

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده فناوری کشاورزی و منابع طبیعی

گروه علوم خاک

اثرات لجن فاضلاب شهری اردبیل بر برخی خصوصیات فیزیکی و هیدرولیکی خاک و غلظت برخی
عناصر در خاک و گندم

اساتید راهنما:

دکتر شکراله اصغری - دکتر اسماعیل گلی کلانپا

استاد مشاور:

مهندس بهزاد کوهی زرگر

توسط:

سولماز فتح‌العلومی

دانشگاه محقق اردبیلی

خرداد 1392

تقدیم به :

همسرم

اسطوره زندگیم، پناه خستگیم و امید بودنم که مشوق اصلی من برای ادامه تحصیل بوده و صبورانه در تمام طول تحصیل همراه و همگام من بوده است.

پدر و مادرم

که بودنشان تاج افتخاری است بر سرم و نامشان دلیلی است بر بودنم، دو فرشته‌ای که پس از پروردگار، مایه هستی ام بوده اند و زندگیم مدیون حضور سبز آنهاست، آموزگارانی که زندگی و انسان بودن را برایم معنا کردند.

اساتید بزرگوارم

که در راه کسب علم و معرفت یارم نمودند.

سپاسگزاری:

حمد و سپاس بی پایان خداوندی را که به قلم سوگند یاد می‌کند. خداوند بلند مرتبه‌ای که داناست و نعمت اشتیاق به دانستن را به بندگانش ارزانی می‌دارد. خدای بزرگ را شاکرم که توان طی مرحله‌ای دیگر از دوران تحصیل را به من عطا فرمود.

هر چند که قلم و زبان از بیان تشکر شاگرد از استاد قاصر است، اما بر خود وظیفه می‌دانم که از اساتید راهنمای بزرگوارم جناب آقای دکتر شکراله اصغری و جناب آقای دکتر اسماعیل گلی به پاس راهنمایی‌ها و دلسوزی‌های ارزنده‌شان در طی انجام این تحقیق که همواره روشنگر راه و مسیر اینجانب بودند سپاسگزاری نموده و خالصانه‌ترین قدردانی‌ها را نثار وجود ارزشمندشان نمایم. همچنین از مشاوره‌های ارزنده استاد ارجمند جناب آقای مهندس بهزاد کوهی سپاسگزارم.

از جناب آقای دکتر علی اشرف سلطانی که زحمت داوری این پایان نامه را تقبل نمودند و از نماینده محترم تحصیلات تکمیلی جناب آقای دکتر اکبر قویدل نهایت سپاس را دارم.

تشکر می‌کنم از سرمایه‌های جاودان زندگی‌ام، پدر و مادر عزیزم که وجودم برایشان همه رنج بود و وجودشان برایم همه مهر، توانشان رفت تا به توانی برسم، موهایشان سپید گشت تا رویم سپید بماند، آنکه زمزمه دعایشان، طنین آرامش لحظه‌های بیقراریم، طپش قلبشان روشن کننده شمع زندگی و وجودشان مایه افتخار و غرورم است. در برابر وجود گرمی‌شان زانوی ادب بر زمین می‌نهم و با دلی مملو از عشق و محبت بر دستانشان بوسه می‌زنم.

تشکر می‌نمایم از همسر عزیزم؛ بخاطر همه کمک‌هایش از ابتدای تحصیلات دوره کارشناسی ارشد بویژه در طی مراحل انجام پایان نامه.

از خواهر و برادر نازنینم که همواره با دیده‌های امیدوارشان مسیر پیشرفتم را تعقیب کردند و دعا‌های خالصانه ایشان همیشه راه‌گشا و مایه دلگرمیم بوده است، سپاسگزارم.

از ریاست محترم دانشکده علوم کشاورزی جناب آقای دکتر اسماعیل چمنی و اساتید محترم گروه علوم باغبانی، آقایان دکتر بهروز اسماعیل پور، دکتر مهدی بهنامیان و دکتر مهدی محب‌الدینی به پاس همکاری و حمایت‌هایشان نهایت تشکر را دارم.

از همکاری و مساعدت کارشناس محترم آزمایشگاه جناب آقای مهندس محمد انوار و کارشناس محترم آموزش دانشکده علوم کشاورزی جناب آقای عسگر رضایی و سایر کارکنان محترم دانشکده‌های کشاورزی و فناوری کشاورزی و منابع طبیعی سپاسگزارم.

از مسئولین محترم شرکت آب و فاضلاب اردبیل سرکار خانم افشان عنایتی و آقایان یحیی سیف‌الهی، فریدون درناپور، فتح‌اله نوخواه و قادر نخستین ساعد که در طول انجام پایان‌نامه از حمایت‌هایشان بهره‌بردم نهایت تشکر را دارم.

از همه دوستانی که در طی این دوران همراه من بوده‌اند به ویژه خانم‌ها مهری مهدوی، الهام بهزاد، سولماز عبدالهی و وحیده قهرمانی سپاسگزارم.

در پایان بر خود وظیفه می‌دانم یک بار دیگر از همسرم بخاطر همه وقت‌هایی که در کنارم بود، به من جرات و شهامت داد، همه وقت‌هایی که به من اعتماد کرد، مرا تحسین کرد، باعث آسایش و راحتیم بود، برای همه وقت‌هایی که عشق بی‌دریغش را نصیبم کرد و شادی و آرامش به من هدیه کرد، برای همه وقت‌هایی که در چشمانم نگرینت و صدای قلبم را شنید و صبورانه بر تمام کوتاهی‌هایم چشم پوشید تا شاهد موفقیتیم باشد تشکر نمایم و به او بگویم که در تمام ضربان‌های قلبم حضور دارد.

سولماز فتح‌العلومی

تیر ماه ۱۳۹۲

| | |
|---|-----------------------------|
| نام خانوادگی دانشجو: فتح العلومی | نام: سولماز |
| عنوان پایان نامه: اثرات لجن فاضلاب شهری اردبیل بر برخی خصوصیات فیزیکی و هیدرولیکی خاک و غلظت برخی عناصر در خاک و گندم | |
| اساتید راهنما: دکتر شکراله اصغری - دکتر اسماعیل گلی کلانپا | |
| استاد مشاور: مهندس بهزاد کوهی زرگر | |
| مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد | رشته: علوم خاک |
| دانشگاه: محقق اردبیلی | |
| دانشکده: فناوری کشاورزی و منابع طبیعی | تاریخ فارغ التحصیلی: 1392/1 |
| تعداد صفحه: 125 | |
| کلید واژهها: پایداری خاکدانه، توزیع اندازه منافذ، خاک درشت بافت، عناصر ضروری، فلزات سنگین، گندم، لجن فاضلاب. | |
| چکیده: | |
| <p>خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک دارای ماده آلی ناچیز، آهک و pH بالا هستند بنابراین، قابلیت دسترسی برخی عناصر غذایی مثل فسفر و آهن در آنها پایین است. همچنین، این خاک‌ها عموماً دارای ساختمان ناپایدار هستند. استفاده از مواد زائد ارزان قیمت مثل لجن فاضلاب یکی از روش‌های اصلاح مشکلات خاک‌های مذکور می‌باشد. در تحقیق حاضر تأثیر لجن فاضلاب شهری اردبیل بر خصوصیات فیزیکی شامل جرم مخصوص ظاهری و حقیقی، میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (MWD)، توزیع اندازه منافذ (ماکرو، مزو و میکرو) و تخلخل کل، خصوصیات هیدرولیکی شامل رطوبت‌های ظرفیت مزرعه‌ای، نقطه پژمردگی دائم و قابل استفاده گیاه و هدایت هیدرولیکی اشباع، خصوصیات شیمیایی شامل pH، هدایت الکتریکی (EC)، کربن آلی، عناصر پرمصرف نیتروژن، فسفر و پتاسیم و کم‌مصرف آهن، منگنز، روی، مس و فلزات سنگین نیکل، کادمیوم، کروم و سرب در یک خاک درشت بافت منتخب از دشت اردبیل زیر کشت گندم بهاره و نیز غلظت عناصر فوق‌الذکر در گندم در شرایط گلخانه‌ای بررسی گردید.</p> <p>تیمارها شامل مقادیر ۰ (شاهد)، ۱۱/۵۳، ۲۳، ۴۶/۱۵ و ۶۹/۲۳ گرم لجن هواخشک در کیلوگرم خاک هوا خشک معادل صفر، ۳۰، ۶۰، ۱۲۰ و ۱۸۰ تن لجن در هر هکتار بودند. گلدان‌های پلاستیکی به ابعاد قطر ۲۰ و ارتفاع ۲۵ سانتی‌متر انتخاب شدند. خاک الک شده ($4/75 \text{ mm}$) به صورت هوا خشک پس از اختلاط با لجن در مقادیر فوق‌الذکر و بر اساس جرم مخصوص ظاهری مزرعه به صورت لایه به لایه در گلدان‌ها پر شد. بذر گندم بهاره در خاک هر گلدان با رطوبت ۸۰ درصد ظرفیت مزرعه (FC) کشت گردید سپس در داخل گلخانه با دمای $22 \pm 4 \text{ }^\circ\text{C}$ به مدت ۱۰۰ روز نگهداری شد. کنترل رطوبت خاک گلدان‌ها در طی دوره رشد در دامنه ۶۰ تا ۸۰ درصد FC به روش وزنی صورت گرفت. در انتهای فصل رشد، گیاهان از محل طوقه قطع گردیدند سپس نمونه‌های خاک دست خورده و دست نخورده (با استفاده از استوانه‌های فولادی به قطر و ارتفاع ۵ سانتی‌متر) از عمق ۱۰ تا ۱۵ سانتی‌متری گلدان‌ها برداشته شد. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی فوق‌الذکر در نمونه‌های خاک برداشت شده از داخل گلدان به روش‌های رایج اندازه‌گیری شد. همچنین نمونه‌های گیاهی شامل دانه، اندام هوایی و ریشه از تیمارهای آزمایشی تهیه و غلظت عناصر غذایی ضروری و فلزات سنگین در آنها به روش‌های رایج اندازه‌گیری گردید. نتایج نشان داد که کلیه مقادیر مصرفی لجن از ۳۰ تا ۱۸۰ تن در هکتار به ترتیب و به طور معنی‌دار نسبت به شاهد باعث افزایش هدایت الکتریکی به میزان ۴۳/۱۴ تا ۱۶۲ درصد، کربن آلی به میزان ۲۱/۹۴ تا ۱۷۶ درصد، نیتروژن کل به میزان ۸۱ تا ۳۱۰/۳۴ درصد، فسفر به میزان ۱۶/۷ تا ۱۲۳ درصد، پتاسیم قابل استخراج به</p> | |

میزان ۵/۳۴ تا ۱۱۷/۸ درصد، آهن به میزان ۷۷/۶۵ تا ۷۰۹/۶ درصد، منگنز به میزان ۰/۵ تا ۱/۴۷ درصد، روی به میزان ۶۲ تا ۲۲۱/۴۳ درصد و مس به میزان ۱/۹۳ تا ۶/۹۶ درصد و کاهش معنی‌دار pH به میزان ۴/۸۳ تا ۱۲/۲۳ درصد و کربنات کلسیم معادل به میزان ۲/۶۸ تا ۱۰/۳۶ درصد در خاک زیر کشت گندم گردید. استفاده از لجن در مقادیر ۳۰ تا ۱۸۰ تن در هکتار به ترتیب در مقایسه با شاهد، جرم مخصوص ظاهری را به میزان ۳/۳۴ تا ۹/۸۸ درصد، جرم مخصوص حقیقی را به میزان ۱/۳۲ تا ۴/۴۳ درصد، منافذ ماکرو را به میزان ۹/۱۲ تا ۱۴۵/۸ درصد و هدایت هیدرولیکی اشباع را به میزان ۱۲۹/۳ تا ۴۴۰/۵ درصد به طور معنی‌دار کاهش ولی میانگین وزنی قطر خاکدانه (MWD) را به میزان ۶۴/۷۸ تا ۲۳۳ درصد، تخلخل کل را به میزان ۱/۲۴ تا ۶ درصد، رطوبت ظرفیت مزرعه را به میزان ۱/۹۱ تا ۱۵/۱۴ درصد، رطوبت نقطه پژمردگی دائم را به میزان ۱/۳ تا ۱۵/۸۵ درصد، رطوبت قابل استفاده گیاه را به میزان ۲/۲۲ تا ۱۴/۹۸ درصد، منافذ میکرو را به میزان ۱/۵۶ تا ۲۴/۱۹ درصد و منافذ مزو را به میزان ۱۰/۷ تا ۲۹ درصد افزایش داد. میزان نیتروژن، فسفر و پتاسیم دانه به ترتیب ۳۶/۰۴، ۱۱۲/۳۴ و ۸۶/۶۴ درصد در تیمار ۱۸۰ تن در هکتار لجن نسبت به شاهد به طور معنی‌دار افزایش یافت. نیتروژن و فسفر اندام هوایی به ترتیب ۱۴۲/۱۹، ۲۷۲/۸۲ درصد و نیتروژن و فسفر ریشه به ترتیب ۱۱/۷۸ و ۷۹/۶۸ درصد در تیمار ۱۸۰ تن در هکتار لجن در مقایسه با شاهد به طور معنی‌دار افزایش یافت. آهن و منگنز به ترتیب به میزان ۲۷۰/۳ و ۱/۲۳ درصد در تیمار ۱۲۰ تن در هکتار لجن، روی در تیمار ۱۸۰ تن در هکتار لجن به میزان ۳۱/۲ و مس در تیمار ۶۰ تن در هکتار لجن به میزان ۱۴/۶۷ درصد و به طور معنی‌دار نسبت به شاهد در دانه گندم افزایش یافت. تأثیر مقادیر مصرفی لجن بر غلظت کادمیوم، نیکل، کروم و سرب در اجزای گیاه معنی‌دار نشد. نتایج نشان داد که استفاده از لجن فاضلاب شهری اردبیل باعث بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک درشت بافت قلیایی و نیز افزایش غلظت عناصر ضروری پرمصرف و کم مصرف در گیاه گندم گردید.

| صفحه | عنوان |
|------|--|
| | فصل اول |
| ۱ | مقدمه و مروری بر تحقیقات گذشته |
| ۲ | ۱-۱ کلیات |
| ۲ | ۱-۱-۱ گندم |
| ۳ | ۲-۱-۱ فاضلاب |
| ۳ | ۱-۲-۱-۱ عناصر مغذی موجود در لجن فاضلاب |
| ۴ | ۲-۲-۱-۱ مواد آلی موجود در لجن فاضلاب |
| ۴ | ۳-۲-۱-۱ مواد آلاینده موجود در لجن فاضلاب |
| ۴ | ۴-۲-۱-۱ تصفیه‌ی فاضلاب |
| ۵ | ۵-۲-۱-۱ اصول کلی تصفیه‌ی فاضلاب |
| ۶ | ۶-۲-۱-۱ دفع لجن فاضلاب |
| ۷ | ۷-۲-۱-۱ کاربرد لجن فاضلاب در زمین |
| ۸ | ۸-۲-۱-۱ اهمیت استفاده از لجن فاضلاب در کشاورزی |
| ۸ | ۹-۲-۱-۱ مشکلات ناشی از لجن فاضلاب در کشاورزی |
| ۱۱ | ۳-۱-۱ فلزات سنگین |
| ۱۱ | ۴-۱-۱ اثرات کاربرد لجن فاضلاب در زمین |
| ۱۱ | ۲-۱ اهمیت و ضرورت انجام طرح |
| ۱۳ | ۳-۱ مروری بر تحقیقات گذشته |
| ۱۴ | ۱-۳-۱ اثر لجن فاضلاب بر خصوصیات فیزیکی خاک |
| ۱۴ | ۱-۱-۳-۱ جرم مخصوص ظاهری |
| ۱۵ | ۲-۱-۳-۱ پایداری خاکدانه‌ها |
| ۱۵ | ۳-۱-۳-۱ هدایت هیدرولیکی اشباع |
| ۱۶ | ۴-۱-۳-۱ نفوذ آب در خاک |
| ۱۷ | ۲-۳-۱ اثر لجن فاضلاب بر خصوصیات شیمیایی خاک |
| ۱۹ | ۳-۳-۱ اثر لجن فاضلاب بر غلظت فلزات سنگین در خاک و گیاه |
| ۲۷ | ۴-۳-۱ اثر لجن فاضلاب بر رشد گیاه و تولید محصول |

۲۹ ۴-۱- اهداف

فصل دوم

۳۰ مواد و روش‌ها

۳۱ ۱-۲- تهیه خاک و اندازه‌گیری برخی خصوصیات آن

۳۱ ۲-۲- تهیه لجن فاضلاب و اندازه‌گیری برخی خصوصیات آن

۳۲ ۳-۲- آماده‌سازی خاک، اختلاط با لجن و پر کردن گلدان‌ها

۳۳ ۴-۲- کاشت گیاه و اعمال تیمارها

۳۳ ۵-۲- اندازه‌گیری عملکرد و اجزای عملکرد گوجه

۳۴ ۶-۲- اندازه‌گیری خصوصیات خاک

۳۴ ۱-۶-۲- خصوصیات فیزیکی و هیدرولیکی

۳۴ ۱-۱-۶-۲- جرم مخصوص ظاهری و حقیقی

۳۴ ۲-۱-۶-۲- تخلخل کل

۳۵ ۳-۱-۶-۲- رطوبت خاک در مکش‌های صفر، ۴۰، ۱۰۰ و ۱۵۰۰۰ سانتی‌متر

۳۶ ۴-۱-۶-۲- رطوبت‌های ظرفیت مزرعه، پژمردگی دائم و آب قابل استفاده گیاه

۳۶ ۵-۱-۶-۲- توزیع اندازه منافذ

۳۷ ۶-۱-۶-۲- میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها

۳۸ ۷-۱-۶-۲- هدایت هیدرولیکی اشباع

۳۹ ۲-۶-۲- اندازه‌گیری خصوصیات شیمیایی

۳۹ ۱-۲-۶-۲- کربن آلی

۴۰ ۲-۲-۶-۲- کربنات کلسیم معادل

۴۰ ۳-۲-۶-۲- هدایت الکتریکی (EC)

۴۱ ۴-۲-۶-۲- PH

۴۱ ۵-۲-۶-۲- نیتروژن کل

۴۳ ۶-۲-۶-۲- فسفر قابل استخراج

۴۳ ۷-۲-۶-۲- پتاسیم قابل استخراج

۴۳ ۸-۲-۶-۲- فلزات سنگین قابل استخراج

۴۴ ۷-۲- آزمایش‌های گیاه

۴۴ ۱-۷-۲- آماده‌سازی نمونه‌های گیاهی

| | |
|----|-----------------------------------|
| ۴۵ | فسفر نمونه‌های گکاه ی |
| ۴۶ | پتاسیم نمونه‌های گکاه ی |
| ۴۶ | نیتروژن نمونه‌های گکاه ی |
| ۴۷ | فلزات سنگین نمونه‌های گیاهی |
| ۴۷ | طرح آماری آزمایش |
| ۴۷ | تجزیه آماری |

فصل سوم

| | |
|----|--|
| ۴۸ | نتایج و بحث |
| ۴۹ | ۱-۳- خصوصیات خاک |
| ۵۱ | ۲-۳- خصوصیات لجن |
| ۵۲ | ۳-۳- اثر لجن فاضلاب بر خصوصیات شیمیایی خاک و غلظت عناصر غذایی پرمصرف |
| ۵۴ | ۱-۳-۳- کربن آلی |
| ۵۵ | ۲-۳-۳- کربنات کلسیم معادل |
| ۵۶ | ۳-۳-۳- هدایت الکتریکی (EC) |
| ۵۷ | ۴-۳-۳- PH |
| ۵۹ | ۵-۳-۳- عناصر پرمصرف |
| ۵۹ | ۱-۵-۳-۳- فسفر |
| ۶۱ | ۲-۵-۳-۳- نیتروژن کل |
| ۶۲ | ۳-۵-۳-۳- پتاسیم |
| ۶۳ | ۴-۳- اثر لجن فاضلاب بر غلظت برخی فلزات سنگین در خاک |
| ۶۵ | ۱-۴-۳- آهن و روی |
| ۶۷ | ۲-۴-۳- مس |
| ۶۹ | ۳-۴-۳- منگنز |
| ۷۰ | ۴-۴-۳- کادمیوم |
| ۷۱ | ۵-۴-۳- نیکل، کروم و سرب |
| ۷۱ | ۵-۳- اثر لجن فاضلاب بر خصوصیات فیزیکی و هیدرولیکی خاک |
| ۷۴ | ۱-۵-۳- خصوصیات فیزیکی |
| ۷۴ | ۱-۱-۵-۳- جرم مخصوص ظاهری |

| | | |
|-----|---|---------|
| ۷۵ | جرم مخصوص حقیقی | ۲-۱-۵-۳ |
| ۷۶ | تخلخل کل | ۳-۱-۵-۳ |
| ۷۷ | میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها | ۴-۱-۵-۳ |
| ۷۹ | توزیع اندازه منافذ | ۵-۱-۵-۳ |
| ۸۰ | خصوصیات هیدرولیکی | ۲-۵-۳ |
| ۸۰ | رطوبت ظرفیت مزرعه (FC) | ۱-۲-۵-۳ |
| ۸۱ | رطوبت نقطه پژمردگی دائم (PWP) | ۲-۲-۵-۳ |
| ۸۲ | رطوبت قابل استفاده گیاه (AWC) | ۳-۲-۵-۳ |
| ۸۳ | هدایت هیدرولیکی اشباع (K_s) | ۴-۲-۵-۳ |
| ۸۵ | اثر لجن فاضلاب بر عملکرد و شاخص‌های رشد گله گندم | ۶-۳ |
| ۸۶ | وزن خشک اندام هوایی | ۱-۶-۳ |
| ۸۷ | ارتفاع گیاه | ۲-۶-۳ |
| ۸۸ | وزن هزار دانه | ۳-۶-۳ |
| ۹۱ | شاخص سطح برگ | ۴-۶-۳ |
| ۹۲ | اثر لجن فاضلاب بر غلظت برخی عناصر غذایی پرمصرف در گله گندم | ۷-۳ |
| ۹۴ | نیتروژن | ۱-۷-۳ |
| ۹۵ | فسفر | ۲-۷-۳ |
| ۹۷ | پتاسیم | ۳-۷-۳ |
| ۹۸ | اثر لجن فاضلاب بر غلظت فلزات سنگین مورد مطالعه در گیاه گندم | ۸-۳ |
| ۱۰۱ | آهن | ۱-۸-۳ |
| ۱۰۴ | روی | ۲-۸-۳ |
| ۱۰۷ | مس | ۳-۸-۳ |
| ۱۰۹ | منگنز | ۴-۸-۳ |
| ۱۱۱ | کادمیوم | ۵-۸-۳ |
| ۱۱۲ | نیکل، کروم و سرب | ۶-۸-۳ |
| ۱۱۲ | نتیجه‌گیری | ۹-۳ |
| ۱۱۳ | پیشنهادات | ۱۰-۳ |
| ۱۱۳ | منابع | |

فهرست اشکال

عنوان صفحه

| | |
|---------|---|
|۳۱ | شکل ۱-۲- تهیه‌ی نمونه دست نخورده به‌وسیله‌ی آگر |
|۳۲ | شکل ۲-۲- نمایی از تصفیه‌خانه فاضلاب اردبیل (الف)، لجن فاضلاب رها شده در محوطه تصفیه‌خانه (ب)، هواخشک کردن نمونه لجن برداشت شده از تصفیه‌خانه (ج) و آسیاب کردن آن (د). |
|۳۵ | شکل ۳-۲- اشباع کردن نمونه دست نخورده خاک |
|۳۵ | شکل ۴-۲- نمایی از ستون آب آویزان |
|۳۶ | شکل ۵-۲- نمایی از دستگاه صفحات فشاری (پرشر پلیت) |
|۳۸ | شکل ۶-۲- نمایی از دستگاه الک تر برای اندازه‌گیری و تعیین پایداری خاکدانه‌ها |
|۳۹ | شکل ۷-۲- دستگاه بار افتان برای اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی اشباع خاک |
|۴۱ | شکل ۸-۲- دستگاه اندازه‌گیری هدایت الکتریکی (EC سنچ) |
|۴۱ | شکل ۹-۲- دستگاه PH متر |
|۴۲ | شکل ۱۰-۲- نمایی از دستگاه تقطیر کجدال |
|۴۴ | شکل ۱۱-۲- دستگاه جذب اتمی شرکت آب و فاضلاب اردبیل |
|۴۵ | شکل ۱۲-۲- مراحل تهیه عصاره از نمونه‌های گیاهی |
|۴۶ | شکل ۱۳-۲- نمایی از دستگاه اسپکتروفتومتر و اندازه‌گیری فسفر |
|۵۵ | شکل ۱-۳- اثر لجن فاضلاب بر کربن آلی خاک |
|۵۶ | شکل ۲-۳- اثر لجن فاضلاب بر کربنات کلسیم معادل خاک |
|۵۷ | شکل ۳-۳- اثر لجن فاضلاب بر هدایت الکتریکی (EC) خاک |
|۵۹ | شکل ۴-۳- اثر لجن فاضلاب بر PH خاک |
|۶۱ | شکل ۵-۳- اثر لجن فاضلاب بر فسفر قابل استخراج خاک |
|۶۲ | شکل ۶-۳- اثر لجن فاضلاب بر غلظت نیترژن کل خاک |
|۶۳ | شکل ۷-۳- اثر لجن فاضلاب بر غلظت پتاسیم قابل استخراج خاک |
|۶۷ | شکل ۸-۳- اثر لجن فاضلاب بر غلظت آهن و روی قابل استخراج خاک |
|۶۸ | شکل ۹-۳- اثر لجن فاضلاب بر غلظت مس قابل استخراج خاک |
|۷۰ | شکل ۱۰-۳- اثر لجن فاضلاب بر غلظت منگنز قابل استخراج خاک |
|۷۵ | شکل ۱۱-۳- اثر لجن فاضلاب بر جرم مخصوص ظاهری خاک |
|۷۶ | شکل ۱۲-۳- اثر لجن فاضلاب بر جرم مخصوص حقیقی خاک |

شکل ۳-۱۳- اثر لجن فاضلاب تخلخل کل خاک

.....۷۷.....

شکل ۳-۱۴- اثر لجن فاضلاب بر میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (MWD)

.....۷۸.....

شکل ۳-۱۵- اثر لجن فاضلاب بر توزیع اندازه منافذ خاک

.....۸۱.....

شکل ۳-۱۶- اثر لجن فاضلاب بر رطوبت ظرفیت مزرعه (FC)

.....۸۱.....

شکل ۳-۱۷- اثر لجن فاضلاب بر رطوبت نقطه پژمردگی دائم (PWP)

.....۸۲.....

شکل ۳-۱۸- اثر لجن فاضلاب بر رطوبت قابل استفاده گیاه (AWC)

.....۸۳.....

شکل ۳-۱۹- اثر لجن فاضلاب بر هدایت هیدرولیکی اشباع خاک (K_s)

.....۸۵.....

شکل ۳-۲۰- اثر لجن فاضلاب بر وزن خشک اندام هوایی گندم

.....۸۷.....

شکل ۳-۲۱- اثر لجن فاضلاب بر ارتفاع گندم

.....۸۸.....

شکل ۳-۲۲- وضعیت مرفولوژیک سنبله در تیمارهای شاهد (C) و تیمار ۱۸۰ تن در هکتار لجن فاضلاب (T_4) ۹۰

۹۰

شکل ۳-۲۳- اثر لجن فاضلاب بر وزن هزار دانه گندم

.....۹۱.....

شکل ۳-۲۴- اثر لجن فاضلاب بر شاخص سطح برگ

.....۹۲.....

شکل ۳-۲۵- اثر لجن فاضلاب بر غلظت نیتروژن اندام هوایی، دانه و ریشه گندم

.....۹۵.....

شکل ۳-۲۶- اثر لجن فاضلاب بر غلظت فسفر اندام هوایی، دانه و ریشه گندم

.....۹۷.....

شکل ۳-۲۷- اثر لجن فاضلاب بر غلظت پتاسیم دانه گندم

.....۹۸.....

شکل ۳-۲۸- اثر لجن فاضلاب بر غلظت آهن اندام هوایی، دانه و ریشه گندم

.....۱۰۳.....

شکل ۳-۲۹- اثر لجن فاضلاب بر غلظت روی اندام هوایی، دانه و ریشه گندم

.....۱۰۷.....

شکل ۳-۳۰- اثر لجن فاضلاب بر غلظت مس اندام هوایی، دانه و ریشه گندم

.....۱۰۹.....

شکل ۳-۳۱- اثر لجن فاضلاب بر غلظت منگنز اندام هوایی، دانه و ریشه گندم

.....۱۱۱.....

عنوان صفحه

| | |
|--------------|---|
|۹..... | جدول ۱-۱- حداکثر غلظت مجاز فلزات سنگین در لجن فاضلاب (EPA, 1994) |
|۴۹..... | جدول ۱-۳- خصوصیات شیمیایی خاک مورد مطالعه |
|۵۰..... | جدول ۲-۳- خصوصیات فیزیکی خاک مورد مطالعه |
|۵۱..... | جدول ۳-۳- برخی خصوصیات شیمیایی لجن فاضلاب مورد استفاده و مقایسه غلظت (mg kg^{-1}) برخی فلزات سنگین آن با استانداردهای EPA (1994) |
|۵۳..... | جدول ۴-۳- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) خصوصیات شیمیایی خاک |
|۶۴..... | جدول ۵-۳- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) غلظت قابل استخراج برخی فلزات سنگین در خاک |
|۷۳..... | جدول ۶-۳- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) خصوصیات فیزیکی و هیدرولیکی خاک |
|۸۵..... | جدول ۷-۳- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر لجن فاضلاب بر عملکرد و برخی شاخص‌های رشد گیاه گندم ۸۵ |
|۹۳..... | جدول ۸-۳- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر لجن فاضلاب بر غلظت برخی عناصر غذایی پرمصرف در گیاه گندم |
|۹۹..... | جدول ۹-۳- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر لجن فاضلاب بر غلظت فلزات سنگین در گیاه گندم |

فصل اول

مقدمه و مروری بر تحقیقات گذشته

۱-۱- کلیات

۱-۱-۱- گندم

گندم گیاهی است یک ساله از گروه تک لپه‌ای‌ها، از تیره غلات^۱، جنس تریتیکوم^۲ و دارای گونه های بسیار زیادی می‌باشد که مهم‌ترین گونه زراعی آن تریتیکوم آستیووم^۳ یا تریتیکوم وولگار^۴ است که به گندم نانویی نیز موسوم است. از لحاظ کل سطح کشت و کل تولید، بیشتر از میزان سطح کشت و تولید تمامی غلات دیگر می‌باشد (ایران نژاد و شهبازیان، ۱۳۸۳). اهمیت غذایی گندم نه فقط در تغذیه انسان بلکه در امکان استفاده از آن در دامپروری و صنعت نیز می‌باشد. همچنین گندم از نظر داشتن پروتئین، کربوهیدرات، چربی، مواد معدنی و ویتامین‌ها نسبت به سایر اقلام خوراکی دارای ارزش غذایی بیشتری است (حیدری و چراغی، ۱۳۸۳). دانه گندم یکی از مهم‌ترین منابع تأمین کننده غذای حدود یک سوم جمعیت کره زمین می‌باشد چرا که به آسانی قابل انبار و ذخیره کردن بوده و ارزش غذایی بالایی دارد. گندم یکی از محصولات استراتژیک کشاورزی بوده و به لحاظ اقتصادی، سیاسی و امنیت غذایی در دنیا از اهمیت خاصی برخوردار است. این محصول در سبد غذایی ایرانیان جایگاه خاصی دارد. بنابراین در صورتی که بخواهیم محصولات کشاورزی را از نظر درجه اهمیت در بحث امنیت غذایی طبقه بندی نماییم مهم‌ترین و اولین جایگاه باید به محصول گندم اختصاص داده شود. از نظر میزان تولید سالیانه مهم‌ترین محصول غذایی در جهان است و تجارت آن جزء مهمی از توازن تجاری در اقتصاد ملی است. افزایش تولید گندم، بیش از هر محصول دیگری در تأمین غذا برای جمعیت در حال رشد جهان مؤثر است. بیشترین مقدار افزایش تولید گندم از طریق افزایش محصول در واحد سطح و نه از طریق افزایش سطح زیر کشت می‌باشد. با توجه به این که تقاضای جهانی برای گندم و سایر غلات پیوسته در حال

1- Gramineae

2- *Triticum*

3- *Triticum aestivum*

4- *Triticum vulgare*

افزایش است، بنابراین، تداوم افزایش تولید گندم به منظور تأمین غذا اهمیت زیادی دارد (محمد دوست چمن آباد و همکاران، ۱۳۸۹).

برآورد شده است که از کل دانه گندم که مصرف می‌شود، حدود ۶۵ درصد مستقیماً به عنوان غذای انسان، ۲۱ درصد در تغذیه دام، ۸ درصد به عنوان بذر و ۶ درصد برای سایر موارد از جمله مواد خام صنعتی استفاده می‌شود (محمد دوست چمن آباد و همکاران، ۱۳۸۹). علاوه بر این، بخش اعظم ساقه و برگ‌ها یا به شکل کاه و یا به مقدار کمتر به شکل علوفه تازه در تغذیه دام استفاده می‌شود. مهم‌ترین اهمیت غذایی گندم، انرژی‌زا بودن آن است و به نظر می‌رسد که مصرف مستقیم فرآورده‌های گندم ۲۰ درصد کل انرژی لازم برای انسان‌ها در سرتاسر جهان را تشکیل می‌دهد (داکز و همکاران، ۱۹۹۵). این برآورد تنها یک برآورد ساده از کل سهم گندم است. چرا که انرژی گندم مصرف شده توسط دام نیز به طور غیر مستقیم مورد استفاده انسان قرار می‌گیرد. علاوه بر انرژی، گندم در مقایسه با سایر مواد غذایی، منبع مهمی از نظر پروتئین است و بیش از ۲۵ درصد از پروتئین مصرفی در رژیم غذایی انسان را تشکیل می‌دهد (محمد دوست چمن آباد و همکاران، ۱۳۸۹).

۱-۱-۲- فاضلاب

فاضلاب محلول رقیقی است که ۹۹/۹ درصد آن را آب و فقط ۰/۱ درصد آن را مواد جامد تشکیل می‌دهد. از ۰/۱ درصد مواد جامد، ۳۰ درصد آن مواد معدنی و ۷۰ درصد آن مواد آلی است. مهم‌ترین مواد آلی و معدنی موجود در فاضلاب، به ترتیب چربی، کربوهیدرات، پروتئین و ترکیبات فلزی و املاح است. به جز موارد یاد شده، فاضلاب حاوی تعداد زیادی عوامل میکروبیولوژیکی می‌باشد که بعضاً بیماری‌زا هم هستند (حسینیان و شریفی سیستانی، ۱۳۷۰).

۱-۱-۲-۱- عناصر مغذی موجود در لجن فاضلاب

لجن فاضلاب غنی از عناصر مغذی می‌باشد (کوروبولوسکای و همکاران، ۲۰۰۲) که می‌تواند به عنوان جایگزینی برای کودهای کامل گران‌قیمت کاربرد داشته باشد (EPA¹، ۲۰۰۰). مواد مغذی موجود در لجن فاضلاب چندین مزیت نسبت به کودهای غیر آلی دارد. لجن ماده‌ای آلی است که باعث آزادسازی

1 -Environmental Protection Agency

کندتر مواد مغذی برای گیاه می‌شود. این فرم از مواد مغذی حلالیت کمتری در آب دارند و به همین دلیل کمتر در معرض آب‌شویی و ورود به آب‌های زیرزمینی قرار می‌گیرند (EPA، ۲۰۰۰).

۱-۱-۲-۲- مواد آلی موجود در لجن فاضلاب

وجود بیش از ۵۰ درصد مواد آلی در لجن فاضلاب باعث می‌شود که گزینه کاربرد آن در زمین موضوع قابل توجهی در حاصلخیزی خاک‌ها باشد (ویکن و هاملرز، ۱۹۹۹). اجزای آلی موجود در لجن فاضلاب دارای گونه‌های مختلف و مهمی از نظر زیست‌محیطی می‌باشد که از آن جمله می‌توان به PCBها، PAHها، فنل‌ها و اسیدهای آلی اشاره کرد. این مواد بر مقدار، نوع و شکل‌های قابل دسترس عناصر سمی و در نتیجه بر حرکت و انتقال آن‌ها در خاک تأثیر دارند (کاباتاپندیاس و طباطبایی، ۱۹۹۷).

۱-۱-۲-۳- مواد آلاینده موجود در لجن فاضلاب

عمده‌ترین مشکل موجود در لجن فاضلاب، وجود فلزات سنگین می‌باشد. قابل ذکر است که اصلی‌ترین مشکل کاربرد لجن در زمین از این نوع آلاینده ناشی می‌شود که لزوم اصلاح و پالایش لجن را نشان می‌دهد. نگرانی درباره آلودگی فلزات سنگین، به دلیل سه ویژگی این نوع آلاینده‌ها می‌باشد که عبارتند از:

۱- عدم قابلیت تجزیه زیستی

۲- سمیت بالا

۳- پایداری زیاد (قویدل، ۱۳۸۵).

۱-۱-۲-۴- تصفیه فاضلاب

هدف از تصفیه فاضلاب شهری، جداسازی ناخالصی‌های آن مخصوصاً مواد آلی از نوع آلاینده و سمی، آلوده کننده و همچنین حذف یا از بین بردن موجودات میکروبیولوژیکی بیماری‌زا است به نحوی که فاضلاب تصفیه شده در تخلیه به محیط زیست ایجاد آلودگی ننماید و بتوان بدون احتمال آلوده

1- Polychlorinated Biphenyl
2- Polycyclic Aromatic Hydrocarbon

ساختن انسان در مصارفی همچون کشاورزی، پرورش ماهی، به‌عنوان آب مورد نیاز صنایع و سایر موارد به‌کار برده شود. یکی از مهم‌ترین اهداف جمع‌آوری و تصفیه فاضلاب شهری، تصفیه لجن‌های حاصل از تصفیه فاضلاب به‌نحوی است که بتوان لجن تصفیه شده را به‌عنوان بارورکننده‌ی زمین‌های کشاورزی به‌کار برد. برای رسیدن به اهداف مورد نظر، در تصفیه فاضلاب از فرایندهای زیر استفاده می‌گردد:

۱- آشغال‌گیری

۲- دانه‌گیری

۳- ته‌نشینی قسمتی از مواد معلق

۴- اکسیداسیون مواد آلی

۵- ته‌نشینی توده‌های بیولوژیکی

۶- جمع‌آوری و تصفیه لجن‌های زاید

۷- ضد عفونی کردن فاضلاب تصفیه شده

۱-۱-۲-۵- اصول کلی تصفیه‌ی فاضلاب

• **تصفیه‌ی مکانیکی یا فیزیکی:** شامل صاف کردن فاضلاب، آشغال‌گیری، صاف کردن با کمک

ماسه، ته‌نشین کردن مواد معلق، شناورسازی مواد معلق

• **تصفیه‌ی زیستی یا تصفیه‌ی بیولوژیکی:** شامل تصفیه‌ی زیستی با کمک باکتری‌های هوازی و

بی‌هوازی

از مهم‌ترین روش‌های تصفیه‌ی بیولوژیکی فاضلاب می‌توان به موارد زیر اشاره نمود (حسینیان و شریفی

سیستانی، ۱۳۷۰):

- تصفیه به‌وسیله بستر باکتری

- تصفیه به‌وسیله لجن فعال

- تصفیه به‌وسیله لاگون یا برکه‌های تثبیت

- تصفیه به‌وسیله کانال‌های اکسیداسیون

- تصفیه به‌وسیله سپتیک تانک^۱

1- Septic tank

- تصفیه به وسیله ایمهاف تانک^۱

در تصفیه فاضلاب به وسیله لاگون همانند تمام روش های تصفیه بیولوژیکی فاضلاب، اکسیژن و فعالیت عوامل بیولوژیکی نقش مهمی به عهده دارند. لاگون های تصفیه در چهار گروه زیر قرار دارند:

- لاگون بی هوازی

- لاگون هوازی

- لاگون اختیاری

- لاگون هوادهی

با توجه به اینکه سیستم تصفیه در تصفیه خانه فاضلاب اردبیل از نوع لاگون های هوادهی می باشد لذا به شرح مختصری در مورد لاگون هوادهی می پردازیم.

• **لاگون هوادهی:** لاگون هوادهی را هم به صورت هوازی و هم به صورت اختیاری مورد استفاده قرار می دهند. در لاگون هوادهی هوازی، تمام مواد جامد به حالت معلق نگه داشته شده و اکسیژن محلول در تمام محتویات لاگون پخش و پراکنده است. در لاگون هوادهی اختیاری، انتخاب هواده طوری است که قسمتی از مواد معلق در کف لاگون ته نشین و از طریق فعل و انفعالات بی هوازی تجزیه می شوند. با توجه به معلق نگه داشته شدن مواد جامد در این لاگون ها باید انتظار داشت غلظت مواد معلق در فاضلاب خروجی از لاگون نسبتاً زیاد باشد، از این رو بعد از لاگون هوادهی باید از لاگون ته نشینی یا زلال سازی استفاده نمود (حسینیان و شریفی سیستانی، ۱۳۷۰).

• **تصفیه ی شیمیایی:** اساس کار در تصفیه ی شیمیایی، بر کاربرد مواد شیمیایی (مانند کلروفریک و انواع مختلف پلیمرها) در تصفیه قرار دارد. همچنین از مواد شیمیایی مانند کلر برای گندزدایی و کشتن میکروب های موجود در فاضلاب و نیز برای کاهش بو در تصفیه خانه ی فاضلاب استفاده می شود (حسینیان و شریفی سیستانی، ۱۳۷۰).

۱-۱-۲-۶- دفع لجن فاضلاب

پس از تصفیه فاضلاب برای دفع نهایی لجن های فاضلاب روشهای متعددی وجود دارد. این روشها عبارتند از: خشک کردن، خاکسترسازی، تخلیه در زمین با رعایت معیارهای بهداشتی و تخلیه در خاکها

1- Imhoff tank