

## تصفیه شیرابه‌ی لندفیل به وسیله گرانول‌های هوازی ساخته شده از

### فاضلاب مصنوعی

عطیه جبلی<sup>۱</sup>، دکتر حسن امینی راد<sup>۲\*</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران- محیط زیست، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل

۲- استاد دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل

[h.a.rad@nit.ac.ir](mailto:h.a.rad@nit.ac.ir)

تاریخ پذیرش [۹۵/۱۰/۱۲]

تاریخ دریافت [۹۵/۰۸/۰۱]

#### چکیده

شیرابه‌ی تولید شده در خاکچاله‌ها به دلیل ساختار پیچیده و آلودگی بالا به کمک روش‌های متعارف قابل تصفیه نبوده و نیازمند روش‌های تصفیه‌ی فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی پیشرفته است. یکی از روش‌هایی که به تازگی مورد توجه قرار گرفته، تصفیه‌ی بیولوژیکی شیرابه توسط گرانول‌های هوازی است. در این پژوهش ساخت گرانول‌ها و تصفیه‌ی شیرابه در دو فاز مجزا بررسی شده است: ساخت گرانول‌های هوازی در راکتور سری متوالی با فاضلاب مصنوعی در بارگذاری تدریجی مواد آلی ۵۰ تا ۶۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر در شرایط آزمایشگاهی در مدت ۲۸ روز انجام شد. از گرانول‌های کشت شده در تصفیه شیرابه تولیدی خاکچال شهر بابل استفاده شد. در این پژوهش هماهنگی گرانول‌های کشت شده با شیرابه خام طی یک فرایند تدریجی ۲۴ روزه شیرابه رقیق شده جایگزین فاضلاب مصنوعی شد. با توجه به تغییر خواص شیرابه ورودی، در برخی از گرانول‌های هوازی فروپاشی رخ داد. دلیل فروپاشی بعضی از گرانول‌های مربوط به واکنش کاتیون‌های دو ظرفیتی کلسیم و منیزیم را می‌توان به اجزای شیرابه نسبت داد. در ادامه بعد از سازگار شدن، بذر گرانول‌های فروپاشیده شده در فرایند تولید گرانول‌ها در مدت کوتاهتری نسبت به فاضلاب مصنوعی تشکیل شد. با افزایش فعالیت باکتریایی منجر به بهبود راندمان تصفیه شیرابه در سیستم شده و راندمان حذف مواد آلی در راکتور متوالی سری تحت شرایط آزمایشگاهی به ۹۰٪ رسیده است.

**واژگان کلیدی:** گرانول‌های هوازی، فاضلاب مصنوعی، تصفیه‌ی شیرابه، حذف COD.

#### ۱- مقدمه

جایگزین سیستم لجن فعال در دست پژوهش و بررسی است

[1,2].

گرانول‌های هوازی دانه‌هایی هستند که در ماتریس شامل مواد پلی مری خارج سلولی جاسازی شده، ترکیبات غیر آلی و انواع مختلف مواد معدنی است [3]. گرانول‌های هوازی معمولاً دارای ابعاد بزرگ با تراکم داخلی بالا و قابلیت ته نشینی سریع

گرانول‌های هوازی متشکل از تجمع توده‌های بیولوژیکی قادر به کاهش آلاینده‌های مختلف در سطح اشغال کم نسبت به سیستم‌های متعارف هستند، در مقابل شوک‌های گوناگون مقاوم بوده و دارای ویژگی ته نشینی بهتر و کیفیت پساب خروجی بالاتر است، در حال حاضر به عنوان یک روش

است [4].

گرانول‌های هوازی به دلیل درشت بودن و تراکم بالای داخلی، می‌توانند در مقابل انتشار سوبسترای حاوی سموم به داخل سلول‌ها مقاومت نموده که این امر موجب افزایش آستانه تحمل گرانول‌ها در تصفیه فاضلاب‌های قوی صنعتی با آلودگی بالا می‌شود [3, 5, 6, 7].

گرانول‌های هوازی به منظور تصفیه فاضلاب حاوی فنل و نیتروفلن با غلظت آلودگی ۲۹ گرم در لیتر [8]، پساب خروجی واحدهای آب زدایی لجن [9]، واحدهای داروسازی و وسایل آرایشی [10]، فاضلاب حاوی آمونیوم بالا، حذف همزمان نیتروژن و فسفر از فاضلاب با آمونیوم بالا [11]، حذف بهینه حذف فسفر و نیتروژن با صرفه‌جویی انرژی و سوبسترا با تاکید به نیتروفیکاسیون نسبی و دنیتروفیکاسیون، برای نیتروفیکاسیون نسبی فاضلاب شور در یک راکتور با جریان پیوسته که منجر به حذف ۹۵٪، ۸۵٪ و ۵۰٪ به ترتیب نیتريت، COD و نمک شد [12] استفاده شده است.

در تصفیه فاضلاب کشتارگاه گرانول‌های تشکیل شده راندمان حذف فسفات، نیتروژن و COD بهتری را نشان دادند، نسبت به شرایطی که از بذر لجن تصفیه خانه در تهیه گرانول‌ها استفاده شده بود [13, 14, 15].

در پژوهش دیگری کشت گرانول‌ها در دمای بالای ۵۰ درجه با فاضلابی با شدت آلودگی  $1.6 \text{ kg/m}^3\text{d}$  COD و نسبت COD/N برابر با ۸ به صورت همزمان، میزان بالائی از آمونیاک، فسفات و COD را کاهش داد.

از جمله پارامترهای تاثیرگذار بر فرایند گرانول‌سازی می‌توان نوع باکتری، ترکیب فاضلاب، بارگذاری، روش تغذیه، شدت هوادهی و هندسه راکتور را نام برد [3].

همچنین عملکرد گرانول‌ها در شرایط شوری و ترموفیلیک برای حذف همزمان COD، نیتروژن و آلاینده‌های اندوکترین قابل توجه است.

استفاده از بذر لجن تهیه شده در فصل‌های گرم در گرانول سازی بسیار موثرتر از فصول سرد بود. دلیل این موضوع به رشد موثر تولید کننده ترکیبات پلیمری خارج سلولی (EPS)

در دمای ۳۰ درجه است [16].

گرانول‌های هوازی برای نیتروفیکاسیون نسبی فاضلاب شور در یک راکتور با جریان پیوسته منجر به حذف ۹۵٪، ۸۵٪ و ۵۰٪ به ترتیب نیتريت، COD و نمک شد [12].

کشت گرانول‌های پایدار هوازی در دمای ۳۵ درجه، را بررسی کردند که نتایج پژوهش نشان داد که هتروتروف‌ها مقدار قابل توجهی EPS تولید می‌کنند و اتوتروف‌ها در هنگام نیتروفیکاسیون آمونیاک یک سطح سلولی آب هراس ایجاد و یک هسته بی هوازی در گرانول هوازی ایجاد کردند [17].

طبق پژوهش‌های انجام شده در راکتورهای ناپیوسته به دلیل اختصاص دادن رژیم غذایی و غلظت بالای سوبسترا در فرایند گرانوله سازی استفاده شده است [4-6]. تغذیه متناوب در یک سیستم بدلیل وجود گرادیان غذایی (افزایش-کاهش مواد غذایی) دارای مزایای بیشتری نسبت به تغذیه پیوسته است و یک گرادیان غذادهی قوی در سیستم SBR<sup>۲</sup> منجر به ته نشینی خوب لجن و در نهایت شکل‌گیری گرانول‌های فشرده و متراکم می‌شود. غذادهی متناوب روی شکل فلاک‌ها و ارگانسیم فیلماتوس و به نوبه خود در ساختار گرانول بطور موثری تاثیرگذار است. بنابراین تغذیه متناوب با گرادیان سوبسترای بالا برای تشکیل گرانول‌های متراکم و فشرده لازم است [7-8].

فرایند گرانول‌سازی از لجن فعال در راکتور SBR در سه بخش سازگار شدن، ساخت گرانول، افزایش اندازه‌ی گرانول انجام می‌شود. لجن فعال در راکتور SBR با مخلوطی از لجن حاوی فیلماتوس با ته‌نشینی ضعیف تلقیح می‌یابد و باتوجه به در نظر گرفتن زمان ته‌نشینی کوتاه، فلاک‌های سبک‌تر از راکتور شسته شده و غلظت لجن در راکتور کاهش و غلظت جامدات معلق در خروجی افزایش می‌یابد. باکتری‌ها در ابتدا برای گرانول‌سازی به صورت مجزا رشد کرده و بعد رشد تجمعی را سرعت بخشیده که منجر به ایجاد به فلاک خواهند شد و در نهایت فلاک‌ها به گرانول تبدیل خواهند شد و رشد خواهند کرد [9]. بررسی عملکرد تشکیل گرانول‌های هوازی در حضور آلایندگی بسیار بالای شیرابه‌های خاکچال موضوعی است که در مطالعات پیشین کمتر به آن توجه شده است. در این مقاله به

لوله‌ی ارلیفت حفره‌هایی به قطر ۲ سانتی‌متر ایجاد شده است و در قسمت انتهایی لوله در کف راکتور هواده قرار داده شده است تا حباب‌های هوا از پایین لوله‌ی وارد شده و موجب سبک شدن آب و به سمت بالا حرکت کرده و موجب گردش آب به درون لوله می‌شود در برگشت از داخل راکتور و حفره-های پایینی لوله وارد لوله‌ی ارلیفت شود، این جابه‌جائی آب به سرعت ورود حباب بستگی داشته که می‌تواند فشار هیدرولیکی و در نهایت عمل اغتشاش دورانی را در راکتور فراهم، تا انتقال اکسیژن به خوبی صورت پذیرد و با این کار عاملی برای کروی شدن سطح گرانول‌ها ایجاد شود.

### ۳- شرایط راهبری

در این پژوهش برای ساخت گرانول‌های هوازی، آزمایش‌ها در سیکل‌های ۶ ساعته شامل ۳۰ دقیقه غذادهی، ۲۷۰ دقیقه هوادهی، ۳۰ دقیقه ته‌نشینی، ۳۰ دقیقه تخلیه پساب انجام شده است. پارامترهای دما در بازه‌ی ۲۰-۲۳ درجه سانتی‌گراد و اکسیژن محلول در بازه‌ی ۶ تا ۸ میلی‌گرم در لیتر و pH در بازه‌ی ۷/۵ تا ۸/۳ نگهداشته شده است.

فاز اول: بذر لجن به غلظت ۴۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر باشاخص لجن (SVI) ۶۰ میلی‌لیتر در گرم از حوضچه هوادهی لجن فعال تصفیه خانه شهرک یثرب واقع در شهر قائمشهر برای تشکیل گرانول در راکتور تهیه شد. برای کشت گرانول از فاضلاب مصنوعی استفاده شده، بطوری که از گلوکز به عنوان منبع کربنی، آمونیوم کلراید به عنوان منبع نیتروژنی، پتاسیم دی‌هیدروژن فسفات به عنوان منبع فسفر و همچنین از ریزمغذی-هایی چون سولفات منیزیم، سولفات آهن، کلسیم کلراید، پتاسیم دی‌هیدروژن فسفات استفاده شده است. بارگذاری در فاز گرانول سازی طی ۲۸ روز در ابتدا از COD ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر شروع شده و تا ۶۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر افزایش یافته‌است. پارامترهایی مانند MLSS، SVI، سرعت ته‌نشینی، حذف بار آلی، قطر گرانول‌ها مورد اندازه‌گیری و بررسی قرار گرفت.

فاز دوم: شیرابه‌ی استفاده شده در این پژوهش از محل دفن زباله شهرستان بابلسر با ویژگی‌های مندرج در جدول (۱) است.

صورت موردی تصفیه شیرابه توسط گرانول‌های هوازی مورد آزمایش قرار گرفته است و در یک آزمایش ۵۲ روزه ساخت گرانول، سازگار کردن گرانول‌ها با شیرابه و تصفیه شیرابه در راکتور SBR انجام شده است.

### ۲- مواد و روش‌ها

در این آزمایش کل مدت زمان مربوط به تصفیه شیرابه به وسیله گرانول‌های هوازی ۵۲ روز بطول انجامید که به دو فاز کشت گرانول و تصفیه شیرابه تقسیم شده است. فاز اول (کشت گرانول): راهبری راکتور و کشت لجن گرانوله با فاضلاب مصنوعی به مدت ۲۸ روز، فاز دوم (تصفیه شیرابه): راهبری راکتور برای سازگار شدن گرانول‌ها با شیرابه و تصفیه-ی آن به مدت ۲۴ روز در فاز اول، کشت گرانول از فاضلاب مصنوعی در راکتور SBR انجام شده است.

شکل ۱. پایلوت SBAR



Fig. 1. SBAR pilot

راکتور مورد استفاده در این آزمایش از جنس پلکسی گلس به ابعاد ۲۰\*۲۰\*۷۵ سانتی‌متر مکعب با حجم مفید ۲۸ لیتر بوده است. همان‌گونه که در شکل (۱) مشاهده می‌شود برای اختلاط موثر در راکتور از لوله‌ای به قطر ۱۰ سانتی‌متر به ارتفاع ۵۰ سانتی‌متر از جنس PVC به عنوان لوله‌ی ارلیفت استفاده شده است. همان‌گونه که در شکل (۱) مشاهده می‌شود در انتهای

راکتور مربوط به شیرابه باشد.

شکل ۲. جایگزینی تدریجی شیرابه با فاضلاب مصنوعی

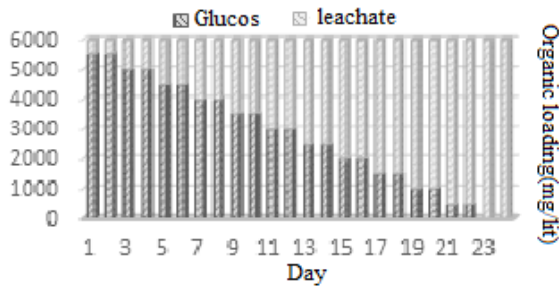


Fig. 2. Gradual replacement of leachate with artificial sewage

### ۴- نتایج

۴-۱ فاز اول (کشت گرانول‌های هوازی)

۴-۱-۱ بارگذاری فاضلاب مصنوعی

همانطور که در شکل (۳) مشاهده می‌شود بارگذاری فاضلاب مصنوعی در ساخت لجن گرانوله در سیکل‌های ۶ ساعته در مدت زمان ۲۸ روز افزایش می‌یابد. بارگذاری در روز اول راه-اندازی راکتور با COD ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر شروع شده و باتوجه به سازگار شدن باکتری‌ها به نوع مواد غذایی بارگذاری یک روز در میان افزایش می‌یابد.

شکل ۳. بارگذاری فاضلاب مصنوعی

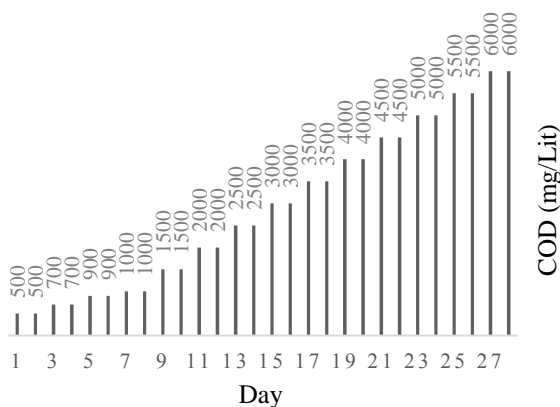


Fig. 3. Artificial sewage loading

در ۱۰ روز اول بارگذاری ۱۶٪ افزایش داشته است. در انتهای روز دهم COD به ۱۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر رسیده و از روز دهم تا بیستم بار آلی ۶۶٪ افزایش داده شد که معادل ۴۰۰۰ میلی‌گرم

جدول ۱. مشخصات شیرابه‌ی استفاده شده

Leachate	Unit	Parameter
8.36	---	pH
2000	mg/Lit	BOD
6400	mg/Lit	COD
0.3	---	BOD/COD
2186	mg/Lit	TOC
1739	μs	EC
225.48	mg/Lit	TN
141	mg/Lit	NH <sub>4</sub>
83.3	mg/Lit	NO <sub>3</sub>
292	mg/Lit	PO <sub>4</sub>
2.43	mg/Lit	Fe
1.74	mg/Lit	Zn
0.06	mg/Lit	Ni
0.08	mg/Lit	Cr
1.17	mg/Lit	Pb
0	mg/Lit	Cd
87.5	FTU	Turbidity
380	mg/Lit	TSS

Table.1. The characteristics of the leachate

در این پژوهش برای تصفیه‌ی شیرابه با گرانول‌های تشکیل شده در فاز اول، ابتدا سازگار کردن گرانول‌ها با شیرابه در همان راکتور با شرایط ثابت فاز اول انجام شده است به گونه‌ای که از میزان فاضلاب مصنوعی ورودی به راکتور کاسته و مابقی شیرابه جایگزین شد. همان‌گونه که در شکل (۲) مشاهده می‌شود روزانه از مقدار فاضلاب مصنوعی کاسته و برای جبران COD به آن شیرابه به تدریج شیرابه جایگزین فاضلاب مصنوعی شد.

همانطور که در شکل (۲) مشاهده می‌شود بعد از تشکیل گرانول‌های هوازی که به دلیل غلظت بالای کلسیم و منیزیم و همچنین بالا بودن اغتشاش یا فشار هیدرودینامیکی در راکتور بوده است، با ثابت نگهداشتن بار آلی ورودی به راکتور روزانه به مقدار ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر COD شیرابه وارد راکتور شده و هر سیکل افزایش دو روز تکرار شد تا به دلیل پیچیدگی ساختار شیرابه و سخت تجزیه پذیری‌شان منجر به شوک در ساختار گرانول‌ها نشود و فروپاشی آنی اتفاق نیفتد. افزایش COD شیرابه تا جایی انجام می‌شود که دیگر فاضلاب مصنوعی وارد راکتور نشود و ۶۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر COD ورودی به

غذایی ورودی و این نوع از فاضلاب مصنوعی، اجتماع میکروبی و تکثیر باکتریایی افزایش می‌یابد و میزان مصرف بار آلی با افزایش مصرف کنندگان (باکتری‌ها) افزایش می‌یابد.

شکل ۵. مصرف بار آلی

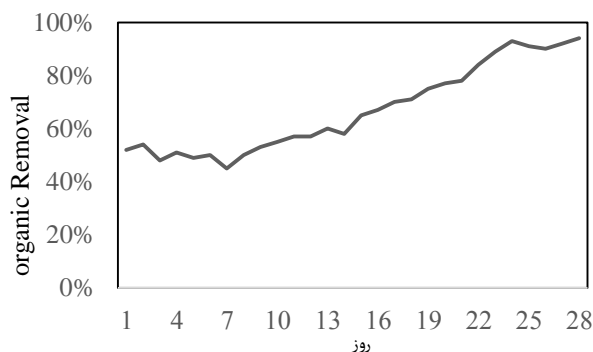


Fig. 5. Organic consumption

همانطور که در شکل (۵) مشاهده می‌شود در ۱۰ روز اول باتوجه به تشکیل نشدن فلاک‌ها و اجتماع میکروبی میزان مصرف بارآلی پایین و از روز دهم تا بیستم با شروع تشکیل تدریجی گرانول‌ها میزان مصرف بار آلی افزایش می‌یابد. دلیل اصلی این تاخیر را می‌توان به مراحل یا سازوکار تشکیل گرانول از پیوستن سلول‌ها، تشکیل ریز گرانول‌ها، (ختی سازی بار سطحی، نیروی واندر والس جابه‌جائی پروتون و غیره)، تولید EPS (حس‌گرها، علائم محیطی) و بلوغ (تاثیر نیروهای هیدرودینامیکی ناشی از هوا و سیال، سنتز EPS، تشکیل پل‌های یونی، انتخاب فشار هیدرولیکی و رشد بیومس ساکن) نسبت داد [18].

#### ۴-۱-۴ افزایش قطر گرانول در فاز کشت گرانول

همانطور که در شکل (۶) مشاهده می‌شود لجن تهیه شده از تصفیه‌خانه به‌عنوان بذر گرانول در راکتور استفاده شد. در ابتدا دارای قطر اولیه ۰/۰۳ میلی‌متر و طبق شکل (۷) دارای ساختار کرکی، ناپیوسته، پرمماند و نامنظم است. همان‌گونه که در شکل (۶) مشاهده می‌شود باتوجه به افزایش بارگذاری از ۵۰۰ به ۱۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر از روز اول تا روز دهم قطر گرانول به ۰/۱ میلی‌متر رسید.

در لیتر بوده است. در روز بیستم بار آلی ورودی به راکتور به ۶۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر افزایش یافته است.

#### ۴-۱-۲ تغییرات MLSS در فاز کشت گرانول

در شکل (۴) مشاهده می‌شود با افزایش بارگذاری به ۱۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر در ۱۰ روز اول میزان جامدات معلق از ۴۰۰۰ به ۶۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر افزایش یافته که این مقدار معادل ۲۷٪ افزایش MLSS در راکتور بوده است. بعد از گذشت ۵ روز با افزایش بارگذاری، جامدات معلق به ۹۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر رسیده و رشد ۷۳٪ در راکتور حاصل شده است.

شکل ۴. تغییر جامدات معلق با افزایش بارگذاری

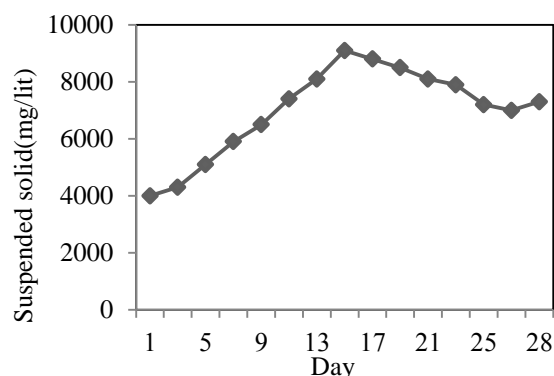


Fig. 4. Suspended changes with increasing loading

همانطور که در شکل (۴) مشاهده می‌شود، بیشترین نرخ افزایش جامدات معلق در بیشترین بارگذاری اتفاق افتاده است. زیرا با افزایش بارگذاری باعث افزایش رشد بیومس و رشد میکروارگانیسم‌ها در چرخه‌ی تولید اجتماع میکروبی می‌شود. با افزایش بارگذاری سرعت رشد باکتری‌ها و رشد گرانول افزایش می‌یابد [7]. با افزایش قطر بذر لجن و تبدیل شدن فلاک‌ها به گرانول‌های توپر و متراکم مقدار جامدات معلق در حجم مشخص کاهش یافت.

#### ۴-۱-۳ تاثیر مصرف بارآلی در فاز کشت گرانول

شکل (۵) میزان مصرف مواد آلی را در راکتور بعد از هر سیکل نشان می‌دهد. در بارگذاری‌های کم در روزهای ابتدایی راه‌اندازی راکتور راندمان مصرف بار آلی پایین بوده زیرا در این حالت میزان نرخ رشد باکتری به نسبت وضعیت بار آلی ورودی بالا کمتر است. بعد از سازگار شدن باکتری‌ها به مواد

شکل ۹. تصویر میکروسکوپی پیدایش گرانول

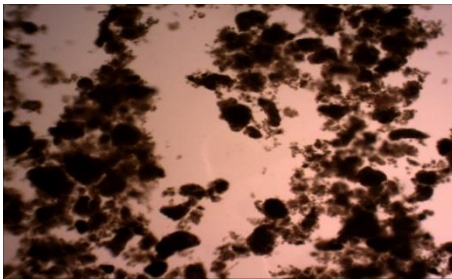


Fig. 9. Microscopic image of the emergence of the granule

شکل ۱۰. تصویر غیر میکروسکوپی روند پیدایش گرانول



Fig. 10. Non-microscopic image of the emergence of granules

شکل (۱۱) نشان دهنده‌ی افزایش قطر گرانول با افزایش بار آلی است. در روز ۲۸ در بار آلی ۶۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر گرانول‌های توپر و متراکم به پایداری نسبی رسیده‌اند.

شکل ۱۱. تصویر میکروسکوپی و غیر میکروسکوپی افزایش قطر گرانول

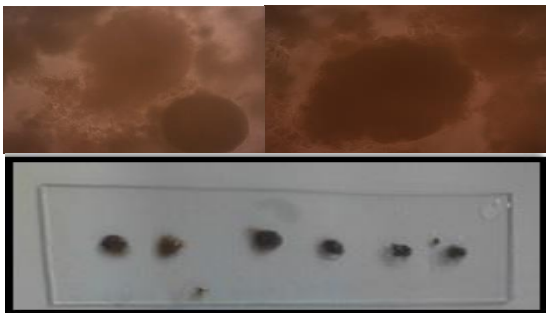


Fig. 11. Microscopic and non-microscopic image increase the diameter of the granule

۴-۱-۵ تغییرات شاخص حجمی در فاز کشت گرانول

شکل (۱۲) تغییرات شاخص حجمی لجن را از ابتدا تا زمان تشکیل گرانول نشان می‌دهد. شکل (۱۳) وجود فیلمانتوس را در راکتور نشان می‌دهد. غذادهی با گلوکز در گرانول‌های هوازی حاکی از وجود فیلمانتوس است [8]. در ابتدا به دلیل ساختار کرکی و نامنظم و با پیدایش فیلمانتوس و افزایش

شکل ۶. افزایش قطر گرانول متناسب با بارگذاری

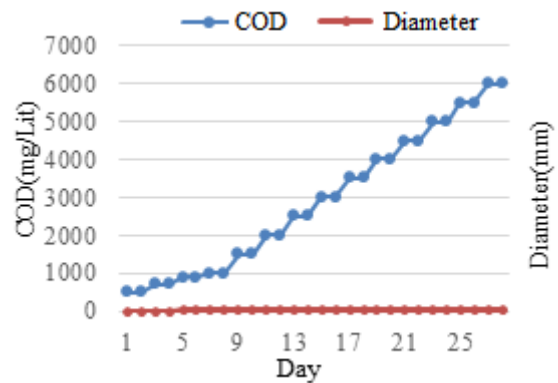


Fig. 6. Increase the diameter of the granule in proportion to the loading

باتوجه به افزایش بارگذاری و افزایش جمعیت میکروبی می‌توان دریافت هرچه بارگذاری افزایش یابد روند تدریجی افزایش قطر گرانول هم سریع‌تر مشاهده خواهد شد. شکل‌های (۷ و ۸) تغییرات لجن و سازگار شدن میکروارگانیسم‌ها به نوع مواد غذایی را نشان می‌دهد که افزایش فعالیت‌های میکروبی منجر به فشردگی و پیوسته شدن لجن شده است. با افزایش بارگذاری از روز دهم تا بیستم اجتماع میکروبی و مصرف مواد آلی افزایش یافته، فلاک‌ها تشکیل و تبدیل به گرانول ریز شده‌اند. در روز بیستم گرانول‌هایی با قطر میانگین ۱/۷ میلی‌متر مطابق شکل (۹) پدیدار شد.

شکل ۷. تصویر میکروسکوپی لجن اولیه



Fig. 7. microscopic image of initial sludge

شکل ۸. تصویر میکروسکوپی لجن اولیه بعد از یک هفته



Fig. 8. microscopic image of initial sludge after one week



بودن لجن در ابتدا سرعت ته‌نشینی پایین بوده است. با شسته شدن لجن‌های سبک‌تر از راکتور و تشکیل اجتماع میکروبی سرعت ته‌نشینی افزایش یافته است. با تشکیل فلاک، تبدیل آن به گرانول و با متراکم شدن گرانول‌ها سرعت سیر صعودی را طی کرده است.

۴-۲- فاز دوم (تصفیه شیرابه)

پس از رسیدن گرانول‌ها به حالت پایدار در فاز اول، طی یک فرایند تدریجی سازگار کردن گرانول‌ها با شیرابه و تصفیه شیرابه در راکتور انجام شده است. همانطور که شکل (۲) توضیح داده شد برای سازگار نمودن باکتری‌ها به شیرابه بصورت روزانه به میزان ۸٪ از گلوکز کاسته شده و شیرابه جایگزین آن شده است و بعد از گذشت ۲۴ روز شیرابه کاملاً جایگزین فاضلاب مصنوعی گردید.

۴-۲-۱ تغییرات MLSS در فاز تصفیه شیرابه

شکل (۱۵) تغییرات MLSS در راکتور را بعد از بارگذاری شیرابه نشان می‌دهد. بدلیل وجود مواد سمی و نامشخص در ترکیبات شیرابه‌ی ورودی به راکتور همانطور که در شکل (۱۶) مشاهده می‌شود گرانول‌های جوان و نامتراکم از هم پاشیده شده‌اند و گرانول‌های توپر و متراکم بدلیل استحکام بالا در برابر شیرابه‌ی ورودی مقاومت نشان داده و با کمی خوردگی در سطح گرانول در راکتور باقی مانده‌اند.

شکل ۱۵. تغییرات جامدات معلق با ورود شیرابه در راکتور

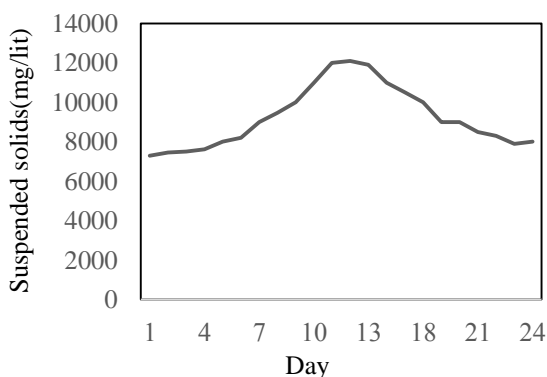


Fig. 15. Changes in suspended solids by the arrival of leachate in the reactor

جامدات معلق در راکتور شاخص حجمی عدد بالایی را نشان می‌دهد. با شسته شدن لجن‌های حجیم و بالکینگ از راکتور شاخص حجمی سیر نزولی را طی می‌کند. باتوجه به تشکیل اجتماع میکروبی و پیدایش فلاک‌ها سرعت ته‌نشینی افزایش یافته و شاخص حجمی نیز کاهش یافته است.

شکل ۱۲. تغییرات شاخص حجمی لجن

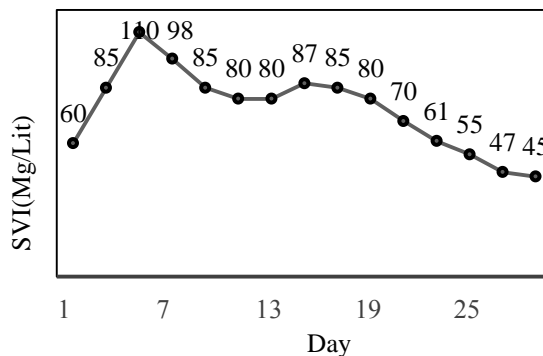


Fig. 12. Sludge volum index changes

شکل ۱۳. تصویر میکروسکوپی فیلمانتوس



Fig. 13. Microscopic Image of Philmantus

شکل ۱۴. تغییرات سرعت ته‌نشینی

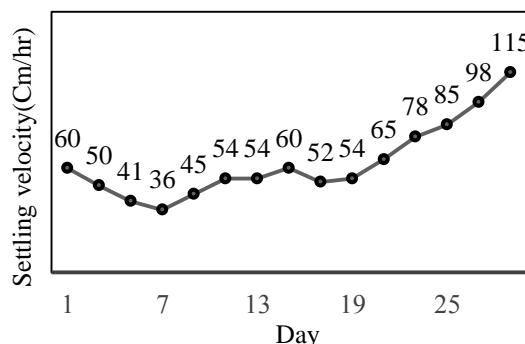


Fig. 14. Changes in settling velocity

۴-۱-۶ تغییرات سرعت ته‌نشینی در فاز کشت گرانول همانطور که در شکل (۱۴) مشاهده می‌شود به دلیل حجیم

از هم پاشیدن گرانول‌های جوان شاخص حجمی افزایش یافته و بعد از سازگار شدن باکتری‌ها به شیرابه و ادامه فعالیت‌های بیولوژیکی، گرانول‌های موجود متراکم‌تر شده است. دلیل فروپاشی گرانول‌های تولیدی در فاضلاب مصنوعی را می‌توان به مصرف یون‌های کلسیم و منیزیم در پیوندهای سلولی توسط اسید فسفریک نسبت داد.

بدلیل عادت نداشتن گرانول‌ها به نوع مواد غذایی (شیرابه) ورودی به راکتور و سخت تجزیه شدن گرانول‌ها میزان مصرف بار آلی شیرابه توسط باکتری‌ها کاهش یافته و جمعی از باکتری‌ها که قابلیت تجزیه شیرابه را ندارند غیرفعال میشوند. با از بین رفتن باکتری‌ها گرانول هم دچار پاشیدگی خواهد شد و منجر به افزایش جامدات معلق در سیستم خواهد شد.

شکل ۱۷. الف) تصویر غیر میکروسکوپی گرانول‌ها ب) تصویر میکروسکوپی افزایش قطر گرانول با شیرابه

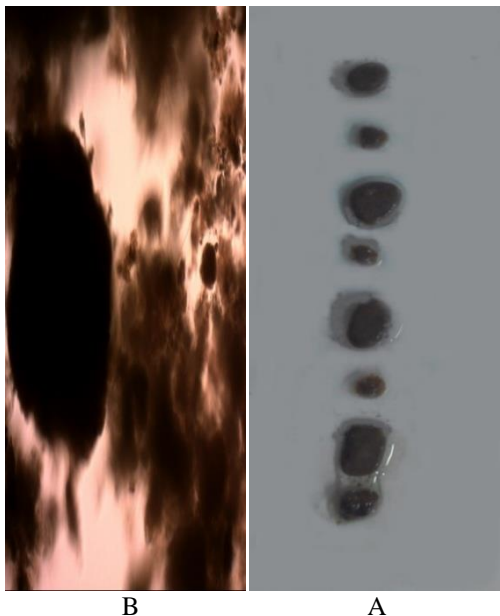


Fig. 17. A) Non-microscopic image of granules; B) microscopic image of increasing the diameter of the granule with the leachate

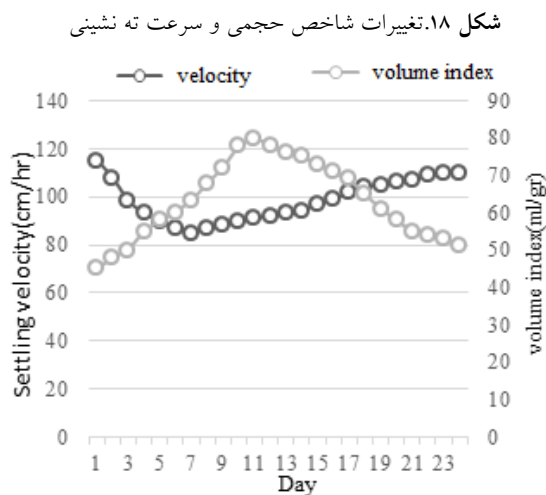


Fig. 18. Volume index changes and settling velocity

شکل ۱۶. رفتار گرانول‌ها در برابر شیرابه

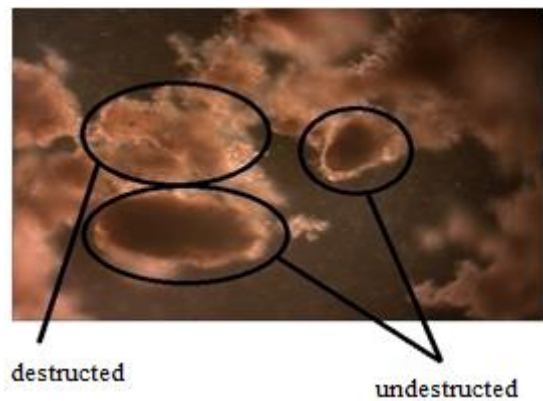


Fig. 16. The behavior of the granules against the leachate

باکتری‌هایی که در برابر ورود شیرابه مقاومت کرده‌اند، موفق به شکست ساختار شیرابه شده و از آن تغذیه کرده‌اند، با شیرابه سازگار شده و فعالیت باکتریایی جدید خود را شروع خواهند کرد. گرانول‌های از هم پاشیده دوباره نقش بذری برای تشکیل گرانول را ایفا کرده و گرانول‌های جدید تولید و شروع به رشد کرده‌اند. شکل (۱۷) رشد گرانول‌های مقاوم در برابر شیرابه را نشان می‌دهد که بعد از سازگار شدن به شیرابه قطر گرانول‌ها نیز افزایش یافته است.

۲-۲-۴ تغییرات شاخص حجمی لجن-سرعت ته‌نشینی در فاز تصفیه شیرابه با ورود شیرابه به داخل راکتور بخشی از گرانول‌های نامتراکم و توخالی به لجن‌های کرکی و پرماند تبدیل شده و منجر به افزایش جامدات معلق گشته و همچنین این پاشیدگی گرانول‌ها باعث افزایش شاخص حجمی و کاهش سرعت ته‌نشینی در لجن شده است. همانطور که در شکل (۱۸) مشاهده می‌شود با



## ۴-۳ حذف بار آلی شیرابه

در سیکل‌های ابتدایی به دلیل مواجه شدن باکتری‌ها با فاضلاب پیچیده و سخت تجزیه پذیر و عدم تجزیه‌ی شیرابه راندمان حذف بار آلی ورودی به حداقل رسیده است. در این وضعیت باکتری‌هایی که مقاومت کمتری در برابر شوک ناشی از بار آلی، مواد سمی، و همچنین ترکیبات محدود کننده رشد را داشته‌اند، از چرخه کاتابولیسمی خارج شده‌اند. درحالی‌که بوقوع پیوستن این مطلب در بکارگیری سیستم لجن فعال متعارف در تصفیه فاضلاب صنایع به عنوان یک چالش بحساب می‌آید [1, 2]. همانطور که در شکل (۱۹) مشاهده می‌شود راندمان حذف با ورود شیرابه کاهش یافته است.

شکل ۱۹. درصد حذف بار آلی

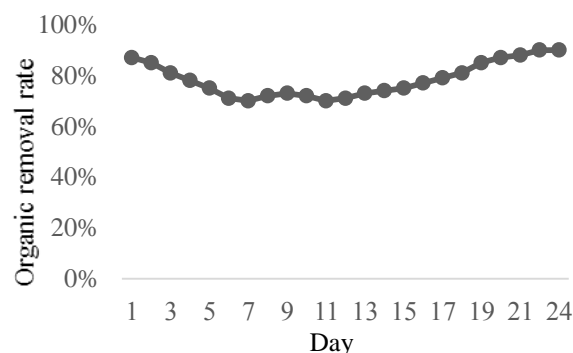


Fig. 19. Percentage of organic removal rate

بعد از خو گرفتن باکتری‌ها به نوع مواد غذایی ورودی (شیرابه) و شروع فعالیت باکتریایی، میزان مصرف بار آلی توسط باکتری‌ها افزایش یافته و در نتیجه در فرایندی سریع بذر گرانول‌ها ناشی از فروپاشی به گرانول‌های تطبیق یافته به شیرابه تولید شد. با استفاده از گرانول‌های کشت شده راندمان حذف شیرابه تا ۹۰٪ افزایش یافت.

## ۵- نتیجه گیری

این پژوهش تصفیه‌پذیری شیرابه با استفاده از گرانول‌های هوازی را بررسی کرده است. به منظور بهینه‌سازی زمان تشکیل گرانول و بکارگیری آن در تصفیه شیرابه، ابتدا گرانول‌ها با فاضلاب مصنوعی ساخته شده و از این گرانول‌ها در تصفیه شیرابه استفاده شد. نتایج مراحل گرانول‌سازی نشان داد که

گرانول‌های ساخته شده از فاضلاب مصنوعی بر پایه گلوکز در فاز تصفیه شیرابه دچار فروپاشی شد، که علت عمده آن حضور یون فسفات ( $PO_4^{3-}$ ) در شیرابه و یا آزادسازی فسفر در شرایط بیهوازی بوده که جایگزین یون‌های کلسیم و منیزیم موجود در پیوندهای ساختاری گرانول‌ها شده‌اند. در صورتیکه گرانول‌های تشکیل شده با بذر تولیدی در فاضلاب شیرابه در مدت کمتری نسبت به فاضلاب مصنوعی تشکیل شدند. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که بار آلی (شیرابه) ورودی به سیستم SBR حاوی گرانول‌های هوازی را می‌توان تا ۹۰٪ کاهش داد.

## References

## ۵- منابع

- 1-deKreuk M.K., Heijnen J.J., van Loosdrecht M.C.M. 2005 Simultaneous COD, nitrogen, and phosphate removal by aerobic granular sludge. *Biotechnology and Bioengineering* 90, 761e769.
- 2-Liu Y., Tay J.-H. 2004 State of the art of biogranulation technology for wastewater treatment. *Biotechnology Advances* 22, 533e563.
- 3-Adav S.S., Lee D.J. 2008 Extraction of extracellular polymeric substances from aerobic granule with compact interior structure. *J. Hazard. Mater.* 154.
- 4-Wu R.M., Lee D.J. 1998 Hydrodynamic drag force exerted on a moving floc and its implication to free-settling tests. *Water Res.* 32, 760-768.
- 5- Lee D.J., Chen Y.Y., Show K.Y., Whiteley C.G., Tay, J.H. 2010 Advances in aerobic granule formation and granule stability in the course of storage and reactor operation. *Biotechnol. Adv.* 28, 919-934.
- 6- Show K.Y., Lee D.J., Tay J.H. 2012 Aerobic granulation: Advances and challenges. *Appl. Biochem. Biotechnol.* 167, 1622-1640.
- 7- Khan M.Z., Mondal P.K., Sabir S. 2013 Aerobic granulation for wastewater bioremediation: A review. *Can. J. Chem. Eng.* 91, 1045-1058.
- 8- Romos C., Suarez-Ojeda M.E., Carrera J. 2015 Long-term impact of salinity on the performance and microbial population of an aerobic granular reactor treating a high-strength aromatic wastewater. *Bioresour. Technol.* 198, 844-851.
- 9- Long B., Yang C.Z. Pu, W.H. Yang, J.K. Shi, Y.F., Wang J., Bai J., Zhou, X.Y. Jiang, G.S., Li, C.Y., Liu, F.B. 2014. The stability of aerobic granular sludge treating municipal sludge deep dewatering filtrate in a bench scale sequencing batch reactor. *Bioresour. Technol.* 169. 244-250.
- 10- Zhao X., Chen Z.L., Wang X.C., Li J.C.Z., Shen J.M. Xu, H. 2015 Remediation of pharmaceuticals and personal care products using an aerobic granular sludge sequencing bioreactor and microbial community profiling using Solexa sequencing technology analysis. *Bioresour. Technol.* 179, 104-112.

- 15-Liu Y.L., Kang X.R., Li X. Yuan, Y.X. 2015 Performance of aerobic granular sludge in a sequencing batch bioreactor for slaughterhouse wastewater treatment. *Bioresour. Technol.* 190, 487–491.
- 16- Ab Halim, M.H. Anuar, A.N. Zami, S.I. Abdul Jamal, N.S. Abdul Wahab, N. UjangZ., Shraim A., Bob, M.M. 2015 Aerobic sludge granulation at high temperatures for domestic wastewater treatment. *Bioresour. Technol.* 185,445–449.
- 17- Cui F.H., Park S., Kim, M. 2014 Characteristics of aerobic granulation at mesophilic temperatures in wastewater treatment. *Bioresour. Technol.* 151,78.
- 18-BeunJ.J., Hendriks A., Van Loosdrecht M.C.M., MorgenrothE.P.A., Heijnen J.J., Aerobic Granulation in a Sequencing Batch Reactor”, *WaterResearch* 33, 1999, 2283-2290.
- 11- Yu X.N., Wan C.L., Lei Z.F., Liu X., Zhang, Y., Tay J.H., Lee, D.J. 2014a. Use of aerobic granules for treating synthetic high-strength ammonium wastewaters. *Environ. Technol.* 35, 1785–1790.
- 12- Rathnayake R.K.L.D., Oshiki M., Ishii S., Segawa T., Satoh H., Okabe S. 2015. Effects of dissolved oxygen and pH on nitrous oxide production rates in autotrophic partial nitrification granules. *Bioresour. Technol.* 197, 15–22.
- 13- Liu Y., Tay J.H. 2015 Fast formation of aerobic granules by combining strong hydraulic selection pressure with overstressed organic loading rate. *Water Res.* 80, 256–266.
- 14- Chen Y.Y., Lee D.J. 2015 Effective aerobic granulation: Role of seed sludge. *J. Taiwan Inst. Chem. Engrs.* 52, 118–119.

# The landfill leachate treatment by aerobic granules made from synthetic wastewater

A.jebelli<sup>1</sup>, A. H.Aminin Rad<sup>2\*</sup>

1- M.Sc. of environmental Eng, Faculty of Civil and Environmental Eng., industrial noshirvani University

2- Associate Prof., environmental Eng. Dept., Faculty of Civil and Environmental Eng., industrial noshirvani University

[h.a.rad@nit.ac.ir](mailto:h.a.rad@nit.ac.ir)

## Abstract:

Leachate generated in a landfill may not be treated by conventional biological treatment due to its refractory nature and complexity. Aerobic granular sludge is a technology of immobilised microbes that have the potential to improve the existing biological wastewater treatment. In this study, the treatability of municipal leachate by aerobic granulation at bench scale model made of Plexiglas with the dimensions 75 \*20\*20 cm<sup>3</sup> and the volume of 28 litres is experimentally evaluated. In this experimental investigation, the aerobic granules are cultivated from activated sludge seed which is fed by synthetic wastewater. For granules cultivation, the synthetic wastewater containing glucose has been used as the carbon source, the ammonium chloride as the nitrogen source, the potassium dihydrogen phosphate as the phosphorus source as well as the micronutrients such as magnesium sulphate, ferrous sulphate, calcium chloride, potassium dihydrogen phosphate.

In this operational program hydraulic retention time of synthetic wastewater in 6-hour cycles containing 30 minutes feeding, 270 minutes' aeration, 30 minutes settling, 30 minutes' wastewater discharge, was selected. In this experiment, the temperature in the range of 20-23 C and DO in the range of 6-8 mg/l and PH in the range of 7.5-8.3 were controlled. The granulation phase under various organic loading from 50-6000 mg COD per liter and hydraulic shearing in the sequential batch aerobic reactor (SBAR) was cultivated within 28 days. The hydraulic shearing and effective mixing in the reactor was provided by an air lift through a PVC pipe with an internal diameter of 20 cm. In the next stage, the cultivated granules were placed in SBAR and gradually raw leachate was fed into reactor. However, a micro granules of disintegrated were used in the process and granules adapted to leachate at the shorter span of time was developed. In this research parameters such as MLSS, SVI, Velocity, granule Diameter and COD were monitored. Synthetic sewage loading in the 6-hour cycles and the organic loading increases have been done till the formation of granules in 28 days. After each cycle, the parameters mentioned above were examined and the sludge morphology. With the entering of synthetic sewage to the reactor, at first the suspended solids increased and the granules' seeds production reduced. With the consolidation of granules and its sustainability, the leachate is injected into the reactor and is replaced by the diluted leachate. By introducing the raw and diluted leachate to the reactor, some of the granules start to disintegrate which lead to an increase in the amount suspended solids of the system. Due to the change of the raw sewage and replacement of leachate instead of synthetic sewage, in some granules collapse happened. Due to the characteristics of leachate some of the cultivated granules were disintegrated by losing calcium and magnesium which are important cations in cell to cell attachment. The results show that when granules are accustomed to the leachate entering the reactor, increase of bacterial activity lead to the improvement of efficiency of leachate treatment in the system and the efficiency of COD removal reached 90%.

**Keywords:** aerobic granules, synthetic wastewater, leachate treatment, COD removal