



شرکت مهندسی آب و فاضلاب کوثر

کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران

دانشگاه تهران، تهران

۲۶ و ۲۷ بهمن ماه ۱۳۹۵



1166P-NWWCE

مطالعه آزمایشگاهی تأثیر MLSS بر تصفیه فاضلاب در خطوط انتقال

امیری روناک^۱، احمدی مجتبی^۲

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی شیمی - بیوتکنولوژی دانشگاه رازی

۲- استادیار گروه مهندسی شیمی دانشگاه رازی

roonak.amiri1369@yahoo.com

خلاصه

شبکه‌های جمع‌آوری فاضلاب به عنوان تأسیسات پیش تصفیه سبب کاهش بار آلی فاضلاب ورودی به تصفیه‌خانه می‌شوند و همانند یک راکتور بیولوژیکی عمل می‌کنند. در شبکه جمع‌آوری فاضلاب نسبت غلظت سوبسترا به غلظت میکروارگانیسم‌ها بالا است، بنابراین نسبت حذف سوبسترا کمتر است. برای این منظور در این تحقیق اثر افزایش غلظت میکروبی در خط لوله و همچنین سینتیک فرایندهایی که در خطوط شبکه فاضلاب انجام می‌شود بررسی گردید. جهت انجام تحقیق بخشی از شبکه فاضلاب در مقیاس آزمایشگاهی ساخته شد. بازده حذف آلودگی برای سه مقدار مختلف از $MLSS=2000, 3000, 4000 mg/l$ بررسی، و نشان داده شد که بازده حذف آلاینده آلی به ترتیب ۴۷، ۵۶ و ۶۸ درصد افزایش پیدا کرد. سینتیک گراو و سینتیک با درجات مختلف برای این سیستم بررسی گردید و نشان داده شد که سینتیک گراو مناسب‌ترین مدل جهت پیش‌بینی میزان حذف آلاینده در خطوط جمع‌آوری فاضلاب می‌باشد.

کلمات کلیدی: شبکه جمع‌آوری فاضلاب، مدل سینتیکی، سوبسترا، راکتور بیولوژیکی، MLSS

۱. مقدمه

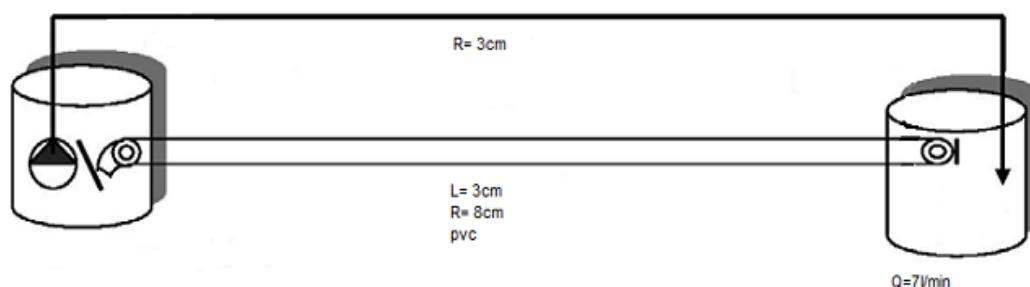
امروزه شبکه‌های جمع‌آوری فاضلاب یکی از زیرساخت‌های مهم جوامع بشری محسوب می‌شوند و در توسعه شهرها نقش مهمی دارند. در شرایط بدون بارندگی که تقریباً در ۹۵ درصد اوقات در خیلی از کشورها حاکم است، فرآیندهای بیولوژیکی و شیمیایی ممکن است روی عملکرد خطوط انتقال فاضلاب و تعامل بین فاضلاب‌رو و فرآیندهای تصفیه پس از آن در تصفیه‌خانه تأثیر داشته باشند. تحقیقات نشان داده ترکیبات فاضلاب هنگام انتقال دائماً دستخوش تغییرات می‌باشد [1]. با طراحی صحیح و کارآمد ممکن است شرایط حاکم بر فاضلاب حین انتقال در شبکه جمع‌آوری بهبود یابد و از این پتانسیل شبکه‌های جمع‌آوری، در حذف مواد آلی فاضلاب استفاده شود و از طرفی یک تعامل مثبت با فرآیندهای تصفیه پس از آن در تصفیه‌خانه ایجاد شود. در مطالعه‌ای که توسط گرین و همکارانش انجام گرفت، یکی از خطوط شبکه منطقه‌ای در تل آویو اسرائیل به طول ۳۷ کیلومتر در این مدل آزمایشگاهی، شبیه‌سازی شد. پیشنهاد آن‌ها وارد کردن لجن بیولوژیکی و هوادهی در نقاط مشخصی از شبکه جمع‌آوری مورد آزمایش بود. آن‌ها پس از شبیه‌سازی مدل و انجام آزمایش‌ها مربوط به نرخ حذف مواد آلی، گزارش دادند در صورت بازچرخانی درصدی از فاضلاب انتهای شبکه به ابتدای خط است، این شبکه می‌تواند جایگزین تصفیه‌خانه فاضلاب متعارف شود (البته نیاز به زلال‌ساز ثانویه جهت بازچرخانی لجن بیولوژیکی می‌باشد). آن‌ها BOD_5 خروجی از شبکه را ۲۵ میلی‌گرم بر لیتر اعلام کردند. همچنین در صورت راهبری شبکه به این صورت، صرفه‌جویی در هزینه‌های ساخت را بیش از ۵۰ درصد گزارش دادند و یکی از مزایای بزرگ این طرح را کنترل خوردگی و افزایش طول عمر شبکه برشمردند [2]. در مطالعه دیگری که توسط بالوب احمد در شبکه خط لوله در یکی از شهرستان‌های نیویورک انجام گرفت کارآیی شبکه‌های جمع‌آوری را در حذف مواد آلی بررسی گردید. وی با افزودن غلظت باکتری‌های مفید و در نتیجه افزایش تولید آنزیم نرخ اکسیداسیون مواد آلی هنگام انتقال را بالا برد. برای این منظور ده نقطه از شبکه (نقاطی مانند منهول و ایستگاه‌های پمپاژ) انتخاب شد و در این نقاط، مخلوط میکروبی باسیلوس که تقریباً شامل ۲۸۸ نوع میکروپ بود با دبی ۰/۱ میلی‌لیتر بر دقیقه وارد شبکه می‌شد نتایج وی کاهش ۱۳، ۱۳ و ۵ درصدی را به ترتیب در غلظت BOD_5 ، TSS و TKN را نشان می‌داد. با این

کار هزینه‌های هوادهی تصفیه‌خانه ۱۹ درصد کاهش یافت. همچنین میزان لجن تولیدی کاهش و کیفیت پساب خروجی نیز بهبود یافت [3]. در مطالعه دیگری ابراهیمی راویز و همکارانش امکان سنجی استفاده از شبکه جمع‌آوری نوین فاضلاب به عنوان پیش تصفیه مطالعه کردند آنها با استفاده از بايوفيلم ایجاد شده در خطوط انتقال آزمایشگاهی حداکثر راندمان ۵۹ درصد برای COD مشاهده کردند [4]. در تحقیق حاضر با ساخت یک مدل از بخشی از یک شبکه فاضلاب، بازده حذف مواد آلی، اثر افزایش غلظت MLSS در شبکه‌های جمع‌آوری، بر میزان حذف آلاینده و همچنین مدل سینتیکی گراو و مدل سینتیکی با درجات مختلف جهت پیش‌بینی رفتار سینتیکی فرایندها در خطوط لوله بررسی گردید.

۲. روش کار

۲-۱- ساخت پایلوت

لوله های مجاری فاضلاب همانند یک راکتور بیولوژیکی عمل می‌کنند و سبب کاهش بار آلی فاضلاب می‌شوند. برای شبیه‌سازی شبکه جمع‌آوری فاضلاب متعارف، یک راکتور برای پایلوت ساخته شد. راکتور یک لوله PVC با قطر ۸ سانتی متر و طول ۳ متر، و یک پمپ لجن کش است که جریان را توسط لوله دیگر به قطر ۳ سانتی متر باز می‌گرداند و همچنین دارای دو مخزن ۲۰ لیتری برای نگه داری فاضلاب است. جریان در لوله به طور ثقلی برقرار شد و سرعت حرکت جریان در آن 0.25m/s است. ۶۰ درصد از لوله از فاضلاب پر شد. دمای فاضلاب در طول چرخش $12 \pm 2^\circ\text{C}$ است. نمای شماتیک پایلوت در شکل ۱، نشان داده شده است.



شکل ۱- شماتیک پایلوت

برای بررسی میزان حذف آلاینده از یک فاضلاب سنتزی بر پایه گلوکز استفاده شد (جدول ۱).

جدول ۱- ترکیبات فاضلاب مصنوعی

غلظت (mg/l)	ترکیبات
۲۰۰	گلوکز
۵۷	NH ₄ Cl
۲۵	H ₃ N ₂ O ₄ P
۵۰	KHCO ₃
۵۰	MgSO ₄ .7H ₂ O
۱۳۰	NaHCO ₃
۳۰	اوره

برای ایجاد شرایط بهینه رشد میکروارگانیسم‌ها، نسبت C:N:P به میزان ۱۰۰:۵:۱ تنظیم شد [5]. جرم نیتروژن مورد استفاده از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$N_{req} = (COD_r / R_N) * M_A / M_N \quad (1)$$

N_{req} مقدار نیتروژن مورد نیاز بر حسب گرم COD_r مقدار COD حذف شده است بر حسب میلی گرم بر لیتر، M_A وزن مولکولی آمونیم کلراید ($53.49g/mol$)، و M_N وزن مولکولی نیتروژن $14g/mol$ است و R_N برابر $100/5$ است. جرم فسفر مورد نیاز از رابطه زیر بدست می آید:

$$P_{req} = (COD_r/R_p) * M_B/M_P \quad (2)$$

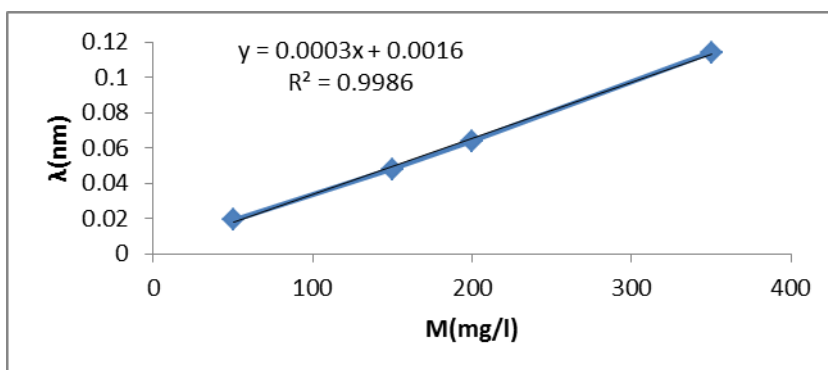
P_{req} مقدار فسفر مورد نیاز بر حسب گرم در روز، COD_r مقدار COD حذف شده بر حسب میلی گرم بر لیتر، M_B وزن مولکولی کود فسفر (132)، M_P وزن مولکولی فسفر (31) و R_N برابر نسبت $100/1$ می باشد. از آنجا که درصد خلوص کود فسفر 50% است مقدار جرم کود فسفر مورد استفاده از رابطه زیر بدست می آید:

$$BB_{req} = P_{req}/0.5 \quad (3)$$

به منظور افزایش غلظت میکروبی در راکتور از لجن فعال حوضچه ته نشینی ثانویه تصفیه خانه شهر کرمانشاه استفاده شد. مقدار $MLSS$ این لجن $12000mg/l$ اندازه گیری شد، از این لجن جهت افزودن لجن به فاضلاب سنتزی استفاده شد.

۲-۲- روش انجام آزمایش

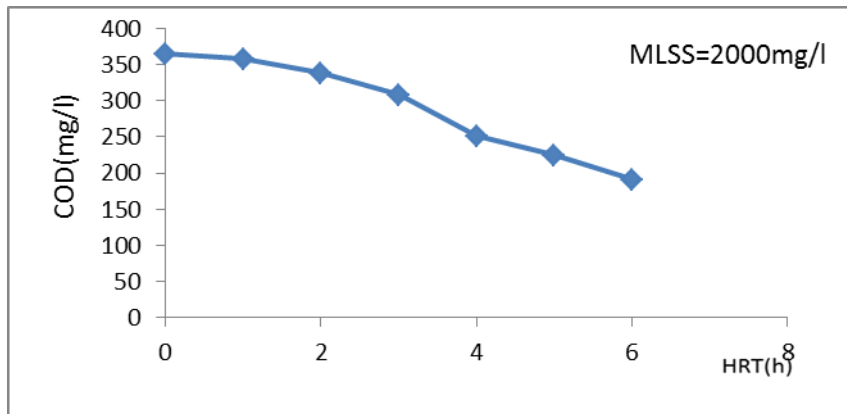
برای اندازه گیری میزان حذف آلاینده از تست COD استفاده شد. مقدار COD به روش رنگ سنجی با هضم برگشتی بسته بر اساس کتاب روشهای استاندارد آزمایشات آب و فاضلاب اندازه گیری شد [6,7]. کلیه ی آزمایش های COD ، در زمان ماند شش ساعت انجام شد. نمونه ها هر ساعت برداشته شد و بلافاصله مقدار COD آن اندازه گیری شد. نمودار کالیبراسیون آزمایش COD بدست آمده در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲- نمودار کالیبراسیون آزمایش COD

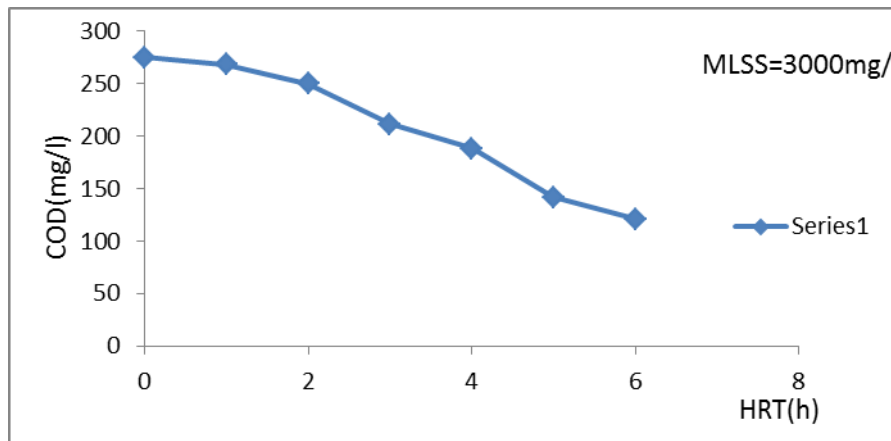
۳. نتایج

نمودار تغییرات COD نمونه های گرفته شده برای غلظت میکروبی $2000mg/l$ در شکل (۳) ارائه شده است.



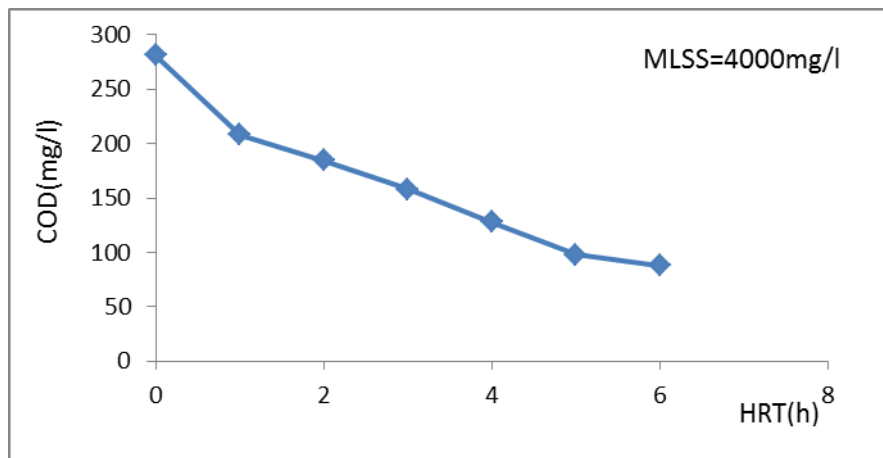
شکل ۳ - نمودار تغییرات COD در راکتور با $MLSS=2000mg/l$

نمودار تغییرات COD نمونه‌های گرفته شده برای غلظت میکروبی $3000mg/l$ در شکل (۴) ارائه شده است.



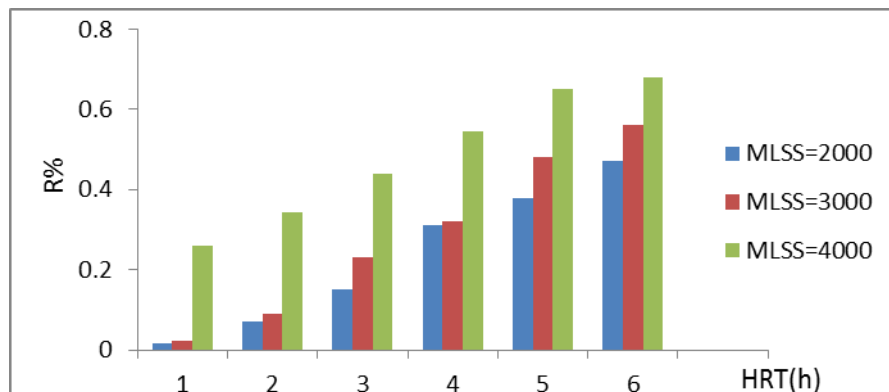
شکل ۴ - تغییرات COD در راکتور با $MLSS=3000mg/l$

نمودار تغییرات COD نمونه‌های گرفته شده برای غلظت میکروبی $4000mg/l$ در شکل (۵) ارائه شده است.



شکل ۵ - تغییرات COD در راکتور با $MLSS=4000mg/l$

نمودار تغییرات بازده حذف آلاینده راکتور، در شکل (۶) ارائه شده است. به طور میانگین بازده حذف آلاینده برای $MLSS=2000mg/l$ برابر ۴۷ درصد بوده، برای $MLSS=3000mg/l$ بازده حذف مواد آلی برابر با ۵۶ درصد بود و برای $MLSS=4000mg/l$ بازده حذف برابر ۶۸ درصد است.



شکل ۶ - تغییرات بازده حذف آلاینده در راکتور

۴. مدل سازی واکنش‌های بیولوژیکی

۴-۱- مدل حذف آلاینده درجه دوم (گراو)

مدل گراو در واقع بیانگر سنتیک درجه دوم است که آن را می‌توان طبق رابطه زیر بیان کرد [8,9,10].

$$-\frac{dS}{dt} = k_s \cdot X \cdot \left(\frac{S_e}{S_i}\right)^2 \quad (4)$$

k_s ثابت سرعت حذف سوبسترا، X غلظت جرم میکروبی در راکتور است. با حل معادله دیفرانسیل رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\frac{S_i \cdot HRT}{S_i - S_e} = HRT - \frac{S_i}{k_s \cdot X} \quad (5)$$

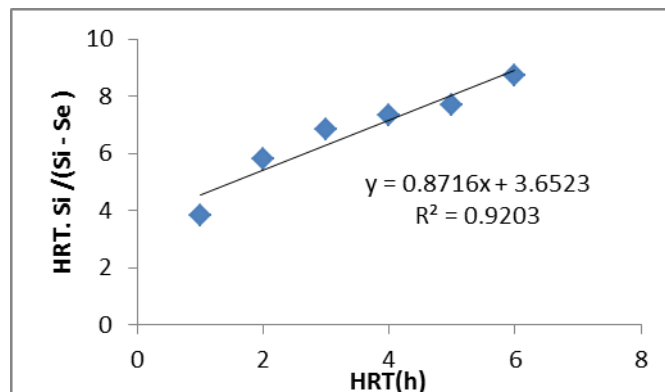
حال اگر بخش دوم سمت راست رابطه (۵)، عدد ثابت فرض شود، رابطه (۶) به دست می‌آید:

$$\frac{S_i \cdot HRT}{S_i - S_e} = b \cdot HRT + a \quad (6)$$

در واقع برای ساده سازی می‌توان گفت که $\frac{S_i}{S_i - S_e}$ عملاً راندمان حذف آلاینده در سیستم است. پس می‌توان به جای آن پارامتر E را وارد رابطه کرد:

$$\frac{HRT}{E} = b \cdot HRT + a \quad (7)$$

با رسم نمودار رابطه (۷) مقدار a برحسب ساعت و b بدون واحد به ترتیب عرض از مبدا و شیب خط رسم شده خواهند بود. در رابطه مذکور، HRT زمان ماند هیدرولیکی بر حسب ساعت است (شکل ۷) و (جدول ۲).



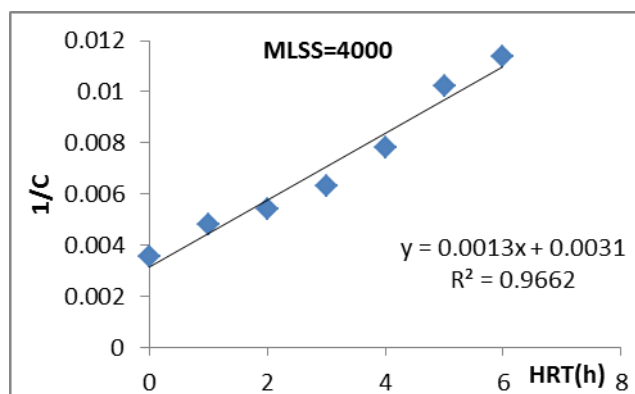
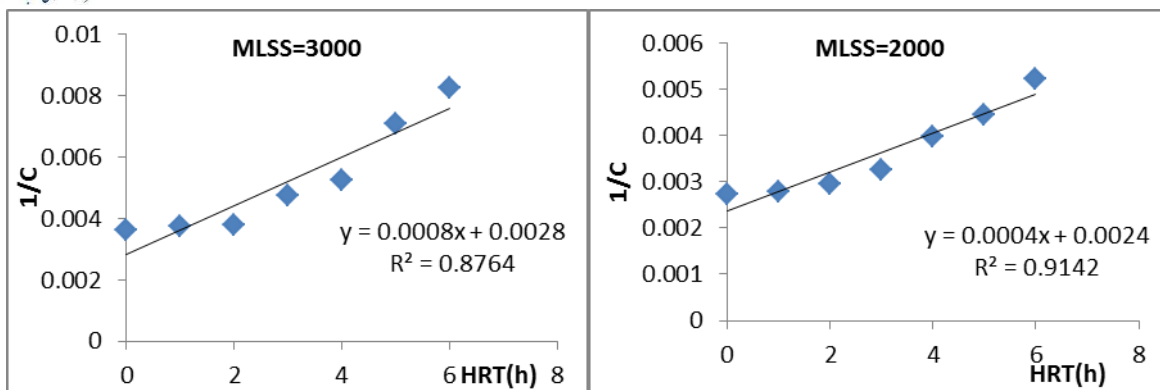
شکل ۷ - تعیین ثوابت سینتیکی حذف COD برای مدل گراو

جدول ۲ - مقادیر ثوابت سینتیکی مدل گراو

R^2	a	b	سیستم نمونه برداری
۰.۹۲۰۳	۳.۶۵۲۳	۰.۸۷۱۶	

۴-۲- مدل سینتیکی با درجات مختلف

جهت بررسی بیشتر سینتیک واکنش بیولوژیکی در راکتور علاوه بر معادله گراو، از روش دیفرانسیلی نیز استفاده گردید. برای تعیین مرتبه واکنش با استفاده از روش دیفرانسیلی می بایست با رسم نمودارهای $[C]-HRT$ برای واکنش مرتبه صفر، $\ln[C]-t$ برای واکنش مرتبه اول و $1/[C]-t$ برای واکنش مرتبه دوم و با توجه به خطی شدن نمودارها نسبت به تعیین مرتبه واکنش اقدام کرد. نتایج حاصل از این روش بیانگر سینتیک درجه دو برای حذف آلاینده در راکتور بود. نمودارهای مربوط به تعیین مرتبه واکنش با استفاده از روش دیفرانسیلی در شکل (۸) نشان داده شده است.



شکل ۸ - تعیین مرتبه واکنش با استفاده از روش دیفرانسیلی

مقدار ثابت سرعت واکنش برای سینتیک درجه ۲ در جدول (۳) ارائه شده است.

 جدول ۳ - ضریب سینتیکی K_2 برای سینتیک درجه دوم

$K_2(h^{-1})$	MLSS(mg/l)
0.0004	2000
0.0008	3000
0.0013	4000

۵. نتیجه گیری

در این تحقیق از مجاری فاضلاب به عنوان یک راکتور بیولوژیکی جهت تصفیه فاضلاب شهری استفاده شد. میزان غلظت سوبسترا نسبت به غلظت میکروبی در شبکه جمع آوری پایین است و این مسئله سبب کاهش میزان حذف آلاینده در شبکه می شود. در این تحقیق جهت بررسی افزایش غلظت میکروبی در خط لوله سه مقدار مختلف $MLSS=2000, 3000, 4000 mg/l$ مورد آزمایش قرار گرفت و برای هر کدام از مقادیر غلظت میکروبی به مدت شش ساعت، میزان تغییرات COD اندازه گیری شد و نشان داده شد که با افزایش MLSS در راکتور میزان حذف آلاینده نیز افزایش می یابد. به طوری که بازده حذف برای $MLSS=2000 mg/l$ برابر ۴۷٪، برای $MLSS=3000 mg/l$ برابر ۵۶٪، و برای $MLSS=4000 mg/l$ برابر ۶۸٪ است. با افزایش میزان بازده حذف آلاینده در خط لوله بار آلودگی ورودی به تصفیه خانه کاهش می یابد، که سبب کاهش میزان هزینه ها در تصفیه خانه می شود و همچنین سبب کاهش میزان خوردگی و افزایش طول عمر شبکه جمع آوری می گردد. به علاوه در این تحقیق مدل سینتیکی گراو و مدل سینتیکی با درجات مختلف برای حذف آلاینده مورد بررسی قرار گرفت. مدل گراو تطابق مناسبی جهت حذف آلاینده داشت. بررسی سینتیک با



شرکت مهندسی آب و فاضلاب کوز

کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران

دانشگاه تهران، تهران

۲۶ و ۲۷ بهمن ماه ۱۳۹۵



درجات مختلف نیز بررسی شد، نتایج حاصل از این روش نیز بیانگر سینتیک واکنش مرتبه دوم برای حذف آلاینده در راکتور بود. بنابراین در مطالعه حاضر بهترین مدل جهت پیش‌بینی میزان حذف آلاینده در خط لوله جمع‌آوری فاضلاب مدل سینتیکی گراو است.

۶. مراجع

1. Raunkjaer K, Hvitved-Jacobsen T, Nielsen PH, "Transformation of organic matter in a gravity sewer." *Water. Env. Res*, 67(2), 181-188. 1995.
2. M. GREEN, G. SHELEE and A. "Using the sewerage system main conduits for biological treatment." *Water Res*. Vol. 19. No.8, pp. 1023-1028. 1985.
3. Bulbul Ahmed. Sewer Collection System Bioaugmentation Reduces Energy. "Use in Wastewater Treatment Plants." *In-Pipe Tech*, Inc.2005
۴. ابراهیمی راویز، ع. ر. امینی راد، ح. (۱۳۹۵)، امکان سنجی استفاده از شبکه‌های جمع‌آوری نوین فاضلاب به عنوان تأسیسات پیش تصفیه، مجله علمی- پژوهشی عمران مدرس، دوره شانزدهم، شماره دو.
5. Metcalf&Eddy Inc., George Tchobanoglous, Franklin L Burton, H.David Stensel, "Wastewater Engineering Treatment and Reuse", McGraw Hill Higher Education, ۰۵-۲۰۰۲ .
6. Way, c.. "Standard methods for the examination of water and wastewater" (201۶).
۷. کیانی، س. (۱۳۸۷). "آزمایش‌های شیمی و کیفیت آب و فاضلاب"، انتشارات طاق بستان، کرمانشاه، ایران.
8. Grau, P., Dohanyas, M., and Chudoba, J. "Kinetic of Multicomponent Substrate Removal by Activated Sludge." *Water Research*, 9, (7) 637-642. (1975).
9. Delnavaz, M., Ayati, B., and Ganjidoust, H. "Treatment of wastewater containing Anilin using a moving bed biofilm reactor (MBBR)." *J. of Water and Wastewater*, 68, 9-18. (2009).
10. Delnavaz, M., Ayati, B., and Ganjidoust, H. "Reaction kinetics of aniline synthetic wastewater treatment by moving bed biofilm reactor." *J. of Health and Environment*, 2 (1), 76-87 , (2009).