

شبیه‌سازی عددی الگوی جریان در اطراف صفحات مستغرق در مقابل دهانه آبگیر در قوس 180° به‌منظور تعیین زاویه و ارتفاع بهینه صفحات

معصومه رستم‌آبادی^۱، سید علی اکبر صالحی نیشابوری^{۲*}، حسین منتصری^۳

۱- دانشجوی دکترای مهندسی آب، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس

۲- استاد سازه‌های هیدرولیکی، پژوهشکده مهندسی آب، دانشگاه تربیت مدرس

۳- استادیار مهندسی آب، دانشگاه یاسوج

* تهران، صندوق پستی ۱۴۳-۱۴۱۱۵

salehi@modares.ac.ir

چکیده- صفحات مستغرق سازه‌هایی هستند که در کف رودخانه با زاویه‌ای نسبت به جریان اصلی نصب شده و موجب ایجاد جریان ثانویه می‌شوند. صفحه‌ها برای انتقال رسوبات از مقابل دهانه آبگیر به کار می‌روند. پارامترهای هندسی صفحات بر الگوی جریان در اطراف آنها مؤثر است. حل عددی معادلات ناویر استوکس با استفاده از نرم‌افزار فلونتت برای جریان آشفته اطراف صفحات مستغرق در مقابل دهانه آبگیر در قوس 180° به‌منظور تعیین زاویه بهینه برخورد جریان با صفحات، ارتفاع بهینه آنها و محل نصب آخرین صفحه، هدف اصلی این مقاله است. نتایج مدل‌سازی با مشاهدات آزمایشگاهی صحت‌سنجی شده است. نتایج مدل‌سازی نشان می‌دهد که زاویه برخورد جریان با صفحات مستغرق برابر 20° ، نسبت ارتفاع صفحه به عمق جریان برابر 0.36 و وجود آخرین صفحه مستغرق در مقابل لبه پایین‌دست آبگیر، عملکرد بهتری را برای انحراف جریانهای پر رسوب نزدیک کف از مقابل دهانه آبگیر نتیجه می‌دهد.

کلید واژگان: صفحات مستغرق، قوس 180° ، آبگیر، زاویه بهینه، ارتفاع بهینه.

۱- مقدمه

مقابل دهانه آبگیر، عمیق کردن کانال برای کشتیرانی یا جلوگیری از فرسایش قوس خارجی در خم رودخانه به کار رود. اساس روش استفاده از صفحات مستغرق در کانال‌های منحنی شکل، بر اصول جریان در انحنای کانال‌ها استوار

صفحات مستغرق سازه‌هایی صفحه‌ای هستند که در کف رودخانه با زاویه‌ای نسبت به جریان اصلی نصب می‌شوند. عملکرد اصلی صفحه‌ها ایجاد جریان ثانویه است. لذا سیستم صفحه‌ها می‌تواند در انتقال رسوبات از

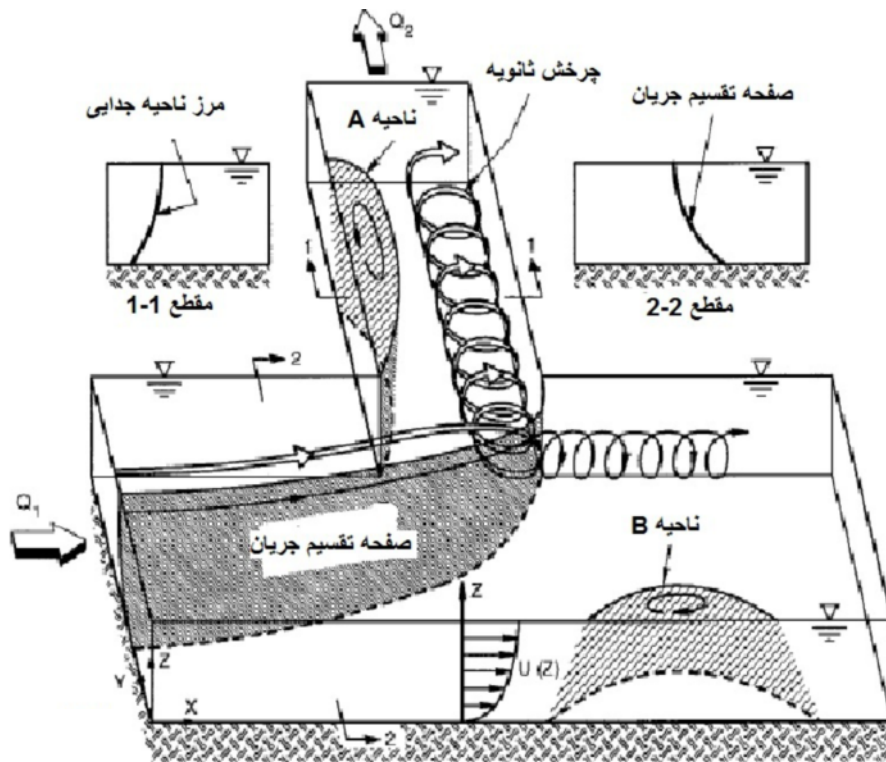
است. وقتی جریان به قوس وارد می‌شود سطح آب عمود بر برابند نیروهای ثقل و گریز از مرکز قرار می‌گیرد. از آنجا که نیروی گریز از مرکز با مربع سرعت جریان رابطه‌ای مستقیم دارد ($f \propto u^2/r$) و با توجه به اینکه پروفیل سرعت جریان از کف تا سطح غیریکنواخت است، لایه سطحی که سرعت بیشتری دارد به علت نیروی گریز از مرکز بیشتر به طرف قوس خارجی حرکت می‌کند و به علت پیوستگی محیط آب جریانی در جهت عکس جریان سطحی در کف برقرار می‌شود، به طوری که ذرات نزدیک کف به سمت قوس داخل حرکت می‌کنند. بدین ترتیب جریان ثانویه‌ای در قوس بوجود می‌آید و به دلیل 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 آبرگیری از رودخانه، مکش آبرگیر صفحه تقسیم جریانی مطابق شکل ۱ ایجاد می‌کند که مشابه قوس خارجی عمل کرده و جریان ثانویه‌ای در مقابل دهانه آبرگیر به وجود می‌آید. بدین ترتیب آبستنگی در مقابل ورودی آبرگیر رخ داده و رسوبها به داخل آبرگیر هدایت می‌شوند و رسوبگذاری در لبه بالایی آبرگیر رخ می‌دهد، قسمتی از دهانه آبرگیر مسدود شده و کارایی آبرگیری کاهش می‌یابد. با نصب صفحات مستغرق در مقابل دهانه آبرگیر، به علت برخورد جریان با صفحه و اختلاف فشار موجود در دو سمت صفحه، جریان ثانویه‌ای در خلاف جهت جریان ثانویه ناشی از آبرگیر ایجاد شده و علاوه بر فرسایش در مقابل دهانه آبرگیر، باعث انتقال رسوبها به داخل رودخانه اصلی شده و امکان آبرگیری بیشتر از جریان سطحی با مقدار رسوب کمتر فراهم می‌شود.

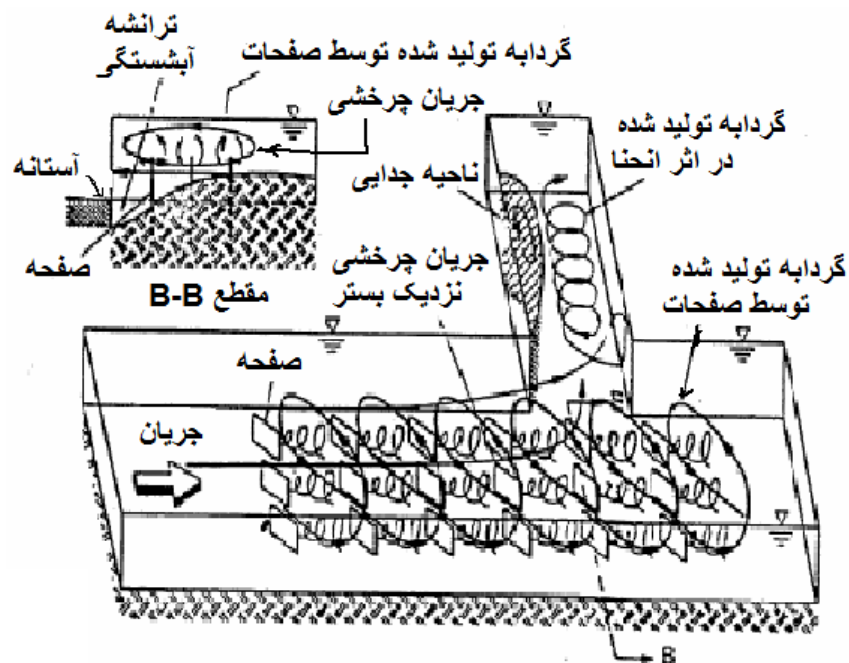
(Barkdoll et al, 1999).

از طرفی ابعاد کوچکتر، اجرای ساده‌تر و هزینه‌های اجرایی کمتر این سیستم در مقایسه با سایر روشهای کنترل رسوب، موجب کاربرد بیشتر آن در زمینه‌های مختلف شده است.

در چند دهه اخیر تحقیقات بسیاری از جمله Wang et al. (1996) در زمینه کاربرد سیستم صفحات، به صورت میدانی در جلوگیری از ورود رسوبها به آبرگیر جانبی، Neill and Evans (1997) در زمینه کاربرد ترکیب صفحات با سازه‌های دیگر به منظور جلوگیری از ورود رسوبها به آبرگیرهای جانبی در مسیرهای مستقیم، Barkdoll et al. (1999) در زمینه طراحی آرایش مناسب صفحات برای جلوگیری از ورود رسوبها به آبرگیرهای جانبی در مسیرهای مستقیم با بستر آبرفتی، Marelus and Sinha (2000, 1998) در زمینه تعیین زاویه بهینه برخورد جریان با صفحه و بررسی الگوی جریان حول صفحه در مسیر مستقیم با بستر متحرک به صورت عددی و آزمایشگاهی، Voisin and Townsend (2002) در زمینه تعیین ابعاد و آرایش بهینه صفحه‌ها در قوس 90° به منظور جلوگیری از فرسایش کنار خارجی قوس، Soon-Keat et al. (2005) در بررسی الگوی جریان حول صفحه طولانی در رودخانه‌های عریض با بستر متحرک، Gupta and Sharma (2007) در زمینه طراحی شکل هندسی مناسب صفحه برای عملکرد بهتر در جلوگیری از ورود رسوبها به آبرگیرهای جانبی در خم رودخانه‌های آبرفتی انجام شده است. منتصری (۱۳۸۷) به بررسی تأثیر آرایشهای مختلف صفحات مستغرق در جلوگیری از ورود رسوبها به آبرگیر جانبی در کانال قوسی 180° پرداخت.



الف- بدون صفحه مستغرق (Neary, 1999)



ب- با حضور سه ردیف صفحه مستغرق (Barkdoll, 1999)

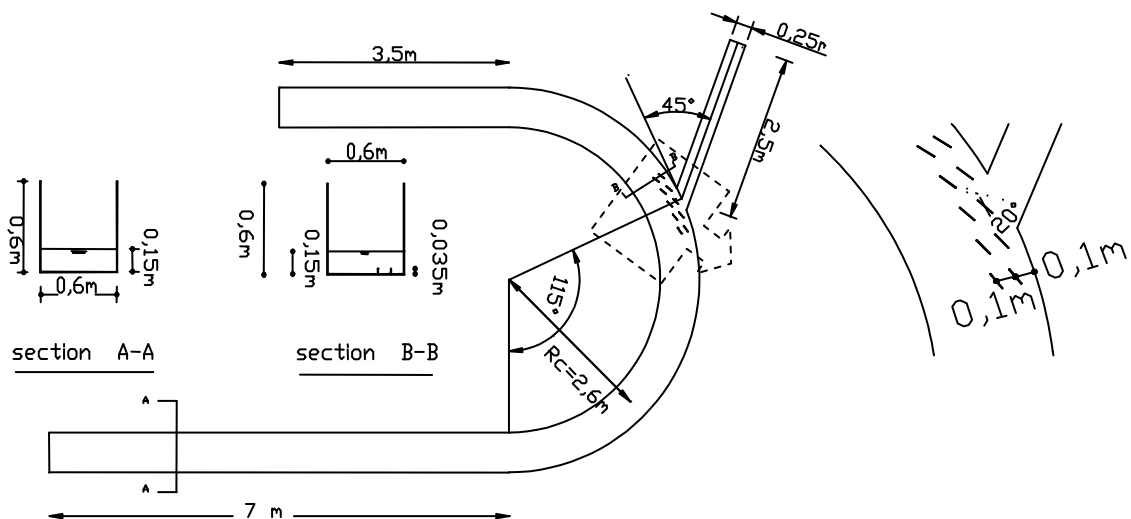
شکل ۱ الگوی جریان آبیگری از مسیر مستقیم

موقعیت 115° در قوس و زاویه آبگیری 45° که میزان آبگیری آن با دریچه‌ای کشویی در انتهای کانال آبگیر تنظیم می‌شود. لازم است ذکر شود که ابعاد انتخاب شده در این تحقیق دقیقاً مطابق با ابعاد بکار رفته در مدل آزمایشگاهی منتصری (۱۳۸۷) است. در داخل کانال قوسی و در مقابل دهانه آبگیر دو ردیف صفحه مستغرق، هر ردیف شامل پنج صفحه هر یک به طول $10/5\text{cm}$ و ارتفاع $3/5\text{cm}$ با ضخامت 3mm که با زاویه 20° نسبت به جهت غالب جریان در قوس، در کف کانال نصب شده است. فاصله عرضی دو صفحه مجاور برابر 10cm و فاصله طولی دو صفحه متوالی برابر 20cm است. اولین ردیف صفحه‌ها با فاصله 10cm از دیوار خارجی قوس نصب شده است. صفحه‌ها از مقطع 105° در قوس شروع شده و با رعایت فواصل مذکور در مقطع 125° به پایان رسیده است. شکل ۲ مشخصات هندسی میدان حل را نشان می‌دهد. در جدول ۱ مشخصات هیدرولیکی میدان جریان ارائه شده که مطابق آن جریان آشفته زیر بحرانی در کانال برقرار است.

تعیین ابعاد بهینه صفحات مستغرق منجر به کاربرد بهتر این سیستم کارآمد در کنترل ورود رسوبها به آبگیرهای جانبی خواهد شد. در این مقاله سعی بر آن است با شبه‌سازی عددی الگوی جریان اطراف صفحات مستغرق نصب شده در بستر صلب تخت و بدون رسوب کانال قوسی 180° با آبگیر و صحت‌سنجی نتایج مدل عددی با داده‌های آزمایشگاهی، زاویه بهینه برخورد جریان با صفحات مستغرق، نسبت بهینه ارتفاع صفحات مستغرق به عمق جریان و محل نصب آخرین صفحه، برای آرایشی خاص در مقابل دهانه آبگیر در قوس 180° تعیین شود.

۲- مشخصات میدان حل

مطالعه حاضر بر اساس کار آزمایشگاهی منتصری (۱۳۸۷) پی‌ریزی شده است. میدان حل عبارت است از کانال قوسی 180° با مقطعی به ابعاد $60\text{cm} \times 60\text{cm}$ و شعاع متوسط برابر $2/6\text{m}$ ، دو کانال مستقیم با مقطعی مشابه مقطع کانال قوسی، به طول 7m و $3/5\text{m}$ به ترتیب در ابتدا و انتهای قوس، با آبگیر به ابعاد مقطع $25\text{cm} \times 30\text{cm}$ در



شکل ۲ مشخصات هندسی میدان حل قوس 180° با دو ردیف صفحه در مقابل دهانه آبگیر

جدول ۱ مشخصات هیدرولیکی میدان جریان

مشخصات هیدرولیکی	عمق جریان (cm)	سرعت (m/s)	عدد رینولدز	عدد فرود
میدان جریان	۱۵	۰/۴۵	۶۳۸۴۰	۰/۳۷

۳- قوانین و معادلات حاکم بر میدان جریان

قوانین حاکم عبارتند از قانون بقای جرم و بقای ممتنم که در حالت جریان آشفتنه و به صورت متوسط گیری شده در زمان، معادلات پیوستگی (۱) و رینولدز (۲) از آنها استخراج می شود:

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

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

در این روابط μ لزجت دینامیکی سیال، ρ جرم مخصوص سیال، x_i محور مختصات و t بعد زمان است. جملات $-\rho u'_i u'_j$ به عنوان تنشهای رینولدز شناخته می شوند. این معادلات شامل چهار مجهول مؤلفه های سرعت در سه جهت (u_i) و فشار (p) است. از طرفی معادله ممتنم حاوی شش مؤلفه مجهول تنش رینولدز است، لذا سیستم معادلات فوق بسته نیست و باید با استفاده از مدل آشفتگی مناسب، تنشهای رینولدز محاسبه شوند. در این مقاله از مدل آشفتگی RSM استفاده شده است. این مدل شش معادله انتقال برای شش مؤلفه تنش رینولدز (معادله ۳) و یک معادله انتقال برای نرخ استهلاك انرژی جنبشی (ε) حل می کند (معادله ۴).

$$\begin{aligned} \frac{D u'_i u'_j}{Dt} = & -u'_i u'_k \frac{\partial u_j}{\partial u_k} - u'_j u'_k \frac{\partial u_i}{\partial u_k} - \\ & \frac{2}{3} \delta_{ij} \varepsilon - 1.44 \frac{\varepsilon}{k} (u'_i u'_j - \frac{2}{3} \delta_{ij} k) \\ & - 0.6_1 (p_{ij} - \frac{2}{3} p_k \delta_{ij}) + \\ & 0.22 \frac{\partial}{\partial x_k} \left(\frac{k}{\varepsilon} u'_i u'_k \frac{\partial u'_j}{\partial x_i} \right) \end{aligned} \quad (3)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho \varepsilon) + \text{div}(\rho \bar{u} \varepsilon) = \text{div} \left(\frac{\nu_t}{0.5} \text{grad} \varepsilon \right) + \quad (4)$$

$$1.44 \frac{\varepsilon}{k} \nu_t \left[\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right] \frac{\partial u_i}{\partial x_j} - 1.92 \rho \frac{\varepsilon^2}{k}$$

در روابط فوق k انرژی جنبشی آشفتگی، δ_{ij} دلتای کرونکر، P_{ij} نرخ تولید تنش آشفتگی و P_k نرخ تولید k می باشد.

۴- معرفی نرم افزار و تنظیمات مدل عددی

همان طور که گفته شد برای حل معادلات از نرم افزار تحلیل جریان فلونت (نسخه ۶/۰/۱۲) استفاده شده است. فلونت کل میدان جریان را به صورت حجم های کنترل مجزا در نظر می گیرد، از معادلات حاکم بر جریان سیال روی هر حجم کنترل انتگرال گرفته، با استفاده از طرح های مختلف انفصال معادلات مانند آپویند، کوئیک و غیره که توسط کاربر تعیین می شود، معادلات جبری منفصل شده را تعیین و با استفاده از الگوریتم های مختلف از جمله سیمپل و پیزو، معادلات وابسته را تا رسیدن به مرحله همگرایی حل می کند. به منظور تهیه هندسه میدان جریان، شبکه بندی آن و تخصیص انواع شرایط مرزی از نرم افزار پیش پردازنده گمبیت (نسخه ۲) استفاده شده است. در این مقاله از طرح پیشروی مرتبه دوم^۱ برای انفصال جملات جابه جایی معادلات و الگوریتم سیمپل برای کوپل کردن سرعت و فشار استفاده شده است.

۴-۱- شرایط مرزی

در ورودی میدان جریان از شرط مرزی سرعت ورودی

1. Second order upwind

استفاده شده است. کانال مستقیم و طولانی بالادست قوس شرایط لازم را برای توسعه یافتن جریان ورودی به قوس فراهم خواهد کرد. برای محاسبه پارامترهای آشفتگی در ورودی میدان، قطر هیدرولیکی و شدت آشفتگی به ترتیب برابر ۰/۱۵ متر و ۰/۳ به مدل اعمال شده است.

برای شبه‌سازی سطح آزاد به روش سطح صلب^۱ از شرط مرزی تقارن برای سطح آزاد استفاده شده، عمق آب در کل میدان جریان برابر مقدار ثابت ۱۵cm در نظر گرفته شده و معادلات به صورت مستقل از زمان حل می‌شوند و تنش برشی و شار تمامی کمیتها در این سطح برابر صفر در نظر گرفته می‌شود. با این فرض از تغییرات سطح آب صرف‌نظر نمی‌شود، بلکه اثر آن به‌طور غیرمستقیم به معادلات وارد می‌شود (Leschziner and Rodi, 1979).

(لازم است ذکر شود که اولین مدل با روش VOF^۲ نیز اجرا شده است). برای اطلاعات بیشتر در باره علت انتخاب شرط مرزی تقارن برای سطح، به رستم‌آبادی (۱۳۸۶) مراجعه کنید. در خروجی کانالها با توجه به طول ۲/۵ متری کانال آبگیر و طول ۳/۵ متری کانال مستقیم پس از قوس، از شرط مرزی جریان خروجی استفاده شده، لذا تغییر مشخصات جریان در جهت عمود بر این مرزها برابر صفر خواهد شد. برای مرزهای صلب و دریچه انتهایی آبگیر از شرط مرزی دیوار استفاده شده است. تمامی سطوح صفحه‌ها نیز به‌عنوان مرز دیوار در نظر گرفته شده، لذا فضای داخلی صفحات جزو میدان حل نیست.

جهت عمود بر دیوار است. مدل آشفتگی RSM از روش تابع دیوار برای در نظر گرفتن اثر دیوار استفاده می‌کند. بدین ترتیب ناحیه زیر لایه لزج حل نمی‌شود و از فرض رابطه خطی تنش کرنش استفاده می‌کند. لذا فاصله اولین گره در راستای عمود بر دیوار به شرح زیر تعیین می‌شود (Celik, 1999):

$$\text{الف: تعیین ضریب اصطکاک پوسته‌ای } \left(\frac{c_f}{2}\right) \text{ بر اساس رابطه زیر:}$$

$$\frac{c_f}{2} \approx 0.0359 \text{Re}^{-1/2} = 0.039 \quad (5)$$

که Re عدد رینولدز می‌باشد.

ب: تعیین سرعت برشی u_τ با استفاده از رابطه زیر:

$$u_\tau = \sqrt{\frac{\tau_w}{\rho}} = U_e \sqrt{\frac{c_f}{2}} = 0.026 \text{ m/sec} \quad (6)$$

ج: فاصله اولین گره در جهت عمود بر دیوار (y_1) از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$y_1 = 5.0 \frac{u}{u_\tau} = 1/87 \times 10^{-3} \text{ (m)} \quad (7)$$

با توجه به y_1 محاسبه شده شبکه‌بندی میدان حل طوری تنظیم شده که در نواحی نزدیک دیوارها و در مقابل دهانه آبگیر از شبکه ریز و در سایر نواحی از شبکه درشت‌تر با رعایت حداکثر نسبت طول دو سلول مجاور معادل ۱/۲ استفاده شود. در نتیجه شبکه‌ای با ۴۵۹۹۵۲ گره تولید شده است. در روابط فوق u لزجت سینماتیکی سیال است.

شکل ۳ قسمتی از شبکه‌بندی میدان جریان را نشان می‌دهد.

۵- صحت‌سنجی مدل عددی

به‌منظور بررسی صحت نتایج مدل عددی، پروفیل سرعت و الگوی جریان چرخشی پیش‌بینی شده با داده‌های آزمایشگاهی مقایسه شده است. همان‌طور که شکل ۴

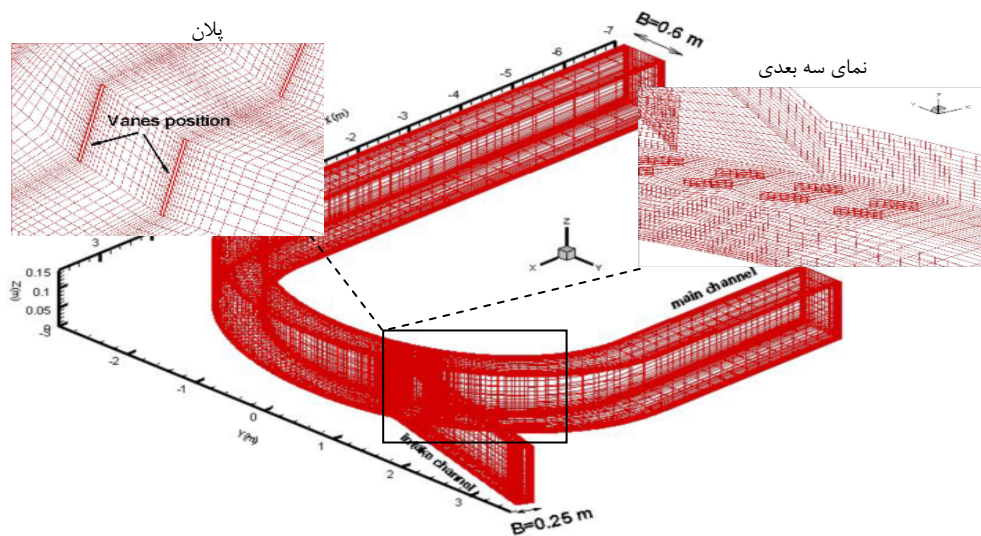
۴-۲- شبکه‌بندی میدان جریان

نکته مهم در شرط مرزی دیوار، تنظیم فاصله اولین گره در

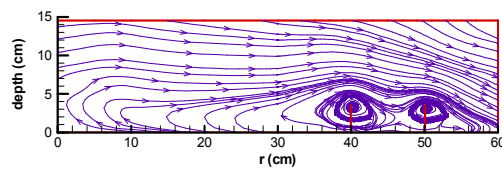
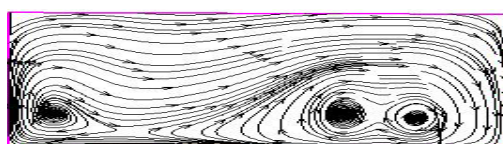
1. Rigid lid
2. Volume of fluid

۱۲۵° به تدریج از قدرت آن کاسته می‌شود. در مقاطع مختلف مدل عددی مانند مدل آزمایشگاهی جریانهای چرخشی حول صفحات و نیز جریان ثانویه در قوس را پیش‌بینی کرده است.

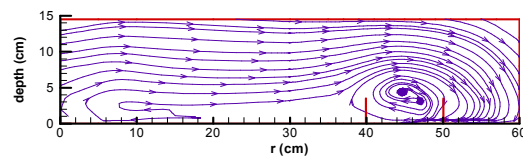
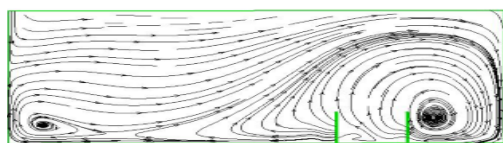
نشان می‌دهد الگوی جریان در اطراف صفحات مستغرق در قوس شامل جریان ثانویه‌ای در اطراف هر صفحه است. در مقطع ۱۰۸° دو هسته چرخشی در اطراف صفحات شکل گرفته است. در مقطع ۱۱۹° این دو هسته با هم ترکیب شده و در مقطع



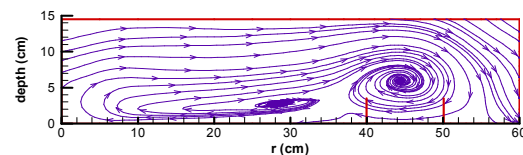
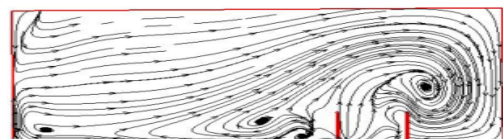
شکل ۳ شبکه بندی میدان جریان



الف - مقطع ۱۰۸°



ب - مقطع ۱۱۹°



ج - مقطع ۱۲۵°

شکل ۴ مقایسه جریانهای چرخشی مدل فلوئنت (سمت چپ) و مدل آزمایشگاهی متصیری (۱۳۸۷) (سمت راست) در مقاطع عرضی مختلف

مجزایی ساخته شده، شبه‌سازی شده و الگوی جریان در آنها بررسی شده است.

۶-۱- تغییر زاویه نصب صفحه در کانال

یکی از پارامترهای مؤثر بر الگوی جریان در اطراف صفحه‌ها، زاویه برخورد جریان با صفحه است. به علت وجود جریان ثانویه در قوس، زاویه برخورد جریان کف با صفحه، با زاویه نصب صفحه در کانال متفاوت است. به منظور بررسی تأثیر زاویه نصب صفحه بر الگوی جریان، با ثابت نگهداشتن سایر پارامترهای هندسی سیستم صفحه‌ها، پنج زاویه 6° ، 14° ، 20° ، 24° و 30° برای نصب صفحه در نظر گرفته شده و مدل مربوط به هر یک ساخته و اجرا شده است. روند مدل‌سازی مشابه آنچه در قسمت‌های قبل بیان شد، در نظر گرفته شده است. زمان اجرای هر مدل با سیستم پنتیوم ۴، حدود ۷ ساعت تا رسیدن به دقت از مرتبه 10^{-7} بوده است. قدرت جریان ثانویه به عنوان معیاری کمی برای بررسی تأثیر این پارامتر بر الگوی جریان در نظر گرفته شده است. قدرت جریان ثانویه از رابطه زیر در مختصات استوانه‌ای تعیین می‌شود (Daily, 1973):

$$\omega_\theta = \frac{1}{r} \left(\frac{\partial v_r}{\partial z} - \frac{\partial v_z}{\partial r} \right) \quad (8)$$

شکل ۶ مقدار متوسط قدرت جریان ثانویه را در مقاطعی به فاصله ۱۰ درجه در طول قوس به‌ازای تغییر زاویه نصب صفحه نشان می‌دهد. مطابق این شکل، در مقاطع قبل از آبگیر مانند قوس بدون صفحه، نمودار حالت سهموی دارد (با حداکثر مقدار در مقطع 60°). نمودار تا رأس قوس در همه حالات یکسان است. به‌ازای زاویه 6° (از آنجا که مرکز اولین صفحه بر شعاع مقطع 106° درجه مماس است، لذا زاویه 10° با افق می‌سازد)، در طول اولین صفحه، قدرت جریان ثانویه کاهش یافته و این نشان دهنده وجود جریان ثانویه در خلاف جهت جریان ثانویه قوس است.

پروفیل سرعت عددی و آزمایشگاهی مقاطع مختلف عرضی به فاصله شعاعی ۱۰، ۳۰، ۴۵ و ۵۳ سانتی‌متر از لبه داخلی قوس در شکل ۵-الف و در یک مقطع ارتفاعی در تراز ۱۲ سانتی‌متری از کف در شکل ۵-ب نشان داده شده است. مقادیر سرعت ارائه شده مربوط به سرعت کل یعنی ریشه مجذور مؤلفه‌های سرعت در سه جهت اصلی است.

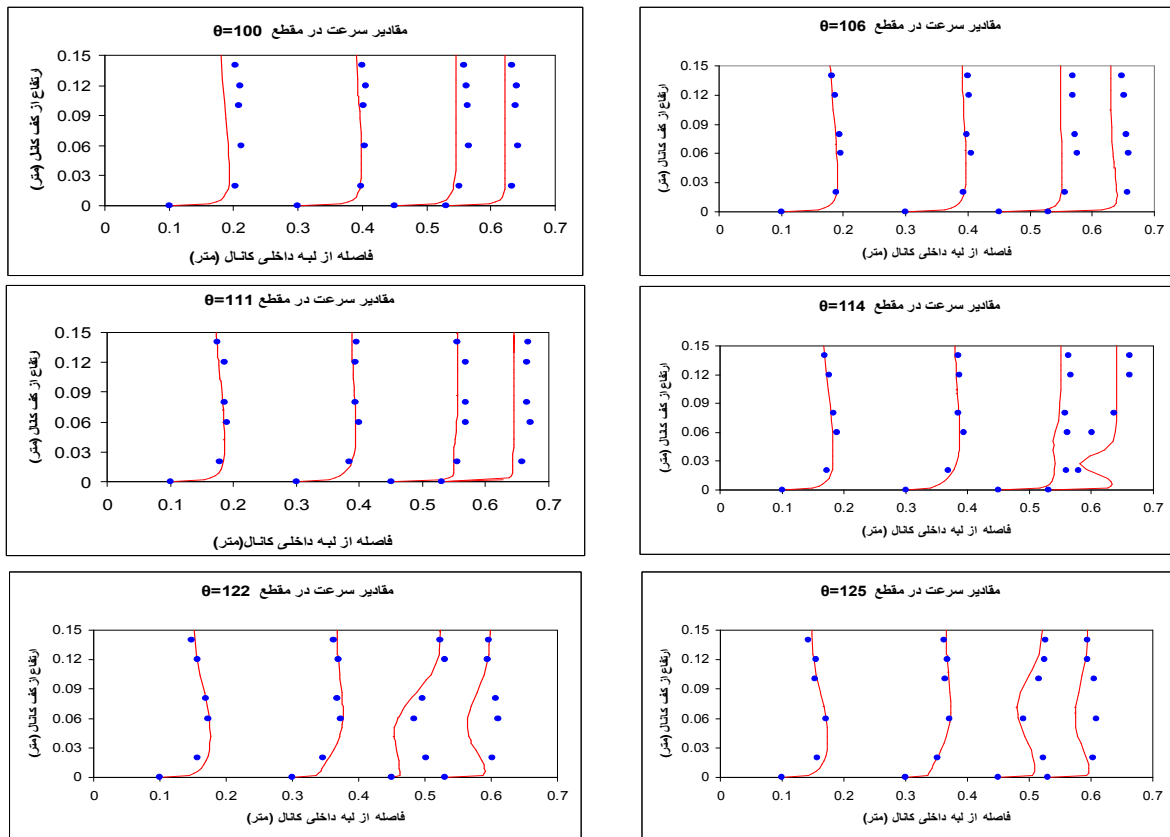
مقادیر سرعت آزمایشگاهی با دستگاه سرعت‌سنج سه‌بعدی و کترینو^۱ برداشت شده است. این دستگاه نمونه جدید سرعت‌سنج‌های ADV است (از ارائه جزئیات مربوط به دستگاه اندازه‌گیری سرعت خودداری شده است. علاقه‌مندان برای آگاهی بیشتر به منتصری (۱۳۸۷) مراجعه کنند).

همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود پروفیل سرعت پیش‌بینی شده در مدل عددی همان روند داده‌های آزمایشگاهی را دارد. میانگین خطای مقادیر سرعت پیش‌بینی شده در مدل عددی با داده‌های آزمایشگاهی به صورت متوسط‌گیری شده در عمق $3/25\%$ و در تراز ۱۲ سانتی‌متری از کف (شکل ۵-ب) $6/39\%$ بوده است. با توجه به موارد فوق می‌توان به نتایج مدل عددی اطمینان کرد.

۶- مطالعات پارامتری

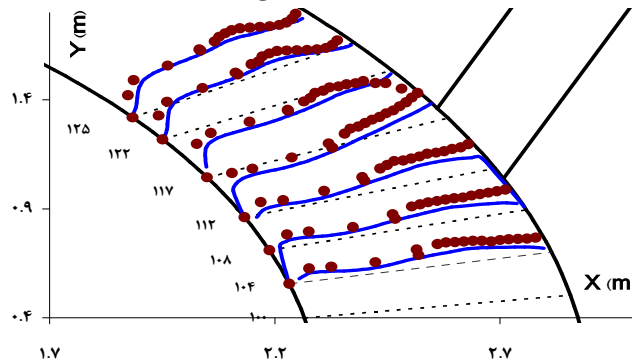
پارامترهای هندسی از جمله ارتفاع و طول صفحه، زاویه برخورد جریان با صفحه، فاصله صفحه از لبه خارجی کانال و فاصله طولی و عرضی صفحه‌ها از هم، بر الگوی جریان در اطراف صفحه مؤثر است. در این مقاله تأثیر پارامترهای ارتفاع صفحه و زاویه برخورد جریان با صفحه، بررسی شده است. بدین منظور، با تغییر پارامتر مورد نظر و ثابت نگهداشتن سایر پارامترها، مدل‌های

1. Vectrino



0.45 m/sec
0 1

الف- مقایسه پروفیل سرعت در مقاطع عرضی مختلف



ب- مقایسه پروفیل سرعت در ترازی ۱۲ سانتی متری از کف (از مقطع $\theta=100^\circ$ تا مقطع $\theta=125^\circ$)
 نتایج آزمایشگاهی (منتصری، ۲۰۰۸) نتایج عددی

شکل ۵ صحت‌سنجی نتایج مدل فلونت در مقاطع مختلف قوس

است)، لذا زاویه لایه زیرین جریان با افق بیش از 16° است. پس اولین صفحه باید با زاویه ای بیش از 16° با افق در کف

جهت کلی لایه میانی جریان در محل اولین صفحه، 16° با افق است (مرکز صفحه در موقعیت 106° در قوس واقع

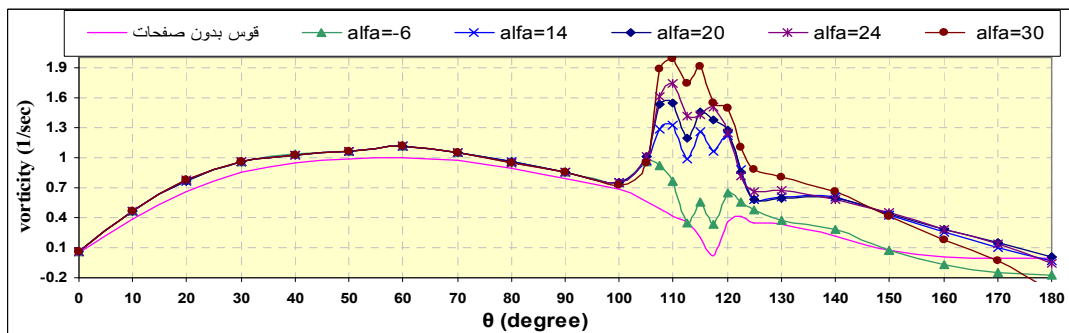
است. لذا تنشهای برشی و خطوط جریان نیز در تمامی حالات بررسی شده است. مقایسه تنشهای برشی در شکل ۷ نشان می‌دهد که در حالت $\alpha = 14^\circ$ تنشهای برشی در مقابل دهانه آبگیر کمتر از حالت 20° است. همچنین ناحیه با تنش برشی صفر، از پشت صفحه نصب شده در مقابل مرکز آبگیر شروع شده که محل محتمل برای رسوبگذاری است. در حالت 20° ، ناحیه با تنش برشی صفر از لبه پایین دست آبگیر شروع می‌شود. همچنین در این حالت یک ناحیه پرتنش در مقابل دهانه آبگیر وجود دارد که در بسترهای آبرفتی باعث ایجاد حفره آبستنگی شده و آبگیری در مواقع کم‌آبی را میسر می‌سازد. در حالت $\alpha = 24^\circ$ تنش برشی در ناحیه پرتنش، نسبت به حالت $\alpha = 20^\circ$ کمتر است. برای این حالت و زاویه 30° ، ناحیه با تنش برشی صفر در نزدیکی مرکز دهانه آبگیر شروع می‌شود.

بررسی خطوط جریان در فاصله ۱۵ سانتی‌متری از لبه خارجی کانال در شکل ۸ نشان می‌دهد که به‌ازای زاویه 30° ، بر اثر برخورد جریان با صفحه، یک جریان گردابی در مقابل دهانه آبگیر رخ می‌دهد که منجر به کاهش قدرت جریان ثانویه شده و می‌تواند عامل تجمع رسوب در آن منطقه باشد.

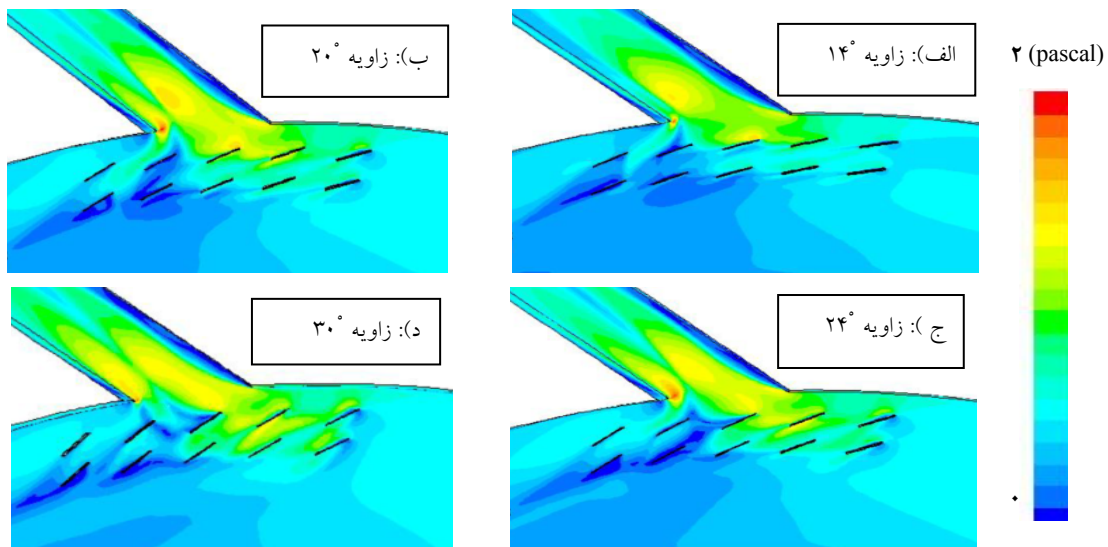
کانال نصب شود تا جریان ثانویه حول صفحه، در جهت جریان ثانویه قوس تشکیل شود. برای سایر حالتها، با برخورد جریان با اولین صفحه، قدرت جریان ثانویه افزایش یافته، اما شیب صعود آن با افزایش زاویه بیشتر شده و تا دهانه آبگیر این روند ادامه دارد.

با عبور جریان از روی ردیف دوم صفحه‌ها و ورود جریان به آبگیر، قدرت جریان ثانویه افت می‌کند. شیب نزولی به‌ازای زاویه 30° کمتر است که این نشان دهنده قدرت بیشتر جریان ثانویه در اطراف آن نسبت به سایر حالات است.

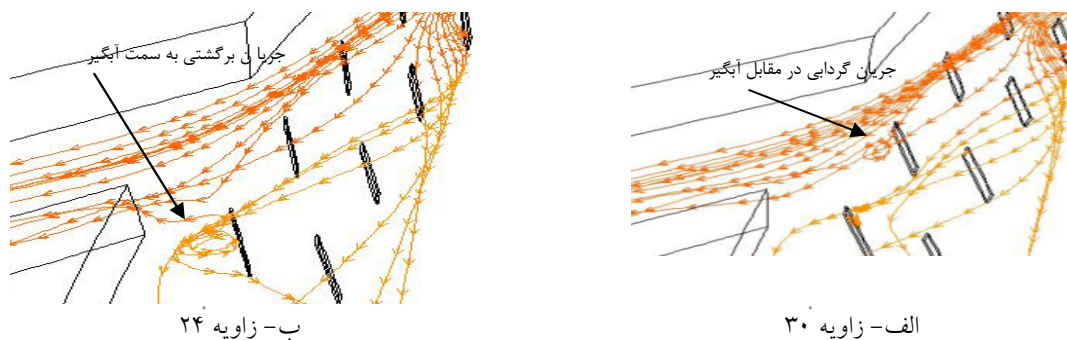
با برخورد به ردیف سوم صفحه‌ها، قدرت جریان ثانویه افزایش می‌یابد، اما در این حالت شیب صعود آن به‌ازای زاویه 20° بیشتر است. از این پس قدرت جریان ثانویه سیر نزولی دارد و شیب نزول آن به‌ازای زاویه 30° از همه بیشتر و به‌ازای زاویه 20° از همه کمتر است. پس از آبگیر، روند حالات مختلف یکسان است. البته نمی‌توان مقدار بهینه هر پارامتر را منوط به داشتن حداکثر قدرت جریان ثانویه دانست، زیرا ممکن است قدرت جریان ثانویه زیاد در بسترهای آبرفتی به دلیل تنشهای برشی زیاد، موجب ناپایداری سازه صفحه شود. از طرفی توجه به جریانهای برگشتی به سمت آبگیر، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار



شکل ۶ قدرت جریان ثانویه در مقاطع مختلف قوس در حالت‌های قوس بدون صفحه و قوس با صفحه با زاویه متغیر



شکل ۷ مقایسه تنشهای برشی به ازای برخورد جریان با صفحه در زوایای مختلف



شکل ۸ خطوط جریان در فاصله ۱۵ سانتی متری از لبه خارجی کانال در دو حالت زاویه برخورد جریان با صفحه ۲۴° و ۳۰°

رسوبها به آبگیر و الگوی جریان، زاویه ۲۰° را بهترین زاویه در کنترل رسوب ورودی به آبگیر پیشنهاد کرده است.

۶-۲- تغییر ارتفاع صفحه

نسبت ارتفاع صفحه به عمق جریان پارامتر مؤثری بر الگوی جریان است. محققان مختلف نسبت ارتفاع صفحه به عمق جریان را به ۰/۵ محدود کرده‌اند. در این مقاله سه مقدار ۰/۴۸، ۰/۳۶ و ۰/۲۳ برای نسبت H/d (H: ارتفاع

به ازای زاویه ۲۴° نیز جریان گردابی برگشتی به سمت آبگیر در لبه پایین دست آبگیر شکل می‌گیرد که در بسترهای آبرفتی عامل انتقال رسوب به سمت دهانه آبگیر است. این مورد در حالات ۱۴° و ۲۰° مشاهده نشده است. با توجه به موارد فوق، نتایج مدل عددی، زاویه برخورد جریان با صفحه معادل ۲۰° را دارای عملکرد بهتری معرفی می‌کند.

منتصری (۱۳۸۷) در طی آزمایشهایی با زوایای ۱۰°، ۲۰°، ۳۰°، ۴۰° و ۵۰° درجه و مطالعه تأثیر این پارامتر بر ورود

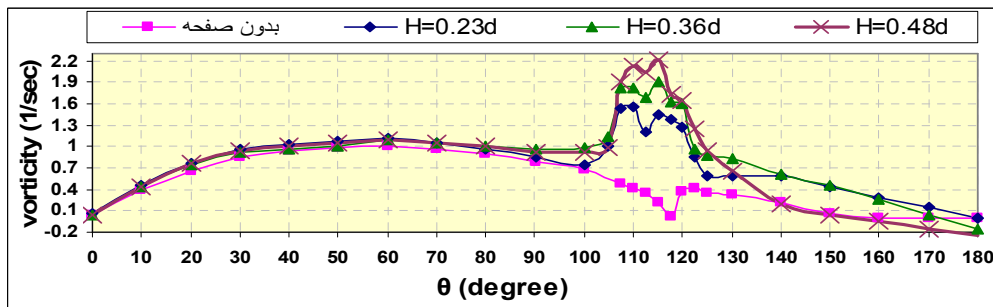
متوسط، جریان ثانویه حول صفحه شکل گرفته و قدرت جریان ثانویه در قوس را تشدید می‌کند.

در شکل ۱۰ در مقطع $\theta = 100^\circ$ خطوط جریان در فاصله شعاعی ۱۵ cm از لبه خارجی قوس در دو حالت $H/d=0/36$ و $H/d=0/48$ نشان داده شده است. با بررسی این شکل و شکلهای مشابه در فواصل شعاعی دیگر (که برای اختصار از ارائه آنها خودداری شده) می‌توان به نتایج ذیل دست یافت:

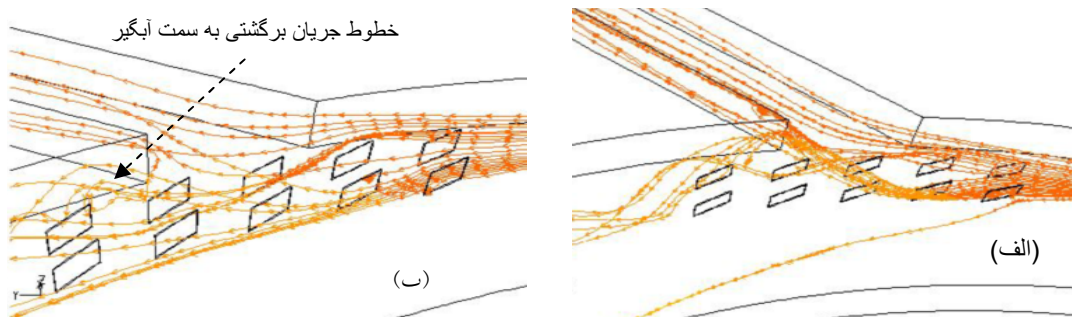
- صفحه‌ها لایه جریان هم‌ارتفاع خود را به سمت مرکز کانال هدایت می‌کنند، لذا ارتفاع زیاد صفحه باعث کاهش مقدار آبیگری می‌شود.
- در حالت $H/d=0/48$ ، بخشی از جریان کف پس از آبیگر، بر اثر برخورد با صفحه، به سمت آبیگر برگشته و می‌تواند عامل انتقال رسوب به آبیگر در بسترهای آبرفتی شود. این مورد در حالت ارتفاع کم و متوسط مشاهده نشده است.
- مقایسه تنشهای برشی کف کانال در شکل ۱۱، نشان‌دهنده وجود ناحیه بسیار کم‌تنش گسترده‌تری، در حالت ارتفاع زیاد نسبت به ارتفاع متوسط است. با توجه به نکات فوق می‌توان نتیجه گرفت که صفحه با نسبت ارتفاع به عمق جریان $0/36$ عملکرد بهتری نسبت به دو مقدار دیگر دارد.
- منتصری (۱۳۸۷) آزمایشهایی را با سه نسبت ارتفاع به عمق جریان برابر $0/23$ ، $0/33$ و $0/5$ انجام داد و با مطالعه تأثیر این پارامتر بر الگوی جریان، نسبت دبی انحرافی و رسوبهای وارد شونده به آبیگر، مقدار $0/33$ را بهترین نسبت برای ارتفاع صفحات به عمق جریان به‌منظور کنترل رسوب ورودی به آبیگر جانبی در قوس 180° پیشنهاد کرده است. (Voisin and Townsend (2002) نسبت بهینه $H/d=0/35$ را در قوس 90° به‌منظور تثبیت جدار پیشنهاد کرده‌اند.

صفحه و d عمق جریان) در نظر گرفته شده و مدل مربوط به هریک با سایر مشخصات مشابه مدل‌های قبلی ساخته و اجرا شده است.

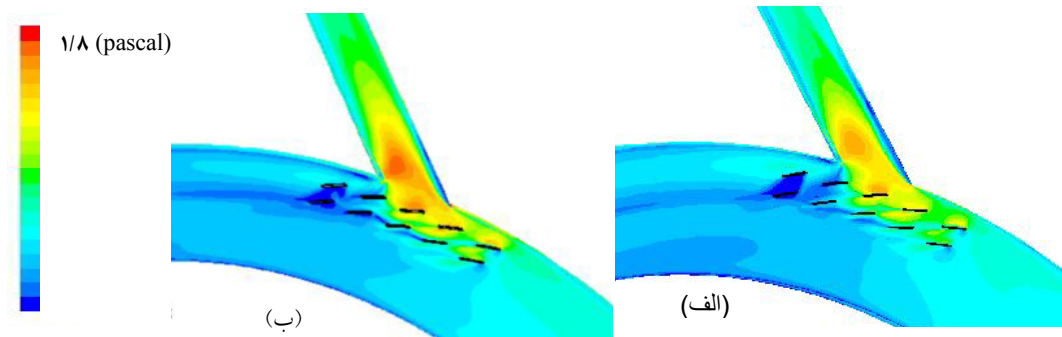
شکل ۹ قدرت جریان ثانویه را در کل قوس به‌ازای تغییر در ارتفاع صفحه نشان می‌دهد. مطابق این شکل در مقاطع قبل از آبیگر مانند قوس بدون صفحه، نمودار حالت سهموی دارد (با حداکثر مقدار در مقطع 60°). نمودار تا رأس قوس در همه حالات یکسان است. از این مقطع به بعد مدل‌های دارای صفحه روند یکسانی دارند. در هر سه حالت وجود صفحه، نمودار دارای دو مقدار حداکثر و یک مقدار حداقل در مقابل دهانه آبیگر است. مقدار حداقل در مقطع $122/5^\circ$ یعنی مقابل دهانه آبیگر است که صفحه‌ای در آنجا وجود ندارد و جریان ثانویه مقابل آبیگر از مقدار قدرت جریان ثانویه در اطراف صفحه‌ها می‌کاهد. مقادیر حداکثر در مقاطع 110° و 115° رخ می‌دهد. هرچه ارتفاع صفحه بیشتر باشد، مقدار حداکثر در مقطع 115° بیشتر و اثر کاهش آبیگر در مقطع $112/5^\circ$ کمتر است. اما در مقاطع قبل از آبیگر، مقدار قدرت جریان ثانویه به‌ازای $H/d=0/36$ از دو حالت دیگر بیشتر بوده و این نشان‌دهنده هدایت بیشتر جریان سطحی به سمت آبیگر است. پس از آبیگر تا مقطع 125° ، صفحه بلندتر جریان ثانویه قویتری را ایجاد کرده و از آن پس، به‌شدت افت می‌کند. اما از این مقطع به بعد مقدار قدرت جریان ثانویه به‌ازای $H/d=0/36$ از دو حالت دیگر بیشتر است. این اختلاف نشان می‌دهد که وقتی صفحه کوتاه است، جریان ثانویه در اطراف آن، جریان ثانویه پس از آبیگر را تقویت می‌کند. وقتی صفحه بسیار بلند است، مانند مانع عمل کرده و جریان با برخورد به آن، جریان ثانویه قوی را در پشت صفحه تشکیل می‌دهد و مانع صعود جریان به سمت سطح می‌شود، لذا با پایان یافتن صفحه‌ها، قدرت جریان ثانویه به‌شدت افت می‌کند. در حالت ارتفاع



شکل ۹ قدرت جریان ثانویه در مقاطع مختلف قوس در حالت‌های قوس بدون صفحه و قوس با صفحه با ارتفاع متغیر



شکل ۱۰ خطوط جریان در فاصله شعاعی ۱۵ cm از لبه خارجی کانال در حالت الف) $H/d = 0.36$ و ب) $H/d = 0.48$



شکل ۱۱ منحنی‌های هم‌تراز تنش برشی در حالت الف) $H/d = 0.36$ و ب) $H/d = 0.48$

جریان ثانویه به سمت لبه خارجی هدایت شده، در برخورد با کانال و انحراف به سمت کف، با آخرین ردیف صفحه‌ها برخورد کرده و بخشی از آن به سمت لبه داخلی و بخش دیگر، گاهی جریان‌هایی برگشتی را به سمت آبگیر ایجاد می‌کند. لذا به نظر می‌رسد که صفحه‌های پس از آبگیر نه تنها به عملکرد سیستم صفحه‌ها در کاهش ورود رسوبات به آبگیر کمک نمی‌کنند، بلکه می‌توانند عامل

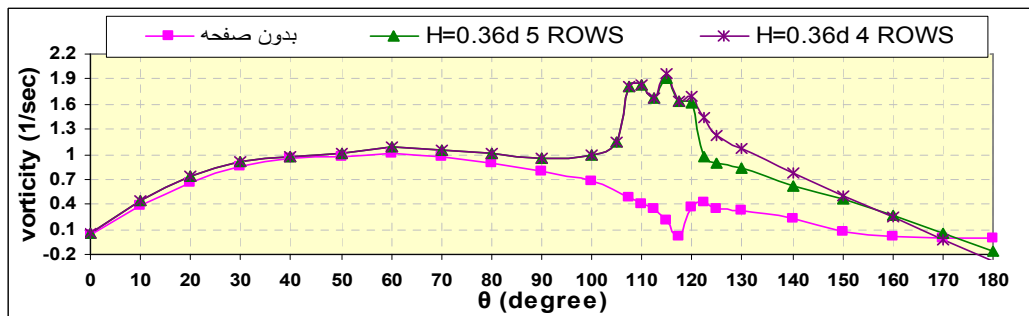
۳-۶- تعیین محل آخرین صفحه

بررسی منحنی‌های هم‌تراز تنش برشی، حاکی از وجود ناحیه‌ای با تنش برشی صفر در محدوده آخرین ردیف صفحه‌ها است. در واقع انحراف لایه زیرین جریان بالادست توسط صفحه‌ها، به سمت مرکز کانال، ناحیه کم‌سرعت و کم‌تنش را در این محدوده به وجود آورده است. از طرفی، لایه سطحی جریان نیز که تحت تأثیر

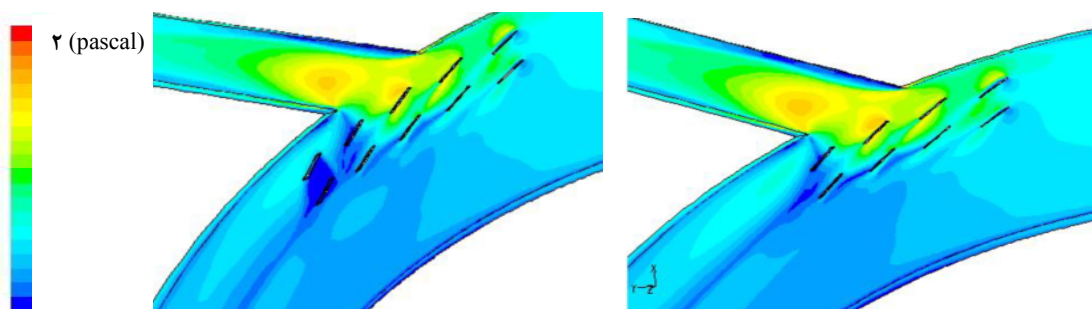
شکل ۱۳، تنشهای برشی را در دو حالت فوق نشان می‌دهد که مطابق آن ناحیه کم‌تنش در محدوده آخرین ردیف صفحه‌ها در حالت چهار ردیف صفحه از بین رفته است. از طرفی تنشهای برشی در لبه خارجی کانال اصلی در پایین‌دست آبگیر افزایش یافته و انتقال رسوبات به پایین‌دست کانال را فراهم می‌کند. لذا پایان یافتن صفحه‌ها در پایین‌دست آبگیر، به منظور جلوگیری از تجمع رسوب در مقاطع پس از آبگیر پیشنهاد می‌شود. وجود آخرین ردیف صفحه‌ها نیز در مقابل لبه پایین‌دست آبگیر به منظور جلوگیری از ورود جریانهای برگشتی به سمت آبگیر ضروری است.

تجمع رسوب در پایین‌دست آبگیر شده و مانع انتقال رسوبات به سمت پایین‌دست شوند. لذا آخرین ردیف صفحه‌ها برداشته شده و مدلی با چهار ردیف صفحه، زاویه 20° ، $H/d=0.36$ و سایر مشخصات مشابه مدل‌های قبلی ساخته شده و قدرت جریان ثانویه و تنش برشی کف با حالت ۵ ردیف صفحه مقایسه شده است.

شکل ۱۲ قدرت جریان ثانویه را در این حالت و در حالت وجود صفحه‌های پایین‌دست، با سایر مشخصات مشابه نشان می‌دهد. مطابق این شکل، تا انتهای آبگیر، دو نمودار یکسان هستند. پس از آبگیر، با برداشتن صفحه‌های پایین‌دست آبگیر، از افت شدید قدرت جریان ثانویه جلوگیری شده است.



شکل ۱۲ قدرت جریان ثانویه در مقاطع مختلف قوس در حالت‌های ۴ ردیف صفحه و ۵ ردیف صفحه



ب- ۵ ردیف صفحه

الف- ۴ ردیف صفحه

شکل ۱۳ مقایسه تنشهای برشی در دو حالت ۴ ردیف صفحه و ۵ ردیف صفحه

۷- نتیجه گیری

در این مقاله به منظور تعیین زاویه بهینه برخورد جریان با صفحات مستغرق در مقابل دهانه آبگیر درکانال قوسی 180° و تعیین نسبت ارتفاع بهینه صفحات به عمق جریان برای آرایش خاص، شبیه سازی الگوی جریان در اطراف صفحات مستغرق با استفاده از نرم افزار فلونت صورت گرفت. صحت سنجی نتایج مدل عددی با نتایج آزمایشگاهی حاکی از صحت عملکرد مدل عددی است. نتایج شبیه سازی نشان داد که زاویه برخورد جریان با صفحه معادل 20° و نسبت ارتفاع بهینه صفحات به عمق جریان برابر $0/36$ ، عملکرد بهتری در انحراف لایه های پر رسوب نزدیک کف از مقابل دهانه آبگیر دارد. همچنین پایان آخرین ردیف صفحات مستغرق در مقابل لبه پایین دست آبگیر پیشنهاد می شود.

ρ	جرم مخصوص سیال
U_e	سرعت متوسط جریان
μ	لزجت دینامیکی
τ_w	تنش برشی
ν	لزجت سینماتیکی
$\frac{C_f}{2}$	ضریب اصطکاک پوسته ای

۹- منابع

- رستم آبادی، م. (۱۳۸۶). "شبیه سازی عددی الگوی جریان حول صفحات مستغرق در قوس 180° درجه با آبگیر"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس.
- متصری، ح. (۱۳۸۷). "تأثیر آرایشهای مختلف صفحات مستغرق در کنترل رسوب ورودی به آبگیر جانبی در قوس 180° درجه"، رساله دکتری دانشگاه تربیت مدرس.
- Barkdoll, D., Ettema, R. and Odgaard, A. J. (1999). "Sediment control at lateral diversions: limits and enhancement to vane use", Journal of Hydraulic Engineering, 125(8), pp. 132-136.
- Celik, I. B. (1999). Introductory Turbulence Modeling. Western Virginia University.
- Daily, J. W. and Harleman, D.R.F. (1973). Fluid Dynamics, Addison-Westley Publishing Company.
- Fluent Inc. (2005). Fluent User's Guide.
- Gupta, P. and Sharma, N. (2007). "Performance evaluation of tapered vane", Journal of Hydraulic Research, 45(4), pp. 472-477.
- Leschziner, M. and Rodi, W. (1979). "Calculation of strongly curved open channel flow", Journal of the Hydraulic Division, 105(HY10), pp. 1299-1314.
- Marelius, F. and Sinha, K. (2000). "Analysis of flow past submerged vanes", Journal of Hydraulic Research, 38(1), pp. 65-71.
- Marelius, F., and Sinha, K. (1998).

۸- فهرست علائم

F	نیروی گریز از مرکز
u_τ	سرعت برشی
k	انرژی جنبشی آشفتگی
ε	نرخ استهلاک انرژی جنبشی آشفتگی
r	شعاع قوس
y_1	فاصله اولین گره در شبکه از دیوار
Re	عدد رینولدز
ω_θ	چرخش حول محور θ
u_i	مولفه سرعت در جهت i
α	زاویه نصب صفحات مستغرق
x_i	محور مختصات
H	ارتفاع صفحات
L	طول صفحات
p	فشار
d	عمق جریان

sediment motion around submerged vanes in open channel", *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering*, ASCE, 131(3), pp. 132-136.

Voisin, A. and Townsend, R. D. (2002). "Model testing of submerged vanes in strongly curved narrow channel bends", *Journal of Civil Engineering*, 29: pp. 37-49.

Wang, Y., Odgaard, A. J., Melville, W. and Subhash, C. (1996). "Sediment control at water intakes", *Journal of Hydraulic Engineering*, 122(6), pp. 353-356.

"Experimental investigation of flow past submerged vanes", *Journal of Hydraulic Engineering*, 124(5), pp. 542-546.

Neary, V. S., Sotiropoulos, F. and Odgaard, A. J. (1999). "Three-dimensional numerical model of lateral-intake inflows", *Journal of Hydraulic Engineering*, 125(2), pp. 126-140.

Neill, R. and Evans, J. (1997). "Sediment control at water intakes", *Journal of Hydraulic Engineering*, 123(7), pp. 670-671.

Soon-Keat, T., Guoliang, Y., Siow-Yong, L. and Muk-Chen, O. (2005). "Flow structure and