

شبیه سازی جریان رسوب درون تانک رسوبگیر

حسین غفاریان روح پرور^۱، محمود فغفور مغربی^۲، محمدجواد کتابداری^۳، علی نصیریان^۴ ۱- دانشجوی کارشناسی ارشد عمران- سازه های هیدرولیکی دانشگاه فردوسی مشهد ۲- دانشیار گروه عمران دانشکده مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد ۳- دانشیار دانشکده کشتیسازی دانشگاه صنعتی امیرکبیر ٤- دانشجوی دکتری عمران- آب دانشگاه فردوسی مشهد

> h_roohparvar@yahoo.com maghrebi@um.ac.ir Ketabdar@cic.aut.ac.ir ali_geran@yahoo.com

خلاصه

حوضچهترسیب، ذرات معلق موجود در آب را ازطریق تهنشینی کاهش داده و کیفیت آب را بهبود میبخشد. در این تحقیق با شبیهسازی جریان در داخل یک تانک رسوبگیر، بهتحلیل حرکت رسوب پرداخته میشود. برای شبیهسازی جریان در تانک ازروش احجام محدود استفاده شد. شبیهسازی حرکت رسوب در داخل تانک بافرض حرکت به صورت لاگرانژی صورت میگیرد. با دانستن سرعت درجهات افقی وقائم درسلولهای محاسباتی ونیز با محاسبه سرعت سقوط ذرات رسوب، میتوان مسیر حرکت هر ذره را با توجه به اندازه وچگالی آن پیشیینی نمود. پساز مدلسازی جریان رسوب، بادنبال کردن هرذره میزان رسوب خروجی از تانک وهمچنین راندمان تلهاندازی تانک رسوبگیر محاسبه شدهاست.

کلمات کلیدی: تانک رسوبگیر، حرکت لاگرانژی، روش احجام محدود، معادله استوکس

۱. مقدمه

در تصفیهخانهها، رسوبگیری به کمک نیروی ثقل، یکی از روشهای مرسوم برای از بین بردن ذرات معلق، از آب است. این روند با استفاده از تانکهای رسوبگیر صورت میگیرد. این تانکها اجزای اصلی در تصفیه آب هستند. درنتیجه طراحی تانک با خاصیت از بین برندگی بالای ذرات معلق، موضوع بسیاری از مطالعات تئوریک، آزمایشگاهی و عددی بوده است.

استفاده از تمام حجم تانک برای رسوبگذاری امری بسیار مشکل است[1,2]. لذا طراحی تانکهای رسوبگیر به صورت بزرگتر از حد مورد نیاز امری معمول است که منجر به افزایش هزینه ها به منظور بهبود کارایی می شود[3]. به همین دلیل، در ک مناسب از فرآیندهای هیدرولیکی موجود در تصفیه آب، برای طراحی بهینه ضروری است. رسوبگذاری روندی است که در آن ذرات جامد، تحت اثر نیروی ثقلی تهنشین می شوند. در این روند ذرات با جرم حجمی بیشتر از آب، از مسیر خطوط جریان سیال منحرف شده و در کف تانک رسوبگیر تهنشین شده و یا ممکن است همراه با جریان خروجی ازتانک خارج شود[4].

جریان یکنواخت در تانک رسوبگیر موجب افزایش راندمان آن می شود و نواحی با جریان چرخشی در تانک۵های رسوبگیر، جریان سیال را از گسترش به صورت یکنواخت و ایده آل منحرف می کنند[5]. نواحی چرخشی حجم موثر رسوب گذاری را کاهش میدهند، که منجر به اختلاط بالا و



ایجاد گردابههای کوچک بین ورودی و خروجی جریان می شود که این امر کارایی تانکهای رسوبگیر را کاهش میدهد؛ به این نواحی اصطلاحاً نواحی مرده' گفته می شود[6].

اخیرا در بسیاری از تحقیقات از تکنیک های محاسبات دینامیکی سیال^۲ برای مدل کردن تهنشینی در تانک های رسوبگیر استفاده می شود. این در فعالیت ها به منظور پیشبینی الگوهای جریان سیال و فرایند پخشی ذرات رسوب درطول تانک انجام می شود. Jog (۲۰۰۷) روی دینامیک جریان در Goula (۲۰۰۷) در بعدی ساخت[2]. Goula حوضچه های ترسیب ثانویه مطالعه کرد و مدلی برای جریان دوفازه سیال-جامد در جریان آشفته درون تانک به صورت سه بعدی ساخت[2]. Goula حوضچه های ترسیب ثانویه مطالعه کرد و مدلی برای جریان دوفازه سیال-جامد در جریان آشفته درون تانک به صورت سه بعدی ساخت[2]. Goula حوضچه های ترسیب ثانویه مطالعه کرد و مدلی برای جریان دوفازه سیال-جامد در جریان آشفته درون تانک به صورت سه بعدی ساخت[2]. Goula را (۲۰۰۸) در مورد تانک های رسوبگیر دایروی مطالعاتی انجام داد و با استفاده از شبیه سازی بوسیله محاسبات دینامیکی جریان اثر افزایش بافل⁷ های عمودی در مقطع تغذیه تانک رسوبگیر دوار برای بهبود ته نشست جامدات در آب آشامیدنی را تعیین کرد[5] . تصفیه کننده دوار دوبعدی بوسیله عمودی در مقطع تغذیه تانک رسوبگیر دوار برای بهبود ته شست جامدات در آب آشامیدنی را تعیین کرد[5] . تصفیه کننده دوار دوبعدی بوسیله محاوری نوایی نیز برای تعیین کرد[6] . تصفیه کننده دوار دوبعدی بوسیله معودی در مقطع تغذیه تانک رسوبگیر دوار برای بهبود ته شامل دو قسمت بود: مدل آماده کننده سرعت و لزجت آشفتگی و مدل انتقال دهنده درات برای تعیین غلظت ذرات. شبیه سازی به کمک محاسبات دینامیک جریان نیز برای تحلیل انتقال ذرات رسوب با اندازه های مختلف استفاده شد. از این در تران برای پر آورد اثرات پالایش رسوب در مسیر جریان استفاده شد، که می تواند اطلاعاتی را در مورد پخش و انتشار ذرات و نسبت ذرات رسوب نموده در اختیار قرار در در برای برای برای و این دسته می تواند برای برای بر آورد راندمان در روند رسوبگذاری استفاده شد، که می تواند اطلاعاتی را در مورد پخش و انتشار ذرات و نسبت ذرات رسوب در می تواند برای بر آورد در مورد پخش و انتشار در در در در در در در در انموده در در ای بر تران برای بر آور دهد. اطلاعاتی از در سوب در می تواند برای بر آور در درمون در در درمون در در درموند در در درمون در درمون در درمون در درمون در درمون در درمو در درمو در درموا در درمو در درمو در درمو در درمو در درمو در در

Stamou تحقیقات خود در مورد بهینه سازی ابعاد و هندسه حوضچه های آرامش ارائه نمود[9]. در این زمینه Stamou و همکاران[10]، با استفاده از روش های دینامیک محاسباتی جریان مدل سازی های عددی برای حوضچه های آرامش با هندسه های مختلف ارائه کردند. Ashjari (۲۰۰۳)، به کمک روش ٤- ۶ غیرخطی، جریان را درون حوضچه تحلیل کرد[11].

هدف از انجام این تحقیق، ارائه یک مدل محاسباتی دوبعدی برای مطالعه جریان درون تانک رسوبگیر می باشد. نخست با استفاده از یک مدل عددی جریان آشفته، جریان داخل تانک مدل شده و خطوط جریان استخراج می شود. سپس با تزریق ذرات رسوب که دارای چگالی و قطرهای مشخصی هستند، مسیر حرکت آنها که قطعا منطبق بر خطوط جریان نخواهد بود بدست می آید و الگوی جریان، مسیر جریان رسوب داخل تانک، نسبت دانه بندی ذرات و وزن ذرات در ورودی و خروجی تانک استخراج می شود. درنهایت راندمان حوضچه ترسیب مورد ارزیابی قرار می گیرد.

۲. معادلات حاکم

به منظور تحلیل جریان سیال، باید بتوان معادلات حاکم بر جریان را در تمام نقاط شبکه محاسباتی حل کرد. معادلات حاکم بر جریان سیال، معادلات پیوستگی و مومنتوم می باشند که در مجموع به معادلات ناویر ⊣ستوکس معروفند. معادلات حاکم مورد استفاده در روش شبیه سازی گردابه های بزرگ^۴ با استفاده از متوسط گیری زمانی معادلات ناویر ⊣ستوکس در فضای فیزیکی بدست آمد. معادلات فیلتر شده ناویر ⊣ستوکس به صورت زیر می باشد[12]:

27

$$\frac{\partial \overline{u}_{i}}{\partial x} = 0$$

$$\frac{\partial \overline{u}_{i}}{\partial t} + \frac{\partial \overline{u_{i}u_{j}}}{\partial x_{j}} = -\frac{\partial \overline{p/\rho}}{\partial x} + 2\left(v + v_{sgs}\right)\frac{\partial \overline{S_{ij}}}{\partial x_{j}}$$

$$\overline{S_{ij}} = \frac{1}{2}\left(\frac{\partial \overline{u}_{i}}{\partial x_{i}} + \frac{\partial \overline{u}_{j}}{\partial x_{i}}\right)$$
(1)

در این روابط *U*نشان دهنده سرعت، _{ای} نسبت کرنش^ه، V و *Q* به ترتیب لزجت سینماتیک و جرم حجمی سیال و _{sgs} لزجت مقیاس زیر شبکه [°]است. جهت حل معادلات مومنتوم، رابطه گسسته شده در جهت X و Y در روابط (۲) و (۳) مشاهده می شود:

- baffle
- ¹ large eddy simulation(LES)

subgrid scale viscosity

dead zones

computational flow dynamics(CFD)

rate of strain



$$a_{i,j}u_{i,j} = \sum a_{nb}u_{nb} - \frac{P_{i,j} - P_{i-1,j}}{dx}dV$$
(Y)

$$a_{i,j}v_{i,j} = \sum a_{nb}v_{nb} - \frac{P_{i,j} - P_{i,j-1}}{dy}dV$$
(^(*))

در این روابط $\sum a_{nb}v_{nb}$ و $\sum a_{nb}u_{nb}$ برابر است با:

$$\sum a_{nb}u_{nb} = a_w u_w + a_e u_e + a_s u_s + a_n u_n \tag{(*)}$$

$$\sum a_{nb}v_{nb} = a_w v_w + a_e v_e + a_s v_s + a_n v_n \tag{2}$$

در روابط بالا ترتیب قرار گیری مقادیر سرعت و فشار در شبکه محاسباتی و در دو و سه بعد به ترتیب در اشکال (۱-الف) و (۱-ب) مشخص شده است:



شکل(۱): وضعیت شبکه محاسباتی در روش احجام محدود برای الف) حالت سه بعدی و ب) حالت دوبعدی

ضرایب a در روابط (۴) و (۵) باتوجه به نوع گسسته سازی مشخص می شوند. در این تحقیق جهت گسسته سازی از روش ترکیبی ⁽ استفاده شده است. این روش ترکیبی از دو روش تفاضل مرکزی مرتبه اول و تفاضل پیشرو مرتبه اول می باشد. مقادیر ضرایب a در این روش از جدول زیر بدست می آید.

D	F	Α	
$A_w \frac{\mu}{dx}$	$(\rho u)_{w}A_{w}$	$\max\left(F_{w}, \left(D_{w} + \frac{F_{w}}{2}\right), 0\right)$	a_{w}
$A_e \mu / dx$	$(\rho u)_{e}A_{e}$	$\max\left(-F_e, \left(D_e - \frac{F_e}{2}\right), 0\right)$	a_{e}
$A_s \frac{\mu}{dy}$	$(\rho u)_{s} A_{s}$	$\max\left(F_s, \left(D_s + \frac{F_s}{2}\right), 0\right)$	a_{s}
$A_n \frac{\mu}{dy}$	$(\rho u)_n A_n$	$\max\left(-F_n,\left(D_n-\frac{F_n}{2}\right),0\right)$	a_n

جدول(۱) : تعیین ضرایب a در حالت دوبعدی[13]

که دراین جدول F و D به ترتیب نشان دهنده ترمهای جریان ً و پخشی ً هستند.

از طرفی سرعت سقوط ذرات رسوب با فرض حرکت ذرات به صورت لاگرانژی و با استفاده از رابطه استوکس بدست می آید. فرض جریان لاگرانژی در حالتی که نسبت حجم ذرات کم باشد و حظور ذرات روی جریان اثرگذار نباشد فرض مناسبی می باشد[3] .

^v hybrid

flux

^t diffusion



1.E+03

ششمین کنگره ملی مهندسی عمران ۶ و ۷ اردیبهشت ۱۳۹۰، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران

سرعت سقوط ذرات رسوب یکی از مهمترین پارامترهای توصیف کننده حرکت ذره در ارتباط با مایع است. برای ذره درحال سقوط بافرض سقوط آزاد میتوان از رابطه تعادل نیروها رابطه زیر را درنظر گرفت[14]:

$$w_{s} = \left[\frac{4gD_{s}\left(\rho_{s} - \rho_{w}\right)}{3C_{D}\rho_{w}}\right] \tag{7}$$

که در این رابطه \mathcal{P}_s سرعت سقوط ذره، D_s قطر ذره، Re عدد رینولدز ذره بر اساس قطر آن، \mathcal{P}_s و \mathcal{P}_s به ترتیب جرم حجمی آب و ذرات رسوب \mathcal{W}_s در این رابطه \mathcal{W}_s ست. و C_D ضریب رانش است. در جریان با رینولدز های پایین $C_D = 24/\text{Re}$ است.

با افزایش آشفتگی جریان، زمانی که عدد رینولدز بیشتر از یک شود، نمی توان ضریب _{CD} را از رابطه بالا بدست آورد. شکل (۲⊣لف) روند تغییرات ضریب رانش ذره را نسبت به عدد رینولدز نشان می دهد[14]. با تقسیم این نمودار برای ذرات کروی به سه قسمت، روابط زیر برای C_D پیشنهاد شد. نمودار حاصله از این روابط نیز در شکل (۲–ب) مشاهده می شود.





لازم به ذکر است که در اعداد رینولدز بالاتر از ۲۰۰۰۰ و تا ۱۰۰۰۰ دامنه تغییرات ضریب رانش بین ۱۰٬۰۶۵ ۲۰/۰ می باشد که این مقدار برابر ۲۰٬۷ که بیشترین فراوانی را در این دامنه دارد درنظر گرفته شد.

۳. هندسه مدل

ابعاد و هندسه کلی مدل این تحقیق بر گرفته از مدل آزمایشگاهی موجود در دانشگاه Karlsruhe (آلمان) است که مورد استفاده محققینی نظیر Stamou [۹] و Tamayol [۱۵] بوده است. مدل شامل یک تانک طولی به طول ۴۱، ارتفاع ۲/۸ و ارتفاع ورودی۱/۴ متر می باشد (شکل۳).



coefficient of drag



۴. ذرات رسوب

ذرات در این مدل بر اساس قطر در ۱۳ کلاس طبقه بندی شده است. شکل ذرات رسوب کروی در نظر گرفته شد. این طبقه بندی براساس اطلاعات اندازه گیری شده از آب خام' با استفاده از روش پراش لیزر'بوده که در جدول (۲) مشخص شده است [5] .

نسبت ورودي جريان(gr/s)	نسبت ذرات ورودي	قطر متوسط ذرات(µm)	كلاس ذرات
١/٢٥	•/• ۲۵	۲.	١
١/٣٥	•/• ۲۷	۵.	۲
1/90	۰/۰۳۹	۸.	٣
٣/٣	•/• ??	17.	۴
۴/۷۵	۰/۰۹۵	١٧.	۵
۴/۷۵	•/110	۲	Ŷ
\hat{r}/r .	۰/۱۲ <i>۶</i>	۲۵.	٧
۶/۲.	•/174	۳۵.	٨
۵/۶۵	•/11٣	40.	٩
۵/۰۵	•/١•١	۵۵.	١.
٣/٨٥	•/• ٧٢	۶۵.	11
۲/۸۵	•/• ۵۷	۷۵.	17
۲/۰۰	٠/٠۴	۸۵.	١٣
۵۰/۲۵	١	جمع	

جدول(۲): اندازه ذرات طبقه بندی شده[3]

جرم حجمی آب و ذرات به ترتیب 998.2*kg/m³ و 2066 kg/m د*ر نظر گرفته شد[3]. در تانکهای رسوبگیر طولی، رسوبات به طور متناوب از حوضچه تخلیه میشوند؛ لذا تجمع ذرات در کف تانک مشکلی ایجاد نخواهد کرد[2].

۵. نتایج عددی

در این پژوهش ابتدا الگوی جریان داخل تانک رسوبگیر بررسی شد. مقادیر پیشنهادی برای سرعت حرکت آب داخل حوضچه ترسیب، مقداری بین ۲ تا ۸ سانتیمتر بر ثانیه پیشنهاد شده است[16]. در این تحقیق سرعت جریان بر اساس عدد رینولدز متوسط ۶۲۰۰۰ محاسبه گردید. لذا با در نظر گرفتن عمق ورودی، سرعت جریان در این مقطع ۴/۴ سانتیمتر بر ثانیه محاسبه شد. در شکلهای (۴-الف)و (۴-ب) مقایسه بین خطوط جریان محاسباتی بوسیله کد نوشته شده با نتایج تمایل و همکاران[15] مشاهده می شود. همانطور که در تصاویر مشخص است نتایج از انطباق مناسبی برخوردار است. در این شکل، ورودی در حد فاصل ۱/۴ تا ۲/۸ متر یعنی در بالای حوضچه ترسیب قرار گرفته است. همانطور که ملاحظه می شود طول نواحی چرخشی ایجاد شده در این دوحالت تقریبا یکسان و در حدود ۱۰ متر می باشد.

raw water

laser diffraction technique





برای صحت سنجی مدل در روند رسوبگذاری و مدل کردن حرکت رسوب، مدلی مشابه مدل Sammarraee و همکاران [3]، اجرا شد و نتایج با یکدیگر مقایسه شد. نمودار راندمان تله اندازی رسوب برای مدل Sammarraee و همکاران و تانک مدل شده، در ادامه آورده شده است. در هردو مدل، از ذرات ۲۵۰ میکرومتر به بالا، راندمان تله اندازی به صددرصد می رسد و در مجموع میزان اختلاف مشاهده شده در دومدل بجز قطر ۱۷۰ میکرومتر که برابر ۲۰ درصد می باشد، در دامنه ۲/۰ تا ۷ درصد است و میانگین اختلاف در دومدل برابر ۱/۸۲ درصد بدست آمد.



در ادامه با وارد کردن ذرات رسوب در ۱۳ رده قطری وضعیت ته نشینی ذرات و توان تله اندازی رسوب در این تانک مورد بررسی قرار گرفت. در این شبیه سازی، فرض شد هر ذره علاوه بر سرعتی که جریان در دو جهت افقی و قائم به آن دیکته می کند، دارای سرعت سقوطی می باشد که از رابطه استوکس بدست می آید. در هر دور شبیه سازی، تعداد ۵۰۰۰ ذره به تانک تزریق شده و مسیر حرکت آنها به صورت گرافیکی دنبال می شود. شکل(۶) نمونه ای از حرکت رسوب داخل تانک رسوبگیر است. در این شکل ۵۰۰۰ ذره با دامنه قطری ۲۰ تا ۸۵۰ میکرومتر داخل تانک در حال حرکت هستند.



در مسیر حرکت، تعدادی از ذرات درکف تانک تهنشین میشوند، برخی دیگر از ذرات در ناحیه گردابه ای به تله می افتند و دامنه مشخصی از ذرات نیز از تانک خارج می شوند. درصد ذرات خارج شده از تانک در شکل(۷) نشان داده شده است. در این مدل ۸۰ درصد ذرات با قطر ۸۵۰ میکرومتر به تله می افتند. همانطور که در شکلهای(۴۶ ۶) مشاهده شد، در ابتدای تانک یک ناحیه چرخشی وجود دارد. این ناحیه چرخشی موجب می شود که همواره تعدادی





از ذرات در این محدوده گیر افتاده و از تانک خارج نشود. بعنوان مثال در مورد ذرات با قطر ۲۰ میکرومتر که تقریبا هیچ یک از ذرات رسوب تهنشین نمی شود، ۲۰٪ ذرات در تانک باقی می ماند، که این تعداد در محدوده چرخشی یا همان ناحیه مرده قرار دارند.

بطور متوسط، از ۱۰۰٪ رسوب با دانه بندی مشخص شده در شکل(۸) که وارد تانک شد، مقدار ۶۹۶٪ آن در تانک به تله افتاده و ۶۳۳٪ ذرات از تانک خارج شد. با توجه به اینکه تعداد ذرات ورودی و خروجی و وزن هر ذره مشخص است می توان علاوه بر درصد و وزن ذرات خروجی نسبت به ورودی، وزن تک تک ذرات را در ورودی و خروجی بدست آورد. شکل(۹) وزن ذرات ورودی را در مقابل ذرات خروجی نشان میدهد. با داشتن تمامی اطلاعات در مورد یکایک ذرات می توان راندمان تله اندازی این تانک رسوبگیر را با توجه به دانه بندی ذرات ورودی بدست آورد. شکل(۱۰) راندمان تله اندازی ذرات رسوب را با توجه به قطر آنها نشان داده است. همانطور که در این نمودار مشاهده می شود، هرچه قطر ذرات به ۲۰ میکرومتر نزدیک می شود شیب نمودار کم می شود. می توان چنین برداشت کرد که با توجه به وجود نواحی چرخشی، در قطرهای کمتر از ۵۰ میکرومتر، در تانکی با مشخصات ذکر شیب نمودار کم می شود. می توان چنین برداشت کرد که با توجه به وجود نواحی چرخشی، در قطرهای کمتر از ۵۰ میکرومتر، در تکی با مشخصات ذکر شیب نمودار کم می شود. می توان چنین برداشت کرد که با توجه به وجود نواحی چرخشی، در قطرهای کمتر از ۵۰ میکرومتر، در تانکی با مشخصات ذکر شیب نمودار می می شد. می توان چنین برداشت کرد که با توجه به وجود نواحی چرخشی، در قطرهای کمتر از ۵۰ میکرومتر، در تانکی با مشخصات ذکر شده، راندمان تله اندازی رسوب تغییر چندانی نمی کند و همواره تعدادی از ذرات در نواحی چرخشی به دام می افتند. از طرفی با گرفتن رگرسیون از این شده، راندمان تله اندازی رسوب تغییر چندانی نمی کند و همواره تعدادی از ذرات در نواحی چرخشی به دام می افتند. از طرفی با گرفتن رگرسیون از این شده، راندمان تله اندازی رسوب تغییر چندانی نمی کند و همواره تعدادی از ذرات در نواحی چرخشی به دام می افتند. از طرفی با گرفتن رگرسیون از این شده، راندمان تله اندازی رسوب تغییر چندانی نمی کند و همواره تعدادی از ذرات در نواحی خرحشی به دام می افتند. از طرفی با گرفتن رگر می و در و می قران دان می اندمان تله اندازی باندمان تله اندازی بران می را در می می و در می تون در می ترد می می و در می می و در در می تور در ترام و در در می تون در می می ترد می ترد. تران می تون در توای می ترون در می تور در ترام می تون در ترام و در ترام و در می تراند می تران می تران می ترا



۶. نتیجه گیری

در این تحقیق، مطالعه روی تانک رسوبگیر طولی در یک مدل دوبعدی انجام شد. ذرات رسوب، بصورت دانه ای و مستقل از یکدیگر وارد تانک شده و به کمک کد نوشته شده درون تانک تصویر شده است. به عنوان یک نتیجه مهم می توان گفت که با استفاده از فرض حرکت لاگرانژی و تزریق ذرات رسوب



به صورت دانه ای به داخل تانک رسوبگیر می توان علاوه بر ترسیم موقعیت ذرات به صورت لحظه به لحظه، وضعیت ذرات رسوب را در نواحی چرخشی، کف و خروجی به صورت دقیق و برای تک تک ذرات بررسی کرد. مطابق تحلیل های انجام شده برروی برونیابی تابع نمایی حاصل از راندمان تلهاندازی رسوب، می توان اظهار داشت که در تانکی با شرایط ذکرشده، تقریبا تمامی ذرات با قطر بالاتر از ۹۷۰ میکرومتر را تله اندازی می کند. از طرفی با استفاده از رگرسیون نمایی و با دقت مناسبی در حد 0.998 = R، رابطه ای بدست آمد که با استفاده از آن، علاوه بر بر آورد راندمان تله اندازی در دامنه ۲۰ تا ۸۵۰ میکرومتر، توانستیم پیش بینی کنیم که در قطر ۹۷۰ میکرومتر و بالاتر، درصد تله اندازه برابر ۱۰۰ می باشد.

۲. منابع و مراجع

- 1. Kiely, G., (1998), Environmental Engineering, McGraw-Hill.
- 2. Long, F. Xu, N. Ke, X. and Shi, H., (2007), "Numerical simulation of secondary sedimentation tank for urban wastewater", Chemical Engineering Journal, 38, 425–433.
- Al-Sammarraee, M. Chan, A. Salim, S.M. and Mahabaleswar, U.S., (2009), "Large-eddy simulations of particle sedimentation in a longitudinal sedimentation basin of a water treatment plant. Part I: Particle settling performance", Chemical Engineering Journal, 152, 307–314
- 4. Anonymous, (2004), "World Health Organization, Water Treatment and Pathogen Control", IWA Publishing.
- Goula, A.M. Kostoglou, M. Karapantsios, T.D. and Zouboulis, A.I., (2008), "A CFD methodology for the design of sedimentation tanks in potable water treatment case study: the influence of a feed flow control baffle", Chemical Engineering Journal, 140, 110–121.
- 6. Razmi, A. Firoozabadi, B. and Ahmadi, G., (2009), "Experimental and numerical approach to enlargement of performance of primary settling tanks", Journal of Applied Fluid Mech, 1–12.
- 7. McCorquodale, J.A. and Zhou, S., (1993), "Effects of hydraulic and solids loading on clarifier performance", Journal of Hydraulic. Res. 31, 461–477.
- 8. Huggins, D.L. Piedrahita, R.H. and Rumsey, T., (2004), "Analysis of sediment transport modeling using computational fluid dynamics for aquaculture raceways", Aquacultur Engineering Journal, 31, 277–293.
- 9. Stamou, A. (1997), "Optimizing the design of secondary clarifiers using water Pollution: modeling, Measuring and Prediction", Chemical Engineering Journal, pp. 681–690.
- 10. Stamou, A. Katsiris, I. Georgiadis, S. Kanellopoulou, S. Tzoumerkas, F. and Xenos, D., (2001), "Improving the efficiency of existing water process tanks using water process tanks using flow through curves _FTCs_ and mathematical models", Proc. Int. Conf. on Environmental Science and Technology, Syros, Greece.
- 11. Ashjari, M.A., (2003), "Numerical modeling of settling tanks". MS thesis, Sharif Univ. of Technology, Tehran, Iran.
- 12. Salvetti, M.V. (2001), "Investigation of the effect of numerical discretization and physical modeling in reduced-order simulation of turbulent flows". PhD thesis in Aerospace Engineering, University of Pisa
- 13. Versteeg, H. K. and Malalasekera, W., (1995). "An introduction to computational fluid dynamics, The finite volume method", Longman Scientific& Technical.
- 14. Rubey, W.W., (1933), "Equilibrium-Conditions in Debris-Laden Streams", Trans. Amer. Geophy. Union.
- 15. Tamayol, A. Firoozabadi B. and Ahmadi, G., (2008), "Determination of Settling Tanks Performance Using an EulerianLagrangian Method", journal of Applied Fluid Mechanics, Vol.1, No.1, pp. 43-54.
- DE Clercq, B., (2003), "Computational fluid dynamics of settling tanks: development of experiments and rheological, settling, and scraper sub-models". PhD thesis in Applied biological sciences, University of Gent.