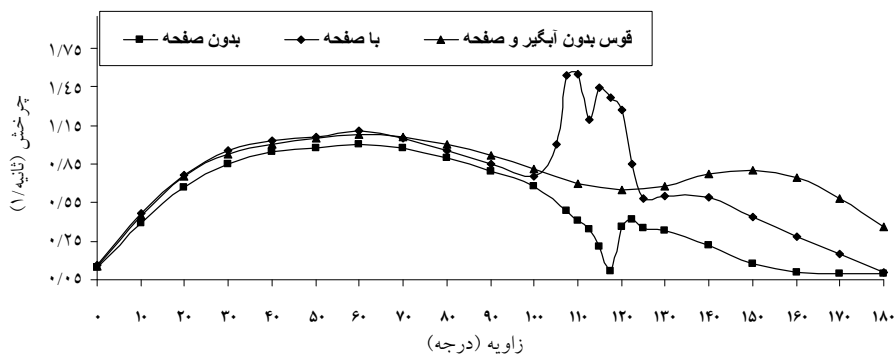
شکل ۵- طرح شماتیک نحوه محاسبه چرخش حول محور θ .

شکل ۶ نمایش هندسی موقعیت صفحات را در قوس، و شکل ۷ قدرت جریان ثانویه را در مقاطعی به فاصله حداکثر ۱۰ درجه در طول قوس برای هر دو حالت نشان می‌دهد. مطابق این شکل در قوس بدون صفحه، با ورود جریان به قوس و تشکیل جریان ثانویه، قدرت آن شروع به افزایش می‌نماید و در مقطع ۶۰ درجه به حداکثر مقدار خود می‌رسد. پس از آن با شیبی متناسب با شیب شاخه صعودی، نزول می‌کند. شیب شاخه نزولی از مقطع ۱۰۰ درجه به بعد به علت تأثیر آبگیر و پیدایش جریان ثانویه در ورودی آبگیر در خلاف جهت جریان ثانویه موجود در قوس، تندتر شده و

این روند تا انتهای آبگیر ادامه دارد، در پایین دست آبگیر با شکل‌گیری مجدد جریان ثانویه در قوس و توسعه آن تا مقطع ۱۲۲/۵ درجه نمودار حالت صعودی را نشان می‌دهد و تا مقطع ۱۳۰ درجه تقریباً ثابت است و پس از آن به شدت نزول می‌کند. اما در قوس با صفحه، قدرت جریان ثانویه تا مقطع ۱۰۰ درجه مانند حالت بدون صفحه است. با برخورد جریان به اولین صفحه در مقطع ۱۰۵ درجه جریان ثانویه حول صفحه تشکیل شده و باعث افزایش قدرت جریان ثانویه تا انتهای اولین ردیف صفحه‌ها می‌شود، در فضای بین دو ردیف صفحه متوالی قدرت جریان ثانویه ثابت مانده و در دهانه آبگیر مکش آبگیر بر مومتم طولی جریان و جریان چرخشی حول صفحه‌ها غلبه نموده اما وجود ردیف دوم صفحه‌ها مانع از افت قدرت جریان ثانویه در مقطع ۱۱۰ درجه می‌شود. در فضای بین ردیف دوم و سوم صفحه‌ها، جریان ثانویه مقابل دهانه آبگیر قدرت جریان ثانویه را در مقطع ۱۱۲/۵ درجه کاهش می‌دهد و دوباره با برخورد به ردیف سوم صفحه‌ها در مقطع ۱۱۵ درجه نمودار سیر صعودی را نشان می‌دهد. از این مقطع تا انتهای آبگیر، از یک سو قدرت بالای جریان ثانویه مقابل دهانه آبگیر و از سوی دیگر وجود ردیف چهارم صفحه‌ها باعث افت قدرت جریان ثانویه کلی در قوس با شیب‌کندی می‌شود. پس از آبگیر با توجه به کاهش مومتم جریان، انتظار افت شدید شیب نمودار در مقطع ۱۲۰ درجه می‌رود اما وجود صفحه‌ها مانع از آن شده و از آن پس انحراف جریان به سمت مرکز کانال و وجود ناحیه کم سرعت پس از صفحات ردیف چهارم، سبب افت شدید نمودار تا مقطع ۱۲۵ درجه می‌شود. از این مقطع به بعد با توسعه مجدد جریان ثانویه در قوس، تا مقطع ۱۳۰ درجه قدرت جریان ثانویه افزوده شده و از آن پس تا انتهای قوس جریان ثانویه به تدریج مستهلک می‌شود.



شکل ۶- نمایش هندسی موقعیت صفحات مستغرق در قوس.



شکل ۷- مقایسه قدرت جریان ثانویه در مقاطع مختلف قوس با آبگیر در حالت بدون صفحه و با صفحه.

با توجه به توضیحات بالا نکات زیر دارای اهمیت است:

- قدرت جریان ثانویه در نیمه اول قوس، منحنی سهمی شکل دارد که رأس آن در مقطع ۶۰ درجه واقع است.

- در قوس بدون صفحه، شیب تند شاخه نزولی منحنی قدرت جریان ثانویه از ابتدای آبگیر تا انتهای آن، نشان‌دهنده وجود جریان ثانویه قوی در ورودی آبگیر با جهت مخالف جریان ثانویه موجود در قوس است.

- از محل برخورد جریان با صفحه، منحنی با شیبی تندتر از شاخه صعودی منحنی در ابتدای قوس صعود می‌کند که نشان‌دهنده قدرت بیشتر جریان ثانویه حول صفحه‌ها نسبت به جریان ثانویه در قوس است.

- در حالت وجود صفحه‌ها، در ورودی آبگیر قدرت جریان ثانویه به حدی است که مانع ورود جریان سطحی به داخل آبگیر می‌شود و لایه زیرین جریان نیز به سمت قوس داخلی در حرکت است، این در حالی است که در قوس بدون صفحه، در این مقطع مکش آبگیر کل جریان را به سمت خود می‌کشد.

- وجود صفحه‌ها پس از آبگیر باعث به تاخیر افتادن توسعه مجدد جریان ثانویه قوس می‌شود، به طوری که پس از انتهای آخرین صفحه، جریان ثانویه قوس دوباره توسعه می‌یابد.

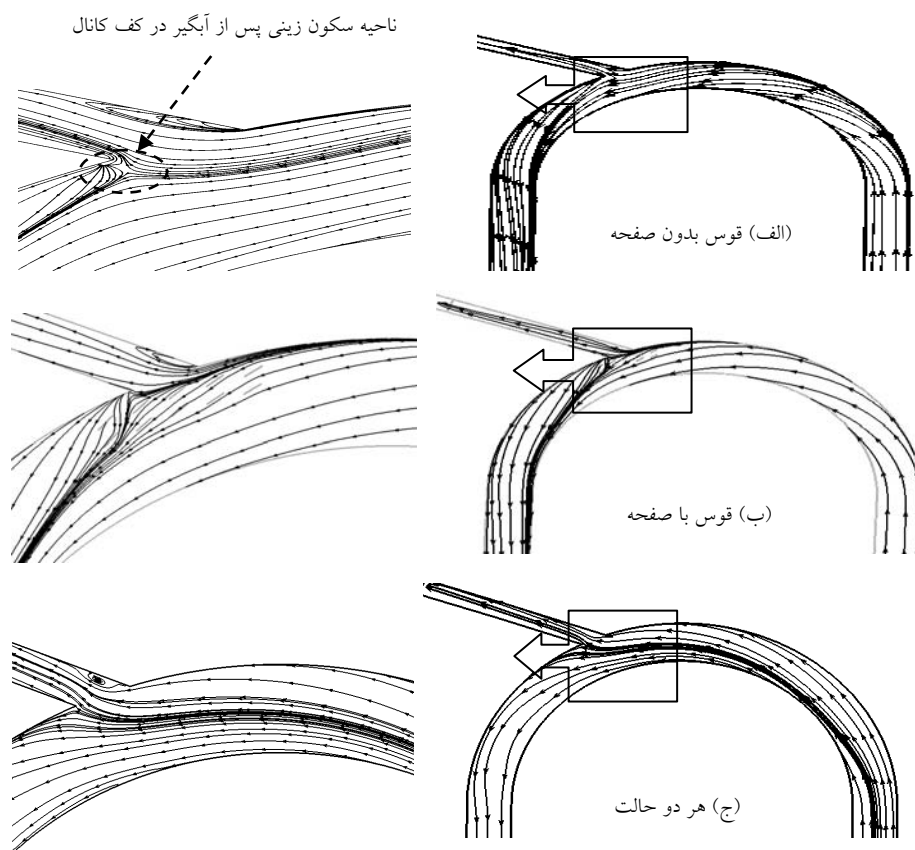
- در پایین‌دست آبگیر نیز جریان ثانویه حول صفحه‌ها مانع ورود جریان سطحی به سمت آبگیر می‌شود، در حالی که در قوس بدون صفحه، در این مقطع جریان سطحی به سمت آبگیر در حرکت است.

مقایسه خطوط جریان: در شکل ۸ به منظور بررسی مسیر حرکت ذرات، در ترازهای ۰/۵ سانتی‌متری (نزدیک کف)، و ۱۴/۵ سانتی‌متری (نزدیک سطح) از کف، خطوط جریان در هر دو حالت قوس با صفحه و بدون آن نشان داده شده است. تا قبل از محل صفحات الگوی جریان در هر دو حالت مشابه است به طوری که به علت وجود جریان ثانویه در قوس، خطوط جریان کف به سمت لبه داخلی و خطوط جریان سطحی به سمت لبه خارجی قوس متمایل می‌باشند. در نزدیکی آبگیر، برای جریان‌های نزدیک کف الگوی جریان در دو حالت متفاوت است به طوری که در قوس بدون صفحه مطابق شکل (۸-الف)، بخشی از جریان کف کانال، که نزدیک لبه داخلی است در همان مسیر به حرکت خود ادامه می‌دهد. بخش دیگر جریان در بالادست آبگیر، به سمت آبگیر و در پایین‌دست آن، به علت جریان ثانویه پس از آبگیر، به سمت قوس داخلی هدایت می‌شود. وجود این نواحی و جریان ثانویه مقابل آبگیر که سبب جریان برگشتی به سمت آبگیر می‌شود، ناحیه سکون زینی شکلی را در لبه پایین‌دست آبگیر به وجود می‌آورد. این ناحیه محل احتمالی برای رسوب‌گذاری خواهد بود. اما در حالت وجود صفحه، جریان با برخورد به صفحه‌ها بیشتر به سمت لبه داخلی منحرف می‌شود (شکل ۸-ب)، بنابراین از کف تا تراز تاج صفحه‌ها، آبگیر فقط از جریان پشت صفحه‌ها تغذیه می‌کند. همچنین در این حالت به علت اثر انحرافی صفحه روی جریان پس از آبگیر، برخلاف قوس بدون صفحه، جریان برگشتی در لبه پایین‌دست آبگیر به سمت آبگیر وجود ندارد، از این رو ناحیه سکون زینی شکل پایین‌دست آبگیر نیز در این حالت به وجود نمی‌آید. پس از آبگیر نیز با توسعه جریان ثانویه، خطوط جریان به سمت لبه داخلی هدایت می‌شوند و در مسیر مستقیم پس از قوس به موازات لبه کانال تا انتها پیش می‌روند.

اما الگوی جریان سطحی و جریان در تراز میانی کانال برای هر دو حالت مشابه است، به طوری که در مسیر مستقیم و مقاطع اولیه قوس، جریان سطحی به موازات دیواره کانال است. با شکل‌گیری جریان ثانویه و انتقال جانبی مومتم در زاویه حدود ۳۰ درجه، جریان سطحی به سمت لبه خارجی قوس منحرف می‌شود. از مقطع حدود ۵۰ درجه تا ورودی آبگیر، جریان ورودی به آبگیر در عرض محدودی فشرده شده و باعث گرادیان شدیدی در این ناحیه می‌شود. پس از آبگیر از مقطع حدود ۱۳۰ درجه جریان به سمت لبه خارجی متمایل شده و به موازات دیوار کانال حرکت می‌کند. در ترازهای میانی کانال، اثر آبگیر باعث فشرده شدن جریان در نزدیکی قوس خارجی می‌شود و در نواحی پایین‌دست، جریان با کمی انحراف به سمت قوس خارجی به موازات دیوار کانال حرکت می‌کند.

به منظور مقایسه دقیق تر، در شکل (۹) از مقطع 100° درجه $\theta =$ به بعد خطوط جریان در فواصل شعاعی مختلف (d) از لبه خارجی کانال، در دو حالت قوس با صفحه و بدون صفحه نشان داده شده است. مطابق شکل (۹-ب) در فاصله ۳۰ سانتی متر از لبه خارجی (خط میانی کانال)، در قوس بدون صفحه کل جریان به سمت کانال اصلی در حرکت است. ولی در حالت وجود صفحه‌ها، لایه زیرین جریان (تا تراز ارتفاع صفحه‌ها) به سمت مرکز کانال و لایه‌های میانی و سطحی تحت تأثیر جریان ثانویه حول صفحه‌ها به سمت آبگیر هدایت می‌شوند. جریان منحرف شده به سمت آبگیر به دو قسمت تقسیم شده، بخشی به سمت آبگیر و بخشی با برخورد به لبه پایین دست آبگیر، به سمت کف و از آنجا به سمت قسمت‌های میانی کانال اصلی منحرف می‌شود.

در قوس بدون صفحه، با نزدیک شدن به آبگیر، ورود جریان سطحی به آن افزایش می‌یابد. به طوری که آبگیر از فاصله ۲۵ سانتی متری از لبه خارجی بخشی از جریان سطحی را به سمت خود می‌کشد. اما جریان ثانویه موجود در قوس، لایه‌های پایین تر از سطح را به سمت مرکز کانال هدایت می‌کند. این روند تا فاصله ۱۵ سانتی متری از آبگیر ادامه دارد و به تدریج بر مقدار جریان سطحی ورودی به آبگیر افزوده می‌شود. وجود صفحه‌ها در این فاصله از آبگیر، باعث انحراف بیشتر جریان سطحی به سمت آن و انحراف کامل لایه زیرین جریان هم ارتفاع خود به سمت مرکز کانال می‌شوند. در فاصله ۱۰ سانتی متری از لبه خارجی، کل جریان قوس وارد کانال آبگیر می‌شود. صفحه‌ها در این حالت نیز باعث انحراف کامل لایه زیرین جریان هم ارتفاع خود به سمت مرکز کانال می‌شوند.

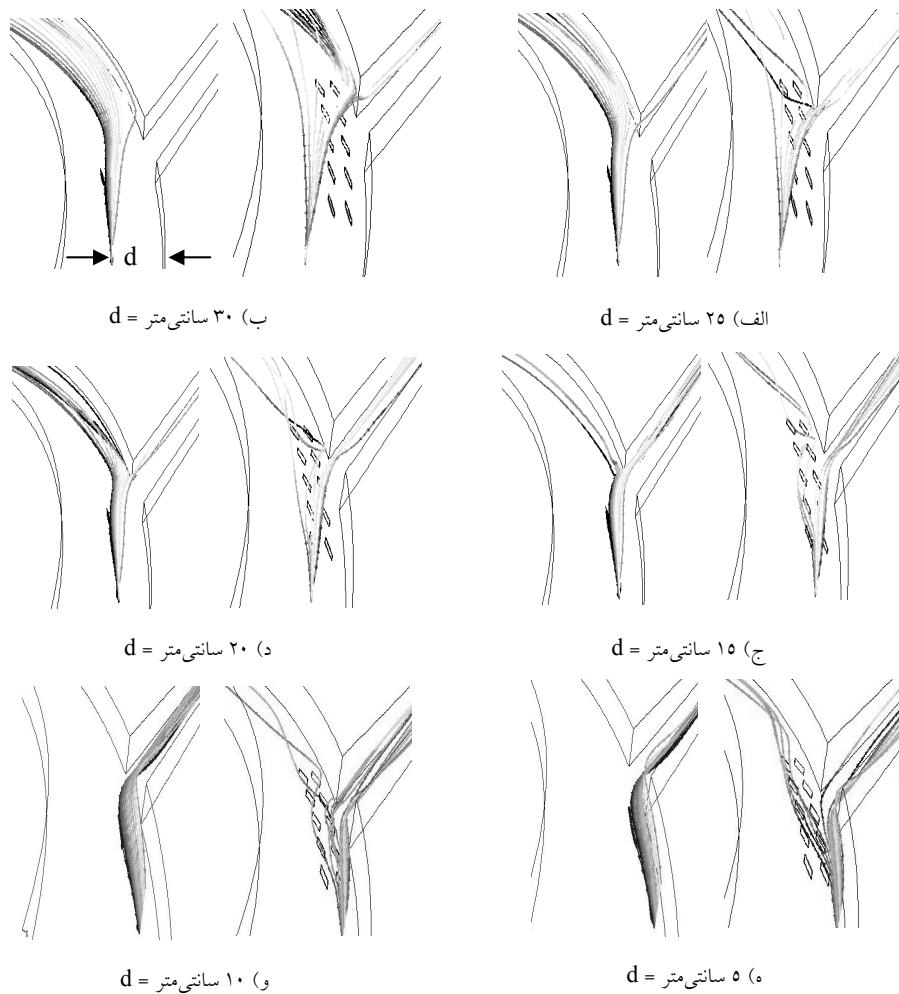


شکل ۸- خطوط جریان در تراز (الف) $Z = 0/005$ متر، (ب) $Z = 0/005$ متر و (ج) $Z = 0/145$ متر.

به‌طور کلی از بررسی خطوط جریان در این حالت نتایج زیر به‌دست می‌آید:

- بررسی خطوط جریان نشان می‌دهد برخلاف قوس بدون صفحه، جریان برگشتی از پایین‌دست به سمت آبگیر وجود ندارد و ناحیه سکون زینی در پایین‌دست آبگیر به‌وجود نمی‌آید.
- در حالت قوس بدون صفحه، خط تقسیم جریان در سطح در فاصله ۲۵ سانتی‌متری از لبه خارجی کانال واقع است، در حالی‌که در کف از فاصله ۱۰ سانتی‌متری از لبه خارجی، خطوط جریان ورودی به آبگیر از سایر خطوط جریان جدا می‌شوند، که نشان‌دهنده آبگیری بیشتر از لایه‌های سطحی نسبت به کف است.
- در حالت وجود صفحه‌ها خط تقسیم جریان در سطح در فاصله حدود ۳۲ سانتی‌متری (در فاصله‌ای بیشتر از نصف عرض کانال) از لبه خارجی کانال واقع است، در حالی‌که در کف حتی در فاصله ۲

سانتی متری از لبه خارجی، لایه نزدیک کف جریان به سمت مرکز کانال هدایت می شود. بنابراین انحراف جریان سطحی در فاصله دورتری از لبه خارجی به سمت آبگیر نسبت به قوس بدون صفحه و انحراف لایه نزدیک کف جریان از مقابل دهانه آبگیر به سمت مرکز کانال، نشان دهنده آبگیری بیشتر از جریان سطحی برای آبگیر و انحراف جریان پرسوب نزدیک کف، در حالت کاربرد صفحه ها است.



شکل ۹- مقایسه خطوط جریان در مقطع ۱۰۰ درجه در فواصل شعاعی مختلف از لبه خارجی کانال (d).

نتیجه‌گیری

در این پژوهش الگوی جریان در قوس ۱۸۰ درجه با آبگیر در حضور صفحات مستغرق در مقابل دهانه آبگیر و بدون صفحه‌ها شبیه‌سازی عددی شده و صحت‌سنجی نتایج مدل عددی با نتایج آزمایشگاهی در هر دو حالت صورت گرفته است. مقایسه الگوی جریان و محاسبه قدرت جریان ثانویه در مقاطع مختلف قوس در هر دو حالت نشان داد، صفحات باعث تشدید قدرت جریان ثانویه از محل برخورد جریان به آن‌ها تا انتهای قوس شده و با جریان ثانویه مقابل دهانه آبگیر که باعث آبشستگی در این قسمت می‌شود، مقابله می‌کنند. از طرفی جریان ثانویه حول صفحات باعث انحراف بیشتر لایه سطحی جریان به سمت آبگیر شده و امکان آبیگری بیشتر از جریان سطحی را فراهم نموده و لایه جریان پروسوب نزدیک کف تا تراز تاج صفحات را به سمت کانال اصلی هدایت می‌کند. بنابراین این سیستم به صورت کارآمد در کنترل رسوب ورودی به آبگیر می‌تواند به کار رود.

منابع

1. Barkdoll, D., Ettema, R., and Odgaard, A.J, 1999. Sediment control at lateral diversions: limits and enhancement to vane use. *J. Hydraulic Engin.*, 125:8. 132-136.
2. Celik, I.B. 1999. *Introductory Turbulence Modeling*. Western Virginia University.
3. Daily, J.W. 1973. *Fluid dynamics*, Addison-Westley Publishing Company.
4. Dehghani, A.A. 2006. *Experimental investigation of sediment control at lateral intake in 180° channel bend*. Ph.D. Thesis of Tarbiat Modares University. (In Persian)
5. Fluent Inc. 2005. *Fluent User's Guide*.
6. Gupta, P., and Sharma, N. 2007. Performance evaluation of tapered vane. *J. Hydraulic Research*, 45:4. 472-477.
7. Hassanpour, F. 2006. *Investigation of the operation of lateral intakes with submerged vanes and sill*. Ph.D. Thesis of Tarbiat Modares University. (In Persian)
8. Leschziner, M., and Rodi, W. 1989. Calculation of strongly curved open channel flow. *J. The Hydraulic Division*, 105:10. 1299-1314.
9. Marelius, F., and Sinha, K. 1998. Experimental investigation of flow past submerged vanes. *J. Hydraulic Engin.*, 124:5. 542-546.
10. Marelius, F., and Sinha, K. 2000. Analysis of flow past submerged vanes. *Hydraulic*, 38:1. 65-71.

11. 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.
12. Neary, V.S., Sotiropoulos, F., and Odgaard, A.J. 1999. Three-dimensional numerical model of lateral-intake inflows. *Hydraulic Engin.*, 125:2. 126-140.
13. Neill, R., and Evans, J. 1997. Sediment control at water intakes. *J. Hydraulic Engin.*, 670-671.
14. Odgaard, A.J., and Kennedy, J.F. 1983. River-bend bank protection by submerged vanes. *J. Hydraulic Engin.*, 109:8. 1161-1173.
15. Odgaard, A.J., Spoljaric, A. 1986. Sediment control by submerged vanes. *Hydraulic Engin.*, 112:12.
16. Pirestani, M.R. 2004. Investigation of flow pattern and scour for intakes in the bend channel. Ph.D. Thesis of Azad University.
17. Safarzade, A. 2005. Numerical simulation of flow pattern at lateral intake in 180° bend. M.Sc. Thesis of Tarbiat Modares University. (In Persian)
18. Soon-Keat, T., Guoliang, Y., Siow-Yong, L., and Muk-Chen, O. 2005. Flow structure and sediment motion around submerged vanes in open channel. *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, ASCE*, 131:3. 132-136.
19. Voisin, A., and Townsend, R, D. 2002. Model testing of submerged vanes in strongly curved narrow channel bends". *J. Civil Engin.*, 29:37-49.
20. Wang, y., Odgaard, A.J., Melville, W., and Subhash, C. 1996. Sediment control at water intakes. *J. Hydraulic Engin.*, 122:6. 353-356.



Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 16(3), 2009
www.gau.ac.ir/journals

Numerical simulation of the effect of submerged vanes on strength of secondary flow at 180° bend with lateral intake

**M. Rostamabadi¹, *S.A.A. Salehi Neyshabouri²,
H. Montaseri³ and M.R. Pirestani⁴**

¹M.Sc. Student Dept. of Civil Engineering, Tarbiat Modares University, ²Professor, Dept. of Civil Engineering, Tarbiat Modares University, ³Assistant Prof., Dept. of Civil Engineering, Yasooj University, ⁴Assistant Prof., Dept. of Civil Engineering, Islamic Azad University Branch of South Tehran

Abstract

Submerged vanes are plane structures placed on river bed with an angle to the approach flow which cause secondary flow. They can be used to reduce sediment entrainment to water intake structures. Studying the effect of submerged vanes on the strength of secondary flow and possible sediment diversion near the bed are the goals of this paper. The simulation includes two cases, one in which submerged vanes are placed in front of the intake and the other for no vanes. Therefore, three-dimensional Reynolds-Averaged Navier-Stokes equations for turbulent flow in front of intake in 180° bend was solved numerically. The CFD solver FLUENT was used to solve equations and the results of numerical models were compared with available experimental data. Investigations showed that the secondary flow around vanes was at the same direction of main secondary flow. Therefore by intensifying, it causes more deviation of near bed streamlines toward the inner bank and surface streamlines toward the outer bank. Furthermore, it causes more water diversion with less amount of sediment. The separation zone at main channel is widening near the surface of inner bank and the vanes prevent the formation of the saddle stagnation zone and reverse flow toward the intake in main channel, so that less sediment enter into the intake.

Keywords: Submerged vanes, 180° bend, Strength of secondary flow, Intake

* Corresponding Author; Email: salehi@modares.ac.ir