



## بررسی و تعیین ضرایب سینتیکی راکتور بیولوژیکی با بستر متحرک (MBBR) برای تجزیه زیستی مونو اتیلن گلیکول با بار بالا

محمد مهدی مهربانی اردکانی<sup>۱</sup>، نعمت اله جعفرزاده حقیقی فرد<sup>۲</sup>، احمدرضا

یزدانبخش<sup>۳</sup>، رامین نبی زاده نودهی<sup>۴</sup>

۱- کارشناس ارشد مهندسی محیط زیست\_ آب و فاضلاب

۲-۳- دانشیار گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی جندی

شاپور اهواز

۴- دانشیار گروه مهندسی و انستیتو تحقیقات بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم

پزشکی تهران،

momeme\_mehr@yahoo.com

### خلاصه

مطالعه حاضر برای تعیین ضرایب سینتیکی سیستم راکتور بیولوژیکی با بستر متحرک در تجزیه زیستی مونو اتیلن گلیکول با استفاده از معادله اصلاح شده موند انجام گردید. ابتدا راکتور با استفاده از لجن تصفیه خانه شهری راه اندازی شد. با ثابت نگه داشتن میزان COD محلول ورودی و تغییر در زمان ماند، تغییرات در بار گذاری آلی اعمال شد. میزان SCOD ورودی ۱۵۵۰ میلی گرم بر لیتر و ۶ زمان ماند ۱، ۰/۸۷۵، ۰/۶۶۶، ۰/۵، ۰/۳۳۳ و ۰/۱۷ روز در نظر گرفته شد. کار تا رسیدن میزان SCOD خروجی به حالت پایدار ادامه یافت. پس از شروع آزمون در زمانهای ماند ذکر شده از سیستم برای تعیین میزان SCOD، TSS و VSS نمونه برداری صورت گرفت. بر اساس تحلیل نتایج، مقادیر  $k$ ،  $k_s$ ،  $k_d$ ،  $Y$  و  $\mu_{max}$  به ترتیب برابر با (۳/۸۴ (1/day)، ۰/۷۷ (1/day)، ۰/۲۴ (mg/lit)، ۱/۹۴، ۷/۴۴ (1/day) بدست آمد.

کلمات کلیدی: راکتور بیولوژیکی بستر متحرک، ضرایب سینتیکی، موند، مونو اتیلن گلیکول

### ۱. مقدمه:

واحد های تصفیه بر پایه لایه زیستی<sup>۱</sup> معمولاً کوچکتر و متراکم تر از واحد های لجن فعال بوده و میزان کارائی آنها وابستگی کمتری به جدا شدن لجن از سیستم دارد [۱]. در سال ۱۹۸۷ فرایند بستر متحرک کالدنس<sup>۲</sup> که به راکتورهای زیستی با بستر متحرک مرسوم است، توسط یک شرکت نروژی به نام کالدنس با همکاری مرکز تحقیقات سینتف<sup>۳</sup> توسعه یافت و در مرکز اختراعات اروپا به ثبت رسید [۲ و ۳]. واحد های زیستی<sup>۴</sup> با بستر متحرک سیستم هایی با کارائی بسیار بالا و موثر در حذف ترکیبات آلی هستند [۲]، که در سال های اخیر جهت تصفیه فاضلاب های شهری و صنعتی از جمله صنایع تولید خمیر کاغذ بطور موفقیت آمیزی استفاده گردیده است [۴ و ۱]. مطالعات سینتیکی برای تعمیم و امکان پذیری استفاده از نتایج تحقیقات در مقیاس صنعتی بسیار مهم می باشد. یکی از بهترین و قدیمی ترین مدل های سینتیکی شناخته شده برای تشریح رشد میکروبی معادله موند<sup>۵</sup> است که ارتباط اصلی بین نرخ رشد ویژه و غلظت مواد اصلی را نشان می دهد [۵]. از معادله موند برای مدل سازی سوخت و ساز فرایندهای تصفیه بیولوژیکی فاضلاب استفاده می شود. موند این مدل را بر اساس نتایج آزمایشها در یک راکتور ناپیوسته برای کشت خالص که بوسیله یک ماده ساده تغذیه می شد، پیشنهاد

<sup>۱</sup>-Biofilm

<sup>۲</sup>-Kaldnes

<sup>۳</sup>-SINTEF

<sup>۴</sup>-Biological

<sup>۵</sup>-Monod



کرده است [۶]. کیفیت و سرعت واکنش در راکتور ناپیوسته معمولاً توسط غلظت اولیه آلاینده ها ( $S_0$ ) بر حسب COD یا BOD نسبت به غلظت اولیه توده بیولوژیکی ( $X_0$ ) بر حسب MLSS کنترل می شود. استفاده از مقادیر پایین ( $S_0/X_0$ ) عموماً امکان بررسی رشد میکروارگانیسم ها را در محیط کار نمی دهد؛ در حالی که در مقادیر بالای آن ( $S_0/X_0 > 1$ ) رشد میکروارگانیسم ها قابل اندازه گیری است و بدین صورت، مدلسازی سرعت واکنش امکان پذیر می باشد [۷]. تاکنون پژوهش های زیادی در زمینه تعیین ضرایب بیوسینتیک و ارائه مدل های مختلف سینتیک انجام شده است. فانگ و همکارش یک ضریب جدید را برای مدل لایه زیستی موند ارائه کردند [۸]. بنمو<sup>۱</sup> و همکارانش در مطالعه ای، مقایسه یک مدل ساده شده در یک راکتور لایه زیستی تک بعدی با مدل موند را در دو حالت محدودیت مواد اولیه همراه و بدون ریزش لایه مایع انجام دادند [۹]. یک روش جدید برای تعیین ضرایب سینتیک در بیوفیلترهای هوا توسط دلهومنی<sup>۲</sup> و همکارانش با ویژگی کارکرد آسان ارائه شد [۱۰]. با توجه به سمی بودن فاضلاب های حاوی سیانور، نوبی و همکارانش اثر سیانور را بر ضرایب بیوسینتیک در یک راکتور با جریان منقطع مورد بررسی قرار دادند. نتایج آزمایش های اولیه نشان داد که پارامترهای بیوسینتیک  $K_d$  و  $Y, K_s, K_i$  و حذف سیانور به ترتیب در گستره ۲-۴ در روز، ۱۰۰-۲۰۰ میلیگرم در لیتر، ۴۴-۱۱۰ میلی گرم بر میلی گرم و ۰/۷-۰/۴ در روز تغییر می کند [۱۱]. ریتمن و مک کارتی<sup>۳</sup> سینتیک های لایه زیستی را در شرایط پایداری<sup>۴</sup> ارائه کردند [۱۲]. در پژوهشی که هیراتا<sup>۵</sup> و همکارانش بر روی یک راکتور لایه زیستی با بستر شناور سه فازی انجام دادند ضرایب سینتیک مربوط به واکنش بیوشیمیایی در این راکتور را بدست آوردند مقادیر  $K_m, K_i$  و نسبت  $K/K_m$  بدست آمده در این تحقیق به ترتیب برابر با ۲/۲ گرم بر متر مربع بر روز، ۱۷/۴۱ گرم بر مترمکعب و ۰/۱۳ متر بر روز بود [۱۳].

## ۲. مواد و روشها:

۲-۱- ساختار راکتور زیستی با بستر متحرک (MBBR):

در این مطالعه از یک راکتور زیستی با بستر متحرک به حجم موثر ۰/۰۶۲۵ متر مکعب در مقیاس آزمایشگاهی استفاده شد. راکتور از جنس پلی اتیلن به شکل استوانه با قطر داخلی ۰/۱۳۵ m، ارتفاع ۰/۶ m و ضخامت ۰/۰۲۵ m ساخته شده بود. همچنین بستری از جنس پلی استیرن با فشردگی بالا به شکل لانه زنبور با نام تجاری لانه زنبوری- ۲۰۰۰<sup>۶</sup> که دارای سطح ویژه ای برابر با ۶۵۰ متر مربع بر متر مکعب بود استفاده شد. میزان پرشدگی راکتور از مواد بستر در این مطالعه ۵۰ درصد در نظر گرفته شد. هوای مورد نیاز جهت تامین اکسیژن محلول و چرخش مواد بستر در تمام حجم راکتور به کمک یک کمپرسور هوا و از طریق سه هواپخششان که در قسمت کف قرار گرفته بود وارد راکتور می گردید. برای جلوگیری از خروج مواد بستر از یک صفحه مشبک (اندازه روزنه ۱\*۰/۴ cm) نصب شده در خروجی راکتور استفاده شد. حجم هوای دمیده شده توسط یک جریان سنج<sup>۷</sup> اندازه گیری شده و با کمک یک شیر تنظیم دبی هوا برای تامین میزان مورد نیاز اکسیژن محلول کنترل می شد. فاضلاب مصنوعی نیز از مخزن ذخیره توسط پمپ پرستالتیک وارد راکتور می شد. با توجه به مشکلات کنترل دما در کاربردهای این سیستم در مقیاس صنعتی و نزدیکتر بودن شرایط کاری راکتور به شرایط واقعی، راکتور در دمای معمول اتاق (۲۰-۲۵ سانتیگراد) مورد بهره برداری و مطالعه قرار گرفت. نمایی از راکتور بیولوژیکی با بستر متحرک در شکل (۱) به نمایش درآمده است.

<sup>۱</sup>-Bonomo

<sup>۲</sup>-Delhomenie

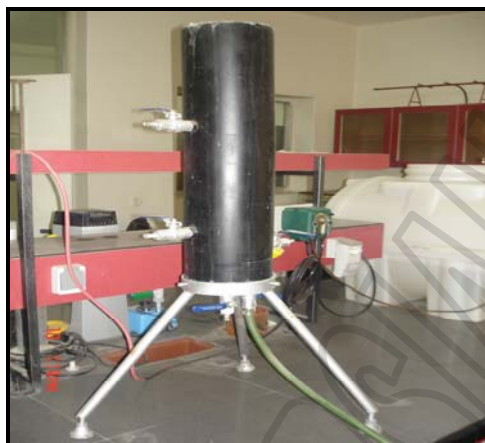
<sup>۳</sup>-Rittmann & McCarty

<sup>۴</sup>-Steady State

<sup>۵</sup>-Hirata & et al

<sup>۶</sup>-Bee Cell 2000

<sup>۷</sup>-Flow meter



تصویر (۱) رآکتور بیولوژیکی با بستر متحرک جهت انجام آزمون تعیین ضرایب سینتیکی

۲-۲- فاضلاب مصنوعی:

برای تهیه فاضلاب در این مطالعه، یک محیط معدنی محلول در آب همراه با مونواتیلن گلیکول ساخت شرکت مرک آلمان با درصد خلوص ۹۹/۹ درصد بعنوان تنها منبع کربن مورد استفاده میکروارگانیسم ها، همراه با مواد مغذی اصلی با نسبت C/N/P برابر با ۱۰۰/۵/۱ ساخته شد.

۲-۳- راه اندازی رآکتور:

در این مرحله رآکتور با استفاده از لجن فعال تصفیه خانه فاضلاب شهری چنیه اهواز راه اندازی گردید. در این مدت رآکتور با فاضلاب مصنوعی حاوی گلوکز ( جهت تسریع راه اندازی رآکتور و تشکیل لایه زیستی ) و مواد مغذی اصلی تغذیه شد. جهت سازگاری میکروارگانیسم ها روزانه از میزان گلوکز کاسته شد و در نهایت از مونواتیلن گلیکول بعنوان تنها منبع کربن در فاضلاب استفاده گشت.

۲-۴- آزمون تعیین ضرایب سینتیکی سیستم رآکتور بیولوژیکی با بستر متحرک:

در این مرحله از تحقیق با ثابت نگه داشتن میزان COD محلول ورودی و تغییر در زمان ماند، تغییرات در بارگذاری آلی اعمال شد. در مدت زمان انجام آزمون تعیین ضرایب سینتیکی پابلوت تصفیه بیولوژیکی سیستم رآکتور بیولوژیکی با بستر متحرک بصورت بسته<sup>۱</sup> مورد بهره برداری قرار گرفت. باین کار، زمان ماند هیدرولیکی و زمان ماند سلولی با هم برابر خواهد شد. برای شروع مطالعه آزمایش SCOD از محتویات رآکتور انجام گرفت. با توجه به حجم مایع موجود در رآکتور (۵ لیتر) و میزان TCOD اولیه موجود در آن مقدار مناسب مونواتیلن گلیکول و مواد مغذی مورد نیاز برای رسیدن میزان COD رآکتور به ۱۵۵۰ میلی گرم بر لیتر محاسبه گردید و بطور روزانه وارد رآکتور گردید. اطلاعات جمع آوری شده برای تعیین این ضرایب بایستی در شرایط پایدار سیستم جمع آوری شوند، بنابراین کار تا رسیدن میزان SCOD خروجی به حالت پایدار ادامه یافت. در این مطالعه ۶ زمان ماند متفاوت در نظر گرفته شد. بدین ترتیب پس از شروع آزمون در زمانهای ماند ذکر شده از سیستم برای تعیین میزان SCOD، TSS و VSS نمونه برداری صورت گرفت. کلیه مراحل فوق برای کاهش خطا و رسیدن به نتایج مطلوبتر سه بار تکرار گردید.

۲-۵- تحلیل ریاضی:

برای تعیین ضرایب سینتیکی در رآکتور بیولوژیکی با بستر متحرک از مدل اصلاح شده موند استفاده شد [۳ و ۱۰ و ۱۳]. معادله مورد استفاده در این مطالعه به صورت زیر بدست آمد:

$$r_{su} = -\frac{kXS}{K_s + S} = -\frac{S_0 - S}{\theta} \quad (۳)$$

با تقسیم معادله فوق بر X معادله (۴) بدست می آید:



$$\frac{kS}{K_s + S} = \frac{S_0 - S}{\theta X} \quad (۴)$$

معادله (۵) با معکوس نمودن معادله شماره (۴) بدست آمد:

$$\frac{X \theta}{S_0 - S} = \frac{K_s}{k} \frac{1}{S} + \frac{1}{k} \quad (۵)$$

تعیین مقدار دو پارامتر  $K_s$  و  $k$  را می توان با رسم  $\frac{X \theta}{S_0 - S}$  در مقابل  $\frac{1}{S}$  محاسبه نمود. شیب خط حاصل از برازش  $\frac{K_s}{k}$  و عرض از مبدا آن

برابر  $\frac{1}{k}$  است. برای تعیین میزان  $Y$  و  $k_d$  نیز از معادله زیر استفاده می گردد که این معادله از رسم  $\frac{1}{\theta_c}$  در مقابل  $\frac{r_{su}}{X}$  مقادیر  $Y$  و  $k_d$  بدست خواهد آمد.

$$\frac{1}{\theta_c} = -Y \frac{r_{su}}{X} - k_d \quad (۶)$$

در معادله فوق به جای جمله  $\frac{r_{su}}{X}$  جمله  $\frac{(S_0 - S)}{X \theta}$  جایگزین شد و معادله به صورت زیر تصحیح گشت:

$$\frac{1}{\theta_c} = -Y \frac{(S_0 - S)}{X \theta} - k_d \quad (۷)$$

در نهایت برای محاسبه  $\mu_{max}$  با داشتن  $Y$  و  $k$  از معادله (۸) استفاده شد.

$$\mu_{max} = kY \quad (۸)$$

بر اساس الگوی ارائه شده توسط مونود ضرایب سینتیکی  $k$ ،  $K_s$ ،  $k_d$  و  $\mu_{max}$  به ترتیب عبارتند از: سرعت کلی واکنش بر حسب (1/day)، ثابت نصف سرعت بر حسب (میلی گرم در لیتر - گرم بر مترمکعب)، ضریب خود تخریبی بر حسب (1/day)، بازدهی (گرم جرم سلولی تولید شده به ازای گرم سوسترای حذف شده) و حداکثر رشد ویژه (1/day) [۳].

۲-۶- روش های آزمایشگاهی:

در این مطالعه میزان COD بصورت روزانه با استفاده از روش تقطیر برگشتی، اکسیژن محلول از روش وینکلر، قلیابیت با روش تیتراسیون [۱۵]، نرخ مصرف اکسیژن (OUR) با DO متر HANNA مدل HI 9142، دما و میزان pH بوسیله پراب دستگاه HORIBA مدل F-11 انجام شد.

### ۳. نتایج و یافته ها:

۳-۱- نتایج آزمون های مربوط به تعیین ضرایب سینتیک سیستم

نتایج ارائه شده در جدول (۱) در ۵ زمان ماند مختلف با SCOD ورودی برابر با ۱۵۵۰ میلی گرم بر لیتر شامل: COD محلول ورودی و خروجی، TSS و VSS چسبیده می باشد. نتایج پس از گذشت ۱۸ روز که سیستم به پایداری کامل رسید بدست آمد. تمامی داده های ارائه شده حاصل میانگین حداقل سه بار انجام آزمایش ها برای کاهش هرگونه خطای احتمالی بود. همچنین در جدول (۲) داده های محاسباتی جهت تعیین ضرایب سینتیکی راکتور ارائه شده است.



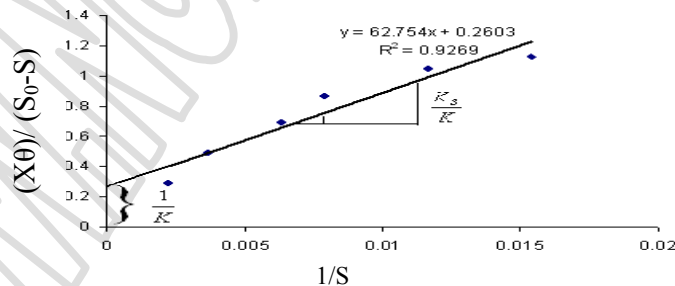
جدول (۱) داده های مربوط به تعیین ضرایب سینتیکی در شرایط پایداری با SCOD برابر با ۱۵۵۰ میلی گرم بر لیتر

شماره آزمایش	زمان ماند (روز)	میانگین SCOD (mg/l)	میانگین VSS (mg/l)	میانگین TSS (mg/l)
۱	۱	۶۵	۱۷۷۱	۲۶۳۰
۲	۰/۸۷۵	۸۶	۱۷۵۵	۲۵۴۱
۳	۰/۶۶۶	۱۲۷	۱۸۵۱	۲۶۸۴
۴	۰/۵	۱۵۸	۱۹۲۲	۲۶۱۸
۵	۰/۳۳۳	۲۷۰	۱۸۹۶	۲۵۹۶
۶	۰/۱۷	۴۵۰	۱۶۱۴	۲۴۳۷

جدول (۲) داده های مورد نیاز جهت محاسبه ضرایب سینتیکی رآکتور بیولوژیکی با بستر متحرک

ردیف	$S_0$	S	$\theta_c$	X	1/S	$(X\theta)/(S_0-S)$	1/ $\theta_c$	$(S_0-S)/\theta X$	$\mu$
۱	۱۵۵۰	۶۵	۱	۱۶۷۱	۰/۰۱۵۳۸	۱/۱۲۵۲	۱	۰/۸۸۸۶	۲۵/۷۰۷
۲	۱۵۵۰	۸۶	۰/۸۷۵	۱۷۵۵	۰/۰۱۱۶۳	۱/۰۴۸۹	۱/۱۴۲۸	۰/۹۵۳۳	۰/۹۷۶
۳	۱۵۵۰	۱۲۷	۰/۶۶۶	۱۸۵۱	۰/۰۰۷۸۷	۰/۸۶۶۳	۱/۵۰۱۵	۰/۱۵۴۳	۰/۷۵۵
۴	۱۵۵۰	۱۵۸	۰/۵	۱۹۲۲	۰/۰۰۶۳۳	۰/۶۹۰۳	۲	۱/۴۴۸۴	۰/۴۴۹
۵	۱۵۵۰	۲۷۰	۰/۳۳۳	۱۸۹۶	۰/۰۰۳۷	۰/۴۹۳۲	۳/۰۰۳۰	۲/۰۲۷۳	۰/۰۹۶
۶	۱۵۵۰	۴۵۰	۰/۱۷	۱۹۱۵	۰/۰۰۲۲۲	۰/۲۹۵۹	۵/۸۸۲۳	۳/۳۷۸۸	۰/۰۴۲

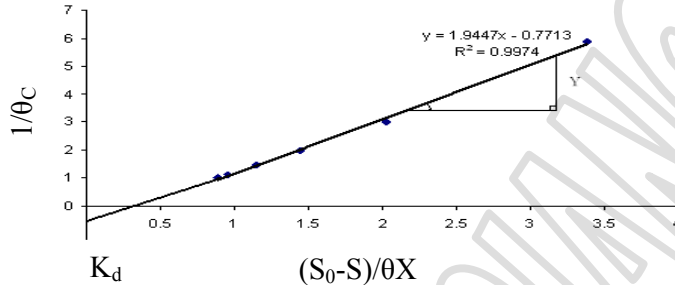
با استفاده از اطلاعات موجود در جدول (۲) معادله (۵) را رسم می نمایم. سپس رگرسیون بین  $\frac{X\theta}{S_0-S}$  و  $\frac{1}{S}$  رسم گردیده و با کمک آن ضرایب  $K_s$  و  $k$  محاسبه شده است. حاصل برازش فوق معادله ایست با فرم کلی  $y = ax + b$  که در آن  $a$  شیب خط و  $b$  عرض از مبدا می باشد. در تصویر (۲) این معادله نمایش داده شده است.



تصویر (۲) تعیین مقادیر  $K_s$  و  $k$  با استفاده از معادله (۵)

در معادله (۸) از رسم  $\frac{1}{\theta_c}$  در مقابل  $\frac{r_{su}}{X}$  مقادیر  $Y$  و  $-k_d$  بدست خواهد آمد. نمودار شکل (۳) رگرسیون خطی بین  $\frac{1}{\theta_c}$  و  $\frac{(S_0-S)}{X\theta}$  را نشان

می دهد. بر اساس محاسبات رگرسیون انجام شده ضرایب سینتیکی بدست آمده در جدول (۳) نشان داده شده است.



تصویر (۳) تعیین مقادیر  $Y$  و  $k_d$  با استفاده از معادله (۸)

جدول (۳) مقادیر ضرایب سینتیکی محاسبه شده رآکتور بیولوژیکی با بستر متحرک

$\mu_{max}$ (1/day)	$k_d$ (1/day)	$Y$ تولیدی بر گرم COD (شده)	$K_s$ (mg/l)	$k$ (1/day)
۷/۴۴	۰/۷۷	۱/۹۴	۲۴۰	۳/۸۴

#### ۴- بحث و نتیجه گیری:

برای حصول اطمینان از رشد میکروارگانیسم ها باید اجازه دهیم میکروارگانیسم ها به مدت کافی در سیستم باقی بمانند تا تکثیر شوند. این زمان به آهنگ رشد آنها بستگی دارد. اگر شرایط محیطی به درستی کنترل شده باشد، با کنترل آهنگ رشد میکروارگانیسم ها می توان از تثبیت موثر مواد زائد اطمینان یافت. به همین دلیل بیشتر محققین این مطالعات را نیز انجام می دهند [۳]. در جدول (۴) ضرایب سینتیک بدست آمده در این تحقیق و مقادیر معمول ضرایب سینتیک تصفیه فاضلاب خانگی در سیستم لجن فعال [۳]، نمایش داده شده است، که می توان مقایسه ای را با توجه به مقادیر ارائه شده انجام داد.

جدول (۴) ضرایب سینتیک معمول برای فرایند لجن فعال در تصفیه بیولوژیکی فاضلاب خانگی در مقایسه با یافته های این تحقیق

ضرایب	واحد	مقادیر		
		محدوده	معمول	یافته های تحقیق
$K$	g bsCOD/g VSS.d	۱۰-۲	۵	۳/۸۴
$K_s$	mg/l BOD	۱۰۰-۲۵	۶۰	۲۴۰ mg/l COD
	mg/l bcCOD	۶۰-۱۰	۴۰	
$Y$	mg VSS/mg BOD	۰/۸-۰/۴	۰/۶	۱/۹۴
	mg/l bcCOD	۰/۶-۰/۳	۰/۴	
$k_d$	g VSS/g VSS.d	۰/۱۵-۰/۰۶	۰/۱	۰/۷۷

با توجه به نتایج ارائه شده، میزان  $k$  بدست آمده در این مطالعه در محدوده مقادیر مربوط به فاضلاب شهری در سیستم لجن فعال می باشد، درحالی که مقادیر  $Y$  و  $K_s$  از حداکثر این مقادیر معمول بیشتر است. می توان فهمید که زمانهای ماند هیدرولیکی و سلولی طولانی بر رشد میکروبی تاثیر گذار می باشد. مقادیر بالا نشان دهنده گرایش میکروارگانیسم های درون لایه زنده به سوبسترای مورد استفاده (مونو اتیلن گلیکول) می باشد. میزان محاسبه شده نشان دهنده این واقعیت می باشد که سرعت تصفیه فاضلاب های حاوی مونو اتیلن گلیکول در محدوده تصفیه فاضلاب شهری می باشد.



بطور معمول میزان  $K_d$  یا ضریب مرگ و میر سلولی کمتر از سایر ضرایب بیو سینتیک می باشد که در این مطالعه نیز این ضریب کمتر از سایر ضرایب محاسبه شده است. میزان  $K_d$  محاسبه شده در این مطالعه بالاتر از محدوده این پارامتر در فاضلاب شهری می باشد. جرم زنده لایه چسبیده به سطح بستر با استفاده از داده های میزان سوبسترای خروجی از رآکتور، میزان میکروارگانیسم های درون رآکتور، و زمان ماند سلولی تعیین می گردد. یافته هایی که توسط نبی زاده [۱۶]، گزارش شده است نیز نشان می دهد که میزان کنده شدن لایه زنده از روی سطح بستر یک رآکتور رشد چسبیده هوازی مستغرق که فاضلاب اتیلن گلیکول را تصفیه می کرد با افزایش بارگذاری آلی افزایش می یابد. همچنین ضرایب سینتیکی در این تحقیق با ضرایب بدست آمده توسط ایزانلو [۱۷]، و نبی زاده که بر اساس الگوی ارائه شده هامودا (مدل اصلاح شده منوند)، و تلز و همکاران [۱۸]، در مطالعه مقایسه آب های آلوده به نفت تولیدی در چاه های نفت در یک سیستم لجن فعال متعارف در جدول (۵) مورد مقایسه قرار گرفته اند.

جدول (۵) مقایسه ضرایب سینتیکی حاصل از این پژوهش با مطالعات مشابه

مطالعه حاضر	تلز	ایزانلو	نبی زاده	مطالعه مشابه ضرایب سینتیکی
۳/۸۴	۳/۲۸	۱/۰۳۲	۲/۶۹۵	$k (1/d)$
۲۴۰	۱/۳۶	۱۰۵/۲۶۳	۲۵۳/۰۳۶	$K_s (mg/l)$
۱/۹۴	۰/۰۴۱	۰/۳۷۴	۰/۶۲۹	$Y$
۰/۷۷	۰/۴۴	۰/۰۲۹	۰/۱۴۳	$k_d (1/d)$
۷/۴۴	—	۰/۳۸۶	۱/۶۹۶	$\mu_{max}$

در جدول (۵) می بینیم که میزان  $k$  بدست آمده در مطالعه تلز با مقدار بدست آمده در این تحقیق مشابه می باشد، اما میزان  $K_s$ ،  $Y$  در این تحقیق چندین برابر میزان محاسبه شده در مطالعه تلز بوده است که ناشی از سرعت تجزیه خوب مونو اتیلن گلیکول در تحقیق حاضر در مقایسه با ترکیبات نفتی در مطالعه تلز و همکارانش می باشد. میزان  $K$ ،  $k_d$  بدست آمده در مطالعه ایزانلو و نبی زاده و مقدار  $K_s$  در مطالعه ایزانلو پایین تر از مقدار بدست آمده در این مطالعه بود، اما میزان  $Y$  و  $\mu_{max}$  این مطالعه بیشتر از نتایج بدست آمده در سه مطالعه مقایسه شده می باشد. پایین بودن میزان  $K_s$  نشان دهنده تمایل بیشتر میکروارگانیسم ها به ماده مورد تجزیه می باشد. همان طور که مشخص است میکروارگانیسم های تلز که به تجزیه ترکیبات نفتی سازگار شده اند به شدت به مصرف این ترکیبات تمایل دارند. این موضوع در مطالعه ایزانلو نیز مشخص است. اما،  $\mu_{max}$  در کلیه این مطالعات کمتر از مطالعه ارائه شده در این تحقیق بود که خود یک حسن بسیار مهم می باشد. با وجود تمایل کمتر این میکروارگانیسم ها به مصرف مونو اتیلن گلیکول در مقایسه با سایر مطالعات مشابه نرخ رشد ویژه در این مطالعه بسیار بالاتر از سایر مطالعات می باشد که باعث افزایش کارایی سیستم نسبت به سایر تحقیقات قبلی شده است. عدم تطابق برخی نتایج با مطالعات دیگران احتمالاً ناشی از تفاوت منبع تامین کربن، شرایط بارگذاری و شرایط بهره برداری سیستم بوده است.

#### تقدیر و تشکر:

از مسئولین محترم دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات اهواز و شرکت شهرکهای صنعتی استان فارس که امکانات لازم را برای انجام این پروژه فراهم آورده اند، کمال تشکر و قدردانی را داریم.

#### منابع:

- 1- Jahren, S. J., Rintala, J. A., Odegaard, H., (2002). "Aerobic moving bed biofilm reactor treating thermo mechanical pulping whitewater under thermophilic conditions." Water Res. 36:1067-1075.
- 2- Rusten, B., Eikebrokk, B., Ulgenes, Y., Lygren, E. (2006). "Design and operation of the Kaldnes moving bed biofilm reactors". Aqua cultural Engineering. 36, 322-331.
- 3- Metcalf and Eddy (2003). "Waste water engineering treatment and reuse" Fourth edition. Mc Graw Hill





- 4- Rusten, B., Kolkin O, Odegaard H. (1997). "Moving bed biofilm reactors and chemical precipitation for high efficiency treatment of wastewater from small communities" Water Sci Technol., 35 (6); 71-79.
- 5- Yu Liu (2006). "A simple thermodynamic approach for derivation of a general Monod equation microbial growth." J. Biochemical Engineering 31. 102-105
- 6- Tchobanoglous, G. (1991). "Wastewater engineering, treatment, disposal and reuse," 13<sup>th</sup> Ed., McGraw – Hill, Inc. New York.
- ۷- نظری علوی، ع.ر. میرزایی، م. (۱۳۸۴) "ارزیابی عملکرد مدل مونود در تصفیه بیولوژیکی فاضلاب" مجله آب و فاضلاب شماره ۵۶، ص ۴۹-۵۳.
- 8- Fang, Y., Govind, R. (2008). "A new Thiele's Modulus for the Monod Biofilm Model" Chinese journal Engineering, 16(2), 227-286.
- 9- Bonomo, L. Pastorelli, G., Quinto, E., (2001) "Simplified and Monod Kinetics in one-dimensional biofilm reactor modeling" J. Water Sic Technol.43 (1):295-302.
- 10- Delhomenie, M.C., Nikiema, J., Bibeau, L., Heitz, M. (2008) "A new method to determine the microbial kinetic parameters in biological air filter." Chemical engineering science 63. 4126-4134.
- ۱۱- نوایی قمصری، ر. حقیقی، م.ر. تجریشی، م. امتیازی، گ. (۱۳۸۰) "بررسی اثر سیانور بر ضرایب بیوسینتتیک" فصلنامه آب و فاضلاب، زمستان ۱۳۸۰، شماره ۴۰، ص ۴۶-۵۲.
- 12- Rittmann, B.E., McCarty, P. (1980) "Model of steady state biofilm kinetics" Biotechnology. Bioeng. 22 2343-2357.
- 13- Hirata, A., Takemoto, T., Ogawa, K., Auresenia, J., Tsuneda, S., (2000) "Evaluation of kinetic parameters of biological reaction in three-phase fluidized bed biofilm reactor for wastewater treatment" Biochemical Engineering journal 5. 165-171.
- 14- APHA, AWWA, WPCF (1995). "Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater", 19<sup>th</sup> Edition, Washington DC, USA.
- ۱۵- نبی زاده، ر.، (۱۳۸۰) "ارائه الگوی کارکرد رآکتور لجن فعال با محیط رشد ثابت در تصفیه فاضلاب پتروشیمی"، پایان نامه دکتری (PhD) دانشگاه علوم پزشکی تهران، دانشکده بهداشت و انستیتو تحقیقات بهداشتی، گروه مهندسی بهداشت محیط
- ۱۶- ایزانلو، ح.، (۱۳۸۶) "تعیین الگوی عملکرد رآکتور رشد چسبیده، هوازی مستغرق در تصفیه پساب نفت خام"، پایان نامه دکتری (PhD)، دانشگاه علوم پزشکی تهران، دانشکده بهداشت و انستیتو تحقیقات بهداشتی، گروه مهندسی بهداشت محیط .
- 17- Tellez, Gilbert T., Nirmalakhandan N., Jorge L., (2002). Performance Evaluation of an Active Sludge System for Removing Petroleum Hydrocarbons from Oilfield Produced water", Advances in Environmental Research 6, 455-470,