

شبیه‌سازی عددی سه بعدی الگوی جریان در حوضچه ترسیب اولیه با استفاده از مدل عددی SSIIM2

ادریس معروفی نیا^۱، عادل اثنی عشری^۲، یوسف حسن زاده^۳، سعید خوش طینت^۴، حسن احمدی^۵

۱- دانشجوی دکتری عمران-آب، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد مهاباد، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، مهاباد، ایران
(نویسنده مسئول) ۲۲۲۵۲۲۲ (۰۴۴۲) edris.marufyania1389@gamil.com

۲- دانش‌آموخته دکتری عمران-سازه‌های هیدرولیکی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد مهاباد، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، مهاباد، ایران

۳- استاد، دانشکده فنی و مهندسی عمران، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

۴- دانشجوی دکتری عمران-آب، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد رودهن، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، رودهن، ایران

۵- استادیار، گروه عمران، واحد رودهن، دانشگاه آزاد اسلامی، رودهن، ایران

(دریافت ۹۴/۵/۱۹ پذیرش ۹۴/۱۰/۲۸)

چکیده

حوضچه‌های پیش‌ته‌نشینی از اجزاء مهم و اصلی در فرایند تصفیه آب به شیوه متعارف به‌شمار می‌روند. به دلیل هزینه بسیار زیاد ساخت این حوضچه‌ها که در حدود ۳۰ درصد کل هزینه تصفیه‌خانه‌های آب را به خود اختصاص می‌دهد، مدل‌سازی و عملکرد بهینه حوضچه‌های ترسیب بسیار حائز اهمیت است. در حوضچه‌های ته‌نشینی و رسوب‌گذار به دلیل وجود گرادیان‌های سرعت متفاوت، نواحی مختلفی از جریان از جمله جریان‌ات چرخشی به‌وجود می‌آید. این پدیده باعث ایجاد اتصال کوتاه، افزایش نواحی مرده و تغییرات در میزان اختلاط می‌شود که ممانعت از ایجاد بستری آرام جهت رسوب‌گذاری نموده و بازده حوضچه را نیز کاهش می‌دهند. لذا همواره سعی می‌شود فضاهای مرده کاهش داده شود. اولین گام برای بهینه‌سازی حوضچه‌های پیش‌ته‌نشینی، محاسبه صحیح میدان سرعت و حجم نواحی چرخشی است. در این مقاله با به‌کارگیری نرم افزار SSIIM، حوضچه ساده و بافل دار کالسروده با مدل آشفتگی $k-\varepsilon$ استاندارد مدل‌سازی شده و نتایج آن با نتایج آزمایشگاهی مقایسه شد.

واژه‌های کلیدی: حوضچه ترسیب اولیه، نواحی جدایی جریان، هیدرولیک جریان، مدل عددی SSIIM2، مدل آشفتگی $k-\varepsilon$ استاندارد

۱- مقدمه

امام در سال ۱۹۸۳ به تحلیل معادلات حاکم بر حوضچه‌های ترسیب پرداخت. وی بر روی حوضچه‌های ته‌نشینی سارینا مطالعات آزمایشگاهی خود را انجام داد. مدل آزمایشگاهی وی در حوضچه ساده‌ای بدون مانع منحرف کننده جریان انجام شد. رودی و سلیک در سال ۱۹۸۵ از یک مدل ریاضی برای پیش‌بینی سرعت و میزان در تانک یا حوض ته‌نشینی از روش حجم محدود^۲ استفاده کردند [۴]. مک کوروکدیل و همکاران^۳ در ۱۹۸۸ در مدل آزمایشگاهی خود برای اندازه‌گیری سرعت جریان از لیزر داپلر^۴ استفاده کردند. آزمایش‌های تجربی آن‌ها به صورت منبعی برای محققان مورد توجه قرار گرفت [۵]. رودی و لین^۵ در سال ۱۹۹۰ در مدل‌سازی حوضچه‌های ترسیب از مدل استاندارد آشفتگی $k-\varepsilon$ و روش احجام محدود، برای حل

نیروی ثقل یکی از روش‌های مرسوم در فرایند تصفیه آب و فاضلاب بوده که به کمک آن ذرات معلق و مواد زاید به‌وسیله ته‌نشینی از آب جدا می‌شود. کاربرد حوضچه‌های ته‌نشینی، در تصفیه‌خانه‌ها می‌باشد و در کانال‌های آبیاری برای جلوگیری از رسوب در طول مسیر از این حوضچه‌ها استفاده می‌شود [۱ و ۲]. لذا انجام تحقیقات در مورد شناخت عملکرد حوضچه‌ها، مدل‌سازی جریان آنها و سپس بهینه‌سازی عملکرد آنها لازم و مقرون به صرفه است. دابینز^۱ در سال ۱۹۴۴ به بررسی نقش آشفتگی در عملکرد حوضچه‌های ته‌نشینی پرداخت و با مدل آزمایشگاهی خود توانست نتایج اولیه مناسبی را به‌دست آورد. وی در یک مطالعه تحلیلی و تجربی، ته‌نشینی ذرات مستقل از هم با اندازه‌های یکنواخت را در جریانی که آشفتگی در آن کاملاً توسعه یافته بود ملاحظه کرد [۳].

² Finite-Volume

³ Mae Krocodile et al.

⁴ Laser Doppler

⁵ Rodi and Lyn

¹ Dobbinz

ترسیب اولیه با استفاده از مدل عددی SSIIM2 و مدل آشفتگی $k-\epsilon$ استاندارد مورد بررسی قرار گرفته است. پروفیل‌های سرعت جریان در مقاطع مختلف حوضچه ترسیب به صورت عددی شبیه‌سازی شده و با نتایج آزمایشگاهی مقایسه شده است که مقایسه این نتایج مطابقت خوبی را بین آنها نشان می‌دهد. پس از صحت‌سنجی مدل عددی، به منظور بهینه ساختن عملکرد حوضچه‌های ترسیب با قرار دادن یک دیواره هدایت‌کننده جریان (بافل)، سعی در اصلاح هندسه حوضچه داشته و تأثیر قرارگیری این بافل‌ها بر روی نواحی چرخشی ایجاد شده در حوضچه مورد بررسی قرار گرفت.

۲- روش مطالعه

نرم افزار SSIIM2 ابتدا به منظور شبیه‌سازی رسوب در آبگیرها و برای مهندسی رسوب، هیدرولیک، محیط زیست و رودخانه طراحی شد. سپس با توسعه این مدل، در زمینه‌های دیگر از قبیل شبیه‌سازی رسوب در حوضچه‌های ترسیب مورد استفاده قرار گرفت. این نرم‌افزار بر مبنای رویکرد حجم محدود با شبکه سازمان یافته سه بعدی طراحی شده و در آن معادلات ناویر استوکس و معادلات انتقال و انتشار برای حمل رسوب با الگوریتم SIMPLE و با استفاده از روش حجم کنترل حل می‌شوند. مدل‌های آشفتگی مورد استفاده در این نرم‌افزار، مدل $k-\epsilon$ استاندارد، مدل $k-\epsilon$ با بسط RNG، مدل $k-\epsilon$ محلی مبنی بر سرعت آب، مدل $k-\omega$ با قوانین دیواره Wilcox's و مدل $k-\omega$ با قوانین دیواره k -epsilon می‌باشند. تحلیل جریان در حالت ماندگار صورت گرفته و از الگوریتم SIMPLE برای کوپل سرعت و فشار استفاده شده است. روش گسسته‌سازی معادلات مومنتوم، افت و انرژی جنبشی آشفتگی و تنش‌های رینولدز روش پیشرو مرتبه دو و روش گسسته‌سازی معادله فشار، روش استاندارد می‌باشد. نسخه 1.0.0.1 تحت ویندوز نرم‌افزار استفاده در این تحقیق، نسخه 1.0.0.1 تحت ویندوز نرم‌افزار SSIIM2 بود [۱۴].

معادلات حاکم بر حرکت سیال عبارت‌اند از معادله پیوستگی و معادله مومنتوم. برای جریان آشفته تراکم ناپذیر در یک هندسه سه بعدی توسط معادلات ناویر استوکس به ترتیب روابط ۱ و ۲ جهت محاسبه متغیرهای جریان استفاده می‌شوند. در مدل‌های آشفتگی مختلف، انرژی جنبشی آشفتگی نیز مطابق رابطه ۳ تعریف می‌شود [۱۵].

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

معادلات از روش کوئیک^۱ استفاده کردند [۶]. آرمینو و لاروکا^۲ در سال ۱۹۹۶ برای مدل‌سازی حوضچه‌ها از دو مدل ریاضی RANS و SWE استفاده کردند [۷]. اشجاری و فیروزآبادی در سال ۱۳۸۲ برای پیش‌بینی جریان در حوضچه‌ها از مدل آشفتگی غیرخطی $k-\epsilon$ و منحنی‌های FTC^۳ استفاده کردند [۸]. تمایل و فیروزآبادی در سال ۱۳۸۶ به مدل‌سازی عددی و بررسی اثرات تیغه ورودی و محل ورود سیال در بازده حوضچه‌های ترسیب اولیه با استفاده از مدل آشفتگی $k-\epsilon$ و منحنی‌های FTC پرداختند [۹]. شاملو و بیات در سال ۱۳۸۷ به بررسی مدل‌های مختلف آشفتگی با استفاده از مدل آشفتگی $k-\epsilon$ استاندارد، RNG و روش محسوس در تحلیل حوضچه‌های ترسیب اولیه به کمک نرم‌افزار Fluent پرداختند و نتایج حاصله را با دو مدل آزمایشگاهی مقایسه کردند. بر اساس این نتایج روش $k-\epsilon$ و RNG نسبت به سایر روش‌ها در پیش‌بینی هیدرودینامیک‌های ترسیب مناسب‌تر تشخیص داده شده است [۱۰]. شاملو و محبوب در سال ۱۳۸۸ با استفاده از مدل آشفتگی $k-\epsilon$ استاندارد، به بررسی مدل‌های حوضچه‌های ترسیب اولیه به کمک نرم‌افزار Fluent پرداختند و نتایج حاصله را با مدل آزمایشگاهی مقایسه کردند. در ادامه این مقاله از نتایج آنها نیز استفاده شده است.

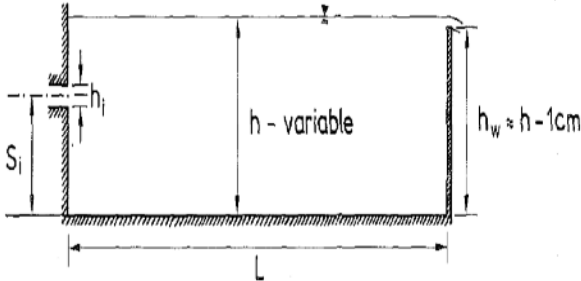
قریشی نجف‌آبادی در سال ۱۳۹۳ به بررسی توسعه مدل عددی سه بعدی به منظور شبیه‌سازی جریان سیال و انتقال رسوب در حوضچه‌های ترسیب پرداخت. در پژوهش مذکور برای فرایند جداسازی فشار، از الگوریتم MAC بهره گرفته شده است. برای گسسته‌سازی معادله انتقال-پخش رسوب نیز روش حجم محدود مورد استفاده قرار گرفته و نتایج حاصله با مدل‌های فیزیکی مختلف، مقایسه و صحت‌سنجی شده و نتایج مطلوب ارزیابی شده است [۱۱]. صانعی و همکاران در سال ۱۳۹۳ به بررسی آزمایشگاهی اثر صفحات مستغرق انحنادار با قطع ۶۰ درجه بر راندمان حوضچه رسوب‌گیر گردابی پرداختند. پژوهش مذکور نشان داد که تغییرات دبی و قطر روزنه، در کارایی صفحات مستغرق انحنادار مؤثر است [۱۲]. عمادی و کاکویی در سال ۱۳۹۳ به تعیین ابعاد بهینه حوضچه رسوب‌گیر با در نظر گرفتن خصوصیات هیدرولیکی، رسوبی و سازه‌ای با استفاده از الگوریتم جامعه مورچگان پرداختند. نتایج تحقیق نشان داد که مقادیر طول، عرض و ارتفاع بهینه به دست آمده توسط مدل در هر سه راندمان تله‌اندازی کمتر از شرایط موجود است [۱۳]. در این مطالعه، هیدرولیک جریان در حوضچه

¹ Quick Method

² Armenio and LaRocca

³ Flow Through Curve (FTC)

شبکه‌بندی به صورت مستطیلی انجام شد و در نهایت شبکه‌بندی با تعداد ۱۲۸۰۰ سلول به عنوان حالت بهینه انتخاب شد و طول نواحی چرخشی در این حالت مستقل از تعداد گره‌ها بود. به دلیل این که ورودی حوضچه در میانه ارتفاع قرار گرفته است، دو ناحیه



شکل ۱- مشخصات حوضچه ته نشینی کالسروحه

چرخشی در حوضچه ایجاد می‌شود که در شکل ۲-الف نتایج آزمایشگاهی به دست آمده مشاهده می‌شوند. همچنین شکل ۲-ب نشان دهنده هیدرولیک جریان ایجاد شده در مدل عددی است که الگوی کلی جریان را مطابق نتایج آزمایشگاهی نمایش می‌دهد. ناحیه چرخشی بزرگ‌تر (L_r) در نزدیکی کف حوضچه ایجاد شده و طول آن در مدل دوبعدی برابر با 0.715 متر به دست آمد که در مدل آزمایشگاهی حدود 0.78 متر بود و خطایی برابر با $8/4$ درصد ایجاد نمود. همچنین یک ناحیه چرخشی کوچک (l_r) در قسمت بالای ورودی تشکیل شده که طول آن برابر با 0.12 متر بود که در مدل آزمایشگاهی حدود 0.17 متر به دست آمد. اختلاف به وجود آمده به این دلیل است که هرچه نسبت (S_i/h) کمتر از 0.9 شود و جایگاه ورودی به طرف مرکز ارتفاع می‌رود، جریان ایجاد شده در حوضچه پیچیده‌تر می‌شود و پیش‌بینی طول ناحیه جدایش را مشکل‌تر می‌نماید.

نتایج پروفیل‌های سرعت در شکل ۳ در مقاطع $x/h=0.353, 1.76, 5.58$ رسم شده است. به علت داشتن محدودیت در ابعاد شبکه‌بندی، مقطعی انتخاب شده است که اطلاعات آن سلول‌ها موجود می‌باشد. الگوی کلی جریان با یک ناحیه چرخشی بزرگ در نزدیکی کف و یک ناحیه چرخشی کوچک در نزدیکی سطح آزاد آب به درستی در مدل عددی به دست می‌آیند. در ناحیه چرخشی نزدیک کف در مقطع $x/h=5.58$ تطابق نتایج SSIIM از نتایج محجوب در سال ۱۳۸۹ بهتر بوده است. در این مقاطع در نزدیکی کف پروفیل سرعت تغییر عدد می‌دهد و بیانگر ناحیه چرخشی است. همچنین در مقطع $x/h=1.76$ مدل عددی جریان برگشتی بیشتری را نسبت به مدل آزمایشگاهی نشان می‌دهد که می‌توان گفت مرکز ناحیه چرخش بوده است.

(۲)

$$\frac{\partial \bar{U}_i}{\partial t} + (\bar{U}_j) \frac{\partial \bar{U}_i}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{P}}{\partial x_i} + g_{xi} + \frac{\partial}{\partial x_j} [v \frac{\partial \bar{U}_i}{\partial x_j} - U'_i U'_j]$$

$$K = \frac{1}{2} \bar{U}_i \bar{U}_j \quad (۳)$$

که در این روابط

\bar{U}_i : تنش رینولدز، U : سرعت جریان، t : زمان، ρ : ویسکوزیته مولکولی، P : فشار، k : انرژی جنبشی آشفتگی، ρ : چگالی سیال و δ_{ij} : دلتای کرونکر می‌باشند.

در مدل آشفتگی $k-\varepsilon$ ، انرژی جنبشی آشفتگی (k) به صورت زیر مدل می‌شود [۱۵]

$$\frac{\partial k}{\partial t} + U_j \frac{\partial k}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\frac{v_T \partial k}{\sigma_k \partial x_j} \right) + P_k - \varepsilon \quad (۴)$$

جایی که P_k به صورت زیر تعریف می‌شود

$$P_k = v_T \left(\frac{\partial U_j}{\partial x_i} \frac{\partial U_j}{\partial x_i} + \frac{\partial U_i}{\partial x_j} \right) \quad (۵)$$

$$v_T = c_\mu \frac{K}{\varepsilon} \quad (۶)$$

K به صورت ε علامت‌گذاری شده و به صورت زیر در می‌آید

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + U_j \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\frac{v_T \partial \varepsilon}{\sigma_k \partial x_j} \right) + C_{\varepsilon 1} \frac{\varepsilon}{k} P_k + C_{\varepsilon 2} \frac{\varepsilon^2}{k} \quad (۷)$$

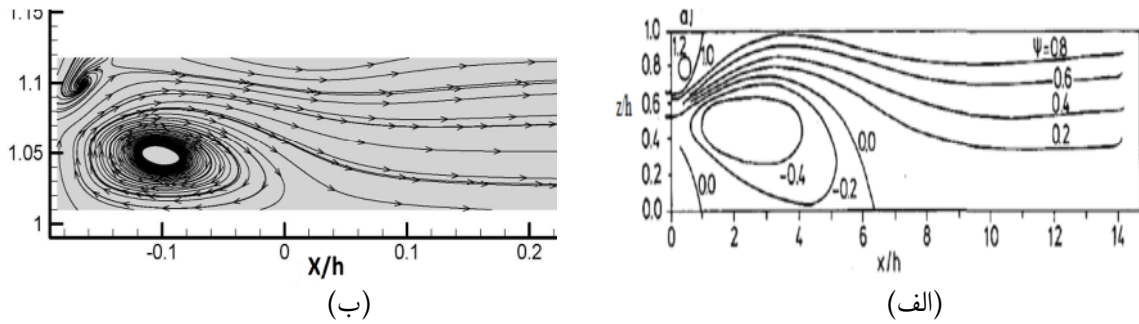
که در این رابطه

P_k ترم تولید آشفتگی و مقادیر ثابت‌های تجربی مورد استفاده به صورت زیر می‌باشند

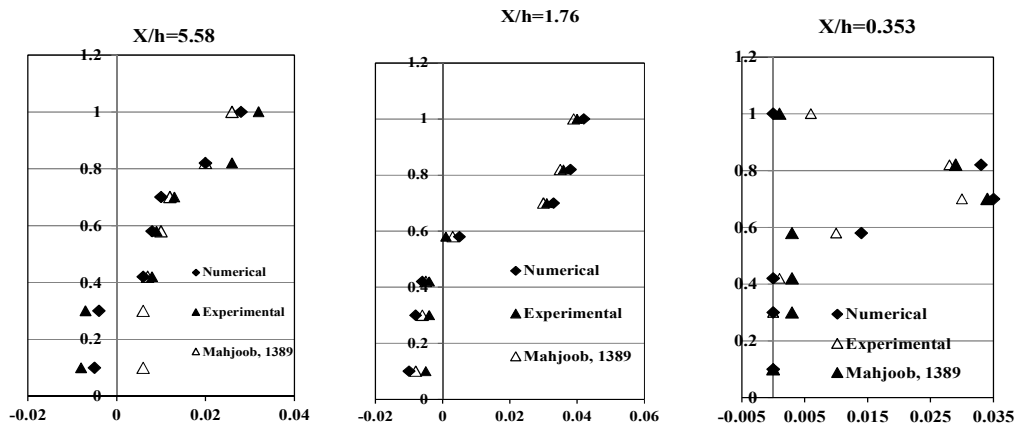
$$C_\mu = 0.09, C_{\varepsilon 1} = 1.43, C_{\varepsilon 2} = 1.92, \sigma_\varepsilon = 1.3, \sigma_k = 1 \quad (۸)$$

۳- نتایج و بحث

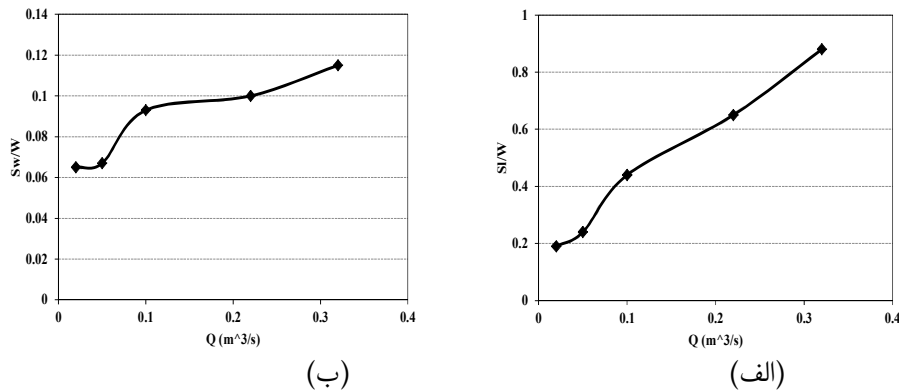
در این قسمت مدل‌سازی حوضچه کالسروحه با استفاده از نتایج آزمایشگاهی آدامز و همکاران در سال ۱۹۸۸ انجام شد. کار آزمایشگاهی صورت گرفته به صورت مدل عددی درآمد و نتایج عددی حاصل با نتایج آزمایشگاهی ایشان مقایسه شد. در این حالت ورودی به صورت مستغرق و تقریباً در میانه ارتفاع قرار گرفته است ($S_i/h=0.588$) و نمای شماتیک حوضچه در شکل ۱ نشان داده شده است [۱].



شکل ۲- خطوط جریان حوضچه ته‌نشینی کالسروحه آزمایشگاهی (الف) و عددی (ب)



شکل ۳- مقایسه پروفیل‌های سرعت شبیه‌سازی شده در جهت X با نتایج آزمایشگاهی در حالت ($S_i/h=0.588$)



شکل ۴- خطوط جریان حوضچه ته‌نشینی کالسروحه آزمایشگاهی (الف) و عددی (ب)

عملکرد حوضچه‌های ته‌نشینی با قرار دادن یک دیواره هدایت‌کننده جریان (بافل)، سعی در اصلاح هندسه حوضچه شد. با توجه به این که الگوی جریان در حالت ($S_i/h=0.588$) پایدارتر بوده و نتایج عددی به دست آمده به نتایج آزمایشگاهی نزدیک‌تر بود، تغییرات مورد نظر در این حالت بررسی شد. دیواره منحرف‌کننده جریان ابزاری برای تغییر دادن الگوی جریان در حوضچه‌ها است و اهداف استفاده از آن‌ها بسته به نوع حوضچه متفاوت است. بافل‌ها عموماً به منظور جلوگیری از ایجاد اتصال کوتاه در حوضچه‌های ترسیب

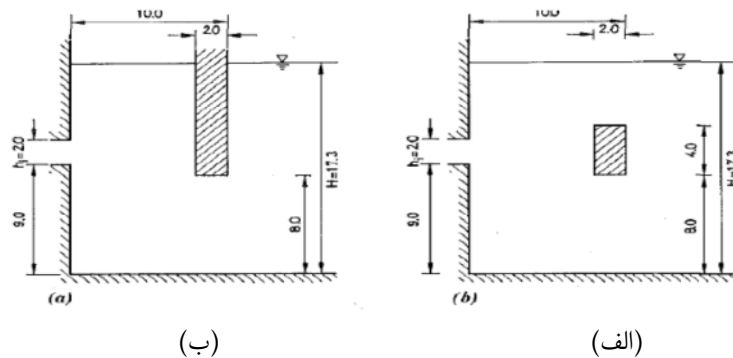
در شکل ۴ بررسی تغییرات دبی ورودی به حوضچه بر حسب طول (S_L) و عرض (S_W) بی‌بعد شده ناحیه جدایی جریان در برابر دبی‌های ورودی مختلف $0/1, 0/0.5, 0/1, 0/2, 0/3$ مترمکعب بر ثانیه نشان داده شده است. شبیه‌سازی انجام شده بر اساس کار آزمایشگاهی لین و رودی، بر روی حوضچه ته‌نشینی کالسروحه با ورودی مستغرق انجام شده است [۱۱]. کار انجام شده توسط ایشان به صورت مدل عددی در آمد و نتایج عددی حاصله با نتایج آزمایشگاهی ایشان مقایسه شد. به منظور بهینه ساختن

شد. شرط مرزی دیواره برای مرزهای صلب میدان اعمال شده و دیواره‌ها از لحاظ هیدرولیکی صاف در نظر گرفته شدند. همچنین یکی از پارامترهای مهم در سرعت اجرای مدل، شبکه‌بندی مناسب منطقه‌ای است که جریان در آن برقرار است. در این مدل‌سازی، پس از امتحان مقادیر مختلف و آزمایش حساسیت نسبت به ابعاد شبکه مورد نظر، تعداد سلول‌های شبکه به ترتیب در جهات x و y و z ، $12 \times 12 \times 250$ انتخاب شد (جدول ۲). در این مدل، توزیع سرعت در ورودی به صورت یکنواخت در نظر گرفته شد. در خروجی یک جریان کاملاً توسعه یافته ایجاد می‌شود. فشار به صورت یکنواخت فرض شد و مقادیر سرعت در خروجی با استفاده از درون‌یابی از داخل میدان به دست آمد. شرط عدم لغزش روی کلیه دیواره‌ها اعمال شد. در سطح آزاد آب، سطح صلب و بدون اصطکاک در نظر گرفته شد که می‌تواند به صورت یک صفحه قرینه عمل کند. در نتیجه سرعت نرمال برابر با صفر است و گرادیان دیگر متغیرها هم برابر با صفر در نظر گرفته شد.

استفاده می‌شوند، همچنین با قرارگیری بافل‌ها در مقابل ورودی به حوضچه، از انرژی جنبشی جریان وارد شده به حوضچه کاسته می‌شود و باعث ایجاد آشفتگی کمتری داخل حوضچه می‌شود که در نتیجه از حجم نواحی چرخشی ایجاد شده در حوضچه کاسته شده و از ایجاد نواحی مرده جلوگیری می‌نماید [۱۶].

در این مدل‌سازی جایگاه ورودی حوضچه مورد بررسی در شکل ۵ نشان داده شده است. مشخصات هندسی و شرایط اولیه نیز در جدول ۱ مشاهده می‌شود. در مدل عددی طول حوضچه $L=250\text{cm}$ ، عرض آن $w=90\text{cm}$ و ارتفاع آن $H=17.3\text{ cm}$ در نظر گرفته شد. عرض دریاچه ورودی برابر با $h_f=2\text{cm}$ که در کل عرض حوضچه امتداد یافته و مرکز آن مطابق شکل ذیل در فاصله ۱۰ سانتی‌متر از کف قرار گرفت. سرریز خروجی در ارتفاع ۱۶ سانتی‌متر قرار داده شد.

در این مطالعه، در ورودی حوضچه از شرط مرزی سرعت معین استفاده شد و مقدار سرعت میانگین برابر 0.16 متر بر ثانیه بود. برای مرزهای خروجی میدان از شرط مرزی جریان خروجی استفاده



شکل ۵- مشخصات ورودی حوضچه ته نشینی کالسروحه بافل دار یک طرفه (الف) و دو طرفه (ب)

جدول ۱- مشخصات هیدرولیکی جریان

عمق جریان (cm)	سرعت ورودی (U_i) (cm/s)	سرعت میانگین (U) (cm/s)	نرخ جریان مازاد (UH/L)	نسبت طول به عمق	عدد رینولدز	عدد فرود
۱۷/۳±۰/۱	۱۳/۹±۰/۴	۱/۶±۰/۰۵	۰/۱۱	۱۴/۷	۲۷۶۰	۰/۰۱۲

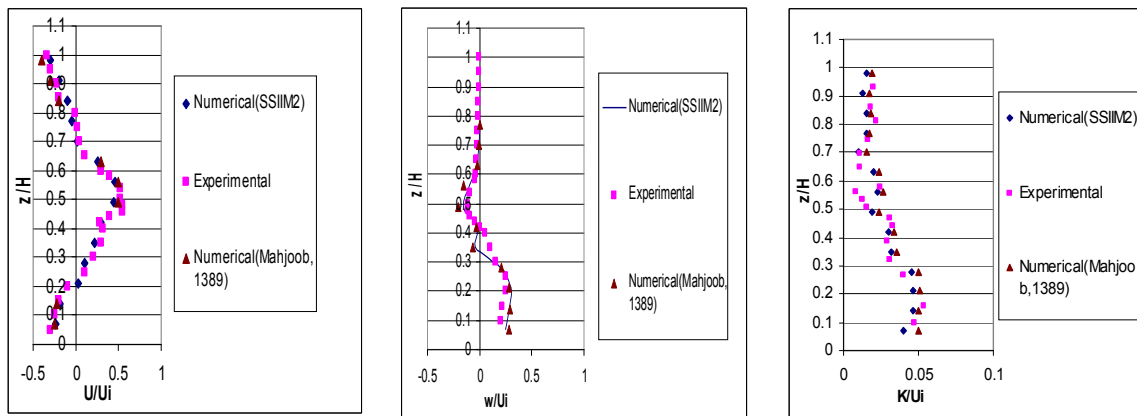
جدول ۲- مشخصات شبکه، طول و عرض اندازه‌گیری شده ناحیه چرخش

مشخصات شبکه			عددی (SSIM2)	
تعداد کل سلول‌ها	تعداد سلول‌ها به ترتیب در جهات x, y, z	در مجاورت کف و سطح Δy (m)	طول ناحیه چرخشی L_r (m)	عرض ناحیه چرخشی W_r (m)
۳۶۰۰	۱۰۰×۶×۶	۰/۰۱	۰/۷۱	۰/۰۹۵
۱۲۸۰۰	۲۰۰×۸×۸	۰/۰۰۵	۰/۷۱۵	۰/۰۱
۳۶۰۰۰	۲۵۰×۱۲×۱۲	۰/۰۰۲	۰/۷۱۱	۰/۰۱

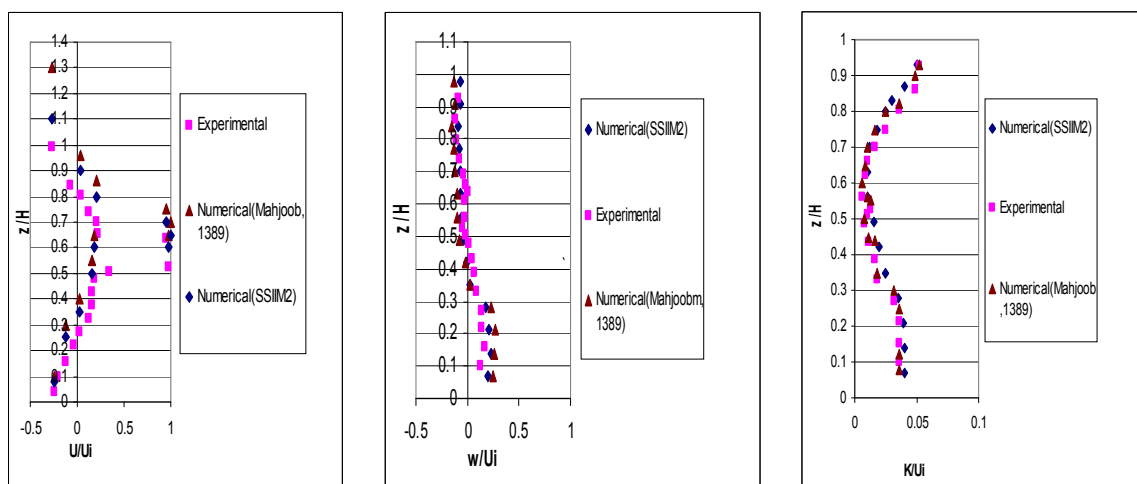
w ، در مجاورت جت بافل نامتقارن یک طرفه مشخص شده است که منجر به انحراف پروفیل سرعت u (در محدوده $0.2 < Y/H < 0.4$) به سمت پایین و سرعت‌ها عمودی بیشتر شده است. در مقایسه سرعت در جهت قائم و آشفتگی نتایج عددی اختلاف زیادی را از خود نشان می‌دهند.

در این مدل‌سازی از شرایط اولیه و مرزی حالت بدون بافل سه بعدی استفاده شد. به دلیل انجام سعی و خطا در انتخاب مناسب‌ترین شبکه‌بندی در مدل دو بعدی قبلی، از همان شبکه‌بندی استفاده شد. نتایج میدان سرعت جریان (U_x) به دست آمده از مدل‌سازی عددی به وسیله نرم‌افزار SSIM2 برای بررسی تغییرات پروفیل‌های سرعت جریان در مقاطع مختلف حوضچه ترسیب رسم شده است. با بررسی دقیق هیدرولیک جریان، مشاهده می‌شود که رفتار کلی جریان همانند مدل دو بعدی بوده ولی نتایج به دست آمده نشان

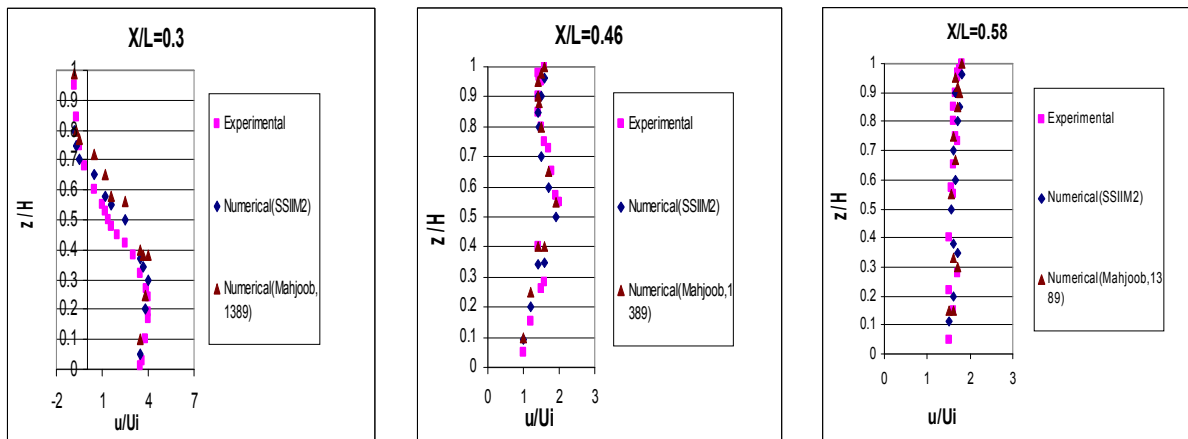
نتایج میدان سرعت جریان (U_x) به دست آمده از مدل‌سازی عددی به وسیله نرم‌افزار SSIM2 برای بررسی تغییرات پروفیل‌های سرعت جریان در مقاطع مختلف حوضچه ترسیب رسم شد. شکل ۶ و ۷ مقایسه پروفیل‌های سرعت در جهت x ، سرعت در جهت y و آشفتگی را در نزدیکی ورودی حوضچه در فاصله $X/L=0.016$ در هر دو بافل یک طرفه و دو طرفه نشان می‌دهند. محل بررسی تقریباً در میانه فاصله بین ورودی و سمت بالادست بافل قرار داشت. مقدار U و w با تقسیم شدن بر U_i و مقدار K با تقسیم شدن بر U_i^2 بی‌بعد شد. بیشینه U/U_i در دو حالت آزمایشگاهی و عددی برابر با $1/0.6$ به دست آمد و نتایج عددی به دست آمده به خوبی با نتایج آزمایشگاهی مطابقت داشت. همچنین نتایج سرعت در جهت x ، در هر دو حالت بافل قرار داده شده روند یکسانی را نشان می‌دهند. تفاوت در نتایج دو حالت بافل در مقدار منفی بیشتر سرعت قائم



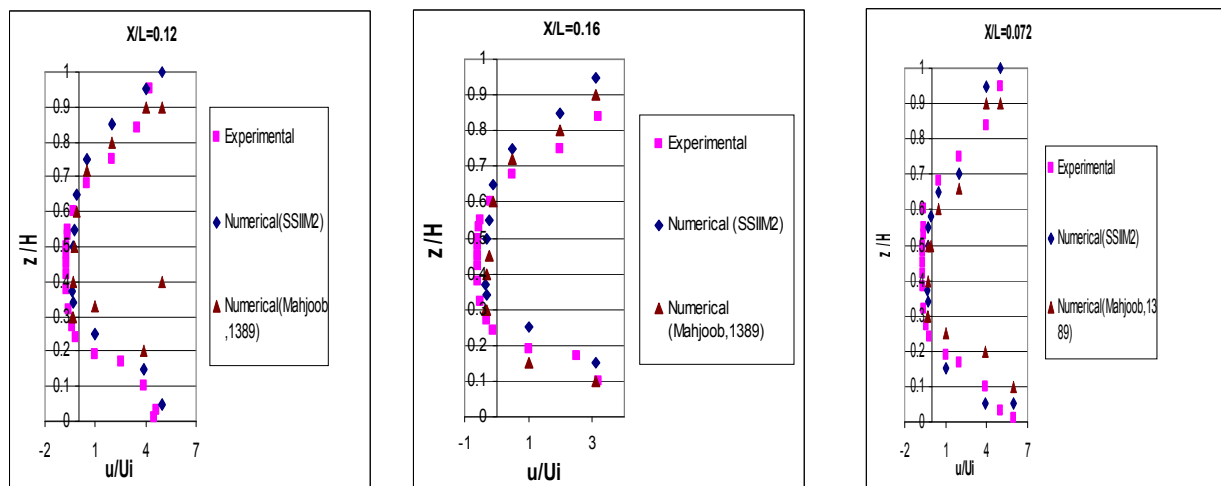
شکل ۶- مقایسه پروفیل سرعت شبیه‌سازی شده با نتایج آزمایشگاهی برای بافل یک طرفه، نقاط قرمز نتایج مدل دو بعدی آزمایشگاهی و نقاط آبی نتایج مدل عددی



شکل ۷- مقایسه پروفیل سرعت شبیه‌سازی شده با نتایج آزمایشگاهی برای بافل دو طرفه، نقاط قرمز نتایج مدل دو بعدی آزمایشگاهی و نقاط آبی نتایج مدل عددی



شکل ۸- مقایسه پروفیل سرعت شبیه‌سازی شده با نتایج آزمایشگاهی برای بافل یک طرفه، نقاط قرمز نتایج مدل سه بعدی آزمایشگاهی و نقاط آبی نتایج مدل عددی



شکل ۹- مقایسه پروفیل سرعت شبیه‌سازی شده با نتایج آزمایشگاهی برای بافل یک طرفه، نقاط قرمز نتایج مدل سه بعدی آزمایشگاهی و نقاط آبی نتایج مدل عددی

بالادست بافل، جریان پیچیده‌تری ایجاد می‌شود که منجر به ایجاد خطای بیشتری در مدل دو بعدی می‌شود.

۴- نتیجه‌گیری

در این مطالعه، هیدرولیک جریان در حوضچه ترسیب اولیه با استفاده از مدل عددی SSIIM2 و مدل آشفتگی $k-\epsilon$ استاندارد مورد بررسی قرار گرفت. پروفیل‌های سرعت جریان در مقاطع مختلف حوضچه ترسیب به صورت عددی شبیه‌سازی شده و با نتایج آزمایشگاهی محققان دیگر مقایسه شد که مقایسه این نتایج مطابقت خوبی را بین آنها نشان داد. پس از صحت‌سنجی مدل عددی، تأثیر قرارگیری این بافل‌ها بر روی نواحی چرخشی ایجاد شده در حوضچه مورد بررسی قرار گرفت.

دهنده اختلاف در محورهای مختلف حوضچه نسبت به محور مرکزی بوده است. نواحی چرخشی همانند حالت دو بعدی تشکیل شده‌اند ولی مقدار آنها در محورهای مختلف متفاوت بوده است. با توجه به شکل‌های ۸ و ۹، پروفیل‌های سرعت جریان شبیه‌سازی شده مطابقت نسبتاً خوبی با نتایج آزمایشگاهی محققان قبلی دارند. به طور کلی مدل‌سازی سه بعدی در هر دو حالت قرارگیری بافل‌ها نسبت به مدل دو بعدی اختلافاتی در جهت بهبود داشته ولی در حالت بافل یک طرفه، این اختلاف بیشتر از بافل دو طرفه بوده است. اگر همان طور که گمان می‌رود اثرات جریان سه بعدی با دور شدن از منطقه چرخشی کاهش یابد، ناحیه چرخشی کوچک‌تر ایجاد شده در حالت بافل دو طرفه باعث کاهش تأثیر کلی اثرات سه بعدی جریان می‌شود. به طور کلی در حالت بافل یک طرفه، در ناحیه

حوضچه تشکیل می‌شود. هر چه ورودی به میانه ارتفاع نزدیک شود، جریان رفته رفته پیچیده‌تر شده و از دقت محاسبات نیز کاسته می‌شود. در هنگامی که ورودی دقیقاً در میانه ارتفاع قرار گیرد، جریان ناپایدار شده و نواحی چرخشی ایجاد شده حالت ثابتی ندارند. در حالتی که ورودی در $0/588$ ارتفاع قرار گیرد، کمترین سطح نواحی چرخشی ایجاد می‌شود که مکان مناسبی برای قرارگیری ورودی در ارتفاع است. قرارگیری ورودی در کف توصیه نمی‌شود به علت اینکه باعث کنده شدن و معلق‌سازی مجدد رسوبات ته‌نشین شده می‌گردد.

از بررسی دو حالت بافل قرار گرفته و حالت ساده بدون بافل، بافل دوطرفه میدان، جریان نزدیک‌تر به حالت ایده آل را داراست. نواحی مرده یا مناطق چرخشی همچنین مناطقی که مشخصاً انتقال آشفتگی در آنها رخ می‌دهد، بسیار کوچک‌تراند، طول ناحیه چرخشی به وجود آمده در این حالت تقریباً نصف دو حالت دیگر به دست آمده و در نتیجه سریع‌تر به حالت جریان ایده آل رسیده است.

هم حالت بدون بافل و هم در حالت حوضچه بافل دار، پروفیل‌های سرعت جریان شبیه‌سازی شده مطابقت نسبتاً خوبی با نتایج آزمایشگاهی محققان قبلی داشت.

با استفاده از نتایج گرافیکی، ناحیه چرخشی به وجود آمده در این سه مدل، می‌توان نتیجه گرفت که طول نواحی چرخشی در حالت بافل یک طرفه نسبت به حالت بدون بافل کاهش یافته و در حالت بافل دوطرفه نسبت به دو حالت دیگر بسیار کاهش یافته که منجر به افزایش کارایی حوضچه شده است.

نواحی چرخشی در چند قسمت در مدل سه بعدی به وجود آمدند. بزرگ‌ترین ناحیه چرخشی در نزدیکی کف حوضچه در قسمت پایین ورودی ایجاد شد، همچنین ناحیه چرخشی کوچکی در قسمت بالای ورودی و در نزدیکی سطح آزاد آب و در نهایت چرخشی در گوشه‌های انتهایی حوضچه، در قسمت پایین ورودی ایجاد شده است.

در صورت قرارگیری ورودی در نیمه پایینی حوضچه، ناحیه چرخشی بزرگ در سطح آزاد آب و ناحیه چرخشی کوچک در کف

۵- مراجع

1. Stamou, A.I., Adams, E.W., and Rodi, W. (1988). "Numerical modeling of flow and settling in primary rectangular clarifiers." *J. of Hydraulic Research*, 27, 665-682.
2. Liu, B.C., Ma, J., Luo, L., Bai, Y., Wang, S., and Zhang, J. (2010). "Two-dimensional LDV measurement, modeling, and optimal design of rectangular primary settling tanks." *Journal of Environmental Engineering*, 136 (5), 501-507.
3. Shamloo, H., and Bayat, A. (2006). "Investigation of the turbulence different models in hydraulic analysis of the initial sedimentation basins using Fluent software." *4th National Congress on Civil Engineering*, University of Tehran, Tehran, Iran. 1-7. (In Persian).
4. Celik, I., Rodi, W., and Stamou, A. (1985). "Prediction of hydrodynamic characteristics of rectangular settling tanks." *Proc. of the Int. Symp. Refined Flow Modelling and Turbulence Measurements*, Iowa City, Iowa, 641-651.
5. Saneie, M., Azhdarimoghadam, M., and Hajiahmadi, A. (2014). "Experimental investigation of the effect of curvature submerge vane with 60 degree radial section on the efficiency of vortex settling basin." *Watershed Engineering and Management*, 6(1), 83-94. (In Persian).
6. Lyn, D.A., and Rodi, W. (1990). "Turbulence measurement in model settling Tank." *J. of Hydraulic Engineering*, 116, (1), 3-21.
7. Armenio, V., and LaRocca, M. (1996). "On the analysis of sloshing of water in rectangular containers: Numerical study and experimental validation." *Ocean Engineering*, 23(8), 705-739.
8. Ashjari, M.A., and Firoozabadi, B. (2003). "Using the nonlinear $k-\epsilon$ in calculation of performance of settling tanks. ISME." *11th Int. Conf. Mech. Engineering*, Mashhad, Iran. (In Persian)

9. Tamayol, A., Firoozabadi, B., and Ahmadi, G. (2007). Effects of inlet position and baffle configuration on hydraulic performance of primary settling tanks." *Journal of Hydraulic Engineering*, 134(7), 1004-1009.
10. Zhou, J., McCorquodale, A., and Godo, A.M. (1994). "Short circuiting and density interface in primary clarifiers." *Journal of Hydraulics Eng.*, 120(9), 1060-1080.
11. Ghoreishi Najafabadi, S. H. (2014). "Development of three-dimensional numerical model to simulate fluid flow and sediment transport in the settling Basins." *Numerical Methods in Engineering*, 2, 37-48 (In Persian).
12. Shamloo, H., and Comar, S. (1998). "The effects of flow turbulence in settling basins." *Asian conference Water and Waste Management*, Tehran, Iran. 31-23, (In Persian).
13. Emadi1, A.R., and Kakouei, S. (2014). "Determination of optimal dimensions of settling basin using ACS algorithm considering hydraulic, sediment and structural attributes." *J. of Water and Soil Conservation*, 21(2), 261-275. (In Persian).
14. Dobbins, W.E. (1944). "Effects of turbulence on sedimentation." *Transactions of ASCE*, 109(2218), 629-656.
15. Olsen, N.B.R. (2013). "A three-dimensional numerical model for simulation of sediment movements in water intakes with multiblock option." Department of Hydraulic and Environmental Engineering, the Norwegian University of Science and Technology.
16. Tamayol, A., Firoozabadi, B., and Ashjari, M. A. (2010). "Hydrodynamics of secondary settling tanks and increasing their performance using baffles." *Journal of Environmental Engineering*, 136(1), 32-39.