

مقایسه روش واریانس و زمان حداکثر در تعیین رژیم هیدرولیکی یک هاضم هوازی

عنوان مکرر: تعیین رژیم هیدرولیکی

نویسندگان:

امیر رضا طلائی^۱: نویسنده مسئول و عضو هیئت علمی موسسه آموزش عالی جامی، گروه مهندسی عمران و محیط زیست، نشانی: شیراز - بلوار مدرس، بلوار آزادگان کوچه ۵ پلاک ۱۱۹، تلفن همراه: ۰۹۱۷۳۱۶۱۰۳۴، تلفن محل کار: ۰۸۶۴۲۲۵۶۷۸، پست الکترونیک: amirtkh@yahoo.com

نعمت ا... جعفرزاده^۲: عضو هیئت علمی دانشگاه علوم پزشکی جندی شاپور اهواز، دانشکده بهداشت، گروه مهندسی بهداشت محیط.

محسن غلامی^۳: دانشجوی دکتری مهندسی شیمی دانشگاه اصفهان.

محمد رضا طلائی^۴: عضو هیئت علمی گروه مهندسی شیمی دانشگاه اصفهان

خلاصه:

تعیین رژیم هیدرولیکی راکتورهای مورد استفاده در مقیاس صنعتی و آزمایشگاهی برای تشخیص صحت طراحی و یا نوع آنها بسیار ضروری است. در این مطالعه رژیم هیدرولیکی یک هاضم هوازی که بجای سیستم ته نشینی در آن از یک صافی ۰/۴۵ میکرون برای جلوگیری از خروج میکروارگانیسم ها استفاده شده بود، در دو حالت (الف) راکتور دارای صافی جلوگیری کننده از خروج میکروارگانیسم ها و (ب) بدون آن، با استفاده از یک ماده ردیاب (کلرید سدیم) بررسی گردید و در نهایت با مقایسه نتایج هر دو حالت، تاثیر این گونه صافی ها بر رژیم هیدرولیکی راکتور بررسی شد. مدت زمان نمونه برداری در حالت با صافی و بدون آن ۱/۳۳ و ۱/۵۶ برابر زمان ماند هیدرولیکی بود. برای تعیین عدد پراکندگی در این بررسی از دو روش واریانس و زمان حداکثر استفاده شد. برای تعیین عدد پراکندگی به روشهای ذکر شده یک برنامه رایانه ای به زبان ویژوال بیسیک نت طراحی گردید. عدد پراکندگی حاصل از روش واریانس در هر دو حالت (الف) و (ب) به ترتیب برابر با ۰/۵۱۱ و ۰/۵۶۵ بود. همچنین اعداد پراکندگی محاسبه شده به کمک روش زمان حداکثر در دو حالت مذکور به ترتیب ۵/۶ و ۲۱/۵ بود. با توجه به مدت زمان کوتاه نمونه گیری، روش زمان حداکثر مناسبتر شناخته شده و سیستم در هر دو حالت آزمایش شده اختلاط کامل تشخیص داده شد.

^۱ موسسه آموزش عالی جامی، گروه مهندسی شیمی. amirtkh@yahoo.com

^۲ دانشگاه علوم پزشکی جندی شاپور اهواز، دانشکده بهداشت، گروه مهندسی بهداشت محیط.

^۳ دانشگاه اصفهان، دانشکده مهندسی شیمی.

^۴ دانشگاه اصفهان، دانشکده مهندسی، گروه مهندسی شیمی.

Comparison of variance and maximum time methods for evaluation of aerobic reactor hydraulic regime

Abstract

Evaluation of hydraulic regimes in laboratory and industrial reactors are very important for indicated accuracy design of reactors or class of those. In this study we evaluated hydraulic regime of an aerobic digestion. In this reactor sedimentation tank was removed. For control of microorganisms in reactor was used from a 0.45 μ m filter. Reactor was examinee in two conditions (1) With filter, (2) without filter. Hydraulic regime evaluated by a tracer (NaCl) and finally these two conditions, comparison together. Experiment times for reactor with filter and without that were 1.33 and 1.56 of hydraulic retention time respectively. For evaluation of hydraulic regime we used maximum time and variance methods. For calculation of hydraulic regime by two above methods a program was wrote by visual basic.Net. Index of hydraulic regime in reactor with filter and without that was calculated 0.511 and 0.565 respectively by variance method and was 5.6 and 21.5 respectively by maximum time method. By regarded to short time sampling, maximum method indicated able and reactor in the two conditions identified as completed mix.

Key words: Hydraulic regime, aerobic reactors, completed mix, tracer test.

۱- مقدمه:

توسعه روز افزون استفاده از مواد شیمیایی در تولیدات صنعتی مقادیر زیادی ضایعات شیمیایی خطرناک تولید کرده است. این ترکیبات اغلب منجر به آلودگی محیط زیست می شوند [۸]. امروزه بیش از ۷۰۰۰۰ نوع مواد شیمیایی آلی بطور عمومی مصرف می شوند، که از این تعداد تنها اثرات کمی از آنها بر سلامت بشر و محیط زیست مورد آزمایش و سنجش قرار گرفته است [۹]. بدین لحاظ تصفیه و حذف ترکیبات خطرناک موجود در انواع فاضلابها اهمیت بسیار زیادی پیدا می کند و این امر لزوم تحقیق در سیستم های تصفیه مؤثر را کاملاً روشن می سازد [۱۰]. راکتورهای مختلف مورد استفاده در تصفیه فاضلاب شرایط گوناگونی را ایجاد می نمایند که بررسی و بهینه سازی این شرایط می تواند منجر به افزایش راندمان و کاهش آلودگی های محیطی گردد [۷]. در تصفیه فاضلاب بطور گسترده ای از راکتورهایی با شرایط مختلف عبور جریان استفاده می شود [۱،۲]. رژیم هیدرولیکی در این واحدها، به شکل، انرژی ورودی و ابعاد راکتور بستگی دارد. نوع جریان هیدرولیکی در انواع راکتورهای تصفیه بیولوژیکی با سیستم های رشد معلق و یا چسبیده، مستغرق اهمیت زیادی داشته و در به حداکثر رساندن کارایی راکتورها نقش موثری ایفا می کند. مهمترین رژیم های هیدرولیکی در راکتورهای مورد استفاده در تصفیه آب و فاضلاب شامل (الف) راکتورهای ناپیوسته، (ب) راکتورهایی با جریان پیستونی ایده آل، (ج) راکتورهایی با جریان اختلاط کامل ایده آل و (د) راکتورهایی با جریان پراکنده غیر ایده آل می باشند [۲].

راکتورهای ناپیوسته سیستم هایی هستند که جریان در آنها مداوم نیست هرچند که مواد در آنها بخوبی مخلوط می شوند به گونه ای که هیچ گرادیان حرارت و غلظت در آنها وجود ندارد [۴، ۵]. این راکتورها شبیه راکتورهایی با جریان پیستونی ایده آل هستند. به استثناء راکتورهای ناپیوسته سایر راکتورها به صورت جریان مدام به کار گرفته می شوند. جریان پیستونی ایده آل جریانی است که هر جزء از جریان به همان صورتی که وارد راکتور می شود آن را ترک می کند و این جزء از اجزاء قبلی و بعدی مستقل است و هیچ گونه اختلاط و انتشاری نیز وجود ندارد. جریان اختلاط کامل ایده آل جریانی است که همه اجزاء وارد شده به راکتور به طور آبی و کامل در راکتور پراکنده می شوند به گونه ای که تمام محتویات در همه نقاط راکتور، به خوبی یکنواخت است. جریان پراکنده نیز جریانی است که هر جزء از ماده ورودی به راکتور برای زمانهای مختلفی در راکتور باقی می ماند [۴].

آزمایش هایی که به کمک مواد ردیاب^۵ صورت می گیرد به تمایز بین انواع مختلف راکتور کمک می کند. مواد ردیاب مورد استفاده ممکن است رنگها، مواد شیمیایی و یا ایزوتوپ های رادیواکتیور باشند. برخی از ترکیبات مورد استفاده به عنوان رد یاب عبارتند از: رد آمین، رد آمین WT،

⁵ Tracers

کلرور سدیم، ترکیبات فلوراید، نمک های لانتانیم، نمکهای لیتوم، آهن ۵۹ و آسبورهای لایکوپودیوم. تزریق این ترکیبات ردیاب به راکتور می تواند بصورت ناگهانی^۶ و یا مداوم^۷ باشد [۳]. پس از تزریق ماده ردیاب به راکتور در فواصل زمانی مناسب که بسته به زمان ماند هیدرولیکی سیستم تعیین می گردد پیش غلظت ماده رد یاب در خروجی راکتور صورت می پذیرد. این پایش معمولاً ۴ الی ۱۰ برابر مدت زمان ماند هیدرولیکی ادامه می یابد. از نتایج این آزمون می توان برای رسم نمودارهای غلظت زمان استفاده کرد. وقتی ماده ردیاب بصورت ناگهانی به سیستم اضافه می گردد، منحنی بدست آمده را سی دیاگرام^۸ می نامند. سی دیاگرامها بدون بعد می باشند زیرا C/C_0 در مقابل t/t_0 رسم می گردد. در روش های متداول برای تعیین عدد پراکندگی (D/UL) می توان از تطابق نتایج حاصل از آزمایش و رابطه تئوری موجود استفاده نمود. یکی از روشهای مهم مورد استفاده برای یافتن عدد پراکندگی استفاده از واریانس می باشد. در این روش با کمک اطلاعات حاصل از آزمایش ردیاب واریانس محاسبه می گردد. روابط زیر را می توان به منظور تعیین واریانس تجربی بکار برد :

$$\bar{t} = \frac{\sum tc}{\sum c} \quad (1)$$

$$\sigma_t^2 = \frac{\sum t^2 c}{\sum c} - \bar{t}^2 \quad (2)$$

$$\sigma^2 = \frac{\sigma_t^2}{\bar{t}^2} \quad (3)$$

در روابط بالا \bar{t} زمان متوسط، c غلظت ماده تزریق شده در لحظه های نمونه گیری، σ_t انحراف معیار منحنی غلظت زمان و σ^2 واریانس به صورت زمان بدون بعد (منحنی سی) می باشد. بر اساس روابط تئوری ارتباط واریانس بدون بعد و عدد پراکندگی بصورت زیر می باشد:

$$\sigma^2 = 2\left(\frac{D}{UL}\right) - 2\left(\frac{D}{UL}\right)^2 \cdot \left(1 - e^{-\frac{1}{D/UL}}\right) \quad (4)$$

با جایگذاری واریانس بدون بعد حاصل از نتایج آزمایشگاهی در رابطه بالا معادله ای بر حسب تنها مجهول عدد پراکندگی بدست خواهد آمد. حل معادله حاصل در نهایت منجر به مقدار عدد

⁶ Slug

⁷ Continuous

⁸ C-diagrams

پراکندگی خواهد شد. روش ذکر شده هنگامی منجر به جواب صحیح برای عدد پراکندگی می گردد که مدت زمان آزمایش ردیاب به میزان کافی ادامه یافته باشد [۳، ۴، ۵].

روش دیگر تعیین عدد پراکندگی و در نهایت تعیین رژیم هیدرولیکی، روش زمان حداکثر می باشد. این روش در زمانی استفاده می گردد که زمان ماند هیدرولیکی راکتور زیاد بوده و مدت زمان آزمون تعیین غلظت ردیاب نیز کم باشد. معادلات مربوط به این روش در زیر ارائه شده است:

$$\frac{t_p}{t_0} = \text{نسبت زمان ماند حداکثر به زمان ماند نظری} \quad (5)$$

در صورتی که مقدار t_p/t_0 مابین ۰/۸ الی ۰/۳ باشد از معادله (۶)، و در صورتی که مقدار آن مابین ۰/۳ الی ۰ باشد از معادله (۷) استفاده می گردد.

$$\frac{D}{UL} = 4.027(10)^{-2.09(t_p/t_0)} \quad (6)$$

$$\frac{D}{UL} = 0.2(t_p/t_0)^{-1.34} \quad (7)$$

در معادلات فوق: t_p زمانی که حداکثر غلظت ماده ردیاب اندازه گیری شده است و t_0 زمان ماند نظری راکتور می باشد. محققین مختلف نیز برای دست یابی به مدلی تجربی که نیاز به آزمون های عملی را منتفی سازد تحقیقات مختلفی را انجام داده اند. بطور مثال معادله زیر توسط مورفی ارائه شده است [۱]:

$$D = 3.118(w^2)(q_a) \quad (8)$$

که در آن w عرض حوضچه و q_a میزان جریان هوا در واحد حجم حوضچه می باشد. از این معادله در راکتورهای هوادهی شده با افشانها^۹ استفاده می گردد.

ارسی والا نیز با کمک مطالعه بر روی نتایج آزمایش به کمک مواد ردیاب در سیستم های مختلف مجهز به هوادهی مکانیکی، برکه های اکسیداسیون، حوضچه های ته نشینی مستطیلی و... برای رسیدن به یک رابطه تجربی بین عدد پراکندگی، عرض راکتور و عمق آن تلاش نمود [۳، ۱]. پولپرست و باراتایی نیز طی مطالعات خود موفق به ارائه معادله ای برای پیش بینی عدد پراکندگی برکه های تثبیت فاضلاب شدند [۳]. نبی زاده و همکارانش نیز موفق به تشخیص رژیم هیدرولیکی راکتور با بستر ثابت و رشد چسبیده مورد استفاده در آزمایش های خود شدند. نبی زاده با کمک روش واریانس موفق به اثبات اختلاط کامل بودن راکتور مورد نظر خود گردید [۶]. مهربانی و همکارانش نیز به بررسی رژیم

⁹ Diffused – air aeration

هیدرولیکی راکتور خود پرداختند. آنها به کمک روش واریانس اثبات نمودند که راکتور با بستر سیال (MBBR) مورد استفاده در مطالعه آنها از نوع اختلاط کامل بوده است [۷].

هدف از انجام این مطالعه تعیین رژیم هیدرولیکی یک راکتور بیولوژیکی تحقیقاتی می باشد. در این راکتور برای جلوگیری از خروج میکروارگانیسم ها به جای حوضچه ته نشینی از یک صافی ۰/۴۵ میکرون استفاده شده بود. بنابر این راکتور به دو بخش داخلی (حاوی میکروارگانیسم) و بخش خارجی (حاوی مایع تصفیه شده) تقسیم می گردد. با این حال احتمالاً به دلایل مختلف از جمله پدیده انتشار به دلیل اختلاف غلظت در دو بخش داخلی و خارجی، اختلاف فشار ناشی از تزریق فاضلاب ورودی به بخش داخلی، ایجاد تلاطم در اثر هوادهی و... مبادلات مایع بین این دو بخش صورت می پذیرد. پیش بینی می شد که این صافی از اختلاط کامل جریان در راکتور جلوگیری کند. بنابر این شناخت رژیم هیدرولیکی این راکتور برای کاربردهای آن در زمینه های تحقیقاتی بسیار ضروری بود. در مرحله اول داده های مطالعه به کمک آزمون ردیاب جمع آوری گردید و در مرحله بعد تحلیل آنها به کمک دو روش واریانس و زمان حداکثر انجام پذیرفت. برای انجام محاسبات در این مطالعه یک برنامه رایانه ای طراحی گشت. در انتها کار نیز مقایسه ای بین این دو روش صورت پذیرفت. در نهایت با توجه به محاسبات انجام شده رژیم هیدرولیکی راکتور مشخص گردید.

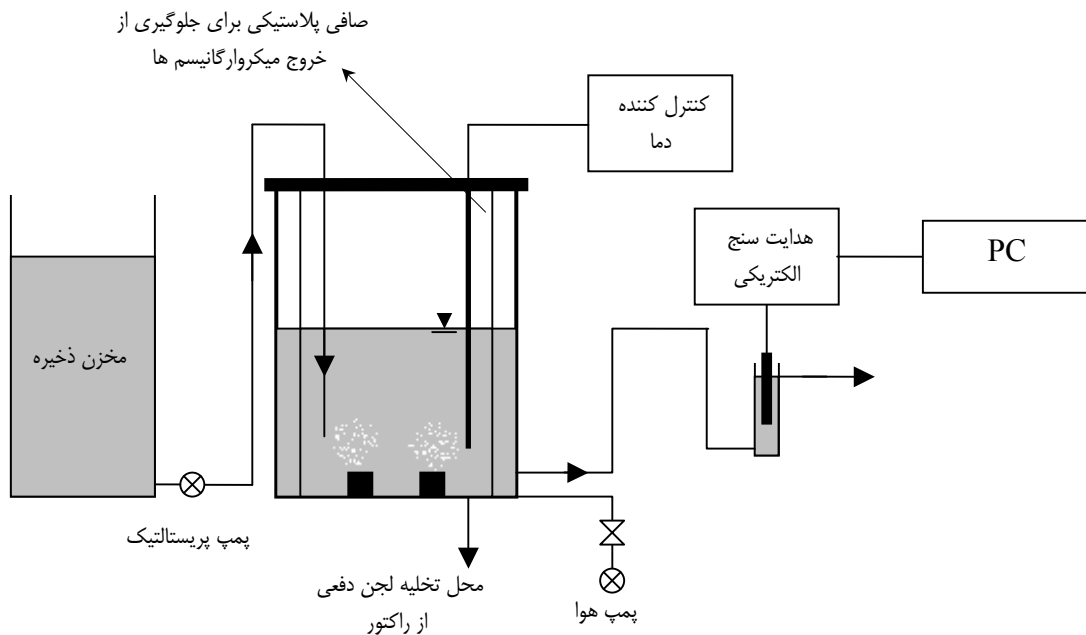
۲- مواد و روشها

۲-۱- راکتور مورد استفاده

در این مطالعه از یک راکتور بیولوژیک تحقیقاتی ساخت کارخانه آرم فیلد^{۱۰} آلمان استفاده شده. حجم راکتور ۱۲/۵ لیتر بوده و به واسطه وجود یک خروجی با ارتفاع قابل تنظیم امکان استفاده از آن با مقادیر کمتر از ۱۲/۵ لیتر نیز وجود داشت. این راکتور استوانه ای شکل با قطر ۲۷ cm بود که مجهز به یک کمپرسور به همراه فلومتر و شیرهای تنظیم آن بوده و که به کمک آنها امکان تنظیم دبی هوا در محدوده ۰/۱ الی ۳ لیتر بر دقیقه وجود داشت. ورود هوا به راکتور به کمک ۴ هواپخشانه تعبیه شده در کف آن صورت می گرفت. این راکتور همچنین مجهز به سیستم کنترل دما بوده که با دقت ۱/۰ ± درجه سانتیگراد قادر به ثابت نگهداشتن دما در راکتور بود. ورود مواد به راکتور به کمک یک پمپ پرستالتیک با توان پمپاژ حداکثر ۲۶ میلی لیتر آب بر دقیقه صورت گرفت. این سیستم مجهز به ورودی مایع سردکننده برای خنک کردن راکتور و کاربرد آن در دماهای پایین نیز بود و امکان استفاده از آن به عنوان یک راکتور لجن فعال وجود داشت. برای جلوگیری از خروج میکروارگانیسم ها از سیستم به جای مخزن ته نشینی از یک صافی بزرگ با قطر سوراخهای ۰/۴۵ میکرون استفاده گردید. قطر این

¹⁰ Armfield

لایه صافی استوانه ای شکل ۱۹ cm بود که راکتور را به دو بخش داخلی (حاوی میکروارگانسیم) و بخش خارجی (حاوی مایع تصفیه شده) تقسیم نموده و خروجی سیستم نیز در این بخش قرار داشت. اختلاط ناشی از هوادهی تنها در بخش داخلی اثر کرده و بخش خارجی دارای جریان لایه ای بود. از این راکتور در شکل ۱ نمایش داده شده است.



شکل ۱- نمایی از راکتور مورد استفاده و تجهیزات جانبی آن

۱-۲- آزمون تعیین رژیم هیدرولیکی

در این بخش از مطالعه خروجی راکتور برای دستیابی به حجم موثر ۶ لیتر تنظیم گردید و راکتور با ۶ لیتر آب شبکه آب آشامیدنی با هدایت الکتریکی برابر با $1/523 \text{ ms/cm}$ پر شد. آب از مخزن ذخیره به کمک پمپ پرستالتیک با دبی ۲۶ میلی لیتر بر دقیقه به راکتور پمپاژ شد. با توجه به حجم راکتور و دبی پمپ، زمان مانده راکتور برابر با ۲۳۰ دقیقه محاسبه شد. میزان هوای ورودی به سیستم نیز بر روی $0/5$ میلی لیتر بر دقیقه تنظیم گشت. سیستم کنترل دمای راکتور نیز برای دستیابی به دمای ثابت ۲۰ درجه سانتیگراد تنظیم گردید. این مطالعه در دو بخش انجام پذیرفت. الف) با حضور صافی پلاستیکی، ب) بدون حضور صافی پلاستیکی.

در این مطالعه از محلول کلرید سدیم به عنوان ردیاب استفاده گردید و هدایت الکتریکی آب به عنوان شاخص اندازه گیری کلرید سدیم انتخاب شد. در ابتدای امر ۳ گرم کلرید سدیم وزن شده و به ۸۰ میلی لیتر آب مقطر اضافه گردید. این ترکیب دارای هدایت الکتریکی برابر با $68/1 \text{ ms/cm}$ بود. در

هر دو مرحله (الف) و (ب) محلول ۸۰ میلی لیتری کلرید سدیم تماماً و بصورت ناگهانی به سیستم وارد گردید. همان طور که در شکل ۱ مشخص است، خروجی سیستم توسط یک هدایت سنج الکتریکی متصل به رایانه کنترل می شد. هدایت سنج هر ۳ دقیقه، دما و میزان هدایت الکتریکی آب را تعیین و ثبت می کرد. مدت زمان نمونه گیری و ثبت میزان هدایت الکتریکی آب خروجی از راکتور اندکی بیش از مدت زمان ماند هیدرولیکی سیستم و به مدت ۳۰۷ دقیقه برای بخش (الف) و ۳۵۹ دقیقه برای بخش (ب) ادامه یافت. این مدت زمان نمونه گیری در بخش (الف) ۱/۳۳ و در بخش (ب) ۱/۵۶ برابر زمان ماند هیدرولیکی راکتور بود. در شکل ۲ تصویری از راکتور تحت بررسی در حین انجام آزمون ردیاب ارائه شده است.



شکل ۲- راکتور بیولوژیکی تحقیقاتی ساخت شرکت آرمفیلد آلمان در حین انجام آزمون ردیاب و با وجود صافی پلاستیکی

۲-۳- روش اندازه گیری

در این مطالعه برای سنجش میزان هدایت الکتریکی خروجی سیستم از یک هدایت سنج ساخت شرکت Jenway مدل ۴۵۲۰ استفاده شد [۳، ۴، ۵]. با توجه به وجود سیستم کنترل دما، هدایت الکتریکی در دمای ثابت ۲۰ درجه سانتیگراد اندازه گیری شد.

۲-۴- روش محاسبه عدد پراکندگی

برای تعیین رژیم هیدرولیکی یک راکتور پس از آزمون ردیاب می توان مقادیر C/C_0 و t/t_0 را رسم کرده و در نهایت با نمودارهای استاندارد موجود در این زمینه مقایسه نمود. ولی این روش با مشکلات زیادی همراه است و به دلیل مقایسه چشمی، خطای کار افزایش می یابد. به همین دلیل روشهای آماری گوناگونی در این زمینه به کار گرفته شده است. تعیین عدد پراکندگی یک روش آماری مورد استفاده در این نوع مطالعات می باشد. برای تعیین عدد پراکندگی در این مطالعه از روش واریانس داده ها و روش زمان حداکثر استفاده گردید. در روش واریانس از معادله (۸) استفاده شد که در آن x برابر با عدد پراکندگی (D/UL) می باشد. میزان σ^2 با توجه به معادلات (۱)، (۲) و (۳) تعیین گردید. تعیین میزان x در معادله (۸) به کمک سعی و خطا انجام پذیرفت.

$$\sigma^2 = 2(x) - 2(x)^2 \cdot (1 - e^{-\frac{1}{x}}) \quad (8)$$

برای انجام این عمل یک برنامه رایانه ای به زبان ویژوال بیسیک.نت طراحی شد. برای هرچه سریعتر نمودن محاسبات برای حل معادله (۸) در برنامه رایانه ای از روش نیوتون استفاده گردید. زیر برنامه نوشته شده برای محاسبه معادله (۸) به صورت زیر می باشد:

```
Private Sub RCvalla()
    Dim Tim(n), Cn(n), sumc, sumt2, sumtc, sumt2c, tmean, sigma2t,
    sigma2, x As Double
    sumc = 0
    sumt2 = 0
    sumtc = 0
    sumt2c = 0
    For i = 1 To n
        Tim(i) = Me.Table.Item(0, i - 1).Value
        Cn(i) = Me.Table.Item(1, i - 1).Value
        sumt2 = sumt2 + Tim(i) ^ 2
        sumc = sumc + Cn(i)
        sumtc = sumtc + Tim(i) * Cn(i)
        sumt2c = sumt2c + Tim(i) ^ 2 * Cn(i)
    Next
    tmean = sumtc / sumc
    sigma2t = sumt2c / sumc - tmean ^ 2
    sigma2 = sigma2t / tmean ^ 2
    x = 0
    Do While (Math.Abs(f1(x) - sigma2) > 0.000001)
        x = x - (f1(x) - sigma2) / df1(x)
    Loop
    If x < 0.2 Then
        Me.RichTextBox1.Text = "جریان پیستونی"
    ElseIf x > 3 And x < 4 Then
```

```
Me.RichTextBox1.Text = "کامل اختلاط"  
ElseIf x > 4 Then  
Me.RichTextBox1.Text = "اختلاط کامل ایده آل"  
End If  
TextBox1.Text = x  
End Sub
```

در شکل ۳ نمایی از روش برنامه نویسی (الگوریتم) جهت پردازش اطلاعات حاصل از آزمون ردیاب به دو روش زمان حداکثر و روش واریانس داده ها نمایش داده شده است.



شکل ۳- نمایی از روش برنامه نویسی برای تعیین عدد پراکندگی با کمک اطلاعات حاصل از آزمون ردیاب

در تعیین عدد پراکندگی به کمک روش زمان حداکثر نیز از معادلات (۵)، (۶) و (۷) استفاده گردید. برای رسم سی دیگرام ها در این مطالعه از معادله (۹) استفاده شد [۶]:

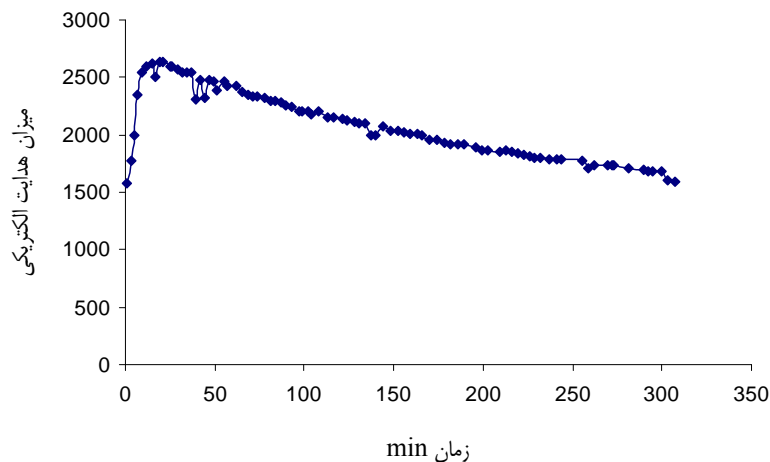
$$\frac{C}{C_0} = \frac{1}{2\sqrt{\pi\left(\frac{D}{uL}\right)\left(\frac{t}{\bar{t}}\right)}} e^{-[1-(t/\bar{t})]/(4D/uL)(t/\bar{t})} \quad (9)$$

که در آن t زمان هر نمونه برداری، \bar{t} زمان ماند نظری راکتور می باشد.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- آزمون ردیاب

راکتور مورد استفاده در این مطالعه برای تعیین رژیم هیدرولیکی به کمک یک ردیاب مورد آزمایش قرار گرفت. در شکل ۴، تغییرات غلظت ماده ردیاب در طول آزمون در حالتی که صافی پلاستیکی بر روی راکتور نصب بود، نمایش داده شده است. همان طور که در این نمودار مشخص است در سه دقیقه اول پس از تزریق ناگهانی ماده ردیاب هدایت الکتریکی خروجی تغییرات چندانی نکرد که این امر می تواند به دلیل وجود صافی و مخلوط نشدن سریع ماده ردیاب در تمام حجم راکتور باشد، ولی پس از گذشت ۵ دقیقه میزان هدایت الکتریکی پس آب خروجی به 2 ms/cm رسید.



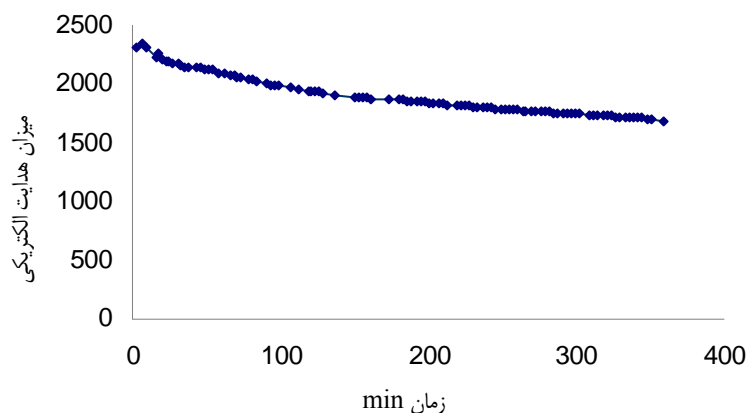
شکل ۴- نمودار تغییرات غلظت ردیاب در برابر زمان در راکتور حاوی صافی

هدایت الکتریکی آب خروجی پس از ۱۹ دقیقه به حداکثر میزان خود که برابر با 163 ms/cm بود رسید. بعد از گذشت ۲۶ دقیقه میزان هدایت الکتریکی آب خروجی با نرخ بسیار پایین شروع به کم شدن کرد و در نهایت پس از گذشت ۳۰۷ دقیقه به میزان اولیه خود یعنی حدود 115 ms/cm رسید. با توجه به زمان ماند ۲۳۰ دقیقه ای راکتور مدت زمان نمونه گیری $1/33$ برابر زمان ماند

هیدرولیکی سیستم بود.

در شکل ۵ نتایج آزمون ردیاب در راکتور بدون صافی نمایش داده شده است. همان طور که مشخص است در لحظات اولیه ورود ردیاب به راکتور در خروجی آن مقدار زیادی از ردیاب شناسایی شد. بیشترین میزان هدایت الکتریکی در خروجی راکتور پس از مدت زمان ۷ دقیقه ثبت گردید که برابر با $2/34 \text{ ms/cm}$ بود. همان طور که مشخص است زمان حداکثر (t_p) در راکتور فاقد صافی ۱۲ دقیقه زودتر اتفاق افتاد. در این بخش از مطالعه مدت زمان نمونه گیری $1/56$ برابر زمان ماند هیدرولیکی بود.

بطور معمول برای داشتن بیشترین دقت، آزمایش ردیاب را به مدت ۴ الی ۱۰ برابر زمان ماند هیدرولیکی انتخاب می کنند ولی این زمان تا حدود زیادی به غلظت خروجی ماده ردیاب بستگی دارد [۳، ۵].



شکل ۵ - نمودار تغییرات غلظت ردیاب در برابر زمان در راکتور فاقد صافی

۳-۲- تعیین عدد پراکندگی

نتایج آزمون ردیاب در هر دو حالت با صافی و بدون صافی در این مطالعه به کمک برنامه رایانه ای ارائه شده در بخش مواد و روشها مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج حاصل از این تجزیه و تحلیل به روش واریانس در جدول ۱ نمایش داده شده است.

دامنه تغییرات عدد پراکندگی که در انواع راکتورهای تصفیه مشاهده شده است بین $0/1$ الی 4 می باشد. البته در بعضی راکتورها ممکن است مقادیر کمتر از $0/1$ و یا مقادیر بیش از 4 (حتی تا 100) مشاهده گردد. عموماً هیچ راکتوری دارای جریان پیستونی ایده آل و یا اختلاط کامل ایده آل نیست و همه راکتورها بین این دو واقع می شوند [۱، ۲]. وقتی یک واحد دارای عدد پراکندگی $0/2$ یا کمتر است می توان گفت به جریان پیستونی نزدیک شده است و اگر مقدار آن به بیش از 3 الی 4 برسد می

توان اختلاط واحد را خوب و یا نزدیک به اختلاط کامل دانست [۲، ۳، ۴]. همان طور که در جدول ۱ مشخص است مقدار عدد پراکندگی در حالت به کار گیری راکتور بدون صافی برابر با ۰/۵۱۱ و در حالت کاربرد راکتور با صافی برابر با ۰/۵۶۵ می باشد. مشخص است که کاربرد صافی تاثیر زیادی بر اختلاط راکتور نداشته است. عدد بدست آمده نشان دهنده این واقعیت است که جریان در راکتور دارای پراکندگی زیاد می باشد ولی به حالت اختلاط کامل نمی رسد. این جریان به واسطه میزان هوادهی ۰/۵ لیتر در دقیقه ایجاد شده و افزایش این مقدار می تواند منجر به افزایش عدد پراکندگی گردد. نبی زاده و همکاران نیز با کمک معادلات به کار گرفته شده در این مطالعه (معادلات ۱، ۲، ۳ و ۴) موفق به تعیین رژیم هیدرولیکی راکتور خود شدند. آنها از ماده رد آمین بی^{۱۱} به عنوان ردیاب استفاده نمودند [۶].

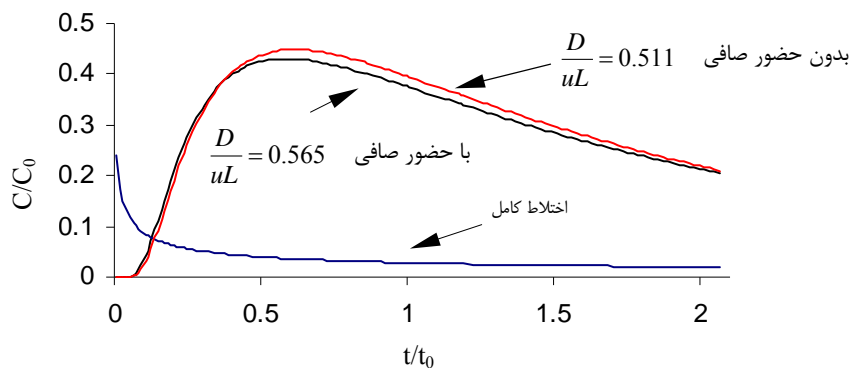
جدول ۱- تحلیل آماری نتایج حاصل از آزمایش ها ردیاب برای تعیین عدد پراکندگی در رکتور به روش واریانس

شرایط کاری راکتور	زمان متوسط (t)	میزان ردیاب (c)	t ² (min)	t.c	t ² .c
کاربرد راکتور بدون صافی	۱۳۷/۸ min	۱۹۴۲۴۹	۴۵۹۴۷۲۶	۵۳۶۰۸۴۸	۱۱۶۲۰۷۲۳۸۶
	واریانس داده‌ها (δ_t^2)	۱۰۸۸۲			
	σ^2	۰/۵۷۳			
	عدد پراکندگی محاسبه شده	۰/۵۱۱			
کاربرد راکتور با صافی	۹۵/۱۷ min	۱۸۶۷۸۹	۹۰۵۸/۷	۴۸۷۷۰۹۵	۷۴۲۹۷۷۰۸۹
	واریانس داده‌ها (δ_t^2)	۵۴۴۰/۵			
	σ^2	۰/۶			
	عدد پراکندگی محاسبه شده	۰/۵۶۵			

در شکل ۶ نیز سی دیاگرام حاصل از نتایج این آزمایشها رسم شده است. مقایسه چشمی این

^{۱۱} Rhodamine-B

دیاگرام ها با دیاگرام های استاندارد نشان دهنده حالت اختلاط با جریان پراکنده در هر دو حالت کاربرد راکتور (با صافی و بدون آن) می باشد. همچنین این نمودارها نشان دهنده تفاوت اندک رژیم هیدرولیکی راکتور در هر دو حالت، با کاربرد صافی و بدون کاربرد صافی بود. با مقایسه سی دیاگرام های بدست آمده در این مطالعه با سی دیاگرام استاندارد اختلاط کامل که در نمودار زیر نمایش داده شده است می توان به وجود جریان با پراکندگی زیاد در راکتور پی برد ولی همان طور که از این نمودار مشخص است این جریان اختلاط کامل نیست و با توجه به عدد پراکندگی محاسبه شده، برای ایجاد اختلاط کامل هوادهی بیشتری نیاز است.



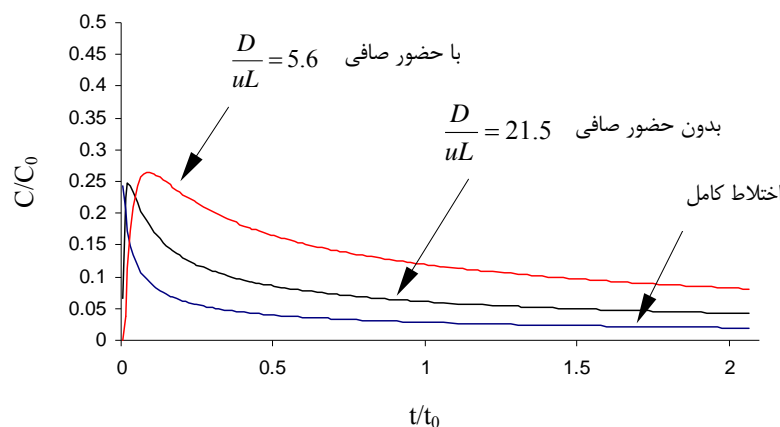
شکل ۶ - سی دیاگرام رسم شده از نتایج حاصل از آزمون ردیاب با حضور صافی و بدون (عدد پراکندگی به روش واریانس محاسبه گردیده است)

در این مطالعه در نهایت عدد پراکندگی به کمک برنامه رایانه ای طراحی شده به روش زمان حداکثر نیز تعیین گردید. زمان حداکثر (t_p) در راکتور بدون صافی برابر با ۷ دقیقه بدست آمد در حالی که این مقدار در راکتور با صافی ۱۹ دقیقه بود. با توجه به این داده ها نسبت t_p/t_0 در دو راکتور بدون صافی و با صافی به ترتیب برابر با ۰/۰۳۰۴ و ۰/۰۸۲۶ محاسبه شد. در نتیجه این محاسبات، و با توجه به رهنمودهای ارائه شده در بخش مقدمه، معادله (۷) برای محاسبه عدد پراکندگی مناسب شناخته شد که نتیجه آن در جدول ۲ نمایش داده شده است.

جدول ۲ - نتایج محاسبات در تعیین عدد پراکندگی به روش زمان حداکثر

راکتور بدون صافی	راکتور با صافی	
۰/۰۳۰۴	۰/۰۸۲۶	t_p/t_0
۲۱/۵	۵/۶	عدد پراکندگی (D/uL)

همان طور که قبلاً ذکر شده عدد پراکندگی بیش از ۳ نشان از اختلاط کامل بودن سیستم است [۳]. همان طور که مشخص است نتیجه این محاسبات نشان دهنده عدد پراکندگی بسیار بیشتر از ۳ است. به همین دلیل نتایج محاسبات به روش زمان حداکثر سیستم را در هر دو حالت به عنوان یک سیستم اختلاط کامل معرفی می کند. دلیل اختلاف این دو روش را می توان در مدت زمان کم نمونه برداری از راکتور دانست. بطور معمول برای داشتن نتایج صحیح در روش واریانس ادامه دادن نمونه برداری به مدت ۴ الی ۱۰ برابر مدت زمان ماند نظری سیستم ضروری است [۳، ۴]. در حالی که در این مطالعه نمونه برداری به مدت حدوداً ۱/۵ برابر مدت زمان ماند نظری ادامه یافته است. در چنین حالتی روش زمان حداکثر نتایج دقیقتری نسبت به روش واریانس ارائه می نماید. نتایج رسم سی دیاگرام با اعداد پراکندگی محاسبه شده به کمک روش زمان حداکثر را می توان در شکل ۷ مشاهده نمود. همان طور که مشخص است این نمودارها به نمودار رسم شده برای حالت اختلاط کامل ایده آل نزدیکتر می باشد.



شکل ۷ - سی دیاگرام رسم شده از نتایج حاصل از آزمون ردیاب با حضور صافی و بدون (عدد پراکندگی به روش زمان حداکثر محاسبه گردیده است)

صحت نمودارهای فوق را می توان با مقایسه سی دیاگرامها با نمودارهای تغییرات غلظت ردیاب در برابر زمان تشخیص داد. این نمودارها بایستی تقریباً مشابه یکدیگر باشند و همان طور که مشخص است نمودار شکل ۷ بیشترین شباهت را به نمودارهای ذکر شده داراست. مهربانی و همکاران نیز در مطالعه خود به بررسی رژیم هیدرولیکی یک راکتور MBBR پرداختند و دریافتند که راکتور MBBR مورد استفاده آنها نیز تقریباً اختلاط کامل است. آنها میزان عدد پراکندگی خود را برابر با ۲ مشخص

نمودند [۷]. همانطور که مشخص است میزان عدد پراکندگی بدست آمده در راکتور مهربانی و همکارانش کمتر از این مطالعه بوده که نشانگر کم تاثیر بودن صافی جلوگیری کننده از خروج میکروارگانیسم از راکتور می باشد. بنابر این از این صافی ها می توان به خوبی به عنوان جایگزین سیستم های ته نشینی و بازگشت لجن استفاده نمود که صرفه جویی فراوانی در هزینه های ساخت و راه اندازی یک تصفیه خانه فاضلاب منجر خواهد شد.

۴- نتیجه گیری

با توجه به مهم بودن رژیم هیدرولیکی در تصفیه موثر فاضلاب و همچنین ساخت راکتورهای جدید با پیشرفت تکنولوژی بررسی این موضوع در این گونه راکتورها اهمیت دوچندان می یابد. در این مطالعه از یک راکتور هوازی لجن فعال که بجای سیستم ته نشینی از یک صافی ۰/۴۵ میکرون برای تنظیم غلظت میکروبی موجود در راکتور سود می جست استفاده شد. گرچه پیش بینی می شد که کاربرد این صافی از اختلاط کامل راکتور جلوگیری کند، اما آزمایش ردیاب انجام شد و نتایج حاصل از آزمون ردیاب و محاسبات مربوطه نشان داد که:

- راکتور مورد بررسی یک راکتور اختلاط کامل بوده و صافی به کارگرفته شده در این راکتور مانع بزرگی برای اختلاط کامل محتویات راکتور نمی باشد. عدد پراکندگی برای این راکتور در دو حالت با صافی و بدون آن به ترتیب در روش واریانس برابر با ۰/۵۵۶ ، ۰/۵۱۱ و در روش زمان حداکثر ۵/۶ و ۲۱/۵ بود.
- با توجه به مدت زمان نمونه برداری که تقریباً در دو آزمایش متوالی ۱/۵ برابر مدت زمان ماند هیدرولیکی بود، نتایج حاصل از روش زمان حداکثر از صحت بیشتری برخوردار بود و به عنوان روش مناسب تشخیص داده شد.
- در راکتورهایی که دارای زمان ماند هیدرولیکی بالایی می باشند و در نتیجه نیاز به مدت زمان نمونه برداری بسیار طولانی است، استفاده از روش زمان حداکثر می تواند منجر به صرفه جویی در وقت و افزایش صحت نتایج گردد.
- با توجه به نتایج مثبت استفاده از اینگونه صافی ها برای جلوگیری از خروج میکروارگانیسم ها از راکتور و مقایسه نتایج با سایر تحقیقات، می توان از آنها در مقیاس صنعتی نیز بدون نگرانی از تغییرات شدید رژیم هیدرولیکی در راکتور استفاده نمود و هزینه ساخت سیستم های ته نشینی و بازگشت لجن را به شدت کاهش داد.

منابع:

1. Arccivala, Soil, Wastewater Treatment and Disposal, Marcel Dekker Inc., New York (1981).
2. Metcalf & Eddy, Wastewater Engineering, 14th Edition, McGraw-Hill, New York (2007).
3. Arceivala Soli, J, Wastewater Treatment for Pollution Control, McGraw-Hill (1988).
4. Levenspiel O., "Chemical Reaction Engineering" Third Edition, John Wiley & Sons, New York (1999).
5. Charles G. Hill, JR. "An Introduction to Chemical Engineering Kinetics and Reactor", John Wiley & Sons, New York (1977).
6. Nabizadeh R., Mesdaghinia A. R., Nasserli S, Mahvi A. H., Shariat M., "Analyzing Flow Characteristics and Influence of Biological Growth on Dispersion in Aerated Submerged Fixed-Film Reactors (ASFFR)" Biofilm Journal, Volume 5, Paper 1 (BF00001) (2000).
7. M.M.Mehrabani, "The Investigation of the MBBR efficiency for mono ethylene glycol with high strength treatment "M.Sc Thesis of: Environmental Engineering, Science and Research University Branch-Ahvaz, (2008).
8. Rittman, B.E. and McCarty, P.L., 2001. Environmental Biotechnology principles and application. McGraw-HILL. Singapore.
9. Juhasz, A.L. and Naidu, R., Bioremediation of high molecular weight polycyclic aromatic hydrocarbons: a review of the microbial degradation of benzo[a]pyrene. International Biodeterioration & Biodegradation, (2000) 45: 57-88.
10. Mittal, L. Kurup, V.K. Gupta, Use of waste materials—bottom ash de-oiled soya, as potential adsorbents for the removal of Amaranth from aqueous solution, J. Hazard. Mater. B 117 (2005) 171–178.