

بررسی اثر کاربرد لجن تصفیه‌خانه فاضلاب شهری در بهبود خاک کشاورزی (مطالعه موردی: جزیره کیش)

شهناز شفیعی پور^۱

بیتا آیتی^۲

حسین گنجی دوست^۳

(دریافت ۸۸/۷/۱ پذیرش ۸۹/۶/۲۸)

چکیده

لجن تصفیه‌خانه‌های فاضلاب، یک منبع با ارزش حاوی نیتروژن، فسفر و پتاسیم است که برای رشد گیاهان ضروری است. هدف از تحقیق حاضر، کنترل شاخصهای کیفی لجن به منظور کاربرد آن در بهبود خاک در مناطقی مانند جزیره کیش بود. در این منطقه به دلیل ضعیف بودن حاصلخیزی و پر هزینه بودن انتقال خاک، کاربرد لجن به عنوان کودی ارزان قیمت، رشد گیاهان را بهبود می بخشد. مقایسه نتایج آزمایش‌های فیزیکی و شیمیایی لجن با استانداردهای جهانی، بیانگر کیفیت مناسب لجن از نظر غلظت مواد مغذی و مواد سمی مانند فلزات سنگین بود. با توجه به شرایط آب، هوا، دما، تابش خورشید و مدت ذخیره، براساس استاندارد سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا، شاخص کلیفرم‌های مدفوعی در محدوده دو کلاس A و B قرار داشت. همچنین آنالیز لجن، بیانگر شوری و غلظت بالای یون‌های سدیم و کلسیم در محدوده ۵۰۰۰ تا ۷۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود که عامل محدود کننده رشد گیاه است. کشت آزمایشی گیاه در جزیره از نیمه آذر ۱۳۸۷ تا اواخر اردیبهشت ۱۳۸۸ در نمونه‌های مختلف بارگذاری خاک تیمار شده با لجن (صفر، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ تن در هکتار) انجام گرفت. در مراحل اولیه رشد، نتایج حاکی از کاهش رشد گیاهان پرورش یافته با خاکهای تیمار شده با لجن نسبت به نمونه شاهد بود، ولی بعد از گذشت ۵ ماه با توجه به بارش باران‌های بهاره و کاهش شوری در نمونه‌های تیمار شده خاک با لجن (۱۰۰ و ۷۵ تن در هکتار)، گیاه رشد بسیار خوبی را نشان داد در حالی که در نمونه شاهد، بوته‌ها خشک شده بودند. نتایج آنالیز خاک و گیاه نیز مؤید این مطلب بودند زیرا در تیمارهای خاک با لجن ضمن کاهش EC، خصوصیات فیزیکی (افزایش درصد رطوبت اشباع) و شیمیایی خاک بهبود یافته و در اکثر موارد، مقادیر عناصر ریزمغذی ضروری (آهن، منگنز، روی و مس) و مواد مغذی در نمونه‌های خاک و برگ به تناسب افزایش میزان بارگذاری لجن افزایش داشتند. البته در برخی موارد استثناهایی نیز مشاهده گردید که از جمله می‌توان به غلظت ناچیز کادمیم و تغییرات نامحسوس سرب در گیاه اشاره نمود. همچنین میزان فسفر قابل دسترس که با توجه به روند افزایشی در خاکهای تیمار شده در استخراج از نمونه‌های گیاهی تغییر محسوس نداشت و یا غلظت پتاسیم قابل دسترس که در خاکهای تیمار شده متناسب با میزان آن در خاک، روند نزولی داشت. در نهایت می‌توان نتیجه‌گیری نمود که در صورت کاربرد لجن در خاک، ضمن رعایت نرخ مورد نیاز مصرف مواد مغذی گیاه و کنترل تجمع فلزات سنگین، باید از گیاهان مقاوم به شوری و یا گیاهان بومی جزیره استفاده نمود و در صورت کاشت گیاهان حساس، به منظور آماده‌سازی خاک حداقل شش ماه زودتر لجن را اضافه نمود تا شرایط فیزیکی و شیمیایی خاک مناسب گردد.

واژه‌های کلیدی: لجن، فلزات سنگین، مواد مغذی، تصفیه خانه فاضلاب، خاک تیمار شده

Reuse of Sewage Sludge for Agricultural Soil Improvement (Case Study: Kish Island)

Shahnaz Shafieepour¹

Bitā Ayati²

Hossein Ganjidoost³

(Received Sep. 23, 2009 Accepted Sep. 19, 2010)

Abstract

Sludge from wastewater treatment plants is a valuable source of nitrogen, phosphorus and potassium which are necessary for the plants growth. The purpose of this research was to control sludge quality to use it for soil improvement in Kish Island, Iran. Because of soil with low qualified for agricultural activities and high import expenses of fertile soils from outside of the Island, application of sludge as a cheap source of soil amendment is an easy and economical mean to improve the soil in Kish Island. Comparison of laboratory data of domestic sludge with global standard has shown that it has suitable for application on landscapes and agriculture from the point of view of fertility and heavy metals concentration. Biological data has also shown that the sludge was in class A or B of EPA standard, to fecal coliform, based on the ambient conditions such as water, air, temperature, sun radiation and storage time. The soil test data indicated that salinity, sodium and calcium ions were between 5000-7000 mg/kg which cause a decrease in plant's growth. Transplanting of garden petunia in the region has

1. M.Sc. Student of Civil- Environmental Eng., Tarbiat Modarres University, Tehran
2. Assoc. Prof. of Civil- Environmental Eng., Tarbiat Modarres University, Tehran (Corresponding Author) (+98 21) 82883328 ayati_bi@modares.ac.ir
3. Prof. of Civil- Environmental Eng., Tarbiat Modarres University, Tehran

- ۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران- محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس، تهران
- ۲- دانشیار دانشکده مهندسی عمران- محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس، تهران (نویسنده مسئول) ۸۲۸۳۳۲۸ (۰۲۱) ayati_bi@modares.ac.ir
- ۳- استاد دانشکده مهندسی عمران- محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

been done in different samples mixed with sludge rate of 0, 25, 50, 75 and 100 ton/ha during December 2008 to March 2009. In the first period of the growth study, the results have shown a decrease in the amended soil with sludge retard in comparison with control plant, but after 5 months probably because of spring rains and decrease in the salinity of amended soil, the plant has shown very good growth in leaves and petal, whereas the control plant was dried. Soil and plant analyses were also approved the results because physical (humidity increase) and chemical (EC decrease) characteristics of the amended soil with sludge were improved. Most of the time, the concentrations of micro-nutrients such as iron, manganese, zinc, copper and nutrients in soil and leaves showed an increase in values by an increase in the rate of applied sludge. Other results were not shown considerable variation in accessible phosphorus but noticeable decrease in potassium. Of course, in some special cases, negligible changes in cadmium and lead concentrations of the plant have been observed. In addition, the soil phosphorous content had negligible changes and the soil potassium content had a decreased rate in the amended soil. Finally, it is concluded that for sludge application, it is necessary to check agronomic nutrients levels and heavy metals accumulation. However it is also recommended to use any kind of salt resisted native plants for landscapes. In case of sensitive plant, sludge should be added at least 6 months in advance to ensure that soil physical and chemical condition are achieved.

Keywords: Sludge, Heavy Metal, Nutrient, Wastewater Plant, Amended Soil.

حاصلخیزی خاک استفاده می‌گردند، کنترل آنها از نظر قوانین ۵۰۳ سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا شامل سه پارامتر فلزات سنگین (مانند آرسنیک، کادمیم، کروم، مس، سرب، جیوه، مولیبدن، نیکل، سلنیم و روی)، عوامل بیماری‌زا (مانند باکتری‌ها، ویروس‌ها و انگل‌ها) و پتانسیل جذب برای ناقلین عوامل بیماری‌زا (مانند موش، حشرات و پشه) است [۵]. تاکنون تحقیقات بی‌شماری در این زمینه انجام شده است.

در مطالعات وانگ و همکاران^۳، مقادیر فلزات سنگین شامل As, Cr, Cd, Ni, Co, Zn, Mg در لجن فاضلابی و کلم چینی رشد یافته در خاک ترمیم شده با لجن، اندازه‌گیری شده است که نتایج آزمایش‌ها بیانگر مقادیر بسیار پایین فلزات سنگین (غیر از As) زیر حدود قابل قبول استاندارد‌ها بوده است. مقدار این فلزات در برگها، با افزایش بارگذاری و نیز درصد اختلاط لجن با خاک ترمیمی رابطه مستقیم داشته است. نتایج این تحقیق بیانگر افزایش محصولات رشد یافته در خاک ترمیم شده با لجن بوده که دلیل آن علاوه بر مقادیر بالای مواد مغذی، ارتباط با فلزات سنگین نیز بوده است [۶]. در پژوهش داگلن و همکاران^۴ بر روی لجن تولیدی از تصفیه‌خانه فاضلاب کارخانه تولید سبزی، لجن با مقادیر مختلف صفر، ۳۳۰، ۴۹۵ و ۶۶۰ تن در هکتار با خاک مخلوط و دانه گیاه خیار کاشته شد. اثرات رشد گیاه از طریق طول ساقه، تعداد برگ، وزن بخش سبز گیاه و رشد ریشه بررسی شد و بیشترین رشد در ۳۳۰ و ۱۶۲ تن در هکتار مشاهده گردید. در بررسی مقادیر فلزات سنگین در گیاه به‌جز روی و آهن، در برگها هیچگونه افزایش معنی‌داری دیده نشد [۷].

در پژوهشی در نجف‌آباد واقع در استان اصفهان، اثر لجن بر

۱- مقدمه

از آنجایی که نیمی از هزینه عملیاتی یک تصفیه‌خانه فاضلاب مربوط به تصفیه لجن است، استفاده مجدد از لجن تصفیه شده علاوه بر فواید بی‌شمار می‌تواند بخشی از هزینه‌ها را جبران نماید. مسئله مهم، مدیریت بهینه و هماهنگ برای دفع لجن تولیدی است زیرا نباید آلودگی به محیط‌های دیگر مانند آب، هوا و خاک لطمه‌ای وارد نماید [۱ و ۲]. استفاده از لجن معمولاً شامل کاربرد در زمین‌های کشاورزی شامل چراگاهها و مراتع طبیعی، جنگلها، محل‌های احیای اراضی، مکان‌های عمومی مانند پارک‌ها، چمنزارها، نوارهای سبز بزرگراهها، علفزارها و باغچه‌خانه‌ها می‌گردد.

در اروپا استفاده از لجن برای احیای زمین‌های آسیب دیده یکی از بهترین روشهای زیست محیطی محسوب می‌گردد. لذا با استفاده از این روش در محل اسکیزر^۱ در اسکاتلند، جنگل مصنوعی ایجاد گردیده و از لجن برای غنی نمودن خاک استفاده شده و مخلوطی از درختان جنگلی، چمن و گیاهان در آن کاشته شده است. در حال حاضر این مکان محل سکونت پرندگان و حیوانات وحشی زیادی است [۳]. در گزارش شماره ۰۵-۰۶-R-۸۳۲ سازمان حفاظت از محیط زیست آمریکا^۲، درصد روشهای مختلف دفع لجن در سال ۱۹۹۹ در آمریکا به‌صورت زیر ارائه شده است: سوزاندن ۱۲، کاربرد در زمین ۴۱، دفن زمینی ۱۷، روشهای پیشرفته ۲۲، سایر روشهای سومند ۷ و سایر روشها ۱ درصد [۴].

عموماً کاربرد لجن در زمین به چندین روش انجام می‌گیرد. ممکن است لجن به‌حالت پخش شده روی سطح زمین در محدوده چراگاهها و چمنزارها و نیز درون سطح زمین و یا تزریق به داخل و زیر سطح خاک استفاده شود اما نکته مهم برای لجن‌هایی که برای

³ Wange et al.

⁴ Doglen et al.

¹ Skares

² U.S. Environmental Protection Agency (USEPA)

خاک و گیاه نشان داده شده و پیشنهاد شده است که از گیاهان محدود برای رشد در خاکهای ترمیم شده استفاده گردد [۱۱]. دانشکده علوم دانشگاه BEJA در پرتقال و ورونا^۲ ایتالیا نیز در تحقیقی مشترک در مورد ارزیابی شیمیایی و سم‌شناسی بر روی مواد تجزیه پذیر باقیمانده در زمین‌های کشاورزی، سه نوع پسماند قابل تجزیه^۳ شامل لجن تصفیه‌خانه‌های فاضلاب، کمپوست حاصل از پسماندهای جامد شهری^۴ و کمپوست پسماندهای باغی^۵ را بررسی کردند. در این تحقیق، پس از انجام آنالیز زیست‌سنجی با کرمهای خاکی، لجن تصفیه‌خانه‌های فاضلاب به دلیل میزان بالای فلز روی که باعث مرگ و میر قابل ملاحظه کرمهای خاکی گردید، سمی شناخته شد [۱۲].

در بررسی حرکت کادمیم، کروم و کبالت در خاک تیمار شده با لجن فاضلاب و نمک این فلزات و جذب آن توسط سبزیجات در منطقه شرق اصفهان، کرتهایی به ابعاد ۴×۴ متر انتخاب شد و به‌طور تصادفی مقدار ۵۰ تن در هکتار از تیمارهای لجن فاضلاب غنی شده با فلزات سنگین و فرم معدنی (کلرید) این فلزات استفاده گردید. نتایج مربوط به توازن جرمی نشان داد که حرکت Cr، Co و Cd را به سمت لایه‌های زیرین خاک به ترتیب برابر ۴۵/۸۵، ۳۸/۲۳ و ۱۴/۴۲ درصد از مقدار افزوده شده به خاک بوده است [۱۳].

کیش جزیره‌ای مرجانی است که ۱۸ کیلومتر از سواحل جنوبی فاصله دارد و در طول سال دارای دو فصل قابل تفکیک خنک (اوایل مهر تا اوایل اردیبهشت) و گرم (اول اردیبهشت تا اوایل مهر) است. مطابق آمار ارائه شده در یک دوره ۲۷ ساله از ایستگاه سینوپتیک جزیره، متوسط درجه حرارت ماهانه در گرم‌ترین و خنک‌ترین ماههای سال به ترتیب حدود ۳۴ و ۱۹ درجه سلسیوس در مرداد و دی است [۱۴]. ضخامت لایه‌های خاک جزیره کم است و معمولاً در ۲۰ تا ۲۵ سانتی‌متری و در برخی موارد در عمق ۶۰ سانتی‌متر به سنگ مادر برخورد می‌کند. حاصلخیزی خاک مذکور را نمی‌توان چندان قابل ملاحظه دانست زیرا میزان هوموس آن بسیار ناچیز است [۱۵]. بافت اکثر خاکها سبک، واکنش خاک خنثی تا کمی قلیایی، مقدار کربنات کلسیم خاک بین ۳۰ تا ۹۰ و مقدار گچ آن بین صفر تا ۲۰ درصد متغیر است. به‌طور کلی طبق نتایج فیزیکی، بافت خاکهای جزیره در شرایط طبیعی در حضور گچ و آهک، درشت تا متوسط و دامنه pH آن در محدوده خنثی تا کمی قلیایی (۷ تا ۸/۲) است [۱۶].

ویژگی‌های فیزیکی خاک پس از افزودن لجن به خاک در چهار سطح بارگذاری صفر، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ تن در هکتار بررسی گردید. لجن در لایه‌های سطحی ۲۰ سانتی‌متر با خاک مخلوط و گندم کاشته شد. نتایج بررسی‌ها نشان داد که افزودن لجن فاضلاب به خاک، اثر مطلوبی بر ویژگی‌های فیزیکی از قبیل پایداری خاک دانه‌ها، هدایت هیدرولیکی اشباع، سرعت نفوذ نهایی و درصد رطوبت داشته و این موضوع به‌خصوص در مورد افزایش آب قابل استفاده گیاه و نفوذپذیری خاک در مناطق مرکزی ایران که با کمبود آب روبرو هستند بسیار اهمیت دارد [۱۸]. در تحقیق دیگری اثرات لجن در حاصلخیزی زمین‌های کشاورزی در منطقه‌ای از چین مورد بررسی قرار گرفته است. این منطقه به‌دلیل شرایط خاص زمین‌شناسی و وجود سنگ‌های آهکی حفره‌دار انتخاب شد. در این تحقیق با انجام عملیات تکمیلی و افزودن بخشی از مواد، کود آلی ترکیبی با لجن تولید شد و به‌منظور تعیین میزان حاصلخیزی، در زمین‌های شالیزار استفاده گردید. نتایج بیانگر تأثیر بسیار خوب این کود نسبت به انواع تجاری بود و محصول برنج، افزایش حدود ۱۸ تا ۱۹ درصد را نشان داد. همچنین وقتی محصولات تولیدی از کود لجنی نسبت به سایر محصولات مورد آزمایش و مقایسه قرار گرفت، هیچ تفاوتی در مقدار فلزات سنگین در برنج و ساقه‌های آن‌ها مشاهده نشد [۹].

در تحقیقی که در بخش علوم محیط‌زیست خاک و گیاه در دانشگاه بیرجینیا در زمینه استفاده از لجن فاضلاب به‌منظور رفع احتیاجات گیاهان و بهبود خاک کشاورزی انجام گرفت، خصوصیات این ماده از نظر مواد آلی، ظرفیت نگهداری آب، هوادهی خاک و منبع انرژی برای کرمهای خاکی و میکروارگانیسم‌های مفید خاک گزارش شد. نتایج این مطالعات نشان داد که محصولات کشاورزی در زمین‌های اصلاح شده با لجن، خیلی بیشتر از زمین‌هایی است که توسط کود تجاری حاصلخیز شده‌اند. گزارشهای ۲۵ ساله این تحقیق، حاوی شواهد زیادی مبنی بر مزایای کاربرد لجن تولیدی مطابق با قوانین EPA بوده است. در گزارش مذکور بر وجود پایش و کنترل دائمی بر روی کاربرد لجن به‌منظور پاسخگویی به شک و نگرانی عمومی مردم تاکید شده است [۱۰].

دانشگاه هندی باناراس هندو^۱ در سال ۲۰۰۷ مقاله‌ای در مورد کاربرد جهانی لجن در کشاورزی منتشر نمود که در آن به محدودیت کاربرد لجن به دلیل تجمع فلزات سنگین در گیاهان و زنجیره غذایی اشاره شده است. در این تحقیق نتایج حاصل از کشت گیاه بالاک (مشابه اسفناج) در خاک ترمیم شده با لجن و نیز تجمع فلزات در

² Verona

³ Biodegradable Organic Residues (BOR)

⁴ Municipal Solid Waste Compost (MSWC)

⁵ Garden Waste Compost (GWC)

¹ Banaras Hindu

جدول ۱- تناوب نمونه برداری لجن برای دفع سطحی، کاربرد در زمین و سوزاندن [۵]

تواتر نمونه برداری (تن در سال)	مقدار لجن یا توده زیستی
یکبار در سال	بزرگ‌تر از صفر و کمتر از ۲۹۰
هر سه ماه یکبار (چهار بار در سال)	مساوی یا بزرگ‌تر از ۲۹۰ تا ۱۵۰۰
مساوی یا بزرگ‌تر از ۱۵۰۰ تا ۱۵۰۰۰	هر دو ماه یکبار (شش بار در سال)
بزرگ‌تر یا مساوی ۱۵۰۰۰	یکبار در ماه (۱۲ بار در سال)

الف- با توجه به امکانات محدود، کشت متداول گل اطلسی که در محدوده فضای سبز جزیره استفاده می‌گردید، انتخاب شد. کشت این گیاه در فضای باز گلخانه‌ای و با همکاری بخش فضای سبز خدمات شهری سازمان انجام گرفت. به این منظور محدوده‌ای به مساحت ۱۵ مترمربع آماده سازی و به ۵ قسمت مساوی تقسیم شد و خاک مورد استفاده از روستای باغو با بافت سطحی درشت تا سبک^۴ محتوی حدود ۵۴ درصد آهک تهیه گردید [۷]. لجن با بارگذاری‌های مختلف به میزان صفر، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ تن در هکتار با خاک مورد نظر مخلوط و سپس نشاء گل اطلسی کاشته و تحقیق به مدت ۵ ماه (آذر ۸۷ تا اردیبهشت ۸۸) انجام شد. آبیاری گیاه روزانه و با آب شیرین انجام می‌گرفت.

ب- در مراحل نهایی (پس از ۵ ماه) خاک و گیاه مورد آنالیز قرار گرفتند. به طوری که از خاک هر کرت از چهار نقطه، نمونه مرکب از عمق ۲۰ سانتی‌متری به فواصل هر ۵ سانتی‌متر تهیه گردید. لازم به ذکر است که عمق کلی خاک هر کرت حدود نیم متر بود. در نمونه برداری از گیاه نیز در هر کرت، ۵ بوته از نقاط مختلف برداشت شد و برگها جدا گردید. برگها تا زمان انتقال به آزمایشگاه در یخچال نگهداری شدند.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- بررسی شاخصهای کمی و کیفی لجن همانطور که اشاره گردید یکی از مهم‌ترین شاخصهای ارزیابی لجن، غلظت فلزات سنگین است که نتایج آن در جدول ۲ ارائه شده است. مقایسه آنالیز آزمایش‌های فلزات سنگین با استانداردهای دیگر نقاط دنیا، بیانگر کیفیت مناسب لجن است. در جدول ۳ نتایج سایر عوامل فیزیکی، شیمیایی و میکروبی لجن ارائه شده است. نتایج آزمایش‌های میکروبی لجن که در فصل گرم و معتدل نمونه برداری شده‌اند به ترتیب بیانگر کلاس A و B بود که تأثیر انرژی خورشید برگندزایی لجن را نشان می‌دهد. همچنین بررسی سایر پارامترهای

به‌طور کلی چهار تصفیه‌خانه فاضلاب شهری به نامهای مرکزی، میرمنا (سفین)، مرجان و جنوب در جزیره موجود بوده که در زمان تحقیق حاضر، به‌روش لجن فعال هوادهی گسترده فعالیت داشتند. ظرفیت فاضلاب روزانه این تصفیه‌خانه‌ها کمتر از ۲۰۰۰ مترمکعب و میزان لجن دفعی آنها کمتر از ۴۰ کیلوگرم در روز برآورد گردید. با توجه به جنبه‌های مثبت و منفی مذکور، هدف کلی در این تحقیق، بررسی امکان استفاده مجدد از لجن به‌عنوان یک منبع با ارزش و ترمیم‌کننده خاک به‌منظور ذخیره سازی منابع و کاهش هزینه‌های مرتبط با دفع آن در جزیره کیش بود.

۲- مواد و روشها

به‌منظور بررسی شاخصهای کمی و کیفی لجن، تصفیه‌خانه فاضلاب میرمنا انتخاب و آنالیز لجن آن با استاندارد مطابقت داده شد. نظر به اینکه در کشور غیر از پیش‌نویس مقدماتی استاندارد، تحت عنوان «آماده سازی لجن حاصل از تصفیه فاضلاب شهری برای مصارف کشاورزی-۱۳۷۸» قوانین جامعی تدوین نگردیده است، لذا در این مطالعه از استانداردهای سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا تحت عنوان «استفاده از لجن فاضلابی (جامد زیستی) در زمین» که در قالب قانون CFR ۵۰۳ ۴۰ تدوین یافته، بهره گرفته شد.

تناوب نمونه برداری به‌منظور آنالیز لجن در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب به شرح جدول ۱ است. نمونه‌گیری از بسترهای لجن خشک‌کن طی دو فصل گرم و معتدل انجام گردید. مطابق دستورالعمل EPA در موقع نمونه برداری از بسترهای لجن خشک‌کن، سطح کل به چهار بخش تقسیم شد و از مرکز هر بخش، لجن برداشته و مخلوط و سپس آسیاب و کاملاً همگن گردید [۵]. نمونه‌های آزمایش‌های میکروبی در ظروف استریل و نمونه‌های شیمیایی و فیزیکی در ظروف پلی‌اتیلن و در شرایط درجه حرارت کمتر از ۴ درجه سلسیوس به آزمایشگاه انتقال داده شدند.

فلزات سنگین توسط دستگاه جذب اتمی سیستم شعله مدل BC 906AA، نیتروژن کل به روش کلدال^۱، کلسیم و سدیم به‌روش فوتومتر نشر شعله با دستگاه Jenway PFP7 و نترات به‌روش فوتومتر با استفاده از دستگاه هج^۲ مدل DR2800 اندازه‌گیری گردید. پس از تعیین نتایج اولیه آنالیز لجن، مراحل بعدی شامل کشت آزمایشی (طی دو مرحله)، آنالیز لجن بارگذاری شده در روی خاک، آنالیز خاک و گیاه در مرحله پایانی به‌شرح زیر انجام گرفت:

¹ Land Application of Biosolids (40 Code Federal Regulations)

² Kjeldal

³ Hach

⁴ Loamy Sand

جدول ۲- مقایسه مقادیر فلزات سنگین در آنالیز لجن مورد مطالعه با استانداردهای جهانی (برحسب mg/kg) (۵ و ۱۷)

آلاینده	مقادیر آزمایشها			غلظت لجن ماهانه		کانادا
	۸۷/۶	۸۷/۸	۸۷/۹	غلظت لجن خاص EPA	لجن نرمال سوئد	
آرسنیک	۳	۲	۳	۴۱	۷۵	۱۰
کادمیم	۱	۱	۱	۳۹	۵-۲۰	۲۰
کروم	۳۱	۴۲	۵۴	۱۲۰۰	۵۰-۲۰۰	۱۰۰۰
مس	-	۱۹۰	۲۴۲	۱۵۰۰	۵۰۰-۱۵۰۰	۵۰۰
سرب	۹۶	۹۵	۱۰۹	۳۰۰	۱۰۰-۳۰۰	۲۰۰
جیوه	۳	۲	۲	۱۷	-	-
مولیبدن	۱۱	۹	۱۴	-	-	-
نیکل	۲۸	۲۵	۲۹	۴۲۰	۲۵-۱۰۰۰	۵۰۰
سلنیم	۳	۴	۶	۳۶	-	-
روی	۳۶۹	۹۲۰	۶۷۶	۲۸۰۰	۱۰۰۰-۳۰۰۰	۲۰۰۰
کبالت	-	۱	۳	-	-	-

جدول ۳- میزان غلظت شاخصهای فیزیکی، میکروبی و شیمیایی لجن

پارامتر (واحد)	مقدار (۸۷/۶)	مقدار (۸۷/۹)
pH	۵/۳۰	۵/۲۱
رطوبت (درصد)	۶/۰۰	۱۵/۲۰
مواد جامد فیکس (درصد)	۲۳/۲۴	۲۶/۳۸
جامدات کل (درصد)	۹۴/۰۰	۸۴/۸۰
ازت کل (درصد)	۴/۶۰	۵/۲۶
ازت آمونیاکی (درصد)	۰/۰۹	۰/۰۴
ازت نیتراته (درصد)	-	۰/۰۳
فسفر کل (درصد)	۱/۱۰	۱/۳۱
سدیم (میلی گرم در کیلوگرم)	۵۲۴۰	۶۸۳۳
پتاسیم (میلی گرم در کیلوگرم)	۱۳۶۰	۱۳۶۳
یون کلر (میلی گرم در کیلوگرم)	۵۶۵۷	۷۵۰۰
شمارش کلیفرم مدفوعی* (CFU/gr)	۱۰۰۰<	۸×۱۰۳
شمارش کل کلیفرم* (CFU/gr)	-	۵×۱۰۴

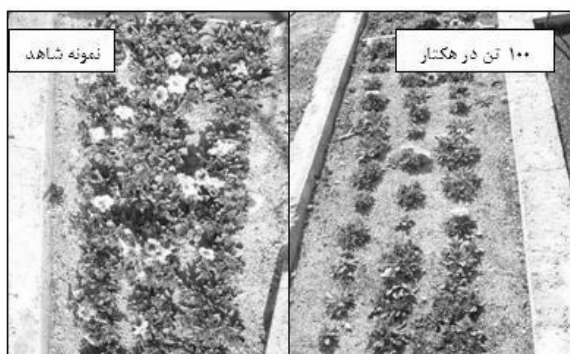
* معادل μPN/gr لجن خشک

جدول ۳ بیانگر کیفیت مناسب از نظر مواد مغذی بود ولی از نظر غلظت کلر و سدیم، لجن کیفیت مناسبی نداشته و شور بود.

۲-۳- بررسی کاربرد لجن بر کشت آزمایشی

بررسی رشد گیاه اطلسی نیز در مراحل اولیه نشانگر رشد بهتر گیاه شاهد نسبت به نمونه های تیمار شده با لجن بود. با توجه به نتایج فوق در مرحله دوم آزمایشها بر روی لجن، برخی آزمایشهای تکمیلی مؤثر در رشد گیاهان بر روی لجن مورد استفاده در کشت آزمایشی، مجدداً کنترل گردید که نتایج آن در جدول ۴ آورده شده است. بدیهی است بررسی نتایج آنالیز لجن بارگذاری شده در مراحل مختلف، بیانگر شوری و میزان بالای مقادیر EC، یونهای سدیم و کلرید است که باعث ایجاد محدودیت و کاهش رشد در کشت های انتخابی گیاهان پرورش یافته با خاک اصلاح شده با لجن

گردیده است. سدیم تبادل، تمایل به پراکنش خاک داشته و باعث کاهش سرعت نفوذ آب و هوا در خاک می گردد [۱]. لجن به دلیل شوری زیاد عموماً دارای غلظت نسبتاً زیاد سدیم است. بنابراین در کاربردهای کشاورزی مخصوصاً در پرورش گیاهان حساس، غلظت این ماده در خاک و گیاه، باید مورد توجه قرار گیرد [۱۸]. رشد گل اطلسی در شکل ۱ نشان می دهد که تمام بوته ها در خاک استقرار داشته ولی رشد گیاه در نمونه شاهد بهتر از سایرین است. در بازدید محلی اواخر ماه پنجم (اردیبهشت ۱۳۸۸) ملاحظه گردید که بوته های گل اطلسی در نمونه تیمار شده خاک ۱۰۰ تن در هکتار دارای گل بودند، در شرایطی که عمده گیاهان خاک شاهد، خشک شده بودند. شکل ۲ این مرحله رشد گیاه را نشان می دهد. بدیهی است که باران های اسفند و فروردین و همچنین قطع یک هفته ای آبیاری، در تغییر شرایط رشد گیاهان تأثیر بسزایی داشته است.



شکل ۱- مقایسه مراحل رشد گیاه در خاک شاهد و تیمار ۱۰۰ تن در هکتار بعد از ۴۵ روز (۳ بهمن)



شکل ۲- مقایسه مراحل رشد گیاه در خاک شاهد و تیمار ۱۰۰ تن در هکتار بعد از ۱۲۰ روز (ماه پنجم)

جدول ۴- برخی عوامل موثر در رشد گیاه

پارامتر (واحد)	مقدار
هدایت الکتریکی (دسی زیمنس در متر)	۸/۴۰
کل مواد آلی (درصد)	۳/۴۶
منیزیم (میلی گرم در کیلوگرم)	۸۷۰۰
کلسیم (میلی گرم در کیلوگرم)	۳۷۰۰۰
سدیم (میلی گرم در کیلوگرم)	۶۰۰۰
پتاسیم (میلی گرم در کیلوگرم)	۲۵۰۰
سولفات کل (میلی گرم در کیلوگرم)	۲۶۱۰۰
کلراید (میلی گرم در کیلوگرم)	۶۵۷۸
فسفر کل (درصد)	۱/۱۵
نیتрат (درصد)	۰/۰۴
آمونیاک (درصد)	۰/۱۰
بر (میلی گرم در کیلوگرم)	۶۰
کبالت (میلی گرم در کیلوگرم)	۳
نیکل (میلی گرم در کیلوگرم)	۲۳
کادمیم (میلی گرم در کیلوگرم)	۵
روی (میلی گرم در کیلوگرم)	۱۴۱۹
کروم (میلی گرم در کیلوگرم)	۱۲۳
مس (میلی گرم در کیلوگرم)	۱۵۶
سرب (میلی گرم در کیلوگرم)	۱۶۲

۳-۳- بررسی خاک تیمار شده با لجن و گیاه

نتایج آزمایش‌های نمونه‌های خاک تیمار شده با لجن در بارگذاری‌های صفر، ۵۰ و ۱۰۰ تن در هکتار که حدود ۵ ماه بعد از کاشت آزمایشی گل اطلسی انجام گرفت، در جدول ۵ ارائه شده است. در جدول ۶ عناصر کم مصرف ضروری برای رشد گیاه در خاک اندازه‌گیری و با میزان حداقل این عناصر در خاکهای شنی مقایسه شده است [۱۹].

پارامترهای انتخابی در این جداول بیانگر اثرات لجن بر خواص فیزیکی و شیمیایی خاک به شرح ذیل است:

۱- افزایش درصد رطوبت اشباع: روند افزایش از ۲۷/۲ درصد در نمونه شاهد به ۳۲/۵ درصد در تیمار ۱۰۰ تن در هکتار بود (جدول ۵). بر این اساس، آزمایش مذکور بیانگر افزایش ظرفیت نگهداری آب در اثر تیمار با لجن فاضلاب بود که با افزایش بارگذاری رابطه مستقیم داشت [۸، ۱۰، ۲۰]. اثر مطلوب لجن فاضلاب بر افزایش آب قابل استفاده، به‌ویژه در مناطق مرکزی ایران که با کمبود آب روبرو هستند، بسیار اهمیت دارد [۸].

۲- افزایش ماده آلی: در نتایج آزمایش‌های خاک تیمار شده با لجن، این افزایش دیده شد به طوری که در نمونه ۱۰۰ تن در هکتار، میزان افزایش ماده آلی تقریباً ۲/۳ برابر نمونه شاهد بود. افزایش

ماده آلی در تولید و آزادسازی نیتروژن، گوگرد، آهن و روی نقش بسیار مهمی دارد [۲۱].

۳- ثابت بودن pH: تغییرات قابل توجهی در نتایج اندازه‌گیری pH نمونه‌های خاک در اثر کاربرد لجن ملاحظه نگردید. در توجیه این پدیده می‌توان گفت که در خاکهای آهکی، هم به دلیل حضور آهک و هم ظرفیت بافری خاک، تغییرات pH به سختی اتفاق می‌افتد [۲۲].

۴- افزایش CaCO_3 : میزان کربنات کلسیم معادل نیز با افزودن بارگذاری لجن در خاک افزایش داشت که با توجه به میزان بالای غلظت آن در لجن و خاک، قابل انتظار بود.

۵- ثابت بودن هدایت الکتریکی: در آزمایش‌های حاضر، تغییرات هدایت الکتریکی نمونه‌های خاک محسوس نبود و روند کاهشی داشت. این اثر با توجه به زمان نمونه‌برداری (۵ ماه بعد از بارگذاری لجن) می‌تواند ناشی از بارندگی‌های زیاد بهاره و شستشوی نمکها از خاک سطحی در اثر این بارندگی‌ها باشد. محققان دیگر اشاره نموده‌اند که هدایت الکتریکی با افزودن لجن به خاک در حجم و تعداد سالهای مصرف افزایش می‌یابد [۱۷]. هرچند ممکن است افزودن لجن در مراحل اولیه باعث افزایش هدایت الکتریکی خاک شده باشد ولی گذشت زمان پس از نخستین نمونه‌برداری، باعث کاهش این پارامتر می‌گردد [۸].

جدول ۵- مقادیر عناصر پر مصرف و برخی پارامترها در نمونه های خاک تیمار شده با لجن

پارامتر (واحد)	شاهد	۵۰ تن در هکتار لجن	۱۰۰ تن در هکتار لجن
رطوبت اشباع (درصد)	۲۷/۲	۲۹/۰	۳۲/۵
EC (دسی زیمنس در متر)	۲/۶	۲/۶	۲/۱
pH	۸/۶	۸/۶	۸/۸
CaCO ₃ معادل (درصد)	۵۳/۷	۷۲/۳	۷۳/۶
ماده آلی (درصد)	۱/۲	۱/۵	۲/۸
TN (درصد)	۰/۱	۰/۲	۰/۳
K قابل دسترس (میلی گرم به کیلوگرم خاک)	۱۴۸/۹	۱۴۶/۲	۱۲۲/۵
P قابل دسترس (میلی گرم به کیلوگرم خاک)	۶/۳	۷/۶	۱۳/۹

جدول ۶- غلظت عناصر کم مصرف ضروری در نمونه های خاک (میلی گرم در کیلوگرم خاک)

پارامتر	حد بحرانی در خاک	شاهد	۵۰ تن در هکتار لجن	۱۰۰ تن در هکتار لجن
آهن	۱۰	۰/۵۸	۱/۶۲	۲/۶۰
منگنز	۸	۱/۶۴	۱/۸۸	۲/۲۶
روی	۱	۰/۴۰	۱/۱۴	۴/۵۶
مس	۱	۰/۲۶	۰/۳۴	۰/۵۸

جدول نشان می دهد که با وجود افزایش معنی دار فسفر قابل استفاده در خاکهای تیمار شده با لجن، درصد فسفر به دست آمده از نتایج استخراج این عنصر در نمونه های گیاهی، تغییرات محسوسی را نشان نمی دهد که می تواند به رفتار پیچیده گیاهان در جذب ترکیبات خاک و یا افزایش ماده آلی در خاک ارتباط داشته باشد. افزایش ماده آلی در خاک، توانایی خاک در جذب فسفر را کاهش می دهد زیرا اسیدهای آلی حاصل از این مواد به صورت تبادل لیگاندی، جذب سطح شده و برای محللهایی که جذب صورت می گیرد، با فسفر رقابت می کنند [۲۲]. در بررسی نتایج آزمایش ها، درصد پتاسیم استخراج شده از نمونه های گیاهی روند کاهشی داشته که می تواند در ارتباط مستقیم با مقادیر قابل جذب آن در خاک باشد.

در مورد عناصر کم مصرف ضروری همان طور که نتایج نشان می دهد، میزان افزایش غلظت این عناصر در اثر کاربرد لجن متفاوت بود به نحوی که در مورد مس، حداقل افزایش و در مورد روی حداکثر افزایش اتفاق افتاد. این اثر می تواند ناشی از تفاوت غلظت این عناصر در لجن استفاده شده باشد (مقایسه غلظت روی و مس در لجن در جدولهای ۳ و ۴). از طرف دیگر می توان این موضوع را به تأثیر خاک بر لجن و وجود ترکیبات کمپلکس کننده در بخش های آلی و سطوح اجزای معدنی خاک مرتبط دانست که بعضاً به صورت انتخابی با یکی از عناصر، کمپلکس پایدار تشکیل می دهند. در مورد بعضی دیگر از عناصر مانند سرب استخراج شده از نمونه های گیاهی، با افزایش

۶- افزایش نیتروژن و فسفر کل: افزودن لجن فاضلابی باعث شد نیتروژن کل از ۱۲/۰ درصد در خاک شاهد به ۰/۳ درصد در خاک تیمار شده با ۱۰۰ کیلوگرم لجن در هکتار افزایش یابد. بررسی میزان فسفر نیز بیانگر همین مسئله بود به نحوی که میزان فسفر قابل استفاده در خاک بعد از ۵ ماه در تیمار ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار حدود دو برابر تیمار شاهد بود.

۷- کاهش غلظت پتاسیم: علی رغم حضور پتاسیم در نمونه لجن، تغییرات غلظت روند افزایشی نداشت. این امر با توجه به پیچیدگی های ترکیبات خاک دور از انتظار نبود اما این احتمال هم وجود دارد که با توجه به اینکه حرکت پتاسیم در خاک تحت شرایط خاص اتفاق می افتد، در خاکهای شنی به دلیل پایین بودن میزان نسبی کلوئیدهای فعال در جذب کاتیون ها، مقدار بیشتری از پتاسیم توسط آب آبیاری به اعماق شسته شده باشد [۲۳]. به طور کلی در سایر تحقیقات نیز به افزایش مواد مغذی پر مصرف مانند نیتروژن، فسفر و پتاسیم در خاک در اثر کاربرد لجن اشاره شده است. البته انتظار می رود بخش عمده نیتروژن و فسفر لجن که به صورت آلی هستند، از طریق فرایندهای زیستی به تدریج معدنی شده و در اختیار گیاه قرار گیرند [۱۸ و ۲۴].

۸- عناصر ریز مغذی: مطابق جدول ۶، تغییرات افزایشی این عناصر در خاک با میزان بارگذاری رابطه مستقیم دارد و با توجه به مقایسه با مقادیر بحرانی کمبود آنها در خاک، استفاده از لجن می تواند در بهبود کیفیت خاک مؤثر باشد. نتایج آزمایش های گل اطلسی پرورش یافته در سه نمونه خاک تیمار شده با لجن در جدول ۷ ارائه شده است. بررسی این

جدول ۷- غلظت عناصر موثر در رشد گیاه پرورش یافته در خاکهای تیمار شده

پارامتر (واحد)	شاهد	۵۰ تن در هکتار لجن	۱۰ تن در هکتار لجن
پتاسیم (درصد)	۱/۰۰	۰/۸۸	۰/۳۶
فسفر (درصد)	۰/۳۴	۰/۳۲	۰/۳۴
آهن (میلی‌گرم به کیلوگرم ماده خشک گیاه)	۴۳۳/۷۵	۵۳۰/۴۴	۶۱۲/۰۰
منگنز (میلی‌گرم به کیلوگرم ماده خشک گیاه)	۶۸/۵۰	۹۵/۱۳	۱۲۸/۲۵
روی (میلی‌گرم به کیلوگرم ماده خشک گیاه)	۳۲/۵۰	۴۰/۵۸	۵۰/۷۵
مس (میلی‌گرم به کیلوگرم ماده خشک گیاه)	۲۲/۰۰	۳۱/۵۴	۳۷/۷۵
کادمیم (میلی‌گرم به کیلوگرم ماده خشک گیاه)	ناچیز	ناچیز	ناچیز
سرب (میلی‌گرم به کیلوگرم ماده خشک گیاه)	۵۰۴/۰۰	۵۰۰/۰۰	۴۷۴/۰۰

کاهش یافت. در نمونه‌های گیاهی، غلظت عناصر ریز مغذی مانند آهن، روی، منگنز و مس در نتایج تجزیه نمونه‌های گیاهی رشد یافته در خاک تیمار شده با لجن به تناسب بارگذاری، روند افزایشی داشت ولی غلظت کادمیم در بافت نمونه از گیاه رشد یافته در خاک تیمار شده با لجن، ناچیز بود و میزان غلظت سرب نیز تغییرات محسوسی را نشان نداد.

۵- پیشنهاد

در خاتمه توصیه می‌گردد که با توجه به ارزش لجن به‌عنوان کود و شرایط توریستی جزیره کیش و نامناسب بودن کیفیت خاک منطقه از نظر حاصلخیزی و کشاورزی، از لجن به‌منظور بهبود خاک برای توسعه فضای سبز و جنگل‌کاری حتی الامکان با درختان بومی (گیاهان مقاوم) و یا انواع مقاوم به شوری استفاده شود. در صورت کاشت سایر انواع درختان، حداقل شش ماه زمان نیاز است تا عوامل محدودکننده مانند یون‌های کلسیم و سدیم در خاکهای تیمار شده تعدیل و اثر مثبت آن در رشد گیاه نمایان گردد.

۶- تشکر و قدردانی

این تحقیق از طرف سازمان منطقه آزاد کیش مورد حمایت قرار گرفته که به این وسیله تشکر و قدردانی می‌شود.

میزان بارگذاری، تغییرات غلظت محسوس نبود. همچنین تغییرات غلظت کادمیم نیز در نمونه‌های گیاه ناچیز بود. این رفتار متفاوت را می‌توان به پیچیدگی‌های رفتار گیاه در جذب ترکیبات خاک نسبت داد. اما به‌طور کلی با مدیریت صحیح، در صورت تأمین بارگذاری مناسب لجن در زمین ممکن است ۵۰۰ سال طول بکشد تا میزان فلزات در خاک به حد بحرانی برسد [۲۵].

۴- نتیجه‌گیری

در مراحل اولیه، رشد گلهای اطلسی در تیمار شاهد نسبت به تیمارهای دیگر بسیار مطلوب بود. این مسئله تا اواخر دوره یعنی تا قبل از باران‌های بهاره ادامه داشت ولی بعد از گذشت ۵ ماه و شروع بارش، گلهای در نمونه‌های خاک تیمار شده رشد خوبی نمودند. احتمالاً در اوایل دوره با توجه به حساس بودن گلهای به شوری زیاد لجن، رشد گیاه کند بوده که با بارش باران‌های بهاره و در نتیجه کاهش شوری خاک و نیز هدایت الکتریکی، رشد گیاه به‌خصوص در تیمار ۱۰۰ و ۷۵ تن در هکتار در نمونه‌های اصلاح شده خاک تغییر و بهبود یافت. بررسی نتایج آنالیز خاک بیانگر اثر افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاکهای تیمار شده با لجن بود که با افزایش بارگذاری رابطه مستقیم داشت. با افزایش میزان بارگذاری در خاک، غلظت پارامترهای نیتروژن و فسفر افزایش و غلظت پتاسیم

۷- مراجع

- 1- Iranian National Committee on Irrigation and Drainage. (2001). *Use of treated wastewater in agriculture*, Iranian National Committee on Irrigation and Drainage Pub., Tehran, Iran. (In Persian)
- 2- Meozzi, P., Bresters, A. R., Coulomb, I., Deak, B., Matter B., Saabye, A., Spinosa, L., Utvik, A., and Uhre, L. (1997). "Sludge treatment and disposal, management approaches and experiences." *European Environmental Agency, ISWAs Working Group on Sewage and Waterwork Sludge*, (EEC), Denmark, 10-22.
- 3- Scottish Environment Protection Agency. (2004). "Land restoration briefing notes." <<http://www.Sepa.org.uk>>(March 8, 2004).
- 4- EPA. (2006). *Emerging technologies for biosolid management*, Office of Wastewater Management, U.S Environmental Protection Agency, Washington D.C.

- 5- Cook. B. M. (1994). *A plain english guide to the part biosolid rule*, EPA/832/R-92/003, Washinton D.C.
- 6- Wang Pei, F., Zhang Song, H., Wang, C., Hou, J., Geo Peng, C., and Lin Zhi, P. (2008). "Study of heavy metal in sewage sludge and in Chinese cabbage grown in soil amended with sewage sludge." *African J. of Biotechnology*, 7(9), 1329-1334.
- 7- Dolgen, D., Alpaslan Necdet, M., and Delen, N. (2007) "Agriculture recycling of treatment- plant sludge: A case study for a vegetable, processing factory." *J. of Environmental Management*, 84, 274-281.
- 8- Bahremand, M. R., Afyuni M., Hajabbassi, M.A., and Rezaeinejad, Y. (2003). "Effect of sewage sludge on soil physical properties." *J. of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*, 6 (4), 1-9.
- 9- Xie, Q., Zhang, X., Wang, D., Li, J., Qin, Y., and Chen, Y. (2001). "Research on the effect of sludge fertilizer on farmland and the safety of heavy metals in a karst area." *Environmental Geology*, 41, 352-357.
- 10- Evanylo, G. K., T. (1999). *Agriculture land application of biosolid in Virginia: Risks and concern*, Virginia Tech. and Virginia State University Pub., Virginia.
- 11- Singh, R. P., and Agrawal, M. (2008). "Potential benefits and risks of land application of sewage sludge." *Wast Management*, 28, 347-358.
- 12- Alvarenga, P., Palma, P., Goncalves, A.P., Fernandes, R.M., Cunha-Queda, A.C., Duarte, E., and Vallini, G. (2007). "Evolution of chemical and ecotoxicological characteristics of biodegradable organic residues for application to agricultural Land." *Environmental International*, 33, 505-513.
- 13- Panahpour, E., Afyuni, M., Homaei, M., and Hudaji, M. (2008). "Cd, Cr and Co motion in soil treated with sewage sludge and salts of the metals and their uptake by vegetable crops: A case study in east Isfahan." *J. of Water and Wastewater*, 67, 9-17. (In Persian)
- 14- Saze Pardazi Iran Consulting Eng. Co. (2007). *Preparation study of integrated coastal zone management and environment of Kish Island*, Tehran. (In Persian)
- 15- Kish Free Zone Organization. (1995). *1st revised report of integrated plan of Kish development*, Bita Pub., Kish. (In Persian)
- 16- Esfandyar Poor, B. I. (2001). "Investigation of genesis, classification and preparation of Kish island soil map." M.Sc. Thesis, School of Agriculture, University of Tehran. (In Persian)
- 17- Karimpour, M. (2007). "Effect of wastewater sludge on mercury concentration in soil and corn plant." M.Sc. Thesis, Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University., City of Noor. (In Persian)
- 18- Nazari, M. A., Shariatmadari, H., Afyuni, M., Mobli, M., and Rahili, Sh. (2006). "Effect of industrial sewage-sludge and effluents application on concentration of some elements and dry matter yield of wheat, barley and corn." *J. of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*, 10 (3), 97-111.
- 19- Malakouti, M.J., Moshiri, F., Gheibi, M.N., and Molavi, S. (2005). *Desirable nutrient elements in soil and some country crops, Part 2: Garden Products*, Technical Bulletin Vol. 406, Soil and Water Research Institute, Agriculture Research and Education Organization, Sana Pub., Tehran. (In Persian)
- 20- Singh, R. P., and Agrawal, M. (2007). "Effects of sewage sludge amendment on heavy metal accumulation and consequent responses of beta vulgaris plants." *Chemospher*, 67, 229-240.
- 21- Ebrahimi, S., Malakouti, M. J., Khavazi, K., and Asgharzadeh, A. (2005). *Organics and fertility degree relationship with increasing soil biological activity*, Soil and Water Research Institute, Technical Bulletin Vol. 471, Tehran. (In Persian)
- 22- Vaseghi, S., Afyuni, M., Shariatmadari, H., and Mobli, M. (2003). "Effects of sewage sludge and soil pH on micronutrient and heavy metal availability." *J. of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*, 7 (3), 95-106.
- 23- Bazargan, K., Malakouti, J., and Shahbi A.A. (2005). *Potassium in Iranian agriculture*, Soil and Water Research Institute Pub., Tehran. (In Persian).
- 24- Mahidia, U.N. (1981). *Water pollution and disposal of wastewater on land*, Tata- McGraw-Hill Pub., USA.
- 25- Chang, C., Andrew, P., Genxing, P., Albert, L., and Asano, T. (2002). *Developing human health, related chemical guideline for reclaimed water and sewage sludge application in agriculture*, Prepared for World Health Organization (WHO), USA.