

## بررسی استفاده از سنگ پامیس همراه با راکتور ناپیوسته متوالی برای تصفیه فاضلاب صنایع لبنی

مهربان صادقی<sup>۱</sup>، حبیب کریمی<sup>۲\*</sup>، عبدالمجید فدایی<sup>۱</sup>، مرتضی سدهی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup>گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی شهرکرد، شهرکرد، ایران؛ <sup>۲</sup>دانشجو، دانشگاه علوم پزشکی شهرکرد، شهرکرد، ایران؛

<sup>۳</sup>گروه آمار و اپیدمیولوژی، دانشگاه علوم پزشکی شهرکرد، شهرکرد، ایران

تاریخ دریافت: ۹۲/۹/۱۳ تاریخ پذیرش: ۹۳/۱/۲۸

### چکیده:

**زمینه و هدف:** صنایع لبنی مقادیر زیادی فاضلاب تولید می کنند که دارای غلظتهای بالایی از مواد آلی کربنی و نیتروژنی است. تخلیه این فاضلاب ها بصورت تصفیه نشده به محیط منجر به ایجاد آلودگیهای شدیدی می شود. هدف از این مطالعه بررسی میزان تاثیر استفاده از سنگ پامیس همراه با راکتور ناپیوسته متوالی برای حذف ترکیبات آلی در فاضلاب های لبنی بود.

**روش بررسی:** در این مطالعه تجربی که درمقیاس کارگاهی انجام شد، از دو فرایند راکتور ناپیوسته متوالی معمولی و مجهز به سنگ پامیس، بعنوان مدل های تصفیه استفاده گردید. در مرحله راه اندازی سیستم ها، لجن تصفیه خانه فاضلاب شهری برای مدت ۹ روز تحت فرایند خودهی قرار گرفت. سپس ۲/۵ لیتر از این لجن در مرحله بعدی به هر کدام از راکتورها تلقیح شد. در مرحله بهره برداری، راکتورها بمدت ۳۶ روز مورد پایش مستمر قرار گرفتند و کارایی هر سیستم در حذف اکسیژن مورد نیاز شیمیایی (COD)، اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیایی (BOD5)، درصد جامدات کل (TS) و کل نیتروژن کج‌لدال (TKN) اندازه گیری شد.

**یافته ها:** میانگین راندمان حذف COD، BOD5، TS و TKN برای راکتور فاقد بستر به ترتیب  $61/8 \pm 9/4$ ،  $58/5 \pm 8/6$ ،  $64/9 \pm 2/5$  و  $46/5 \pm 22/5$  درصد و برای راکتور مجهز به بستر به ترتیب  $67/5 \pm 9/4$ ،  $63/4 \pm 11/8$ ،  $66/7 \pm 3/0$  و  $62/2 \pm 15/7$  درصد بدست آمد. بر اساس این نتایج، راندمان حذف COD و TKN توسط سیستم مجهز به بستر تفاوت معناداری با راندمان حذف این پارامترها توسط سیستم فاقد بستر دارد ( $P < 0/05$ ). نتیجه گیری: این مطالعه افزایش راندمان حذف COD، BOD5، TS و TKN در راکتور ناپیوسته متوالی وقتی از سنگ پامیس بعنوان بستر رشد میکروبی در راکتور استفاده شود را به اثبات رسانید. این مدل می تواند بعنوان گزینه ای مناسب جهت تصفیه فاضلاب های لبنی مد نظر قرار گیرد.

**واژه های کلیدی:** راکتور ناپیوسته متوالی، سنگ پامیس، صنایع لبنی، فاضلاب.

### مقدمه:

فراوری هر لیتر شیر بین ۰/۲ تا ۱۰ لیتر (بطور متوسط ۲/۵ لیتر) فاضلاب تولید می شود (۲، ۳). فاضلاب صنایع لبنی عمدتاً بدنبال پاکسازی و شستشو در واحدهای فراوری شیر تولید می شود (۴). فاضلاب های لبنی حاوی ترکیبات آلی پیچیده ای مانند پلی ساکاریدها، پروتئینها و لیپیدها هستند (۵). از آنجا که شیر خام معمولاً حاوی ۱۳ درصد جامدات کل (TS)، ۳/۹ درصد

امروزه استفاده از صنایع لبنی در بسیاری از کشورهای جهان هم از نظر اندازه و هم از نظر تعداد، رشد قابل ملاحظه ای کرده است (۱). صنعت تولید لبنیات همانند سایر صنایع غذایی مقادیر بسیار زیادی فاضلاب تولید می کند. صنایع لبنی هم از نظر حجم فاضلاب تولیدی و هم از نظر آلاینده های موجود در فاضلاب جزء مهمترین صنایع به شمار می روند. به ازای

\*نویسنده مسئول: شهرکرد- دانشگاه علوم پزشکی شهرکرد- دانشکده بهداشت- گروه بهداشت، تلفن: ۰۳۸- ۳۳۳۳۰ ۲۴۹۰، E-mail: karimi2090@yahoo.com

هیدرولیز لپیدها تشکیل می شوند و بر روی تولید گاز متان اثر می گذارند (۲۰).

Cammarota و همکاران تصفیه فاضلاب لبنی حاوی مقادیر بالایی گریس را با استفاده از فرایند پتوی لجن بی هوازی رو به بالا (UASB) مورد بررسی قرار دادند. نتایج این مطالعه نشان داد که کارایی این سیستم بسیار پایین و حذف COD کمتر از ۵۰ درصد است (۲۱). این در حالی است که لپیدها در سیستمهای هوازی مشکل حادی را ایجاد نمی کنند (۲۲). اگر چه به دلیل بالا بودن بار آلی فاضلاب های لبنی، استفاده از فرایندهای هوازی پر هزینه است و تولید مقادیر بالایی بیومس مشکلات دفع لجن را بدنبال دارد (۷)، ولی فرایندهای هوازی مزایایی دارند که استفاده از آنها را نسبت به فرایندهای بی هوازی ارجح می کند.

یکی از سیستمهایی که برای تصفیه فاضلاب های دارای بار آلی بالا و از جمله فاضلاب صنایع شیر مناسب است، سیستم راکتور ناپیوسته متوالی (SBR) می باشد. دلیل آن توانایی این سیستم در حذف ترکیبات نیترژن دار است (۲۳).

SBR یک روش تصفیه فاضلاب می باشد که مشابه با فرایند لجن فعال است؛ با این تفاوت که کلیه مراحل تصفیه در این سیستم در یک تانک اتفاق می افتد و نیاز به تانک ته نشینی مجزا وجود ندارد. این سیستم نسبت به سایر سیستم های تصفیه فضای کمتری را اشغال می کند و دارای پنج مرحله ی پر کردن، واکنش، ته نشینی، تخلیه و سکون می باشد. از مزایای سیستم SBR می توان به مواردی همچون؛ هزینه کمتر نسبت به روشهای بیولوژیکی معمول، نیاز به فضا و زمین کمتر، قابلیت سازگاری با تغییرات مداوم در غلظت آلاینده ها، انعطاف پذیری در بهره برداری و عدم فرار بیومس از سیستم اشاره کرد (۲۴). این در حالی است که نیاز به نگهداری بیشتر و پیچیدگی بیشتر سیستم SBR نسبت به سیستمهای معمولی از جمله معایب این سیستم بشمار می رود.

چربی، ۳/۴ درصد پروتئین، ۴/۸ درصد لاکتوز و ۰/۸ درصد مواد معدنی بوده و در حدود ۰/۵ تا ۲ درصد در برخی موارد بین ۳ تا ۴ درصد از شیر ورودی به کارخانه به فاضلاب تولیدی توسط این کارخانجات راه می یابد، لذا فاضلاب تولیدی توسط این صنایع دارای آلودگی بالایی است (۶). غلظت جامدات معلق در فاضلاب صنایع لبنی در محدوده ی ۰/۲۴ تا ۴/۵ گرم در لیتر می باشد (۷). غلظت فسفر کل در این فاضلاب ها بین ۱۴ تا ۲۸۰ میلی گرم در لیتر و غلظت نیترژن کل بین ۱۴ تا ۸۳۰ میلی گرم در لیتر متغیر است (۸-۱۰). طبق مطالعات مختلف انجام شده غلظت اکسیژن مورد نیاز شیمیایی (COD) در فاضلاب این صنایع در محدوده ی ۸۰ تا ۹۵۰۰۰ میلی گرم در لیتر و غلظت اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیایی (BOD5) در محدوده ی ۴۰ تا ۴۸۰۰۰ میلیگرم در لیتر گزارش شده است (۷). علاوه بر این استفاده از ترکیبات پاک کننده اسیدی و قلیایی در این صنایع منجر به تغییرات زیادی در pH این فاضلاب ها می شود. pH فاضلاب های لبنی در محدوده ی ۴/۷ تا ۱۱ گزارش شده است (۱۰).

بدیهی است که اگر چنین فاضلاب هایی بدون تصفیه مناسب وارد محیط شوند، منجر به ایجاد آلودگی های شدیدی در آبهای پذیرنده می شوند. لذا تصفیه این فاضلاب ها امری ضروری است. تاکنون روشهای مختلفی برای تصفیه فاضلاب های لبنی مورد استفاده قرار گرفته است که از جمله آنها می توان به کاربرد کربن فعال تجاری، فرایند لجن فعال، برکه های بی هوازی، فرایندهای غشایی، روشهای الکتروشیمیایی و پتوی لجن بی هوازی رو به بالا (UASB) اشاره کرد (۱۲-۱۸). وجود مقادیر بالای مواد آلی در فاضلاب های لبنی، تصفیه این فاضلاب ها با روشهای بی هوازی را مناسب می کند ولی حضور مقادیر بالای چربی در این فاضلاب ها بر روی فرایندهای بی هوازی اثر بازدارنده دارد (۱۹). این بازدارندگی به دلیل حضور اسیدهای چرب زنجیره بلند می باشد که در طی

علاوه بر این در ایران در اغلب نقاط کوهستانی شمال غرب، غرب، مرکز و جنوب لایه های سنگ پامیس یافت شده و توسط سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی ایران به ثبت رسیده است. به این ترتیب با کاربرد این بسترهای ارزان قیمت و در دسترس، می توان هزینه های مربوط به خریداری مدیا (بستر) را به طور چشمگیری کاهش داد و این صنعت را از وابستگی به کشورهای سازنده مدیا بی نیاز گرداند.

هدف از انجام این مطالعه بررسی امکان افزایش کارایی سیستم راکتور ناپیوسته متوالی از طریق نصب قطعات سنگ پامیس بعنوان بستر برای تصفیه فاضلاب صنایع لبنی بوده است.

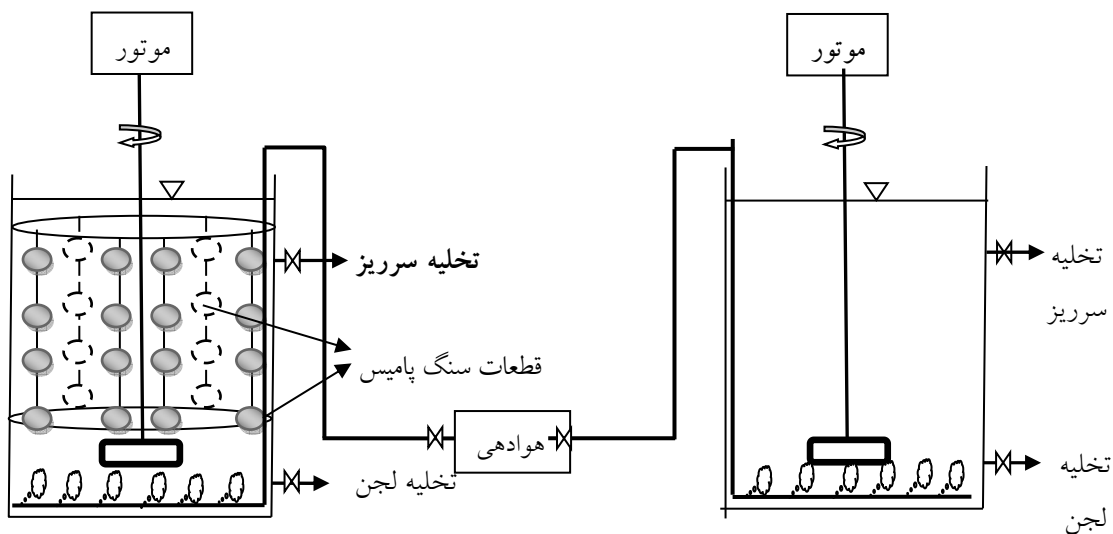
### روش بررسی:

این مطالعه از نوع تجربی می باشد که در مقیاس کارگاهی انجام شد و از دو سیستم راکتور ناپیوسته متوالی معمولی و مجهز به بستر استفاده شد. در مجموع دو راکتور از جنس پلی اتیلن با ابعاد ۲۵×۲۲×۳۵ سانتیمتر (ارتفاع×عرض×طول) و حجم کاری ۱۵ لیتر بکار گرفته شد (تصویر شماره ۱).

علاقه به کاربرد بسترهای مختلف در نسل جدید سیستمهای راکتور ناپیوسته متوالی بمنظور توسعه کارایی آنها رو به افزایش است. از آنجائیکه در سیستم SBR مجهز به بستر با رشد میکروارگانیسم ها بر روی بستر و تشکیل یک غشای بیولوژیکی بر روی آن مواجه هستیم، احتمالاً با افزایش راندمان این سیستم نسبت به نوع متداول آن روبرو خواهیم شد.

در مطالعات متعددی کاربرد بسترهای تجاری برای تصفیه فاضلاب صنایع لبنی مورد بررسی قرار گرفته است. یکی از عمده ترین معایب اینگونه مدل ها که حتی منجر به محدودیت در کاربرد آنها شده است، آن است که بسترهای تجاری بسیار گران قیمت هستند و باعث افزایش هزینه های مربوط به این سیستم ها می شوند. لذا با تلاش در خصوص یافتن مواد ارزان قیمت برای نصب در راکتور به عنوان بستر این امکان وجود خواهد داشت که یکی از محدودیت های کاربرد بستر در این روش تصفیه از بین رفته و بر محبوبیت آن بین محققین و صاحبان صنعت افزوده گردد.

در این مطالعه سنگ پامیس بعنوان یک بستر ارزان قیمت و در دسترس مورد استفاده قرار می گیرد. در حال حاضر قیمت هر متر مکعب سنگ پامیس در حدود ۲ درصد قیمت بسترهای تجاری است (۲۵).



تصویر شماره ۱: نمای پایلوت مورد استفاده در مطالعه

روز با بارگذاری در همین حدود ( $1/67 \text{ kg COD/m}^3\text{.d}$ ) مورد بهره برداری قرار گرفت.

پس از افزودن فاضلاب به راکتورها، هوادهی و اختلاط محتویات هر راکتور بمدت ۱۹ ساعت ادامه یافت. سپس  $1/5$  ساعت اجازه ته نشینی داده شد. برای تعیین میزان خوگیری باکتریها با شرایط فاضلاب لبنی از آزمون COD استفاده شد. پس از طی شدن مرحله ته نشینی از فاضلاب تصفیه شده و از قسمت بالای راکتور نمونه برداری شد و COD پساب اندازه گیری شد و میزان کارایی راکتورها در حذف COD مورد بررسی قرار گرفت. در پایان هر چرخه (۲۴ ساعت) ۵ لیتر از پساب از راکتورها خارج و در آغاز چرخه بعد ۵ لیتر فاضلاب به راکتورها وارد شد. پس از ۹ روز سیستم ها به حالت پایدار رسیده و غلظت COD خروجی از سیستم های SBR معمولی و SBR مجهز به بستر به ترتیب به  $1600$  و  $1400$  میلی گرم در لیتر رسید.

در این مطالعه غلظت پارامترهای مختلف فاضلاب شامل اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیایی ( $BOD_5$ )، اکسیژن مورد نیاز شیمیایی (COD)، کل نیتروژن کجلدال (TKN) و کل جامدات (TS) اندازه گیری شد. میانگین غلظت  $\pm$  انحراف معیار (بر حسب  $\text{mg/l}$ ) برای پارامترهای COD،  $BOD_5$ ، TKN و TS در فاضلاب خام به ترتیب برابر با  $4200 \pm 1800$ ،  $2200 \pm 854$ ،  $24/5 \pm 7/2$ ،  $330 \pm 880$  بدست آمد. دمای فاضلاب در حدود دمای محیط ( $20$  درجه سانتیگراد) و pH آن در محدوده ی خنثی ( $6/5-8$ ) قرار داشت.

فاز بهره برداری (مرحله دوم مطالعه) از هر دو سیستم SBR معمولی و SBR مجهز به بستر دارای ۵ مرحله شامل پرکردن، واکنش، ته نشینی، تخلیه و سکون بود. در مرحله بهره برداری ابتدا  $2/5$  لیتر از لجن خوگرفته به هر کدام از سیستم ها تلقیح شد. سپس  $12/5$  لیتر فاضلاب در طی دو ساعت به راکتورها افزوده شد تا حجم کاری راکتور به  $15$  لیتر برسد. این مرحله همان مرحله پر کردن است. پیش از مرحله راه اندازی  $330$  سانتیمتر مکعب سنگ پامیس بوسیله سیم هایی نازک

شکل کروی، قطر  $15-10$  میلیمتر، دانسیته  $1/2-0/7$  گرم بر سانتیمتر مکعب، سطح ویژه  $27$  سانتیمتر مربع بر سانتیمتر مکعب، کل سطح ایجاد شده توسط بستر در راکتور برابر  $9000$  سانتیمتر مربع و کل حجم بستر موجود در راکتور برابر  $330$  سانتیمتر مکعب از خصوصیات بستر مورد استفاده در سیستم SBR مجهز به بستر بود.

در هر راکتور بمنظور اختلاط و معلق نگه داشتن محتوی راکتور از یک همزن پره ای از جنس فولاد زنگ نزن (Stainless steel) استفاده شد که توسط یک موتور (MOTOREM, ES7150-4AY-RL) با دور  $70 \text{ rpm}$  می چرخید. همچنین بمنظور تامین اکسیژن محلول (Dissolved Oxygen) مورد نیاز جمعیت میکروبی از یک پمپ آکواریومی (VENUSAQUA, ACD-800) استفاده و بگونه ای تنظیم شد تا میزان اکسیژن محلول داخل راکتورها در حدود  $2$  میلی گرم در لیتر ثابت بماند.

با توجه به اینکه باکتریهای موجود در لجن تصفیه خانه فاضلاب شهری برای حذف COD های پایین سازگار شده اند، لذا این باکتریها با فاضلاب صنایع لبنی که از COD چندین برابر فاضلاب شهری برخوردار هستند ( $80-95000 \text{ mg/l}$ ) سازگار نمی باشند و لذا باید آنها را با شرایط این فاضلاب سازگار کرد. عملیات خودهی لجن تصفیه خانه فاضلاب شهری (مرحله اول مطالعه) به مدت ۹ روز انجام گرفت. در این مرحله  $2/5$  لیتر از لجن تصفیه خانه فاضلاب شهری از خط برگشت لجن به حوضچه هوادهی تصفیه خانه فاضلاب شهر کرد برداشته شد و در شرایط هوازی به هر کدام از راکتورها ریخته شد. سپس فاضلاب لبنی تهیه شده از کارخانه لبنیات پاک پی به راکتورها افزوده شد تا حجم کاری راکتور به  $15$  لیتر برسد. البته میزان بارگذاری آلی و COD ورودی به راکتور در طی این ۹ روز بتدریج افزایش یافت تا باکتریها در مواجهه با COD های بالا دچار شوک نشوند. بارگذاری آلی سیستم از  $1/67 \text{ kg COD/m}^3\text{.d}$  در روز اول به  $1/67 \text{ kg COD/m}^3\text{.d}$  در روز نهم افزایش یافت و بمدت ۳

فاضلاب در مدت ۲ ساعت به راکتورها اضافه شد و همان چرخه قبلی مجدداً تکرار شد. مرحله بهره برداری بمدت ۳۶ روز بطول انجامید. با توجه به دبی ورودی و خروجی در هر سیکل زمان ماند هیدرولیکی برای هر سیستم برابر با ۳ روز محاسبه شد. در این مطالعه برای مقایسه راندمان حذف بین سیستمهای بکار رفته از آزمون تی مستقل استفاده شد.

### یافته ها:

میانگین راندمان حذف COD، BOD5، TS و TKN برای راکتور فاقد بستر به ترتیب  $61/8 \pm 9/4$ ،  $58/5 \pm 8/6$  و  $64/9 \pm 2/5$  و  $66/7 \pm 3/0$  درصد و برای راکتور مجهز به بستر به ترتیب  $67/5 \pm 9/4$ ،  $63/4 \pm 11/8$  و  $62/2 \pm 15/7$  درصد بدست آمد. بر اساس این نتایج، نصب بستر در راکتور شاخص های آلودگی مورد بررسی را بطور متوسط به ترتیب  $6/6$ ،  $5/5$ ،  $2/2$  و  $16/16$  بیشتر حذف می کند (جدول شماره ۱). نتایج نشان داد که راندمان حذف TKN و COD توسط سیستم مجهز به بستر تفاوت معناداری با راندمان حذف این پارامترها توسط سیستم فاقد بستر دارد ( $P < 0/05$ ).

بصورت شبکه به هم بسته شدند و در عمق ۸ سانتی متری از کف راکتور نصب گردیدند. پس از آن هواده ها و همزنها روشن شد تا عمل هوادهی و اختلاط انجام گیرد. این مرحله همان مرحله واکنش است که مدت ۱۹ ساعت به طول انجامید. سپس هواده ها و همزنها خاموش شد تا سیستمها وارد مرحله ته نشینی شوند. زمان اختصاص یافته به این مرحله ۱/۵ ساعت بود (۲۳). پس از سپری شدن مرحله ته نشینی ۵ لیتر از پساب رویی از بالای راکتور تخلیه شد و پارامترهای مختلف مورد مطالعه براساس روشهای ذکر شده در کتاب روشهای استاندارد برای آزمایشات آب و فاضلاب اندازه گیری شد (آزمایش TS شماره ۲۵۴۰، آزمایش BOD5 شماره ۵۲۱۰، آزمایش COD شماره ۵۲۲۰) (۲۶). TKN به روش نسلر (شماره ۸۰۷۵) با دستگاه DR اندازه گیری شد. کلیه مواد مورد استفاده برای انجام آزمایشات از شرکت مرک تهیه شد. پارامترهای ذکر شده در ۱۰ روز اول مرحله بهره برداری هر سه روز یکبار، در ۱۰ روز دوم هر دو روز یکبار و در ۱۶ روز پایانی هر روز اندازه گیری شدند. البته COD خروجی از سیستم ها بصورت روزانه اندازه گیری شد. پس از سپری شدن مراحل نهایی (تخلیه و سکون) که در مجموع ۱/۵ ساعت بطول انجامید، ۵ لیتر

### جدول شماره ۱: مقایسه غلظت پارامترهای مختلف در خروجی و راندمان های حذف مربوط به آنها در سیستمهای

#### راکتور ناپیوسته متوالی (SBR) معمولی و مجهز به بستر

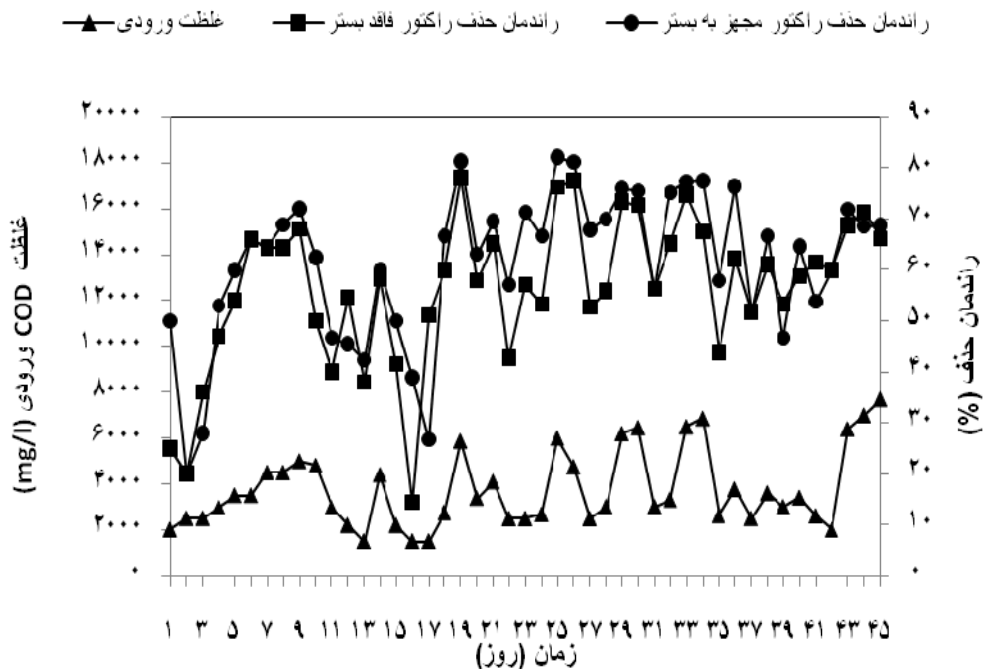
پارامترها	غلظت خروجی (mg/l)		متوسط راندمان حذف (%)	
	معمولی	مجهز به بستر	معمولی	مجهز به بستر
اکسیژن مورد نیاز شیمیایی (COD)	$1450/0 \pm 387/0$	$1250/0 \pm 415/0$	$61/8 \pm 9/4$	$67/5 \pm 9/4$
اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیایی (BOD5)	$857/0 \pm 271/0$	$723/0 \pm 157/0$	$58/5 \pm 8/6$	$63/4 \pm 11/8$
کل نیتروژن کجذلال (TKN)	$13/6 \pm 8/2$	$9/4 \pm 5/7$	$66/7 \pm 3/0$	$62/2 \pm 15/7$
کل جامدات (TS)	$1170/0 \pm 346/0$	$1110/0 \pm 327/0$	$64/9 \pm 2/5$	$66/7 \pm 3/0$

راندمان حذف TKN و COD توسط سیستم مجهز به بستر تفاوت معناداری با راندمان حذف این پارامترها

توسط سیستم فاقد بستر دارد ( $P < 0/05$ ).

راندمان حذف COD در طی مرحله راه اندازی نشان داد که میزان حذف COD توسط هر دو سیستم در روزهای اول پایین است و بتدریج و با گذشت زمان راندمان حذف COD افزایش می یابد. در طی ۳ روز پایانی مرحله راه اندازی از غلظت ثابتی از COD استفاده شد و مشاهده شد که راندمان حذف تغییر محسوسی ندارد که این امر نشانگر خوگیری و سازگار شدن باکتریها با شرایط فاضلاب لبنی است (تصویر شماره ۲).

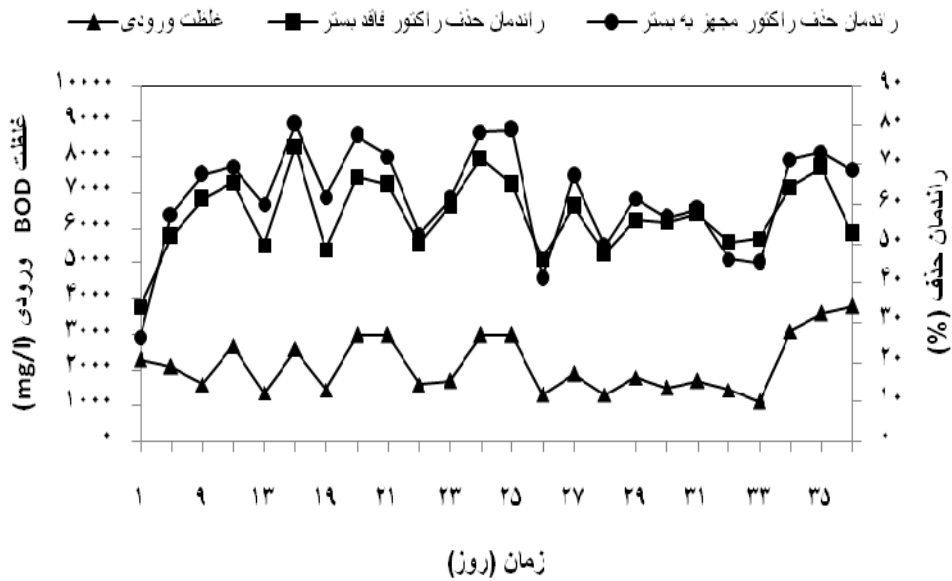
راندمان حذف COD برای هر دو سیستم در طی دوره بهره برداری نشان داد، نوسانات راندمان حذف COD در هر دو سیستم در طی روزهای اول بهره برداری زیاد بود ولی در طی روزهای بعدی این نوسانات کاهش یافت و سیستم به حالت پایدار رسید. علاوه بر این میزان نوسانات در سیستم بدون بستر نسبت به سیستم مجهز به بستر بیشتر بود (تصویر شماره ۲).



**تصویر شماره ۲:** راندمان حذف اکسیژن مورد نیاز شیمیایی (COD) در سیستمهای راکتور ناپیوسته متوالی (SBR) معمولی و مجهز به بستر. غلظت های ورودی برای هر دو سیستم یکسان است.

بیست و چهارم از این مرحله افزایش یافت ولی در همان روز با ورود یک فاضلاب قوی با ۳۰۰۰ میلیگرم در لیتر BOD5 راندمان حذف به ۶۵ درصد کاهش پیدا کرد. در روز بیست و پنجم نیز با ورود فاضلابی با همان غلظت این روند کاهشی ادامه یافت و راندمان حذف به ۴۶ درصد رسید. در واقع بدلیل اینکه در طی دو روز متوالی فاضلاب های قوی به سیستم وارد شد، راندمان حذف بطور چشمگیری روند کاهشی به خود گرفت (تصویر شماره ۳).

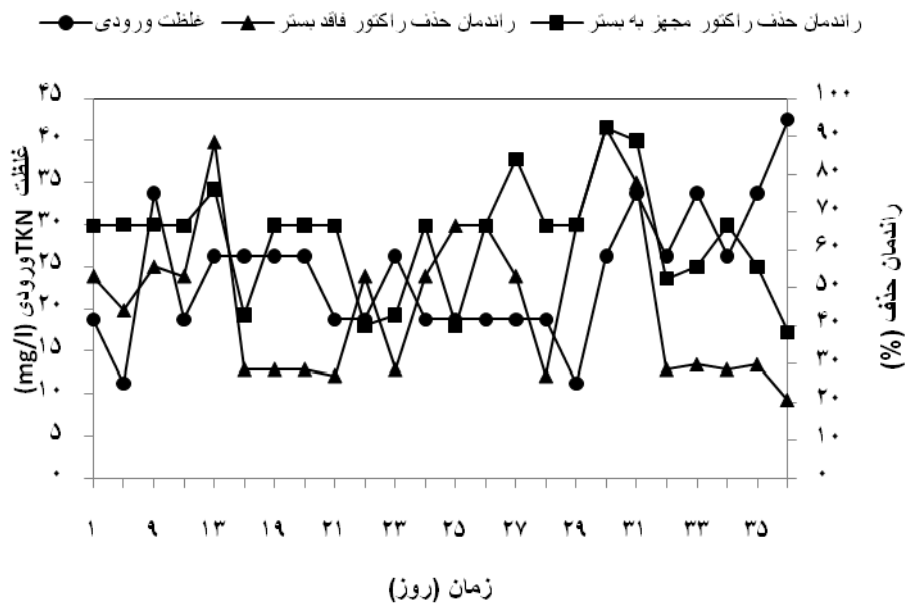
در بررسی راندمان حذف BOD5 در طی دوره بهره برداری نتایج نشان داد، حذف BOD5 در روزهای اول پایین بوده و بتدریج افزایش یافته است. در مواردی مشاهده می شود که درصدهای حذف BOD5 در طی دو روز متوالی بطور قابل توجهی با هم تفاوت دارند که این امر بدلیل شوکهای آلی وارده به سیستمها می باشد که راندمانهای حذف را تحت تاثیر قرار داده است. برای مثال راندمان حذف برای سیستم SBR معمولی از ۳۳/۹ درصد در روز اول بهره برداری به ۷۱/۷ درصد در روز



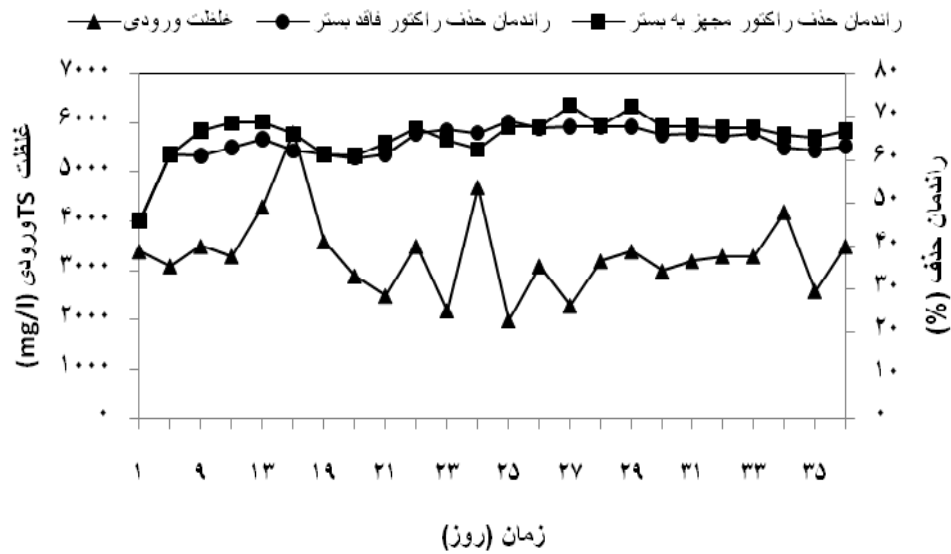
**تصویر شماره ۳:** راندمان حذف اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیایی (BOD<sub>5</sub>) در سیستمهای راکتور ناپیوسته متوالی (SBR) معمولی و مجهز به بستر. غلظت های ورودی برای هر دو سیستم یکسان است.

معمولی بالاتر است (تصویر شماره ۴). علاوه بر این حداکثر میزان حذف TS در راکتور فاقد بستر حدود ۶۹ درصد و در راکتور مجهز به بستر در حدود ۷۲/۵ بود (تصویر شماره ۵).

در بررسی وضعیت حذف TKN، میزان نوسانات سیستم SBR معمولی در مقایسه با SBR مجهز به بستر بیشتر بوده و راندمانهای حذف در روزهای مشابه برای سیستم SBR مجهز به بستر از سیستم SBR



**تصویر شماره ۴:** راندمان حذف کل نیتروژن کجدال (TKN) در سیستمهای راکتور ناپیوسته متوالی (SBR) معمولی و مجهز به بستر. غلظت های ورودی برای هر دو سیستم یکسان است.



**تصویر شماره ۵:** راندمان حذف کل جامدات (TS) در سیستم‌های راکتور ناپیوسته متوالی (SBR) معمولی و مجهز به بستر. غلظت‌های ورودی برای هر دو سیستم یکسان است.

## بحث:

بستر پلاستیکی انجام شده نیز نتایج مشابهی بدست آمده است. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد که در بار آلی  $1340 \text{ g BOD}_5/\text{m}^3 \cdot \text{d}$ ، راندمان حذف COD در سیستم SBR مجهز به بستر پلاستیکی در حدود ۳ درصد نسبت به SBR معمولی بیشتر است در حالیکه راندمان حذف TKN در سیستم SBR مجهز به بستر بیش از ۱۰ درصد نسبت به نوع فاقد بستر بالاتر بود (۲۳). به نظر می‌رسد که دلیل عمده افزایش بیشتر در راندمان حذف TKN نسبت به COD، زمان ماند سلولی بیشتری است که در راکتور حاوی بستر بدلیل استفاده از میکروارگانیسم‌ها در دو حالت معلق و چسبیده رخ می‌دهد. نتایج نشان داد که راندمان حذف TKN و COD توسط سیستم مجهز به بستر تفاوت معناداری با راندمان حذف این پارامترها توسط سیستم فاقد بستر دارد ( $P < 0.05$ ).

در مطالعه حاضر غلظت COD ورودی و بارگذاری آلی سیستمها در طی روزهای مختلف بهره برداری متفاوت بود. بارگذاری آلی بر حسب COD و  $\text{BOD}_5$  (با یک بازه نسبتاً وسیع) بترتیب در محدوده  $1270-370$  و  $2570-500$  گرم در متر مکعب در روز می‌باشد. در واقع نسبت حد بالایی بار ورودی به حد پایینی

نتایج نشان داد که با کاربرد سنگ پامیس بعنوان بستر، راندمانهای حذف برای پارامترهای مختلف افزایش می‌یابد. راندمانهای حذف COD،  $\text{BOD}_5$ ، TS و TKN توسط راکتور مجهز به بستر پس از رسیدن به حالت پایدار به ترتیب بطور متوسط ۶ (حداکثر ۱۴)، ۵ (حداکثر ۱۶)، ۲ (حداکثر ۶) و ۱۶ (حداکثر ۴۰) درصد نسبت به راکتور فاقد بستر بیشتر بود. در واقع کاربرد سنگ پامیس بعنوان بستر می‌تواند راندمان حذف TKN را نسبت به COD بطور قابل ملاحظه تری افزایش دهد. بیشتر بودن راندمان حذف پارامترهای مختلف توسط راکتور مجهز به بستر را می‌توان به این صورت توضیح داد که بدلیل رشد بیوفیلم بر روی بستر، میزان لجن بیولوژیکی که مشمول تجزیه مواد آلی است در سیستم SBR مجهز به بستر در مقایسه با نوع فاقد بستر بیشتر است. علاوه بر این بیشتر بودن میزان لجن بیولوژیکی در سیستم مجهز به بستر باعث کاهش نسبت غذا به میکروارگانیسم (F/M) می‌شود و این امر تولید لجن بیولوژیکی اضافی را کاهش می‌دهد که این نیز یکی دیگر از مزایای این سیستم است. در مطالعه ای که بر روی تصفیه فاضلاب صنایع شیر با استفاده از نوعی



آن به ترتیب ۵/۱۴ و ۳/۴۳ است. این در حالیست که چنین نوسان بزرگی را در خروجی هر کدام از سیستمهای مورد مطالعه نمی توان مشاهده نمود (نسبت های بالا در پساب خروجی برای راکتور فاقد بستر به ترتیب ۳/۵۴ و ۳/۲۸ و برای راکتور دارای بستر به ترتیب ۳/۳۷ و ۳/۲۹ بدست آمد). این امر باعث شد که بویژه پس از رسیدن سیستمها به حالت پایدار، نوسانات غلظت خروجی پارامترهای مختلف و نوسانات راندمانهای حذف به میزان کمتری ادامه یابد. مقاومت این سیستمها در برابر نوسانات شدید بارگذاری در واقع مزیت آنها را به اثبات می رساند که اهمیت کاربری برای فاضلاب های صنعتی که با نوسانات شدیدی روبرو می باشند را به همراه خواهد داشت. تاثیر شوک آلی وارده به سیستم SBR مجهز به بستر نسبت به سیستم فاقد بستر کمتر بود؛ برای نمونه راندمانهای حذف COD در روز دوازدهم بهره برداری برای سیستم فاقد بستر و مجهز به بستر بترتیب در حدود ۶۵ و ۷۰ درصد بود و در همین روز با ورود یک فاضلاب با COD معادل ۴۱۰۰ میلی گرم در لیتر راندمانهای حذف در طی روز سیزدهم بترتیب به حدود ۴۳ و ۵۷ درصد رسید؛ در واقع راندمان حذف سیستم فاقد بستر ۲۲ درصد کاهش یافت در حالی که راندمان حذف سیستم مجهز به بستر تنها ۱۳ درصد کم شد. همین وضعیت را می توان در روز هفدهم بهره برداری که COD ورودی به سیستمها در حدود ۴۸۰۰ میلی گرم در لیتر بود، مشاهده کرد. همانطور که در نمودار نیز قابل مشاهده است راندمان حذف COD در روز هجدهم در راکتور فاقد بستر ۲۵ درصد و برای سیستم مجهز به بستر ۱۳ درصد کاهش یافت.

بطور کلی وقتی در سیستمی غلظت پارامترهای ورودی و میزان بارگذاری در طی روزهای مختلف تغییر کند، میکروارگانیسم ها دائماً در معرض غلظت های متفاوتی از COD (و سایر پارامترها) قرار می گیرند و نیاز خواهند داشت که خود را با شرایط جدید وفق دهند و مقادیر بالاتری از COD را حذف کنند و این سازگاری و رسیدن به حالت پایدار به زمان نیاز دارد. به همین دلیل است که زمانیکه غلظت COD ورودی به

سیستمها بالا بود، دچار شوک می شدند و راندمان حذف در طی یک یا دو روز پس از آن کاهش می یافت. البته در روزهای اول بهره برداری میزان اثر شوک وارده بیشتر بود ولی پس از گذشت چندین روز از دوره بهره برداری و ایجاد شرایط پایدار، اثر اینگونه شوک ها کاهش یافت.

زمانی که سیستمی با یک غلظت مشخص COD و یک بار گذاری ثابت مورد بهره برداری قرار می گیرد، راندمان حذف پس از گذشت چند روز از دوره بهره برداری و رسیدن سیستمها به حالت پایدار به یک مقدار ثابت می رسد و در طی روزهای آینده تغییر محسوسی نخواهد داشت. مطالعه ای که توسط Abdulgader و همکاران با استفاده از سیستم SBR مجهز به نوعی بستر فیلتری بر روی فاضلاب صنایع شیر انجام شد این مطلب را تایید می کند. در این مطالعه از غلظت های ثابت و مشخصی از COD در طول دوره بهره برداری استفاده شد. آنها این سیستم را با سه غلظت ثابت COD و در سه مرحله ۱۴ روزه مورد بهره برداری قرار دادند. این سیستم بمدت ۱۴ روز با COD ورودی ۲۰۴۱ میلیگرم در لیتر بهره برداری شد که پس از رسیدن سیستم به حالت پایدار راندمان حذف به ۹۶/۶ درصد رسید. سپس در مرحله بعدی غلظت COD ورودی به سیستم را به ۴۳۸۲ میلی گرم در لیتر افزایش دادند. آنها در اولین روز از این مرحله مشاهده کردند که راندمان حذف ناگهان از ۹۶/۶ درصد به ۷۰ درصد کاهش یافت که علت این افت راندمان افزایش ناگهانی غلظت COD ورودی به سیستم گزارش شد (۲۷).

### نتیجه گیری:

نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که با کاربرد سنگ پامیس بعنوان بستر در سیستم راکتور ناپیوسته متوالی (SBR) می توان راندمان حذف را نسبت به سیستم SBR معمولی افزایش داد. این تحقیق نشان داد که استفاده از پامیس به عنوان بستر در راکتور SBR تاثیر کمتری بر روی TS و میزان بیشتری از اثر گذاری را بر

از این سنگ بعنوان بستر ارزان قیمت و دارای کارایی مناسب برای تصفیه فاضلاب های لبنی بهره گرفت.

### تشکر و قدردانی:

نویسندگان مقاله از مدیر عامل محترم و کلیه کارکنان کارخانه تولید لبنیات پاک پی بخاطر همکاریهای که برای انجام این تحقیق داشتند، تشکر و قدردانی می کنند.

روی TKN فاضلاب خواهد داشت که نیاز به کار تحقیقاتی بیشتری دارد تا وضعیت نیتروفیکاسیون در این سیستم بررسی شود و در صورت حصول نتیجه مناسب به عنوان روشی برای فاضلاب های دارای نیتروژن بالا بکار گرفته شود. علاوه بر این سنگ پامیس آکنه ای در دسترس و ارزان قیمت بوده که می تواند جایگزین مناسبی برای بسترهای تجاری گران قیمت باشد و هزینه های مربوط به خریداری بستر را کاهش دهد. لذا می توان

### منابع:

1. Kushwaha JP, Srivastava VC, Mall ID. An overview of various technologies for the treatment of dairy wastewaters. *Crit Rev Food Sci Nutr*. 2011; 51(5): 442-52.
2. Vourch M, Balannec B, Chaufer B, Dorange G. Treatment of dairy industry wastewater by reverse osmosis for water reuse. *Desalination*. 2008; 219(1-3): 190-202.
3. Ramasamy EV, Gajalakshmi S, Sanjeevi R, Jithesh MN, Abbasi SA. Feasibility studies on the treatment of dairy wastewaters with upflow anaerobic sludge blanket reactors. *Bioresour Technol*. 2004; 93(2): 209-12.
4. Munavalli GR, Saler PS. Treatment of dairy wastewater by water hyacinth. *Water Sci Technol*. 2009; 59(4): 713-22.
5. Venkata Mohan S, Mohanakrishna G, Velvizhi G, Lalit Babu V, Sarma PN. Biocatalyzed electrochemical treatment of real field dairy wastewater with simultaneous power generation. *Biochem Eng J*. 2010; 51(1-2):32-9.
6. Omil F, Garrido JM, Arrojo B, Mendez R. Anaerobic filter reactor performance for the treatment of complex dairy wastewater at industrial scale. *Water Res*. 2003; 37(17): 4099-108.
7. Rico Gutierrez JL, Garcia Encina PA, Fdz-Polanco F. Anaerobic treatment of cheese-production wastewater using a UASB reactor. *Bioresour Technol*. 1991; 37(3): 271-6.
8. Monroy O, Johnson KA, Wheatley AD, Hawkes F, Caine M. The anaerobic filtration of dairy waste: results of a pilot trial. *Bioresour Technol*. 1994; 50(3): 243-51.
9. Gavala HN, Kopsinis H, Skiadas IV, Stamatelatos K, Lyberatos G. Treatment of dairy wastewater using an upflow anaerobic sludge blanket reactor. *J Agric Eng Res*. 1999; 73(1): 59-63.
10. Passeggi M, Lopez I, Borzacconi L. Integrated anaerobic treatment of dairy industrial wastewater and sludge. *Water Sci Technol*. 2009; 59(3): 501-6.
11. Yan J, Lo K, Liao P. Anaerobic digestion of cheese whey using up-flow anaerobic sludge blanket reactor. *Biol Wastes*. 1989; 27(4): 289-305.
12. Luo J, Ding L, Qi B, Jaffrin MY, Wan Y. A two-stage ultrafiltration and nanofiltration process for recycling dairy wastewater. *Bioresour Technol*. 2011; 102(16): 7437-42.
13. Kushwaha JP, Srivastava VC, Mall ID. Organics removal from dairy wastewater by electrochemical treatment and residue disposal. *Sep Purif Technol*. 2010; 76(2): 198-205.
14. Kushwaha JP, Srivastava VC, Mall ID. Treatment of dairy wastewater by commercial activated carbon and bagasse fly ash: Parametric, kinetic and equilibrium modelling, disposal studies. *Bioresour Technol*. 2010; 101(10): 3474-83.

15. Luo J, Ding L, Wan Y, Paullier P, Jaffrin MY. Application of NF-RDM (nanofiltration rotating disk membrane) module under extreme hydraulic conditions for the treatment of dairy wastewater. *Chem Eng J*. 2010; 163(3): 307-16.
16. Laszlo Z, Kertesz S, Beszedes S, Hovorka-Horvath Z, Szabo G, Hodur C. Effect of preozonation on the filterability of model dairy waste water in nanofiltration. *Desalination*. 2009; 240(1-3): 170-7.
17. Tchamango S, Nanseu-Njiki CP, Ngameni E, Hadjiev D, Darchen A. Treatment of dairy effluents by electrocoagulation using aluminium electrodes. *Sci Total Environ*. 2010; 408(4): 947-52.
18. Kaewsuk J, Thorasampan W, Thanuttamavong M, Seo GT. Kinetic development and evaluation of membrane sequencing batch reactor (MSBR) with mixed cultures photosynthetic bacteria for dairy wastewater treatment. *J Environ Manage*. 2010; 91(5): 1161-8.
19. Vidal G, Carvalho A, Mendez R, Lema J. Influence of the content in fats and proteins on the anaerobic biodegradability of dairy wastewaters. *Bioresour Technol*. 2000; 74(3): 231-9.
20. Hanaki K, Matsuo T, Nagase M. Mechanism of inhibition caused by long-chain fatty acids in anaerobic digestion process. *Biotechnol Bioeng*. 1981; 23(7): 1591-610.
21. Cammarota M, Teixeira GA, Freire DMG. Enzymatic pre-hydrolysis and anaerobic degradation of wastewaters with high fat contents. *Biotechnol Lett*. 2001; 23(19):1591-5.
22. Komatsu T, Hanaki K, Matsuo T. Prevention of lipid inhibition in anaerobic processes by introducing a two-phase system. *Water Sci Technol*. 1991; 23(7-9): 1189-200.
23. Sirianuntapiboon S, Jeeyachok N, Larplai R. Sequencing batch reactor biofilm system for treatment of milk industry wastewater. *J Environ Manage*. 2005; 76(2): 177-83.
24. Mace S, Mata-Alvarez J. Utilization of SBR technology for wastewater treatment: an overview. *Ind Eng Chem Res*. 2002; 41(23): 5539-53.
25. Asgari Gh, Ghanizadeh Gh, Seyd Mohammadi A. Adsorption of humic acid from aqueous solutions onto modified pumice with hexadecyl trimethyl ammonium bromide. *J Babol Univ Med Sci*. 2012; 14(1): 14-22.
26. APHA, AWWA, WEF. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 21<sup>th</sup> ed. Washington DC: American Public Health Association; 2005.
27. Abdulgader M, Yu QJ, Zinatizadeh A, Williams P. Biological treatment of milk processing wastewater in a sequencing batch flexible fibre biofilm reactor. *Asia Pac J Chem Eng*. 2009; 4(5): 698-703.

## **Study of use of pumice stone with sequencing batch reactor for treatment of dairy industries wastewater**

Sadeghi M<sup>1</sup>, Karimi H<sup>2\*</sup>, Fadaei AM<sup>1</sup>, Sedehi M<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Environmental Health Engineering Dept., Shahrekord University of Medical Sciences, Shahrekord, I.R. Iran; <sup>2</sup> Student, Shahrekord University of Medical Sciences, Shahrekord, I.R. Iran;

<sup>3</sup>Statistics and Epidemiology Dept., Shahrekord University of Medical Sciences, Shahrekord, I.R. Iran.

Received: 4/Dec/2013

Accepted: 17/Apr/2014

**Background and aims:** Dairy industries generate a large amount of wastewater that contains high concentrations of carbonaceous and nitrogenous organic materials. Discharge of these wastewaters as untreated into environment leads to serious contaminations. The aim of this study was to evaluate the effectiveness of pumice stone application with sequencing batch reactor to remove organic compounds in dairy wastewaters.

**Methods:** In this experimental study which was conducted at bench scale, two processes of sequencing batch reactor, conventional and equipped with pumice stone, were used as treatment models. In commissioning phase of systems, the sludge of municipal wastewater treatment plant underwent acclimatization for 9 days. Then, each reactor was inoculated with 2.5 liters of the sludge. In operation step, the reactors were continuously monitored for 36 days and the efficiency of the system for the removal of chemical oxygen demand (COD), biochemical oxygen demand (BOD<sub>5</sub>), proportion of total solids (TS) and total Kjeldahl nitrogen (TKN) was measured.

**Results:** The mean removal efficiency of COD, BOD<sub>5</sub>, TS and TKN was respectively 61.8±9.4, 58.5±8.6, 64.9±2.5 and 46.5±22.5 for the reactor without batch and 67.5±9.4, 63.4±11.8, 66.7±3.2, 62.2±15.7 for the reactor equipped with batch. By these results, removal efficiency of COD and TKN by the batch-equipped system had a significant difference from removal efficiency of these parameters by the system without batch ( $p < 0.05$ ).

**Conclusion:** This study demonstrated increased removal efficiency of COD, BOD<sub>5</sub>, TS and TKN in sequencing batch reactor when pumice stone is used as microbial growth batch in reactor. This model could be considered as a suitable choice for treatment of dairy wastewaters.

**Keywords:** Sequencing batch reactor, Pumice stone, Wastewater, Dairy industries.

**Cite this article as:** Sadeghi M, Karimi H, Fadaei AM, Sedehi M. Study of use of pumice stone with sequencing batch reactor for treatment of dairy industries wastewater. *J Shahrekord Univ Med Sci*. 2015; 16(6): 28-39.

---

**\*Corresponding author:**

*Environmental Health Engineering Dept., Faculty of Health, Shahrekord University of Medical Sciences, Shahrekord, I.R. Iran, Tel: 009833330299, E-mail: karimi2090@yahoo.com*