

مدل سازی عددی یک بعدی الگوی رسوب در حوضچه های ترسیب مستطیلی

حامد سرورام^۱، فاطمه رستمی^۲، مهدی شاهرخی^۳

^۱ گروه مهندسی عمران، واحد زنجان، دانشگاه آزاد اسلامی، زنجان، ایران
^۲ گروه مهندسی عمران، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
^۳ گروه مهندسی عمران، دانشگاه غیاث الدین جمشید کاشانی، قزوین، ایران

تاریخچه داوری:

دریافت: ۲۱ دی ۱۳۹۶
 بازنگری: ۱۳ خرداد ۱۳۹۷
 پذیرش: ۱۴ خرداد ۱۳۹۷
 ارائه آنلاین: ۲۱ خرداد ۱۳۹۷

کلمات کلیدی:

حوضچه ترسیب مستطیلی
 رسوب
 راندمان حذف
 مدل عددی
 گل و لای

چکیده: حوضچه های ترسیب یکی از سازه های مهندسی ضروری جهت ته نشینی ذرات رسوب بوده و در تجهیزات آب و فاضلاب، به منظور جلوگیری از خسارات ذرات رسوب، به طور معمول مورد استفاده قرار می گیرد. هدف از این تحقیق ارائه مدل عددی یک بعدی جهت شبیه سازی جریان و رسوب در حوضچه ترسیب مستطیلی می باشد. معادلات حاکم معادلات متوسط گیری شده در عمق جریان و انتقال رسوب بوده و برای حل عددی، روش تفاضل محدود به کار رفته است. مدل را می توان برای جریان غیرماندگار و ذرات غیریکنواخت مورد استفاده قرار داده و می توان اطلاعات مهمی مانند راندمان حذف، ضخامت و توزیع اندازه ذره گل و لای را پیش بینی کرد. مقایسه نتایج مدل عددی پیشنهادی با نتایج سایر پژوهشگران، دقت قابل قبول مدل پیشنهادی را بیان کرده به گونه ای که در تمامی موارد مورد بررسی، میزان خطا کمتر از ۳٪ بود. نتایج آنالیز حساسیت نشان داد که بیش از ۵۰ درصد رسوبات معلق در ۵ متر اول حوضچه رسوب می کند؛ از این رو افزایش در ابعاد حوضچه ترسیب مستطیلی بهترین راه برای بهبود عملکرد حوضچه نیست. در واقع افزایش راندمان حذف را می توان با کاهش عمق حوضچه ترسیب، افزایش مساحت سطح مقطع جریان و کاهش میزان جریان سرریزی به دست آورد.

۱- مقدمه

با توجه به اینکه، وجود رسوبات در کاهش عمر مفید کانال ها و تأسیسات سر راه جریان بسیار مؤثر هستند. جهت ته نشینی رسوبات معلق از حوضچه های ترسیب استفاده می شود. این حوضچه ها که اغلب دارای مقطع مستطیلی و در بعضی موارد دارای مقطع دوزنقه ای می باشند؛ با کاهش سرعت آب، قدرت انتقال رسوب توسط جریان را کاهش داده و بخش قابل توجهی از رسوب را در خود ته نشین می کنند. طراحی، ساخت و نگهداری این سازه ها به طور زیادی به دقت پیش بینی های راندمان حذف، ضخامت رسوبات ته نشینی و توزیع اندازه ذرات خروجی از حوضچه بستگی داشته و از مباحث مهم و مورد توجه مهندسان علم هیدرولیک رسوب می باشد.

مدل های ارزیابی روندهای ته نشینی ذره معلق به دو روش انجام می شوند: روش اول از مفهوم حوضچه ترسیب ایده آل و روش دوم از مدل های دینامیک سیالات محاسباتی استفاده می کند. در مفهوم حوضچه ترسیب ایده آل، در ابتدا توسط هازن^۱ و کامپ^۲ ارائه شده، شکل حوضچه

مستطیلی و جریان سیال در ناحیه ته نشینی دائمی و به طور یکنواخت توزیع شده است، ذرات معلق نیز در جهت جریان به طور یکنواخت توزیع شده و ته نشینی ذره به طور مجزا بررسی می شود [۱].

از مدل های معمول برای فهم انتقال رسوب در حوضچه های ترسیب می توان به مدل های اسپنجر و لاروک^۳ [۲]، امام و همکاران [۳]، ال بارودی^۴ [۱]، استاندورف و بوتکین^۵ [۴]، ادامز و رودی^۶ [۵]، زهو و مک کورگیودال^۷ [۶]، سومی و تیگی^۸ [۷]، جین^۹ و همکاران [۸] و جیو^{۱۰} [۹] اشاره کرد.

مدل ال بارودی یک مدل حوضچه ترسیب یک بعدی می باشد که تأثیر پراکنش گردابی را در نظر می گیرد. همچنین این مدل با داده های آزمایشگاهی نیز صحت سنجی شده است [۱]. مدل امام نیز یک مدل دو بعدی جریان آشفته برای سیال نیوتنی غیرقابل تراکم م باشد که شامل

3 Schamber and Larock

4 El-Baroudi

5 Ostandorf and Botkin

6 Adams and Rodi

7 Zhou and McCorquodale

8 Swamee and Tyagi

9 Jin

10 Guo

*نویسنده عهده دار مکاتبات: hamed.sarveram@gmail.com

1 Hazen

2 Camp

یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی فرموله شد. همچنین برای حل مدل مذکور از روش شمارش ضمنی الفبائی استفاده گردید [۱۶، ۱۷].

قریشی نجف آبادی و اقبال احمدی به تحلیل عددی حوضچه‌های رسوب‌گیر پرداختند. پس از آن با توجه به غلظت جریان خروجی محاسبه شده از حوضچه، راندمان تله اندازی رسوبات به دست آمد. جهت صحت‌سنجی، نتایج حاصل از تئوری تحقیق با نتایج به دست آمده از اندازه‌گیری روی حوضچه رسوب‌گیر نکوآباد مقایسه گردید و نشان داد که مدل پیشنهادی می‌تواند جهت طراحی حوضچه‌های رسوب‌گیر مورد استفاده قرار گیرد [۱۸].

هدف از این تحقیق ارائه مدل عددی یک بعدی ساده همراه با گروه‌بندی ذرات رسوب بوده که می‌تواند اطلاعات مفیدی را در اختیار طراحان و کاربران این نوع حوضچه‌ها قرار دهد. همچنین توانایی مدل پیشنهادی در پیش‌بینی‌های مورد نظر ارزیابی خواهد شد. لازم به ذکر است که با وجود ماهیت سه بعدی انتقال رسوب در این نوع حوضچه‌ها، از آنجایی که سرعت جریان در آن‌ها کم و جهت غالب آن در راستای طولی حوضچه است؛ می‌توان از تغییرات عرضی و عمقی انتقال رسوب صرف‌نظر کرده و از معادلات یک بعدی سنت و نانت جهت مدل‌سازی جریان استفاده نمود. البته کاهش پیچیدگی‌های مدل‌سازی و هزینه‌های محاسباتی نیز در انتخاب مدل یک بعدی تاثیرگذار است.

۲- مدل‌سازی عددی

۲-۱- معادلات حاکم

معادله پیوستگی جریان متوسط‌گیری شده در عمق [۱۹]:

$$\frac{\partial h\bar{u}}{\partial x} + \frac{\partial h}{\partial t} = 0 \quad (1)$$

که \bar{u} سرعت جریان افقی متوسط‌گیری شده در عمق، h عمق آب در ناحیه ته‌نشینی، x متغیر مکان و t متغیر زمان می‌باشد. معادله اندازه حرکت متوسط‌گیری شده در عمق [۱۹]:

$$\frac{1}{2g} \frac{\partial \bar{u}^2}{\partial x} + \frac{\partial H}{\partial x} + \frac{\bar{u}^2}{gHC^2} = 0 \quad (2)$$

مطابق شکل ۱، H تراز سطح آب بوده که از مجموع h و Z_p به دست می‌آید. همچنین، Z_p تراز کل از کف حوضچه بوده و از دو بخش تشکیل شده است: Z_s ضخامت رسوب ته‌نشینی جمع شده در کف حوضچه و Z_g تراز از کف حوضچه می‌باشد. C نیز ضریب شزی بوده و می‌توان به صورت زیر تخمین زد:

$$C = \frac{R^{1/6}}{n} \quad (3)$$

یک زیرمدل هیدرودینامیکی و یک زیرمدل انتقال می‌باشد. این مدل، روند ته‌نشینی ذرات را به صورت پدیده انتقالی بررسی کرده و آن را تحت شرایط چگالی خنثی شبیه‌سازی می‌کند [۳]. مدل جین یک مدل یک بعدی بوده که جریان متغیر تدریجی پایدار را با توزیع غیریکنواخت اندازه‌ی ذره در حوضچه ترسیب مورد بررسی قرار می‌دهد [۸].

در این راستا، به شبیه‌سازی‌های عددی که اخیراً انجام گرفته می‌توان اشاره کرد. به عنوان مثال: تحقیق رستمی و همکاران که به مدل‌سازی عددی دو بعدی جریان در تانک‌های ترسیب اولیه پرداختند. بررسی تأثیرات تعداد و موقعیت‌های روزنه‌های ورودی بر میدان جریان نشان داد که موقعیت روزنه‌های ورودی بر الگوی جریان در تانک‌های ترسیب مؤثر بوده و افزایش تعداد سوراخ‌ها می‌تواند انرژی جنبشی را در منطقه ورودی کاهش داده و جریان یکنواختی را تولید کند [۱۰]. در ادامه شاهرخی و همکاران جهت یافتن موقعیت بهینه بافل در این نوع تانک‌ها از شبیه‌سازی عددی استفاده کردند. نتایج نشان داد که جریان مطلوب یکنواخت در ناحیه ته‌نشینی زمانی حاصل می‌شود که موقعیت بافل نواحی چرخش کوچکی ایجاد کرده و انرژی جنبشی در تانک را مستهلک کند [۱۱]. شاهرخی در ادامه به بررسی عددی تأثیر زاویه بافل بر میدان جریان پرداخت که نتایج نشان داد زاویه بافل ۹۰ درجه شرایط مطلوبی را ایجاد می‌کند [۱۲].

لیو^۱ و همکاران نیز مدلی بر اساس الگوریتم بهینه‌سازی و یک مدل رو به جلو جهت تعیین طراحی بهینه پارامترهای حوضچه‌های ترسیب ارائه کردند. مقایسه نتایج مدل پیشنهادی با مدل‌های سنتی نشان داد که این مدل می‌تواند نتایج خوبی ارائه کند [۱۳].

تیو^۲ و همکاران از مدل CCHE2D برای شبیه‌سازی روند انتقال رسوب در حوضچه ترسیب رودخانه کیچ کالیفرنیا استفاده کردند. مدل‌سازی‌ها جهت ارزیابی راندمان حوضچه علاوه بر شرایط موجود، تحت گزینه‌های ممکن مانند بالا آمدن جریان لبریزی و حذف بخشی از خاک‌ریز نیز انجام گرفت [۱۴]. در ادامه تیو و همکاران دینامیک رسوب برای پهنه سیل و حوضچه ترسیب تحت یک واقعه جریان شدید در همان منطقه را با استفاده از مدل CCHE2D مورد ارزیابی قرار دادند. در واقع راندمان حذف رسوب تحت سناریوهای مختلف سیل مورد بررسی قرار گرفته و نتایج مدل با شرایط موجود مقایسه گردید [۱۵].

اکثر پژوهش‌های داخلی انجام گرفته در این زمینه آزمایشگاهی بوده و از محدود مدل‌سازی‌های عددی در این راستا می‌توان به چند مورد اشاره کرد: شتاب بوشهری و رحیم زادگان یک مدل کامپیوتری برای طراحی حوضچه رسوب‌گیر ارائه کردند که در آن متغیرهای طراحی (طول، عرض، ارتفاع، شیب حوضچه و سرعت جریان آن) به گونه‌ای تعیین شد که حوضچه علاوه برداشتن خصوصیات فنی مورد نظر، با کمترین هزینه ساخته شود. در ساخت این مدل از مبحث تحقیق در عملیات استفاده گردید و مدل مذکور در قالب

1 Liu

2 Tu

$$\bar{u} = \frac{Q}{Bh} \quad (7)$$

که Q دبی جریان ورودی بوده و در مدل ثابت فرض شده است. B نیز نشان دهنده عرض حوضچه مستطیلی است. معادله (۷) را می توان با استفاده از گسسته سازی تفاضل محدود به صورت زیر حل کرد:

$$H_{i+1} - H_i + \frac{Q^2}{2gB^2} \left(\frac{1}{h_{i+1}^2} - \frac{1}{h_i^2} \right) + \frac{\Delta x Q^2 n^2}{2gB^2} \left(\frac{1}{h_{i+1}^3 R_{i+1}^{1/3}} + \frac{1}{h_i^3 R_i^{1/3}} \right) = 0 \quad (8)$$

که i شماره گره و Δx گام مکانی بین گره ها است. برای حوضچه های ترسیب، تراز آب در خروجی را می توان قبل ساخت حوضچه و طی فاز طراحی تعیین کرد؛ زیرا تنها مرتبط با ابعاد حوضچه است؛ بنابراین، تراز آب برای هر نقطه ی شبکه در امتداد طول حوضچه ترسیب مستطیلی را می توان با حرکت رو به عقب از خروجی به سمت ورودی محاسبه کرد. در گام زمانی اولیه، ذرات هنوز در آب معلق هستند و هیچ رسوبی در کف حوضچه جمع نشده است. از این رو پروفیل عمق آب، با فرض این که تراز آب در یک موقعیت مشخص در طول زمان عملکرد تغییر نمی کند، برابر با پروفیل تراز آب است. بعد از محاسبه گام زمانی اول، پروفیل عمق آب به شروع حلقه محاسبات باز می گردد. برای گام زمانی بعد، پروفیل عمق آب، با استفاده از ضخامت رسوب ته نشینی که در گام زمانی قبل جمع شده، اصلاح می گردد. این حلقه ی محاسباتی، تا رسیدن به گام زمانی نهایی، تکرار می شود. بر طبق معادله (۷) و گسسته سازی آن، فرمول جبری برای ظرفیت حمل رسوب در موقعیت i و گام زمانی j را می توان به صورت زیر نوشت:

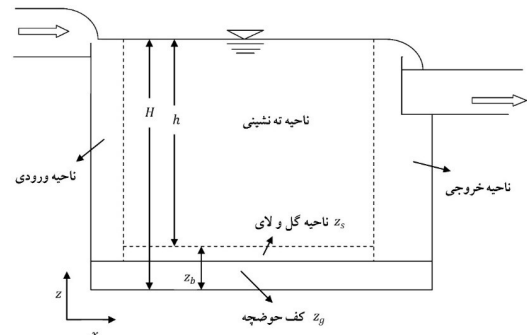
$$s_i^{*j} = k \left(\frac{Q^3}{\omega h_i^j B^3} \right)^{0.92} \quad (9)$$

به دلیل اینکه عمق آب در موقعیت i و گام زمانی j از گام اول محاسبه شده، سرعت ته نشینی تنها متغیر مجهول است. در گام بعد با انتگرال گیری از معادله (۵) در امتداد جریان از ورودی تا خروجی، غلظت رسوب معلق در مقطع بعدی ($i+1$) در گام زمانی j برای هر گروه p را می توان به صورت زیر محاسبه کرد:

$$\bar{s}_{i+1,p}^j = \left(1 - \frac{\Delta x \beta \omega_p}{q} \right) \bar{s}_{i,p}^j + \frac{\Delta x \beta \omega_p}{q} s_{i,p}^{*j} \quad (10)$$

که $\bar{s}_{i,p} = \zeta_p s_i$ و $s_{i,p}^* = \zeta_p^* s_i^*$ بوده و درصد گروه ذرات p در ظرفیت حمل رسوب می باشد. باید توجه داشت که $\zeta_p^* = \zeta_p$ و $\sum \zeta_p = 1$ متفاوت از روند محاسبات تراز آب است. q نیز دبی در واحد عرض بوده که از تقسیم دبی جریان ورودی بر عرض حوضچه ترسیب مستطیلی ($q=Q/B$) به دست می آید.

بعد از اینکه روند محاسبات مشابهی بر روی همه گروه های ذره در گام زمانی j اعمال شد، نتایج ذخیره شده و جهت استفاده برای گام های محاسباتی بعدی مهیا می شود. غلظت رسوب معلق کل در مقطع i را می توان



شکل ۱. طرح شماتیک حوضچه ترسیب

Fig. 1. Schematic of the settling basin

که R شعاع هیدرولیکی و n ضریب زبری مانینگ و معادله انتقال و پیوستگی رسوب نیز به صورت زیر است [۸]:

$$-h\bar{u} \frac{\partial \bar{s}}{\partial x} = \beta \omega (\bar{s} - s^*) = \rho_d \frac{\partial z_s}{\partial t} \quad (4)$$

در رابطه فوق، \bar{s} غلظت رسوب متوسط گیری شده در عمق سطح مقطع، β نسبت غلظت رسوب کف حوضچه به غلظت رسوب متوسط گیری شده در عمق سطح مقطع، ω سرعت متوسط ته نشینی ذره رسوب بوده و طبق قانون استوکس از رابطه زیر به دست می آید [۸]:

$$\omega = \frac{1}{18} \frac{g}{\mu} (\rho_d - \rho) d^2 \quad (5)$$

که g شتاب ثقل، μ لزجت دینامیکی، ρ جرم مخصوص سیال، ρ_d جرم مخصوص ذره رسوب و d قطر ذره رسوب می باشد. همچنین s^* ظرفیت متوسط حمل رسوب بوده و بیان ریاضی این پارامتر طبق رابطه زیر است [۸]:

$$s^* = k \left(\frac{\bar{u}^3}{h\omega} \right)^m \quad (6)$$

که k ضریب منعکس کننده ظرفیت رسوب انتقالی توسط جریان بوده و ضریب m مقدار پیشنهادی ۰/۹۲ را دارد [۸].

۲-۲ روش حل عددی

بعد از محاسبه سرعت های ته نشینی برای ذرات مجزا، می توان غلظت رسوب معلق، ظرفیت حمل رسوب و ضخامت گل و لای جمع شده در کف حوضچه را تعیین کرد؛ بنابراین نتایج خروجی مدل پیشنهادی شامل: راندمان حذف، راندمان حذف برای هر گروه ذره، توزیع اندازه ذره در خروجی، توزیع گل و لای در جریان خروجی و ضخامت گل و لای می باشد.

گام اول ساخت مدل تعیین تراز آب، H است. عبارت ریاضی برای سرعت جریان افقی متوسط گیری شده در عمق به صورت زیر می باشد:

$$h_i^{j+1} = H_i - z_{s,i}^j - z_{g,i} \quad (16)$$

که $Z_{g,i}$ تراز کف حوضچه است. این مدل برای جریان غیرماندگار ایجاد شده اما روند غیرماندگار به چندین گام زمانی تقسیم شده که در آن الگوی جریان و الگوی انتقال رسوب ماندگار هستند. مشابه محاسبات در گام زمانی j ، همه اطلاعات برای حوضچه ترسیب برای گام زمانی $j+1$ محاسبه و برای حلقه محاسبات بعدی ذخیره می‌شود.

پروفیل توزیع اندازه ذره (PSD) در جریان خروجی در ارزیابی عملکرد کل حوضچه مفید بوده و پارامتر مهم جریان ورودی می‌باشد. PSD در امتداد طول حوضچه در موقعیت i و گام زمانی j برای گروه p را می‌توان به صورت زیر بیان کرد:

$$PSD_{i,p}^j = \frac{\bar{S}_{i,p}^j}{\bar{S}_i^j} \times 100\% \quad (17)$$

به طور مشابه، PSD در جریان خروجی در گام زمانی j برای گروه p را می‌توان به صورت زیر محاسبه کرد:

$$PSD_{outlet,p}^j = \frac{\bar{S}_{outlet,p}^j}{\bar{S}_{outlet}^j} \times 100\% \quad (18)$$

راندمان حذف (RE) مهم‌ترین فاکتوری است که می‌توان در ارزیابی عملکرد حوضچه‌های ترسیب مورد استفاده قرار داد. راندمان حذف را می‌توان به صورت نسبت مقدار ذرات ته‌شینی در کف حوضچه به کل مقدار ذرات موجود در جریان ورودی تعریف کرد. راندمان حذف برای گروه‌های ذره در مقطع i و گام زمانی j به صورت زیر بیان می‌شود:

$$RE_{i,p}^j = \frac{\bar{S}_{1,p}^j - \bar{S}_{i,p}^j}{\bar{S}_{1,p}^j} \times 100\% \quad (19)$$

راندمان حذف کل در امتداد طول حوضچه در گام زمانی معین را نیز می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$RE_i^j = \frac{\bar{S}_1^j - \bar{S}_i^j}{\bar{S}_1^j} \times 100\% \quad (20)$$

که

$$\bar{S}_i^j = \sum_{p=1}^N \bar{S}_{i,p}^j \quad (21)$$

و N تعداد کل گروه‌های ذره است. جدول ۱ لیست همه داده‌های ورودی و ضرایب مورد استفاده در مدل‌سازی را ارائه می‌کند.

با جمع کردن غلظت‌های رسوب معلق همه گروه‌ها در مقطع یکسان تعیین کرد:

$$\bar{S}_i^j = \bar{S}_{i,1}^j + \bar{S}_{i,2}^j + \dots + \bar{S}_{i,p}^j \quad (11)$$

پروفیل غلظت رسوب معلق کل در امتداد حوضچه، فاکتور اصلی در تعیین دیگر پارامترهای مهم مدل، مانند توزیع اندازه ذره در جریان خروجی و راندمان حذف است.

ضخامت گل و لای در طول حوضچه را می‌توان در چهارمین گام محاسبه کرد. این گام وابسته به محاسبه تغییرات تراز کف حوضچه است. با انتگرال‌گیری از معادله (۶) در امتداد طول حوضچه ترسیب، ضخامت گل و لای که توسط گروه p در مقطع i و گام زمانی j جمع شده را می‌توان به صورت زیر محاسبه کرد:

$$z_{s,i+1,p}^j - z_{s,i,p}^j = \frac{\Delta t \beta \omega_p}{\rho_d} (\bar{S}_{i,p}^j - S_{i,p}^{*j}) \quad (12)$$

که Δt گام زمانی بوده و بقیه پارامترها در روابط پیشین تعریف شده است. معادله فوق نشان می‌دهد که تراز بستر با زمان اصلاح می‌شود. تغییرات تراز بستر برابر با تراز اولیه بستر به علاوه‌ی ضخامت گل و لای جمع شده در گام زمانی Δt است.

$$z_{s,i+1,p}^j - z_{s,i,p}^j = \Delta z_{s,i,p}^j \quad (13)$$

باید توجه داشت که ضخامت اولیه گل و لای صفر است. این بدان معنی است که در ابتدا هیچ گل و لایی در کف حوضچه وجود ندارد. هنگامی که ضخامت رسوب ته‌نشینی جمع شده در مقطع i و گام زمانی j برای هر گروه معلوم باشد، ضخامت گل و لای کل در گام زمانی j را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$\Delta z_{s,i}^j = \sum_{p=1}^N \Delta z_{s,i,p}^j \quad (14)$$

توزیع اندازه گل و لای (SSD) پارامتر مهم دیگری است که در ارزیابی عملکرد حوضچه‌های ترسیب مورد استفاده قرار می‌گیرد. منظور از SSD گل ولای ایجاد شده در کف، توسط گروه‌های مختلف ذره بوده و می‌توان به صورت زیر بیان کرد:

$$SSD_{i,p}^j = \frac{\Delta z_{s,i,p}^j}{\Delta z_{s,i}^j} \times 100\% \quad (15)$$

بعد از محاسبه ضخامت گل و لای، نیاز به اصلاح عمق آب در انتهای هر گام زمانی است. برای معادله (۱۳) فرض می‌شود که ضخامت گل و لای تجمعی در انتهای هر گام زمانی اندازه‌گیری شده و گام‌های زمانی به اندازه کافی کوچک هستند که ضخامت گل و لای در طول آن تغییر نکند. عمق آب باید بین دو گام زمانی متوالی اصلاح شود. عمق آب در مقطع i برای گام زمانی $j+1$ را می‌توان به صورت زیر محاسبه کرد:

خواهد شد. بر اساس تجربه نویسنده، گام مکانی باید کوچکتر از ۰/۵ متر باشد. برای ساخت این مدل $\Delta x = 0.1$ m در نظر گرفته شده است.

جدول ۲. توزیع اندازه ذره و سرعت ته‌نشینی در هر گروه

Table 2. Particle size distribution and the settling velocity for each group

شماره گروه	اندازه ذره (mm)	سرعت ته‌نشینی (m/s)	PSD (%)
۱	< ۰/۰۰۵	۰/۰۰۰۰۰۹۵	۲
۲	۰/۰۰۵ - ۰/۰۱	۰/۰۰۰۰۵۳۶	۸
۳	۰/۰۱ - ۰/۰۲۵	۰/۰۰۰۰۲۹۹	۱۷
۴	۰/۰۲۵ - ۰/۰۵	۰/۰۰۰۱۳۴	۲۲
۵	۰/۰۵ - ۰/۱	۰/۰۰۰۵۳۶	۲۰
۶	۰/۱ - ۰/۲۵	۰/۰۰۱۷۲	۱۴
۷	۰/۲۵ - ۰/۵	۰/۰۰۴۰۴	۱۱
۸	۰/۵ - ۱	۰/۰۰۸۲۸	۶

ضرایب مورد استفاده برای مدل انتقال رسوب معلق از مدل یک بعدی حوضچه ترسیب مستطیلی جیو [۹] و مدل یک بعدی حوضچه ترسیب دایره‌ای [۱۹] انتخاب شده است. به گونه‌ای که ضریب زبری مانینگ 0.11 و $n = 0.01$ ضریب ظرفیت انتقال رسوب جریان $k = 0.1$ و $\beta = 1/2$ لحاظ شده است. صحت سنجی مدل پیشنهادی شامل چندین بخش می‌باشد: راندمان حذف کل در طول حوضچه، راندمان حذف برای هر گروه ذره، توزیع اندازه ذره در امتداد طول حوضچه، توزیع اندازه گل و لای در راستای جهت جریان، ضخامت کل رسوب جمع شده در کف حوضچه ترسیب و ضخامت گل ولای جمع شده توسط هر گروه ذره.

شکل ۲ نشان می‌دهد که راندمان حذف مدل جیو و مدل پیشنهادی بسیار نزدیک به یکدیگر هستند؛ به گونه‌ای که میزان خطا کمتر از یک درصد است. این نتیجه نشان می‌دهد که مدل انتقال رسوب پیشنهادی می‌تواند نتایج خوبی را منطبق با مدل‌های عددی موجود ارائه کند. مطابق شکل مذکور بیش از ۵۰ درصد ذرات معلق در ۵ متر اول ناحیه ته‌نشینی رسوب می‌کنند؛ یعنی اینکه بخش اعظم ته‌نشینی در ناحیه ورودی رخ می‌دهد. افزایش طول ناحیه ته‌نشینی سهم کمی را در افزایش میزان رسوب خواهد داشت. در نتیجه افزایش طول حوضچه ترسیب، به منظور بهبود راندمان حذف کل، اقتصادی نیست.

جدول ۱. داده‌های ورودی برای ایجاد مدل

Table 1. Input data for making the Model

ابعاد حوضچه	L, B, H _{Outlet} , slope
آب خام	Q, \bar{S}_1 , ρ
ذرات رسوب	d, N, ω , PSD
دقت اندازه‌گیری	Δx , Δt و زمان عملیات (t)
ضرایب	β , m, k, n

۳- نتایج و بحث

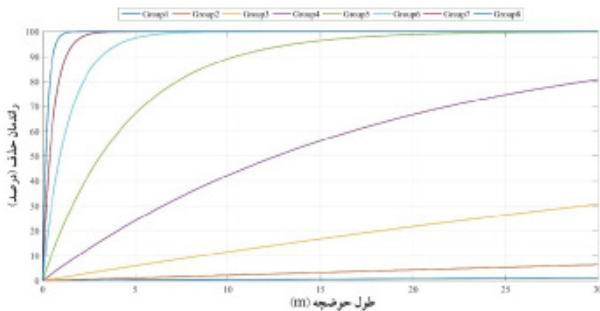
۳-۱- صحت سنجی مدل عددی

به عنوان اولین صحت سنجی، نتایج مدل پیشنهادی با مدل سومی و تیاگی [۷] مورد مقایسه قرار گرفت. در مدل مذکور، راندمان حذف برای حوضچه ترسیب مستطیلی ۸۵٪ در نظر گرفته شده که برای رسیدن به آن، در صورتی که عرض حوضچه ۳ متر و عمق آب ۱/۵ متر باشد؛ طول حوضچه ۳۸ متر به دست آمده است. در این شرایط دبی جریان ورودی به حوضچه $1 \text{ m}^3/\text{s}$ ، متوسط قطر ذره رسوب $5-10 \times 10^{-3}$ متر و سرعت ته‌نشینی ذره 0.134 m/s است. بر اساس مدل پیشنهادی جهت رسیدن به راندمان حذف ۸۵٪ با همان عرض ۳ متر، طول حوضچه باید ۳۹ متر باشد که اختلاف ناچیزی با نتایج مدل سومی و تیاگی [۷] دارد.

جهت صحت سنجی دوم، داده‌های ورودی مدل پیشنهادی از مدل جیو [۹] انتخاب شده است که یکی از مدل‌های معتبر در حوزه مدل‌سازی انتقال رسوب می‌باشد. ابعاد حوضچه مورد استفاده در این مدل عبارت‌اند از: طول حوضچه $L = 30 \text{ m}$ ، عمق آب $h = 2/0 \text{ m}$ ، عرض ناحیه ته‌نشینی 3 m = B، ارتفاع حوضچه از کف $z_g = 2 \text{ m}$ ، تراز سطح آب در خروجی $H = 4 \text{ m}$ و کف حوضچه شیب ندارد. خواص آب خامی که در ناحیه ته‌نشینی جریان می‌یابد شامل: دبی جریان ورودی $Q = 0.88 \text{ m}^3/\text{s}$ ، غلظت رسوب معلق در ورودی $\bar{S}_1 = 0.5 \text{ kg/m}^3$ ، چگالی آب خام $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$ و چگالی رسوب خشک $\rho_p = 1200 \text{ kg/m}^3$ است. خواص ذرات رسوب معلق در هر گروه شامل: اندازه ذره d، توزیع اندازه ذره (PSD) و سرعت ته‌نشینی ω در جریان ورودی بوده که در جدول ۲ ارائه شده است. لازم به ذکر است که دانه‌بندی ارائه شده در جدول ۲ به عنوان یک توزیع اندازه ذره استاندارد در اکثر مقالات بیان شده و می‌توان تا حد زیادی نتایج به دست آمده بر اساس این دانه‌بندی را عمومیت داد.

بر طبق پیشنهاد هیونگ [۱۹]، گام زمانی به منظور پیش‌بینی دقیق و قابل اطمینان باید حداقل یک‌هزارم زمان عملیات باشد. با توجه به کارکرد یک روزه مدل جهت جمع‌آوری اطلاعات رسوب‌گذاری، گام زمانی 30 s = Δt انتخاب شده است. با کوچک شدن گام مکانی (Δx) خطای برش کم شده و نتایج عددی بهتری ارائه می‌شود، اما مدت زمان اجرای مدل طولانی

کامل این ۴ گروه را تأیید می‌کند (در ادامه جریان سرریزی تعریف خواهد شد).



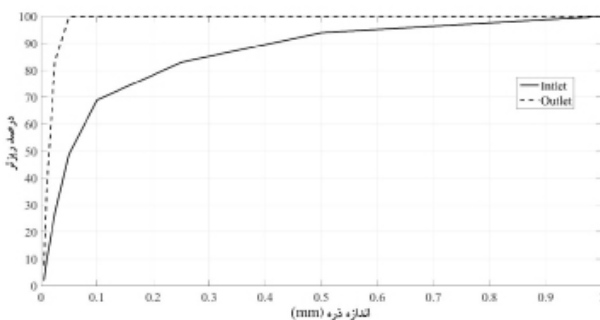
شکل ۳. راندمان حذف برای هر گروه ذره در امتداد طول حوضچه

Fig. 3. Removal efficiency for each particle group along the length of basin

جدول ۴ توزیع اندازه ذره معلق (PSD) در خروجی حوضچه‌ی مدل جیو و مدل پیشنهادی، با توزیع اندازه ذره جریان ورودی یکسان، را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، هر دو مدل مقادیر تقریباً یکسانی را برای همه هشت گروه ذره ارائه می‌کنند.

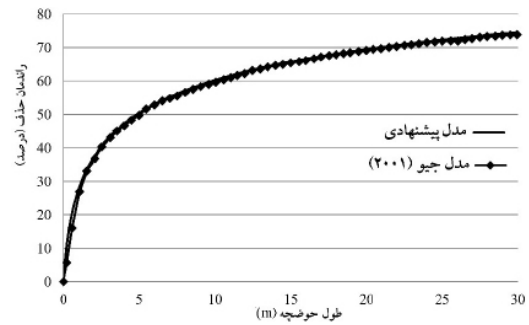
شکل ۴ توزیع اندازه ذره در جریان ورودی و خروجی مدل پیشنهادی را نشان می‌دهد که در جریان ورودی تنها ۵۰ درصد ذرات بزرگ‌تر از ۰/۰۵ میلی‌متر بوده و در جریان خروجی همه ذرات کوچک‌تر از ۰/۰۵ میلی‌متر هستند. این بدان معنی است که همه ذرات با اندازه بزرگ‌تر از ۰/۰۵ میلی‌متر به طور کامل ته‌نشین می‌شوند.

توزیع اندازه ذره گل و لای در موقعیت‌های مختلف خروجی در مدل جیو و مدل پیشنهادی، با توزیع اندازه ذره گل و لای یکسان جریان ورودی، در جدول ۵ نشان داده شده است. مقایسه بین این دو مدل نشان می‌دهد که افزایش طول ناحیه ته‌نشینی تفاوت بین دو مدل را کاهش می‌دهد. شاید دلیل این امر، پایدارتر بودن شرایط ته‌نشینی ذره رسوب در نواحی دورتر از ورودی و خروجی حوضچه باشد.



شکل ۴. توزیع اندازه ذره در جریان ورودی و خروجی حوضچه

Fig. 4. Particle size distribution at the inlet and outlet of basin



شکل ۲. راندمان حذف کل در امتداد طول حوضچه

Fig. 2. Total removal efficiency along the length of basin

با توجه به جدول ۳، راندمان حذف با افزایش اندازه ذره زیاد می‌شود. هنگامی که اندازه ذرات کوچک‌تر از ۰/۰۲۵ میلی‌متر است، راندمان حذف در مدل جیو و مدل پیشنهادی تقریباً یکسان هستند. هنگامی که ذرات در دامنه ۰/۰۲۵ تا ۰/۰۵ میلی‌متر قرار دارند؛ راندمان حذف در مدل جیو و مدل پیشنهادی بسیار به یکدیگر نزدیک بوده و برای ذرات بزرگ‌تر از ۰/۰۵ میلی‌متر در هر دو مدل ذرات به طور کامل ته‌نشین می‌شوند.

جدول ۳. راندمان حذف (درصد)

Table 3. Removal efficiency (percent)

شماره گروه	مدل جیو	مدل پیشنهادی
۱	۱/۰۳	۰/۷۱
۲	۶/۴	۶/۳۴
۳	۳۰/۷۶	۳۰/۶۷
۴	۸۰/۶۹	۸۰/۷۵
۵	۹۹/۸۶	۹۹/۸۶
۶	۱۰۰	۱۰۰
۷	۱۰۰	۱۰۰
۸	۱۰۰	۱۰۰
کل	۷۳/۷۶	۷۴/۵۵

شکل ۳ راندمان حذف برای هر گروه ذره در مدل پیشنهادی را نشان می‌دهد. در این شکل ذرات در گروه‌های ۵، ۶، ۷ و ۸ به طور کامل ته‌نشین می‌شوند؛ اما مسافت مورد نیاز ته‌نشینی برای هر گروه کاملاً متفاوت است. به‌طوری‌که ذرات گروه ۸، ۷، ۶ و ۵ به ترتیب به ۱/۵، ۳، ۷/۵ و ۲۵ متر برای ته‌نشینی کامل نیاز دارند. از جدول ۲ سرعت ته‌نشینی ذرات در گروه‌های ۵، ۶، ۷ و ۸ خیلی بزرگ‌تر از میزان جریان سرریزی (qv) بوده که ته‌نشینی

جدول ۴. توزیع اندازه ذره (PSD)

Table 4. Particle size distribution (PSD)

PSD (%) جریان خروجی		PSD (%) جریان ورودی	شماره گروه
مدل پیشنهادی	مدل جیو		
۷/۷۸	۷/۷۶	۲	۱
۲۹/۳۷	۲۹/۳۵	۸	۲
۴۶/۱۵	۴۶/۱۳	۱۷	۳
۱۶/۶	۱۶/۶۵	۲۲	۴
۰/۱	۰/۱۱	۲۰	۵
۰	۰	۱۴	۶
۰	۰	۱۱	۷
۰	۰	۶	۸

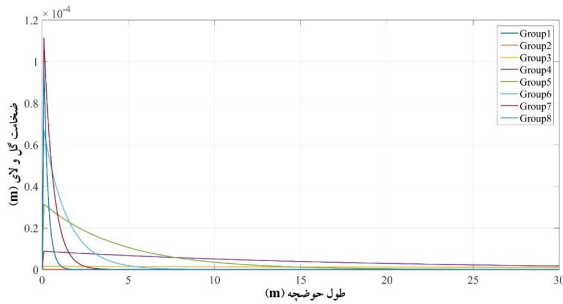
جدول ۵. توزیع اندازه ذره گل و لای

Table 5. Sludge particle size distribution

گل و لای (%) جریان خروجی						شماره گروه
مدل پیشنهادی			مدل جیو			
۳۰ m	۱۵ m	۵ m	۳۰ m	۱۵ m	۵ m	
۰/۱۶	۰/۰۷	۰/۰۲	۰/۱۵	۰/۰۷	۰/۰۱	۱
۴/۰۷	۱/۹	۰/۵۹	۳/۹۹	۱/۸۳	۰/۴۱	۲
۳۶/۰۳	۱۹/۵۹	۶/۷۶	۳۵/۵۱	۱۸/۹۳	۴/۷۷	۳
۵۸/۲۸	۶۰/۱۶	۳۱/۸۴	۵۸/۶۸	۵۹/۲۵	۲۳/۸۶	۴
۱/۴۶	۱۸/۲۶	۵۱/۱۵	۱/۶۷	۱۹/۸۹	۴۸/۹	۵
۰	۰/۰۲	۹/۵۵	۰	۰/۰۴	۲۰/۵۴	۶
۰	۰	۰/۰۹	۰	۰	۱/۵	۷
۰	۰	۰	۰	۰	۰/۰۱	۸

در خروجی، ۹۹ درصد این ذرات کوچکتر از ۰/۰۵ میلی متر هستند. این بدان معنی است که ذرات گل و لای درشت تر زودتر ته نشین می شوند؛ اما ذرات گل و لای ریزتر نیاز به طول بسیار بیشتری برای ته نشینی دارند. نتایج مذکور در انطباق کامل با مدل جیو می باشد.

شکل ۵ توزیع اندازه ذره گل و لای ته نشینی در ورودی و خروجی حوضچه ترسیب مدل پیشنهادی را نشان می دهد. در ورودی، ۹۰ درصد ذرات گل و لای اندازه های بزرگتر از ۰/۱ میلی متر دارند. در واقع ذرات بزرگتر بخش قابل توجهی از گل و لای ته نشینی را تشکیل می دهند؛ اما



شکل ۷. ضخامت گل و لای در امتداد طول ناحیه ته‌نشینی برای هر گروه ذره

Fig. 7. Sludge thickness Along the Length of basin for each particle group

۳-۲- آنالیز حساسیت مدل

بخش صحت‌سنجی پیشین بر اساس یک سری پارامترهای ثابت اجرا شده که در جدول ۵ با رنگ قرمز نشان داده شده است. به منظور آنالیزهای حساسیت مدل تأثیر پارامترهای کلیدی زمان توقف (T)، میزان جریان سرریزی (q_v)^۲ و ابعاد حوضچه بر راندمان حذف کل مورد ارزیابی قرار گرفته است. لازم به ذکر است که دو پارامتر T و q_v به صورت زیر تعریف می‌شوند:

$$T = \frac{L \times B \times h}{Q} \quad (22)$$

$$q_v = \frac{Q}{L \times B} \quad (23)$$

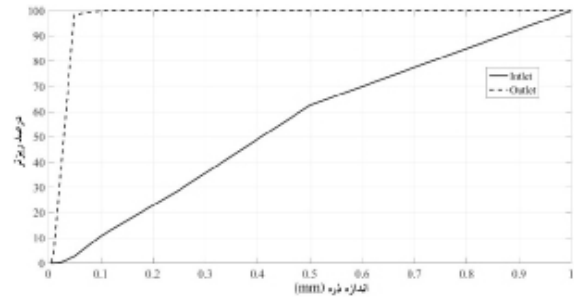
همان‌گونه که پیش‌تر بیان شد L، B و h به ترتیب طول، عرض و ارتفاع آب درون حوضچه است.

جدول ۶ راندمان حذف کل با زمان‌های توقف، دبی‌های سرریزی و ابعاد متفاوت حوضچه را نشان می‌دهد. از بررسی‌های صورت گرفته نتایج زیر به دست می‌آید:

- برای حالات ۱، ۵، ۸ و ۱۲ با زمان توقف و حجم حوضچه ثابت، راندمان‌های حذف کل با افزایش میزان جریان سرریزی، کاهش می‌یابد. این بیان‌کننده تئوری ته‌نشینی ایده‌آل بوده که ذرات با سرعت ته‌نشینی کوچک‌تر از q_v را به طور کامل نمی‌توان حذف کرد.

- برای حالاتی که میزان جریان سرریزی یکسان است، راندمان‌های حذف تقریباً برابر بوده و طول حوضچه و زمان توقف اهمیت ندارد. از این رو افزایش ابعاد حوضچه ترسیب مستطیلی روشی مؤثر و اقتصادی جهت افزایش راندمان حذف نمی‌باشد.

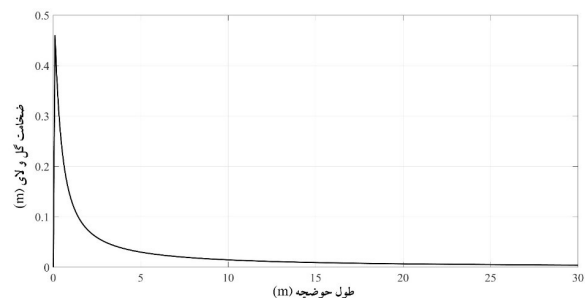
- در عمق آب و عرض حوضچه ثابت، راندمان حذف با افزایش طول حوضچه بیشتر می‌شود. همچنین در مساحت سطحی ثابت حوضچه، راندمان



شکل ۵. توزیع اندازه ذره گل و لای در ورودی و خروجی حوضچه (۳۰ متر) در مدل پیشنهادی

Fig. 5. Sludge particle size distribution at the Inlet and Outlet (30m) of basin in the proposed model

شکل ۶ چگونگی تغییر ضخامت گل و لای جمع شده در طول حوضچه ترسیب، بعد از عملیات یک روزه، را نشان می‌دهد. اوج تجمع گل و لای در شروع ناحیه ته‌نشینی اتفاق می‌افتد. بعد از اوج، ضخامت با شیب بسیار تندی در طول حوضچه کاهش می‌یابد. از شکل ۶، مقدار بیشینه ضخامت گل و لای ۰/۴۶ متر به دست آمده است. همچنین شکل نشان می‌دهد که بیش از ۹۰ درصد گل و لای در ۵ متر اول ناحیه ته‌نشینی جمع می‌شوند.



شکل ۶. ضخامت گل و لای در امتداد طول حوضچه در مدل پیشنهادی

Fig. 6. Sludge thickness Along the Length of basin in the proposed model

شکل ۷ ضخامت گل و لای در امتداد طول ناحیه ته‌نشینی برای هر گروه ذره را نشان می‌دهد. اوج ضخامت گل و لای جمع شده در شروع ناحیه ته‌نشینی رخ می‌دهد؛ به خصوص برای ذرات گروه ۶، ۷ و ۸ که به طور کامل در ۵ متر اول ته‌نشینی می‌شوند.

1 Detention Time

2 Overflow Rate

روی هم رفته از آنالیزهای فوق می‌توان به این نتیجه رسید که تحت زمان توقف ثابت، میزان جریان سرریزی مهم‌ترین فاکتور تاثیرگذار بر عملکرد حوضچه‌های ترسیب مستطیلی است. در واقع می‌توان با کاهش عمق حوضچه ترسیب، افزایش مساحت سطح مقطع در جهت جریان و کاهش میزان جریان سرریزی، راندمان حذف را افزایش داد.

حذف رابطه عکسی با عمق آب دارد؛ بنابراین کاهش عمق حوضچه ترسیب بر عملکرد حوضچه مؤثر نیست، اما هزینه و فضای مورد نیاز را کاهش می‌دهد. به نظر می‌رسد که تأثیر عمق آب بر عملکرد حوضچه مهم‌تر از طول ناحیه ته‌نشینی است.

جدول ۶. راندمان حذف در تغییر پارامترهای کلیدی

Table 6. Removal efficiency for variation of key parameters

شماره حالت	زمان توقف (Sec)	q_v (m/s)	عمق آب (m) h	عرض (m) B	طول (m) L	راندمان حذف کل (%)
۱	۲۰۴۶	۰/۰۰۰۷۳	۱/۵	۴	۳۰	۷۸/۳۳
۲	۲۷۲۷		۲	۳	۴۰	۷۸/۳۲
۳	۴۰۹۱		۳	۲	۶۰	۷۸/۳۱
۴	۱۵۳۴	۰/۰۰۰۹۸	۱/۵	۴	۲۲/۵	۷۴/۵۶
۵	۲۰۴۶		۲	۳	۳۰	۷۴/۵۵
۶	۲۰۴۶		۳	۲	۴۵	۷۴/۵۴
۷	۱۲۲۷	۰/۰۰۱۲۲	۱/۵	۴	۱۸	۷۱/۵۴
۸	۲۰۴۶		۲/۵	۳	۲۴	۷۱/۵۳
۹	۲۴۵۴		۳	۲	۳۶	۷۱/۵۲
۱۰	۱۰۲۳	۰/۰۰۱۴۷	۱/۵	۴	۱۵	۶۹/۰۴
۱۱	۱۳۶۴		۲	۳	۲۰	۶۹/۰۳
۱۲	۲۰۴۶		۳	۲	۳۰	۶۹/۰۲

رسوب معلق پیشنهادی می‌تواند نتایج خوبی را منطبق با مدل‌های عددی موجود ارائه کند.

- بیش از ۵۰ درصد ذرات معلق در ۵ متر اول ناحیه ته‌نشینی رسوب می‌کند. این بدان معنی است که بخش اعظم ته‌نشینی در ناحیه ورودی رخ می‌دهد و افزایش طول ناحیه ته‌نشینی سهم کمی در افزایش میزان ته‌نشینی خواهد داشت. از این‌رو افزایش طول حوضچه ترسیب به منظور بهبود راندمان حذف کل اقتصادی نیست.

- در گروه‌هایی که سرعت ته‌نشینی ذره خیلی بزرگ‌تر از میزان جریان سرریزی (q_v) است، ذرات به طور کامل در حوضچه رسوب می‌کنند.

- مقایسه بین مدل جیو و مدل پیشنهادی در پیش‌بینی توزیع اندازه ذره گل و لای نشان می‌دهد که افزایش طول ناحیه ته‌نشینی تفاوت بین دو مدل را کاهش می‌دهد که ممکن است به دلیل شرایط پایدارتر ته‌نشینی ذره در نواحی دورتر از ورودی و خروجی باشد.

۴- نتیجه‌گیری

در این پژوهش مدل عددی یک بعدی به منظور شبیه‌سازی انتقال رسوب معلق در یک حوضچه ترسیب مستطیلی ارائه شد. از مدل جریان متوسط‌گیری شده در عمق به همراه معادلات انتقال رسوب برای ساخت مدل پیشنهادی استفاده گردید. تقریب تفاضل محدود نیز جهت حل معادلات حاکم مورد استفاده قرار گرفت. جهت صحت‌سنجی از مدل پیشنهادی مدل سومی و تیاگی [۷] و مدل جیو [۹] استفاده شد که نتایج به اختصار در ادامه ارائه شده است:

- طول حوضچه به دست آمده در راندمان حذف ۸۵٪ از مدل سومی و تیاگی [۷] و مدل پیشنهادی، با خطایی در حدود ۲/۵٪، به یکدیگر نزدیک بوده که نشان از دقت نتایج مدل پیشنهادی دارد.

- راندمان حذف و توزیع اندازه ذره‌ی خروجی مدل جیو و مدل پیشنهادی بسیار نزدیک به یکدیگر هستند؛ این نتیجه بدان معنی است که مدل انتقال

dp چگالی رسوب
 ω سرعت ته‌نشینی
 ζ_p توزیع اندازه ذره
 ζ_p^* درصد گروه ذرات در ظرفیت حمل رسوب

زیرنویس

i شماره سطح زمانی

بالانویس

j شماره گره موقعیت مکانی

مراجع

- [1] H.M. El-Baroudi, Characterization of settling tanks by eddy diffusion, Journal of the Sanitary Engineering Division, 95 (1969).
- [2] D.R. Schamber, B.E. Larock, Numerical analysis of flow in sedimentation basins, Journal of the Hydraulics Division, 107(5) (1981) 575-591.
- [3] E. Imam, J.A. McCorquodale, J.K. Bewtra, Numerical Modeling of Sedimentation Tanks, Journal of Hydraulic Engineering, 109(12) (1983) 1740-1754.
- [4] D.W. Ostendorf, B.C. Botkin, Sediment Diffusion in Primary Shallow Rectangular Clarifiers, Journal of Environmental Engineering, 113(3) (1987) 595-611.
- [5] E.W. Adams, W. Rodi, Modeling Flow and Mixing in Sedimentation Tanks, Journal of Hydraulic Engineering, 116(7) (1990) 895-913.
- [6] S. Zhou, J.A. McCorquodale, Modeling of Rectangular Settling Tanks, Journal of Hydraulic Engineering, 118(10) (1992) 1391-1405.
- [7] P.K. Swamee, A. Tyagi, Design of Class-I Sedimentation Tanks, Journal of Environmental Engineering, 122(1) (1996) 71-73.
- [8] Y.-C. Jin, Q.-C. Guo, T. Viraraghavan, Modeling of Class I Settling Tanks, Journal of Environmental Engineering, 126(8) (2000) 754-760.
- [9] Q. Guo, Numerical modeling of suspended sediment transport, University of Regina, Saskatchewan, 2001.
- [10] F. Rostami, M. Shahrokhi, M.A. Md Said, R. Abdullah, Syafalni, Numerical modeling on inlet aperture effects on flow pattern in primary settling tanks, Applied Mathematical Modelling, 35(6) (2011) 3012-3020.
- [11] M. Shahrokhi, F. Rostami, M.A. Md Said, Syafalni, Numerical modeling of baffle location effects on the flow pattern of primary sedimentation tanks, Applied Mathematical Modelling, 37(6) (2013) 4486-4496.

- اوج تجمع گل و لای در شروع ناحیه ته‌نشینی اتفاق می‌افتد. بعد از اوج، ضخامت با شیب بسیار تندی در طول حوضچه کاهش می‌یابد. در نهایت، از آنالیزهای حساسیت انجام شده می‌توان به این نتیجه رسید که تحت جریان سرریزی ثابت، افزایش زمان توقف تأثیر قابل توجهی بر افزایش راندمان حذف کل ندارد؛ اما تحت زمان توقف ثابت، میزان جریان سرریزی مهم‌ترین فاکتور تأثیرگذار بر عملکرد حوضچه‌های ترسیب مستطیلی است. به بیان دیگر راندمان حذف را می‌توان با کاهش عمق حوضچه ترسیب، افزایش مساحت سطح مقطع در جهت جریان و کاهش میزان جریان سرریزی افزایش داد.

فهرست علائم

علائم انگلیسی

B	عرض ناحیه ته‌نشینی، m
C	ضریب شزی
g	شتاب ثقل، m/s^2
H	تراز سطح آب، m
h	عمق آب در ناحیه ته‌نشینی، m
k	ضریب، بیان‌کننده ظرفیت حمل رسوب توسط جریان
L	طول حوضچه ترسیب، m
m	ضریب، مقدار پیشنهادی ۰/۹۲
N	تعداد گروه ذرات
n	ضریب زبری مانینگ
Q	دبی جریان ورودی، m^3/s
q_v	میزان جریان لبریزی، m/s
R	شعاع هیدرولیکی
\bar{S}	غلظت رسوب متوسط‌گیری شده در عمق سطح مقطع
S^*	متوسط ظرفیت حمل رسوب
T	زمان توقف
t	مقیاس زمان
Δt	گام زمانی
\bar{u}	سرعت جریان افقی متوسط‌گیری شده در عمق
Δx	گام مکانی
z_b	تراز کل کف کانال شامل ضخامت گل و لای
z_g	تراز کف حوضچه
z_s	ضخامت گل و لای جمع شده در کف حوضچه

علائم یونانی

β ضریب نسبت بین نسبت غلظت رسوب کف حوضچه به غلظت رسوب متوسط‌گیری شده در عمق سطح مقطع
 ρ چگالی جرمی سیال، kg/m^3

- [16] B.S. Booshehri, R. Rahimzadegan, Optimum Design of Settling Basin in Irrigation Networks, Isfahan University of Technology, Esfahan, 1995.
- [17] S.-N. Shetab-Boushehri, S.-F. Mousavi, S.-B. Shetab-Boushehri, Design of Settling Basins in Irrigation Network Using Simulation and Mathematical Programming, Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 136(2) (2010) 99-106.
- [18] M.E. Ahmadi, H.G. Najafabadi, Numerical simulation of water flow and sediment in settling Basins, Power and Water University of Technology, Tehran, 2011.
- [19] W. Sun, Modeling Flocculation in Sedimentation Tank with Depth-Averaged Method, Faculty of Graduate Studies and Research, University of Regina, 2014.
- [12] M. Shahrokhi, F. Rostami, M.A.M. Said, S.-R. Sabbagh-Yazdi, S. Syafalni, R. Abdullah, The effect of baffle angle on primary sedimentation tank efficiency, Canadian Journal of Civil Engineering, 39(3) (2012) 293-303.
- [13] X. Liu, H. Xue, Z. Hua, Q. Yao, J. Hu, Inverse Calculation Model for Optimal Design of Rectangular Sedimentation Tanks, Journal of Environmental Engineering, 139(3) (2013) 455-459.
- [14] T. Tu, K.J. Carr, A. Ercan, M.L. Kavvas, J. Nosacka, Two-Dimensional Sediment Transport Modeling in Cache Creek Settling Basin, California, in: World Environmental and Water Resources Congress 2015.
- [15] T. Tu, K.J. Carr, A. Ercan, T. Trinh, M.L. Kavvas, K. Brown, J. Nosacka, Two-Dimensional Sediment Transport Modeling under Extreme Flood at Lower Cache Creek, California, in: World Environmental and Water Resources Congress 2017.

Please cite this article using:

H. Sarveram, F. Rostami, M. Shahrokhi, 1D Numerical Modeling of Sediment Pattern in Settling Basins, *Amirkabir J. Civil Eng.*, 51(4) (2019) 781-792.

DOI: 10.22060/ceej.2018.13948.5517

برای ارجاع به این مقاله از عبارت زیر استفاده کنید:



