

تصفیه فاضلاب آشپزخانه با روش بستر لجن بی‌هوازی جریان رو به بالا (UASB)

محمود رحمتی

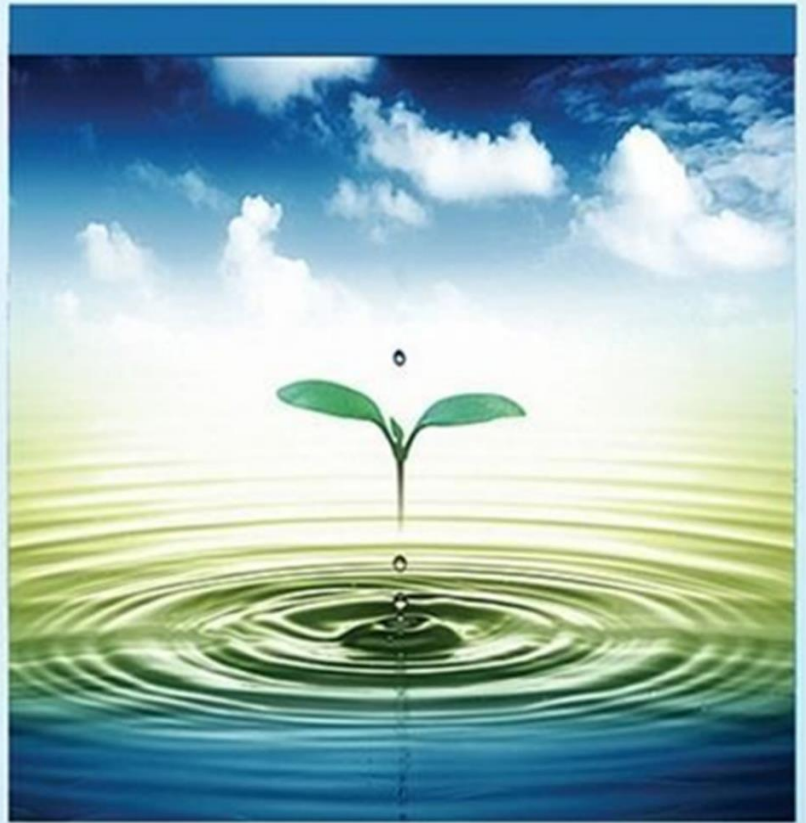
دوره ۷، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۰، صفحات ۵۸۹-۵۷۹

Vol. 7(4), Winter 2021, 579-589

DOI: 10.22034/JEWE.2020.252737.1443

Treatment of Kitchen Wastewater Using  
Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB)

Rahmati, M.



[www.jewe.ir](http://www.jewe.ir)

OPEN ACCESS

ارجاع به این مقاله:

رحمتی، م. (۱۴۰۰). تصفیه فاضلاب آشپزخانه با روش بستر لجن بی‌هوازی جریان رو به بالا (UASB). محیط‌زیست و مهندسی آب، دوره ۷، شماره ۴، صفحات: ۵۸۹-۵۷۹.

**Citing this paper:** Rahmati, M. (2021). Treatment of Kitchen Wastewater Using Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB). Environ. Water Eng., 7(4), 579-589. DOI: 10.22034/JEWE.2020.252737.1443

## مقاله پژوهشی

## تصفیه فاضلاب آشپزخانه با روش بستر لجن بی‌هوازی جریان رو به بالا (UASB)

محمود رحمتی<sup>\*۱</sup>

استادیار، گروه مهندسی شیمی، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان، ایران

\*نویسنده مسئول: m.rahmati@kgut.ac.ir

تاریخ دریافت: [۱۳۹۹/۰۷/۲۳]

تاریخ بازنگری: [۱۴۰۰/۰۴/۲۴]

تاریخ پذیرش: [۱۴۰۰/۰۴/۲۴]

## چکیده

رستوران‌ها و آشپزخانه‌ها روزانه حجم زیادی فاضلاب تولید و در محیط‌زیست رها می‌کنند. سیستم بستر لجن بی‌هوازی جریان رو به بالا (UASB) با توجه به مزایا، می‌تواند در زمینه تصفیه این نوع فاضلاب مؤثر واقع شود. در این روش لجن‌های گرانوله شده، مولکول‌های بزرگ روغن، چربی و دترجنت‌ها موجود در فاضلاب را در شرایط بی‌هوازی به بیوگاز تبدیل می‌کنند. بنابراین عملکرد سیستم UASB در حذف COD و چربی فاضلاب رستوران با مقدار COD و چربی به ترتیب ۱۹۲۵ و ۲۲۵ mg/l، مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که سیستم تصفیه فاضلاب UASB قادر بود COD ۷۹/۵٪ فاضلاب را در دمای ۲۵°C و زمان ماند هیدرولیکی ۹ hr حذف نماید. به علاوه، اثر دما و زمان هیدرولیکی بر عملکرد سیستم UASB نیز بررسی شد. با افزایش دما درصد حذف COD ابتدا افزایش و سپس کاهش پیدا کرد. طوری که در دمای ۴۰°C، ۸۴٪ COD فاضلاب حذف شد. همچنین با افزایش زمان ماند هیدرولیکی تا ۱ day، بیش‌ترین درصد حذف COD، ۹۲/۵٪ در دمای ۴۰°C به دست آمد که شرایط بهینه تصفیه این نوع فاضلاب با سیستم UASB بود. همچنین در این شرایط، ۹۶/۵ و ۹۰٪ به ترتیب چربی و نیترات فاضلاب نیز حذف شد. به علاوه عملکرد سیستم تصفیه هوازی لجن فعال برای تصفیه این نوع فاضلاب بررسی شد و نتایج حذف حداکثر ۵۳/۵٪ از COD فاضلاب را نشان داد.

واژه‌های کلیدی: بستر لجن بی‌هوازی؛ پساب آشپزخانه؛ تصفیه زیستی؛ لجن گرانوله

## ۱- مقدمه

است که این نسبت در فاضلاب‌های آشپزخانه‌ها که چربی-گیری نشده باشد، در محدوده ۰/۴۵-۰/۳۵ قرار دارد و استفاده مستقیم آن‌ها در سیستم‌های تصفیه هوازی کارایی چندانی نخواهد داشت (Saghir and Hajjar 2018). همچنین از آنجایی که چربی و روغن روی سطح سیال را می‌پوشاند، باعث کاهش انتقال اکسیژن بین هوا و سیال می‌شود و عملکرد سیستم لجن فعال را مختل می‌کند. به علاوه، سیستم تصفیه فاضلاب هوازی مانند لجن فعال نیاز به سیستم‌های هوادهی با قیمت زیاد و هزینه نگهداری بالا دارد. بنابراین، انتظار می‌رود سیستم لجن فعال عملکرد مناسبی برای تصفیه فاضلاب آشپزخانه‌ها و رستوران‌ها نداشته باشد (Ahmad et al. 2020). از سوی دیگر بررسی-ها نشان می‌دهد که میکروارگانیسم‌های بی‌هوازی توانایی هیدرولیز مواد آلی موجود در فاضلاب را در غیاب اکسیژن دارند و از یک سو مقدار لجن کم‌تری نسبت به میکروارگانیسم‌های هوازی تولید و از سوی دیگر گاز متان تولید می‌کنند. از بین سیستم‌های تصفیه فاضلاب بی‌هوازی، سیستم بستر لجن بی‌هوازی با جریان رو به بالا (UASB<sup>1</sup>) به دلیل انرژی موردنیاز کم‌تر، تولید بیوگاز، لجن کم‌تر، حجم راکتور کم‌تر و راه‌اندازی مجدد راحت‌تر و هزینه‌های عملکرد پایین، می‌تواند در زمینه تصفیه این نوع فاضلاب مؤثر واقع شود (Saghir and Hajjar 2018).

پس از ابداع روش راکتور UASB پژوهش‌های زیادی بر روی بررسی کارایی و استفاده از آن در تصفیه فاضلاب صنایع مختلف انجام شد. نتایج نشان‌دهنده این موضوع است که سیستم راکتور UASB می‌تواند با موفقیت برای تصفیه فاضلاب‌های گوناگون با CODهای مختلف به خصوص COD بالا به کار رود و عملکرد مناسبی در این زمینه خواهد داشت (Daud et al. 2018; Dutta et al. 2018; Rajagopal et al. 2019). از جمله می‌توان به فاضلاب صنایع کنسروسازی (Jijai et al. 2016)، لبنی (Goli et al. 2019)، کشتارگاهی (Saghir and Hajjar 2018)، شیرابه دفن زباله (Ridzuan et al. 2018)، نفت (Heydari et al. 2019)، پتروشیمی (Wang et al. 2018)، غذایی (Lu et al. 2015)، فاضلاب شهری و غیره اشاره کرد. توسعه و بهبود سیستم‌های UASB، به افزایش بازده در حذف COD و

فعالیت‌های انسانی و اقتصادی سرمنشأ آلودگی‌های محیط-زیستی است و به شیوه‌های گوناگون نظیر انتقال فاضلاب و پساب‌های انسانی به رودخانه‌ها و دریاها، دفع و دفن در زمین و غیره به محیط‌زیست صدمه می‌زند. اما بخشی از این لطمات با سرمایه‌گذاری‌های مناسب و ضروری، قابل پیشگیری است (Azimi et al. 2004). امروزه یکی از منابع تولید فاضلاب صنعتی، رستوران‌ها و آشپزخانه‌ها است. با توجه به نوع آلودگی محیط‌زیستی پساب این واحدها و گستردگی آن‌ها در مناطق مختلف، تصفیه فاضلاب رستوران‌ها و آشپزخانه‌ها نیاز به توجه ویژه و بررسی‌های دقیق دارد. عموماً فاضلاب رستوران‌ها از محل پخت غذا تا شست‌وشوی ظروف، محوطه، زمین، لباس‌ها و غیره وارد محل جمع‌آوری آن‌ها می‌شوند (Zulaikha et al. 2014). لذا، این فاضلاب عمدتاً حاوی روغن، چربی، دترجنت‌ها، مواد جامد معلق، آشغال‌های حاصل از شست‌وشو و پسمانده انواع غذا است (Zheng et al. 2015; Ahmad et al. 2020). معمولاً برای دفع فاضلاب آشپزخانه‌ها، از چاه‌های جاذب استفاده می‌شود و پس از مدتی چربی در بستر دیواره و انتهای چاه رسوب کرده و عمل تخلیه چاه و لایروبی چاه را با مشکل روبرو می‌کنند (Chen et al. 2000). بنابراین، بهتر است برای کمک به حفظ محیط‌زیست، فاضلاب آشپزخانه‌ها قبل از ورود به محیط‌زیست توسط روش‌های ارزان قیمت و مناسب تصفیه شود.

بزرگ‌ترین مسئله در تصفیه فاضلاب آشپزخانه و رستوران‌ها وجود چربی و روغن در آن‌ها است که مشکلات بسیاری را برای سیستم جمع‌آوری و تصفیه فاضلاب ایجاد می‌کند (Ibrahim Idham and Abdullah 2021). معمولاً برای تصفیه این نوع فاضلاب‌ها، سه روش فرآیندهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی (زیستی) پیشنهاد می‌شود که هر یک مزایا و معایب خاص خود را دارد (Saghir and Hajjar 2018). از بین این روش‌های تصفیه، روش‌های زیستی به-دلیل سادگی و دوستدار محیط‌زیست بودن بسیار مورد توجه است.

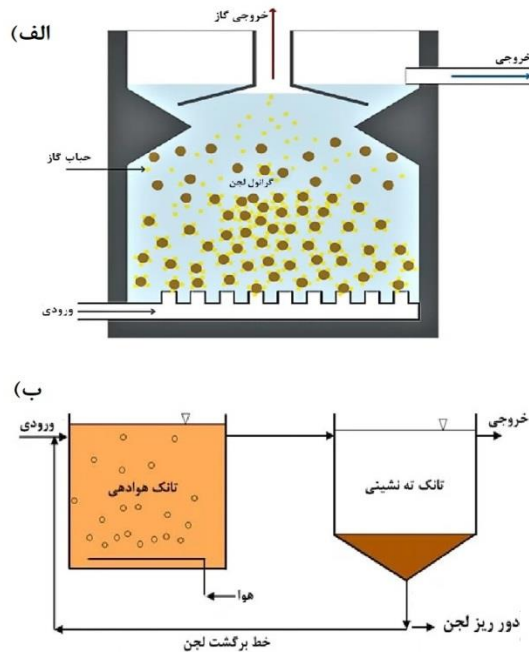
به صورت معمول برای تصفیه فاضلاب‌های شهری و انسانی از سیستم لجن فعال استفاده می‌شود. باید در نظر داشت که وقتی نسبت  $BOD_5$  به COD فاضلاب بیش از ۰/۵۰ باشد، استفاده از روش لجن فعال کارایی بالایی دارد. این در حالی

<sup>1</sup>Upflow Anaerobic Sludge Bed

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- سیستم تصفیه فاضلاب UASB

در شکل (۱-الف) دیاگرام سیستم تصفیه UASB مشاهده می‌شود.



شکل ۱- دیاگرام سیستم تصفیه فاضلاب (الف) UASB و (ب) لجن فعال

Fig. 1 Diagram of wastewater treatment system: a) UASB and b) activated sludge

سیستم تصفیه UASB مورداستفاده در این پژوهش از چهار بخش اصلی تشکیل شده است که عبارتند از: ۱- مخزن ته‌نشینی که این مخزن مکعب شکل به حجم ۲۰ I از جنس پلاستیک شفاف بود. ۲- سیستم پمپاژ: فاضلاب بعد از مخزن ته‌نشینی وارد مخزن اولیه شده که در این مخزن پمپ آب قرار داشت و فاضلاب را به مخزن نهایی که در ارتفاع ۲ m از مخزن اولیه قرار داشت، منتقل می‌نمود و از آنجا خوراک به راکتور اصلی تزریق می‌شد. ۳- راکتور که شامل ۳ راکتور UASB از جنس لوله UPVC با قطر ۱۰ cm به طول ۱ m بوده و در بالای هر یک از آن‌ها به موانع جداکننده گاز تعبیه شده بود. ۴- مخزن نهایی که به شکل مکعب مستطیل و حجم ۱۵ I و از جنس پلاستیک شفاف بود. در شکل (۲) تصویر شماتیکی از سیستم تصفیه فاضلاب UASB مشاهده می‌شود. تجهیزات با شماره ۱، ۲، ۴ و ۹ مخازن نگهداری، شماره‌های ۶، ۷ و ۸ راکتور، شماره ۵ شیر، شماره ۳ پمپ آب و شماره ۱۰ خط گاز تولیدی بود. در راکتور UASB، فاضلاب از پایین وارد راکتور شده و از میان بستری از لجن

کاهش زمان ماند موردنیاز برای تصفیه فاضلاب‌های شهری منجر شد. به‌عنوان نمونه، De Graaff et al. (2010) در دمای ۲۵ °C اقدام به تصفیه فاضلاب بهداشتی در راکتور UASB در زمان ماند هیدرولیکی (HRT<sup>2</sup>) ۸/۷ day کردند. COD فاضلاب مورداستفاده آن‌ها ۱۲۰۰۰ mg/l بوده و نتایج حذف ۷۸٪ از COD را نشان داد. همچنین در مطالعه مشابه دیگری نیز درصد حذف COD را ۷۲ و درصد حذف فسفات، باکتری‌ها و جامدات معلق را به ترتیب ۷۹، ۹۹/۷ و ۸۴ گزارش کردند (Nair et al. 2015).

(Lew et al. 2004) عملکرد راکتور UASB را در تصفیه فاضلاب خانگی در دماهای ۱۰-۲۸ °C مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها ۸۲٪ حذف COD را نشان داد. (Tawfik et al. 2008) به بررسی تصفیه ترکیب فاضلاب‌های صنایع غذایی و خانگی با استفاده از راکتور UASB پرداخته و نتایج آن‌ها حذف ۷۲٪ COD فاضلاب را نشان داد.

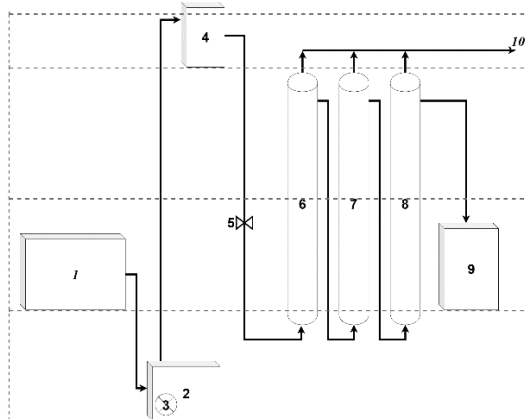
(Luostarinen et al. 2007) با استفاده از راکتور UASB به بررسی تصفیه فاضلاب آشپزخانه در دمای ۲۰ °C پرداخته و موفق به حذف ۹۰٪ COD آن شدند. (Azimi et al. 2004) عملکرد راکتور UASB در تصفیه فاضلاب اجتماعات کوچک را مورد بررسی قرار داده و گزارش کردند که این سیستم قادر است ۶۳٪ COD فاضلاب آن‌ها را حذف کند. در پژوهش مشابه دیگری (Rizvi et al. 2018) از راکتور UASB برای تصفیه فاضلاب انسانی برای اجتماعات کوچک با COD و BOD به ترتیب ۴۷۵ و ۲۴۰ mg/l استفاده کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که این نوع راکتور پس از مدت ۳۰ day از راه‌اندازی پایدار می‌شود و قادر است COD فاضلاب را ۸۰٪ کاهش دهد. دمای مورد استفاده آن‌ها در بازه ۲۵-۳۰ °C قرار دارد.

در این پژوهش به منظور تصفیه فاضلاب آشپزخانه دانشگاه تحصیلات تکمیلی کرمان از سیستم UASB استفاده شد و اثر پارامترهای مختلف بر حذف COD و چربی موجود در فاضلاب بررسی شد. بعلاوه عملکرد سیستم UASB با سیستم لجن فعال نیز مورد بررسی قرار گرفت.

<sup>2</sup>Hydraulic Retention Time



فاضلاب در دوره‌های زمانی مختلف شروع شده و در نهایت بار آلی ورودی به سیستم ثابت می‌شد.



شکل ۲- شماتیکی از سیستم تصفیه فاضلاب UASB، شماره‌های ۱، ۲، ۳، ۴ و ۹ مخازن نگهداری، شماره‌های ۶، ۷ و ۸ راکتور، شماره ۵ شیر، شماره ۳ پمپ آب و شماره ۱۰ خط گاز تولیدی

Fig. 2 Schematic of the UASB wastewater treatment system, No. 1, 2, 4 and 9 storage tanks, No. 6, 7 and 8 reactor, No. 5 valve, No. 3 water pump and No. 10 gas production line

#### ۲-۴- راه‌اندازی سیستم لجن فعال

برای بررسی و مقایسه عملکرد سیستم تصفیه UASB با سیستم تصفیه لجن فعال، یک سیستم لجن فعال شامل ۵ بخش اصلی مخزن ته‌نشینی اولیه، راکتور، سیستم هوادهی، مخزن ته‌نشینی ثانویه و مخزن نهایی طراحی شد (Tawfik et al. 2008). در شکل (۱) (ب) دیاگرام سیستم لجن فعال مشاهده می‌شود. راکتور مورد استفاده در این تحقیق شامل این مخزن مکعب‌مستطیل شکل به حجم ۲۰ I و از جنس پلاستیک شفاف بود. برای راه‌اندازی این سیستم، از لجن فعال سیستم تصفیه‌خانه فاضلاب دانشگاه تحصیلات تکمیلی استفاده شد. در ابتدا ۲۵٪ حجم راکتور با لجن فعال پر شد. سپس به منظور سازگاری میکروارگانیسم‌های هوازی با فاضلاب، فاضلاب موجود با نسبت ۱ فاضلاب به آب، رقیق و به آرامی وارد راکتور و ۷۰٪ حجم راکتور را فراگرفت. سپس به مدت ۷ day بدون ورود فاضلاب جدید، هوادهی انجام تا میکروارگانیسم‌های لجن فعال خود را با خوراک و شرایط جدید سازگار کنند. در مرحله بعدی فاضلاب با مقدار COD برابر با ۱۹۵۰ mg/l وارد راکتور و به مدت ۷ day تحت هوادهی قرار گرفت. در نهایت فاضلاب به صورت پیوسته با زمان ماند هیدرولیکی ۱ day وارد سیستم لجن فعال شده و از سوی دیگر آب تصفیه شده خارج می‌شد و پس از گذشت

که به طریق بیولوژیکی تشکیل لجن گرانوله را داده‌اند، عبور می‌کنند (Nair et al. 2015). بنابراین، تصفیه زمانی انجام می‌شود که فاضلاب با لجن گرانوله در تماس باشد. گازهای تولیدی تحت شرایط بی‌هوازی سبب اختلاط فاضلاب و لجن می‌شود. مقداری از گاز که در داخل بستر لجن تولید شده به دانه‌ها می‌چسبد و گازهای تولید شده و گازهایی که به دانه چسبیده‌اند به طرف بالای مخزن روانه می‌شوند (Mainardis et al. 2020). ذرات به قسمت پایین موانع جداکننده گاز معروف برخورد کرده و گاز از ذرات جدا و لجن گرانوله به طرف پایین بستر حرکت می‌کند. اجرای مناسب و درست راکتور UASB سبب تولید لجن با خصوصیات ته‌نشینی بهتر، گرانول‌های متراکم و غلظت زیاد بیومس می‌شود (Rajagopal et al. 2019).

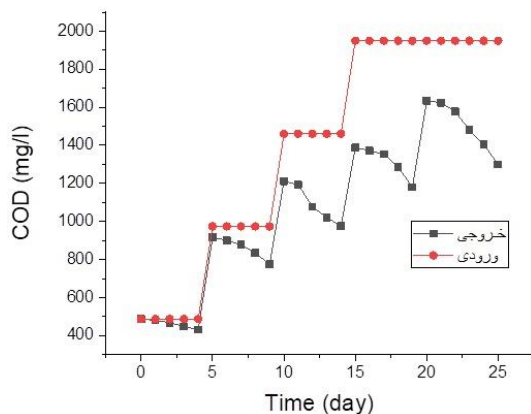
#### ۲-۲- تهیه لجن گرانوله

لجن گرانوله، ترکیبی از میکروارگانیسم‌ها است که در طول زمان فرآیند با نظم یکسان و جریان هیدرولیکی ثابت رو به بالا در محیط تشکیل می‌شود (Mainardis et al. 2020). لجن گرانوله تشکیل دهنده هسته اصلی فناوری UASB است. تراکم موجود در لجن‌های گرانوله به صورت غلظت بالای میکروارگانیسم‌های فعال، امکان بارگذاری بالا برای راکتور بستر لجن بی‌هوازی جریان رو به بالا را فراهم می‌سازد. تشکیل لجن گرانوله در شرایط بی‌هوازی را می‌توان علت اصلی موفقیت UASB دانست (Powar et al. 2013). برای ساخت گرانول‌های مورد نیاز، از لجن سیستم تصفیه‌خانه فاضلاب شهری، پهن تازه گاوی و فاضلاب رستوران دانشگاه تحصیلات تکمیلی استفاده شد. این مواد به ترتیب با نسبت جرمی ۱، ۳ و ۲ با یکدیگر مخلوط کرده (Heydari et al. 2019) و پس از عبور از صافی آن‌ها را به درون یک راکتور استوانه‌ای از جنس پلاستیک شفاف با حجم کل ۸ I قطر داخلی ۱۸ و ارتفاع ۴۰ cm منتقل شد. عملیات گرانول سازی طی مدت ۲۱ day انجام می‌شد. طی این مدت هر روز مقدار ۱/۵ g گلوکز به راکتور اضافه می‌شد.

#### ۲-۳- راه‌اندازی سیستم تصفیه UASB

برای راه‌اندازی سیستم تصفیه UASB ابتدا به درون هر یک از بیوراکتورها ۱ I از محلول میکروارگانیسم‌ها، ریخته و سپس طی مدت ۵۰ day خوراک‌دهی به آن‌ها آغاز می‌شود. در طی فرآیند راه‌اندازی، خوراک‌دهی با ۴ غلظت رقیق از

(2008). جهت راه‌اندازی پایلوت ابتدا 1/8 از محلول محیط کشت میکروارگانیسم به درون هر یک از راکتورها منتقل شد. سپس خوراک با نسب ۳۰٪ فاضلاب و ۷۰٪ محلول گلوکز (با COD برابر با COD فاضلاب) برای ساخت و رشد گرانول به داخل راکتور تزریق شد. فرآیند گرانول‌سازی طی چهار دوره ۵ day یعنی به مدت ۲۰ day انجام شد. در دوره اول خوراک ورودی به راکتور دارای غلظت ۲۵٪ فاضلاب اصلی یعنی ۵۰۰ mg/l به مدت ۵ day به راکتور تزریق شد و سپس در دوره‌های ۵ day بعدی، ۲۵٪ به غلظت خوراک افزوده شد تا این‌که از روز ۲۱ تا ۲۵ فاضلاب با غلظت COD برابر با ۱۹۵۰ mg/l به عنوان خوراک ورودی به راکتور، استفاده شد و تغییرات COD در شکل (۳) خلاصه شده است.



شکل ۳- تغییرات COD فاضلاب خروجی از سیستم UASB در فرآیند گرانول‌سازی

Fig. 3 COD changes of the effluent from the UASB system in the granulation process

### ۲-۲- فرآیند آماده‌سازی

بعد از عملیات گرانول‌سازی، با استفاده از محلول گلوکز (COD محلول گلوکز با COD فاضلاب یکسان است) و فاضلاب طی ۳۰ day سیستم آماده بهره‌برداری شد. در ابتدای فرآیند راه‌اندازی، به مدت ۱۰ day از خوراک با ترکیب محلول گلوکز به فاضلاب ۷۰ به ۳۰ استفاده شد و در ۱۰ day دوم درصد محلول گلوکز در خوراک ورودی به ۳۰ کاهش پیدا کرد. در نهایت در ۱۰ day سوم، فاضلاب خالص به داخل راکتور UASB تزریق شد. در واقع با این کار از ورود شوک به لجن‌های گرانوله شده در سیستم جلوگیری می‌شود. در شکل (۴) تغییرات COD نشان داده شده است. همان‌طوری که مشاهده می‌شود با گذشت زمان مقدار COD فاضلاب کاهش می‌یابد و با افزایش نسبت فاضلاب به گلوکز از شدت

۷ day، در بازه‌های زمانی مختلف، مقدار COD و چربی فاضلاب اندازه‌گیری شد.

### ۲-۵- دستگاه‌های مورد استفاده

برای بررسی کیفیت فاضلاب و آنالیز COD، از دستگاه CODسنج رومی‌زی استفاده شد. در هنگام تعیین COD فاضلاب، نمونه‌ها قبل از اختلاط با محلول هاضم، به مدت ۳ min در دستگاه سانتریفیوژ (مدل Z 233 M-2، کارخانه HERMLE، آلمان) با دور ۲۰۰۰ rpm قرار داده تا مواد معلق در نمونه‌ها وجود نداشته باشد. برای تعیین مقدار روغن و چربی در نمونه‌ها از استاندارد ۵۵۲۱ استخراج چربی و روغن موجود در فاز آبی به کمک حلال آلی هگزان و به روش گراویمتری استفاده شد. لازم به ذکر است که نمونه‌برداری، انتقال نمونه‌ها و آنالیز آن‌ها طبق روش‌های استاندارد صورت گرفت (Rice et al. 2012).

### ۳- یافته‌ها و بحث

برای تهیه خوراک فاضلاب ورودی به سیستم UASB از فاضلاب رستوران دانشگاه تحصیلات تکمیلی استفاده شد. حجم عمده فاضلاب رستوران دانشگاه، ناشی از شستشوی ظروف غذای سرو شده است که مقادیر زیادی چربی و شوینده‌ها را به همراه دارد. برای رسیدن به یک فاضلاب مشخصات یکسان، هر روز هفته مقدار مشخصی از فاضلاب آشپزخانه تهیه و درون مخزن ذخیره‌سازی ریخته شد. پس از گذشت ۷ day، نمونه‌ای از آن گرفته و برای آنالیزهای مختلف به آزمایشگاه ارسال شد. pH این فاضلاب ۴/۴ و مقدار COD، چربی و نیترات به ترتیب ۱۹۲۵، ۲۲۵ و ۱۷۳ mg/l بود.

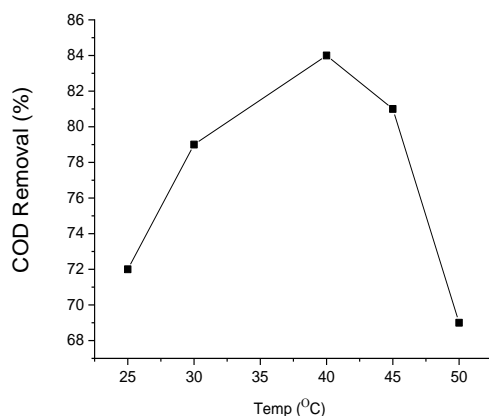
### ۳-۱- فرآیند راه‌اندازی

اولین قدم در تصفیه زیستی هر نوع فاضلابی سازگاری میکروارگانیسم‌ها با فاضلاب مورد نظر است. راه‌اندازی فرایندهای بی‌هوازی دارای مسائل خاص خود هستند و نیازمند مدت‌زمان بیش‌تری نسبت به فرایندهای هوازی، برای راه‌اندازی نیاز دارند (Wang et al. 2018). در این مدت میکروارگانیسم‌هایی که مواد غذایی مطلوب از فاضلاب دریافت نمی‌کنند، به دلیل رشد ناکافی به آرامی از سیستم حذف می‌شوند. در مقابل مجموعه میکروارگانیسم‌هایی که مفید هستند و منبع غذایی مناسب در فاضلاب برای آن‌ها موجود است به آرامی تکثیر می‌شوند (Tawfik et al.).

### ۳-۴- بررسی اثر دما

به‌طور کلی فاضلاب قوی و دمای نسبتاً زیاد نشانه‌هایی است که استفاده از فرآیند بی‌هوازی را از نظر اقتصادی مقرون صرفه می‌سازد. دمای راکتور  $30-40^{\circ}\text{C}$  به‌طور عمومی برای واکنش‌های زیستی بهینه است و پایداری بیشتری در تصفیه فاضلاب ایجاد می‌کند. درجه حرارت فرآیند بر تجزیه ترکیبات مانند سولفید هیدروژن، آمونیاک، اسیدهای چرب فرار و حلالیت شیمیایی فاضلاب‌های پیچیده اثر می‌گذارد (Fang et al. 2004). نتایج (Kalyuzhnyi et al. 1997) بر روی تصفیه آب پنیر با مقدار COD بالاتر از  $77\text{ g/l}$  در راکتور UASB نشان می‌دهد که در دمای  $35^{\circ}\text{C}$  تا  $39\%$  COD حذف می‌شود اما با کاهش دما به  $20^{\circ}\text{C}$  درصد حذف COD به ۹۰ کاهش پیدا می‌کند. در مطالعه دیگری، با کاهش دما از  $28^{\circ}\text{C}$  درجه به  $20^{\circ}\text{C}$ ، درصد حذف COD از ۸۲ به ۷۲ کاهش یافت (Lew et al. 2004).

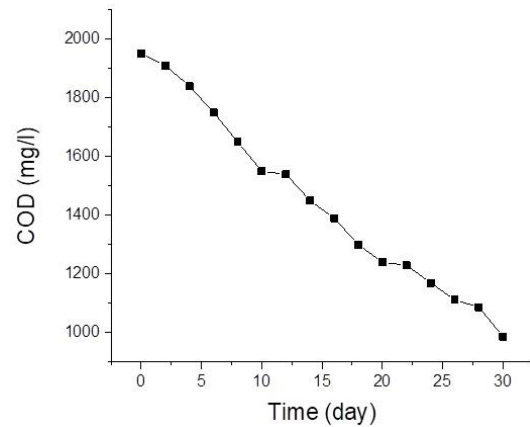
بنابراین، برای بررسی اثر دما بر عملکرد سیستم UASB، به تصفیه فاضلاب با مقدار COD برابر با  $1950\text{ mg/l}$  و HRT برابر با  $12\text{ hr}$  در بازه دمایی  $25-50^{\circ}\text{C}$  پرداخته شد. نتایج آن در شکل (۶) مشاهده می‌شود. نتایج نشان می‌دهد که با افزایش دما عملکرد میکروارگانیسم‌ها بهتر شده طوری که در دمای  $40^{\circ}\text{C}$  فاضلاب خروجی از سیستم تصفیه کم‌ترین مقدار COD را دارد و با افزایش دما به  $45^{\circ}\text{C}$  و  $50^{\circ}\text{C}$  مقدار COD افزایش می‌یابد؛ بنابراین می‌توان گفت که سیستم UASB در دمای  $40^{\circ}\text{C}$  قادر است  $84\%$  COD فاضلاب ورودی را حذف کند.



شکل ۶- درصد حذف COD فاضلاب خروجی از سیستم UASB در دماهای مختلف

Fig. 6 Percentage of COD removal of effluent from UASB system at different temperatures

تغییرات COD کاسته می‌شود. همچنین در زمان‌های ۱۰ و ۲۰ day که غلظت فاضلاب افزایش می‌یابد تغییرات COD فاضلاب زیاد نیست. در واقع میکروارگانیسم‌ها به چند روز زمان برای سازگاری با شوک تغییر فاضلاب را دارند.

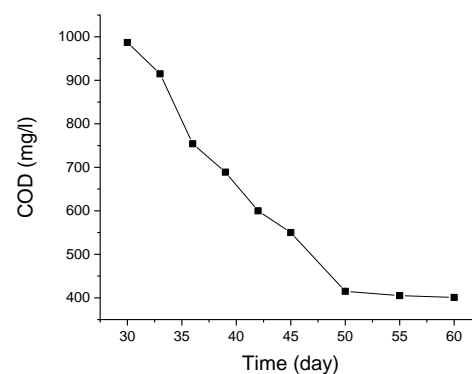


شکل ۴- تغییرات COD فاضلاب خروجی از سیستم UASB در فرآیند راه‌اندازی

Fig. 4 COD changes of the effluent from the UASB system in the start-up process

### ۳-۳- فرآیند بهره‌برداری

تغییرات COD فاضلاب خروجی از سیستم تصفیه در فرآیند بهره‌برداری در شکل (۵) مشاهده می‌شود. همان‌طوری که نتایج نشان می‌دهد با گذشت زمان مقدار COD فاضلاب خروجی کاهش می‌یابد و از ۵۰ day به بعد تقریباً مقدار آن ثابت شده و به یک پایداری می‌رسد که نشان می‌دهد سیستم تصفیه آماده بهره‌برداری و استفاده است. همچنین نتایج نشان می‌دهد که مقدار COD خروجی از سیستم تصفیه در پایان ۵۰ day برابر با  $401\text{ mg/l}$  است، به عبارت دیگر  $79/5\%$  از COD فاضلاب حذف شده است.

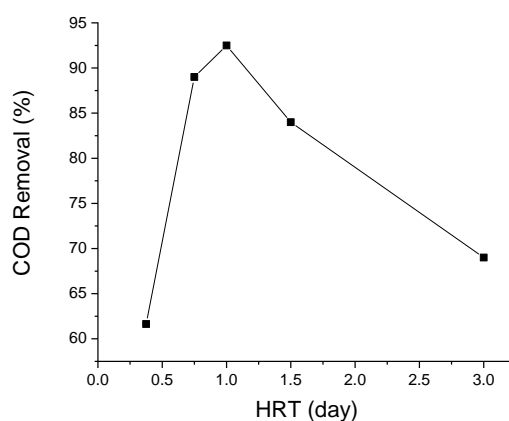


شکل ۵- تغییرات COD فاضلاب خروجی از سیستم UASB در فرآیند بهره‌برداری

Fig. 5 COD changes of the effluent from the UASB system in the operation process

### ۳-۵- بررسی اثر زمان ماند هیدرولیکی

زمان ماند هیدرولیکی به خصوصیات فاضلاب و شرایط محیطی بستگی دارد و باید به اندازه کافی طولانی باشد تا باکتری‌های بی‌هوازی اجازه تکثیر، رشد و گرانوله شدن را داشته باشند (Chen et al. 2020). به همین دلیل است که راکتورها با رشد چسبیده، زمان ماند هیدرولیکی کمتری نسبت به رشد معلق نیاز دارند. (Ramakrishnan et al. 2008) نشان داد که با افزایش زمان ماند هیدرولیکی میزان حذف فنل در راکتور UASB افزایش می‌یابد ولی این افزایش همیشگی نبوده و در برخی از موارد نوساناتی وجود دارد. در بررسی دیگری درصد حذف COD فاضلاب کارخانه کنسروسازی با غلظت برابر با ۴۲۰۰ mg/l در pH برابر ۶/۳، مقادیر ۹۴-۲۹٪ برای HRT از ۰/۵-۲۵ hr به دست آمده است و نشان می‌دهد با افزایش HRT درصد حذف COD نیز افزایش می‌یابد (Jijai et al. 2016). برای تعیین بهترین زمان ماند هیدرولیکی برای سیستم تصفیه UASB، در زمان‌ماند مختلف و دمای ۴۰ °C مقدار COD خروجی اندازه‌گیری و در شکل (۷) مشاهده می‌شود.



شکل ۷- درصد حذف COD فاضلاب خروجی از سیستم UASB در زمان‌های ماند هیدرولیکی مختلف

Fig. 7 Percentage of COD removal of effluent from UASB system at different hydraulic retention times

همان‌طوری که نتایج نشان می‌دهند، با افزایش زمان ماند هیدرولیکی از ۹ به ۱۸ hr مقدار COD خروجی از سیستم تصفیه کاهش یافت که این به دلیل حضور بیش‌تر فاضلاب در کنار لجن گرانول شده است و همچنین با افزایش زمان ماند هیدرولیکی، سرعت رو به بالای لجن‌ها در راکتور UASB کم‌تر شده و آن‌ها به صورت یکنواخت‌تری در داخل راکتور پراکنده می‌شوند و عملاً دسترسی آن‌ها به خوراک برای

حذف COD فاضلاب بیش‌تر می‌شود. طوری که در زمان ماند هیدرولیکی ۲۴ hr، درصد حذف COD فاضلاب به بیش‌ترین مقدار خود یعنی ۹۲/۵ می‌رسد. زمانی که زمان ماند هیدرولیکی از ۱ day بیش‌تر شود یعنی سرعت رو به بالای لجن درون راکتور کم‌تر شده و توانایی به حرکت درآوردن دانه‌های لجن درون راکتور کم‌تر می‌شود و عملاً در بخشی از راکتور دانه‌های لجن برای حذف COD فاضلاب وجود ندارد و همگی در کف راکتور ته‌نشین می‌شوند که این رفتار باعث کاهش درصد حذف COD فاضلاب می‌شود.

### ۳-۶- عملکرد سیستم در حذف چربی

مقدار چربی موجود در نمونه فاضلاب آشپزخانه مورد استفاده ۲۲۵ mg/l بود که باید قبل از ورود به محیط‌زیست به‌درستی و با کم‌ترین هزینه حذف شود. برای این منظور مقدار چربی موجود در خروجی سیستم تصفیه فاضلاب در دمای ۴۰ °C و زمان ماند هیدرولیکی ۲۴ hr در مرحله بهره‌برداری اندازه‌گیری و درصد حذف آن محاسبه شد. نتایج نشان داد که در ۵ day اول بهره‌برداری از سیستم تصفیه فاضلاب ۴۸/۵٪ از چربی موجود در فاضلاب ورودی حذف می‌شود و با گذشت زمان این مقدار افزایش یافت طوری که بعد از ۲۰ day این مقدار به بیش‌ترین مقدار خود رسیده و تقریباً ثابت شد. به علاوه، نتایج نشان داد که درصد حذف چربی فاضلاب در سیستم UASB در نهایت به ۹۶/۵٪ رسید که یک نتیجه بسیار ارزشمند و مهم در تصفیه فاضلاب آشپزخانه است و عملاً مشکل اصلی این نوع فاضلاب در محیط‌زیست را به‌طور کامل برطرف می‌کند. لازم به ذکر است که بر اساس استاندارد خروجی فاضلاب مقدار چربی و روغن موجود در فاضلاب برای تخلیه در چاه جذبی مقدار ۱۰ mg/l تعیین شده است که با استفاده از سیستم تصفیه UASB می‌توان به این مهم دست یافت.

### ۳-۷- عملکرد سیستم در حذف نیترات

وجود مواد مغذی چون نیتروژن و فسفر در محیط‌های آبی سبب بروز مشکلات محیط‌زیستی مانند پدیده شکوفایی جلبکی و کاهش اکسیژن محلول در آب می‌شود. بنابراین، یکی از مهمترین اهداف تصفیه فاضلاب، حذف نیتروژن است که معمولاً روش‌های بیولوژیکی حذف نیتروژن مؤثرتر و اقتصادی‌تر هستند. بررسی مشخصات فاضلاب آشپزخانه دانشگاه تحصیلات تکمیلی نشان می‌دهد که ۱۷۳ mg/l نیترات در این فاضلاب وجود دارد که فاصله بسیار زیادی با



شکل (۸) نشان می‌دهد، با گذشت زمان از عملکرد سیستم تصفیه لجن فعال در حذف COD کاسته می‌شود. در واقع با گذشت زمان چربی‌های محلول در فاضلاب بر روی سطح میکروارگانیسم‌های هوازی قرار گرفته و مانع از رسیدن اکسیژن کافی به آن‌ها برای رشد و تکثیر می‌شود که این رفتار به مرور عملکرد سیستم لجن فعال در کاهش COD نیز کمتر می‌شود. طوری که بعد از گذشت ۳۰ day، درصد حذف COD به ۴۹/۵ کاهش یافت.

#### ۴- نتیجه‌گیری

در این پژوهش عملکرد تصفیه فاضلاب به روش UASB که یک روش بی‌هوازی می‌باشد برای تصفیه فاضلاب آشپزخانه دانشگاه تحصیلات تکمیلی کرمان مورد بحث و بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد:

۱- سیستم تصفیه فاضلاب UASB توانایی حذف چربی و نیترات از فاضلاب آشپزخانه را دارد و می‌تواند بیش از ۹۰٪ از COD این فاضلاب را حذف کند.

۲- با کنترل دما و HRT، می‌توان درصد حذف COD فاضلاب را نیز بهینه کرد.

۳- مقایسه نتایج تصفیه فاضلاب به روش‌های بی‌هوازی و هوازی نشان داد که سیستم تصفیه فاضلاب UASB عملکرد بسیار خوبی نسبت به سیستم تصفیه فاضلاب لجن فعال دارد و این سیستم تصفیه برای تصفیه فاضلاب آشپزخانه پیشنهاد می‌شود.

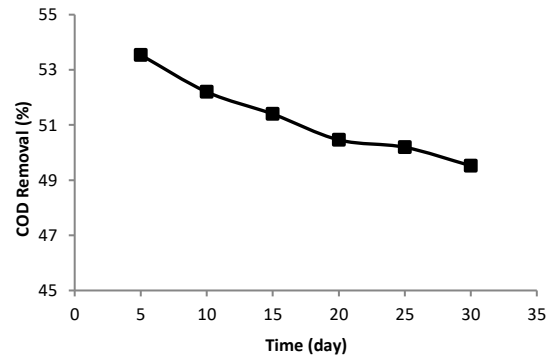
#### سپاسگزاری

این پژوهش در قالب طرح پژوهشی شماره ۷/ص/۹۸/۳۸۵ با استفاده از اعتبارات پژوهشی پژوهشکده علوم و تحقیقات پیشرفته و علوم محیطی، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان، ایران انجام شده است.

#### نحوه دسترسی به داده‌ها

داده‌های استفاده شده در این پژوهش در متن مقاله ارائه شده است.

مقدار استاندارد نیترات موجود در فاضلاب برای تخلیه در چاه‌های جاذب یعنی ۱۰ mg/l دارد؛ بنابراین مقدار نیترات طی فرایند تصفیه فاضلاب در سیستم تصفیه UASB و در دمای ۴۰ °C و زمان ماند هیدرولیکی ۱ day اندازه‌گیری شد و نتایج نشان داد با گذشت زمان مقدار نیترات کاهش یافت طوری که از ۲۰ day به بعد تقریباً مقدار آن ثابت و در نهایت به ۱۷ mg/l رسید که مقدار قابل قبولی برای تخلیه فاضلاب خروجی به محیط‌زیست است.



شکل ۸- درصد حذف COD خروجی از سیستم تصفیه فاضلاب به روش لجن فعال با گذشت زمان بهره‌برداری

Fig. 8 Percentage of COD removal of effluent from activated sludge wastewater treatment system in the operation process

#### ۳-۸- عملکرد سیستم لجن فعال

مشاهدات اولیه نشان داد که مقدار چربی زیادی بر روی سطح آب در مخزن ته‌نشینی اولیه تشکیل شد که این رفتار به دلیل حضور مقدار زیاد چربی و روغن در خوراک است. نمونه‌گیری از خروجی مخزن ته‌نشینی اولیه نشان داد که ۴۵٪ چربی فاضلاب در این مرحله از فاضلاب جدا می‌شود که این خود یک مشکل جدی در زمینه تصفیه فاضلاب آشپزخانه به‌وسیله سیستم لجن فعال است. در شکل (۸) درصد حذف COD فاضلاب توسط سیستم تصفیه لجن فعال در زمان‌های مختلف نمایش داده می‌شود. نتایج نشان داد که حداکثر مقدار COD فاضلاب که می‌تواند در سیستم تصفیه به روش لجن فعال حذف شود، ۵۳/۵٪ است که این درصد حذف COD در مقایسه با عملکرد سیستم تصفیه فاضلاب UASB بسیار کم‌تر است. مشکل اساسی در تصفیه فاضلاب آشپزخانه توسط سیستم لجن فعال، چربی بالای موجود در فاضلاب است که انتظار می‌رود با گذشت زمان تأثیر خود را بر عملکرد سیستم تصفیه نشان دهد. همان‌طوری که نتایج در

## References

- Ahmad, R., Sanghamitra, P. and Mazumder, D. (2020) Treatability of oily wastewater by anaerobic treatment system – A mini review. *J. Indian Chem. Soc., J. Indian Chem. Soc.*, 97, 2859-2863.
- Azimi, A. and Zamanzadeh, M. (2004). Determination of design criteria for UASB reactors as a wastewater pretreatment system in tropical small communities. *Int. J. Environ. Sci. Technol.*, 1(1), 51-57.
- Chen, H., Wei, Y., Xie C., Wang, H., Chang, S., Xiong, Y., Du, C., Xiao, B. and Yu, G. (2020). Anaerobic treatment of glutamate-rich wastewater in a continuous UASB reactor: Effect of hydraulic retention time and methanogenic degradation pathway. *Chemosphere*. 245, 125672.
- Chen, X., Chen, G. and Yue, P. L. (2000). Separation of pollutants from restaurant wastewater by electrocoagulation. *Separat. Purif. Technol.*, 19(1-2), 65-76.
- Daud, M., Rizvi, H., Akram, M. F., Ali, S., Rizwan, M., Nafees, M. and Jin, Z. S. (2018). Review of upflow anaerobic sludge blanket reactor technology: effect of different parameters and developments for domestic wastewater treatment. *J. Chem.*, 1596319.
- De Graaff, M. S., Temmink, H., Zeeman, G. and Buisman, C. J. (2010). Anaerobic treatment of concentrated black water in a UASB reactor at a short HRT. *Water*, 2(1), 101-119.
- Dutta, A., Davies, C. and Ikumi, D. S. (2018). Performance of upflow anaerobic sludge blanket (UASB) reactor and other anaerobic reactor configurations for wastewater treatment: a comparative review and critical updates. *J. Water Suppl. Res. Technol. Aqua*, 67(8), 858-884.
- Fang, H., Liu, Y., Ke, S. and Zhang, T. (2004). Anaerobic degradation of phenol in wastewater at ambient temperature. *Water Sci. Technol.*, 49(1), 95-102.
- Goli, A., Shamiri, A., Khosroyar, S., Talaiekhazani, A., Sanaye, R. and Azizi, K. (2019). A review on different aerobic and anaerobic treatment methods in dairy industry wastewater. *J. Environ. Treat. Tech.*, 6(1), 113-141.
- Heydari, B., Rafiee, S., Abdollahzadeh Sharghi, E. and Mohtasebi, S. S. (2019). Considering an up-flow anaerobic sludge blanket for the treatment of spearmint essential oil wastewater and biogas production. *J. Renew. Ener. Environ.*, 6(2), 1-7.
- Ibrahim Idham, S. N. F., Abdullah, N. M. (2021). Efficiency of dual functional fat, oil and grease (FOG) trap in treating kitchen wastewater. *Progress Eng. Appl. Technol.*, 2, 102-111.
- Jijai, S., Siripatana, C., Sompong, O. and Ismail, N. (2016). Kinetic models for prediction of COD effluent from upflow anaerobic sludge blanket (UASB) reactor for cannery seafood wastewater treatment. *J. Teknol.*, 78, 5-6, 93-99.
- Kalyuzhnyi, S. V., Martinez, E. P. and Martinez, J. R. (1997). Anaerobic treatment of high-strength cheese-whey wastewaters in laboratory and pilot UASB-reactors. *Bioresour. Technol.*, 60(1), 59-65.
- Lew, B., Tarre, S., Belavski, M. and Green, M. (2004). UASB reactor for domestic wastewater treatment at low temperatures: a comparison between a classical UASB and hybrid UASB-filter reactor. *Water Sci. Technol.*, 49(11-12), 295-301.
- Lu, X., Zhen, G., Estrada, A. L., Chen, M., Ni, J., Hojo, T., Kubota, K. and Li, Y.-Y. (2015). Operation performance and granule characterization of upflow anaerobic sludge blanket (UASB) reactor treating wastewater with starch as the sole carbon source. *Bioresour. Technol.*, 180, 264-273.
- Luostarinen, S. and Rintala, J. (2007). Anaerobic on-site treatment of kitchen waste in combination with black water in UASB-septic tanks at low temperatures. *Bioresour. Technol.*, 98(9), 1734-1740.
- Mainardis, M., Buttazzoni, M., and Goi, D. (2020). Up-flow anaerobic sludge blanket (UASB) technology for energy recovery: a review on state-of-the-art and recent technological advances. *Bioeng.*, 7(2), 43.
- Nair, A. T. and Ahammed, M. M. (2015). The reuse of water treatment sludge as a coagulant for post-treatment of UASB reactor treating urban wastewater. *J. Clean. Product.*, 96, 272-281.



- Powar, M. M., Kore, V. S., Kore, S. V. and Kulkarni, G. S. (2013). Review on applications of UASB technology for wastewater treatment. *Int. J. Adv. Sci., Eng. Technol.*, 2(2), 125-133.
- Rajagopal, R., Choudhury, M. R., Anwar, N., Goyette, B. and Rahaman, M. (2019). Influence of pre-hydrolysis on sewage treatment in an up-flow anaerobic sludge blanket (UASB) reactor: A review. *Water*, 11(2), 372-399.
- Ramakrishnan, A. and Gupta, S. K. (2008). Effect of hydraulic retention time on the biodegradation of complex phenolic mixture from simulated coal wastewater in hybrid UASB reactors. *J. Hazard. Mater.*, 153(1-2), 843-851.
- Rice, E. W., Baird, R. B., Eaton, A. D. and Clesceri, L. S. (2012). *Standard method for the examination of water and wastewater*. 22<sup>nd</sup> Ed. Washington: American Public Health Association.
- Ridzuan, M. B., Daud, Z., Ahmad, Z. and Awang, H. (2018). Leachate treatment using up-flow anaerobic sludge blanket system. *Int. J. Integ. Eng.*, 253, 109691.
- Rizvi, H., Ali, S., Yasar, A., Ali, M. and Rizwan, M. (2018). Applicability of upflow anaerobic sludge blanket (UASB) reactor for typical sewage of a small community: its biomass reactivation after shutdown. *Int. J. Environ. Sci. Technol.*, 15(8), 1745-1756.
- Saghir, A. and Hajjar, S. (2018). The treatment of slaughterhouses wastewater by an up flow-anaerobic sludge blanket (UASB) reactor. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*. 22(5), 1378-1384.
- Tawfik, A., Sobhey, M. and Badawy, M. (2008). Treatment of a combined dairy and domestic wastewater in an up-flow anaerobic sludge blanket (UASB) reactor followed by activated sludge (AS system). *Desal.*, 227(1-3), 167-177.
- Wang, Q., Liang, J., Zhan, Y., Yao, X., Liu, Z., Li, Q. X., Guo, S., Chen, C. and Yoza, B. A. (2018). Treatment of petroleum wastewater using an up-flow anaerobic sludge blanket (UASB) reactor and turf soil as a support material. *J. Chem. Technol. Biotech.*, 93(11), 3317-3325.
- Zheng, T., Wang, Q., Shi, Z., Huang, P., Li, J., Zhang, J. and Wang, J. (2015). Separation of pollutants from oil-containing restaurant wastewater by novel microbubble air flotation and traditional dissolved air flotation. *Separat. Sci. Technol.*, 50(16), 2568-2577.
- Zulaikha, S., Lau, W., Ismail, A. and Jaafar, J. (2014). Treatment of restaurant wastewater using ultrafiltration and nanofiltration membranes. *J. Water Process Eng.*, 2, 58-62.



**Research Paper****Treatment of Kitchen Wastewater Using Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB)****Mahmoud Rahmati<sup>1\*</sup>**

<sup>1</sup>Assist. Professor, Department of Chemical Engineering, Graduate University of Advanced Technology, Kerman, Iran

\*Corresponding author: m.rahmati@kgut.ac.ir

Received: October 14, 2020

Revised: July 15, 2021

Accepted: July 15, 2021

**Abstract**

Restaurants and kitchens release large amounts of wastewater into the environment on a daily basis. Upstream anaerobic sludge bed system (UASB) can be effective in the treatment of this type of wastewater due to its advantages. In this method, granulated sludge, large molecules of oil, fat and detergents in wastewater are converted to biogas under anaerobic conditions. Therefore, the performance of the UASB in removing of COD and fat from wastewater of restaurant was investigated with 1925 and 225 mg/lit, respectively, COD and fat was investigated. The results show that the UASB wastewater treatment system is able to remove 78% of wastewater COD at temperature of 25 °C and a hydraulic residence time of nine hours. In addition, the effect of temperature and hydraulic residence time on the performance of the UASB system was investigated. The results show that with increasing temperature, the percentage of COD removal first increases and then decreases, so that at 40 °C, 84% of COD wastewater is removed. Also, by increasing the hydraulic retention time to one day, the highest percentage of COD removal, i.e., 92.5%, was obtained at 40 °C. The optimal treatment conditions for this type of wastewater in the UASB system, are this condition, and also the UASB system can be removed fat and nitrate 96.5 and 90%, respectively. In addition, the performance of the activated sludge aerobic treatment system was investigated and the results show the maximum removal of COD is 53.5%.

**Keywords:** Anaerobic Sludge Bed; Biological Treatment; Granulated Sludge; Kitchen Sludge