

# Effect of Sewage Sludge on Some Macronutrients Concentration and Soil Chemical Properties

Sakine Vaseghi\*, Majid Afyuni\*\*, Hossein Shariatmadari\*\*, and Mostafa Mobli\*\*\*

## Abstract

Sewage sludge as an organic fertilizer has economic benefits. Land application of sewage sludge improves some soil chemical and physical properties. The objective of this study was to evaluate the effect of sewage sludge on soil chemical properties and macronutrient concentration in acid and calcareous soils. The study was carried out in a greenhouse using factorial experiment design as completely randomized with three replications. Treatments included : four levels of 0 or control, 50, and 100, 200 ton ha<sup>-1</sup> sludge and one level of chemical fertilizer (F) consisting of 250 kg ha<sup>-1</sup> diammonium phosphate and 250 kg ha<sup>-1</sup> urea, and soil including soils of Langroud, Lahijan, Rasht, and Isfahan. As a major vegetable , crop spinach (*Spinacea oleracea*) was grown in the treated soils. Soils samples were analyzed for their chemical properties after crop harvesting. Application of sewage sludge significantly increased plant available k, P, total N, organic matter, electrical conductivity and cation exchange in the soils. Soils pH significantly decreased as a result sewage sludge application. The effect of sewage sludge on plant yield was significant. Overall, the results indicated that sewage sludge is potentially a valuable fertilizer. However, the sludge effect on soil EC and heavy metals should be taken into consideration before its widespread use on cropland.

**Key Words :** Sewage Sludge, Soil Chemical Propertin, Maero Nutrients *Spinacea Oleracea*

\*Grad. Student of Soil Science, Isfahan University of Technology  
\*\*Associate Professors of Soil Science, Isfahan University of Technology  
\*\*\*Associate Professor of Horticulture, Isfahan University of Technology

# اثر لجن فاضلاب بر غلظت تعدادی از عناصر غذایی و ویژگی‌های شیمیایی خاک

سکینه واثقی\* مجید افیونی\*\* حسین شریعتمداری\*\*  
مصطفی مبللی\*\*\*

(دریافت ۸۳/۵/۵ پذیرش ۸۳/۱۲/۱۸)

## چکیده

لجن فاضلاب به عنوان کود آلی در زمین‌های کشاورزی، فواید اقتصادی بی‌شماری دارد. لجن فاضلاب بر خواص شیمیایی و غلظت عناصر پر مصرف در خاک اثر می‌گذارد. هدف این تحقیق، ارزیابی تأثیر لجن فاضلاب بر خواص شیمیایی خاک و غلظت عناصر پر مصرف در خاک‌های اسیدی و آهکی تحت کشت اسفناج می‌باشد. این تحقیق، به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در گلخانه انجام شد. تیمارها شامل لجن فاضلاب، در سطوح صفر یا شاهد، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ تن در هکتار و یک سطح کود شیمیایی شامل ۲۵۰ کیلوگرم فسفات دی آمونیوم و ۲۵۰ کیلوگرم اوره در هکتار (به صورت سرک) در چهار خاک از مناطق رشت، لنگرود، لاهیجان و اصفهان تحت کشت اسفناج قرار گرفتند. لجن فاضلاب باعث افزایش معنی‌دار فسفر و پتاسیم قابل جذب، نیتروژن کل، درصد ماده آلی، هدایت الکتریکی و ظرفیت تبادل کاتیونی خاک‌ها گردید. pH خاک‌ها با افزایش سطح لجن فاضلاب کاهش معنی‌داری نشان داد. تأثیر لجن فاضلاب بر عملکرد اسفناج نیز معنی‌دار بود. بنابراین می‌توان نتیجه‌گیری کرد که لجن فاضلاب از پتانسیل کودی زیادی برخوردار است و می‌توان از آن در باروری خاک استفاده کرد؛ اما قبل از استفاده از لجن فاضلاب در سطح وسیعی از زمین‌های کشاورزی باید اثر آن را بر افزایش عناصر سنگین مورد توجه قرار داد.

**واژه‌های کلیدی:** لجن فاضلاب، ویژگی‌های شیمیایی خاک، عناصر غذایی و اسفناج

\* دانشجوی کارشناسی ارشد گروه خاک‌شناسی دانشگاه صنعتی اصفهان  
\*\* دانشیار گروه خاک‌شناسی دانشگاه صنعتی اصفهان  
\*\*\* دانشیار گروه باغبانی دانشگاه صنعتی اصفهان

گزارش کردند که افزودن لجن فاضلاب به مقدار ۲۴۰ تن در هکتار باعث افزایش هدایت الکتریکی خاک از ۰/۴۱ به ۵/۵ دسی زیمنس بر متر شد و در پایان فصل رشد مقدارش به ۳/۹ دسی زیمنس بر متر رسید [۶].

لجن فاضلاب، بر ظرفیت تبادل کاتیونی خاک نیز اثر می‌گذارد. اپستین گزارش کرد که با افزودن ۲۴۰ تن در هکتار لجن فاضلاب به خاکی که CEC آن بین ۰/۰۵۵ تا ۰/۰۶۴ سانتی مول بار بر کیلوگرم خاک است، ظرفیت تبادل کاتیونی خاک به ۰/۱۵۴ سانتی مول بار بر کیلوگرم خاک می‌رسد، ولی پس از دو سال ظرفیت تبادل کاتیونی کاهش می‌یابد [۶]. او، این افزایش را به ظرفیت تبادل ماده آلی لجن و کاهش بعدی را به شکسته شدن ماده آلی لجن نسبت داد.

با توجه به توصیه‌های وزارت کشاورزی مبنی بر مصرف کمتر کودهای شیمیایی، به منظور پیش‌گیری از آلودگی محیط زیست و همچنین با توجه به دلایل اقتصادی که کشاورزان را به مصرف بیشتر کودهای آلی ترغیب نموده؛ بررسی اثر لجن فاضلاب بر خاک از اهمیت خاصی برخوردار شده است. به همین دلیل، این طرح با هدف ارزیابی تأثیر لجن فاضلاب بر غلظت عناصر پر مصرف، و تعدادی از خصوصیات شیمیایی در خاک‌های اسیدی و آهکی تحت کشت اسفناج اجرا شد.

## ۲- مواد و روش‌ها

این تحقیق، در گلخانه و آزمایشگاه‌های تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان انجام شد. خاک‌های مورد آزمایش از استان‌های گیلان و اصفهان؛ به ترتیب از مناطق رشت، لنگرود و لاهیجان در استان گیلان و منطقه لورک اصفهان انتخاب شدند. پس از تعیین محل نمونه برداری، نمونه‌های خاک از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری سطح خاک برداشت شده و به محل انجام تحقیق انتقال یافتند. لجن فاضلاب، از تصفیه‌خانه شاهین شهر اصفهان تهیه شد که از نوع هضم شده به صورت بی‌هوازی بود. لجن، بعد از مرحله نهایی تصفیه فاضلاب کاملاً خشک و شکننده شده بود.

نمونه‌های خاک و لجن، ابتدا برای تعیین تعدادی از ویژگی‌های شیمیایی مورد تجزیه قرار گرفتند. در مرحله بعد، طی یک آزمایش گلدانی اثرات کاربرد لجن فاضلاب با استفاده از آزمایش فاکتوریل در قالب یک طرح کاملاً تصادفی مورد بررسی قرار گرفت. تیمارهای مورد آزمایش عبارت بودند از: لجن فاضلاب شامل سطح صفر یا شاهد، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ مگا گرم در هکتار و یک

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 [۱]. پیش از این، ارزش کودی لجن فاضلاب در تحقیقات مختلف نشان داده شده است [۲ و ۳]. اضافه کردن لجن فاضلاب به خاک باعث افزایش عناصر غذایی پرمصرف گیاهی، به ویژه نیتروژن و فسفر می‌گردد. لجن فاضلاب می‌تواند بخش بزرگی از نیتروژن مورد نیاز محصولات را تأمین کند [۴ و ۵]؛ در حالی که اپستین و همکاران، گزارش کردند که افزودن لجن فاضلاب به خاک، فسفر قابل جذب گیاه در خاک را افزایش می‌دهد [۶]؛ در حالی که افزایش ماده آلی 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 N و P کمتر، و در حدود چند دهم درصد است. بنابراین پتاسیمی که از این طریق وارد خاک می‌شود، تأمین کننده نیاز گیاه نبوده و برای تأمین نیاز گیاه به این عنصر علاوه بر مصرف لجن باید از منابع شیمیایی نیز استفاده شود [۷].

لجن فاضلاب علاوه بر تأثیر بر غلظت عناصر غذایی موجود در خاک، بر خواص شیمیایی خاک، از قبیل pH، هدایت الکتریکی و ظرفیت تبادل کاتیونی نیز اثر می‌گذارد. در تحقیقی که در ایالت واشنگتن آمریکا انجام شد، بعد از استفاده ۱۷ ساله از لجن فاضلاب شهری در جنگل، مشاهده شد که کربن، نیتروژن و ظرفیت تبادل کاتیونی خاک، افزایش و pH خاک کاهش یافته که این امر محدود به افق A بوده است [۱].

تغییر در pH خاک، بستگی به خصوصیات خاک از جمله بافت و ظرفیت بافری آن دارد [۸]. بسیاری از محققان، گزارش کرده‌اند که با اضافه کردن لجن به خاک، pH خاک کاهش می‌یابد. آنها، دلیل این کاهش را، تجزیه مواد آلی موجود در لجن می‌دانند که منجر به تولید اسید کربنیک و اسیدهای آلی مثل اسید سیتریک، اسید مالیک و پروپیونیک می‌شود و البته نیتریفیکاسیون، سولفوریکاسیون و اکسیداسیون مواد آلی نیز در این مورد مؤثر است. لونت و همکاران، در تحقیقی مشاهده کردند که اضافه کردن لجن فاضلاب به میزان ۴۰ تن در هکتار به یک خاک لوم سیلتی با pH اولیه ۵/۷، پس از زمان‌های یک، شش و بیست ماهه موجب تغییر pH به ۵/۷، ۵/۹ و ۵/۱ شد؛ البته وقتی pH اولیه خاک کم باشد، افزودن لجن دارای آهک سبب افزایش pH خاک می‌شود [۹].

لجن فاضلاب، حاوی مقدار زیادی نمک است که باعث افزایش هدایت الکتریکی خاک می‌گردد. اپستین و همکاران،

<sup>1</sup> Cation Exchange Capacity

سطح کود شیمیایی شامل ۲۵۰ کیلوگرم فسفات دی آمونیوم و ۲۵۰ کیلوگرم اوره در هکتار. این آزمایش در سه تکرار در خاک‌های رشت، لنگرود، لاهیجان و اصفهان، انجام شد. گیاه اسفناج<sup>۱</sup> که از سبزیجات مهم است و به دلایل اقتصادی، از لجن فاضلاب برای کوددهی آن استفاده می‌شود، برای این آزمایش انتخاب شد.

لجن فاضلاب و کود شیمیایی فسفات دی آمونیوم، در مقادیر ذکر شده، به هر چهار خاک اضافه و داخل گلدان‌های پلاستیکی (با ظرفیت تقریبی ۳ کیلوگرم) ریخته شد. داخل هر گلدان، ۱۰ بذر اسفناج کشت شد و پس از استقرار گیاهان، تعداد بوته‌ها به ۴ عدد تنک گردید. در طول دوره رشد گیاهان، آبیاری و وجین علف‌های هرز با دست انجام شد. آبیاری گلدان‌ها با آب شهر و هر ۳ الی ۴ روز یک‌بار انجام گرفت. هر هفته یک‌بار نیز گلدان‌ها کاملاً جا به جا شدند تا تمام گیاهان در شرایط محیطی (نور و گرما) یکسان قرار گیرند. برای تیمار کود شیمیایی، در اواسط دوره رشد گیاهان، کود اوره به صورت سرک اضافه شد و برای بقیه تیمارها از هیچ نوع کود شیمیایی استفاده نشد. در این آزمایش، هیچ‌گونه سم آفت‌کشی به کار نرفت.

۴ هفته پس از کاشت، گیاهان برداشت شدند، و بعد از خشک شدن در آن تهویه‌دار (در دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت)، اندام هوایی و ریشه آن‌ها جداگانه توزین شد و هم‌زمان با برداشت گیاهان، از خاک گلدان‌ها نیز نمونه‌برداری شد. نمونه‌های خاک، پس از انتقال به آزمایشگاه هوا خشک، کوبیده شده و سپس از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شدند.

فسفر قابل جذب، به روش اولسن و پتاسیم قابل جذب، به وسیله استات آمونیوم عصاره‌گیری شد [۱۰]. غلظت فسفر و پتاسیم، به ترتیب توسط دستگاه اسپکتروفتومتر هیتاچی مدل ۲۰-۲۰۰ و فیلم فتومتر مدل ۴۱۰ تعیین شد. نیتروژن کل خاک‌ها و لجن فاضلاب، به روش کلدال و ماده آلی به روش اکسیداسیون ترا

<sup>۱</sup> Spinacea Oleracea

اندازه‌گیری شد [۱۱]. pH نمونه‌های خاک در گل اشباع و هدایت الکتریکی آن‌ها در عصاره اشباع، به روش‌های معمول اندازه‌گیری شد. غلظت فسفر و پتاسیم در لجن فاضلاب در عصاره‌های حاصل از هضم لجن با اسید نیتریک غلیظ، اسید کلریدریک ۷۰ درصد و آب اکسیژنه ۳۰ درصد اندازه‌گیری شد [۱۲]. خواص شیمیایی لجن فاضلاب نیز، با همان روش‌هایی که برای نمونه‌های خاک ذکر شد، تعیین گردید.

آنالیز آماری با استفاده از نرم‌افزار SAS(98) صورت گرفت.

### ۳- نتایج و بحث

#### ۳-۱- خصوصیات خاک‌ها

برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد آزمایش در جدول ۱ نشان داده شده است. خاک‌های مورد آزمایش، دارای pH متفاوت می‌باشند. خاک رشت، دارای کمترین و خاک اصفهان دارای بیشترین pH هستند. این خاک‌ها، از لحاظ ویژگی‌های دیگر، از قبیل هدایت الکتریکی، ظرفیت تبادل کاتیونی، نیتروژن، فسفر و پتاسیم نیز با یکدیگر تفاوت دارند. خاک رشت، مقدار ماده آلی، نیتروژن، فسفر و ظرفیت تبادل کاتیونی بالاتری نسبت به خاک‌های دیگر دارد. خاک اصفهان دارای بیشترین هدایت الکتریکی و پتاسیم قابل جذب است که می‌تواند به دلیل موقعیت آب و هوایی اصفهان باشد. از نظر بافت، خاک‌های اصفهان و لنگرود با خاک‌های رشت و لاهیجان تفاوت دارند.

#### ۳-۲- خصوصیات لجن فاضلاب

جدول‌های ۲ و ۳، نتایج تجزیه شیمیایی نمونه لجن فاضلاب مورد استفاده در تحقیق را نشان می‌دهد. درصد نیتروژن، فسفر و پتاسیم لجن فاضلاب نیز به ترتیب ۳/۸، ۰/۶۲ و ۰/۲۳ درصد می‌باشد. با توجه به محدوده معرفی شده غلظت این عناصر در لجن فاضلاب نقاط مختلف دنیا، که به ترتیب ۱۱/۶-۰/۵، ۰/۳-۱۴/۳ و ۰/۵-۲/۶۴ درصد می‌باشد، غلظت عناصر فوق

جدول ۱- برخی خواص فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد آزمایش

شماره نمونه	منطقه نمونه‌برداری	رده‌بندی خاک	بافت	pH	EC <sub>e</sub> (dS/m)	ماده آلی (g/kg)	CEC (Cmol/kg)	نیتروژن (g/kg)	فسفر (g/kg)	پتاسیم (g/kg)
۱	رشت	Calcic Argiudolls	لوم رسی	۶/۸	۱/۴	۲۵	۳۱/۶	۲/۸	۱۲۰	۱۹۰
۲	لنگرود	Typic Hapludolls	لوم رسی شنی	۴/۸	۱/۰	۱۹	۱۴/۵	۱/۵	۶۵	۱۵۰
۳	لاهیجان	Typic Hapludolls	لوم رسی	۵/۷	۱/۰	۱۰	۱۹/۵	۲/۰	۴۷	۲۳۰
۴	اصفهان	Typic Haplargids	رسی	۷/۹	۳/۰	۶	۱۳/۴	۰/۹	۳۵	۲۴۵

در لجن فاضلاب مورد استفاده، در محدوده مذکور است. بیش از ۲۶ درصد ماده خشک لجن فاضلاب را مواد آلی تشکیل می‌دهد، که این مقدار با توجه به محدوده کربن آلی در لجن فاضلاب نقاط مختلف دنیا که ۱۸ تا ۳۹ درصد می‌باشد، رقم قابل توجهی است. هدایت الکتریکی لجن فاضلاب، به دلیل وجود املاح فراوان، برابر با ۱۳/۵ دسی زیمنس بر متر می‌باشد. نتایج تجزیه لجن در تحقیقات متعدد نشان می‌دهد که وجود مقدار زیاد عناصری مثل سدیم و کلسیم در لجن، باعث بالا بودن هدایت الکتریکی لجن فاضلاب می‌شوند.

pH لجن مورد استفاده تقریباً اسیدی است (۶/۵)، که دلیل آن می‌تواند حضور اسیدهای آلی موجود در بازمانده‌های آلی و یا اسیدهای معدنی باشد که همراه با پساب فاضلاب‌های صنعتی وارد سیستم انتقال فاضلاب می‌شوند.

### ۳-۳- تأثیر لجن فاضلاب بر غلظت عناصر غذایی و خصوصیات شیمیایی خاک

#### ۳-۳-۱- اثر بر تعدادی از عناصر غذایی بر مصرف نیتروژن

مطابق جدول ۴ کاربرد لجن فاضلاب باعث تفاوت معنی‌داری در مقدار نیتروژن خاک‌ها شد. لجن فاضلاب در خاک لاهیجان باعث افزایش نیتروژن از ۰/۱۶ درصد در تیمار شاهد به ۰/۵۱ درصد در تیمار ۲۰۰ مگاگرم در هکتار گردید. تیمار کود شیمیایی هم در خاک باعث افزایش معنی‌دار درصد نیتروژن خاک نسبت به شاهد شد. هم‌چنین لجن فاضلاب باعث افزایش نیتروژن خاک‌های رشت، لنگرود و اصفهان به ترتیب از ۰/۱۱، ۰/۲ و ۰/۰۸ درصد در شاهد به ۰/۴۲، ۰/۵۶ و ۰/۴ درصد در تیمار ۲۰۰ مگاگرم در هکتار شد. در هر سه خاک، سطوح لجن فاضلاب نسبت به شاهد، افزایش معنی‌داری نشان دادند. تفاوت درصد نیتروژن نیز در این خاک‌ها، نسبت به شاهد افزایش معنی‌داری نشان داد. تأثیر کود شیمیایی در افزایش درصد نیتروژن خاک‌ها، کمتر از تیمار ۵۰ تن در هکتار لجن فاضلاب بود. فرم اولیه نیتروژن غیر آلی لجن به صورت  $NH_4$  است که تقریباً ۳۰ درصد نیتروژن کل در لجن را تشکیل می‌دهد و با افزایش لجن به خاک، نیتروژن کل به طور معنی‌دار افزایش می‌یابد.

فسفر

افزایش لجن فاضلاب، باعث افزایش معنی‌دار فسفر خاک‌ها شد. در خاک‌های اصفهان و لاهیجان تیمارهای ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ تن در هکتار نسبت به یکدیگر تفاوت معنی‌دار نشان دادند؛ ولی در خاک‌های رشت و لنگرود بین تیمارهای ۵۰ و ۱۰۰ تن در هکتار تفاوت معنی‌دار مشاهده نشد. تیمار کود شیمیایی نیز فسفر خاک‌ها

را نسبت به شاهد به طور معنی‌دار افزایش داد؛ البته این افزایش در خاک رشت در تمام سطوح لجن فاضلاب کمتر بوده است.

تستر و همکاران در تحقیقی مشاهده کردند که در مراحل اعمال تیمار لجن فاضلاب، نیتروژن و فسفر غیر متحرک می‌گردند، ولی بعد از ۱۲۰ روز روند معدنی شدن از سر گرفته می‌شود که نتیجه آن افزایش نیتروژن و فسفر قابل جذب گیاه است [۱۳].

#### پتاسیم

تأثیر لجن فاضلاب بر افزایش پتاسیم خاک‌ها در خاک رشت و لنگرود، بین تیمارهای لجن فاضلاب و شاهد معنی‌دار بود. در خاک اصفهان، تیمار ۵۰ تن لجن در هکتار، افزایش معنی‌دار نسبت به شاهد نشان نداد؛ ولی تیمارهای ۱۰۰ و ۲۰۰ تن لجن در هکتار، باعث افزایش معنی‌داری نسبت به شاهد شد؛ گرچه تفاوت این دو تیمار در این خاک نیز معنی‌دار نگردید. در خاک لاهیجان، سطوح لجن فاضلاب نسبت به شاهد افزایش معنی‌دار نشان دادند، ولی تیمار ۱۰۰ تن لجن در هکتار این خاک تفاوت معنی‌داری با تیمارهای ۵۰ و ۲۰۰ تن لجن در هکتار نشان نداد. تیمار کود شیمیایی و شاهد نیز در خاک‌ها فاقد تفاوت معنی‌دار بودند.

به طور کلی تأثیر لجن فاضلاب بر مقدار پتاسیم خاک‌ها نسبت به فسفر و نیتروژن کمتر بود، که می‌توان آن را به مقدار کم پتاسیم موجود در لجن ارتباط داد. دلیل اصلی این پدیده می‌تواند مربوط به حلالیت بالای املاح پتاسیم باشد؛ به این ترتیب که پس از جدا شدن لجن از فاضلاب، پتاسیم به طور غالب به صورت محلول در پساب باقی می‌ماند و بخش لجن از پتاسیم فقیر خواهد شد. پتاسیمی که از طریق لجن فاضلاب به خاک اضافه می‌شود، اغلب برای نیاز گیاه کافی نیست و برای رفع این نیاز علاوه بر مصرف لجن فاضلاب باید از منابع شیمیایی نیز استفاده شود [۱۴].

#### ۳-۳-۲- اثر کاربرد لجن بر خصوصیات شیمیایی خاک

لجن فاضلاب باعث کاهش pH در هر چهار خاک شده است. در خاک اصفهان، این کاهش در تمام سطوح لجن نسبت به شاهد و تیمار کود شیمیایی معنی‌دار شد. البته بین سطوح ۱۰۰ و ۲۰۰ تن لجن در هکتار خاک اصفهان، تفاوت معنی‌دار مشاهده نشد. در خاک‌های رشت و لنگرود، کاهش pH خاک با افزایش لجن فاضلاب در تیمارهای ۱۰۰ و ۲۰۰ تن لجن در هکتار نسبت به شاهد معنی‌دار شد. در خاک لاهیجان نیز این کاهش فقط در تیمار ۲۰۰ تن لجن در هکتار نسبت به شاهد معنی‌دار شده است.

کاهش pH خاک در تیمارهای لجن، احتمالاً به دلیل تجزیه مواد آلی موجود در لجن است که منجر به تولید عوامل اسیدی می‌گردد. مطابق جدول ۲: pH اولیه لجن فاضلاب نیز می‌تواند باعث کاهش pH خاک‌های آهکی نظیر نمونه خاک اصفهان گردد.

## هدایت الکتریکی عصاره اشباع (EC<sub>e</sub>)

## ماده آلی

لجن فاضلاب، باعث افزایش ماده آلی خاک‌ها شد که این افزایش با مقدار لجن اضافه شده رابطه مستقیم دارد. مقدار ماده آلی خاک رشت، متناسب با افزایش کاربرد لجن فاضلاب، از ۲/۲۸ درصد در تیمار شاهد به ۲/۳۲ درصد در تیمار ۲۰۰ تن لجن در هکتار رسید. مقدار ماده آلی خاک‌های لنگرود، لاهیجان و اصفهان به ترتیب از ۱/۷۹، ۰/۹۵ و ۰/۵۰ درصد تیمار شاهد به ۲/۸۴ و ۲/۰۸ و ۱/۶۹ درصد در تیمار ۲۰۰ تن لجن در هکتار افزایش یافت.

## ظرفیت تبادل کاتیونی

یکی دیگر از اثرات لجن فاضلاب بر خصوصیات شیمیایی خاک، اثر بر ظرفیت تبادل کاتیونی آن‌هاست. در خاک‌های لاهیجان و لنگرود ظرفیت تبادل کاتیونی به ترتیب از ۱۹/۳ و ۱۵/۴ سانتی مول بار در کیلوگرم در تیمار شاهد، به ۲۱/۸ و ۱۶/۰۷ سانتی مول بار در کیلوگرم در تیمار ۲۰۰ تن لجن در هکتار، رسید که این افزایش در خاک لاهیجان بین همه تیمارهای لجن و شاهد، و در خاک لنگرود بین تیمارهای ۱۰۰ و ۲۰۰ تن لجن در هکتار نسبت به شاهد معنی‌دار گردید. افزایش CEC در سطوح ۱۰۰ و ۲۰۰ تن لجن در هکتار خاک‌های رشت و اصفهان نسبت به شاهد معنی‌دار شد. سایر تیمارها، در هر دو خاک فاقد تفاوت معنی‌دار بودند. افزایش CEC خاک در تیمارهای لجن، می‌تواند به دلیل افزایش مقدار ماده آلی خاک باشد.

تیمارهای لجن فاضلاب، باعث افزایش هدایت الکتریکی خاک‌ها شد. در خاک‌های اصفهان و لاهیجان متناسب با افزایش مقدار لجن فاضلاب، شوری خاک‌ها به طور معنی‌داری افزایش یافته است. تیمار کود شیمیایی نیز نسبت به شاهد، افزایش معنی‌دار هدایت الکتریکی این خاک‌ها را نشان داده است که این افزایش، در خاک لاهیجان معادل تیمار ۵۰ تن لجن در هکتار می‌باشد. در خاک‌های رشت و لنگرود هم، روند افزایشی مشاهده می‌شود که در خاک رشت این افزایش فقط در تیمارهای ۱۰۰ و ۲۰۰ تن لجن در هکتار نسبت به شاهد معنی‌دار شده است. تیمارهای کود شیمیایی شاهد و ۵۰ تن لجن در هکتار لجن فاضلاب در این خاک، تفاوت معنی‌دار نشان ندادند. اثر تیمار کود بر افزایش شوری خاک، مربوط به وجود مقادیر زیاد املاح محلول در آن‌ها می‌باشد. تحقیق روی کاهو و چغندر قند نشان داده است که افزودن لجن فاضلاب به خاک باعث افزایش هدایت الکتریکی خاک شده و کاهش محصول کاهو را سبب می‌شود؛ ولی به دلیل تحمل چغندر قند نسبت به شوری، اثر نامطلوبی روی آن مشاهده نشده است [۱۵]. بنابراین، افزایش هدایت الکتریکی خاک هنگام کاربرد لجن فاضلاب باید مورد توجه قرار گیرد؛ مخصوصاً در خاک اصفهان که در تیمار ۲۰۰ تن لجن در هکتار، تا حدود ۵ دسی‌زیمنس بر متر افزایش یافت. این مقدار هدایت الکتریکی بیش از حد تحمل بسیاری از گیاهان است.

جدول ۲- خواص شیمیایی لجن فاضلاب مورد استفاده

ویژگی	pH	EC <sub>e</sub> (dS/m)	ماده آلی (g/kg)	نیترژن (g/kg)	فسفر (g/kg)	پتاسیم (g/kg)
مقدار	۶/۵	۱۳/۵	۲۶۸	۳۸	۶/۲	۲/۳

جدول ۳- غلظت عناصر کم مصرف و فلزات سنگین موجود در لجن فاضلاب (میلی‌گرم در کیلوگرم)

عنصر	غلظت کل	غلظت قابل جذب*
نیکل	۶۰/۵	۲/۴
کادمیوم	۴/۳	۰/۲
سرب	۱۶۰	۱۸/۰
کیالت	۱۲	۰/۸
منگنز	۳۷۵	۴۱/۷
مس	۴۵۰	۵/۷
روی	۱۰۹۰	۹۹/۰
آهن	۱۱۹۱۰	۸۹/۷

\* عصاره‌گیری شده با DTPA

جدول ۴- مقایسه تأثیر سطوح لجن فاضلاب بر خصوصیات شیمیایی خاک‌های مورد آزمایش

CEC (Cmol/kg)	ECe (dS/m)	pH	ماده آلی (%)	پتاسیم (mg/kg)	فسفر (mg/kg)	نیتروژن (%)	تیمار	خاک
۳۲/۵c	۱/۸۹b	۶/۸b	۲/۲۸d	۲۵۵c	۱۱۵ d	۰/۲۰d	شاهد	رشت
۳۲/۸b	۱/۹۸b	۶/۶۴bc	۲/۵۷c	۲۲۲b	۱۶۵b	۰/۴۹d	۵۰	
۳۳/۳a	۳/۰۳a	۶/۵۱cd	۲/۸۰b	۲۵۵a	۱۷۰b	۰/۵۶a	۱۰۰	
۳۳/۳a	۳/۱۰a	۶/۴۰d	۲/۳۲a	۲۶۲a	۲۱۳a	۰/۵۶a	۲۰۰	کود شیمیایی
۳۲/۲d	۱/۹۲b	۶/۹۱a	۲/۳۰d	۱۵۷c	۱۴۹c	۰/۳۱c	شاهد	
۱۵/۴cd	۱/۰۹d	۴/۸b	۱/۷۹d	۱۳۸c	۵۰d	۰/۱۱d	۵۰	
۱۵/۶bc	۱/۳c	۴/۸b	۱/۹۹c	۱۶۵b	۸۰c	۰/۳۰d	۱۰۰	لنگرود
۱۵/۸b	۲/۲۲b	۴/۸c	۲/۴۹b	۲۰۹a	۸۳c	۰/۴۰a	۲۰۰	
۱۶/۱a	۲/۷a	۴/۶c	۲/۸۴a	۲۱۴a	۱۶۹a	۰/۴۲a	کود شیمیایی	
۱۵/۳d	۱/۱۸cd	۵/۰۱a	۱/۸۰d	۱۳۵c	۹۵b	۰/۲۰c	شاهد	لاهیجان
۱۹/۳d	۱/۱۷d	۵/۹۱b	۰/۹۵d	۲۲۱۵c	۳۵e	۰/۱۶e	۵۰	
۲۰/۱c	۱/۴۹c	۵/۸bc	۱/۴۹b	۲۳۹b	۵۳d	۰/۳۶c	۱۰۰	
۲۱/۵b	۲/۱۸b	۵/۸۱bc	۱/۸۸ab	۲۴۸ab	۸۰b	۰/۴۳b	۲۰۰	کود شیمیایی
۲۱/۸a	۲/۹۸a	۵/۷c	۲/۰۸a	۲۵۷a	۱۱۰a	۰/۵۱a	شاهد	
۱۹/۴d	۱/۳۶c	۶/۱a	۱/۰۳c	۲۱۸c	۶۵c	۰/۲۵d	۵۰	
۱۳/۵b	۲/۹E	۸/۰A	۰/۵d	۲۲۳d	۳۲d	۰/۰۸d	شاهد	اصفهان
۱۳/۷b	۳/۵c	۷/۸b	۰/۸۸c	۲۲۹b	۶۵b	۰/۲۵b	۱۰۰	
۱۴/۱a	۴/۰b	۷/۶c	۱/۲۰b	۲۷۱c	۹۰c	۰/۳۵a	۲۰۰	
۱۴/۲a	۴/۹a	۷/۵c	۱/۶۹a	۲۷۶a	۱۱۳a	۰/۴a	کود شیمیایی	
۱۳/۶d	۳/۰b	۷/۹a	۰/۵۲d	۲۲۰b	۷۶c	۰/۱۳c		

\* اعدادی که در هر ستون مربوط به هر خاک دارای حروف یکسان هستند؛ تا سطح ۵ درصد دارای تفاوت معنی داری نمی‌باشند.

جدول ۵- عملکرد وزن خشک اندام هوایی و ریشه اسفناج (گرم در گلدان) در تیمارهای مختلف

ریشه	اندام هوایی	تیمار	خاک
۰/۰۹c	۰/۹۵d	شاهد	رشت
۰/۲۶a	۲/۳۷b	۵۰	
۰/۲۸a	۳/۲۸a	۱۰۰	
۰/۲۹a	۳/۶۸a	۲۰۰	کود شیمیایی
۰/۱۴b	۱/۳۵c	شاهد	
۰/۰۸c	۰/۸۰c	شاهد	
۰/۲۳a	۲/۱۴a	۵۰	لنگرود
۰/۱۸b	۱/۹۵a	۱۰۰	
۰/۱۱c	۱/۰۱b	۲۰۰	
۰/۱۱c	۱/۳۱b	کود شیمیایی	لاهیجان
۰/۰۹b	۱/۰۳c	شاهد	
۰/۲۰a	۱/۹۹a	۵۰	
۰/۲۳a	۲/۲۰a	۱۰۰	کود شیمیایی
۰/۱۰b	۱/۳۵bc	۲۰۰	
۰/۱۱b	۱/۶۱ab	کود شیمیایی	
۰/۰۹c	۰/۹۲d	شاهد	اصفهان
۰/۱۹b	۲/۲۹B	۵۰	
۰/۲۶a	۳/۱۳A	۱۰۰	
۰/۲۵a	۳/۳۹B	۲۰۰	کود شیمیایی
۰/۱۵b	۱/۶۵c	کود شیمیایی	

\* در هر خاک و در هر ستون، میانگین‌هایی که دارای حروف یکسان هستند، تا سطح ۵٪ فاقد تفاوت معنی داری می‌باشند.

### ۳-۴- تأثیر لجن فاضلاب بر عملکرد اسفناج

عملکرد وزن خشک اندام هوایی اسفناج در خاک رشت، متناسب با افزایش سطح لجن فاضلاب، افزایش نشان داد؛ که این افزایش برای همه تیمارها معنی دار شده است (جدول ۵). دلیل اصلی این پدیده را می توان وجود مقادیر نسبتاً زیاد مواد آلی و عناصر غذایی ضروری گیاهان شامل نیتروژن، فسفر و پتاسیم در لجن فاضلاب دانست. در خاک های لنگرود، لاهیجان و اصفهان نیز وزن خشک اندام هوایی اسفناج در همه سطوح لجن فاضلاب نسبت به شاهد، افزایش یافت. ولی تیمارهای ۱۰۰ و ۲۰۰ تن لجن در هکتار خاک لنگرود، و تیمار ۲۰۰ تن لجن در هکتار خاک های لاهیجان و اصفهان نسبت به سطوح کمتر لجن فاضلاب، تأثیر کمتری بر عملکرد وزن خشک اندام هوایی اسفناج داشته اند، که دلیل آن احتمالاً جذب نسبتاً زیاد برخی فلزات توسط گیاه در این تیمار (سرب و روی در خاک لنگرود، روی در خاک لاهیجان) و هم چنین افزایش شوری خاک (خاک اصفهان) می باشد. تیمار کود شیمیایی در همه خاک ها نسبت به شاهد افزایش معنی دار نشان داد، ولی این افزایش کمتر از تیمارهای لجن فاضلاب بود. روند تغییرات وزن خشک ریشه اسفناج نیز مشابه اندام هوایی بود.

### ۴- نتیجه گیری

این تحقیق نشان داد که لجن فاضلاب دارای پتانسیل کودی قابل توجهی می باشد. کاربرد این ماده علاوه بر افزودن غلظت

عناصر غذایی پر مصرف N و P در خاک، باعث افزایش ماده آلی و CEC خاک گردید که در حاصل خیزی آن نقش داشته و نتیجه آن، افزایش عملکرد اسفناج در هر چهار خاک بود. لازم به ذکر است در حال حاضر، این ماده در خاک، توسط زارعین منطقه نیز مورد توجه قرار گرفته است و کاربرد آن رو به افزایش می باشد. البته لجن فاضلاب با توجه به مراحل تولید، ممکن است دارای پتانسیل خطرات آلودگی های بیولوژیک و هم چنین فلزات سنگین و یا عناصر سمی نیز باشد؛ که اضافه شدن مقادیر بالای آن ها به خاک ممکن است خطر آلودگی محیط زیست و زنجیره غذایی انسان را در پی داشته باشد. از این رو با توجه به اثرات مفید این ماده، توصیه می شود مطالعات زیست محیطی و بررسی امکان آلودگی این مواد نیز به صورت جداگانه انجام و هرگونه توصیه کاربرد این مواد با احتیاط لازم انجام گیرد. از طرفی، کاربرد لجن فاضلاب می تواند باعث افزایش هدایت الکتریکی خاک شود و استفاده از آن در مقادیر زیاد، ممکن است در خاک هایی مثل خاک اصفهان مشکل ساز باشد.

### ۵- سپاس گذاری

بخشی از هزینه این تحقیق از طریق طرح ملی با کد M12 حمایت شورای تحقیقات علمی کشور پرداخت گردید که بدین وسیله تشکر و قدردانی می گردد.

### ۶- مراجع

- 1- Brollier, S., Smith, S. R., Henry, C.L. and Harrison, R.B. (1992). "I. Changes in Soil Chemistry." Seventeen Years of Municipal Sludge Application in Forests, Agronomy. Abstracts, 33.
- 2- Bauer, A. and Black, A. L. (1992). "Organic Carbon Effects on Available Water Capacity of three Soil Textural Groups." J. Soil. Sci. Am., (24), 527-534.
- 3- Bierman, P. M., Rosen, J. (1994). "Sewage Sludge Incinerator Ash Effects on Soil Chemical Properties and Growth of Lerruce and Corn." Soil Sci. Plant Anal., (25), 2409-2437.
- 4- Guag, W., Thomas, E. and Paul, R. (1995). "Evaluation of Nitrogen Availability in Irrigated Sewage Sludge, Sludge Compost and Manure Compost." J. Environ. Qual., (24), 527-534.
- 5- Pais, I. J. and Jones, B. Jr. (1977). "The Handbook of Trace Elements." St. Lucie Press, N. W. Boca Roton, Florida.
- 6- Epstien, E., Tylor, J.M. and Chaney, R.L. (1976). "Effect of Sewage Sludge Compost Applied to Soil on Some Soil Physical and Chemical Properties." J. Environ. Qual., (55), 422-426.
- 7- Kelling, K.A., Peterson, A. E. Walsh, L. M., Rayan, J.A. and Keeney, D. R. (1977). "A Field Study of the Agricultural use of Sewage Sludge: I, Effect on Crop Yield and Uptake of N and P. " J. Environ. Qual., (6), 339-343.
- 8- Giusquiani, P.L., Pagliani, M., Gigliotti, G., Businelli, D. and Benetti, A. (1955). "Urban Waste Compost: Effect on Physical, Chemical and Biochemical Soil Properties." J. Environ. Qual., (24), 175-182.
- 9- Lunt, H. A. (1999). "Digested Sewage Sludge for Soil Improvement. " Connecticut Agric. Exp. Sta. Bull., (3), 622-628.

- 10- Olsen, S. R., Sommers, L. E. (1990). "*Phosphorous.*" *Methods of Soil Analysis Part II*, Agronomy Monger, ASA, Madison, WI., USA, 403-431.
- 11- Nelson, D. W., Klavdivko, E. J. (1979). "*Changes in Soil Properties from Application of Anaerobic Sludge.*" *J. Water Pollution Control*, (51), 325-332.
- 12- Westerm R. L. (1990). "*Soil Testing and Plant Analysis.*" SSSA. Madison Wisconsin, USA.
- 13- Tester, C. F., Sikora, L. J., Taylor, J. M. and J. F. (1973). "*Decomposition of Sewage Sludge Compost in Soil: 3. Carbon, Nitrogen, Phosphorous Transformation in Different Size Fractions.*" *J. Environ, Qual.*, (8), 79-82.
- 14- Korto, N.E., Skopp, J. Fuller, W. Niebla, E. E. and Alesh, B. A. (1974). "*Trace Element Movement in Soil: Influence of Soil Physical and Chemical Properties.*" *Soil Sci.*, (122), 350-359.
- 15- Krebs, R., Gupta, S. K. Furrer, G. and Schulin, R. (1998). "*Solubility and Plant Uptake of Metals with and Without Liming of Sludge- Amended Soil.*" *J. Environ. Qual.*, (27), 18-23.