

## THE EFFECT OF SULFIDE ON ACTIVATED SLUDGE PROCESS AND DETERMINATION OF KINETIC COEFFICIENTS OF MICROBIAL GROWTH AND INHIBITION COEFFICIENTS OF SULFIDE IN ACTIVATED SLUDGE PROCESS

Mehnoush Mohammadi

Department of Chemical Engineering, Islamic Azad University of Iran, Tehran south Branch. mehnoush\_mohammadi@yahoo.com

Mehdi Borghei

Department of Chemical and Petroleum Engineering, Sharif University of Technology. mborghei@sharif.ir

**Abstract:** This research aims at study of the effect of sulfide on operation of one of the aerobic biological treatment processes, activated sludge. For this purpose, two pilot plant units were designed and constructed. One of these units was run for wastewater sulfide contaminant (sample), and the other one was run for wastewater without sulfide contaminant (Reference). First of all, in a quantities study, sample system was run with different influent sulfide concentrations, and compared with reference system. Then, concentration of influent sulfide was increased gradually until the inhibitory effect of sulfide on treatment process appeared. Finally, the concentration at which sulfide was inhibitory and resulted in process malfunction was determined. Also, the reference system was run with different influent COD and detention times. At the end, the behavior of pilot plants of the reference system and the sample system, were simulated with Contois model, and the microbial growth kinetic coefficient, and inhibiting coefficient of sulfide were defined.

## اثر سولفید در عملکرد لجن فعال و تعیین ضرایب سینتیکی رشد میکروبی و ضرایب بازدارندگی سولفید در لجن فعال

مهروش محمدی و سید مهدی برقی

**چکیده:** در این تحقیق اثر سولفید در عملکرد فرآیند تصفیه بیولوژیکی هوازی، لجن فعال مورد بررسی و مطالعه قرار گرفته است. بدین منظور دو واحد پایلوت لجن فعال یکی برای فاضلاب حاوی سولفید (نمونه) و دیگری بدون سولفید (شاهد) راه اندازی شدند. برای بررسی کمی ابتدا سیستم نمونه در غلظتهای سولفید ورودی مختلف راه اندازی شد و با سیستم شاهد مقایسه گردید. سپس در ادامه غلظتهای سولفید به تدریج در سیستم نمونه افزایش یافت تا آثار ممانعت کنندگی سولفید بروز کند. در نهایت، غلظتی که حالت بازدارندگی ظاهر می شود و سبب مختل شدن کار تصفیه می گردد تعیین و مشخص شد. همچنین سیستم شاهد در COD های ورودی متفاوت و همین طور زمان اقامت های مختلف راه اندازی شد. نهایتاً رفتار واحد پایلوت ساخته شده ابتدا شاهد و سپس سیستم محتوی سولفید با استفاده از مدل کن تویس شیبیه سازی گردید و ضرایب بهینه سینتیکی رشد میکروبی و ضرایب بازدارندگی در این تحقیق بدست آمد.

**واژه های کلیدی:** تصفیه بیولوژیکی، لجن فعال، بازدارندگی سولفید، مدل کن تویس

تاریخ وصول: ۸۳/۳/۱۲

تاریخ تصویب: ۸۳/۱۲/۲۰

مهروش محمدی، عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب، دانشکده فنی، گروه مهندسی شیمی mehnoush\_mohammadi@yahoo.com  
دکتر سید مهدی برقی، عضو هیئت علمی دانشگاه صنعتی شریف، دانشکده مهندسی شیمی و نفت mborghei@sharif.ir

وینیل کلراید و با استفاده از هوای فشرده که از طریق یک کمپرسور هوا تأمین می شود صورت می گیرد. در طول انجام آزمایشات دبی هوا در حدود ۰/۸ لیتر در دقیقه منظور شده تا علاوه بر تأمین اختلاط مناسب، غلظت اکسیژن محلول ۲-۱/۵ میلی گرم در لیتر ثابت بماند.

در طول آزمایشات از فاضلاب سنتزی با COD متوسط ۱۰۰۰ میلی گرم در لیتر شامل ملاس و اوره (کربامید) به عنوان منبع ازت با ۰/۴۶٪ ازت و فسفات هیدروژن دی آمونیوم بعنوان منبع فسفر با ۰/۴۲٪ فسفر و ۱۸٪ نیتروژن استفاده شد به طوریکه نسبت BOD<sub>5</sub>:N:P معادل ۱ : ۵ : ۱۰۰ رعایت گردید.

لجن اولیه جهت راه اندازی سیستم از تصفیه خانه فاضلاب شهری صاحبقرانبه تهران با متوسط COD ۴۵۰ میلی گرم در لیتر و MLSS در حدود ۲۷۵۰ میلی گرم در لیتر، تهیه و به آزمایشگاه منتقل شد.

کلیه آزمایشات طبق روشهای استاندارد آزمایش آب و فاضلاب (سال ۱۹۸۹) [۹] در آزمایشگاه مرکز تحقیقات مهندسی بیوشیمی و کنترل محیط زیست دانشگاه صنعتی شریف انجام گرفت.

## ۲-۲. آزمایشات و نتایج تجربی

به مایع مخلوط تهیه شده از تصفیه خانه مقدار مشخصی فاضلاب سنتزی افزوده گردید تا بار آلودگی سیستم به تدریج افزایش یابد و از مقدار COD، ۴۵۰ میلی گرم در لیتر به ۱۰۰۰ میلی گرم در لیتر برسد. پس از گذشت پنجاه روز راه اندازی واحد آزمایشگاهی لجن فعال صورت می گیرد. دو واحد شاهد و نمونه به موازات یکدیگر عمل می کنند.

در حقیقت واحد پایلوت لجن فعال نمونه به واحدی اطلاق شده که تزریق سولفید سدیم صورت گرفته است. سیستم فوق از طریق یک سرم با دبی یک لیتر در روز و از غلظتهای بسیار کم حدود یک میلی گرم در لیتر تزریق آغاز و به تدریج با خو گرفتن میکروارگانیسم ها این غلظت افزایش می یابد، البته هر سری از داده های بدست آمده در زمانی کاملاً طولانی انجام شده تا تخمین مناسبی از حالت پایا حاصل گردد.

آزمایشات در هفت غلظت متفاوت سولفید سدیم ۵ و ۱۰ و ۳۰ و ۵۰ و ۷۰ و ۸۵ و ۱۰۰ میلی گرم در لیتر صورت گرفته و در واقع گام به گام غلظت سولفید افزایش یافته تا سیستم دچار شوک مواد سمی و مسمومیت حاد نشده و عملکرد سیستم بیولوژیکی مختل نگردد. بطور متوسط هر ۴۸ ساعت یکبار نمونه گیری از ورودی و خروجی واحد آزمایشگاهی لجن فعال صورت می گیرد و در زمانهای یکسان COD فاضلاب ورودی و خروجی، ذرات معلق مایع مخلوط راکتور هوادهی، غلظت سولفید خوراک خام ورودی و خروجی به طور متناوب اندازه گیری شده و سایر متغیرهای کنترل شده سیستم

## ۱. مقدمه

سولفید یکی از آلاینده های خطرناک بوده که در پساب مراکز صنعتی به ویژه چرمسازی ها و دباغی ها و کارخانجات نساجی و پالایشگاهها وجود دارد و عامل مهمی در عدم تصفیه فاضلاب کارخانجات مذکور می باشد که می تواند سبب آلودگی محیط زیست گردد [۱]. روشهای مرسوم و متداول امروزی جهت حذف سولفید روشهای فیزیکی شیمیائی بشرح ذیل می باشد:

- ۱- اکسیداسیون کاتالیستی سولفید به وسیله هوا.
- ۲- اکسیداسیون سولفید به وسیله هوا بدون حضور کاتالیست.
- ۳- رسوب دهی سولفید توسط سولفات آهن II.
- ۴- رسوب دهی سولفید توسط سولفات آهن II و سپس هوادهی.
- ۵- اکسیداسیون سولفید به وسیله عوامل اکسید کننده نظیر پراکسید هیدروژن، پراکسی مونوسولفات، کلر، ازن، پرمنگنات پتاسیم و غیره.
- ۶- بازیابی سولفید به روش مستقیم و غیر مستقیم.
- ۷- حذف سولفید توسط امواج مافوق صوت.

ازبین روشهای یاد شده، متداول ترین روش اکسیداسیون کاتالیستی است که به علت مصرف انرژی نسبتاً زیاد استفاده از مواد شیمیائی و هزینه های مربوطه اقتصادی نمی باشد لذا امروزه علاوه بر روشهای فوق الذکر جهت حذف سولفید روشهای بیولوژیکی نیز توسعه یافته است [۲].

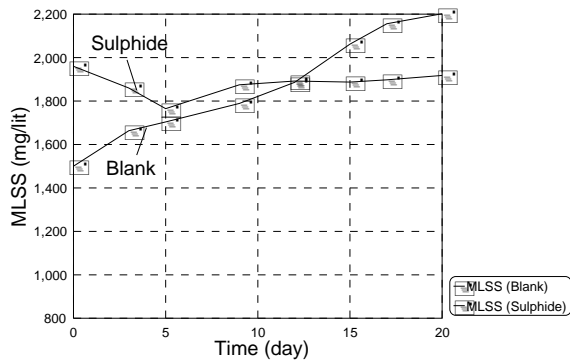
سولفید علاوه بر بوی زننده و متعفن سبب خوردگی تأسیسات بتونی می شود [۳]. همچنین موجب بروز سمیت بیولوژیکی می گردد و زمانیکه در یک سیستم تصفیه بیولوژیکی برای میکروارگانیسم ها سمیت پیش آید سیستم تصفیه مختل می شود. لذا لازم است که تأثیر سمیت و بازدارندگی سولفید در سیستم های تصفیه بیولوژیکی مورد مطالعه قرار گیرد. در این مقاله اثر بازدارندگی سولفید در یکی از رایج ترین و مهمترین روشهای تصفیه بیولوژیکی مورد مطالعه قرار گرفته است.

## ۲. روش تحقیق

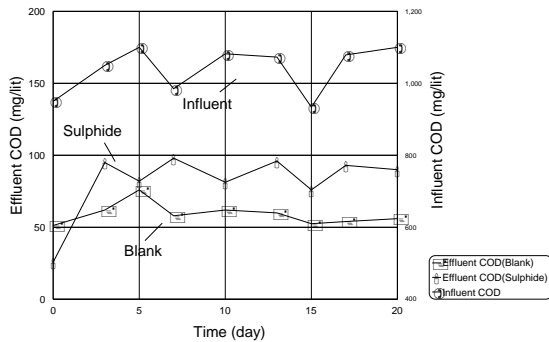
### ۱-۲ واحد پایلوت

سیستم لجن فعال مورد استفاده از نوع هوادهی ممتد (گسترده) شامل دو تانک هوادهی و دو تانک ته نشینی مجزا یکی بعنوان شاهد و دیگری دارای نمونه سولفید می باشد.

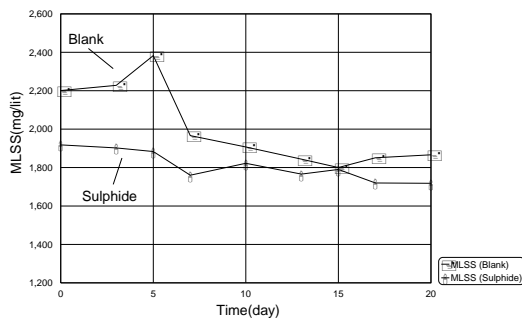
واحد پایلوت شامل یک تانک خوراک از جنس پلی اتیلن به حجم ۱۱۰ لیتر مشترک بین دو سیستم، دو تانک هوادهی شیشه ای به حجم هرکدام ۴۰ لیتر و دو تانک ته نشینی شیشه ای، یک پمپ تزریق خوراک با دبی قابل تنظیم، دو پمپ لجن برگشتی از نوع دیافراگمی و یک سیستم تزریق قطره ای سولفید می باشد. هوادهی در این واحد آزمایشگاهی از طریق دو دیفیوزر لوله ای از جنس پلی



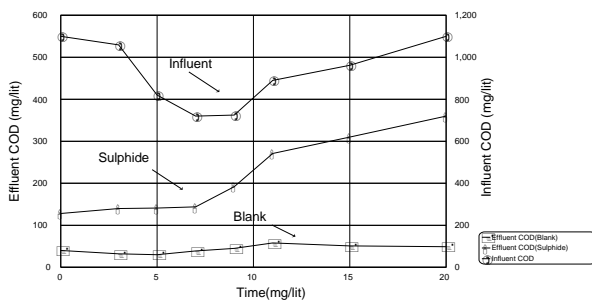
شکل ۲. تغییرات MLSS بر حسب زمان در غلظت ۱۰ ppm سولفید با زمان ماند هیدرولیکی ۳۶ ساعت



شکل ۳. تغییرات COD بر حسب زمان در غلظت ۳۰ ppm سولفید با زمان ماند هیدرولیکی ۳۶ ساعت



شکل ۴. تغییرات MLSS بر حسب زمان در غلظت ۳۰ ppm سولفید با زمان ماند هیدرولیکی ۳۶ ساعت



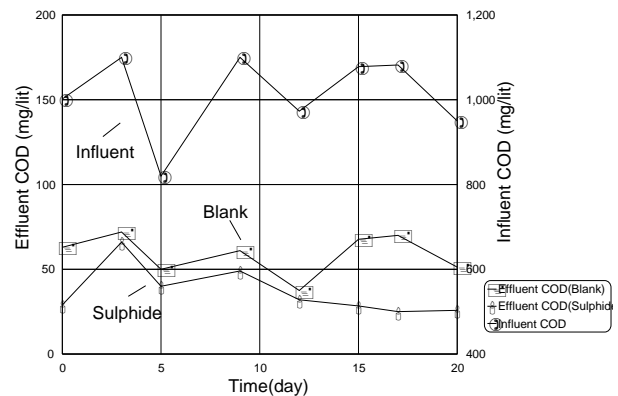
شکل ۵. تغییرات COD بر حسب زمان در غلظت ۱۰۰ ppm سولفید با زمان ماند هیدرولیکی ۴۸ ساعت

نظیر اکسیژن محلول تانک هوایی ، PH ورودی و خروجی فاضلاب و شرایط اختلاط مناسب است. البته علاوه بر آزمایشات فوق سیستم شاهد در COD ورودی مختلف نیز راه اندازی گردید و نتایج جدول (۱) حاصل گردید که بعداً از این نتایج در شبیه سازی سیستم شاهد استفاده شد.

جدول ۱. متوسط پارامترهای اندازه گیری شده برای سه غلظت متفاوت واحد آزمایشگاهی لجن فعال شاهد با زمان ماند هیدرولیکی ۴۸ ساعت

متوسط ورودی COD (mg/L)	متوسط خروجی COD (mg/L)	راندمان حذف COD (%)	MLSS (mg/L)
۱۰۰۱/۲۵۶	۴۳/۰۵	۹۵/۷	۲۳۷۱/۳۶
۱۳۰۰	۹۵/۵	۹۲/۶۵	۲۷۰۶/۶۳
۱۵۰۰	۱۳۲	۹۱/۲	۲۹۷۵

از بین آزمایشات انجام شده نمودارهای تغییرات COD و MLSS بر حسب زمان مربوط به غلظتهای ۱۰، ۳۰، ۱۰۰ میلی گرم در لیتر سولفید و همچنین نمودار مقایسه راندمان حذف COD در غلظتهای متفاوت سولفید ورودی با متوسط COD ورودی ۱۰۰۰ میلی گرم در لیتر در نمودارهای (۱) الی (۷) آمده است.



شکل ۱. تغییرات COD بر حسب زمان در غلظت ۱۰ ppm سولفید با زمان ماند هیدرولیکی ۳۶ ساعت

همانطوریکه ملاحظه می شود نمودار (۱) در غلظت ۱۰ میلی گرم در لیتر پس از سه روز، افتی در راندمان حذف COD مشاهده می گردد ولی در نهایت COD خروجی سیستم دارای نمونه، از COD خروجی شاهد کمتر شده و لذا راندمان حذف COD نمونه بیش از شاهد می شود لذا پس از گذشت ده روز تزریق سولفید سدیم با غلظت ۱۰ میلی گرم در لیتر شرایط خروجی سیستم پایا می گردد و به حدود ۹۷٪ می رسد.

۸۸٪ به ۶۷٪ تقلیل می یابد البته این روند تنزل ، همچنان ادامه داشته و MLSS نمونه از ۱۱۱۲ میلی گرم در لیتر به ۲۳۲ میلی گرم در لیتر کاهش می یابد و متوسط غلظت سولفید خروجی بیش از حد مجاز سولفید در فاضلاب شهری یعنی ۲ میلی گرم در لیتر می گردد. ظاهراً در این غلظت سولفید، میکروارگانیسم ها کاملاً تحت تأثیر قرار گرفته و تغییر شکل داده اند، احتمالاً جمعیت بیولوژیکی غیر همگن فوق دچار مسمومیت مزمن شده اند و این غلظت ۱۰۰ میلی گرم در لیتر همان نقطه آستانه مرگ میکروارگانیسم ها می باشد. لازم به ذکر است که قدرت ته نشینی لجن هم ضعیف شده و TSS خروجی از ته نشینی ثانویه افزایش یافته لذا پساب خروجی مرتباً کدرتر می شود.

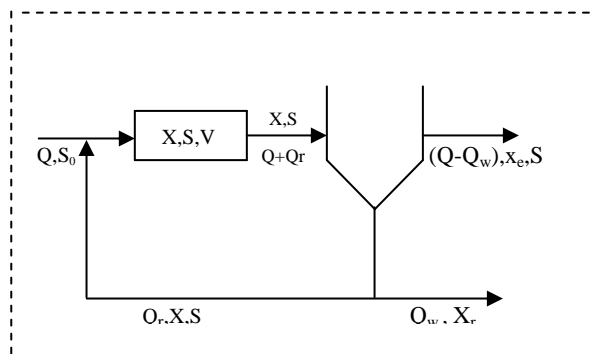
### ۳-۲. شبیه سازی

این بخش به شبیه سازی سیستم پایلوت اختصاص دارد. البته این شبیه سازی به دو منظور انجام می گیرد.  
الف- بررسی اثر عوامل و پارامترهای مختلف طراحی بر عملکرد سیستم لجن فعال دارای سولفید  
ب- ارائه روشی که با آن بتوان رفتار سیستم را در مقیاس صنعتی بهینه نمود.

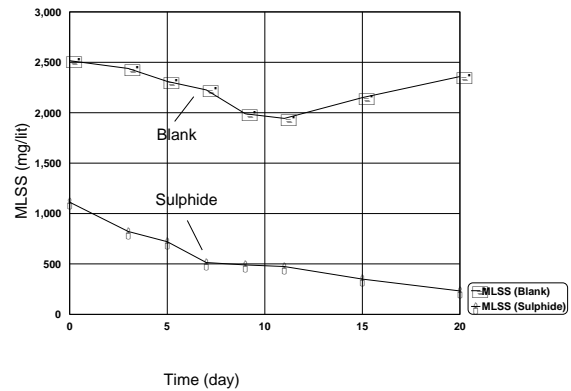
در این تحقیق ابتدا سعی شده که تنها نتایجی خاص مربوط به حالت پایا و تعیین ثوابت سینتیکی سیستم لجن فعال شاهد با استفاده از روش حداقل مربعات خطا برای چندین مدل انجام شود تا ثوابت سینتیکی بهینه برای هر مدل بدست آید و سپس با استفاده از آزمون آماری بهترین مدل سینتیکی رشد میکروبی انتخاب و در نهایت ثوابت ممانعت کنندگی برای سیستم محتوی سولفید تعیین گردد.

### ۱-۳-۲. شبیه سازی سیستم شاهد

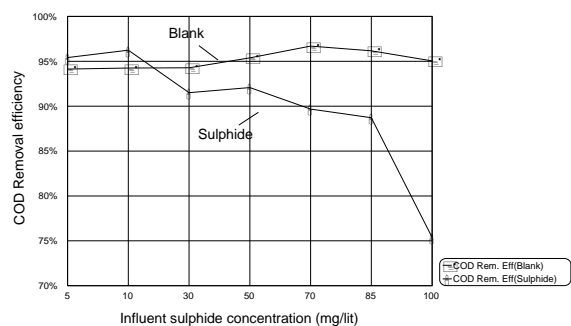
رابطه ریاضی رشد میکروبی و مصرف سوبسترات که در لجن فعال وجود دارد بوسیله معادلات موازنه جرم بیان می گردد. برای سیستم نشان داده شده در شکل (۸) موازنه جرم برای بیومس و سوبسترات در اطراف کل سیستم به قرار زیر است.



شکل ۸. سیستم لجن فعال از نوع راکتور اختلاط کامل



شکل ۶. تغییرات MLSS بر حسب زمان در غلظت ۱۰۰ ppm سولفید با زمان ماند هیدرولیکی ۴۸ ساعت سولفید



شکل ۷. راندمان حذف COD در غلظتهای مختلف سولفید ورودی با متوسط COD ورودی ۱۰۰۰ ppm

مطابق نمودار (۲) MLSS نیز در همان حدود ۱۹۰۰ میلی گرم در لیتر بدون تغییر باقی می ماند. البته غلظت سولفید خروجی کمتر از یک میلی گرم در لیتر می باشد. لذا به عنوان یک نتیجه کلی می توان گفت که در غلظتهای کمتر از ۱۰ میلی گرم در لیتر سولفید نه تنها نقش ممانعت کنندگی نداشته بلکه نقش یک ماده مغذی لازم برای میکروارگانیسم ها را دارد و یک فاکتور مهم جهت رشد میکروارگانیسم ها محسوب می شود.

مطابق نمودار (۳) در غلظت ۳۰ میلی گرم در لیتر به علت سه برابر شدن غلظت سولفید ورودی ابتدا افت شدیدتری نسبت به نتایج قبلی حدود هفت درصد مشاهده می گردد و پس از ده روز مجدداً سیستم به شرایط کاملاً پایا و راندمان حذف COD به حدود ۹۱/۸٪ می رسد. MLSS مطابق نمودار (۴) تقریباً ثابت می ماند البته میزان سولفید خروجی نیز افزایش می یابد و به مقدار ۱/۳۳ میلی گرم در لیتر می رسد. مرتباً غلظت سولفید افزایش می یابد که به علت بی تأثیر بودن سولفید بر روی راندمان حذف سولفید و COD نمودارهای مذکور در این گزارش ارائه نشده اند در غلظتهای بیشتر به تدریج آثار ممانعت کنندگی سولفید ظاهر می شود تا اینکه در غلظت ۱۰۰ میلی گرم در لیتر مطابق نمودار (۵) در مدت زمان بیست روز راندمان حذف COD حدود ۲۰ درصد افت دارد و از

موازنه جرم بیومس

**Monod Model:**

$$\frac{dX}{dt} = \frac{\mu_{\max} SX}{K_s + S} - K_d X \quad (۸)$$

$$QX_0 + Vr_g = (Q - Q_w)X_e + Q_w X_r + V \frac{dX}{dt} \quad (۱)$$

$$\frac{dS}{dt} = \frac{-\mu_{\max} SX}{Y(K_s + S)} \quad (۹)$$

موازنه جرم سوبسترات

$$X = \frac{QY(S_0 - S)(K_s + S)}{V\mu_{\max} S} \quad (۱۰)$$

$$QS_0 + Vr_{su} = (Q - Q_w)S + Q_w S + V \frac{dS}{dt} \quad (۲)$$

$$S = K_s \frac{\frac{QQ_w(R+1)}{V\mu_{\max}(RQ+Q_w)} + \frac{K_d}{\mu_{\max}}}{1 - \frac{QQ_w(R+1)}{V\mu_{\max}(RQ+Q_w)} - \frac{K_d}{\mu_{\max}}} \quad (۱۱)$$

در حالت پایدار یعنی عدم تغییر در غلظت بیومس و سوبسترات و زمان و در نظر گرفتن فرض های ساده شونده زیر می توان روابط فوق را ساده نمود.

**Two phase Model:**

$$\frac{dX}{dt} = KSX - K_d X \quad (۱۲)$$

۱- غلظت بیومس در فاضلاب ورودی و خروجی ( $X_0, X_e$ ) در مقادیر با بیومس سایر نقاط سیستم ناچیز است.

۲- غلظت سوبسترات ورودی  $S_0$  به دلیل رژیم اختلاط کامل فوراً به غلظت راکتور  $S$  رقیق می شود.

۳- تمام واکنش ها در راکتور اتفاق می افتد یعنی هیچ تولید بیومس یا مصرف مواد غذایی در ته نشینی رخ نمی دهد.

۴- به دلیل فرض سوم حجم  $V$  فقط معرف حجم راکتور است [۴و۵و۶].

$$\frac{dS}{dt} = \frac{-KSX}{Y} \quad (۱۳)$$

با فرضیات فوق و شرایط کاملاً پایدار روابط (۱) و (۲) به شکل زیر ساده می شود.

$$X = \frac{QY(S_0 - S)}{VKS} \quad (۱۴)$$

$$Q_w X_r - Vr'_g = 0 \quad (۳)$$

$$S = \frac{QQ_w(R+1)}{KV(RQ+Q_w)} + \frac{K_d}{K} \quad (۱۵)$$

$$Q(S_0 - S) + Vr_{su} = 0 \quad (۴)$$

**Teissier Model:**

$$\frac{dX}{dt} = \mu_{\max} X \left[ 1 - \exp\left(\frac{S}{K_s}\right) \right] - K_d X \quad (۱۶)$$

که  $\Gamma_g$  و  $\Gamma'_{su}$  خود به صورت روابط زیر قابل تعریف هستند :

$$\frac{dS}{dt} = \frac{-\mu_{\max} X}{Y} \left[ 1 - \exp\left(\frac{-S}{K_s}\right) \right] \quad (۱۷)$$

$$r_g = \frac{dX}{dt} = \mu X \quad (۵)$$

$$r'_g = \frac{dX}{dt} = (\mu - K_d) X \quad (۶)$$

$$X = \frac{Q(S_0 - S)Y}{V\mu_{\max} \left[ 1 - \exp\left(\frac{-S}{K_s}\right) \right]} \quad (۱۸)$$

$$r_{su} = \frac{dS}{dt} = -\frac{1}{Y} r_g = -\frac{1}{Y} \frac{dX}{dt} \quad (۷)$$

$$S = -K_s \ln \left[ 1 - \frac{QQ_w(R+1)}{V\mu_{\max}(RQ+Q_w)} - \frac{K_d}{\mu_{\max}} \right] \quad (۱۹)$$

برای حل معادلات (۳) و (۴) لازم است تا روابط سرعت رشد میکروبی و سرعت مصرف سوبسترات در روابط فوق جایگزین شوند بدین منظور از مدلهای مونود، دو فازی، تیسیر و کن تویس استفاده گردید. در ادامه این تحقیق غلظتهای بیومس و سوبسترات ( $X, S$ )، از حل همزمان معادلات موازنه جرم بیومس و سوبسترات ساده شده و معادلات سرعت مدلهای مونود، دو فازی، تیسیر و کن تویس بدست آمد که نتایج نهائی معادلات سرعت رشد بیومس و سرعت مصرف سوبسترات و همچنین غلظتهای بیومس و سوبسترات برای هر مدل به صورت زیر حاصل گردید.

**Contois Model:**

$$\frac{dX}{dt} = \frac{\mu_{\max} SX}{BX + S} - K_d X \quad (۲۰)$$

$$\frac{dS}{dt} = \frac{-\mu_{\max} SX}{Y(BX + S)} \quad (۲۱)$$

همانطوریکه ملاحظه می شود با استفاده از آزمون آماری F، مدل کن تویس بهترین انطباق را با داده های تجربی نشان میدهد و این به دلیل شکل S و X است.

### ۲-۳-۲. شبیه سازی سیستم حاوی سولفید

برای شبیه سازی سیستم حاوی سولفید لازم است ابتدا مکانیسم ممانعت کنندگی سولفید معلوم گردد. بدین منظور ابتدا مدل های مختلف ممانعت از جمله رقابتی، غیر رقابتی و ممانعت سوبسترات و ممانعت یک سوبسترات به سوبسترات دیگر و ممانعت محصولات بررسی شد و با شواهد تجربی مقایسه گردید و نهایتاً مدل مناسب با دارندگی انتخاب شد [۸]. روابط سرعت مصرف سوبسترات و بیومس و سوبسترات ممانعت کننده به قرار زیر است.

$$-\frac{dS}{dt} = \frac{\mu_{\max} SX}{YBX \left(1 + \frac{S_I}{B_I X}\right) + S} \quad (26)$$

$$-\frac{dS_I}{dt} = \frac{\mu_{\max I} S_I X}{Y_I B_I X \left(1 + \frac{S}{BX}\right) + S_I} \quad (27)$$

$$\frac{dX}{dt} = \mu_{\max} \frac{SX}{BX \left(1 + \frac{S_I}{B_I X}\right) + S} + \mu_{\max I} \frac{S_I X}{B_I X \left(1 + \frac{S}{BX}\right) + S_I} - K_d X \quad (28)$$

سیس با استفاده از موازنه جرم حول کل سیستم در شرایط پایا برای سوبسترات، بیومس و سوبسترات ممانعت کننده و بکار بردن فرض های ساده شونده قسمت قبل و جایگزینی روابط سرعت مصرف سوبسترات و بیومس و سوبسترات ممانعت کننده در آنها سه رابطه زیر حاصل شد.

$$X = \frac{(BS_I + SB_I)Q(S_{I0} - S_I)Y_I}{V\mu_{\max I} S_I B_I - BB_I Q(S_{I0} - S_I)Y_I} \quad (29)$$

$$S = \frac{S_0 S_I \left(\frac{B}{B_I}\right) \left(\frac{\mu_{\max I}}{\mu_{\max}}\right) \left(\frac{Y}{Y_I}\right)}{S_{I0} - S_I + S_I \left(\frac{B}{B_I}\right) \left(\frac{\mu_{\max I}}{\mu_{\max}}\right) \left(\frac{Y}{Y_I}\right)} \quad (30)$$

$$\frac{QQ_w (R+1)}{RQ + Q_w} - \left[ \frac{\mu_{\max} S}{BX \left(1 + \frac{S_I}{B_I X}\right) + S} + \frac{\mu_{\max I} S_I}{B_I X \left(1 + \frac{S}{BX}\right) + S_I} - K_d \right] V = 0 \quad (31)$$

پس از آن داده های تجربی سیستم حاوی سولفید با معادلات فوق منطبق گردید. برای انجام این منظور نیاز به حل همزمان معادلات مذکور به روش حدس و خطا بود. نتایج این انطباق در جدول (۳) موجود است.

$$X = \frac{S}{\left[ \frac{V\mu_{\max} S}{YQ(S_0 - S)} - B \right]} \quad (22)$$

$$S = \frac{S_0 YQB(A+1)}{V\mu_{\max} + YQB(A+1)} \quad (23)$$

$$A = \frac{\left[ \frac{QQ_w (R+1)}{V\mu_{\max} (RQ + Q_w)} + \frac{K_d}{\mu_{\max}} \right]}{\left[ 1 - \frac{QQ_w (R+1)}{V\mu_{\max} (RQ + Q_w)} - \frac{K_d}{\mu_{\max}} \right]} \quad (24)$$

برای تعیین مدل مناسب، روابط S، X حاصل شده از هر کدام از مدل ها با داده های تجربی سیستم شاهد که در مبحث قبلی ذکر گردید انطباق داده شد و با یکدیگر مقایسه گردید. برای این انطباق از روش حداقل مربعات خطا با تابع خطای زیر استفاده شد [۷].

$$T = \sum_{i=1}^N [W_1 (S_{pi} - S_{ei})^2 + W_2 (X_{pi} - X_{ei})^2] \quad (25)$$

ضرائبی که برای هر کدام از ترم های خطا در نظر گرفته شده تابع وزن می باشند. نتایج این انطباق و مقایسه مربوطه در جدول (۲) موجود است.

### جدول ۲. تعیین ثابت سینتیکی بهینه و خلاصه ای از نتایج

انطباق مدل های مختلف با داده های تجربی برای سیستم شاهد

نوع مدل	ثوابت سینتیکی بهینه سیستم شاهد	حد اقل مربعات خطا در جداول	آماره واریانس	F آزمون	F 95%	
Monod	$\mu_{\max} = 0.32 \text{ (day)}^{-1}$ $K_S = 160 \text{ (mg/L)}$ $K_d = 0.1 \text{ (day)}^{-1}$ $Y = 0.47$ (mg vss/mg COD)	۲۹۶۶۵	۴	۷۴۴۱/۲۵	۱/۵۸۴۴	۶/۳۹
Two-Phase	$K_S = 0.012$ l/mg.day $K_d = 0.09 \text{ (day)}^{-1}$ $Y = 0.43$ (mg vss/mg COD)	۲۹۷۹۵۵	۵	۵۹۵۹۱	۱/۲۷	۶/۲۶
Teissier	$\mu_{\max} = 0.42 \text{ (day)}^{-1}$ $K_S = 275 \text{ (mg/L)}$ $K_d = 0.1 \text{ (day)}^{-1}$ $Y = 0.47$ (mg vss/mg COD)	۲۹۶۹۷۵	۴	۷۴۴۳/۲۵	۱/۵۸۴۴	۶/۳۹
Contois	$\mu_{\max} = 0.38 \text{ (day)}^{-1}$ $B = 0.1$ $K_d = 0.09 \text{ (day)}^{-1}$ $Y = 0.43$ (mg vss/mg COD)	۱۸۷۴۲۹	۴	۴۶۸۵/۲۵	۱	۱

## ۳. نتیجه گیری

بعنوان نتایج کلی این تحقیق می توان به موارد زیر اشاره کرد :

۱- باید به تدریج و مرحله به مرحله ماده سمی به واحد تصفیه بیولوژیکی افزوده شود تا میکروارگانیسم ها دچار مسمومیت حاد نشده و کار سیستم تصفیه مختل نشود. چنانچه تزریق ماده سمی از غلظتهای کمتر آغاز نشود سیستم دچار شوک شده و منجر به کاهش کارایی فرآیند تصفیه می گردد.

۲- مسئله مهم دیگر پیچیدگی نقش سولفید در فاضلاب است چراکه تحت دو عنوان ایفای نقش می کند هم بعنوان ماده مغذی لازم و ضروری در غلظتهای کمتر از ۱۰ میلی گرم در لیتر برای میکروارگانیسم ها برشمرده می شود و هم در غلظتهای بیشتر به عنوان ممانعت کننده فعالیت باکتریایی محسوب می گردد لذا وجود این دو نوع نقش متفاوت، پیچیدگی آن را بیش از پیش می سازد.

۳- در غلظتهای بین ۷۰-۱۰۰ میلی گرم در لیتر افزودن سولفید به واحد لجن فعال بی تأثیر است هرچند که در ابتدای افزودن سولفید (در هر غلظتی) افتی ناچیز در سیستم مشاهده می گردد اما پس از مدت زمان کوتاهی میکروارگانیسم ها به سولفید خو گرفته و نهایتاً روند بهبود در راندمان حذف COD و سولفید مشاهده میشود.

۴- در غلظتهای بیش از ۷۰ میلی گرم در لیتر به تدریج آثار ممانعت کنندگی ظاهر می شود به طوریکه این آثار توسعه می یابد و در نهایت قرائن سمیت مزمن بروز می کند و سبب اختلال در تصفیه بیولوژیکی می گردد. (پساب کدرتر با TSS بیشتر ، COD و سولفید خروجی بیشتر می شود).

۵- غلظت ۱۰۰ میلی گرم در لیتر سولفید نقطه مرگ میکروارگانیسم ها برشمرده می شود (البته با فاضلاب سنتزی شامل ملاس و اوره و فسفات هیدروژن دی آمونیم با COD متوسط ۱۰۰۰ میلی گرم در لیتر و زمان ماند هیدرولیکی ۴۸ ساعت).

۶- راندمان حذف سولفید ۹۷٪ است و محصول نهائی اکسیداسیون سولفید لجن فعال سولفات می باشد.

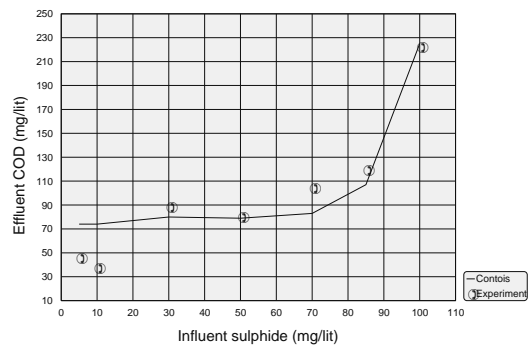
۷- ضرایب سینتیکی بدست آمده و همچنین شبیه سازی کامپیوتری این تحقیق ، در شرایط عملیاتی مشابه قابل استفاده است در صورت تغییر در شرایط عملیاتی می توان ثوابت سینتیکی را با شرایط جدید ، انطباق داد.

۸- با استفاده از معادلات حاصل از شبیه سازی همچنین می توان عملکرد سیستم را در مواردی دیگر از جمله تغییر زمان اقامت ، تغییر COD پساب ورودی و غیره پیش بینی نمود . به عنوان مثال اثرات غلظت سولفید ورودی بر COD خروجی در زمان اقامتهای مختلف با COD ورودی ۱۰۰۰ میلی گرم در لیتر در نمودار (۱۱) نمایش داده شده است.

## جدول ۳. ضرایب سینتیکی بهینه مدل کن تویس

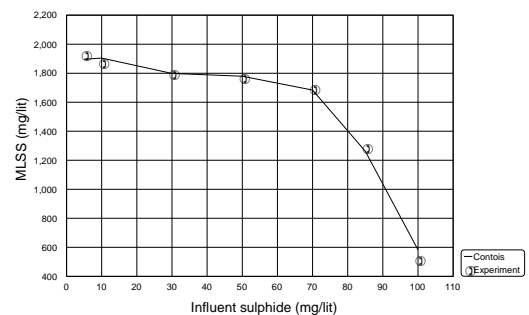
سیستم حاوی سولفید	شاهد
$\mu_{maxI} = 0.19 \text{ (day}^{-1}\text{)}$	$\mu_{maxI} = 0.38 \text{ (day}^{-1}\text{)}$
$B_I = 0.04$	$B = 0.1$
$Y_I = 0.41$	$Y = 0.43$
mg vss/mg COD	mg vss/mg COD
	$K_d = 0.09 \text{ (day}^{-1}\text{)}$

در شکل های ۹ و ۱۰ معادله پیشنهادی با داده های تجربی مقایسه شده است و همانطور که ملاحظه می شود معادله با نتایج تجربی انطباق مناسبی دارد.



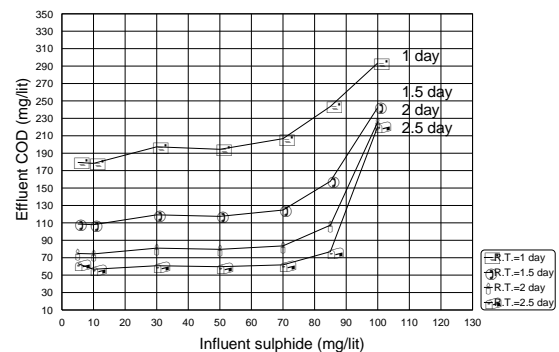
شکل ۹. مقایسه COD خروجی مدل کن تویس با نتایج

تجربی سیستم حاوی سولفید



شکل ۱۰. مقایسه MLSS خروجی مدل کن تویس با نتایج

تجربی سیستم حاوی سولفید



شکل ۱۱. تأثیر تغییرات زمان اقامت بر COD خروجی، در

صورتیکه COD ورودی مدل برابر COD نتایج تجربی باشد

(کیلوگرم سوبسترات ممانعت کننده مصرف شده/کیلوگرم بیومس تولید شده)

### فهرست علائم یونانی

$\mu$  ثابت رشد ویژه یا ثابت میزان رشد بر حسب عکس زمان  
 $\mu_{max}$  ثابت رشد ماکزیمم بر حسب عکس زمان  
 $\mu_{maxI}$  ثابت رشد ماکزیمم برای جزء ممانعت کننده بر حسب عکس زمان

### مراجع

- [۱] یوسفی، ذبیح الله، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، گروه بهداشت محیط، سال ۱۳۷۱.
- [2] Buisman, Cees, J., Wit, Ben, Lethinga, Gatz, *Biotechnological Sulphide Removal in Three Polyurethane Carrier Reactors : Stirred Reactor, Biorotor and up Flow Reactor*, Wat. Res., Vol. 24, No. 2, 1990, pp 245-251 .
- [3] White, G.C., *Hand Book of Chlorination*, Van nostrand reinhold Company, New York, 1986, pp. 402-408, 360-365 .
- [4] Metcalf, eddy, Inc. *Wastewater Engineering Treatment Disposal Reuse*, Mc Graw Hill, New York, USA, 1991.
- [5] Eckenfelder Jr., WW. *Industrial water Pollution control*, Mc Grow Hill, New York, USA, 1989.
- [6] Qasim, *Waste Water Treatment Plants*, Plants, design, operation, The university of texas at Arlington 4Th edition, CBS International editions, 1985 .
- [7] Chiu, S.Y., Erickson, L.E., & Fan, L.T., *Kinetic Model Identification in Mixed Populations Using Continuous Culture Data*, Biotechnology and bioengineering, Vol. 14, 1972, pp. 207-231.
- [8] Orthon, D., Artan, N., *Modelling of Activated Sludge Systems*. Technomic publishing co. Inc, 1994.
- [9] Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA, AWWA, WPCF, Washington D.C. 1989.

### فهرست علائم

$B$	ثابت سینتیکی مدل کن تویس
$B_I$	ثابت سینتیکی مدل کن تویس برای جزء ممانعت کننده
$ds/dt$	سرعت تغییر سوبسترات در تانک هوادهی بر حسب (زمان/حجم/جرم)
$dS/dt$	سرعت تغییر سوبسترات ممانعت کننده بر حسب (زمان/حجم/جرم)
$dX/dt$	سرعت تغییر غلظت بیومس در تانک هوادهی بر حسب (زمان/حجم/جرم)
$r_g$	سرعت رشد بیومس که بعلت خودخوری میکروارگانیسمها عمدتاً به $r_g'$ یعنی سرعت رشد ظاهری تغییر می کند.
$r_{su}$	سرعت مصرف سوبسترات
$K$	ثابت سینتیکی در مدل دو فازی بر حسب (زمان/حجم/جرم)
$K_S$	ثابت نیمه اشباع بر حسب (حجم/جرم)
$K_d$	ثابت خودخوری بر حسب عکس زمان
$Q$	دبی حجمی فاضلاب ورودی بر حسب (زمان/حجم)
$Q_w$	دبی حجمی لجن دفعی بر حسب (زمان/حجم)
$Q_r$	دبی حجمی جریان بازگشتی فاضلاب بر حسب (زمان/حجم)
$R$	نسبت بازگشتی $Q_r/Q$
$S_o$	غلظت سوبسترات ورودی بر حسب (حجم/جرم)
$S$	غلظت سوبسترات خروجی و تانک هوادهی بر حسب (حجم/جرم)
$S_I$	غلظت سوبسترات ممانعت کننده بر حسب (حجم/جرم)
$S_{I0}$	غلظت اولیه سوبسترات ممانعت کننده بر حسب (حجم/جرم)
$S_{ei}$	غلظت سوبسترات داده تجربی بر حسب (حجم/جرم)
$S_{pi}$	غلظت سوبسترات پیش بینی شده توسط معادله بر حسب (حجم/جرم)
$V$	حجم تانک هوادهی
$W_2, W_I$	توابع وزن
$X_o$	غلظت میکروارگانیسم ها در ورودی بر حسب (حجم/جرم)
$X_e$	غلظت میکروارگانیسم های خروجی بر حسب (حجم/جرم)
$X_{ei}$	غلظت بیومس داده تجربی بر حسب (حجم/جرم)
$X_{pi}$	غلظت بیومس پیش بینی شده توسط معادله که تابعیتی از ثوابت معادل را داراست .
$X_r$	غلظت میکروارگانیسم ها در جریان بازگشتی بر حسب (حجم/جرم)
$X$	غلظت میکروارگانیسم های تانک هوادهی بر حسب (حجم/جرم)
$Y$	ضریب بازدهی (کیلوگرم سوبسترات مصرف شده/کیلوگرم بیومس تولید شده)
$Y_I$	ضریب بازدهی جزء ممانعت کننده بر حسب