بسم الله الرحمن الرحیم

تاییدیه اعضای هیات داوران حاضر در جلسه دفاع از
پایان‌نامه کارشناسی ارشد

آقای **رضا براتی رشوانلو** رشته **مهندسی بهداشت محیط** پایان‌نامه **کارشناسی ارشد** خود را با عنوان « **حذف ترکیبات نیتروژن دار (آمونیوم و نیترات) از فاضلاب سنتتیک با استفاده از روش تلفیقی لجن فعال حاوی بسترهای ثابت (IFAS) واجد نانوتیوبهای کربن** » در تاریخ **۱۳۹۲/۱۲/۲۱** ارائه کردند.

بدینوسیله اعضای هیات داوران نسخه نهایی این پایان‌نامه را از نظر فرم و محتوا تایید کرده و پذیرش آنرا برای تکمیل درجه کارشناسی ارشد پیشنهاد می‌کنند.

نام و نام خانوادگی و امضاء اعضای هیأت داوران:

دکتر عباس رضایی (استاد راهنما)

دکتر احمد جنیدی جعفری (استاد مشاور)

دکتر مهرداد فرخی (استاد ناظر)

دکتر سید غلامرضا موسوی (استاد ناظر و نماینده تحصیلات تکمیلی)

آیین‌نامه حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهشهای علمی دانشگاه تربیت مدرس

مقدمه: با عنایت به سیاست‌های پژوهشی و فناوری دانشگاه در راستای تحقق عدالت و کرامت انسانها که لازمه شکوفایی علمی و فنی است و رعایت حقوق مادی و معنوی دانشگاه و پژوهشگران، لازم است اعضای هیأت علمی، دانشجویان، دانش‌آموختگان و دیگر همکاران طرح، در مورد نتایج پژوهشهای علمی که تحت عناوین پایان‌نامه، رساله و طرحهای تحقیقاتی با هماهنگی دانشگاه انجام شده است، موارد زیر را رعایت نمایند:

ماده ۱- حق نشر و تکثیر پایان نامه/ رساله و درآمدهای حاصل از آنها متعلق به دانشگاه می‌باشد ولی حقوق معنوی پدید آورندگان محفوظ خواهد بود.

ماده ۲- انتشار مقاله یا مقالات مستخرج از پایان‌نامه/ رساله به صورت چاپ در نشریات علمی و یا ارائه در مجامع علمی باید به نام دانشگاه بوده و با تایید استاد راهنمای اصلی، یکی از اساتید راهنما، مشاور و یا دانشجوی مسئول مکاتبات مقاله باشد. ولی مسئولیت علمی مقاله مستخرج از پایان نامه و رساله به عهده اساتید راهنما و دانشجو می‌باشد.

تبصره: در مقالاتی که پس از دانش‌آموختگی بصورت ترکیبی از اطلاعات جدید و نتایج حاصل از پایان‌نامه/ رساله نیز منتشر می‌شود نیز باید نام دانشگاه درج شود.

ماده ۳- انتشار کتاب و یا نرم افزار و یا آثار ویژه (اثری هنری مانند فیلم، عکس، نقاشی و نمایشنامه) حاصل از نتایج پایان‌نامه/ رساله و تمامی طرحهای تحقیقاتی کلیه واحدهای دانشگاه اعم از دانشکده ها، مراکز تحقیقاتی، پژوهشکده ها، پارک علم و فناوری و دیگر واحدها باید با مجوز کتبی صادره از معاونت پژوهشی دانشگاه و براساس آئین‌نامه‌های مصوب انجام شود.

ماده ۴- ثبت اختراع و تدوین دانش فنی و یا ارائه یافته‌ها در جشنواره‌های ملی، منطقه‌ای و بین‌المللی که حاصل نتایج مستخرج از پایان‌نامه/ رساله و تمامی طرح‌های تحقیقاتی دانشگاه باید با هماهنگی استاد راهنما یا مجری طرح از طریق معاونت پژوهشی دانشگاه انجام گیرد.

ماده ۵- این آیین‌نامه در ۵ ماده و یک تبصره در تاریخ ۸۷/۴/۱ در شورای پژوهشی و در تاریخ ۸۷/۴/۲۳ در هیأت رئیسه دانشگاه به تایید رسید و در جلسه مورخ ۸۷/۷/۱۵ شورای دانشگاه به تصویب رسیده و از تاریخ تصویب در شورای دانشگاه لازم‌الاجرا است.

«اینجانب **رضا براتی رشوانلو** دانشجوی رشته **مهندسی بهداشت محیط** ورودی سال تحصیلی **۱۳۹۰** مقطع **کارشناسی ارشد** دانشکده **علوم پزشکی** متعهد می‌شوم کلیه نکات مندرج در آیین نامه حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهش‌های علمی دانشگاه تربیت مدرس را در انتشار یافته‌های علمی مستخرج از پایان نامه / رساله تحصیلی خود رعایت نمایم. در صورت تخلف از مفاد آیین نامه فوق الاشعار به دانشگاه وکالت و نمایندگی می‌دهم که از طرف اینجانب نسبت به لغو امتیاز اختراع بنام بنده و یا هرگونه امتیاز دیگر و تغییر آن به نام دانشگاه اقدام نماید. ضمناً نسبت به جبران فوری ضرر و زیان حاصله براساس برآورد دانشگاه اقدام خواهم نمود و بدینوسیله حق هرگونه اعتراض را از خود سلب نمودم ».

نام و نام خانوادگی رضا براتی رشوانلو

تاریخ و امضا

۹۳/۳/۱۳

آئین‌نامه پایان‌نامه (رساله)های دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان‌نامه (رساله)های تحصیلی دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس، مبین بخشی از فعالیت‌های علمی پژوهشی دانشگاه است. بنابراین به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه، دانش آموختگان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می‌شوند:

ماده ۱: در صورت اقدام به چاپ پایان‌نامه (رساله)ی خود، مراتب را قبلاً به‌طور کتبی به دفتر "دفتر نشر آثار علمی" دانشگاه اطلاع دهد.

ماده ۲: در صفحه سوم کتاب (پس از برگ شناسنامه)، عبارت ذیل را چاپ کند:

" کتاب حاضر، حاصل **پایان‌نامه کارشناسی ارشد** نگارنده در رشته **مهندسی بهداشت محیط** است که در سال **۱۳۹۲** در دانشکده **علوم پزشکی** دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی **دکتر عباس رضایی**، مشاوره **دکتر احمد جنیدی جعفری** از آن دفاع شده است.

ماده ۳: به منظور جبران بخشی از هزینه‌های انتشارات دانشگاه، تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت چاپ) را به "دفتر نشر آثار علمی" دانشگاه اهداء کند. دانشگاه می‌تواند مازاد نیاز خود را به نفع مرکز نشر در معرض فروش قرار دهد.

ماده ۴: در صورت عدم رعایت ماده ۳، ۵۰٪ بهای شمارگان چاپ شده را به‌عنوان خسارت به دانشگاه تربیت مدرس، تادیه کند.

ماده ۵: دانشجو تعهد و قبول می‌کند در صورت خودداری از پرداخت‌های بهای خسارت، دانشگاه مذکور را از طریق مراجع قضایی مطالبه و وصول کند، به علاوه به دانشگاه حق می‌دهد به منظور استیفای حقوق خود، از طریق دادگاه، معادل وجه مذکور در ماده 4 را از محل توقیف کتابهای عرضه شده نگارنده برای فروش، تامین نماید.

ماده ۶: اینجانب **رضا براتی رشوانلو** دانشجوی رشته **مهندسی بهداشت محیط** مقطع **کارشناسی ارشد** تعهد فوق و ضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می‌شوم.

نام و نام خانوادگی رضا براتی رشوانلو

تاریخ و امضا

۹۳/۳/۱۳

پایان‌نامه

دوره کارشناسی ارشد در رشته مهندسی بهداشت محیط

عنوان

حذف ترکیبات نیتروژن‌دار (آمونیوم و نیترات) از فاضلاب سنتتیک با استفاده از روش تلفیقی لجن فعال حاوی بسترهای ثابت(IFAS) واجد نانوتیوب‌های کربن

نگارش

رضا براتی رشوانلو

استاد راهنما

دکترعباس رضایی

استاد مشاور

دکتر احمد جنیدی جعفری

اسفند ۱۳۹۲

تقدیم به:

پدرم به استواری کوه؛

مادرم به زلالی چشمه؛

همسرم به صمیمیت باران؛

دخترم به طراوت شبنم.

تشکر و قدردانی

❖ حمد و سپاس خداوندی را سزاست که توان برگزیدن به ما عنایت کرد و در کوران راه، به لطف بیکرانش هدایتمان نمود که خود را دریابیم و بیاندیشیم و چگونگی گشودن رازهای زمین را فرا گیریم. بدون شک به اتمام رسانیدن این پایان نامه جز به لطف پروردگار کریم و راهنمایی‌های بی شائبه و ارزنده‌ی استاد ارجمند جناب **"آقای دکتر عباس رضائی"** میسر نبود. از زحمات بی دریغ ایشان نهایت سپاس و تشکر را دارم.

❖ مراتب تشکر و قدردانی خود را از جناب **"آقای دکتر احمد جنیدی جعفری"** که مشاوره این پایان نامه را بر عهده داشته و همواره از راهنمایی‌های ارزنده‌ی ایشان بهره مند بودم، ابراز می‌دارم.

❖ از **جناب آقای دکتر سید غلامرضا موسوی، جناب آقای دکتر علی خوانین، جناب آقای دکتر سید باقر مرتضوی، جناب آقای دکتر حسن اصیلیان**، اساتید بزرگوارم کمال تشکر را دارم.

❖ از همکاری مسئولین محترم گروه‌های مهندسی بهداشت محیط و بهداشت حرفه‌ای، به ویژه **سرکار خانم خلیلی، جناب آقای مسعود سینکی** و **جناب آقای مهندس سید جواد شکرا...زاده** کمال تشکر را دارم.

❖ از همکاری مجموعه مدیریت شرکت آب و فاضاب خراسان شمالی، به ویژه **مدیریت محترم عامل جناب آقای مهندس علوی، دفتر بهره برداری فاضلاب و دفتر تحقیقات** کمال تشکر را دارم.

❖ در پایان از تمامی **دوستان عزیز و دلسوزم** که در این دوره تحصیلی همیشه پشتیبان من بودند، کمال تشکر و قدردانی را دارم.

چکیده:
با توسعه شهرها و افزایش جمعیت و گسترش صنایع، روز به روز بـر اهمیـت کنتـرل آلـودگی محـیط زیست افزوده می‌شود. از میان آلاینده‌های مختلف، حذف ترکیبات ازته به دلیل عوارضی چون کـاهش اکسیژن آبهای پذیرنده، سمیت و به خطر انداختن حیات آبزیان، اوتروفیکاسیون آبهای سطحی، اثر بـر کارآیی کلر در گندزدایی، خـوردگی و بیمـاری مـت هموگلوبینمیـا امـری اجتنـاب ناپـذیر مـی‌باشـد. روش‌های جداسـازی آمونیـوم شـامل روش‌هـای فیزیکـی، شـیمیایی و بیولـوژیکی اسـت. معمـولاً در فرآیندهای تصفیه فاضلاب روش‌های حذف بیولوژیکی به دلیل کارآیی فرآیند، قابل اعتماد بودن روش، کنترل آسان و هزینه‌های سرمایه گذاری کم انتخاب می‌شوند. در فرآیند بیولـوژیکی نیتریفیکاسـیون-دنیتریفیکاسیون آمونیاک از طریق باکتری‌های اکسید کننده آمونیاک و نیتریت (نیتریفایرها) ابتـدا بـه نیتریت و سپس نیترات تبدیل شده و متعاقب آن تحت فرآیند دنیتریفیکاسیون تبدیل به گاز نیتـروژن می‌شود. فرایندهای بیولوژیکی بدلیل ارزانتر بودن، سازگار بیشتر با محیط زیست و نیاز کمتر به انـرژی و مواد شیمیایی ارجعیت دارند. هدف از این مطالعـه بررسـی حـذف ترکیبـات نیتـروژن‌دار(آمونیـوم و نیترات) از فاضلاب سنتتیک با استفاده از روش تلفیقی لجن فعال و بسترهای ثابت(IFAS) اصلاح شده با نانو تیوب کربن می‌باشد. درIFAS مزایای فیلم ثابت به فرایند لجن فعال افزوده شده اسـت کـه ایـن مزایا شامل: قابلیت انعطاف و کارایی بالاتر، ثبات رشد بیولوژیکی ومقاوم بودن فرایند در برابرشوک‌های آلی و هیدرولیکی می‌باشد. آزمایشات بصورت پیوسته و در مقیـاس آزمایشـگاهی بـا ارزیـابی رانـدمان راکتور لجن فعال با بستر ثابت اصلاح شده با نانو تیوب کربن صورت گرفت بدین منظور بستر از جـنس پلی کربنات به روش اتاق خلا توسط نانو تیوب کربن پوشانده شد و تأثیر نانو تیـوب کـربن بـر کـارایی فرآیند از طریق تغییر شاخص زمان ماند از ۴ تا ۱۶ساعت با غلظت آمونیـوم ورودی ۲۵ میلـی‌گـرم بـر لیتر بررسی گردید. نتایج نشان داد که وجود نانو تیوب کربن در بستر اصلاح یافته منجر بـه تسـریع در لجن سازی اولیه شده و همچنین منجر به افزایش حذف آمونیوم از فاضـلاب‌هـای بـا غلظـت کـم (۲۵ میلی‌گرم بر لیتر) می‌گردد. براین اساس زمان ماند ۱۲ ساعت به عنـوان زمـان مانـد بهینـه انتخـاب و راکتور با غلظت‌های ۴۰، ۸۰، ۱۲۰ و ۱۶۰ میلی‌گرم بر لیتـر بـار گـذاری گردیـد و در شـرایطی کـافی نبودن راندمان، زمان ماند هیدرولیکی افزایش داده شد که بر اساس نتایج بدست آمده حداکثر راندمان حذف COD در راکتور اصلاح شده و معمولی به ترتیب ۹۴/۸۶ و۹۴/۷ درصد در زمان ماند هیـدرولیکی ۱۶ سـاعت تعیـین شـد. و بهتـرین شـرایط جهـت انجـام نیتریفیکاسـیون و دنیتریفیکاسـیون در بارگذاری‌های ۲۵، ۴۰، ۸۰ و ۱۲۰ میلیگرم بر لیتر توسط راکتور IFAS اصلاح شده با نانو تیـوب کـربن فراهم خواهد شد. اگرچه در بار گذاری‌های بیشتر (۱۶۰ میلی‌گرم بر لیتـر) و زمـان مانـد هیـدرولیکی بالاتر(۳۰ تا ۴۰ ساعت) راکتور IFAS معمولی برای دنیتریفیکاسیون مناسبتر می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: نیتروژن آمونیاکی، نانو تیوب کربن، IFAS، لجن فعال

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: مقدمه و مروری بر مطالعات گذشته ۱

۱-۱. پیشگفتار ۲

۱-۲. اهداف تحقیق ۳

۱-۲-۱. هدف کلی ۳

۱-۲-۲. اهداف جزئی ۳

۱-۳. نیتروژن ۴

۱-۳-۱. شکل‌های مختلف نیتروژن ۴

۱-۳-۲. چرخه نیتروژن در طبیعت ۵

۱-۳-۲-۱. نیتروژن در محیط‌های آبی ۶

۱-۴. اثرات تخلیه مواد نیتروژنی در محیط ۷

۱-۴-۱. کاهش اکسیژن محلول در آبهای پذیرنده ۸

۱-۴-۲. سمیت ۸

۱-۴-۳. اوتریفیکاسیون آبهای سطحی ۸

۱-۴-۴. اثر بر کارآیی کلر در گندزدایی ۸

۱-۴-۵. خوردگی ۹

۱-۴-۶. اثر بر بهداشت عمومی ۹

۱-۵. استانداردهای خروجی فاضلاب و پساب جهت ترکیبات نیتروژنه ۹

۱-۶. روش‌های حذف ترکیبات نیتروژنه ۱۰

۱-۶-۱. روش‌های فیزیکی ۱۱

۱-۶-۲. روش‌های شیمیایی ۱۱

۱-۶-۲-۱. کلریناسیون تا نقطه شکست ۱۱

۱-۶-۲-۲. تبادل یون ۱۱

۱-۶-۳. روش‌های بیولوژیکی ۱۱
۱-۶-۳-۱. نیتریفیکاسیون ۱۲
۱-۶-۳-۱-۱. میکروبیولوژی نیتریفیکاسیون ۱۲
۱-۶-۳-۱-۲. استوکیومتری نیتریفیکاسیون ۱۲
۱-۶-۳-۱-۳. سینتیک نیتریفیکاسیون ۱۴
۱-۶-۳-۱-۴. عوامل محیطی مؤثر بر نیتریفیکاسیون ۱۵
۱-۶-۳-۲. دنیتریفیکاسیون ۱۶
۱-۶-۳-۲. توصیف فرآیند دنیتریفیکاسیون ۱۷
۱-۶-۳-۳. میکروبیولوژی دنیتریفیکاسیون ۱۸
۱-۶-۳-۴. اثرهمزمان‌نیتریفیکاسیون ودنیتریفیکاسیون ۲۰
۱-۶-۳-۵. عوامل محیطی ۲۰
۱-۷. فرآیندهای حذف بیولوژیکی نیتروژن ۲۱
۱-۷-۱. فرآیندهای انوکسیک مقدماتی ۲۱
۱-۷-۱-۱. فرآیند اصلاح شده لودزاک - اتینگر ۲۱
۱-۷-۱-۲. فرآیند $Bio\text{-}denitro_{TM}$ ۲۲
۱-۷-۲. فرآیندهای انوکسیک نهایی ۲۳
۱-۷-۲-۱. فرآیند چهار مرحله‌ای باردنفو ۲۳
۱-۷-۲-۲. نهر اکسیداسیون ۲۴
۱-۷-۳. فرآیندهای نیتریفیکاسیون / دنیتریفیکاسیون همزمان ۲۵
۱-۷-۳-۱. فرآیند $Orbal_{TM}$ ۲۵
۱-۷-۳-۲. سیستم تلفیقی رشد ثابت و لجن فعال (IFAS) ۲۶
۱-۷-۳-۲-۱. انواع سیستم‌های IFAS ۳۱
۱-۷-۳-۲-۲. کاربرد سیستم IFAS ۳۱
۱-۷-۳-۲-۳. ملاحظات طراحی فرآیند IFAS ۳۱

۱-۸. نانولوله‌های کربنی؛ خواص و کاربرد ۳۵
۱-۸-۱. آلوتروپ‌های کربن ۳۵
۱-۸-۲. ساختار نانولوله‌های کربنی ۳۵
۱-۸-۳. انواع نانولوله‌های کربنی ۳۶
۱-۸-۴. نانولوله‌های کربنی و تصفیه فاضلاب ۳۷
۱-۹. مروری برفعالیت‌های انجام شده ۳۷

فصل دوم: مواد و روش‌ها ۴۱
۲-۱. مطالعات کتابخانه‌ای ۴۲
۲-۲. تهیه نانو تیوب کربن و بستر مورد مطالعه ۴۳
۲-۳. تثبیت نانو تیوب کربن ۴۴
۲-۳-۱. تجهیزات مورد نیاز جهت تثبیت ۴۴
۲-۳-۲. عملیات تثبت ۴۴
۲-۳-۲-۱. آماده سازی سطح ۴۴
۲-۳-۲-۲. پوشش دهی ۴۵
۲-۴. طراحی و ساخت راکتور ۴۶
۲-۴-۱. مشخصات پایلوت ۴۶
۲-۴-۱-۱. مخزن اصلی ۴۶
۲-۴-۱-۲. بستر ۴۷
۲-۴-۱-۲-۱. بررسی ساختار بستر اصلاح شده با نانو تیوب کربن ۴۷
۲-۴-۱-۳. سامانه هوادهی ۴۸
۲-۴-۱-۴. سامانه برگشت لجن ۴۸
۲-۵. راه اندازی و بهره برداری راکتور ۴۸
۲-۵-۱. راه‌اندازی راکتور ۴۹

۲-۵-۲. تنظیم دوره‌ای اکسیژن محلول، pH، C:N:P و قلیائیت ۴۹
۲-۵-۳. سازگار نمودن میکروارگانیسم‌ها با فاضلاب سنتتیک ۵۰
۲-۶. سنجش پارامتر ها ۵۰
۲-۶-۱. تهیه نمودار استاندارد ۵۰
۲-۶-۲. بررسی راندمان حذف در زمان‌های ماند هیدرولیکی مختلف ۵۲
۲-۶-۳. بررسی‌های مرتبط به بیوفیلم ۵۳
۲-۶-۳-۱. بررسی ارتباط بین میزان جذب و مقادیر DNA و پروتئین باکتری‌ها ۵۴
۲-۶-۴. بررسی و مقایسه راندمان دو راکتور در حذف غلظت‌های مختلف آلاینده ۵۴

فصل سوم: نتایج و یافته‌ها ۵۵
۳-۱. بررسی ساختار بستر اصلاح شده به وسیله BET و TEM ۵۶
۳-۲. تاثیر نانو تیوب کربن بر میزان بیومس تولیدی در مرحله راه‌اندازی راکتور ۵۸
۳-۲-۱. بررسی تاثیر نانو تیوب کربن بر MLVSS، DNA، پروتئین وHPC در مرحله راه اندازی راکتور ۵۹
۳-۳-۲. تاثیر نانو تیوب کربن بر میزان بیومس چسبیده به بستر در مرحله بهره‌برداری راکتور ۶۲
۳-۳. بررسی تاثیر زمان ماند هیدرولیکی ۶۵
۳-۴. بررسی میزان کربن مورد نیاز بیوشیمیایی ۶۶
۳-۴-۱. بررسی تاثیر بارگذاری‌های مختلف آمونیوم ۶۷

فصل چهارم: بحث، نتیجه‌گیری و پیشنهادها ۷۴
۴-۱. بحث ۷۵
۴-۱-۱. اثرنانو تیوب کربن بر ساختار بستر ۷۷
۴-۱-۱-۱. تئوری تعیین سطح ویژه (BET) ۷۷

۴-۱-۲. نتایج تاثیر نانو تیوب کربن بر میزان بیومس تولیدی در مرحله راه‌اندازی راکتور ۷۸
۴-۱-۲-۱. میکروبیولوژی فرایندهای با رشد چسبیده ۷۸
۴-۱-۲-۱-۱. فرایند رشد چسبیده با فیلم ثابت ۷۸
۴-۱-۲-۱-۲. ساختار بیوفیلم ۸۰
۴-۱-۲-۱-۳. جذب سطحی میکروارگانیسم‌ها به سطوح ۸۱
۴-۱-۲-۱-۴. تجمع بیوفیلم ۸۱
۴-۱-۳. نتایج تاثیر زمان ماند هیدرولیکی بر عملکرد راکتور ۸۴
۴-۱-۴. نتایج میزان کربن مورد نیاز بیوشیمیایی ۸۵
۴-۱-۵. نتایج بارگذاری‌های مختلف آمونیوم ۸۶
۴-۱-۵-۱. نتایج افزایش بارگذاری راکتور ۸۶
۴-۱-۵-۲. نتایج افزایش بارگذاری آمونیوم ۸۶
۴-۱-۵-۳. بارگذاری آمونیوم به میزان ۱۲۰ میلی‌گرم بر لیتر ۸۷
۴-۱-۵-۴. بار گذاری‌های بالاتر(۱۶۰ میلی‌گرم بر لیتر) ۸۷
۴-۱-۵-۵. افزایش زمان ماند هیدرولیکی (۴۰-۳۰ ساعت) ۸۸
۴-۲. نتیجه‌گیری ۸۸
۴-۳. پیشنهادها ۸۸

فهرست منابع و مآخذ ۸۹
ضمائم ۹۴
چکیده انگلیسی ۱۰۲

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول (۱-۱) اشکال و علائم اختصاری ترکیبات مختلف نیتروژنی..... ۴

جدول (۱-۲) استانداردهای خروجی فاضلاب جهت ترکیبات نیتروژنه..... ۱۰

جدول (۱-۳) نمونه‌هایی از بسترهای ثابت جهت استفاده در داخل حوض هوادهی..... ۳۰

جدول (۱-۴) انواع غشاء سیستم‌های لجن فعال با بستر ثابت (IFAS)..... ۳۰

جدول (۲-۱) مراحل کاری صورت گرفته در پژوهش..... ۴۲

جدول (۲-۲) مشخصات تجهیزات و وسایل مورد استفاده در پژوهش..... ۴۳

جدول (۲-۳) مشخصات مواد آزمایشگاهی مورد استفاده در پژوهش..... ۴۳

جدول (۲-۴) مشخصات نانو تیوب کربن..... ۴۴

جدول (۲-۵) مشخصات راکتور مورد استفاده در تحقیق..... ۴۶

جدول (۲-۶) مواد مصرفی جهت تهیه فاضلاب سنتتیک..... ۴۹

جدول (۲-۷) روند تغییرات زمان ماند هیدرولیکی با توجه به بار گذاری راکتور..... ۵۴

جدول (۳-۱) میانگین شاخص‌هایMLSS، MLVSS، DNA، پروتئین و HPC بیومس در راکتور اصلاح شده با نانو تیوب کربن در مقایسه با راکتور معمولی در ابتدای دوره بهره برداری..... ۵۹

جدول (۳-۲) میانگین شاخص‌های MLSS، MLVSS، DNA، پروتئین و HPC بیومس در راکتور اصلاح شده با نانو تیوب کربن در مقایسه با راکتور معمولی در طول مرحله بهره برداری..... ۶۲

فهرست نمودارها

عنوان **صفحه**

نمودار (۲-۱) منحنی کالیبراسیون برای جذب COD ۵۱

نمودار (۲-۲) منحنی کالیبراسیون برای جذب نیترات ۵۱

نمودار (۲-۳) منحنی کالیبراسیون برای جذب آمونیاک ۵۲

نمودار (۲-۴) منحنی کالیبراسیون برای جذب فسفات ۵۲

نمودار (۲-۵) روند تغییرات زمان ماند هیدرولیکی راکتور با بارگذاری آمونیوم به میزان ۲۵ میلی‌گرم بر لیتر ۵۳

نمودار (۳-۱) ایزوترم جذب و دفع H2 (a) و توزیع اندازه تخلخل (خلل و فرج) بستر پوشش داده شده با نانو تیوب کربن (b) ۵۷

نمودار (۳-۲) تغییرات MLSS در مرحله راه‌اندازی راکتور ۵۹

نمودار (۳-۳) میزان MLVSS بیومس در راکتور IFAS اصلاح شده با نانو تیوب کربن در مقایسه با راکتور معمولی ۶۰

نمودار (۳-۴) میزان DNA بیومس در راکتور IFAS اصلاح شده با نانو تیوب کربن در مقایسه با راکتور معمولی ۶۰

نمودار (۳-۵) میزان پروتئین بیومس در راکتور IFASاصلاح شده با نانو تیوب کربن در مقایسه با راکتور معمولی ۶۱

نمودار (۳-۶) میزان HPC بیومس در راکتور IFAS اصلاح شده با نانو تیوب کربن در مقایسه با راکتور معمولی ۶۱

نمودار (۳-۷) میزان MLSS بیومس در راکتور IFAS اصلاح شده با نانو تیوب کربن در مقایسه با راکتور IFAS معمولی ۶۲

نمودار (۳-۸) میزان MLVSS بیومس در راکتور IFAS اصلاح شده با نانو تیوب کربن در مقایسه با راکتور IFAS معمولی ۶۳

نمودار (۳-۹) میزان DNA بیومس در راکتور IFAS اصلاح شده با نانو تیوب کربن در مقایسه با راکتور IFAS معمولی ۶۳

نمودار (۳-۱۰) میزان پروتئین بیومس در راکتور IFAS اصلاح شده با نانو تیوب کربن در مقایسه با راکتور IFAS معمولی ۶۴
نمودار (۳-۱۱) میزان HPC بیومس در راکتور IFAS اصلاح شده با نانو تیوب کربن در مقایسه با راکتور IFAS معمولی ۶۴
نمودار (۳-۱۲) میزان آمونیوم خروجی از راکتورهای اصلاح شده با نانو تیوب کربن و معمولی در زمان ماند هیدرولیکی مختلف ۶۵
نمودار (۳-۱۳) میزان نیترات خروجی از راکتورهای اصلاح شده با نانو تیوب کربن و معمولی در زمان ماند هیدرولیکی مختلف ۶۵
نمودار (۳-۱۴) میزان COD خروجی از راکتورهای اصلاح شده با نانو تیوب کربن و معمولی در زمان ماند هیدرولیکی مختلف با میزان بارگذاری ۲۵ میلی‌گرم بر لیتر ۶۶
نمودار (۳-۱۵) میزان COD خروجی از راکتورهای اصلاح شده با نانو تیوب کربن نسبت به راکتور معمولی در زمان ماند هیدرولیکی مختلف ۶۶
نمودار (۳-۱۶) میزان آمونیوم خروجی از راکتور در زمان ماند هیدرولیکی ۱۲ ساعت و بارگذاری ۲۵ و ۴۰ میلی‌گرم بر لیتر ۶۷
نمودار (۳-۱۷) میزان نیترات خروجی از راکتور در زمان ماند هیدرولیکی ۱۲ ساعت و بارگذاری ۲۵ و ۴۰ میلی‌گرم بر لیتر ۶۷
نمودار (۳-۱۸) میزان امونیوم خروجی از راکتور با بارگذاری ۸۰ میلی‌گرم بر لیتر در زمانهای ماند هیدرولیکی ۱۲و ۱۶ ساعت ۶۸
نمودار (۳-۱۹) میزان نیترات خروجی از راکتور با بارگذاری ۸۰ میلی‌گرم بر لیتر در زمانهای ماند هیدرولیکی ۱۲و ۱۶ ساعت ۶۹
نمودار (۳-۲۰) میزان آمونیوم (الف) و نیترات خروجی از راکتور در زمان ماند هیدرولیکی ۱۶ ساعت و بارگذاری آمونیوم ۸۰ میلی‌گرم بر لیتر ۶۹
نمودار (۳-۲۱) میزان آمونیوم خروجی از راکتوراصلاح شده با نانو تیوب کربن و راکتورمعمولی در بارگذاری ۱۲۰ میلی‌گرم بر لیتر و زمان ماند هیدرولیکی ۲۴ ساعت بدون افزودن منبع کربن مازاد (الف) و با افزودن منبع کربن مازاد (ب) ۷۰
نمودار (۳-۲۲) میزان نیترات خروجی از راکتوراصلاح شده با نانو تیوب کربن و راکتور معمولی در بارگذاری ۱۲۰ میلی‌گرم بر لیتر و زمان ماند هیدرولیکی ۲۴ ساعت بدون افزودن منبع کربن مازاد(الف) و با افزودن منبع کربن مازاد(ب) ۷۱

نمودار (۳-۲۳) آمونیوم خروجی از راکتور در شرایط بارگـذاری بـا غلظـت آمونیـوم ۱۲۰ و ۱۶۰ میلی‌گرم بر لیتر و زمان ماند هیدرولیکی مختلف..... ۷۲
نمودار (۳-۲۴) نیترات خروجی از راکتور در شرایط بارگـذاری بـا غلظـت آمونیـوم ۱۲۰ و ۱۶۰ میلی‌گرم بر لیتر و زمان ماند هیدرولیکی مختلف..... ۷۲

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل (۱-۱) چرخه نیتروژن در آب و خاک شکل ۶
شکل (۱-۲) تغییرات نیتروژن در آب‌های آلوده تحت شرایط هوازی ۷
شکل (۱-۳) تشکیل نیتروژن در فرایندهای بیولوژیکی ۱۸
شکل (۱-۴) فرآیند اصلاح شده لودزاک – اتینگر ۲۲
شکل (۱-۵) فرآیند Bio-denitroTM ۲۳
شکل (۱-۶) فرآیند چهار مرحله‌ای باردنفو ۲۴
شکل (۱-۷) طرح شماتیک نهر اکسیداسیون ۲۵
شکل (۱-۸) فرآیند OrbalTM ۲۶
شکل (۱-۹) شمایی از راکتور تلفیقی رشد ثابت و لجن فعال جهت تصفیه فاضلاب‌های صنعتی ۳۴
شکل (۱-۱۰) آلوتروپ‌های مختلف کربن ۳۶
شکل (۱-۱۱) شکل‌گیری نانولوله‌ها از صفحات گرافیت ۳۶
شکل (۱-۱۲) انواع مختلف نانولوله‌های کربنی ۳۷
شکل (۲-۱) بستر اصلاح‌شده با نانو تیوب کربن ۴۵
شکل (۲-۲) طرح شماتیک از راکتور IFAS ۴۶
شکل (۲-۳) نمایی از راکتور در پژوهش ۴۷
شکل (۲-۴) بستر اصلاح شده با نانو تیوب کربن در مقایسه با بستر معمولی ۴۷
شکل (۲-۵) ایستگاه پمپاژ لجن برگشتی ساخته شده جهت پایلوت مورد استفاده در تحقیق ۴۸
شکل (۳-۱) تصویر TEM از پلی‌کربنات بعد از پوشش داده شدن با نانو تیوب کربن ۵۸
شکل (۳-۲) تصاویر TEM از سطح صفحه کوت شده ۵۰ نانویی (a) و خلل و فرج زیر لایه ۱ میکرونی (b) ۵۸
شکل (۴-۱) بیوفیلم تشکیل شده بر روی بستر ۸۰

فصل اول:

مقدمه و مروری بر مطالعات گذشته

۱-۱. پیشگفتار

تصفیه فاضلابها و کنترل آن از دیرباز مطرح بوده است. در میان ترکیبات پیچیده و متنوعی که در فاضلاب موجود است، مواد ازته از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشند. نیتروژن به شکل یون آمونیوم از ترکیبات موجود در فاضلاب صنایع مختلف از جمله صنایع غذایی، نفت، پتروشیمی، کشتارگاههای دام و طیور، پساب خروجی تصفیه خانه‌های فاضلاب و برکه‌های پرورش ماهی وارد محیط زیست می‌گردد. این مواد قادرند اکسیژن آبهای پذیرنده را پایین آورده و حیات ماهیها و موجودات آبزی را به خطر اندازند. همچنین در شرایط خاص نیز باعث رشد بی حد و حصر گیاهان آبزی شده و اثرات نامطلوبی از جمله اوتریفیکاسیون دریاچه‌ها را ایجاد می‌نمایند. آمونیوم همچنین در واکنش با کلر تولید کلرآمین می‌نمایدکه علاوه بر داشتن اثرات سوء در گندزدایی برای آبزیان در آبهای پذیرنده سمی می‌باشد [۱]. لذا حذف این مواد از آب و لزوم کنترل آن امری اجتناب ناپذیر است. روش‌های حذف آمونیوم شامل روش‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی است. معمولاً در فرآیندهای تصفیه فاضلاب روش‌های حذف بیولوژیکی به دلیل کارآیی فرآیند، قابل اعتماد بودن روش، کنترل آسان و هزینه‌های سرمایه گذاری کم انتخاب می‌شوند. سیستم لجن فعال تلفیقی با رشد چسبیده بعنوان یکی از روش‌های مناسب جهت تصفیه بیولوژیکی هوازی فاضلابهای صنعتی می‌باشد. چراکه این سیستم با دارا بودن خصوصیات طراحی ساده، هزینه کم عملیاتی، قابلیت شوک‌پذیری بالا و مشکلات کمتر در هنگام کار سبب می‌شود تا این راکتورها بعنوان یک پیشنهاد خوب برای تصفیه انواع مختلف فاضلابها مطرح باشد[۲].

بهبود تصفیه فاضلاب توسط IFAS هم به میزان رشد توده میکروبی به روی سطح بسترها و هم به فعالیت میکروبی ارتباط دارد و لذا هر چند که باید میزان سطح به کار گرفته شده متناسب با میزان