

## بهینه سازی پارامترهای مؤثر بر حذف بیولوژیکی غلظت های بالا از فلزات مس II و نیکل II با استفاده از راکتورهای ناپیوسته با عملیات متوالی (SBR)

مرتضی خسروی<sup>۱</sup>  
محمد ربانی<sup>۲</sup>  
رضا مرندي<sup>۲</sup>  
محمد رضا اله قلی قصری<sup>۳\*</sup>  
محمد جواد ابراهیمی زرندي<sup>۴</sup>

تاریخ پذیرش: ۸۶/۴/۲

تاریخ دریافت: ۸۶/۱/۱۵

### چکیده

در این تحقیق درمورد بهینه سازی پارامترهای  $pH$ ، حجم لجن فعال، گستره غلظت و دبی در فرایند حذف بیولوژیکی فلزات سنگین مس و نیکل در محلول های آبی انجام گرفته است.

شرایط حذف فلزات فوق در حضور لجن فعال تصفیه خانه قیطره تهران و هوادهی توام با اختلاط مورد بررسی قرار گرفت و پارامترهای  $pH$   $8 \pm 0.3$ ، حجم لجن ۳۰٪، گستره غلظت مس II  $1200 - 800 \text{ mg/L}$  و نیکل II  $1000 - 800 \text{ mg/L}$  تعیین گردید.

برای حذف بیولوژیکی مخلوط مس II و نیکل II با غلظت  $1000 \text{ mg/L}$  از سه راکتور ناپیوسته متوالی از جنس پلکسی گلاس با حجم کل ۲۴ لیتر و حجم لجن ۳۰٪ در شرایط  $pH$   $8 \pm 0.3$  و غلظت اکسیژن محلول  $8 - 6 \text{ mg/L}$  استفاده شده است و عملیات تصفیه در دبی  $80 \text{ ml/min}$ ،  $60$ ،  $40$  با آرایش حجمی لجن در راکتورهای (۱ و ۲ و ۳) به ترتیب (۱/۲ و ۲/۵ و ۳/۵) لیتر مورد بررسی قرار گرفته است. در دبی بهینه  $40 \text{ ml/min}$  (زمان کل فرایند ۷ ساعت) و شاخص حجمی لجن<sup>۵</sup>  $62 \text{ ml/g (SVI)}$ ؛ حذف مس II و نیکل II به ترتیب ۹۹/۷۴، ۹۲/۴ درصد و کاهش  $BOD_5$  و  $COD$  به ترتیب ۸۱/۶۵، ۷۸/۱۳ درصد بوده است.

واژه های کلیدی: بهینه سازی، حذف بیولوژیکی، مس II، نیکل II، راکتورهای ناپیوسته با عملیات متوالی

۱- استاد، دانشکده شیمی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال

۲- استادیار، دانشکده شیمی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال

۳- استادیار، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد شهرری\* (مسئول مکاتبات)

۴- کارشناس ارشد شیمی کاربردی، دانشکده شیمی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال

## مقدمه

به طور عمده مصرف سوخت های فسیلی در صنایع مختلف و سوزاندن مواد زاید باعث انتشار فلزات سنگین از جمله نیکل در محیط زیست می گردد ، منابع تولید پساب نیکل و مس شامل فرایندهای ذوب فلزات و معادن ، صنایع آبکاری ، تولید باتری های نیکل و کادمیوم ، استفاده از کاتالیزورهای آلی فلزی در پالایشگاه ها ، پساب حاصل از شستشوی شیمیایی کوره ها در صنایع نیروگاهی و ... است.

پساب های حاوی مس و نیکل می تواند باعث آلوده ساختن منابع آب های سطحی و زیرزمینی، از بین رفتن آبزیان و گیاهان و به خطر انداختن سلامت جوامع انسانی شود.

سمیت نیکل سبب بروز مشکلات آلرژی، سرطان زایی و اختلالات تنفسی و جذب زیاد مس در انسان باعث خوردگی شدید مخاطی، آسیب گسترده مویرگی و تغییرات نکروتیک کبدی و کلیوی و افسردگی می شود (۱).

تصفیه پساب های مس و نیکل از روش های مختلفی از جمله تبادل یونی، اولترا فیلتراسیون، راسب سازی الکتروشیمیایی و جاذب های سطحی قابل انجام می باشد که از نظر اقتصادی مقرون به صرفه نیست. اگرچه راسب سازی شیمیایی در مقایسه با سایر روش ها ارزان تر است اما دارای پیچیدگی های خاص خود در زمان عملیات می باشد و در صورتیکه از موادی همچون آهنک استفاده شود، حجم لجن تولیدی زیاد خواهد بود و لجن در ساختار خود مقدار زیادی آب تصفیه شده را نگه می دارد که این موارد می تواند کارایی سیستم را تا حدی تقلیل دهد. همچنین جاذب های سطحی همچون کربن اکتیو ، سبوس فعال شده برنج و شن، درعین حال که هر یک از این روش ها مزایای خاص خود را دارد، اما امکان استفاده از آن ها در مقیاس صنعتی و غلظت های بالا ضعیف می باشد (۲، ۳ و ۴)

روش های بیولوژیکی بر اساس فعالیت میکرو ارگانیسم ها استوار است و می توان از یک نوع به خصوص از باکتری و یا مخلوطی از باکتری ها، قارچ ها، پروتوزوئرها، مژک داران و ... (لجن فعال) استفاده کرد(۵) در مواردی مشاهده شده

است که باکتری پسدوموناس و استافیلوکوکوس گرم مثبت برای تصفیه فلزات مس و نیکل به کار رفته است ( ۶ و ۷).

با توجه به وجود این میکرو ارگانیسم ها در لجن فعال سیستم تصفیه فاضلاب شهری و نهایتاً تخلیه آن ها، استفاده از این لجن فعال جهت تصفیه بیولوژیکی می تواند مقرون به صرفه باشد.

سازوکار عمل حذف بیولوژیکی با لجن فعال بر اساس پدیده فیزیکوشیمیایی استوار است که فرایندهای جذب سطحی و تجزیه بیولوژیکی در حذف فلزات سنگین اتفاق می افتد (۸). استفاده از راکتورهای ناپیوسته متوالی شامل پنج مرحله پرشدن، واکنش، ته نشینی، تخلیه و سکون است که همواره رو به پیشرفت بوده است.

به عبارت دیگر مراحل متعادل سازی و هوادهی و شفاف سازی در هر راکتور انجام می شود که این موضوع می تواند از مزایای این روش باشد و برای افزایش کارایی سیستم تصفیه از دو یا چند راکتور می توان استفاده کرد (۹).

شرایط مساعد جهت رشد و نمو میکروارگانیسم ها ۶-۹ pH ، ۴۰-۶۰ ml/g SVI و دمای ۲۵ °C می باشد و همچنین SVI بالاتر از ۱۵۰ ml/g باعث اختلال در عملکرد تصفیه و بروز پدیده بالکینگ می شود (۱۰).

در این تحقیق هدف از بهینه سازی فرایند حذف بیولوژیکی با استفاده از راکتورهای ناپیوسته با عملیات متوالی شامل: الف- یافتن محدوده مناسب غلظت حذف فلزات و شرایط عملیاتی همچون دما، دبی و حجم لجن. ب- کاهش زمان عملیات. ج- افزایش کارایی و قابلیت صنعتی تا با صرف نظر از مرحله ته نشینی و سکون عملیات ساده تر و در فضای کمتری انجام پذیرد.

## مواد ، وسایل و روش کار

الف - مواد شیمیایی :

۱- نمک  $Cu(NO_3)_2 \cdot 3H_2O$  ( خلوص ۹۹/۹۹٪ ) -

شرکت MERCK

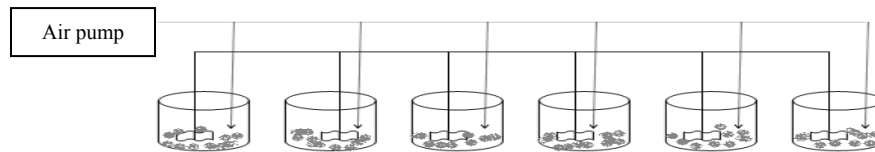
ج- روش کار :

- ۱- ده لیتر لجن فعال خط برگشت تصفیه خانه قیطره تهران تهیه و نمک های پتاسیم دی هیدروژن فسفات ( ۲۰ g )، آمونیوم نترات ( ۲۰ g )، ساکارز ( ۳۰ g ) جهت تغذیه و رشد میکرو ارگانیسم به آن افزوده شد و سپس به مدت ۲۴ ساعت هوادهی با استفاده از سه پمپ ( ۷/۵ × ۳ ) lit/min صورت گرفت که در مراحل بهینه سازی با هوادهی و اختلاط مورد استفاده قرار گیرد. ۴۴ لیتر لجن فعال با مقدار ۴ برابر از نمک های فوق نیز به مدت ۲۴ ساعت هوادهی شده تا در مراحل تصفیه با راکتورهای ناپیوسته متوالی به کار گرفته شود.
- ۲- از نمک های مربوطه غلظت ۱۵۰ mg/L مس II و نیکل II به طور مجزا برای استفاده در مراحل بهینه سازی ( غلظت و pH ) در طی تحقیقات تهیه شده است.
- ۳- عمل اختلاط (جارتست) و هوادهی (۲ پمپ آکواریوم) محلول های ۱۵۰ mg/L مس II و نیکل II به طور جداگانه در حضور ۳۷/۵٪ لجن فعال انجام گرفت و اختلاط تند و کند توام با هوادهی به ترتیب در ۱۵۰ و ۷۰ (دور در دقیقه) به مدت ۹۰ و ۳۰ دقیقه با هدف مقایسه اثر pH های مختلف بر حذف بیولوژیکی فلزات در pH های ۵، ۶، ۷، ۷/۵، ۸، ۹ و تعیین pH بهینه انجام پذیرفت (شکل ۱).

- ۲- نمک  $Ni(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$  ( خلوص ۹۹/۹۹٪ ) - شرکت Fluka
- ۳- محلول اسید سولفوریک (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) (۰/۰۱ نرمال) - شرکت MERCK
- ۴- محلول سود (NaOH) (۰/۰۱ نرمال) - شرکت MERCK
- ۵-  $KH_2PO_4$  (۹۹/۹۹٪) - شرکت MERCK
- ۶-  $NH_4NO_3$  (۹۹/۹۹٪) - شرکت MERCK

ب - وسایل :

- ۱- سه دستگاه راکتور ناپیوسته متوالی از جنس پلکسی گلاس به ابعاد ( ۲۵ × ۲۰ × ۲۰ ) cm .
- ۲- پمپ آکواریوم با خروجی هوا ( ۷/۵ lit Air/min ) و دیفیوزرهای هوادهی
- ۳- دستگاه جارتست - شرکت زاگ شیمی
- ۴- pH متر ( HORIBA, F - 12 )
- ۵- اکسیژن سنج ( luttron - oxygen meter - 55 )
- ۶- ظروف شیشه ای وینکلر و انکوباتور
- ۷- دستگاه اسپکتروفتومتر ( COD , Dr2500-Hach ) (Reactor)
- ۸- دستگاه جذب اتمی (مدل 932 plus) ساخت کمپانی GBC کشور استرالیا



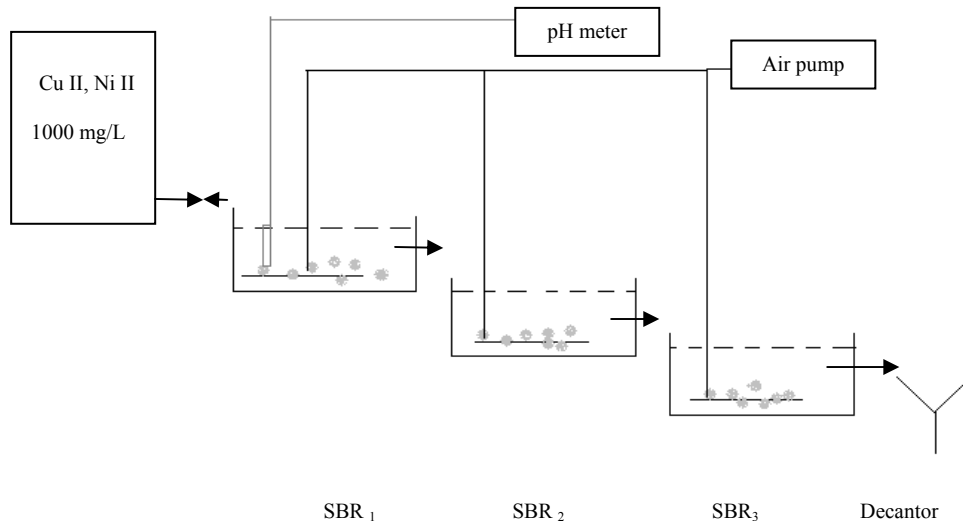
شکل ۱ - طرح شماتیک عمل اختلاط و هوادهی جهت بهینه سازی (pH، حجم لجن و دامنه غلظت)

۶- طبق شرایط آزمایش های قبل حجم لجن ۳۰٪ و  $\text{pH } 8 \pm 0.3$  بیشترین غلظت قابل حذف فلزات به طور مجزا تعیین گردیده و در این مرحله مخلوط دو فلز با غلظت  $1000 \text{ mg/L}$  تحت عملیات تصفیه قرار گرفته است تا وضعیت SVI و درصد حذف فلزات در حالت مخلوط نیز بررسی گردد.

۷- طی مراحل ۶-۱ تحت اختلاط و هوادهی پارامترهای بهینه  $\text{pH } 8 \pm 0.3$ ، حجم لجن ۳۰٪، غلظت قابل حذف  $1000 \text{ mg/L}$  نیکل II و مس II و SVI مناسب حاصل شده است. استفاده از نتایج فوق در تصفیه بیولوژیکی به وسیله راکتور ناپیوسته متوالی در دبی های  $40, 60, 80 \text{ ml/min}$  مورد تحقیق قرار گرفت (شکل ۲).

۴- پس از تعیین  $\text{pH}$  بهینه ( $8 \pm 0.3$ ) در مرحله قبل مقادیر با مقدار لجن فعال ۵۰ - ۱۰٪ حجمی (نسبت به حجم کل مخزن اختلاط) تهیه شده است. محلول های مس II و نیکل II  $150 \text{ mg/L}$  در حضور لجن به طور مجزا تحت اختلاط و هوادهی قرار گرفته و مقدار لجن فعال مناسب تعیین گردیده است.

۵- غلظت های  $200, 400, 600, 1000, 1200 \text{ mg/L}$  نیکل II و مس II از نمک های مربوطه ساخته شده است. حجم لجن ۳۰٪ (تعیین شده از مرحله قبل) تحت هوادهی و اختلاط قرار گرفته که بدین ترتیب دامنه غلظت مناسب فلزات مذکور جهت حذف بیولوژیکی بر اساس مقادیر SVI و درصد حذف تعیین گردید.



شکل ۲ - طرح شماتیک حذف فلزات مس و نیکل II با استفاده از راکتورهای ناپیوسته با عملیات متوالی

#### نتایج

الف - با توجه به آزمایش های انجام شده در محدوده ۵ - ۹ pH و درصد حذف بیولوژیکی فلزات مس II و نیکل II در شاخص حجمی لجن، pH مناسب  $8 \pm 0.3$  بدست آمده است.

همچنین بر اساس مقایسه نتایج نمونه شاهد (فلزات مس II و نیکل II بدون حضور لجن فعال) و با حضور لجن فعال مشاهده می شود که با افزایش pH، درصد حذف بیولوژیکی کاهش و درصد حذف شیمیایی افزایش داشته است. در  $pH = 8$  حذف مس  $98/73\%$  بوده که سهم راسب سازی  $45\%$  و صرفاً فعالیت میکرو ارگانیسم  $53/73\%$  است. در  $pH = 9$  حذف مس  $96/58\%$  و حذف با استفاده از راسب سازی  $85\%$  و بیولوژیکی  $11/58\%$  می باشد. با توجه به دامنه مناسب pH که برای فعالیت لجن فعال (۹ - ۶) در نظر گرفته شده است در

$pH = 9$  امکان مسمومیت یا اختلال برای میکرو ارگانیسم ها وجود خواهد داشت (جدول ۱ و نمودار ۱). همچنین این روند برای نیکل نیز قابل مشاهده است (جدول ۲). کاهش بار

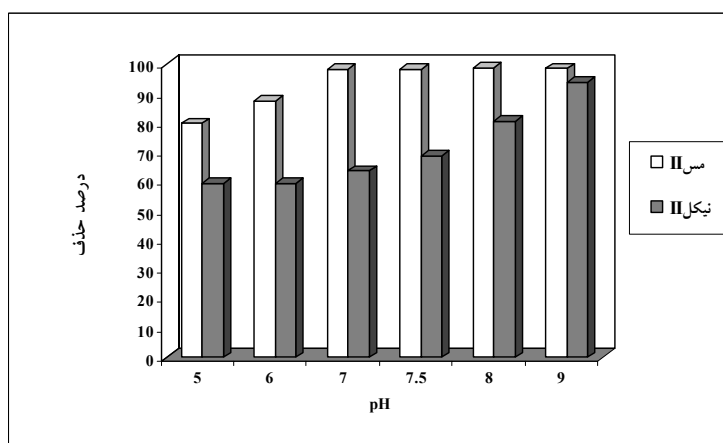
سه راکتور به طور متوالی با حجم لجن  $30\%$  (نسبت به حجم کل راکتورها) و آرایش حجمی لجن در راکتورهای ۱، ۲ و ۳ به ترتیب  $3/5$ ،  $2/5$ ،  $1/2$  لیتر قرار گرفته اند. در غلظت اکسیژن محلول  $8-6 \text{ mg/L}$  و دمای  $3 \pm 25^\circ \text{C}$  پساب ابتدا وارد راکتور ۱ شده و پس از پر شدن وارد راکتور ۲ و به همین ترتیب راکتور ۳ مخزن ته نشین ساز خواهد شد. که مخزن ته نشین ساز پس از پر شدن شامل دو فاز می باشد، فاز رویی پساب تصفیه شده و قابل تخلیه و فاز زیرین توده های میکروبی است. زمان عملیات هر راکتور شامل مرحله پر شدن، واکنش و تخلیه به راکتور بعدی می باشد.

- آزمایش COD بر پایه روش استاندارد (Dr 2500 - Hach) و سایر آزمایش ها بر اساس (Standard methods - 1992) انجام یافته است (۱۱).
- و عملیات تصفیه در هر دبی دو مرتبه تکرار شده و اندازه گیری مقادیر پارامترهای شیمیایی بر اساس سه بار تکرار آزمایش، گزارش شده است.

آلودگی به دلیل کوتاه بودن زمان ماند واکنش، مطلوب نبوده است.

جدول ۱ - تغییرات درصد حذف مس II ( ۱۵۰ mg/L ) در pH های مختلف

پارامتر	pH	۵	۶	۷	۷/۵	۸	۹
SVI (ml/g)		۹۳/۳۷	۹۲/۳	۹۰	۹۳/۴۸	۶۳	۱۱۱/۵
MLSS (mg/L)		۱۳۶۸	۱۳۰۰	۱۲۴۴	۱۱۹۸	۱۷۷۸	۱۲۵۶
BOD <sub>5</sub> (mg/L)		۱۹۶/۵	۲۱۴/۶	۲۱۴	۲۱۸/۳	۲۱۹	۲۲۸
COD (mg/L)		۳۰۲/۳	۳۳۰	۳۳۰	۳۳۵/۸	۳۴۰	۳۵۰/۸
درصد کاهش مس II		۷۹/۸	۹۷/۴۲	۹۸/۵	۹۸/۱۵	۹۸/۷۳	۹۶/۵۸
درصد کاهش مس II بدون حضور لجن فعال		*	*	۲۸	۳۰	۴۵	۸۵



نمودار ۱ - درصد حذف فلزات مس II و نیکل II ( ۱۵۰ mg/L ) در pH های مختلف

جدول ۲ - تغییرات درصد حذف نیکل II ( ۱۵۰ mg/L ) در pH های مختلف

پارامتر	pH	۵	۶	۷	۷/۵	۸	۹
SVI (ml/g)		۴۶/۲۶	۱۹	۱۴	۱۵/۶۱	۳۹/۷۳	۶۸/۱۴
MLSS (mg/L)**		۳۸۷۴	۴۰۲۰	۵۴۰۰	۵۳۸۰	۲۱۱۴	۲۷۸۸
BOD <sub>5</sub> (mg/L)		۱۹۰	۲۰۰	۲۱۶	۲۱۰	۲۱۸	۲۱۹/۷
COD (mg/L)		۲۹۲/۳	۳۰۷/۷	۳۲۷/۲	۳۲۵	۳۳۰	۳۳۸
درصد کاهش نیکل II		۵۹/۲۴	۵۹/۹	۶۳/۵۷	۶۸/۷	۸۰/۵۳	۹۴
درصد کاهش نیکل II بدون حضور لجن فعال		*	*	۲۰	۲۷	۲۸	۷۸

\* حذف بیولوژیکی مشاهده نشده است.

\*\* Mixed liquor suspended solid

SVI مناسب تر حجم بهینه لجن ۳۰٪ تعیین گردید. در حذف مس II و نیکل II مقادیر SVI به ترتیب ۵۰ و ۵۷ ml/g بوده است (جدول ۳).

ب) در مقادیر حجمی ۵۰ - ۱۰٪ (حجم لجن فعال نسبت به حجم کل مخزن واکنش) مقدار ۴۰ - ۳۰٪ لجن فعال کارایی خوبی خواهد داشت. با توجه به حجم لجن مصرفی کمتر و

جدول ۳ - تغییرات درصد حذف فلزات نیکل و مس (۱۵۰ mg/L) در حجم های مختلف لجن

پارامتر	درصد لجن	۱۰٪	۲۰٪	۳۰٪	۴۰٪	۵۰٪
درصد حذف نیکل II		۴۶	۵۱/۳۳	۷۱	۷۳	۷۵/۷
(mg/L) MLSS		۳۹۸	۷۴۵	۱۵۵۰	۱۸۷۰	۲۰۳۰
( ml/g ) SVI		۱۵۲/۴	۱۱۰/۸۱	۵۷	۷۳	۸۲/۵
درصد حذف مس II		۷۳	۸۸	۹۲/۳	۹۹/۴	۹۹/۷
(mg/L) MLSS		۴۵۷	۷۶۵	۱۴۵۶	۱۸۴۰	۲۱۰۰
( ml/g ) SVI		۱۰۰	۷۵	۵۰	۵۳	۵۸/۳

مس II از غلظت ۱۲۰۰ - ۶۰۰ mg/L حذف بالای ۹۹٪ و دامنه SVI ۶۳ ml/g - ۴۰/۷۲ بوده است (جدول ۴).

ج - مقادیر مختلف غلظت های مس و نیکل در  $pH 8 \pm 0.3$  و حجم لجن فعال ۳۰٪ مورد بررسی قرار گرفت. در مورد فلز

جدول ۴ - تغییرات غلظت Cu در شرایط بهینه لجن ۳۰٪ و  $pH (8 \pm 0.3)$

پارامتر	غلظت (mg/L)	۲۰۰	۴۰۰	۶۰۰	۸۰۰	۱۰۰۰	۱۲۰۰
( mg/L ) MLSS		۱۲۶۰	۱۶۵۰	۱۸۳۰	۲۲۹۰	۲۷۶۲	۳۰۶۰
( ml/g ) SVI		۷۶/۵	۷۶	۶۵/۳	۶۳	۵۷/۵۲	۴۰/۷۲
درصد کاهش مس		۹۸/۹۶	۹۸/۶۴	۹۹/۰۱	۹۹/۲۳	۹۹/۴	۹۹/۵۸

غلظت ۱۲۰۰ mg/L جهت افزایش درصد حذف بیولوژیکی حجم لجن فعال ۳۰٪ چندان کافی نمی باشد (جدول ۵).

حذف بیولوژیکی نیکل II در غلظت ۱۰۰۰ - ۸۰۰ mg/L و دامنه SVI ۶۰/۳ - ۵۱/۲ ml/g بیش از ۸۲٪ بوده و در غلظت های ۱۰۰۰ - ۶۰۰ mg/L با کاهش SVI درصد حذف افزایش داشته و در غلظت ۴۰۰ - ۲۰۰ mg/L نیکل II ، مقدار لجن فعال نسبت به مقدار یون فلز بیشتر است و SVI بالا باعث اختلال در حذف بیولوژیکی و ته نشینی توده های بیولوژیکی<sup>۱</sup> و در نهایت کاهش درصد حذف شده است. در

جدول ۵ - تغییرات غلظت Ni در شرایط بهینه لجن ۳۰٪ و (۸ ± ۰/۳) pH

غلظت (mg/L)	۲۰۰	۴۰۰	۶۰۰	۸۰۰	۱۰۰۰	۱۲۰۰	پارامتر
(mg/L) MLSS	۹۳۰	۹۸۰	۱۳۳۸	۱۷۹۲	۱۹۹۲	۲۰۵۰	
(ml/g) SVI	۱۴۲/۳	۱۲۰/۵	۷۸/۵	۶۰/۳	۵۱/۲	۶۱	
درصد کاهش نیکل	۷۲/۲۵	۷۰/۷	۷۶/۵	۸۲	۸۴/۲	۷۹	

د - آزمایش های انجام گرفته با استفاده از اختلاط و هوادهی در مراحل فوق بر روی دو فلز مذکور به طور مجزا انجام یافته و در این مرحله مخلوط مس II و نیکل II در شرایط بهینه سازی و هر یک با غلظت ۱۰۰۰ mg/L مورد آزمایش قرار گرفته که درصد حذف بیولوژیکی مس II ۹۹/۶٪، نیکل II ۸۷٪ و SVI ۵۰ ml/g بدست آمد.

ه - تصفیه بیولوژیکی با استفاده از سه راکتور ناپیوسته با عملیات متوالی در دبی های (۴۰، ۶۰، ۸۰، ۱۰۰) ml/min و غلظت ۱۰۰۰ mg/L مس II و نیکل II صورت پذیرفت (جدول ۶).

جدول ۶ - تغییرات حذف بیولوژیکی ۱۰۰۰ mg/L مس و نیکل II در دبی های مختلف در هر راکتور

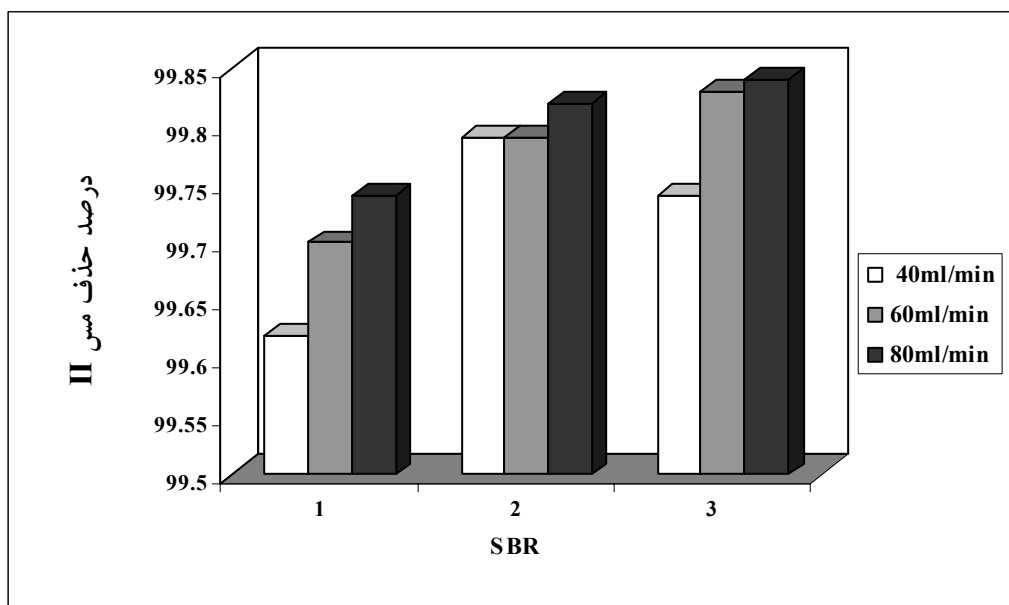
پارامتر	مخلوط مس و نیکل در حضور لجن فعال	دبی ۴۰ ml/min			دبی ۶۰ ml/min			دبی ۸۰ ml/min		
		SBR <sub>1</sub>	SBR <sub>2</sub>	SBR <sub>3</sub>	SBR <sub>1</sub>	SBR <sub>2</sub>	SBR <sub>3</sub>	SBR <sub>1</sub>	SBR <sub>2</sub>	SBR <sub>3</sub>
زمان (ساعت)	—	۱/۸۷	۲/۳	۲/۸۳	۱/۲۵	۱/۵۲	۱/۸۸	۰/۹۳	۱/۱۴	۱/۴۱
(mg/L) MLSS	۳۱۱۰	۲۵۴۶	۳۳۹۲	۳۰۹۰	۲۴۰۰	۳۳۶۰	۲۹۵۰	۲۴۵۰	۳۲۰۰	۲۸۰۰
(ml/g) SVI	۱۳۲	۱۰۰	۷۸	۶۲	۹۶	۷۵	۷۰	۹۸	۸۲	۷۸
(mg/L) Ni	۱۰۰۰	۲۱۷/۷	۷۷/۱	۷۶	۲۰۵	۷۳	۷۰	۲۰۲/۵	۶۸/۷	۶۷
(mg/L) Cu	۱۰۰۰	۳/۷۳	۲/۰۳۷	۲/۵۶	۳	۲/۱	۱/۶۷	۲/۵۲	۱/۸	۱/۵۶
(mg/L) BOD <sub>5</sub>	۲۱۸	۴۳/۲	۴۵/۴	۴۰	۹۵	۹۲/۵	۹۰	۱۳۰	۱۲۸	۱۲۳
(mg/L) COD	۳۴۳	۲۱۵	۹۶/۳	۷۵	۲۷۰	۱۶۵	۱۵۸	۲۰۵	۱۹۸/۵	۱۹۸

- زمان عملیات در هر راکتور شامل پرشدن، واکنش و تخلیه می باشد.
- زمان کل فرایند در دبی های ۴۰، ۶۰، ۸۰ ml/min به ترتیب ۳/۵، ۴/۶۵ و ۷ ساعت است.

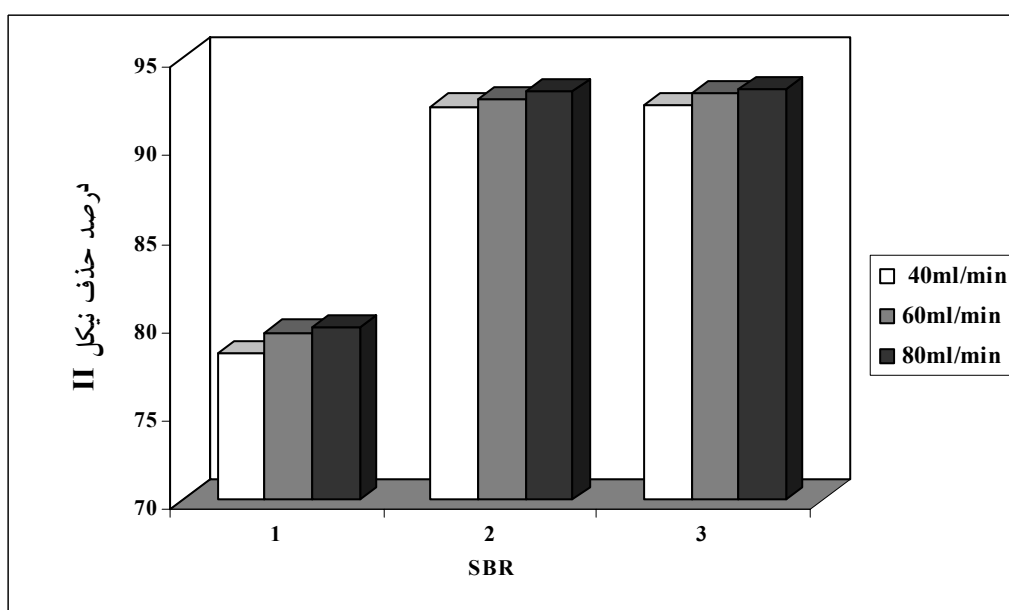
حذف مس II بیش از نیکل II بوده و در دبی های مورد آزمایش این موضوع تکرار شده است و به نوعی بیانگر انعطاف پذیری مس II در حذف بیولوژیکی می باشد.

درصد حذف فلزات مس II و نیکل II خروجی از SBR<sub>3</sub> در تمامی دبی های مورد آزمایش به ترتیب بیش از ۹۹٪، ۹۲٪ بوده است ( نمودار ۲ و ۳). همان گونه که مشهود است درصد





نمودار ۲ - درصد حذف مس II در هر راکتور بر اساس دبی های مختلف



نمودار ۳ - درصد حذف نیکل II در هر راکتور بر اساس دبی های مختلف

لجن در هر دو دبی، کارایی  $SBR_3$  جهت حذف مس در دبی  $40 \text{ ml/min}$  نسبت به  $60 \text{ ml/min}$  کمتر شده است. علت را می توان زمان عملیات بیشتر در این راکتور دانست که امکان آزاد شدن بخشی از فلزات جذب شده از سطح توده های بیولوژیکی وجود دارد. مشاهده می شود که با کاهش زمان و افزایش دبی راندمان حذف افزایش داشته و با توجه به هدف

طبق نتایج (جدول ۶، نمودار ۲) عملکرد  $SBR_2$  جهت حذف مس II در دبی  $40 \text{ ml/min}$  بهتر از دبی  $60 \text{ ml/min}$  بوده اما خروجی  $SBR_3$  با دبی  $60 \text{ ml/min}$  حذف  $99/83\%$  و در دبی  $40 \text{ ml/min}$ ،  $99/74\%$  داشته است. زمان پر شدن و خروج پساب از  $SBR_3$  در دبی  $40$  و  $60 \text{ ml/min}$  به ترتیب  $2/83$  و  $1/88$  ساعت بوده است. با توجه به ثابت بودن حجم

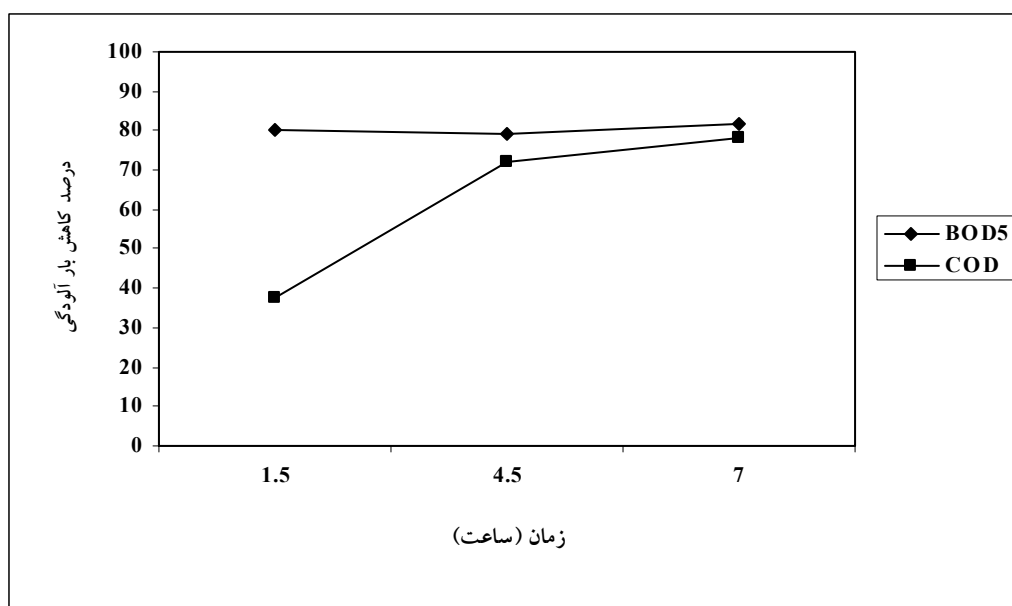
و - کاهش بار آلودگی به ترتیب در دبی های ۸۰، ۶۰، ۴۰ و با کاهش دبی رو به افزایش بوده است (جدول ۶).  
در دبی ۶۰ و ۸۰ ml/min کاهش بار آلودگی چندان قابل توجه نبوده که دلیل آن را کمتر بودن زمان ماند و عدم کارایی میکرو ارگانیسم در تجزیه بیولوژیکی نسبت به زمان واکنش می توان دانست (نمودار ۴، ۵، ۶).

تسریع در فرایند تصفیه و روند حذف فلزات با کاهش زمان، دبی های کمتر از ۴۰ ml/min مورد بررسی قرار گرفته است.

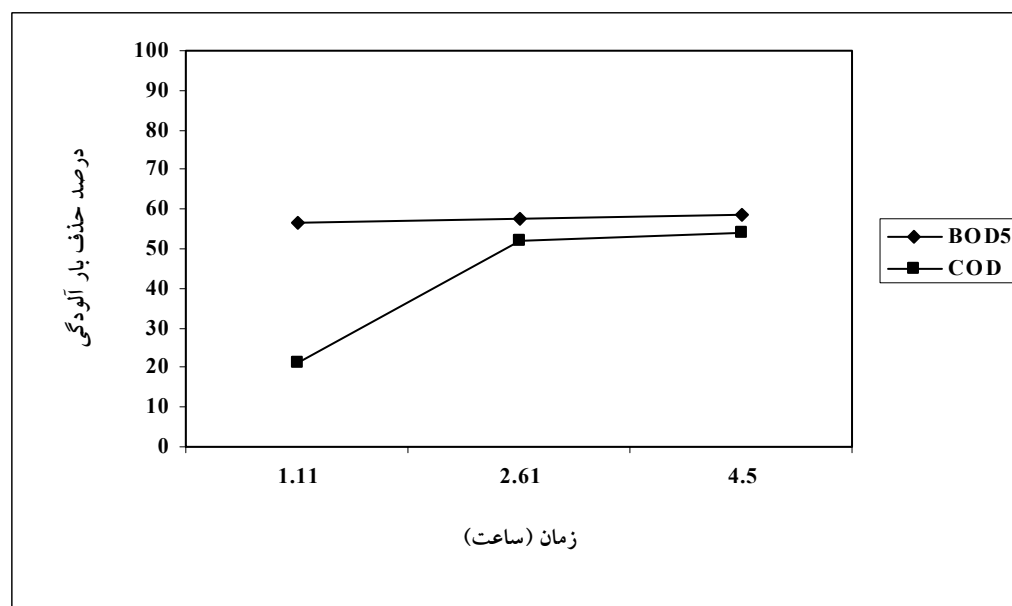
$$3/5 < 4/65 < 7$$

زمان تصفیه:  
درصد حذف فلزات در دبی های مختلف (ml/min):

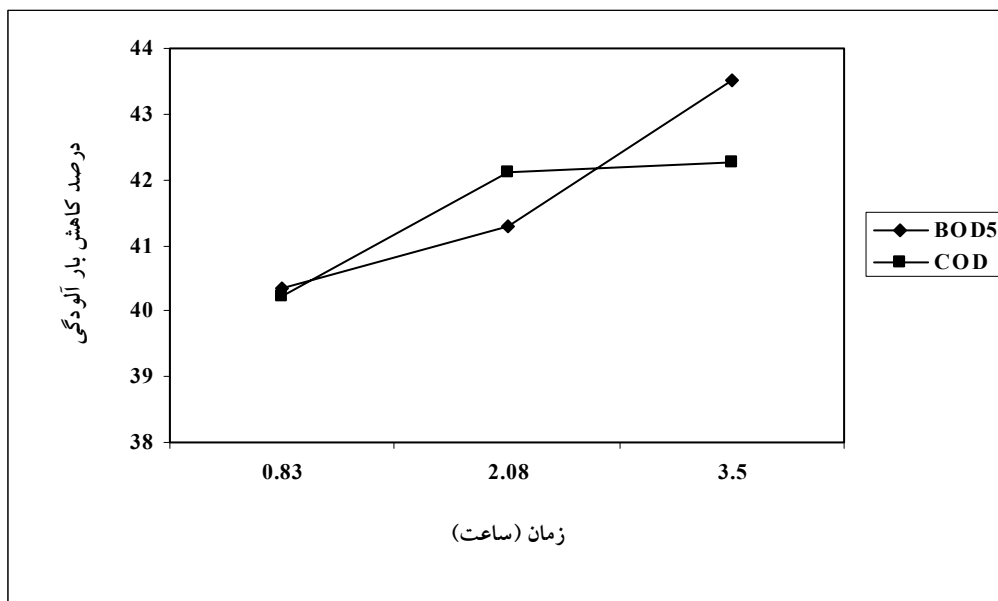
$$80 > 60 > 40$$



نمودار ۴ - تغییرات درصد کاهش بار آلودگی بر اساس زمان در دبی ۴۰ ml/min

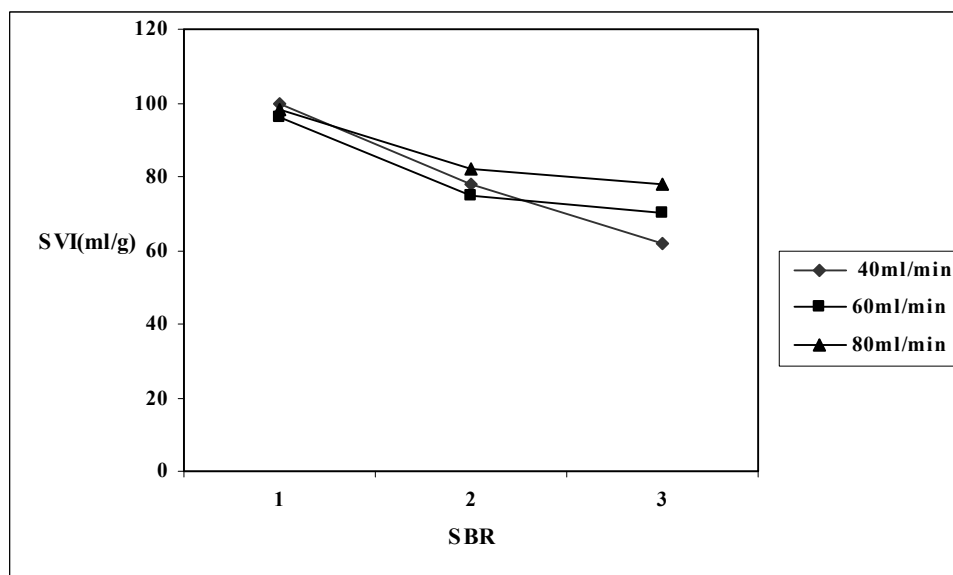


نمودار ۵ - تغییرات درصد کاهش بار آلودگی بر اساس زمان در دبی ۶۰ ml/min



نمودار ۶ - تغییرات درصد کاهش بار آلودگی بر اساس زمان در دبی ۸۰ ml/min

ز - شاخص حجمی لجن (SVI) در هر راکتور نسبت به راکتور قبلی خود کاهش یافته است و عملاً مقادیر SVI در دبی های مختلف بر عملکرد سیستم تصفیه متوالی اختلال ایجاد نمی کند (نمودار ۷).



نمودار ۷ - تغییرات شاخص حجمی لجن SVI در هر راکتور بر اساس دبی های مختلف

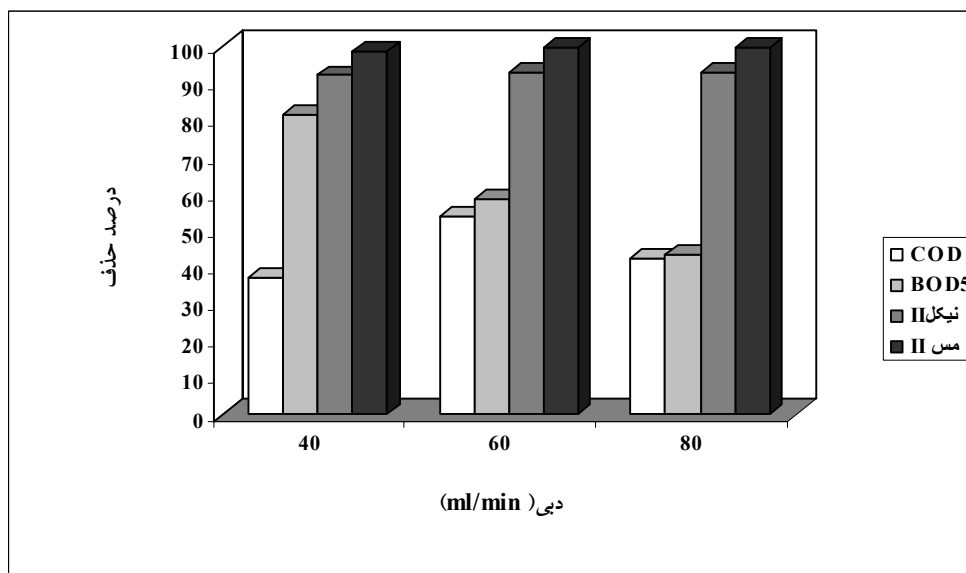
#### بحث و نتیجه گیری

۸۰۰ - و نیکل II ۱۰۰۰ - ۸۰۰ mg/L و دبی ml/min ۴۰ حاصل شده است.

طبق آزمایش های انجام شده شرایط بهینه  $8 \pm 0.3$  pH، حجم لجن ۳۰٪، گستره غلظت مس II ۱۲۰۰ mg/L

مشهود است، بنابراین دبی ۴۰ ml/min به علت حذف قابل توجه فلزات و کاهش بار آلودگی مناسب ترین خواهد بود (نمودار ۸).

بر اساس نتایج بدست آمده هر چند درصد حذف فلزات مس II و نیکل II در دبی های بالاتر رو به افزایش بوده اما عدم کاهش بار آلودگی در دبی های ۶۰، ۸۰ ml/min نیز



نمودار ۸ - مقایسه درصد حذف (نیکل، مس، BOD<sub>5</sub> و COD) از خروجی راکتور ۳ (در دبی های مختلف)

کاهش بار آلودگی در دبی های مختلف (ml/min):  
 $40 > 60 > 80$

روش به کار گرفته شده در این تحقیق منجر به حذف مرحله ته نشینی و سکون در هر راکتور شده است که در نهایت پساب خروجی از SBR<sub>3</sub> وارد ته نشین ساز نهایی می گردد که باعث کاهش مدت زمان عملیات تصفیه، افزایش کارایی سیستم و امکان استفاده در شرایط صنعتی می شود.

درصد حذف فلزات مذکور در هر راکتور نسبت به راکتور قبل رو به افزایش بوده است که در دبی های مختلف درصد کاهش مس II بیش از ۹۹٪ و نیکل II ۹۲٪ بوده است و مشاهده می گردد درصد حذف در راکتور ۳ مقداری افزایش داشته است که در مقایسه با راکتور ۲ چندان محسوس نمی باشد و با توجه به کاهش بار آلودگی در دبی ۴۰ ml/min، امکان استفاده از دو راکتور نیز وجود دارد که می تواند باعث کاهش زمان تصفیه و کاهش هزینه های اقتصادی گردد.

تحقیقاتی در حضور یک یا دو نوع خاص از باکتری ها (استافیلوکوکوس و پseudomonas) در غلظت های پایین

(۱۰۰ mg/L) از فلزات مذکور صورت گرفته که درصد حذف برای مس II ۹۳ - ۵۸٪ و نیکل II ۳۵٪ بوده است (۴ و ۵). در موارد دیگر حذف مس II در غلظت ۱۰ mg/L با تغییر مقادیر MLSS در لجن فاضلاب شهری و به وسیله SBR ۹۸٪ گزارش شده است (۳). همچنین حذف مس II با غلظت ۱۰ mg/L در حضور سیوس فعال شده برنج و پودر کرین فعال با SBR مورد بررسی قرار گرفته که ۸۵٪ حذف داشته است (۹).

با توجه به نتایج آزمایش های انجام یافته و مقایسه درصد حذف فلزات از روش های فوق چنین استنباط می شود که فرایند حذف بیولوژیکی با استفاده از راکتورهای ناپیوسته متوالی در حضور لجن فعال از کارایی بالایی برخوردار است.

روش به کار گرفته شده در این تحقیق منجر به حذف مرحله ته نشینی و سکون در هر راکتور شده است که در نهایت پساب خروجی از SBR<sub>3</sub> وارد ته نشین ساز نهایی می گردد که باعث کاهش مدت زمان عملیات تصفیه، افزایش کارایی سیستم و امکان استفاده در شرایط صنعتی می شود.

درصد حذف فلزات مذکور در هر راکتور نسبت به راکتور قبل رو به افزایش بوده است که در دبی های مختلف درصد کاهش مس II بیش از ۹۹٪ و نیکل II ۹۲٪ بوده است و مشاهده می گردد درصد حذف در راکتور ۳ مقداری افزایش داشته است که در مقایسه با راکتور ۲ چندان محسوس نمی باشد و با توجه به کاهش بار آلودگی در دبی ۴۰ ml/min، امکان استفاده از دو راکتور نیز وجود دارد که می تواند باعث کاهش زمان تصفیه و کاهش هزینه های اقتصادی گردد.

تحقیقاتی در حضور یک یا دو نوع خاص از باکتری ها (استافیلوکوکوس و پseudomonas) در غلظت های پایین

- from Industrial Waste Water by Staphylococcus Saprophyticus, Turkish Electronic Journal of Bio Technology, vol. 2, p (50-57).
7. Hussein H., (2004), Biosorption of heavy metals from waste water using Pseudomonas, Electronic Journal of Bio technology, vol. 7, No. 1, April, p. 15.
  8. Lim. P. E. et al., (2002), Simultaneous adsorption and Bio degradation processes in Sequencing Batch Reactor (SBR) for treating copper and cadmium – containing waste water, Water Research, vol. 36, p(667-675).
  9. Holsinger B., Hooder G., (1999), Waste Water Technology Fact Sheet Sequencing Batch Reactor, EPA, 832-F-99-073, September.
  10. Verstrate W., Vaernbergh E., (1990), Bio Technology, vol. 8, chapter 2, Aerobic Activated Sludge, p(55-57).
  11. Arnold E, Greebrg. Lenores. Clescori, WEF. (1992), Standard methods for examination of water and wastewater, 18th Edition.
- منابع
۱. اسماعیلی ساری ، عباس . ۱۳۸۱ . آلاینده ها بهداشت و استاندارد محیط زیست ، انتشارات نقش مهر . صفحات ۱۴۸ - ۱۴۶ و ۱۷۶ - ۱۷۴ .
  2. Sirianuntapiboon S., (2007), Removal of  $Zn^{2+}$  and  $Cu^{2+}$  by Sequencing Batch Reactors System, Bio Resource Technology, vol. 98, p (808-818).
  3. Org S. A., Lim P. E., (2003), Effects of adsorbents and copper II on activated sludge microorganisms and Sequencing Batch Reactor treatment process, Journal of Hazardous Materials, B 103, p(263-277).
  4. Aslam H., Ishtiaq H., Malik M.,(2004), Removal of Copper from industrial effluent by adsorption with Economical viable material, Electronic Journal of Environmental, Agriculture and Food chemistry, 3(2), p(658-664).
  ۵. امتیازی ، گیتی . ۱۳۸۴ . میکروبیولوژی و کنترل آلودگی آب ، هوا و پساب . انتشارات مانی . صفحات ۲۸ - ۳۱ .
  6. Ilhan S. et al., (2004), Removal Chromium, Lead and Copper, Ions