



## شبیه سازی جهت گیری بافل ها در راستای طولی در مخازن تماسی کلر

مهسا اسماعیلی<sup>۱</sup>، مهدی اسدی آقباغی<sup>۲\*</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران  
<sup>۲</sup> استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران

### تاریخچه داوری:

دریافت: ۱۳۹۷-۱۱-۰۴  
بازنگری: ۱۳۹۸-۰۱-۱۴  
پذیرش: ۱۳۹۸-۰۲-۰۳  
ارائه آنلاین: ۱۳۹۸-۰۳-۲۷

### کلمات کلیدی:

مخزن تماسی  
ضد عفونی  
کلر  
بافل  
شبیه سازی عددی

**خلاصه:** فرآیند ضد عفونی برای غیر فعال کردن میکروارگانیسم های (جانداران) بیماری زا برای جلوگیری از انتقال بیماری های آبی می باشد. جنبه مهم ضد عفونی شیمیایی طراحی حوضچه تماسی کلر است. سیستم های تماسی کلر با برقراری زمان تماس مناسب، واکنش های شیمیایی را برای غیر فعال سازی موجودات بیماری زا فراهم می کند و در نتیجه آب را ضد عفونی می کند. طراحی حوضچه های تماسی کلر یا مخازن تماسی کلر برای به حداکثر رساندن پدیده زمان ماند از طریق عبور جریان ماریپیچی از بافل ها از میان حوضچه یا مخزن تماسی می باشد. از لحاظ تاریخی بررسی مخازن تماسی کلر توسط روابط تجربی، مطالعات مدل فیزیکی یا مطالعات ردیاب پس از ساخت مخزن تماسی بوده است. ساخت نمونه های آزمایشگاهی و مطالعات مربوط به ماده ردیاب بسیار زمان بر و پرهزینه می باشد. در سال های اخیر مدل های دینامیک سیالات محاسباتی برای بررسی جریان و فرآیندهای انتقال املاح در مخازن تماسی به کار برده شده است؛ که بهترین روش برای طراحی مخازن تماسی قبل از ساخت می باشد. در این پژوهش به شبیه سازی سه بعدی مدل مخزن تماسی CT-1 با استفاده از نرم افزار کامسول Multiphysics 5.3a پرداخته می شود. همچنین چندین شبیه سازی سه بعدی در مخزن تماسی CT-1 که در آن اثر جهت گیری بافل ها در راستای طولی با سه عرض کانال مختلف انجام شد و نتیجه شد که؛ کانال باریک با نسبت  $W_{inlet}/W_{ch}=0/68$  (نسبت عرض کانال به عرض ورودی) و نسبت  $L_{bo}/W_{ch}$  (نسبت طول دهانه بافل به عرض کانال) برابر ۱ دارای بالاترین مقدار شاخص فاکتور بافل و کمترین مقدار اندیس موریل و در نتیجه حالت بهینه هیدرولیکی می باشد.

### ۱- مقدمه

ضد عفونی کردن، فرآیند حذف میکروارگانیسم های<sup>۱</sup> بیماری زا (جانداران بیماری زا) به وسیله مواد فیزیکی یا شیمیایی می باشد. مواد شیمیایی مانند محلول های آبی کلر، دی اکسید کلر، هیپوکلریت سدیم، هیپوکلریت کلسیم، ازون یا ترکیبی از آنهاست. جنبه مهم ضد عفونی شیمیایی طراحی حوضچه تماسی است که؛ زمان ماند کافی یا زمان تماس را برای ضد عفونی شدن شیمیایی آب فراهم می کند. مخازن تماسی کلر معمولاً برای ضد عفونی آب آشامیدنی

قبل از توزیع استفاده می شود. این مخازن معمولاً محفظه های باز هستند که توسط یکسری از بافل ها<sup>۲</sup> تقسیم شده اند. تقسیم بندی محفظه ها کمک می کند؛ تا جریان آب را از طریق مخازن کنترل شود و روند گند زدایی (ضد عفونی) کلر را بهبود بخشد [۱].

حتی با ورود گسترش رو به رشد ازون و تجهیزات بر اساس اشعه ماورا بنفش، مخازن تماسی کلر هنوز هم جز جدایی ناپذیری از سیستم های تصفیه آب در سراسر جهان هستند. در حال حاضر استفاده گسترده از ضد عفونی بر اساس کلر به دلیل طیف وسیعی از مزایا از جمله: سهولت دستیابی، اندازه گیری و کنترل، هزینه کم نصب

1 Microorganism

\* نویسنده عهده دار مکاتبات: mahdi.asadi.a@gmail.com

2 Baffles



شده در خروجی مخزن و  $T$  حداقل زمان تماس است. با توجه به این رویکرد محصول  $C \times T$  باید از یک مقداری بیشتر باشد که بستگی به نوع ضدعفونی کننده، pH و درجه حرارت دارد. قاعده  $C \times T$  اغلب نیاز به استفاده از  $T_{10}$  به عنوان نماینده زمان ماند هیدرولیکی دارد.  $T_{10}$  زمان ماند ۱۰٪ اول میکروارگانسیم ها برای حرکت از میان مخزن می باشد؛ همانطور که از توزیع زمان ماند ردیاب (Residence Time Distribution) تعیین شده است. به عبارت دیگر  $T_{10}$ ، ۱۰ درصد RTD است. در مخازن تماسی واقعی  $T_{10}$  کوتاهتر از میانگین زمان ماند هیدرولیکی می باشد؛ که با تقسیم حجم مخزن بر دبی آب محاسبه می شود. بنابراین یک راه برای رعایت معیارهای ضدعفونی می تواند افزایش دوز کلر باشد اما این نیز هزینه های عملیاتی را افزایش می دهد و ممکن است منجر به افزایش محصولات جانبی ناشی از گندزدایی شود، که مطلوب نیستند. بنابراین بهترین راه برای بهینه سازی اثر بخشی مواد ضدعفونی، افزایش مقدار  $T_{10}$  همراه با کاهش دوز مواد ضدعفونی کننده مورد نیاز است. برای رسیدن به این هدف محفظه می تواند بزرگ شود که باعث حجم ذخیره سازی اضافی با هزینه ساخت و ساز بالاتر و تعمیر و نگهداری بیشتر می شود. یک راه مقرون به صرفه برای افزایش  $T_{10}$  به حداکثر رساندن الگوهای جریان یکنواخت است [۴].

تگزیرا<sup>۲</sup> (۱۹۹۳) آزمایشات زیادی را روی مدل آزمایشگاهی این نوع مخازن در مقیاس ۱:۸ در جهات افقی و قائم به انجام رساندند؛ که این نسبت عموماً برای چنین مطالعه فیزیکی بسیار بزرگ دانسته می شود. تحلیل عددی و مدل سازی این نوع مخازن بعدها توسط نرم افزار صورت گرفت. بنابراین خصوصیات جریان در چنین مدل های آزمایشگاهی معمولاً معرف خصوصیات جریان در مدل اصلی می باشد. مطالعه او شامل تعیین توزیع سرعت و غلظت در مخازن بود. مخزن تماسی امبسی، یک مخزن زیر زمینی است؛ که در یورکشایر<sup>۳</sup> غربی، در انگلستان قرار دارد و توسط سازمان آب یورکشایر اداره و بهره برداری می گردد. این مخزن به شکل مارپیچ می باشد و دارای هشت بخش است. پلان و مقاطع آن در شکل (۱) نشان داده شده است [۵].

این مخزن از تخته چند لایه به ضخامت ۱/۷ سانتی متر در عرض ۰/۹۴ متر و ارتفاع ۰/۶ متر و طول ۲ متر ساخته شد. این مخزن دارای

و مهم تر از همه کنترل غلظت باقی مانده پس از تصفیه می باشد. با این حال استفاده ناکارآمد از کلر برای ضدعفونی آب آشامیدنی به علت شکل گیری ترکیبات بالقوه سرطان زا، ناشی از کلر باقی مانده در مخازن تماسی کلر موجب نگرانی شده است [۲].

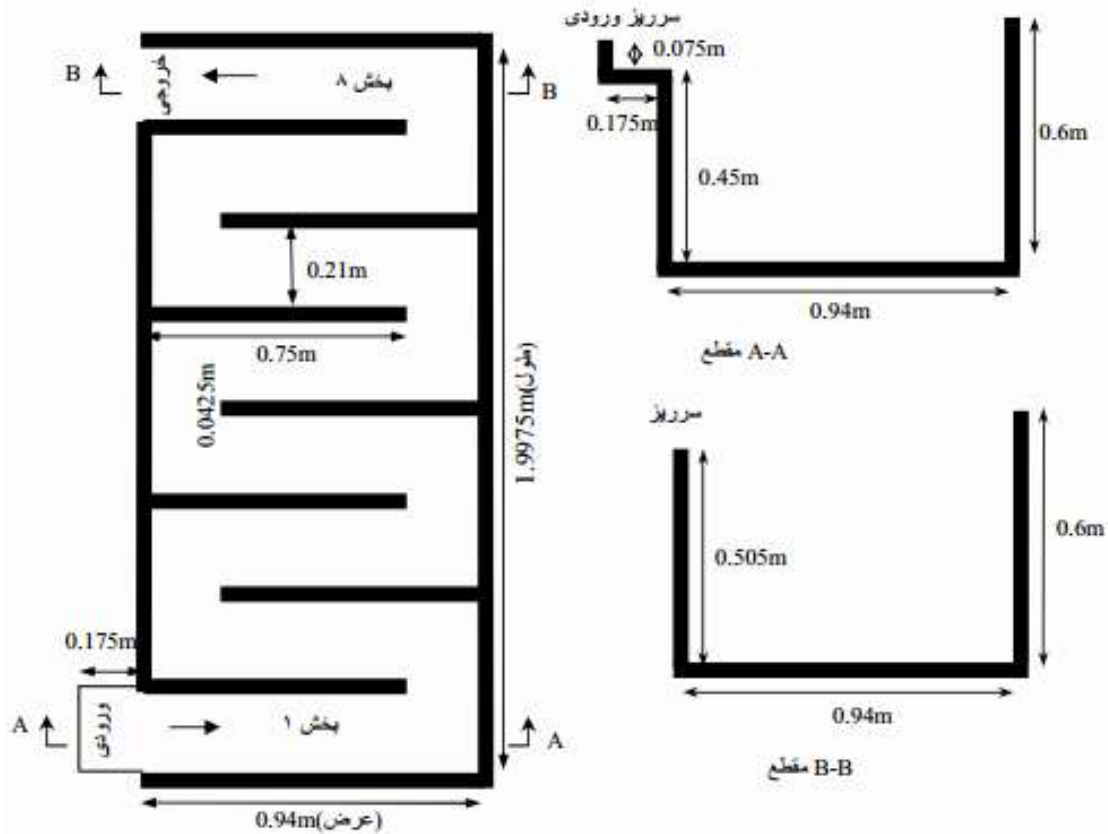
طراحی مدرن و یا شیوه های مقاوم سازی (تکمیلی) مخازن تماسی کلر معمولاً شامل تلاش برای کاهش وقوع عملکرد ضعیف مخازن می شوند زیرا مقررات آب آشامیدنی سخت تر می شوند و فشار برای کاهش اثرات کربن از عملیات تصفیه خانه آب وجود دارد. اهداف مطالعات بهینه سازی هیدرولیکی مخازن تماسی کلر معمولاً سه گانه است از جمله: ۱) برای به حداکثر رساندن بهره وری ضدعفونی ۲) به حداقل رساندن استفاده از مواد ضدعفونی کننده و دیگر مواد شیمیایی برای دستیابی به حداکثر بازده مواد ضدعفونی کننده ۳) برای به حداقل رساندن تشکیل محصولات جانبی ناشی از گندزدایی [۲].

عملکرد تاسیسات تصفیه آب با توجه به معرفی استانداردهای بیشتری در مورد کیفیت آب، مورد بررسی قرار گرفته است. بررسی واحدهای مخزن تماسی (CT) که اجزای جدایی ناپذیر از گندزدایی آب را تشکیل می دهند، نشان می دهد که جریان پلاگ<sup>۱</sup> به عنوان شرایط ایده آل هیدرودینامیکی است که در آن عملکرد ضدعفونی به حداکثر می رسد. در جریان پلاگ تمام عناصر مایع بصورت یکنواخت از میان، مخزن عبور می کنند. شرایط جریان پلاگ برای حمل مواد ضدعفونی کننده ایده آل است، چون آن ها برای یک فاصله زمانی یکنواخت و ضدعفونی مورد نظر در مخزن لازم است باقی بمانند. طراحی هیدرولیک مخازن تماسی CTs به طور سنتی بر این فرض استوار است که زمان تماس برای همه عناصر مایع با هیدرولیک زمان ثنوری ماند (TDT) مطابقت دارد؛ که می تواند تخمین زده شود به عنوان  $TDT = V/Q$  که در آن  $V$  حجم مخزن تماسی  $CT$  و  $Q$  دبی هست [۳].

هدف اصلی مخازن تماسی کلر فراهم کردن زمان مناسب ماند برای هردو میکرو ارگانسیم ها و مواد ضدعفونی کننده برای رسیدن به درجه مطلوب غیر فعال شدن میکروب ها می باشد. رسیدن به ضدعفونی مناسب به طور کلی توسط قاعده  $C \times T$  اندازه گیری می شود. که  $C$  کمترین باقی مانده مواد ضدعفونی کننده اندازه گیری

2 Texira  
3 Yorkshire

1 Plug



شکل ۱: پلان و مقطع مخزن تماسی امبسی در یورکشایر انگلستان [۵].

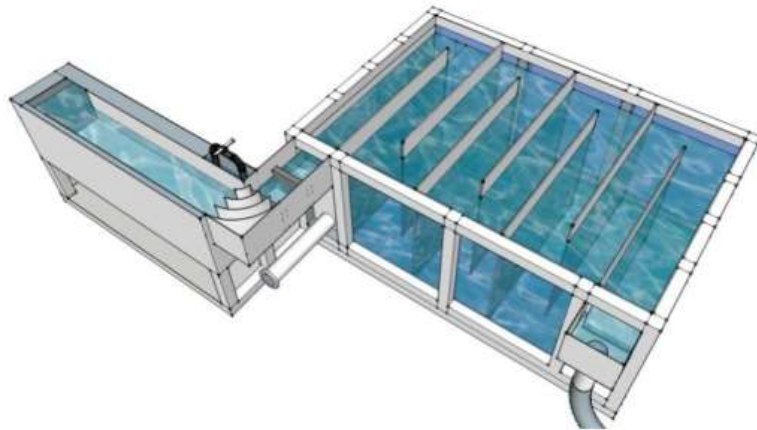
Fig. 1. Plan and section of the Embassy Contact Tank in Yorkshire, England

نمی‌توانند چنین چرخشی را مدل نمایند. بنابراین این روش برای مدل کردن جریان‌هایی شبیه به جریان مخازن تماسی که در آنها سطح مایع تقریباً افقی است مناسب می‌باشد [۵].

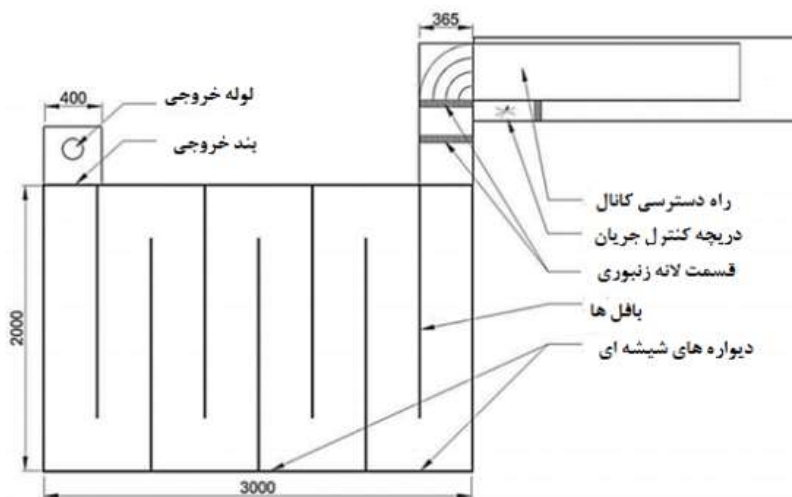
در این پژوهش به شبیه سازی سه بعدی مدل مخزن تماسی CT-1 با استفاده از نرم افزار کامسول مولتی فیزیکس<sup>۱</sup> پرداخته می‌شود. مدل آزمایشی این مخزن واقع در آزمایشگاه هیدر مرکز تحقیقات آب و محیط زیست در دانشگاه کاردیف انگلستان می‌باشد. همچنین شبیه سازی جهت گیری بافل‌ها در راستای طولی در سه حالت عرض کانال عریض، نرمال و باریک و سه حالت نسبت  $L_{bo}$  به  $L_T$  (نسبت شعاع چرخش اطراف بافل‌ها به طول مخزن) برابر با ۲۰٪، ۴۰٪ و حالت  $L_{bo} = W_{ch}$  (عرض کانال ورودی) به ترتیب برای هر عرض ورودی کانال جمعاً در ۹ حالت در نظر گرفته و انجام شد. منحنی توزیع زمان ماند (RTD) و منحنی جریان (Flow Through Curves) به اختصار (FTC) برای هر

۷ بافل (دیواره) می‌باشد؛ که در طول آن قرار گرفته و در نتیجه موجب ایجاد جریان مارپیچی می‌گردد. بافل‌ها از تخته چند لایه به ضخامت ۱/۲ سانتی متر و طول ۰/۷۵ متر و ارتفاع ۰/۶ متر و ضخامت ۴/۵ سانتی متر ساخته شده‌اند. شدت جریان در مخزن تماسی بر اساس تشابه فرودی در مخازن واقعی و آزمایشگاهی برابر ۱/۱۷ لیتر بر ثانیه در مدل آزمایشگاهی در نظر گرفته شد. با این شدت جریان عمق متوسط جریان در مخزن ۵۳۶ میلی متر و سرعت متوسط در مقطع عرضی  $10/4 \text{ mm/s}$  گردید. سرعت‌های لحظه‌ای به وسیله یک سرعت سنج لیزری اندازه گیری شد. در ادامه مدل عددی  $k-\epsilon$  با استفاده از روش آشفتگی و نرم افزار فلونت برای این مخزن به کار گرفته شد. نتایج نشان داد؛ که تشابه خوبی بین مدل عددی و آزمایشگاهی وجود دارد و بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که این روش برای مدل کردن جریان در مخازن تماسی مناسب می‌باشد. جریان چرخشی که در مدل‌های آزمایشگاهی وجود دارد با استفاده از روش هیدرودینامیک به خوبی در مدل عددی شبیه سازی شد؛ در صورتیکه روش‌های هیدرواستاتیک

1 Comsol Multiphysics



شکل ۲: مدل هندسی مخزن تماسی CT-1 [۶]  
Fig. 2. Geometric model of contact tank CT-1



شکل ۳: مشخصات طرح و ابعاد اصلی [۶]  
Fig. 3. Specifications of the original design and dimensions

اهداف مرتبط با مخازن تماسی کلر طراحی شده است. بخش‌های جانبی و دیواره‌های شمالی و جنوبی از شیشه ساخته شده است. تنظیمات بافل‌ها به طور خاص انعطاف پذیر است. بافل‌ها از تخته سه لایه ساخته شده است و آرایش آن‌ها با سهولت نسبی تغییر می‌کند. شکل‌های ۲ و ۳ ویژگی‌های هندسی مخزن را نشان می‌دهند [۶].

در تنظیمات دیواره‌های داخلی، بافل ۸ محفظه‌ای برای آزمایش تجربی هیدرونیامیکی و انتقال املاح در نظر گرفته شد؛ که یک نمونه مشخصی از طراحی یک مخزن تماسی مارپیچی است. این مخزن با قرار دادن ۷ دیواره صاف (بافل) که از تخته سه لایه با ابعاد  $1/2 \times 1/63 \times 1/12$  متر ساخته شده است، به ۸ محفظه با عرض برابر  $0/365$  متر

حالت به منظور ارزیابی و مقایسه عملکرد آن‌ها استخراج شد.

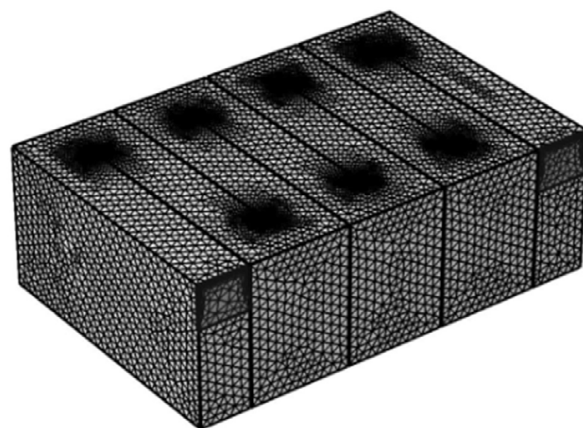
## ۲- الگوسازی نظری یا تجربی

### ۲-۱- مشخصات مدل فیزیکی:

مدل مخزن تماسی (CT-1) بعد از مخزن تماسی CT در سال ۲۰۰۲ طراحی شده است و تحت نظارت اداره تصفیه آب یورکشایر کار می‌کند. اما تنوع آن قابلیت بالقوه‌ای را برای بررسی ویژگی‌های پیچیده تر هیدرونیامیکی<sup>۱</sup> فراهم می‌کند. مخزن دارای ابعاد  $3 \times 2 \times 1/2$  متر بوده است و از فولاد ساخته شده و به طور خاص برای پژوهش و

1 Hydrodynamics

میدان جریان با استفاده از مدل استاندارد k-ε به دست آمد. اما الگوی جریان و سرعت نمی تواند در مورد مسائل مربوط به کیفیت آب بینشی ارائه دهد؛ مگر اینکه یک مطالعه ردیابی انجام شود. منحنی های توزیع زمان ماند (RTD) برای هر حالت به منظور ارزیابی و مقایسه عملکرد آن ها استخراج شده است. در واقع منحنی های RTD توصیفی از زمان است که عناصر مختلف مایع در داخل مخزن صرف می کنند و بنابراین برای شناسایی ویژگی های مخزن تحت شرایط پایدار و زمان متغیر استفاده می شود [۴].



شکل ۴: هندسه شبکه تولید شده مخزن تماسی CT-1

Fig. 4. Geometry of the produced mesh of the contact tank CT-1

### ۳-۲- مدل سازی آشفتگی (k-ε)

ویسکوزیته گردابی (ویسکوزیته آشفتگی) یکی از پارامترهایی است که بطور گسترده در مدل های آشفتگی RANS استفاده شده است. بر خلاف ویسکوزیته سینماتیک مولکولی (ν)، ویسکوزیته گردابی یک خاصیت سیال نیست؛ اما به طور مستقیم با حالت وضعی آشفتگی مرتبط است و در امتداد میدان جریان متغیر است. ویسکوزیته گردابی با توجه به رابطه (۱) می تواند محاسبه شود:

$$\nu = C_\mu \frac{k}{\varepsilon} \quad (1)$$

که در آن  $C_\mu$  یک ثابت و ε نرخ آشفتگی انرژی جنبشی متلاطم است. پارامتر  $P_k$  که تولید k را تعریف می کند، به صورت رابطه (۲) تعریف می شود:

$$P_k = \nu_i \frac{\partial u_i}{\partial x_i} \left( \frac{\partial u_j}{\partial x_i} + \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right) \quad (2)$$

سپس k و ε توسط معادلات دیفرانسیل ۳ و ۴ مدل سازی می شوند:

$$\frac{\partial k}{\partial t} + U_j \frac{\partial k}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \frac{\nu_i}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) + P_k - \varepsilon \quad (4)$$

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + U_j \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \frac{\nu_i}{\sigma_\varepsilon} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right) + C_{\varepsilon 1} \frac{\varepsilon}{k} P_k + C_{\varepsilon 2} \frac{\varepsilon^2}{k} \quad (5)$$

در نهایت مقادیر ثابت مدل آشفتگی k-ε در جدول ۱ محاسبه می شود:

معادلات ۴ و ۵، چارچوب مدل k-ε را تشکیل می دهند و به طور تکراری تا زمانی که k و ε حل در حوزه محاسباتی همگرا شوند، حل

تقسیم شده است. میزان جریان تولید شده در طول آزمایش مدل فیزیکی توسط پمپ های سانتریفیوژ Q برابر با ۴/۷۲ لیتر بر ثانیه بود. مطابق با ابعاد CT-1 و دبی، زمان تئوری نگهداری ( $TDT = V/Q$ ) برابر با ۱۲۶۵ ثانیه بود. سطح آب ( $H_p$ ) در ۱/۰۲ متر اندازه گیری شد؛ در حالیکه میزان سرعت حجمی ۱۲/۵ میلی متر بر ثانیه ( $U_p$ ) بود. متوسط عدد رینولدز ( $Re$ ) با توجه به شعاع هیدرولیکی محفظه و سرعت حجمی،  $Re$  تقریباً برابر با ۶۷۵۰ بود. از رنگ های فلورسنت مانند رودامین WT برای ردیابی انتخاب شده است؛ زیرا آن ها تاثیر ناچیزی بر شرایط جریان دارند. این فرضیه در اینجا برای شبیه سازی میکروارگانیسم ها و انتقال مواد ناشی از گندزدایی گسترش یافته است؛ کل مفهوم کارایی هیدرولیکی در حال حاضر براساس اینکه پاتوژن ها مسیرهای ردیابی محلول در راکتورهای ضد عفونی دنبال می کنند، ایجاد شده است [۶].

### ۲-۲- شبیه سازی و مدل سازی عددی

در این شبیه سازی هندسه مورد نظر در محیط نرم افزار کامسول ترسیم شده است. مخزن به ابعاد ۱/۲×۲×۳ متر، دارای ۷ دیواره به ابعاد ۱/۲×۱/۶۳×۰/۱۲ متر و فاصله دیواره ها از هم با فاصله یکسان ۰/۳۶۵ متر می باشد. هم چنین سطح ورودی کانال به ابعاد ۰/۳۶۵×۰/۳ متر و ارتفاع آب ۱/۰۲ است. شبکه تولید شده در این شبیه سازی Coarse بوده است. تعداد عناصر دامنه ۷۲۲۲۷۴، عناصر مرزی ۴۳۴۳۹ و عناصر لبه ها ۲۳۹۳ سلول شبکه می باشد. شکل ۴ هندسه شبکه زده شده مخزن تماسی را نشان می دهد.

جدول ۱: پارامترهای مدل آشفتگی

Table 1. Turbulence model parameters

$C_{\varepsilon 1}$	$C_{\varepsilon 2}$	$C_{\mu}$	$k6$
۱/۴۴	۱/۹۲	۰/۰۹	۱/۰

شرایط نیومن گرادیان- صفر در نظر گرفته شد. در حالیکه پارامترهای آشفتگی  $(k, \varepsilon)$  بر اساس  $U_{in}$  برآورد شد. برای مرزهای جامد شرایط نیومن برای  $P$  و  $\varepsilon$  اعمال شد. در حالیکه متغیرهای باقی مانده صفر تنظیم شد ( $U=V=W=K=0$ ).

۲-۶- شرایط سطح آزاد

سطح آزاد به عنوان یک درب پوش صلب و بدون اصطکاک مدل سازی شد. بطوریکه سرعت عمودی در سطح صفر تنظیم شد. (شرایط دیریکله) در حالیکه شرایط مرزی نیومن برای دیگر متغیرهای هیدرودینامیکی مورد استفاده قرار گرفت. بنابراین، در سطح آزاد این متغیرها بر اساس رابطه ۷ محاسبه می شود:

$$\left. \frac{\partial U}{\partial z} \right|_{z=H} = \left. \frac{\partial P}{\partial z} \right|_{z=H} = \left. \frac{\partial k}{\partial z} \right|_{z=H} = \quad (7)$$

$$\left. \frac{\partial \varepsilon}{\partial z} \right|_{z=H} = 0, w = 0$$

که در آن  $H$ ، عمق جریان است. این رویکرد به عنوان تغییرات در سطح آب در مدل آزمایشگاهی در طی آزمایش در که در همه هندسه ناچیز بود، زمانیکه حالت های پایدار به دست آمد، در نظر گرفته شد.

۲-۷- شبیه سازی انتقال ردیاب

شبیه سازی انتقال ردیاب توسط معادله پخش شدگی- فرارفت انجام شده است. رابطه ۸:

$$\frac{\partial C_T}{\partial t} + U_j \frac{\partial C_T}{\partial x_j} = D_T \frac{\partial^2 C_T}{\partial x_j^2} \quad (8)$$

شبیه سازی مدل مخزن CT-1 در طی سه مرحله انجام می شود. مرحله اول شبیه سازی میدان سرعت حالت پایدار متلاطم زمان شبیه سازی برای این حالت ۳ ساعت و ۲۵ دقیقه و ۵۹ ثانیه می باشد. مرحله دوم و سوم شبیه سازی میدان غلظت با توجه به انتشار لحظه ای ردیاب در شرایط متغیر ناپایدار برای محاسبه زمان ماند به صورت پالس<sup>۳</sup> و به صورت پله ای با مدت زمان ۴ ساعت و ۴۸ دقیقه و ۳۴ ثانیه برای حالت پالس و مدت زمان ۳ ساعت و ۴۵ دقیقه و ۱۹

می شوند. در طول شبیه سازی، ویسکوزیته گردابی  $\nu_t$  برای هر تکرار با استفاده از معادله ۱ محاسبه شده است. ترم آشفتگی با توجه به ویسکوزیته گردابی  $\nu_t$  مطابق رابطه ۶ فرمول بندی شده است:

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + U_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j} = - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_i} [(v + \nu_t) \frac{\partial u_i}{\partial x_j}] \quad (6)$$

۲-۴- شرایط مرزی ورودی (دیریکله)

ساده ترین حالت شرایط مرزی، شرایط مرزی دیریکله<sup>۱</sup> می باشد. متغیرها با یک مقدار در مرز دامنه مشخص می شوند. این حالت برای شرایط مرزی ورودی با سرعت متوسط در سراسر منطقه ورودی جریان و مرزهای دیوار با شرایط بدون-لغزش (no-slip) استفاده می شود.

۲-۵- شرایط مرزی خروجی (نیومن)

شرط نیومن<sup>۲</sup> یک مشتق از حل در مرز دامنه محاسباتی است. این روش در سطح خروجی با شیب صفر استفاده می شود، که برای مدل عددی مخازن تماسی (CTs) مورد استفاده قرار می گیرد. در بخش های خروجی رویکرد نیومن برای همه ی متغیرها اعمال شد؛ بطوریکه گرادیان مربوطه به مرز صفر تنظیم شد.

ترکیبی از شرایط نیومن و دیریکله برای متغیرها بسته به شرایط مرزی اعمال می شود. در ورودی یک شرایط دیریکله برای اجزای سرعت تنظیم شده است. جاییکه سرعت افقی یکنواخت وابسته به نرخ جریان  $Q$  بطوریکه  $U_{in} = Q/A_{in}$  است که  $U_{in}$  مولفه سرعت افقی ورودی است و  $A_{in}$  ناحیه ای است که توسط سطح ورودی پوشش داده شده است. از سوی دیگر مولفه های سرعت عرضی ( $V$ ) و سرعت عمودی ( $W$ ) ناچیز و برابر صفر در نظر گرفته شده است. برای فشار  $P$

1 Dirichlet  
2 Neumann

که در آن  $C(t)$  مقدار غلظت ردیاب در خروجی مخزن و  $E(t)$  تابعی است، که مدت زمان های متفاوت حضور سیال در مخزن را به صورت کمی بیان می کند [۵].

محاسبه غلظت به صورت پله ای در خروجی از رابطه ۱۱ به دست می آید:

$$F(t) = \frac{C(t)}{\sum_{i=1}^n C_0} \quad (11)$$

که در آن  $C_0$  مقدار غلظت اولیه ماده ردیاب در لحظه تزریق به ورودی مخزن می باشد و  $F(t)$  تابع توزیع تجمعی را نشان می دهد [۷].

معمولاً یک زمان بی بعد ( $\theta$ ) که نسبت بین زمان  $t$  و زمان تئوری نگهداری  $T$  است. رابطه ۱۲ برای محاسبه شاخص های عملکرد هیدرولیکی و مقایسه آن ها استفاده می شود [۵].

$$\theta = \frac{t}{T} \quad (12)$$

هم چنین در این پژوهش به بررسی جهت گیری بافل ها در راستای طولی در ۹ حالت پرداخته شد. در سه گروه عرض کانال عریض، نرمال و باریک به شرح زیر می باشد. شکل ۵ شبکه ایجاد شده برای جهت گیری بافل ها در راستای طولی نمایش می دهد. جدول ۲ مشخصات هندسی مدل ها را بیان می کند.

#### ۲-۸- حالت اول کانال عریض

عرض کانال ورودی در این حالات ۰/۵۰ متر، ۱/۳۷ برابر ۰/۳۶۵ متر و تعداد بافل ها در این حالت ۳ عدد می باشد. زمان تئوری ماند برای مخازن این گروه به ترتیب برابر ۱۲۷۶، ۱۲۷۹، و ۱۲۷۷ ثانیه و سرعت ورودی برابر ۰/۳۱۴۶۷ متر بر ثانیه و هم چنین طول بافل ها برای مخازن این گروه به ترتیب ۲/۶، ۲/۲ و ۲/۵ می باشد.

#### ۲-۹- حالت دوم کانال نرمال

عرض کانال ورودی در این حالات ۰/۳۳ متر، ۰/۹۰ برابر ۰/۳۶۵ متر و تعداد بافل ها در این حالت ۵ عدد می باشد. زمان تئوری ماند برای مخازن این گروه به ترتیب برابر ۱۲۶۲، ۱۲۶۸ و ۱۲۶۲ ثانیه و سرعت ورودی برابر ۰/۴۶۷۸ متر بر ثانیه و هم چنین طول بافل ها

#### جدول ۲: شاخص های هندسی جهت گیری طولی بافل ها

Table 2. The geometrical parameters of the orientation of the longitudinal baffles

$W_{ch}$	تعداد (بافل ها) $N_b$	$L_{bo}/L_1$	$L_{bo}/W_{ch}$	TDT (s)
عریض		۰/۲	۰/۸	۱۲۷۶
۰/۵۰	$W_{inlet}=37/1W_{ch}$	۰/۴	۱/۶	۱۲۷۹
		۰/۲۵	۱	۱۲۷۷
نرمال		۰/۲	۱/۲۱	۱۲۶۲
۰/۳۳	$W_{inlet}=90/0W_{ch}$	۰/۴	۲/۴۲	۱۲۶۸
		۰/۱۶۵	۱	۱۲۶۲
باریک		۰/۲	۱/۶	۱۲۴۹
۰/۲۵	$W_{inlet}=68/0W_{ch}$	۰/۴	۳/۲	۱۲۵۶
		۰/۱۲۵	۱	۱۲۴۶

ثانیه برای حالت پله ای در سیستم با پردازنده ۳ گیگا هرتز و حافظه ۸ گیگا بایت می باشد.

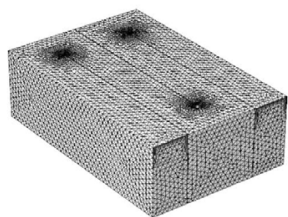
معادله سرعت واکنش با استفاده از رابطه ۹ به دست می آید:

$$\frac{\partial Cl}{\partial x} = -k.Cl \quad (9)$$

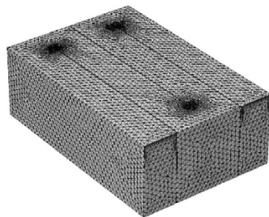
که در آن  $Cl$  غلظت کلر،  $k$  نرخ فروپاشی مواد ضد عفونی کننده که به طور کلی وابسته به کیفیت آب و هم چنین شرایط مواد ضد عفونی کننده است. در این مطالعه غلظت کلر در ورودی و برابر ۱/۲ mg/l و مقدار  $k$  استفاده شده برابر  $10^{-4} S^{-1}$  \* ۲/۷۷ می باشد [۳].

محاسبه غلظت به صورت پالس در خروجی از رابطه ۱۰ به دست می آید:

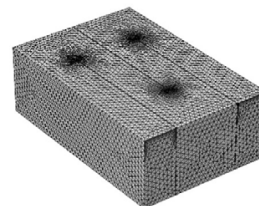
$$E(t) = \frac{C(t)}{\int_0^{\infty} C(t)dt} \quad (10)$$



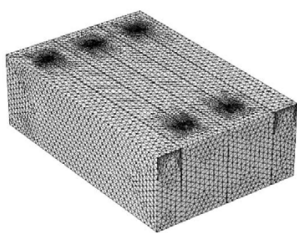
شکل ۵-پ: هندسه مخزن L<sub>3</sub>



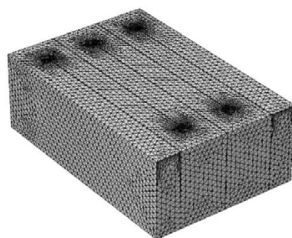
شکل ۵-ب: هندسه مخزن L<sub>2</sub>



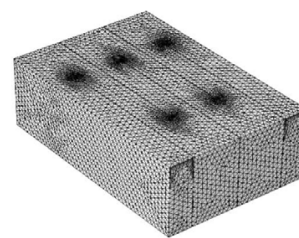
شکل ۵-الف: هندسه مخزن L<sub>1</sub>



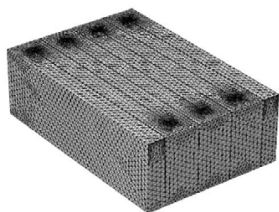
شکل ۵-ج: هندسه مخزن L<sub>6</sub>



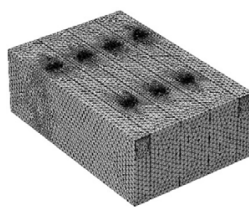
شکل ۵-ث: هندسه مخزن L<sub>5</sub>



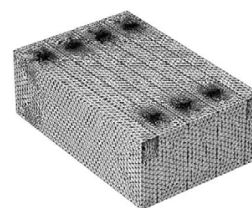
شکل ۵-ت: هندسه مخزن L<sub>4</sub>



شکل ۵-خ: هندسه مخزن L<sub>9</sub>



شکل ۵-ح: هندسه مخزن L<sub>8</sub>



شکل ۵-چ: هندسه مخزن L<sub>7</sub>

شکل ۵-الف تا خ

Fig. 5. Tank geometry L<sub>1</sub>-L<sub>9</sub>

### ۳- نتایج و بحث

#### ۳-۱- نتایج شبیه سازی سرعت در مخزن CT-1

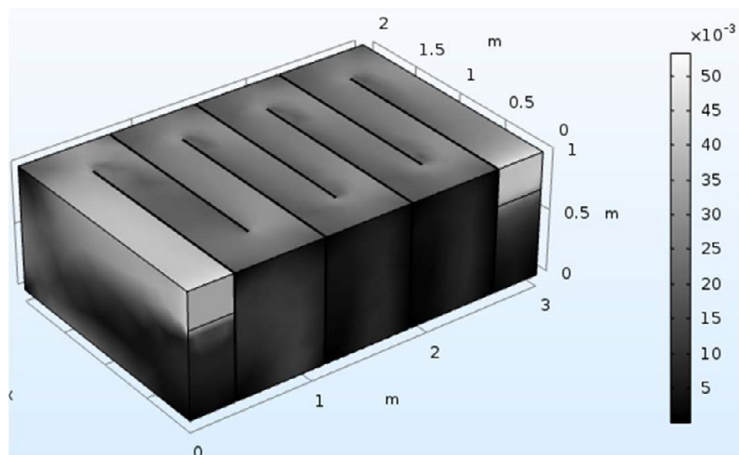
شکل ۶ میدان سرعت و شکل ۷ بردارهای سرعت در مخزن CT-1 را نشان می دهد. سرعت در ورودی مخزن زیاد است پس از ورود به مخزن رفته رفته کاهش می یابد. هر چقدر از ورودی مخزن دور شده سرعت جریان کاهش می یابد. در گوشه ها و نزدیک نوک بافل ها جریان های چرخشی و برگشتی سه بعدی قابل توجهی به ویژه در محفظه اول مشاهده می شود. که اهمیت مدل سازی سه بعدی را نشان می دهد و بیانگر این است که؛ مدل های دو بعدی

برای مخازن این گروه به ترتیب ۲/۶، ۲/۲ و ۲/۶۷ می باشد.

#### ۲-۱۰- حالت سوم کانال باریک

عرض کانال ورودی در این حالت ۰/۲۵ متر، ۰/۶۸ برابر ۰/۳۶۵ متر و تعداد بافل ها در این حالت ۷ عدد می باشد. زمان تئوری ماند برای مخازن این گروه به ترتیب برابر ۱۲۴۹، ۱۲۵۶ و ۱۲۴۶ ثانیه و سرعت ورودی برابر ۰/۰۶۲۹۳ متر بر ثانیه و هم چنین طول بافل ها برای مخازن این گروه به ترتیب ۲/۶، ۲/۲ و ۲/۷۵ می باشد.



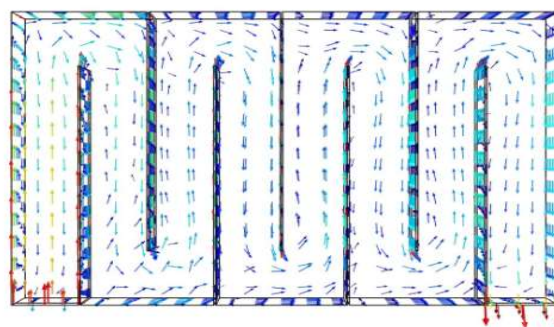


شکل ۶: میدان سرعت در مخزن CT1-C  
Fig. 6. Velocity field in tank CT1-C

و در نتیجه کاهش مناطق مرده، ایجاد یک مسیر تماس طولانی تر و کاهش جدایی و انحراف جریان داخل مخزن قرار داده شده است؛ که منجر به نزدیک شدن شرایط جریان به جریان ایده آل پلاگ می گردد.

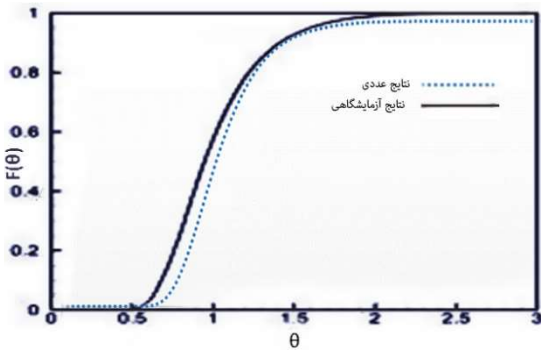
### ۳-۲- نتایج شبیه سازی غلظت در مخزن CT-1

شکل های ۸ و ۹ مقایسه بین نمودار توزیع زمان ماند RTD و منحنی جریان FTC در خروجی مخزن تماسی می باشد. به مدت زمان سپری شده توسط اتم ها در داخل مخزن، زمان ماند گفته می شود. در جریان ایده آل پلاگ کلیه ی اتم های مواد زمان ماند یکسانی دارند، یعنی باهم وارد می شوند و زمان مشخصی داخل مخزن هستند و باهم از مخزن خارج می شوند. اما در واقعیت به این شکل نیست، در مخزن حقیقی اتم ها و مولکول ها زمان ماند متفاوتی درون مخزن دارند بعضی از آن ها به محض وارد شدن از مخزن خارج می شوند، بعضی از آن ها به محض وارد شدن به مخزن خارج می شوند، بعضی از آن ها با یک فاصله ی زمانی بیشتر و بعضی هم با فاصله ی زمانی خیلی بیشتر نسبت به اتم های اولیه خارج می شوند. بنابراین یک زمان ماند وجود ندارد و توزیع زمان ماند به وجود می آید. هم چنین شاخص های کارایی هیدرولیکی با توجه به نمودارهای RTD و FTC محاسبه شده است و نتایج عددی و آزمایشگاهی مقایسه می شود. نتایج نشان می دهد مطابقت نسبتاً خوبی بین مدل عددی و آزمایشگاهی در خروجی مخزن



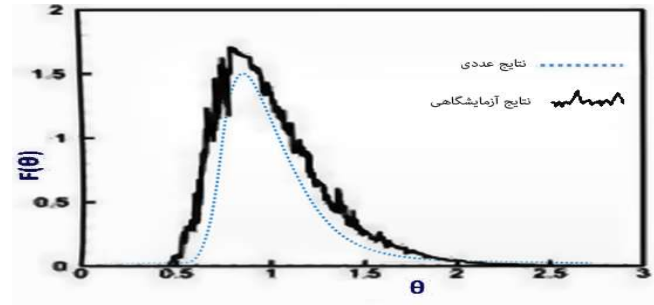
شکل ۷: بردار سرعت در مخزن CT1-C  
Fig. 7. Velocity vector in tank CT1-C

برای شبیه سازی جریان در این مخازن مناسب نیستند. بخش قابل توجهی از محفظه توسط جریان های چرخشی و معکوس اشغال شده، که بیشتر در محفظه اول و دوم مشاهده می شود. این جریان های چرخشی موجب ایجاد نواحی مرده و دور شدن جریان از شرایط جریان یکنواخت پلاگ می شود و بر کارایی هیدرولیکی مخزن تماسی تاثیر منفی می گذارد. اما با دور شدن جریان از ماریپیچ اول و نزدیک شدن به بافل بعدی ملاحظه می شود جریان های معکوس و چرخشی نسبت به محفظه اول کمتر شده و از محفظه سوم به بعد الگوی جریان نسبتاً یکنواخت شده است و جریان در مسیر ماریپیچی به همین روند ادامه دارد. سرعت های بالاتر در بخش خروجی مخزن تماسی مشاهده می شود. در واقع بافل ها در مخازن تماسی برای به حداقل رساندن جریان های چرخشی و معکوس



شکل ۹: مقایسه منحنی جریان FTC نتایج عددی حاصل از مدل شبیه سازی با نتایج آزمایشگاهی غلظت-پله ای در خروجی مخزن CT1-C

Fig. 9. Comparison of FTC flow curve Numerical results of simulation model with experimental results of concentration-Step at CT1-C tank output



شکل ۸: مقایسه منحنی نتایج عددی حاصل از مدل شبیه سازی با نتایج آزمایشگاهی پالس-غلظت RTD در خروجی مخزن CT1-C

Fig. 8. Comparison of the numerical results curve obtained from the simulation model with the experimental results of pulse-concentration RTD at the output of the CT1-C tank

CT1-C وجود دارد.

### ۳-۳- شاخص های کارایی هیدرولیکی

در این بخش ابتدا معرفی شاخص های کارایی هیدرولیکی<sup>۱</sup> مخازن تماسی پرداخته می شود؛ سپس به مقایسه و اعتبار سنجی نتایج حاصل از شبیه سازی انجام می شود.

شاخص های عملکرد ضد عفونی هیدرولیکی اگرچه روی بهره وری هیدرولیکی تمرکز می کنند، اما آن ها هم چنین کیفیت آب مورد انتظار را نشان می دهند. این شاخص ها عبارتند از  $\theta_{10}$  و  $\theta_{90}$  که عبارتند از مدت زمانیکه طول می کشد تا ۱۰ و ۹۰ درصد از ماده ردیاب به خروجی مخزن برسد، فاکتور بافل  $BF^2$ ، شاخص موریل<sup>۳</sup> (MI) [۸].

شاخص BF به عنوان نسبت  $T_{10}$  به TDT (زمان تئوری ماند) تعریف شده و از آنجاییکه مدار کوتاه (اگر سرعت ذرات در مخزن تماسی زیاد باشد و به اندازه کافی با کلر در تماس نباشد، به گونه ای که ضد عفونی به خوبی صورت نگیرد؛ به این پدیده مدار کوتاه گفته می شود) در مخزن را نشان می دهد، شاخصی است که بیشتر مورد استفاده قرار می گیرد. مخازن بدون بافل معمولاً مقدار BF، ۰/۱ دارند؛ در حالیکه مخازن با جریان ایده آل پلاگ مقدار BF، ۱/۰ را دارند. MI یک شاخص اختلاط است که مقدار انتشار (پخش) در یک مخزن

را ارزیابی می کند. راه معقول برای بهینه کردن بهره وری ضد عفونی هیدرولیکی برای مخازن تماسی افزایش مقدار T، و در عین حال به حداقل رساندن مقدار T<sub>p</sub> می باشد؛ که می توان با کاهش مدار کوتاه و توسعه جریان از طریق استفاده از بافل ها (دیواره های داخلی) انجام شود. بافل های قرار داده شده در داخل مخازن تماسی برای یک مسیر تماس طولانی تر و کاهش جدایی جریان داخل یک مخزن، که هر دو ممکن است در تئوری گسترش زمان تماس ضد عفونی و منجر به نزدیک شدن شرایط جریان پلاگ گردد [۸].

جدول ۳ کد عملکرد هیدرولیکی ۴ گانه را برای شاخص های ذکر شده نشان می دهد، با توجه به جدول می توان کارایی نهایی مخزن تماسی را تعیین نمود [۹].

جدول ۴ شاخص های کارایی هیدرولیکی محاسبه شده برای مخزن تماسی CT-1 با استفاده از نمودارهای توزیع زمان ماند و منحنی جریان در خروجی مخزن تماسی، را نشان می دهد. این شاخص ها عبارتند از:  $t_{10}/T$ ،  $t_{90}/T$  و  $MI$  و  $6^2$  که در دو حالت EXP (مطالعه آزمایشگاهی)، Comsol (شبیه سازی عددی انجام شده در این پژوهش با روش المان محدود) مقایسه شده است. تمامی شاخص های محاسبه شده با توجه به نمودار شکل ۸ و ۹ می باشد. شبیه سازی اولیه برای تولید مدل آزمایشگاهی انجام شده با توجه به اعتبار سنجی بین نتایج عددی با داده های تجربی مخزن CT-1 نشان داد که؛ توانایی پیش بینی مدل عددی رضایت بخش بود. جدول ۵ نتایج بررسی و تحلیل خطای مدل سازی حاصل از بررسی ۴ شبکه

1 Hydraulic Efficiency Indicators  
2 Baffle Factor  
3 Morill Index

جدول ۳: کد عملکرد هیدرولیکی ۴ گانه.

Table 3. Four-tier hydraulic performance code

MI	$\theta_9$	$\theta_{10}$	کارایی (بهره وری)
<۱۰	<۲/۳	<۰/۲	ضعیف
۱۰-۵	۲/۲-۰/۳	۰/۰-۲/۴	ترازی
۲/۵-۵/۰	۱/۲-۵/۰	۰/۰-۴/۵	قابل قبول
<۲/۵	<۱/۵	>۰/۵	عالی

جدول ۴: نتایج شاخص های کارایی هیدرولیکی مخزن تماسی CT-1

Table 4. Results of CT-1 Contact Tank Hydraulic Performance Indicators

مخزن تماسی	$t_{10}/T$		$t_{90}/T$		MI		$\delta^2$	
	EXP	Comsol	EXP	Comsol	EXP	Comsol	EXP	Comsol
CT-1	۰/۷	۰/۷۶	۱/۴۸	۱/۳	۲/۱۲	۱/۷۱	۰/۰۹۵	۰/۰۷۹

جدول ۵: استقلال حل از شبکه

Table 5. Solved independence from the mesh

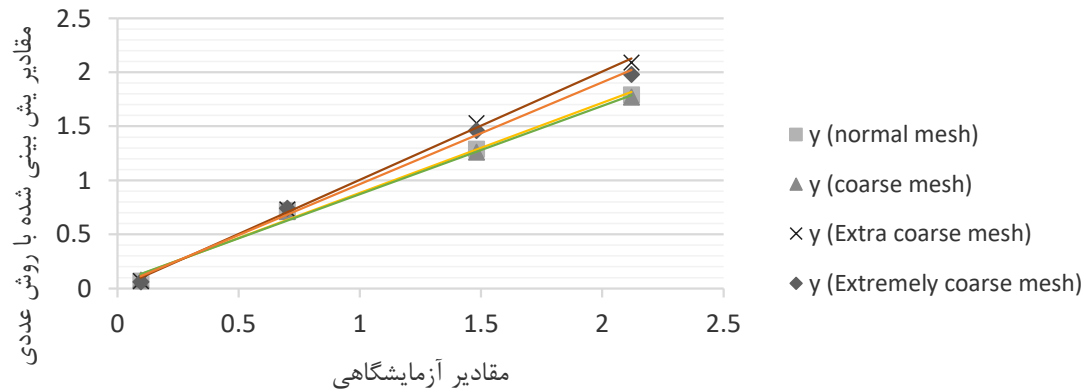
نوع شبکه	$t_{10}/T$			$t_{90}/T$			MI			$\delta^2$		
	EXP	Comsol	%Error	EXP	Comsol	%Error	EXP	Comsol	%Error	EXP	Comsol	%Error
Normal	۰/۷	۰/۷۲	۲/۸۵	۱/۴۸	۱/۲۹	۱۲/۸۳	۲/۱۲	۱/۷۹	۱۵/۵۶	۰/۰۹۵	۰/۰۶۸	۲۸/۴۲
Coarse	۰/۷	۰/۷۱	۱/۴۲	۱/۴۸	۱/۲۶	۱۴/۸۶	۲/۱۲	۱/۷۷	۱۶/۵	۰/۰۹۵	۰/۰۷۹	۱۶/۸۴
Extra Coarse	۰/۷	۰/۷۳	۴/۲۸	۱/۴۸	۱/۵۳	۳/۳۷	۲/۱۲	۲/۰۹	۱/۴۱	۰/۰۹۵	۰/۰۶۷	۲۹/۴۷
Extremely Coarse	۰/۷	۰/۷۴	۵/۷۱	۱/۴۸	۱/۴۶	۱/۳۵	۲/۱۲	۱/۹۸	۶/۶۰	۰/۰۹۵	۰/۰۶۲	۳۴/۷۳

شبکه تولید شده را ارائه می کند. همانطور که مشاهده می شود؛ دقت هر ۴ حالت بسیار به هم نزدیک بوده و شبکه Extra Coarse با ضریب تعیین  $R^2 = ۹۹/۷۹$  درصد بالاترین دقت را دارا می باشد. پس از آن برای بررسی تاثیر جهت گیری بافل های در راستای طولی شبیه سازی های بیشتری انجام شد. جدول ۷ نتایج شبیه سازی جهت گیری بافل ها را برای سه حالت کانال عریض، نرمال و باریک نمایش می دهد.

هدف از این شبیه سازی ها یافتن مهمترین متغیر هندسی برای به دست آوردن بهترین بازده هیدرولیکی و بهینه و به حداقل رساندن

Extremely Coarse و Extra Coarse، Coarse، Normal می باشد.

از مقایسه داده های جدول ۴ و ۵ ملاحظه می شود که؛ شبیه سازی از دقت نسبتاً خوبی برخوردار بوده و اختلاف بین نتایج عددی با نرم افزار کامسول و نتایج آزمایشگاهی به دلیل مدل نکردن دقیق کانال ورودی و در نظر گرفتن سطح آب به عنوان درب پوش صلب می باشد. شکل های ۱۰ رگرسیون خطی بین نتایج عددی و آزمایشگاهی را برای هر شبکه تولید شده ارائه می کند. جدول ۶ ضریب تعیین محاسبه شده با استفاده از نرم افزار اکسل برای ۴ حالت



شکل ۱۰: نمودار نتایج مربوط به کالیبراسیون برای ۴ حالت متمایز شبکه  
 Fig. 10. Diagram of calibration results for 4 different mesh modes

جدول ۶: محاسبه ضریب تعیین برای هر حالت شبکه

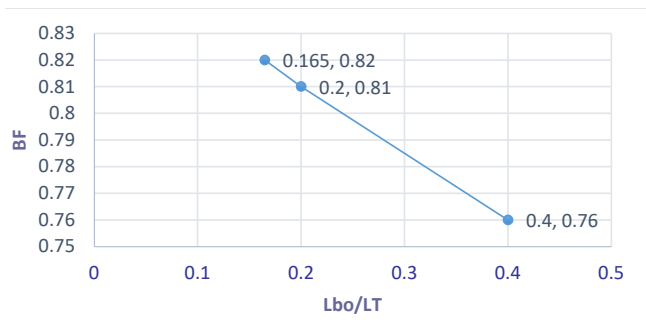
Table 6. Calculation the coefficient of determination for each mesh mode

نوع شبکه	ضریب $R^2$
Normal	۹۹/۲۷٪
Coarse	۹۹/۳۶٪
Extra Coarse	۹۹/۷۹٪
Extremely Coarse	۹۹/۵۶٪

جدول ۷: محاسبه شاخص های کارایی هیدرولیکی جهت گیری طولی بافل ها

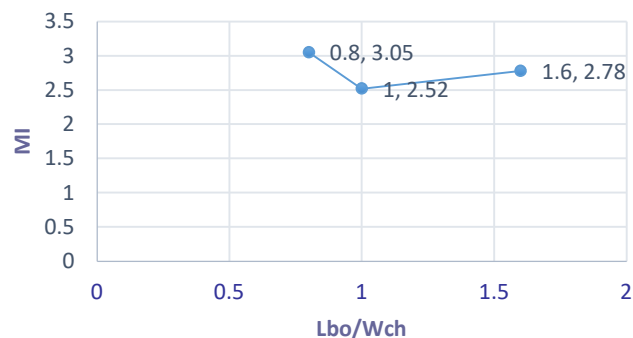
Table 7. Calculation of hydraulic performance indices for longitudinal orientation of baffles

L	$L_b$	MI (wide)	BF (Wide)	$L_{bo}/W_{ch}$	$L_{bo}/L_T$
$L_1$	۲/۶	۳/۰۵	۰/۶۸	۰/۸	۰/۲
$L_2$	۲/۲	۲/۷۸	۰/۶۴	۱/۶	۰/۴
$L_3$	۲/۵	۲/۵۲	۰/۶۸	۱	۰/۲۵
L	$L_b$	MI (Normal)	BF (Normal)	$L_{bo}/W_{ch}$	$L_{bo}/L_T$
$L_4$	۲/۶	۱/۹۷	۰/۸۱	۱/۲۱	۰/۲
$L_5$	۲/۲	۲/۱۷	۰/۷۶	۲/۴۲	۰/۴
$L_6$	۲/۶۷	۲/۱۴	۰/۸۲	۱	۰/۱۶۵
L	$L_b$	MI (Narrow)	BF (Narrow)	$L_{bo}/W_{ch}$	$L_{bo}/L_T$
$L_7$	۲/۶	۱/۵۷	۰/۸۰	۱/۶	۰/۲
$L_8$	۲/۲	۱/۵۹	۰/۸۲	۳/۲	۰/۴
$L_9$	۲/۷۵	۱/۵۵	۰/۸۶	۱	۰/۱۲۵



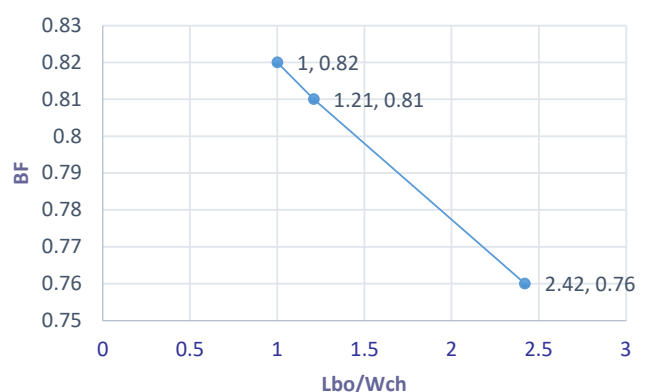
شکل ۱۲-الف: تغییرات فاکتور بافل در مقابل نسبت  $L_{bo}/L_T$  برای کانال نرمال.

Fig. 12.Changes Baffle factor in the ratio  $L_{bo}/L_T$  for Normal channel



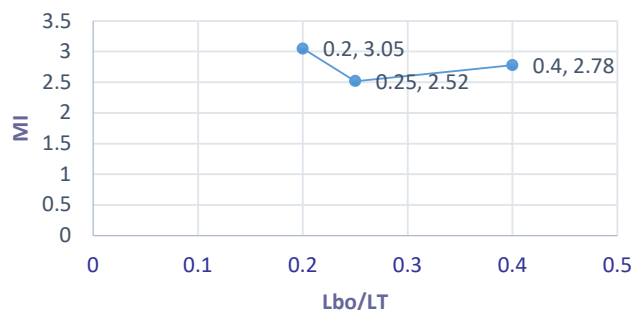
شکل ۱۱-الف: تغییرات شاخص موریل در برابر نسبت  $L_{bo}/W_{ch}$  برای کانال عریض.

Fig. 11.Changes Morrill index in the ratio  $L_{bo}/W_{ch}$  for wide channel



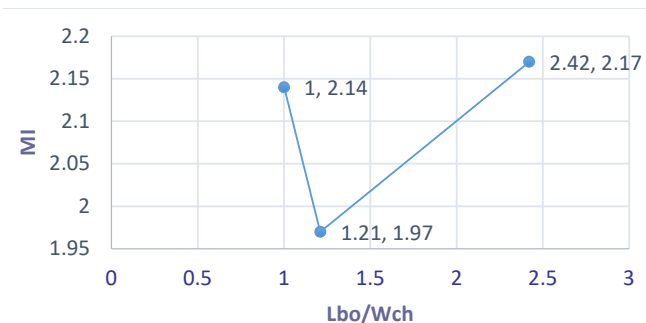
شکل ۱۲-ب: تغییرات فاکتور بافل در مقابل نسبت  $L_{bo}/W_{ch}$  برای کانال نرمال.

Fig. 12.Changes Baffle factor in the ratio  $L_{bo}/W_{ch}$  for Normal channel



شکل ۱۱-ب: تغییرات شاخص موریل در برابر نسبت  $L_{bo}/L_T$  برای کانال عریض.

Fig. 11.Changes Morrill index in the ratio  $L_{bo}/L_T$  for wide channel



شکل ۱۲-ج: تغییرات اندیس موریل در مقابل نسبت  $L_{bo}/W_{ch}$  برای کانال نرمال.

Fig. 12.Changes Morrill index in the ratio  $L_{bo}/W_{ch}$  for Normal channel

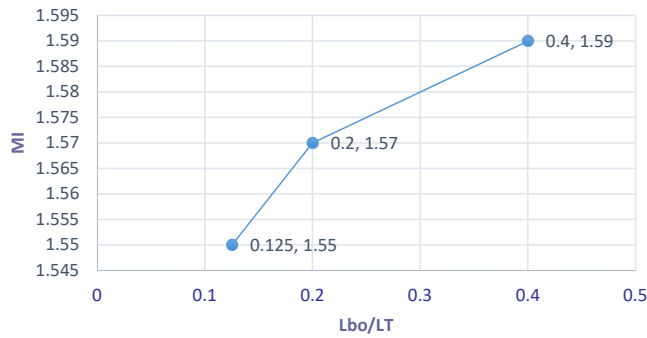
مناطق مرده اطراف نوک بافل ها می باشد. جدول ۷ دسته بندی نتایج نهایی شبیه سازی را نشان می دهد.

۳-۴- آنالیز حساسیت پارامترهای حاکم بر مدل پس از کالیبراسیون

۳-۴-۱- سناریو اول کانال عریض

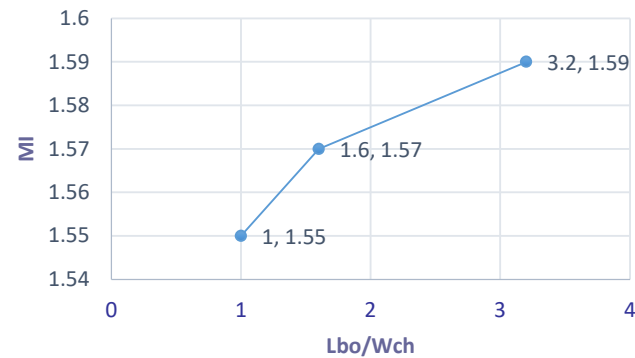
شکل های ۱۱-الف و ۱۱-ب نمودار شاخص موریل را در مقابل دو نسبت بی بعد  $L_{bo}/L_T$  و  $L_{bo}/W_{ch}$  برای مخازن گروه اول  $L_1$ ،  $L_2$  و  $L_3$  نمایش می دهد. همانطور که مشاهده می شود؛ با توجه به شکل ۱۱-الف نسبت  $L_{bo}/W_{ch} = 1$  و هم چنین با توجه به شکل ۱۱-ب  $L_{bo}/L_T = 0.25$  هر دو کمترین مقدار اندیس موریل (۲/۵۲) را در مخازن این گروه دارا می باشند. با توجه به جدول ۷ مشاهده می شود؛ که با کاهش نسبت  $L_{bo}/W_{ch}$  از  $1/6$  به  $1$  و  $0/8$  مقدار فاکتور بافل از  $0/64$  به  $0/68$  افزایش یافته است. بنابراین از بررسی

پارامترهای بی بعد بر مخازن این گروه نتیجه می شود؛ که در نسبت بی بعد  $L_{bo}/W_{ch} = 1$  مقدار اندیس موریل کمترین مقدار (۲/۵۲) و



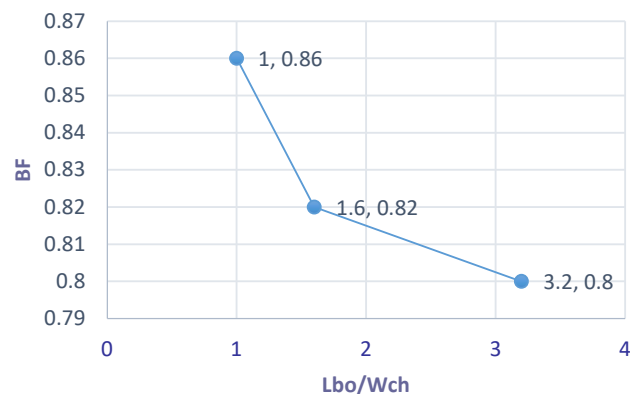
شکل ۱۳-الف: تغییرات اندیس موریل در مقابل نسبت  $L_{bo}/L_T$  برای کانال باریک.

Fig. 13.Changes Morrill index in the ratio  $L_{bo}/L_T$  for Narrow channel



شکل ۱۳-ب: تغییرات اندیس موریل در مقابل نسبت  $L_{bo}/W_{ch}$  برای کانال باریک.

Fig. 13.Changes Morrill index in the ratio  $L_{bo}/W_{ch}$  for Narrow channel



شکل ۱۳-ج: تغییرات فاکتور بافل در مقابل نسبت  $L_{bo}/W_{ch}$  برای کانال باریک.

Fig. 13.Changes Baffle factor in the ratio  $L_{bo}/W_{ch}$  for Narrow channel

فاکتور بافل بیشترین مقدار ( $0/68$ ) را دارا می باشند و بنابراین مخزن  $L_3$  حالت بهینه ی مخازن این گروه می باشد.

### ۳-۴-۳- سناریو دوم کانال نرمال

شکل ۱۲-الف نمودار تغییر فاکتور بافل را در برابر نسبت  $L_{bo}/L_T$  برای کانال نرمال نمایش می دهد. مشاهده می شود با کاهش نسبت بی بعد  $L_{bo}/L_T$  از  $0/4$  به  $0/165$  فاکتور بافل از  $0/76$  به  $0/82$  افزایش می یابد و به حالت بهینه هیدرولیکی نزدیک می شود.

شکل ۱۲-ب نمودار تغییر اندیس موریل را در برابر نسبت  $L_{bo}/W_{ch}$  برای کانال نرمال نمایش می دهد. مشاهده می شود با کاهش نسبت بی بعد  $L_{bo}/W_{ch}$  از  $2/42$  به  $1$  مقدار فاکتور بافل از  $0/76$  به  $0/82$  افزایش می یابد و به حالت بهینه هیدرولیکی نزدیک می شود.

شکل ۱۲-ج نمودار تغییرات اندیس موریل در برابر نسبت  $L_{bo}/W_{ch}$  برای کانال نرمال نمایش می دهد. مشاهده می شود در نسبت بی بعد  $L_{bo}/W_{ch} = 1/21$  اندیس موریل کمترین مقدار خود ( $1/97$ ) را دارا می باشد. بنابراین از بررسی پارامترهای بی بعد بر مخازن این گروه نتیجه می شود؛ که مخزن  $L_4$  با کمترین مقدار اندیس موریل  $1/97$  و مقدار فاکتور بافل  $0/81$  بهینه ترین حالت از بین مخازن این گروه می باشد.

### ۳-۴-۳- سناریو سوم کانال باریک

شکل های ۱۳-الف و ۱۳-ب نمودار تغییرات شاخص موریل در برابر نسبت های بی بعد  $L_{bo}/L_T$  و  $L_{bo}/W_{ch}$  برای کانال باریک نمایش می دهد. مشاهده می شود؛ با کاهش نسبت  $L_{bo}/L_T$  از  $0/4$  به  $0/125$ ، شاخص موریل از  $1/59$  به  $1/55$  و هم چنین با کاهش نسبت  $L_{bo}/W_{ch}$  از  $3/2$  به  $1/59$  اندیس موریل از  $1/55$  به  $1/55$  کاهش می یابد و به حالت بهینه هیدرولیکی نزدیک می شود.

شکل ۱۳-ج نمودار تغییرات فاکتور بافل را در برابر نسبت  $L_{bo}/W_{ch}$  نشان می دهد. مشاهده می شود؛ که با کاهش نسبت  $L_{bo}/W_{ch}$  از  $3/2$  به مقدار فاکتور بافل از  $0/8$  به  $0/86$  افزایش می یابد و به حالت بهینه هیدرولیکی نزدیک می شود. از بررسی پارامترهای بی بعد بر مخازن این گروه نتیجه می شود؛ که نسبت های بی بعد  $L_{bo}/W_{ch} = 0/125$  و  $L_{bo}/L_T = 0/125$  دارای بالاترین مقدار فاکتور بافل  $0/86$  و کمترین مقدار اندیس موریل  $1/55$  و در نتیجه مخزن  $L_9$  حالت بهینه

و باریک، کانال باریک با نسبت  $W_{inlet}/W_{ch} = 0/68$  حالت بهینه هیدرولیکی می باشد. همچنین در کانال باریک و نرمال مشاهده شد که؛ با کاهش نسبت  $L_{bo}/L_T$  کارایی هیدرولیکی افزایش یافته است.

### فهرست علائم: علائم انگلیسی:

سطح مقطع ورودی	$A_{in}$
فاکتور بافل	BF
مخازن تماسی کلر	CCTs
مخزن تماسی	CT
دینامیک سیالات محاسباتی	CFD
منحنی جریان	FTC
ارتفاع سطح آب	$H_t$
انرژی جنبشی	k
نرخ فروپاشی ماده ضدعفونی کننده (در این مطالعه برابر $10^{-4} \times 2/77$ می باشد)	K
طول دهانه بافل	$L_{bo}$
طول بافل	$L_b$
طول مخزن	$L_T$
اندیس موریل	MI
تعداد بافل ها	$N_b$
دبی، $m^3/s$ (در این مطالعه برابر $m^3/s$ ۰/۰۴۷۲ می باشد)	Q
معادلات میانگین رینولدز- ناویر استوکس	RANS
توزیع زمان ماند	RTD
عدد رینولدز (در این مطالعه برابر ۶۷۵۰ می باشد)	Re
زمان تئوری ماند، s (در این مطالعه برابر ۱۲۶۵ ثانیه می باشد)	TDT
مدت زمانیکه طول می کشد تا ۱۰ درصد ماده ردیاب به خروجی مخزن برسد	$T_{10}$
مدت زمانیکه طول می کشد تا ۹۰ درصد ماده ردیاب به خروجی مخزن برسد	$T_{90}$
سرعت ورودی، m/s	$U_{in}$
سرعت حجمی، mm/s (در این مطالعه برابر 12.5 mm/s می باشد)	$U_b$
عرض ورودی، m	$W_{inlet}$

هیدرولیکی می باشد.

در نهایت؛ از نتایج آنالیز حساسیت جهت گیری بافل ها در راستای طولی نتیجه می شود؛ از بین سه عرض کانال (عریض، نرمال و باریک) بالاترین مقدار فاکتور بافل و پایین ترین مقدار اندیس موریل (مقادیر نزدیک به ۱) مربوط به کانال باریک با مقادیر ۰/۸۶ و ۱/۵۵ به ترتیب برای فاکتور بافل و اندیس موریل می باشد. در واقع مشاهده شد؛ هندسه مخزن  $L_b$  با نسبت های بی بعد طول دهانه بافل به عرض کانال برابر یک و طول دهانه بافل به طول مخزن برابر ۰/۱۲۵ به دلیل نزدیک شدن شرایط جریان به جریان ایده آل پلاگ و یکنواختی بیشتر و کاهش نواحی چرخشی و مرده و در نتیجه حالت بهینه هیدرولیکی می باشد. هم چنین تیلور و همکاران مخزن مستطیلی امبسی با عرض ورودی مشخص را مورد بررسی قرار داده و به ارتباط بین بازده هیدرولیکی بافل مخازن و تنظیمات داخلی بافل ها با استفاده از شبیه سازی دینامیک سیالات محاسباتی پرداخته اند. در مطالعه ایشان ۳۰ مدل تحت تاثیر پارامترهای ابعادی (طول دهانه بافل، عرض کانال و طول بافل) برای اندازه گیری کارایی هیدرولیکی مخزن تماسی شبیه سازی دو بعدی شد. نتایج شبیه سازی دو بعدی CFD نشان داد که؛ فاکتورهای کارایی هیدرولیکی با مقدار پارامترهای ابعادی ذکر شده همبستگی داشته است و مخزن با جهت گیری طولی بافل ها و نسبت  $L_{bo}/W_{ch} \approx 1$  مخزن بهینه و مطلوب از نظر کارایی هیدرولیکی می باشد.

### ۴- نتیجه گیری:

پانجام شد. از نتایج آنالیز حساسیت مدل های جهت گیری بافل ها در راستای طولی؛ در سه حالت عرض کانال عریض، نرمال و باریک این نتیجه به دست آمد که؛ در سناریو اول کانال عریض با نسبت  $W_{inlet}/W_{ch} = 1/37$ ، مخزن  $L_3$ ، در سناریو دوم کانال نرمال با نسبت  $W_{inlet}/W_{ch} = 0/9$ ، مخزن  $L_4$  و در سناریو سوم کانال باریک با نسبت عریض  $W_{inlet}/W_{ch} = 0/68$  مخزن  $L_9$  حالت بهینه هیدرولیکی هر گروه می باشند. و هم چنین از مقایسه حالات بهینه هر گروه با یکدیگر، مخزن  $L_9$  با بالاترین مقدار فاکتور بافل ۰/۸۶ و کمترین مقدار اندیس موریل ۱/۵۵ بهینه ترین حالت هیدرولیکی می باشد. در حقیقت، از بین سه عرض ورودی مختلف کانال عریض، نرمال

- [4] C. Gualtieri, Analysis of the effect of baffles number on contact tank with Multiphysics 3.3, in, Hydraulic and Environmental Engineering Department Girolamo Ippolito, University of Napoli Federico II, Napoli, Italy, 2007.
- [5] Amini R., Taghipour R.(1388). Three-dimensional modeling of flow in chlorine disinfection contact tanks (in Persian). in: Third International Conference on Environmental Engineering, University of Tehran.
- [6] A. Angeloudis, Numerical and experimental modelling of flow and kinetic process in serpentine disinfection tanks, Doctor of Philosophy Cardiff University, 2014
- [7] [https://en.wikipedia.org/wiki/Residence\\_time](https://en.wikipedia.org/wiki/Residence_time).
- [8] H.Z. Taylor, S.J. Carlston, K.S. Venayagamoorthy, Hydraulic design of baffles in disinfection contact tanks, Journal of Hydraulic Research, (2015) 400:407.
- [9] C. Gualtieri, Numerical simulation of RTD in Contact Tanks with Comsol Multiphysics 3.2b. 2006.

علائم یونانی:

نرخ پراکندگی انرژی جنبشی ۴  
ویسکوزیته گردابی ۷

منابع:

- [1] Wastewater Treatment plant operator certification Training. Module 5: Disinfection and chlorination., The course includes Content developed by the Pennsylvania (Pa.DE) in cooperation with the following contractors, subcontractors or grantees, Revised 2016.
- [2] W.B. Rauen, A. Angeloudis, R.A. Falconer, Appraisal of chlorine contact tank modelling practices, Water Res, 46(18) (2012) 5834-5847.
- [3] A. Angeloudis, T.Stoesser, A.R. Falconer, D. Kim, Flow, transport and disinfection performance in small-and full-scale contact tanks, Journal of Hydro-environment Research, (2014) 15-27.

چگونه به این مقاله ارجاع دهیم

M. Esmaili, M. Asadi Aghbolaghi, Simulation of orientation of baffles in a longitudinal direction in chlorine contact tanks, Amirkabir J. Civil Eng., 52(8) (2020) 1891-1906.

DOI: [10.22060/ceej.2019.15699.6003](https://doi.org/10.22060/ceej.2019.15699.6003)

