دانشکده آب و خاک

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد در رشته
شیمی و حاصلخیزی خاک

زیست فراهمی مس و روی در یک خاک آهکی تیمار شده با لجن فاضلاب صنعتی

پژوهش و نگارش:
سلیمه باغبانی

اساتید راهنما:
دکتر مجتبی بارانی مطلق
دکتر اسماعیل دردی‌پور

تابستان ۱۳۹۲

تعهدنامه پژوهشی

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان نامه‌های تحصیلی دانشجویان دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان مبین بخشی از فعالیت‌های علمی- پژوهشی بوده و همچنین با استفاده از اعتبارات دانشگاه انجام می‌شود؛ بنابراین به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه دانش آموختگان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می‌شوند:

۱- قبل از چاپ پایان نامه خود، مراتب را قبلا به طور کتبی به مدیریت تحصیلات تکمیلی دانشگاه اطلاع داده و کسب اجازه نمایند.
۲- قبل از چاپ پایان نامه در قالب مقاله، همایش، اختراع و اکتشاف و سایر موارد، ذکر نام دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان الزامی است.
۳- انتشار نتایج پایان نامه باید با اطلاع و کسب اجازه از استاد راهنما صورت گیرد.

اینجانب **سلیمه باغبانی** دانشجوی رشته **شیمی و حاصلخیزی خاک** مقطع **کارشناسی‌ارشد** تعهدات فوق و ضمانت اجرایی آن را قبول کرده و به آن ملتزم می‌شوم.

نام و نام خانوادگی و امضاء

تقدیم به

بوسه بر دستان پر مهر پدر و مادر عزیزم

و

تقدیم به برادر و خواهرم و دوست خوبم سمیه سفیدگر

چکیده

نگرانی اصلی در کاربرد لجن فاضلاب به زمین کشاورزی و گیاهان، خطر بالقوه فلزات سنگین می‌باشد. این تحقیق با هدف ارزیابی زیست فراهمی روی و مس در یک خاک آهکی تیمار شده با لجن فاضلاب با استفاده از روش عصاره‌گیری دنباله‌ای و روی و مس قابل عصاره‌گیر با DTPA با روش لیندزی و نورول (۱۹۷۸) می‌باشد. آزمایش بصورت گلخانه‌ای با شش سطح لجن (۰، ۲۲/۵، ٤٥، ۹۰، ۱۸۰، ۳٦۰ تن در هکتار) بر پایه طرح کاملا تصادفی با ٤ تکرار به مدت ۹۰ روز بر روی گندم و اسفناج اجرا گردید. به طورکلی با کاربرد لجن فاضلاب عملکرد ریشه و اندام هوایی اسفناج و گندم نسبت به شاهد افزایش یافت و غلظت روی در گندم و اسفناج بیشتر از محدوده مجاز ولی غلظت مس کمتر از محدوده مجاز بود. کاربرد لجن فاضلاب موجب افزایش معنی‌دار همه شکل‌های روی و مس و بنابراین موجب افزایش زیست فراهمی آنها گردید. فراوانی شکل‌های مس در خاک کشت شده با گندم، در خاک شاهد بصورت، مس تبادلی < مس کربناتی < پیوند یافته با ماده آلی < اکسیدهای آهن و منگنز < باقی‌مانده بود. در تیمارهای ۲۲/۵، ٤٥، ۹۰ تن در هکتار باوجود اعمال تیمارها ترتیب اجزا تغییر نکرد و تنها مقادیر عصاره‌گیری شده افزایش یافت. ولی در تیمارهای ۱۸۰ و ۳٦۰ تن در هکتار مس پیوند یافته با ماده آلی نسبت به اکسیدهای آهن و منگنز به میزان بیشتری قابل استخراج بود. در خاک شاهد تحت کشت اسفناج، اجزاء مختلف مس بصورت مس تبادلی < پیوند یافته با ماده آلی < مس کربناتی < اکسیدهای آهن و منگنز < باقی‌مانده می‌باشد. در مقابل با اعمال تیمارهای ۲۲/۵، ٤٥، ۹۰ تن در هکتار، ترتیب اجزاء بصورت مس تبادلی < مس کربناتی < پیوند یافته با ماده آلی < اکسیدهای آهن و منگـنز < باقی مانده تغییر پیدا کرد. همچنین در تیمارهای ۱۸۰ و ۳٦۰ تن در هکتار نسبت به تیمار شاهد ترتیب اجزاء مس پیوند یافته با ماده آلی، اکسیدهای آهن و منگنز و مس کربناتی تغییر کرده و مس پیوند یافته با ماده آلی نسبت به اکسیدهای آهن و منگنز و مس کربناتی بیشتر قابل استخراج بود. ترتیب شکل‌های روی در خاک شاهد تحت کشت گندم و اسفناج به صورت روی تبادلی < روی کربناتی < پیوند یافته با ماده آلی < اکسیدهای آهن و منگنز < باقی‌مانده می‌باشد. در مقابل با اعمال تیمارها ترتیب اجزا عمدتا روندی مشابه با تیمار شاهد داشت اما میزان روی کربناتی نسبت به روی پیوند یافته با ماده آلی افزایش نشان داد. نتایج همچنین نشان داد مقدار روی و مس قابل عصاره‌گیری با DTPA با کاربرد لجن فاضلاب افزایش یافت.

واژه‌های کلیدی: لجن فاضلاب، شکل‌های شیمیایی، روی و مس، اسفناج و گندم

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: مقدمه

۱-۱- مقدمه ۲

۱-۲- اهداف ٤

فصل دوم: کلیات و مروری بر منابع

۲-۱- خصوصیات لجن فاضلاب ٦

۲-۲- ارزش کودی لجن فاضلاب ٦

۲-۳- اثر لجن فاضلاب بر خصوصیات خاک ۷

۲-۳-۱- اثر لجن فاضلاب بر خصوصیات شیمیایی خاک ۸

۲-۳-۲- اثر لجن فاضلاب بر غلظت عناصر پر مصرف در خاک ۹

۲-۳-۳- اثر لجن فاضلاب بر غلظت عناصر کم مصرف در خاک ۱۰

۲-٤- اثر لجن بر غلظت عناصر سنگین در خاک ۱۰

۲-٤-۱- اثر لجن بر غلظت مس در خاک ۱۱

۲-٤-۲- اثر لجن فاضلاب بر غلظت روی در خاک ۱۵

۲-۵- اثر لجن فاضلاب بر گیاه ۱۸

٤-٦- عصاره‌گیری دنباله‌ای ۱۹

فصل سوم: مواد و روش‌ها

۳-۱- لجن فاضلاب ۲٤

۳-۲- تجزیه‌های شیمیایی لجن ۲٤

۳-۲-۱- pH و قابلیت هدایت الکتریکی ۲٤

۳-۲-۲- ازت، روی و مس کل ۲٤

۳-۲-۲-۱- ازت ۲٤

۳-۲-۲-۲- اندازه‌گیری روی و مس کل ۲۵

۳-۲-۳- کربن آلی لجن ۲۵

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

۳-۳- خاک مورد استفاده ۲۵
۳-۳-۱- اندازه‌گیری بافت خاک ۲۵
۳-۳-۲- pH و هدایت الکتریکی و کربن آلی ۲۶
۳-۳-۳- اندازه‌گیری کربنات کلسیم معادل ۲۶
۳-۳-٤- اندازه‌گیری ظرفیت تبادل کاتیونی ۲۶
۳-٤- طرح آماری آزمایش ۲۷
۳-۵- عملیات کاشت و نحوه آبیاری ۲۷
۳-٦- برداشت گیاه و نمونه برداری از خاک تیمار شده ۲۸
۳-۷- تعیین شکل‌های مختلف روی ومس با روش تسیر و همکاران (۱۹۷۹) ۲۹
۳-۸- اندازه‌گیری مقدار مس و روی قابل استخراج با DTPA ۳۰
فصل چهارم: نتایج و بحث
٤-۱- ویژگی‌های خاک مورد استفاده ۳۲
٤-۲- ویژگی‌های لجن مورد استفاده ۳۲
٤-۳- اثر لجن بر برخی ویژگی‌های خاک ۳۳
٤-۳-۱- تاثیر لجن فاضلاب بر کربن آلی خاک ۳۳
٤-۳-۲- تاثیر لجن فاضلاب بر pH خاک ۳٤
٤-۳-۳- تاثیر لجن فاضلاب بر قابلیت هدایت الکتریکی خاک ۳۵
٤-٤- اثر لجن فاضلاب بر عملکرد اندام هوایی و ریشه گندم ۳۷
٤-٤-۱- تاثیر لجن فاضلاب بر عملکرد اندام هوایی گندم ۳۷
٤-٤-۲- تاثیر لجن فاضلاب بر عملکرد ریشه گندم ۳۸
٤-۵- تاثیر لجن فاضلاب بر غلظت روی و مس در گیاه ۳۹
٤-٦- اثر لجن فاضلاب بر مس قابل استخراج با DTPA در خاک تحت کشت گندم ٤۲
٤-۷- اثر لجن فاضلاب بر روی قابل استخراج با DTPA در خاک تحت کشت گندم ٤۳

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

٤-٨- اثر لجن فاضلاب بر شکل‌های مختلف مس در خاک تحت کشت گندم ٤٤
٤-٩- اثر لجن فاضلاب بر شکل‌های مختلف مس در خاک تحت کشت گندم ٤٧
٤-١٠- تاثیر لجن فاضلاب بر عملکرد اندام هوایی اسفناج ٤٨
٤-١١- تاثیر لجن فاضلاب بر ریشه اسفناج ٥٠
٤-١٢- تاثیر لجن فاضلاب بر غلظت روی و مس اندام هوایی اسفناج ٥٠
٤-١٣- تاثیر لجن فاضلاب بر غلظت روی و مس اندام هوایی اسفناج ٥٢
٤-١٤- اثر لجن فاضلاب بر مس قابل استخراج با DTPA در خاک تحت کشت اسفناج ٥٣
٤-١٥- اثر لجن فاضلاب بر روی قابل استخراج با DTPA در خاک تحت کشت اسفناج ٥٤
٤-١٦- اثر لجن فاضلاب بر شکل‌های مختلف مس در خاک تحت کشت اسفناج ٥٤
٤-١٧- اثر لجن فاضلاب بر شکل‌های مختلف روی در خاک تحت کشت اسفناج ٥٦
٤-١٨- نتیجه گیری ٥٨
٤-١٩- پیشنهادات ٥٩
منابع ٦٢

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

جدول ٤-١- برخی از ویژگی‌های فیزیکی- شیمیایی خاک مورد استفاده ٣٢
جدول ٤-٢- مقادیر روی، مس و برخی از ویژگی‌های لجن فاضلاب مورد استفاده.....٣٣
جدول ٤-٣- مقایسه میانگین‌های اثر کاربرد سطوح مختلف لجن فاضلاب بر کربن آلی خاک، pH و قابلیت هدایت الکتریکی.....٣٦
جدول ٤-٤- تجزیه واریانس اثر کاربرد لجن فاضلاب بر شکل‌های مختلف مس در خاک تحت کشت گندم ٤٦
جدول ٤-٥- مقایسه میانگین‌های اثر کاربرد تیمارهای مختلف لجن فاضلاب بر شکل‌های مختلف مس در خاک تحت کشت گندم (میلی‌گرم بر کیلوگرم) به روش تسیر و همکاران (١٩٧٩) (P<٠/٠٥).....٤٦
جدول ٤-٦- تجزیه واریانس اثر کاربرد لجن فاضلاب بر شکل‌های مختلف روی در خاک تحت کشت گندم ٤٨
جدول ٤-٧- مقایسه میانگین‌های اثر کاربرد تیمارهای مختلف لجن فاضلاب بر شکل‌های مختلف روی در خاک تحت کشت گندم (میلی‌گرم بر کیلوگرم) به روش تسیر و همکاران (١٩٧٩) (P<٠/٠٥) ٤٨
جدول ٤-٨- تجزیه واریانس اثر کاربرد لجن فاضلاب بر شکل‌های مختلف مس در خاک تحت کشت اسفناج ٥٥
جدول ٤-٩- مقایسه میانگین‌های اثر کاربرد تیمارهای مختلف لجن فاضلاب بر شکل‌های مختلف مس تحت کشت اسفناج (میلی‌گرم بر کیلوگرم) به روش تسیر و همکاران (P<٠/٠٥).....٥٦
جدول ٤-١٠- تجزیه واریانس اثر کاربرد لجن فاضلاب بر شکل‌های مختلف روی در خاک تحت کشت اسفناج ٥٧
جدول ٤-١١- مقایسه میانگین‌های اثر کاربرد تیمارهای مختلف لجن فاضلاب بر شکل‌های مختلف روی تحت کشت اسفناج (میلی‌گرم بر کیلوگرم) به روش تسیر و همکاران (P<٠/٠٥).....٥٧

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ۲-۱- گونه‌های یونی ترکیبات، پیوندهای مسی واقع در خاک‌ها..... ۱۳
شکل ۲-۲- تاثیر لجن فاضلاب بر توزیع روی..... ۱۷
شکل ۳-۱- گیاهان در مراحل خوشه رفتن ۲۸
شکل ۳-۲- گیاهان در زمان برداشت ۲۹
شکل ٤-۱- اثر سطوح مختلف لجن فاضلاب بر کربن آلی خاک ۳٤
شکل ٤-۲- اثر سطوح مختلف لجن فاضلاب بر pH خاک ۳۵
شکل ٤-۳- اثر سطوح مختلف لجن فاضلاب برقابلیت هدایت الکتریکی خاک..... ۳٦
شکل ٤-٤- اثر سطوح مختلف لجن فاضلاب بر وزن خشک اندام هوایی گندم..... ۳۸
شکل ٤-۵- اثر سطوح مختلف لجن فاضلاب بر وزن خشک ریشه گندم..... ۳۹
شکل ٤-٦- اثر سطوح مختلف لجن فاضلاب بر غلظت الف- مس و ب- روی اندام هوایی گیاه گندم..... ٤۱
شکل ٤-۷- اثر سطوح مختلف لجن فاضلاب بر غلظت الف- روی و ب- مس در ریشه گندم ٤۲
شکل ٤-۸- اثر سطوح مختلف لجن فاضلاب بر مس قابل استخراج با DTPA در خاک تحت کشت گندم ٤۳
شکل ٤-۹- اثر سطوح مختلف لجن فاضلاب بر روی قابل استخراج با DTPA در خاک تحت کشت گندم ٤٤
شکل ٤-۱۰- اثر سطوح مختلف لجن فاضلاب بر وزن خشک اندام هوایی اسفناج..... ٤۹
شکل ٤-۱۱- اثر سطوح مختلف لجن فاضلاب بر وزن خشک ریشه اسفناج..... ۵۰
شکل ٤-۱۲- اثر سطوح مختلف لجن فاضلاب بر غلظت الف- مس ب- روی اندام هوایی اسفناج ۵۲
شکل ٤-۱۳- اثر سطوح مختلف لجن فاضلاب بر غلظت الف- مس ب- روی ریشه اسفناج ۵۳
شکل ٤-۱٤- اثر سطوح مختلف لجن فاضلاب بر مس قابل استخراج با DTPA در خاک تحت کشت اسفناج ۵۳
شکل ٤-۱۵- اثر سطوح مختلف لجن فاضلاب بر روی قابل استخراج با DTPA در خاک تحت کشت اسفناج ۵٤

فصل اول

مقدمه

۱-۱- مقدمه

لجن فاضلاب، مواد جامد زائدی است که از طریق جداسازی رسوب از آب فاضلاب و مواد آلی بدست می‌آید (پالائو سالوادور، ۲۰۰۸). به‌طور معمول در هر ۱۰۰ الی ۱۵۰ لیتر از فاضلاب ۱ تا ۲ لیتر لجن فشرده موجود است (میرحسینی و همکاران، ۱۳۸۷). به‌طور متوسط ۳۰ میلیون تن لجن فاضلاب سالانه در جهان تولید می‌شود که حدود ۲۱ میلیون تن آن به‌عنوان کود به زمین‌های کشاورزی اضافه می‌گردد. این مواد حاوی سطوح بالایی از عناصر غذایی مورد نیاز گیاه مثل نیتروژن و فسفر بوده و همچنین غنی از مواد آلی می‌باشد (سینگ و اگراوال، ۲۰۰۸؛ چنک و همکاران، ۲۰۰۷). استفاده از لجن به‌عنوان کود می‌تواند برای محیط زیست مفید باشد (جوبلیانا، ۲۰۰۸). مدیریت مناسب کاربرد لجن فاضلاب در کشاورزی از اهم مواردی است که بایستی به آن توجه ویژه‌ای مبذول نمود. چون علاوه برخواص بسیار مفید این نهاده به عنوان کود آلی قوی، اصلاح‌کننده خصوصیات خاک نیز می‌باشد (بهره‌مند و همکاران، ۱۳۸۱). حضور عناصر بالقوه سمی، مثل فلزات سنگین، ترکیبات آلی یا هر اسیدچرب با وزن مولکولی پایین (ولان و همکاران، ۱۹۷۸؛ رو و همکاران، ۱۹۹۷؛ ونگ و همکاران، ۲۰۰۱) کاربرد کشاورزی لجن فاضلاب را به‌علت جلوگیری از جوانه‌زنی دانه و آلودگی زنجیره غذایی محدود می‌کند (چنگ و همکاران، ۱۹۹۲). بعضی از فلزات سنگین مثل روی و مس در لجن فاضلاب خطرات زیست محیطی جدی به اکوسیستم کشاورزی و متعاقبا به سلامتی انسان از طریق ورود به زنجیره غذایی وارد می‌کند (وی و لیو، ۲۰۰۵؛ ولتر و همکاران ۲۰۰۶). روی در لجن فاضلاب بالاترین غلظت را از دیگر فلزات سنگین دارد، خیلی متحرک بوده و بالاترین ریسک را از لحاظ تجمع در زنجیره غذایی و آلودگی آب دارد (لاگرورف و همکاران، ۱۹۷۶؛ لیپر، ۱۹۷۲؛ لوگان و چنی، ۱۹۸۳؛ مک برید، ۱۹۸۵).

روی عنصر ضروری برای رشد گیاه می‌باشد. زیست‌فراهمی آن برای گیاه به‌وسیله فاکتورهایی مثل pH، مقدار ماده‌آلی، مقدار رس، حضور کربنات‌ها، فشار جزیی دی‌اکسیدکربن، هدایت الکتریکی، کاربرد کود و مقدار رطوبت خاک بستگی دارد (کیرک، ۲۰۰۴؛ هاولین و همکاران، ۲۰۰۶). افزودن لجن فاضلاب و کود دامی به‌عنوان کود آلی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و زیست‌فراهمی عناصر کم‌مصرف را افزایش می‌دهد (هاولین و همکاران، ۲۰۰۶). از دیگر فلزات سنگین در لجن فاضلاب مس است که میل ترکیبی زیادی با لیگاندهای آلی دارد (مک لارن و کراوفورد، ۱۹۷۳). در

بعضی موارد غلظت آن به ۲/۰۸ میلی‌گرم بر لیتر (اسپیژل و همکاران، ۱۹۸۵) و ۱۰/٤٤ (سامر، ۱۹۷۷) میلی‌گرم بر لیتر رسیده است.به‌طور کلی فلزات سنگین همراه با لجن فاضلاب می‌توانند تاثیرات متفاوتی روی محیط زیست داشته باشند چراکه زیست‌فراهمی فلزات سنگین به شکل‌های شیمیایی آنها بستگی دارد (نومدا و همکاران، ۲۰۰۸). زیست‌فراهمی روی و مس با توزیع این فلزات در میان بخش‌های مختلف خاک همراه می‌باشد. جزءبندی[1] برای ارزیابی این روابط استفاده می‌شود که نقش شکل‌های محلول، قابل تبادل، کمپلکس یافته با مواد آلی و شکل‌های پیوند یافته با آلومینیوم، منگنز وآهن را ارزیابی می‌کند (اینگار و همکاران، ۱۹۸۱؛ شومان، ۱۹۷۹، ۱۹۸۳؛ سیمز، ۱۹۸٦). هر عنصر بسته به اینکه با ترکیبات مختلف خاک مانند کربنات‌ها، اکسیدهای‌آهن، آلومینیوم و منگنز وماده‌آلی پیوند داشته باشد، می‌تواند شکل‌های[2] مختلفی را تشکیل دهد (کاباتا–پندیاس، ۲۰۰۱). قابلیت استفاده شکل‌های مختلف عناصر برای گیاه متفاوت است و اغلب ارتباط زیادی با نحوه توزیع آن عنصر در اجزا مختلف خاک از قبیل ماده‌آلی، کربنات‌ها، اکسیدها و کانی‌ها دارد (هان و همکاران، ۱۹۹۵؛ وانگ و همکاران، ۲۰۰۱؛ آدامو و همکاران، ۲۰۰۳). بنابراین جداسازی شکل‌های عناصر برای برآورد مقدار قابل استفاده آنها حایز اهمیت است (صفاری و همکاران، ۲۰۰۹).

علاوه بر روش‌های یک مرحله‌ای، روش‌های عصاره‌گیری دنباله‌ای نیز در ارزیابی قابلیت استفاده عناصر کم‌نیاز مورد استفاده قرار می‌گیرد (سینگ و همکاران، ۱۹۸۷؛ آگراوال و گوپتا، ۱۹۹۰؛ فویتز و همکاران، ۲۰۰٤؛ فنگ و همکاران، ۲۰۰۵؛ گوپتا و سینا، ۲۰۰۷). یکی از اولین روش‌ها عصاره‌گیری دنباله‌ای به وسیله تسیر و همکاران (۱۹۷۹) ارائه و بصورت گسترده‌ای در تعیین شکل‌های عناصر سنگین به شکل‌های تبادلی، متصل به کربنات‌ها، متصل به اکسیدهای آهن و منگنز، متصل به ماده‌آلی و تتمه در خاک‌ها بکار برده می‌شود (آلوارز و همکاران، ۲۰۰٦).

[1] Fractionation
[2] Forms

۱-۲- اهداف

۱- بررسی اثر لجن فاضلاب صنعتی بر رشد و عملکرد دو گیاه گندم و اسفناج
۲- بررسی اثر لجن فاضلاب صنعتی بر برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک
۳- اثر کاربرد لجن فاضلاب صنعتی بر غلظت عناصر سنگین روی و مس در خاک (قابل استفاده) و گیاه
٤- اثر کاربرد لجن فاضلاب صنعتی بر توزیع شکل‌های مختلف شیمیایی روی و مس در خاک

فرضیه‌هایی که در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفت، عبارتند از:
۱- با توجه به اینکه لجن فاضلاب از منطقه صنعتی تهیه شده است انتظار می‌رود غلظت عناصر روی و مس در گیاهان بیش از حد مجاز باشد.
۲- پیش‌بینی می‌شود لجن فاضلاب صنعتی مورد استفاده دارای شوری زیاد بوده و باعث کاهش عملکرد گیاه شود.

فصل دوم

کلیات و مروری بر منابع

۲- کلیات و مروری بر منابع

۲-۱- خصوصیات لجن فاضلاب

در اکثر روش‌های تصفیه فاضلاب، لجنی تولید می‌شود که باید به خارج از تصفیه خانه تخلیه گردد. لجن فاضلاب مواد جامدی است که در نتیجه حذف آلاینده‌های معلق و محلول از فاضلاب، از طریق جداسازی مواد جامد از مایع ویا ترسیب شیمیایی و یا فعالیت‌های بیولوژیکی در تصفیه خانه به دست می‌آید (بروس و همکاران، ۱۹۸٦). حجم عمده لجن را آب تشکیل می‌دهد، به طوری که برحسب نوع فرآیند و مرحله تصفیه، مقدار مواد در لجن ممکن است بین ۰/۲۵ تا ۱۲ درصد وزنی باشد که ارقام بالاتر مربوط به مواردی است که لجن تغلیظ شده است (سازمان برنامه و بودجه، ۱۳۷۲).

۲-۲- ارزش کودی لجن فاضلاب

کاربرد لجن در اراضی کشاورزی ایران، از سابقه‌ای طولانی برخوردار است (حسن اقلی، ۱۳۸۹). منابع سنتی مواد آلی در مناطق خشک ونیمه خشک محدود بوده و منحصر به کودهای دامی و گاهی کود سبز است.این منابع محدود به هیچ وجه پاسخ‌گوی نیاز روزافزون بخش کشاورزی به کودهای آلی نیست (کلباسی، ۱۳۷۵) لجن فاضلاب یکی از موادی است که به عنوان کودآلی در زمین‌های کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرد و بر خواص فیزیکی، شیمیایی و غلظت عناصر به ویژه نیتروژن و فسفر خاک اثر می‌گذارد (واثقی و همکاران، ۱۳۸۳) لجن فاضلاب دارای مقادیر فراوانی عناصر غذایی موردنیاز گیاه که کاربرد لجن فاضلاب سبب افزایش عملکرد محصولات می‌شود (افیونی و همکاران، ۱۳۷۷). لجن فاضلاب به عنوان یک کود عملکرد وزن خشک بسیاری از محصولات را نیز افزایش می‌دهد (تزدیلاز و همکاران، ۱۹۹۵).

در جهان سالانه ۳۰ میلیون تن لجن فاضلاب تولید می‌شود که بیش از ۷۰ درصد آن به عنوان کود به زمین‌های کشاورزی اضافه می‌گردد (حسن دار و همکاران، ۱۹۹٤).

تحقیقات پیترسون و همکاران (۲۰۰۳) بر کاربرد لجن فاضلاب به عنوان کودی ارزان‌قیمت در کشاورزی نشان دادند که در مدت سه سال، کاربرد لجن در دو نوع خاک و کشت گیاه، هیچ‌گونه

اثرات منفی بر رشد محصولات کشاورزی نداشته است. ضمن اینکه اثرات کودی لجن در تامین نیتروژن و فسفر موردنیاز گیاه بسیار قابل‌توجه بود.

تستر و همکاران (۱۹۷۳) مشاهده کردند که در مراحل اولیه اعمال تیمار لجن، ازت و فسفر غیرمتحرک می‌گردند ولی بعد از ۱۲۰ روز مجدداً روند معدنی شدن از سرگرفته می‌شود که نتیجه آن افزایش نیتروژن و فسفر قابل جذب گیاه است. آنها چنین بیان داشتند که در طی تجزیه بیولوژیک، نیتروژن و فسفر موجود در لجن، در پروتوپلاسم میکروبی به فرم ترکیبات آلی ذخیره شده و پس از مرگ آنها به خاک افزوده می‌شوند.

چیتدیشواری و همکاران (۲۰۰۲) با مطالعه تاثیر سطوح مختلف لجن فاضلاب کمپوست شده بر عملکرد ذرت، تاج‌خروس، گل کروساندرا و لوبیا چشم بلبلی در یک آزمایش گلخانه‌ای، مشاهده کردند که مصرف لجن‌فاضلاب کمپوست شده باعث افزایش عملکرد در تمامی گیاهان مورد مطالعه شد.

گستره محصولاتی را که می‌توان با استفاده از لجن فاضلاب تیمار نمود بسیار متنوع است و ضوابط زیست‌محیطی و بهداشتی در هر منطقه و سطوح مجاز آن، در این خصوص تعیین‌کننده می‌باشد. طبق نظر دفتر محیط‌زیست سازمان ملل متحد، لجن کودی نباید برای انواع میوه‌جات نرم یا سبزی‌ها یا گیاهان گلخانه‌ای مورد استفاده قرار گیرد (فائو[1]، ۱۹۹۲).

۲-۳- اثر لجن فاضلاب بر خصوصیات خاک

لجن فاضلاب منبع با ارزشی از عناصر غذایی ضروری گیاه است. هم‌چنین مواد آلی موجود در لجن فاضلاب باعث بهبود خواص فیزیکی، شیمیایی و حاصلخیزی خاک می‌گردد (برولیر و همکاران، ۱۹۹۲) امروزه به‌دلیل رشد سریع جمعیت ودر نتیجه تولید هرچه بیشتر مواد زائد آلی از یکسو (الکساندر، ۱۹۹۰) و افزایش تقاضای محصولات کشاورزی از سوی دیگر، مصرف کودهای آلی نظیر کمپوست و لجن فاضلاب موردتوجه قرارگرفته است (سالاردینی، ۱۳۷۱). یکی از راه‌های اقتصادی و موثر برای استفاده از لجن فاضلاب به‌کارگیری آنها در کشاورزی است (میرزایی و همکاران، ۲۰۰۹). کاربرد لجن فاضلاب در زمین‌های کشاورزی در اغلب نقاط دنیا یک امر رایج است (روحانی شهرکی

[1] FAO

و همکاران، ۱۳۸٤). خاک‌های مناطق خشک به علت عدم وجود پوشش گیاهی کافی و بازگشت کم بقایای گیاهی به خاک دارای مقدار اندکی موادآلی می‌باشند. این خاک‌ها عموما آهکی و دارای واکنش قلیایی بوده در نتیجه بسیاری از گیاهان در این خاک‌ها با مشکل تغذیه عناصر کم‌مصرف مانند آهن، روی، مس و منگنز روبه رو هستند. از جمله روش‌های قابل جذب این عناصر استفاده از موادآلی است (عرفان‌منش، ۱۳۷٦). افزودن لجن فاضلاب می‌تواند سبب افزایش ماده‌آلی خاک شود. بهبود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک جهت رشد مطلوب گیاه و از طرف دیگر افزایش میزان عناصر غذایی موردنیاز گیاه مانند نیتروژن، فسفر، پتاسیم و عناصر کم‌مصرف با کاربرد لجن فاضلاب امکان‌پذیر است (کوکر و همکاران، ۱۹۸۳).

۲-۳-۱- اثر لجن فاضلاب بر خصوصیات شیمیایی خاک

لجن فاضلاب علاوه بر تاثیر بر غلظت عناصر غذایی موجود در خاک، بر خواص شیمیایی خاک، از قبیل pH، هدایت‌الکتریکی خاک و ظرفیت تبادل کاتیونی خاک نیز اثر می‌گذارد (برولیر و همکاران، ۱۹۹۲). بسیاری از محققان گزارش کرده‌اند که با اضافه کردن لجن به خاک، pH خاک کاهش پیدا می‌کند آنها دلیل این کاهش را، تجزیه موادآلی موجود در لجن می‌دانند که منجر به تولید اسیدکربنیک و اسیدهای آلی مثل اسیدسیتریک، اسیدمالیک و پروپیونیک می‌شود و البته نیتریفیکاسیون، سولفوریکاسیون و اکسیداسیون مواد آلی نیز در این موثر است (لونت، ۱۹۹۹). تغییر pH خاک در نتیجه مصرف لجن فاضلاب بر پتانسیل سمیت فلزات جذب شده بوسیله محصولات موثر می باشد (متالف و ادی، ۱۹۹۱).

لونت و همکاران در تحقیقی مشاهده کردندکه اضافه کردن لجن فاضلاب به میزان ٤۰ تن در هکتار به یک خاک لوم سیلتی با pH اولیه ۵/۷، پس از زمان‌های یک، شش و بیست ماهه موجب تغییر pH ۵/۷، ٤/۹ و ۵/۱ شد البته وقتی pH اولیه خاک کم باشد، افزودن لجن دارای آهک سبب افزایش pH خاک می‌شود.

لجن فاضلاب حاوی مقدار زیادی نمک است که باعث افزایش هدایت الکتریکی خاک می‌گردد. EC نسبتاً زیاد لجن به دلیل غلظت بالای کلسیم، منیزیم، سدیم و کلر در آن می‌باشد (کسرایی و همکاران، ۱۳۸۷).

اپستین و همکاران (۱۹۷٦) گزارش کرده‌اند که افزودن لجن فاضلاب به مقدار ۲٤۰ تن در هکتار باعث افزایش هدایت الکتریکی خاک از ۰/٤۱ به ۵/۵ دسی زیمنس بر متر شد و در پایان فصل رشد مقدارش به ۳/۹ دسی زیمنس بر متر رسید.

لجن فاضلاب بر ظرفیت تبادل کاتیونی خاک نیز اثر می‌گذارد افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی سبب نگهداری عناصر ضروری گیاه در ناحیه ریشه گیاه می‌شود. به دلیل افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی خاک بیشتر عناصر سنگین به شکل غیرقابل جذب برای گیاه در می‌آیند (کلادیوکو، ۱۹۷۹). اپستین (۱۹۷٦) گزارش کرد که با افزودن ۲٤۰ تن در هکتار لجن فاضلاب به خاکی که ظرفیت تبادل کاتیونی آن بین ۰/۰۵۵ تا ۰/۰٦٤ سانتی مول بار بر کیلوگرم خاک می‌رسد ولی پس از دو سال ظرفیت تبادل کاتیونی کاهش می‌یابد. او، این افزایش را به ظرفیت تبادل ماده آلی لجن و کاهش بعدی را به به شکستن ماده آلی لجن نسبت داد. افزایش لجن فاضلاب باعث بالارفتن غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌ها مثل کلسیم، سدیم، پتاسیم، منیزیم، کلرید، سولفات و بیکربنات در خاک می‌شود. افزایش هدایت الکتریکی خاک در نتیجه مصرف لجن فاضلاب نیز بیانگر افزایش غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌های خاک می‌باشد (گیوسکویانی و همکاران، ۱۹۹۵). هودجی (۱۳۸۰) نیز در تحقیق خود مشاهده کرد که افزایش لجن فاضلاب باعث افزایش هدایت الکتریکی و کاهش pH خاک می‌شود.

۲-۳-۲- اثر لجن فاضلاب بر غلظت عناصر پر مصرف در خاک

اضافه کردن لجن فاضلاب به خاک باعث افزایش عناصر غذایی پر مصرف گیاهی، به‌ویژه نیتروژن و فسفر می‌گردد. لجن فاضلاب می‌تواند بخش بزرگی از نیتروژن مورد نیاز محصولات را تامین کند (پیس و همکاران، ۱۹۷۷) در حالی که اپستین و همکاران (۱۹۷٦) گزارش کردند که افزودن لجن فاضلاب به خاک، فسفر قابل جذب گیاه در خاک را افزایش می‌دهد. در حالی که افزایش ماده‌آلی توانایی خاک را در جذب فسفر کاهش می‌دهد؛ زیرا اسیدهای آلی حاصل از این مواد به صورت تبادل لیگاندی جذب سطح شده و برای محل‌هایی که جذب صورت می‌گیرد؛ با فسفر رقابت می‌کنند. پتاسیم یکی دیگر از عناصر پر مصرف گیاهی است که البته غلظت آن در لجن فاضلاب، نسبت به فسفر و نیتروژن کمتر، و در حدود چند دهم درصد است. بنابراین پتاسیمی که از این طریق وارد خاک

می‌شود، تامین کننده نیاز گیاه نبوده و برای تامین نیاز گیاه به این عنصر علاوه بر مصرف لجن باید از منابع شیمیایی نیز استفاده شود (کلینگ و همکاران، ۱۹۷۷).

حسینی خانمیری و همکاران (۱۳۹۰) در مطالعه اثر لجن بیولوژیک مجتمع پتروشیمی تبریز بر برخی فلزات سنگین در خاک دریافتند لجن بیولوژیک حاوی ۳٦ درصد کربن آلی و ۵/۱۸ درصد نیتروژن کل بوده که از خصوصیات مطلوب لجن می‌باشد.

۲-۳-۳- اثر لجن فاضلاب بر غلظت عناصر کم‌مصرف در خاک

خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک به علت عدم وجود پوشش گیاهی کافی و بازگشت مقدار کم بقایای گیاهی به خاک دارای مقدار اندکی موادآلی می‌باشند. این خاک‌ها عموما آهکی و دارای واکنش قلیایی بوده در نتیجه بسیاری از گیاهان در این خاک‌ها با مشکل تغذیه عناصر کم‌مصرف مانند آهن، روی، مس و منگنز روبه رو هستند (عرفان‌منش، ۱۳۷٦). افزایش غلظت عناصر کم‌مصرف آهن، روی، مس، منگنز در خاک و گیاه به دنبال کاربرد فاضلاب شهری در مطالعات زیادی به اثبات رسیده است (افیونی و همکاران، ۱۳۸۵).

افیونی و همکاران (۱۳۷٦) گزارش کردند که افزودن لجن فاضلاب به خاک باعث افزایش معنی‌دار غلظت قابل عصاره‌گیری مس و روی به‌وسیله EDTA در خاک شد.

حسینی خانمیری و همکاران (۱۳۹۰) در مطالعه اثر لجن بیولوژیک مجتمع پتروشیمی تبریز بر برخی فلزات سنگین در خاک دریافتند وجود عناصر منگنز، روی و مس و بخصوص مقدار قابل ملاحظه آهن قابل جذب در پودر لجن قابل توجه می‌باشد.

۲-٤- اثر لجن بر غلظت عناصر سنگین در خاک

امروزه به‌دلیل افزایش رشد جمعیت و تولید هرچه بیشتر مواد زاید آلی در شهرهای بزرگ و در نهایت تولید و مصرف لجن فاضلاب بسیار مورد توجه قرار گرفته است. ولی مسئله‌ای که مطرح است احتمال آلودگی آنها به عناصر سنگین مانند سرب، کروم، کادمیم و نیکل است. وجود عناصری چون سرب و کادمیم همراه با عناصر کم‌مصرف در محیط ریزوسفر، سبب انتقال این عناصر به زنجیره غذایی انسان و حیوان می‌شوند (کبتا و پندیاس، ۲۰۰۱). هنگامی که لجن فاضلاب به زمین اضافه