

## Response of Spinach plant (*spinacia oleracea*) to Iron Chemical Forms in Calcareous Soil Treated with Sewage Sludge

S.A. Ghoreishi Amiri<sup>1</sup>, M. Baranimotlgh<sup>2\*</sup> and E. Dordipour<sup>3</sup>,

1. Master Student, Department of Soil Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran
2. Associate Professor, Department of Soil Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.
3. Associate Professor, Department of Soil Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

Received: 14 January 2019

Accepted: 7 May 2019

### Abstract

**Introduction** Dense population and industrial areas in various locations have caused huge volumes of sewage, whose treatment (refining) has produced even larger volumes of sludge with various environmental problems. One economic and efficient way to use sewage sludge is to utilize it in agriculture. Since it has a large number of nutrients and organic matters and it is not expensive, sewage sludge is nowadays widely used as a fertilizer and/or amendment of soil physical and chemical properties. In the present study, the effect of different levels of industrial sewage sludge application on the bioavailability and distribution of various forms of iron in spinach plant (Shahr Reza cultivar) was evaluated.

**Materials and Methods** Soil was collected from 0-30 cm depth around Aq Qala industrial town. After air drying, the soil passed through a 2 mm sieve and its physical and chemical properties were measured. For this purpose, a completely randomized design with different levels of industrial wastewater sludge (0, 22.5, 45, 90, 180 and 360 ton/ha) was conducted in the form of a pot experiment with 4 replicates in the greenhouse of research center at Gorgan Agricultural and Natural Resources Research. The experimental units were pots of 7 kg soil. Then, 20 seeds per pot were planted at 2 cm depth of soil, and after two weeks of emergence, the number of shrubs was reduced to 5 plants per pot. Irrigation and weeding were done manually. After the end of the growth period (90 days), the plant samples were digested by dry-digesting method. The concentration of iron in the samples was determined by atomic absorption device (AAS-Unicam-919). Immediately after harvesting, the soil of pots was air-dried and passed through a 2 mm sieve. Then, the amount of soil extractable iron by DTPA was read by the atomic absorption device. In addition, Tessier et al. (1979) method was used to investigate the distribution of different forms of iron after sludge application. Statistical analysis of the test data was performed using SAS software and LSD test (5%) was used to compare the means. Also, Graphs were plotted using Excel software.

**Results and Discussion** The results showed that concentration of iron in the soil and aerial parts of spinach was significantly affected by the sewage sludge application. The highest dry weight of the spinach aerial part, with an average of 5.89 g/plant, was related to 90 tons/ha sludge treatment and the lowest, with an average of 1.07 g/plant, was related to the control treatment. The application of sludge at high levels such as 180 and 360 t. ha<sup>-1</sup> led to a reduction in spinach yield due to sludge effects such as the presence of heavy metals, disturbance of soil C/N equilibrium, and especially increased soil salinity. The concentration of iron in spinach aerial parts increased linearly in 22.5, 45, 90, 180, 360 ton/ha sludge treatments, which had an increase of 3.19, 5.16, 12.04, 26.06 and 52.76 percent compared to the control treatment, respectively. In the meantime, the highest amount of iron uptake, with an average of 767.47 mg/kg dry matter, was obtained in 90 ton/ha sludge treatment and the lowest amount, with an average of 124.43



mg/kg dry matter, was related to control treatment. The average of iron uptake in the aerial parts of spinach in 180 and 360 t/ha sludge treatments was 735.93 and 341.08 mg/kg dry matter, which was 4.28% and 125% lower than 90 t/ha treatment, respectively. The results also showed that application of 360 t/ha sewage sludge increased 73.48% DTPA extractable iron compared to the control treatment. The results of iron fractionation showed that the amounts of all iron components in the soil (except iron and manganese oxides) increased by application of sewage sludge. In the control soil, different iron components were as follows: exchangeable > carbonate > organic > iron and manganese oxides > residual. By applying treatments, the order did not change except that after application of treatments, in all components of iron (except iron and manganese oxides) showed an increase in the amount of each component compared to the control treatment. The correlation between the chemical forms of iron with DTPA-extractable iron and iron concentration of spinach showed that iron concentration in spinach, on the one hand, and extractable iron with DTPA ( $r= 0.93$ ), exchangeable iron ( $r= 0.95$ ) and iron bound to the organic fraction ( $r= 0.98$ ), on the other, had a significant and positive correlation at the level of 1%, while showing a significant and negative correlation with iron bound to iron and manganese oxides ( $r= 0.98$ ) at the level of 1%, which may indicate the role of these forms of iron (DTPA-extractable iron, exchangeable iron and organic-bound iron) in the nutrition of spinach (*Spinacia oleracea L.*). Increased Fe concentration in plant organs by sewage sludge application may be due to increased concentration of elements in soil, and consequently higher uptake of this element by plant.

**Conclusion** In general, it can be concluded that the application of sewage sludge in high amounts of 180 and 360 ton/ha has a negative effect on physical and chemical properties of soils such as disturbance of nutrient balance and increasing soil salinity, and thus causes a decrease in plant dry weight and the ability of iron uptake in the spinach plant. However, sewage sludge application provides nutrients for plant growth and reduces the economic cost of disposal. However, it is recommended to determine the threshold of toxicity and salinity before application of sewage sludge depending on soil, plant and environmental conditions. More extensive research is also needed to standardize the method and relative amounts of use of this organic amendment.

**Keywords:** *Chemical forms of iron Spinach, Sequential extraction, Sewage sludge*

## پاسخ گیاه اسفناج (*Spinacia oleracea*) به شکل های شیمیایی آهن در خاک آهنکی تیمار شده با لجن فاضلاب

سیده آمنه قریشی امیری<sup>۱</sup>، مجتبی بارانی مطلق<sup>۲\*</sup> و اسماعیل دردی پور<sup>۳</sup>

- ۱- فارغ التحصیل کارشناسی ارشد گروه علوم خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران  
 ۲- دانشیار گروه علوم خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران  
 ۳- دانشیار گروه علوم خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

چکیده	تاریخچه مقاله
<p>افزودن لجن فاضلاب به خاک سبب افزایش ماده آلی خاک می شود، که ضمن بهبود ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک می تواند در تأمین بخشی از عناصر غذایی مورد نیاز گیاه موثر باشد. هدف از این پژوهش، تعیین توزیع شکل های مختلف آهن و ارزیابی زیست فراهمی آن برای اسفناج در یک خاک آهنکی تیمار شده با لجن فاضلاب با استفاده از روش عصاره گیری دنباله ای بود. بدین منظور، آزمایشی به صورت گلدانی با شش سطح لجن (صفر، ۲۲/۵، ۴۵، ۹۰، ۱۸۰ و ۳۶۰ تن در هکتار) بر پایه طرح کاملاً تصادفی با ۴ تکرار به صورت ۲۴ گلدان ۷ کیلوگرمی به مدت ۹۰ روز با کشت گیاه اسفناج (<i>Spinacia oleracea</i>) در گلخانه مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی گرگان اجرا گردید. نتایج نشان داد بیشترین مقدار وزن خشک با میانگین ۵/۸۹ گرم در گلدان و جذب آهن با میانگین ۷۶۷/۴۶ میلی-گرم بر کیلوگرم ماده خشک در تیمار ۹۰ تن لجن در هکتار بدست آمد. هرچند کاربرد لجن در سطوح بالا نظیر ۱۸۰ و ۳۶۰ تن در هکتار، کاهش معادل ۴/۲۸ و ۱۲۵ درصد در میزان جذب آهن نسبت به تیمار ۹۰ تن در هکتار داشت. ترتیب شکل های شیمیایی آهن در خاک شاهد و خاک تیمار شده با لجن فاضلاب به صورت آهن تبادل‌پذیر &gt; آهن کربناتی &gt; آهن آلی &gt; متصل به اکسیدهای آهن و منگنز &gt; آهن باقی مانده بود. نتایج همچنین نشان داد مقدار آهن قابل عصاره گیری با DTPA با کاربرد لجن فاضلاب افزایش یافت. از بین شکل های آهن، آهن قابل استفاده با DTPA، آهن تبادل‌پذیر و آهن متصل به بخش آلی با غلظت آهن در گیاه اسفناج همبستگی مثبت و معنی-داری داشتند که نشان می دهد این شکل های آهن در تغذیه اسفناج نقش به سزایی دارند. به طور کلی می توان نتیجه گرفت که کاربرد لجن فاضلاب در مقادیر بالا ۱۸۰ و ۳۶۰ تن در هکتار با تأثیر بر برهم خوردن تعادل C/N و افزایش شوری خاک باعث کاهش وزن خشک و قابلیت جذب آهن در گیاه اسفناج شد.</p>	<p>دریافت: ۱۳۹۸/۰۷/۱۴          پذیرش نهایی: ۱۳۹۹/۰۲/۲۷  <b>کلمات کلیدی:</b>          اسفناج،          شکل های شیمیایی آهن،          عصاره گیری دنباله ای،          لجن فاضلاب</p> <p>* عهده دار مکاتبات          Email: mbarani@gau.ac.ir</p>

### مقدمه

در بیش از ۶۰ درصد اراضی زیر کشت ایران، میزان مواد آلی کمتر از یک درصد و در بخش قابل توجهی کمتر از ۰/۵ درصد می‌باشد (۵۴). این در حالی است که مقدار بهینه مواد آلی با توجه به نقش آن در بهبود ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی، زیستی و حاصلخیزی خاک، بین دو تا سه درصد گزارش شده است (۶۵). منابع تأمین مواد آلی برای خاک‌های زیر کشت ایران محدود بوده و جوابگوی نیاز روزافزون بخش کشاورزی نیست. تمرکز مراکز جمعیتی و صنعتی در نقاط مختلف باعث شکل‌گیری حجم زیادی از فاضلاب شده که تصفیه آنها منجر به تولید لجن زیادی شده است، به طوری که عدم توجه به یافتن بهترین شیوه‌های دفع آنها، دشواری‌های زیست محیطی زیادی را ایجاد کرده است (۶۰). یکی از راه‌های اقتصادی و موثر برای استفاده از لجن‌های فاضلاب‌ها به کارگیری آنها در کشاورزی است (۵۱). در سال‌های اخیر کاربرد لجن فاضلاب در خاک‌های کشاورزی به دلیل غنی بودن آنها از مواد آلی و عناصر غذایی مورد توجه قرار گرفته است (۷). لیکن برخی مطالعات نشان می‌دهند که لجن فاضلاب باعث افزایش هدایت الکتریکی می‌شود (۹). لجن فاضلاب حاوی مقدار زیادی نمک است که باعث افزایش قابلیت هدایت الکتریکی خاک می‌گردد که این افزایش با مقدار لجن اضافه شده رابطه مستقیم دارد (۸۲). میزان کاربرد لجن فاضلاب در خاک‌های کشاورزی باید با انجام مطالعات مختلف بر روی خاک و گیاهان رشد یافته در این خاک‌ها تعیین شود (۱۲). آهن یکی از عناصر ضروری کم مصرف برای رشد گیاهان است و در بسیاری از فرآیندهای فیزیولوژی از جمله ساخت کلروفیل، واکنش‌های اکسایش و کاهش، فتوسنتز، تنفس و سیستم‌های آنزیمی ضروری است. آهن به عنوان یکی از عناصر مهم در تغذیه گیاهان مطرح است و به مقدار فراوان در خاک موجود می‌باشد، اما به دلیل

آهکی بودن، وجود یون بیکربنات در خاک و بعضی از آبهای آبیاری و پایین بودن مواد آلی سبب کمبود این عنصر در خاک می‌گردد (۳۸). شناخت شکل‌های مختلف آهن در خاک و تعیین مقدار هر کدام از آنها، اطلاعات مفیدی برای ارزیابی وضعیت آهن و نیز حاصلخیزی و شیمی آن در خاک در اختیار می‌گذارد. همچنین این اطلاعات در تعیین نوع عصاره‌گیر آهن قابل جذب گیاه در خاک هم مهم می‌باشند. محلول خاک حاوی مقدار اندکی آهن است که غالباً با آهن تبادل، آهن محبوس شده توسط اکسیدهای آهن و منگنز، آهن آلی و آهن باقیمانده در تعادل است (۵۰). با استفاده از روش عصاره‌گیری دنباله‌ای در خاک‌های کشاورزی، شکل‌های محلول و قابل تبادل که نسبت به اجزای محبوس و باقیمانده، برای گیاه سریعتر قابل جذب می‌باشند، جداسازی می‌شوند (۸۳). برخی محققان گزارش کرده‌اند که آهن قابل جذب غالباً از منبع آهن پیوند شده با مواد آلی تعیین می‌شود (۸۴، ۸۸). در خاک‌های شمال غرب چین، آهن پیوندی با مواد آلی منبع اصلی آهن قابل جذب خاک گزارش شده است (۸۱). زیرا این منبع بیشتر از سایر شکل‌ها توسط گیاه جذب می‌گردد (۴۶). برخی دیگر گزارش کرده‌اند آهن تبادل مهم‌ترین منبع آهن قابل جذب برای گیاه است (۸۴). آهن تبادل و آهن پیوسته به مواد آلی، منابع مستقیم آهن قابل جذب هستند، اما آهن تبادل به دلیل مقادیر کم آن سهم کمی از کل آهن قابل جذب را شامل می‌شود (۷۹). افزایش غلظت عناصر کم مصرف نظیر آهن، روی، مس و منگنز در خاک و گیاه به دنبال کاربرد فاضلاب شهری در مطالعات زیادی به اثبات رسیده است (۱۷). لجن فاضلاب غلظت بالای از این عناصر را به خاک عرضه کرده و انباشت فلزات در خاک مربوط به مقدار اولیه فلزات در لجن و مقادیر کاربرد آن می‌باشد (۸۰). ملامد و همکاران<sup>۱</sup> (۴۹)

که این افزایش برای همه تیمارها معنی‌دار بود، به طوری که در خاک شاهد مقدار آن ۰/۹۵ گرم در گلدان و در بالاترین مقدار کاربرد لجن فاضلاب به ۳/۶۸ گرم در گلدان رسید. با این وجود، در ارتباط با اثر لجن فاضلاب بر شکل‌های مختلف آهن در خاک و ارتباط این شکل‌ها با آهن در گیاه مطالعات چندانی صورت نگرفته است. از این رو، هدف از این پژوهش بررسی ارتباط بین آهن قابل جذب خاک که توسط DTPA عصاره‌گیری شده با شکل‌های مختلف آهن و ارتباط بین شکل‌های مختلف آهن با آهن جذب شده توسط اسفناج رقم شهر رضا تحت کاربرد سطوح مختلف لجن فاضلاب صنعتی بود.

### مواد و روش‌ها

در این پژوهش، تأثیر کاربرد سطوح مختلف لجن فاضلاب صنعتی بر زیست‌فراهمی و تعیین توزیع شکل‌های مختلف آهن در گیاه اسفناج (*Spinacia oleracea*) رقم شهر رضا مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور آزمایشی در قالب طرح کاملاً تصادفی با کاربرد سطوح مختلف لجن فاضلاب صنعتی (صفر، ۲۲/۵، ۴۵، ۹۰، ۱۸۰ و ۳۶۰ تن در هکتار) به صورت گلدانی با ۴ تکرار در گلخانه مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی گرگان به اجرا درآمد. خاک مورد استفاده از عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری اطراف شهرک صنعتی آق قلا برداشت شد. پس از هوا خشک شدن، از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شده و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی نظیر بافت خاک (۲۲)، pH در عصاره ۱:۲ (۳۵)، قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره اشباع (۶۳)، کربن آلی (۵۶)، کربنات کلسیم معادل (۵۹)، ظرفیت تبادل کاتیونی (۱۹)، نیتروژن کل به روش کج‌لدال (۱۱)، آهن کل (۳۳) و آهن قابل عصاره‌گیری با DTPA (۴۴) تعیین شدند (جدول ۱). لجن فاضلاب مورد استفاده از تصفیه‌خانه شهرک صنعتی آق قلا تهیه و به‌منظور انجام تجزیه‌های شیمیایی و استفاده در خاک گلدان، هوا خشک گردید. پس از هوا خشک شدن جهت تیمار نمودن خاک با لجن، لجن مورد نظر کوبیده و به‌صورت همگن و

با بررسی شکل‌های شیمیایی آهن، روی، مس و منگنز در خاک‌های تیمار شده با مواد زاید صنعتی گزارش نمودند که آهن تبدالی در خاک در اثر افزوده شدن مواد زاید صنعتی افزایش یافت. شومن<sup>۱</sup> (۶۶) گزارش نمود که افزایش ماده آلی باعث می‌شود آهن از شکل‌های با حلالیت کمتر به شکل‌های با حلالیت بیشتر (تبدالی و آلی) انتقال یابد. افیونی و همکاران (۱۳۷۷) گزارش کردند فلزات سنگینی مثل آهن با تجزیه مواد آلی موجود در لجن به تدریج وارد محلول خاک شده و جذب گیاه می‌شوند. در واقع لجن فاضلاب یک کود آلی موثر محسوب می‌شود که زیست‌توده بسیاری از محصولات را افزایش می‌دهد (۵۲). ساماراس و همکاران<sup>۲</sup> (۶۴) نشان دادند که کاربرد لجن فاضلاب، ماده آلی خاک را افزایش داده و مقدار مواد مغذی و ویژگی‌های فیزیکی خاک را بهبود می‌بخشد. در واقع این ترکیبات آلی با تأثیرگذاری بر ویژگی‌های شیمیایی خاک از قبیل پ-هاش، ظرفیت تبادل کاتیونی، درصد کربن آلی، سطح عناصر پرمصرف و کم‌مصرف خاک، شرایط مناسبی را برای رشد و نمو گیاه فراهم نموده و عملکرد بالا را تضمین می‌نمایند (۲۹). عید و همکاران<sup>۳</sup> (۲۴) گزارش کردند که با افزایش سطوح مختلف لجن فاضلاب (صفر، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ گرم بر کیلوگرم خاک) غلظت آهن در ریشه و ساقه اسفناج (*Spinacia oleracea* L) افزایش یافت. کاربرد لجن فاضلاب به‌ویژه در خاک‌های مناطق خشک و نیمه خشک که مواد آلی خاک معمولاً کم است باعث افزایش مواد آلی، حفظ رطوبت خاک و ارتقای حاصلخیزی آن شده و مفید باشد (۱۸). در ایران نیز لجن فاضلاب عمدتاً به دلیل ارزانی قیمت در کشت گیاهان به ویژه سبزی‌ها استفاده می‌شود (۱۳). واتقی و همکاران (۷۷) نشان دادند که وزن خشک اندام هوایی اسفناج در خاک متناسب با افزایش سطح کاربرد لجن فاضلاب (۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ تن در هکتار) افزایش یافت

1- Shuman

2- Samaras et al.

3- Eid et al.

### نتایج و بحث

نتایج مقایسه میانگین‌ها (شکل ۱) نشان داد که بیشترین وزن خشک اندام هوایی اسفناج با میانگین ۵/۸۹ گرم در گیاه مربوط به تیمار ۹۰ تن در هکتار لجن و کمترین مقدار با میانگین ۱/۰۷ گرم در گیاه مربوط به تیمار شاهد بود. واثقی و همکاران (۷۶) نیز نشان دادند که وزن خشک اندام هوایی اسفناج در خاک، متناسب با سطوح مختلف لجن فاضلاب (صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ تن در هکتار) افزایش یافت که این افزایش برای همه تیمارها معنی‌دار بود. کومار و کوپرا<sup>۱</sup> (۴۱) گزارش کردند که با کاربرد پساب صنعتی به خاک زیر کشت اسفناج (*Spinacia oleracea L*)، عملکرد اندام هوایی گیاه به میزان ۹۰٪ افزایش یافت. باین وجود، در این پژوهش، کاربرد لجن در سطوح بالا نظیر ۱۸۰ و ۳۶۰ تن در هکتار سبب کاهش عملکرد اسفناج گردید به نظر می‌رسد این امر ناشی از اثرات برهم خوردن تعادل C/N خاک و بویژه افزایش شوری خاک باشد (شکل ۱). از آنجایی که لجن فاضلاب دارای مقادیر زیادی املاح است، می‌تواند موجب افزایش شوری در خاک شود (۶۷). وجود غلظت‌های بالای املاح و نمک‌های سدیم و پتاسیم در لجن فاضلاب و آزاد شدن این املاح در خاک، باعث بالا رفتن شوری خاک می‌شود (۳۶). کاهش عملکرد گیاه در اثر افزودن سطوح بالای لجن فاضلاب در مطالعات پرشماری گزارش شده است (۱، ۵).

یکنواخت در آمد، سپس از الک ۱ سانتی متری عبور داده شد و بر اساس چگالی و عمق ۲۰ سانتی متر به خاک گلدان-ها (۷ کیلوگرم) اضافه شد. pH و EC در عصاره ۱:۵ لجن به آب (۲۰) و دیگر ویژگی‌های شیمیایی مانند کربن آلی و عناصر کم مصرف و پر مصرف تعیین شد (جدول ۲). واحدهای آزمایشی گلدان‌های ۷ کیلوگرمی خاک بود. سپس تعداد ۲۰ عدد بذر در هر گلدان در عمق ۲ سانتی-متری خاک کاشته که پس از سبز شدن و گذشت دو هفته، تعداد بوته‌ها به ۵ عدد در هر گلدان تقلیل یافت. عملیات آبیاری و وجین علف‌های هرز با دست انجام پذیرفت. در طول کشت از هیچ‌گونه کود شیمیایی، علف‌کش، سم و حشره‌کش استفاده نگردید و در طول دوره رشد رطوبت گلدان‌ها با توزین روزانه در حدود رطوبت گنجایش زراعی نگه‌داشته شد و به‌منظور ایجاد شرایط یکنواخت و کاهش تأثیر عوامل محیطی، گلدان‌ها هر دو هفته یک‌بار جابه‌جا شدند. آنگاه پس از پایان دوره رشد (به مدت ۹۰ روز) گیاهان برداشت و ابتدا با آب شهری و سپس با آب مقطر شسته و روی تورهای پلاستیکی پخش شد تا خشک شوند. سپس نمونه‌ها داخل آون در دمای ۷۰ درجه سلسیوس به مدت ۴۸ ساعت قرار گرفتند و بعد از آن وزن خشک آن‌ها اندازه‌گیری گردید. هضم نمونه‌های گیاهی با روش خشک سوزانی انجام گرفت (۳۷). غلظت آهن در نمونه‌ها با دستگاه جذب اتمی (AAS-Unicam-919) تعیین شد. پس از برداشت گیاهان، بلافاصله خاک گلدان‌ها هوا خشک و از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شد. سپس مقدار آهن قابل استفاده خاک توسط DTPA توسط دستگاه جذب اتمی قرائت گردید (۴۴). علاوه بر این برای بررسی توزیع شکل‌های مختلف آهن در اثر کاربرد لجن از روش تسیر و همکاران (۷۴) استفاده شد (جدول ۳). این روش آهن را به شکل‌های تبادلی، کربناتی، متصل به اکسیدهای آهن و منگنز، پیوند یافته با مواد آلی و باقی‌مانده جداسازی می‌کند. تجزیه‌های آماری نتایج با استفاده از نرم-افزار SAS (آزمون LSD در سطح ۵ درصد) و رسم نمودارها با نرم‌افزار Excel انجام گرفت.

جدول (۱) برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در پژوهش  
**Table (1) Soil physical and chemical characteristics used in the experiment**

پارامتر Parameter	واحد Unit	مقدار Value
Texture	%	Silty clay loam
Clay	%	36
Silt	%	46
Sand	%	18
ECe	dS m <sup>-1</sup>	1.18
pH 1:2		7.57
CEC	cmolc kg <sup>-1</sup>	26.62
Organic Carbon (O.C)	%	0.877
CCE	%	10.13
DTPA ex. Fe	mg kg <sup>-1</sup>	14.4

CEC: ظرفیت تبادل کاتیونی      DTPA ex. Fe: آهن قابل استخراج با دی تی پی ا  
 CEC: cation exchange capacity,      DTPA ex. Fe: DTPA exchanchable iron

جدول (۲) برخی از ویژگی‌های لجن فاضلاب مورد استفاده در پژوهش  
**Table (2) Characteristics of sewage sludge used in the experiment**

پارامتر Parameter	واحد Unit	مقدار Value
EC 1:5	dS m <sup>-1</sup>	15.50
pH 1:5	-	7.29
Organic Carbon (O.C)	%	11.11
C/N	%	6.1
Total N	%	1.82
Total P	%	2.21
DTPA ex. Fe	mg kg <sup>-1</sup>	48.2
Total Fe	mg kg <sup>-1</sup>	33100
DTPA ex. Zn	mg kg <sup>-1</sup>	171.58
Total Zn	mg kg <sup>-1</sup>	4427.27
DTPA ex. Cu	mg kg <sup>-1</sup>	6.58
Total Cu	mg kg <sup>-1</sup>	148

جدول (۳) خلاصه روش عصاره‌گیر دنباله ای  
Table (3) Summary of the sequential extraction method

اسیدیته pH	زمان (ساعت) Time(h)	درجه حرارت (C) Temperature(C)	عصاره گیر Extractant	شکل شیمیایی عنصر Chemical fractions	مرحله Step
7	1	25	Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> , 1M	تبادلی Exchangeable	1
5	5	25	Na OAc, 1M	متصل به کربناته Carbonate- bound	2
2	6	96	0.04M NH <sub>2</sub> OH-HCl,	متصل به اکسید آهن-منگنز Oxide Fe-Mn- bound	3
2	3	85	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> , 30%	متصل به ماده آلی Organic bound	4
-	3	120	HNO <sub>3</sub> -HCl	باقی مانده Residual	5

(L) نسبت به شاهد اثر بازدارنده داشت که این کاهش را ناشی از افزایش شوری محلول خاک در نتیجه کاربرد لجن دانستند. زارع و همکاران<sup>۳</sup> (۸۷) در بررسی اثر لجن فاضلاب شهری بر ویژگی‌های شیمیایی و عناصر غذایی ضروری در خاک تحت کشت نهال زیتون گزارش کردند که هدایت الکتریکی خاک با افزایش سطح لجن فاضلاب افزایش می‌یابد به طوریکه بیشترین هدایت الکتریکی خاک از کاربرد ۱۵۰ تن لجن فاضلاب در هکتار بدست آمد. ماس و هافمن<sup>۴</sup> (۴۵) طی آزمایشی، حد آستانه تحمل به شوری را برای اسفناج ۲ دسی-زیمنس بر متر در عصاره اشباع خاک و شیب کاهش عملکرد را ۷/۶ درصد، برای افزایش هر واحد هدایت الکتریکی به دست آوردند. از این رو، به نظر می‌رسد با توجه به قابلیت هدایت الکتریکی نسبتاً بالای لجن مورد مطالعه (۱۵/۵ دسی زیمنس بر متر)، کاهش عملکرد گیاه اسفناج در تیمارهای بالای لجن فاضلاب (۱۸۰ و ۳۶۰ تن در هکتار) را می‌توان به افزایش شوری خاک نسبت داد. افزایش لجن فاضلاب باعث افزایش هدایت الکتریکی

یوروک و بزکورت<sup>۱</sup> (۸۵) بیان کردند که افزودن لجن فاضلاب بیش از مقدار ۲۰ درصد وزنی در خاک، موجب کاهش وزن خشک و عملکرد گیاه لوییا (*Phaseolus vulgaris L.*) شد. کمار و چوپرا<sup>۲</sup> (۴۳) نیز گزارش کردند که کاربرد سطوح مختلف لجن فاضلاب (صفر، ۵، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد وزنی لجن فاضلاب) باعث افزایش عملکرد گیاه بادمجان (*Solanum melongena L.*) شد. آنان بیان داشتند که حداکثر کارایی گیاه و عملکرد در تیمار ۵۰٪ لجن فاضلاب به دست آمد. افزایش لجن فاضلاب سبب افزایش عملکرد گیاه شد، ولی با توجه به پتانسیل شوری بالا لجن فاضلاب، این امر تا مقادیر مشخصی از میزان لجن صادق بود و در مقادیر بالاتر (۱۸۰ و ۳۶۰ تن در هکتار)، افزایش لجن باعث سمیت عناصر در گیاه و کاهش عملکرد گردید. همچنین عسگری لجایر و همکاران (۸) گزارش کردند که کاربرد ۶۰ گرم بر کیلوگرم لجن فاضلاب پرتوتابی شده، بر وزن ریشه و شاخساره خشک گیاه ریحان (*Ocimum basilicum*)

3- Zare et al.

4- Maas and Hoffman

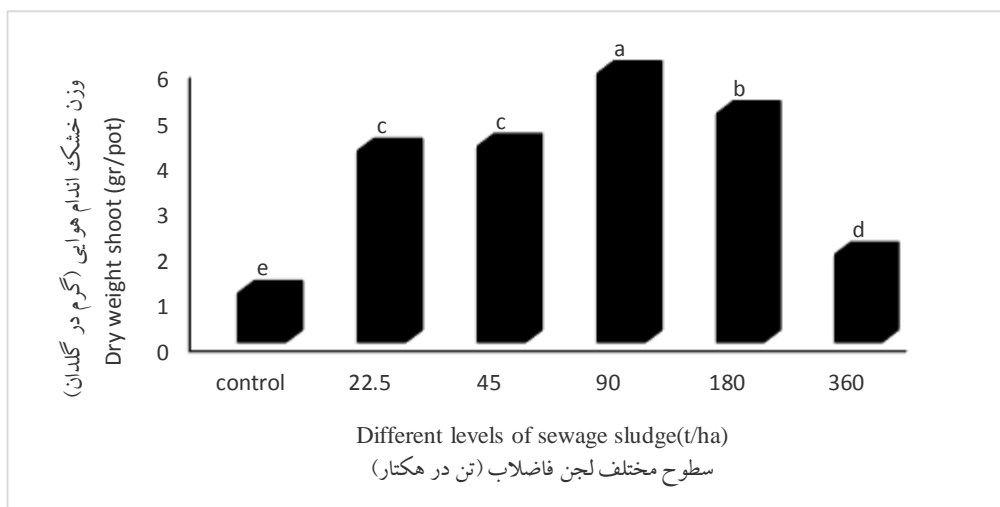
1- Yuruk and Bozkurt

2- Kumar and Chopra.



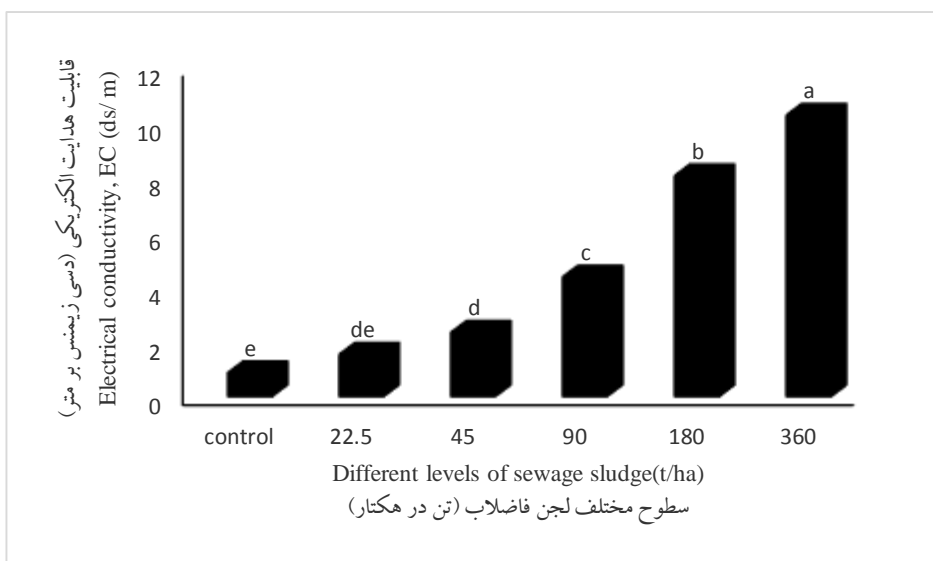
متر در تیمار شاهد به ۴/۱۸ دسی‌زیمنس بر متر در تیمار ۷۰ تن در هکتار لجن فاضلاب رسید. به نظر می‌رسد علت افزایش قابلیت هدایت الکتریکی در خاک‌های تیمار شده با لجن فاضلاب، به دلیل قابلیت هدایت الکتریکی نسبتاً بالای لجن باشد که از دلایل آن، غلظت بالای عناصر کلسیم، منیزیم، سدیم و کلر است (۳۱).

خاک شد به گونه ای که تیمارهای ۱۸۰ و ۳۶۰ تن در هکتار لجن فاضلاب نسبت به شاهد به ترتیب افزایشی معادل با ۸۹/۳۳ و ۹۱/۶۲ درصد داشتند (شکل ۲). کسرای و همکاران (۴۰) گزارش کردند که با مصرف ۱۰ تا ۷۰ تن در هکتار لجن فاضلاب پتروشیمی تبریز در یک خاک آهکی، هدایت الکتریکی به طور معنی‌دار در مقایسه با شاهد افزایش یافت و از ۲/۰۹ دسی‌زیمنس بر



شکل (۱) اثر تیمارهای مختلف لجن فاضلاب بر وزن خشک اندام هوایی اسفناج

Fig (1) The effect of different sewage sludge treatments on dry weight of spinach shoot



شکل (۲) اثر تیمارهای مختلف لجن فاضلاب بر قابلیت هدایت الکتریکی خاک

Fig (2) The effect of different sewage sludge treatments on soil electrical conductivity

کیلوگرم در تیمار شاهد به ۵۹۰/۱ میلی گرم بر کیلوگرم در تیمار ۸۰ تن در هکتار لجن افزایش یافت. کمال و همکاران (۳۹) با بررسی اثر کاربرد لجن فاضلاب در سطوح صفر، ۴۰، ۸۰، ۱۲۰ و ۲۴۰ تن در هکتار بر عملکرد گیاه برنج (*Oryza sativa L.*) دریافتند که عملکرد گیاه برنج در اثر کاربرد لجن افزایش یافت و همچنین بیشترین غلظت آهن در دانه با میانگین ۷۱۹ میکروگرم بر گرم در اثر کاربرد ۲۴۰ تن لجن فاضلاب در هکتار بدست آمد. گزارش‌هایی وجود دارد که با کاربرد لجن فاضلاب در خاک، غلظت عناصر غذایی کم مصرف در شاخساره بر اثر افزایش فراهمی فلزها در خاک و جابه جایی آنها از ریشه به شاخساره، افزایش می‌یابد (۲۷، ۳۴). حسین پور و همکاران (۳۲) گزارش کردند بیشترین غلظت آهن در اندام هوایی کاهو (*Lactuca Sativa L.*) با میانگین ۲۴۳/۹۸ میلی-گرم بر کیلوگرم از کاربرد سه سال متوالی ۴۰ تن در هکتار لجن فاضلاب همراه با ۵۰ درصد کود شیمیایی به‌دست آمد. همچنین سهرابی و همکاران (۶۸) در پژوهشی با بررسی اثر کاربرد لجن فاضلاب در سطوح صفر، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ تن در هکتار بر عملکرد گیاه کاهو (*Lactuca sativa crispum*) گزارش کردند بیشترین مقدار آهن در اندام-های هوایی (با میانگین ۶/۱۶ میلی گرم بر کیلوگرم) و مغز ساقه کاهو (با میانگین ۳/۷۸ میلی گرم بر کیلوگرم) از کاربرد ۱۰۰ تن لجن فاضلاب در هکتار بدست آمد. بیشترین مقدار جذب آهن با میانگین ۷۶۷/۴۷ میلی-گرم بر کیلوگرم ماده خشک در تیمار ۹۰ تن لجن در هکتار و کمترین مقدار با میانگین ۱۲۴/۴۳ میلی گرم بر کیلوگرم ماده خشک مربوط به تیمار شاهد بود. میانگین جذب آهن در اندام هوایی اسفناج در تیمارهای ۱۸۰ و ۳۶۰ تن در هکتار لجن به ترتیب برابر با ۷۳۵/۹۳ و ۳۴۱/۰۸ میلی گرم بر کیلوگرم ماده خشک بود که کاهش معادل ۴/۲۸ و ۱۲۵ درصد نسبت به تیمار ۹۰ تن در هکتار داشته‌اند (شکل ۴). با توجه به محاسبه جذب از حاصلضرب غلظت آهن و ماده خشک می‌توان نتیجه‌گیری نمود که افزایش جذب تا سطوح ۹۰ تن در هکتار لجن فاضلاب ناشی از افزایش

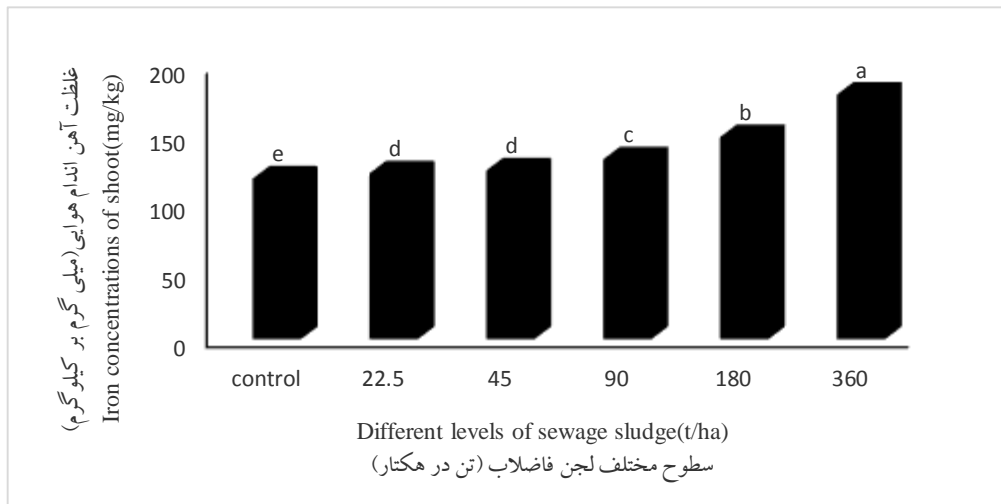
نتایج مقایسه میانگین‌ها (شکل ۳) نشان داد با افزایش سطوح کاربرد لجن، غلظت آهن در اندام‌های هوایی گیاه اسفناج افزایش یافت. بیشترین افزایش غلظت آهن نسبت به تیمار شاهد، در تیمار ۳۶۰ تن در هکتار لجن مشاهده گردید. بین تیمارهای ۲۲/۵ و ۴۵ تن در هکتار لجن، تفاوت معنی‌دار مشاهده نشد، هرچند نسبت به شاهد دارای تفاوت معنی‌دار بودند. میزان غلظت آهن اندام هوایی اسفناج در تیمارهای ۲۲/۵، ۴۵، ۹۰، ۱۸۰، ۳۶۰ تن در هکتار لجن به‌طور خطی افزایش یافت که در مقایسه با تیمار شاهد، به ترتیب افزایشی معادل با ۳/۱۹، ۵/۱۶، ۱۲/۰۴، ۲۶/۰۶، ۵۲/۷۶ درصد داشتند (شکل ۳). افزودن لجن فاضلاب و سایر مواد زائد شهری به خاک باعث افزایش غلظت عناصر کم مصرف در خاک می‌شود، زیرا لجن فاضلاب همواره دارای مقدار زیادی از این عناصر می‌باشد (۴۷). افزودن پساب صنعتی به خاک، موجب افزایش غلظت عناصر کم مصرف نظیر آهن و روی در گیاه سورگوم گردید (۲۶). بوستانی و رونقی (۱۴) در آزمایش گلخانه‌ای خود بر روی سه بافت (شنی، لوم شنی و لوم رسی) یک خاک آهکی با افزودن پنج سطح لجن (۰، ۱۰، ۲۰، ۴۰ و ۸۰ گرم در کیلوگرم) افزایش معنی‌دار آهن کل اندام هوایی گیاه ذرت (*Zea Mays L.*) را در هر سه بافت خاک تحت تأثیر کاربرد لجن فاضلاب گزارش نمودند به طوری که افزودن ۸۰ گرم لجن فاضلاب نسبت به تیمار شاهد سبب افزایش آهن کل در بافت‌های مورد مطالعه به ترتیب شنی، لوم شنی و لوم رسی به میزان ۲۰/۴۴، ۳۶/۸۸ و ۳۷/۹۱ درصد گردید. کومار و کوپرا (۴۱) نیز با بررسی اثر کاربرد لجن فاضلاب صنعتی بر عملکرد گیاه اسفناج (*Spinacia oleracea L.*) و غلظت عناصر کم-مصرف گزارش کردند که با افزودن لجن به خاک، غلظت آهن موجود در اندام هوایی گیاه اسفناج افزایش یافت. اورمان و همکاران<sup>۱</sup> (۵۷) با مطالعه بر روی اثر لجن فاضلاب بر غلظت آهن اندام هوایی یونجه (*Medicago Sativa L.*) گزارش کردند که غلظت آهن از ۲۳۹/۸ میلی گرم بر

ساقه به ترتیب با میانگین ۲۲۱۷/۸ و ۵۶۰/۵ میلی گرم بر کیلوگرم در اثر کاربرد ۴۰ گرم بر کیلوگرم لجن فاضلاب بدست آمد. مقایسه میانگین‌های آهن عصاره‌گیری شده توسط DTPA نشان داد، کاربرد لجن فاضلاب موجب افزایش معنی‌دار آهن قابل استخراج با DTPA نسبت به شاهد شد. هرچند بین تیمارهای ۲۲/۵ و ۴۵ تن در هکتار لجن تفاوت معنی‌دار مشاهده نشد. بیشترین میزان آهن استخراج شده با میانگین ۴۵/۷۵ میلی گرم بر کیلوگرم در تیمار ۳۶۰ تن در هکتار لجن مشاهده شد (شکل ۵).

همچنین نتایج نشان داد که کاربرد ۳۶۰ تن لجن فاضلاب در هکتار باعث افزایش ۷۳/۴۸ درصدی آهن قابل استخراج با DTPA نسبت به تیمار شاهد شد (شکل ۵). کاربرد سطوح مختلف لجن فاضلاب به مدت یک سال، موجب افزایش غلظت فلزاتی نظیر آهن، روی و مس قابل استخراج با DTPA گردید (۵۳). کاربرد لجن فاضلاب در خاک، تولید کمپلکس‌های آلی محلول با فلزات می‌کند که این کمپلکس‌ها بسیار متحرک بوده و در مقایسه با یون‌های فلزی آزاد به سهولت در گیاهان جذب می‌شوند (۱۰). واتقی و همکاران (۷۵) در پژوهشی دریافتند که افزودن لجن فاضلاب به خاک‌های مختلف (رشت، لنگرود، اصفهان و لاهیجان)، آهن قابل استخراج با DTPA را افزایش داد. آنها دریافتند بیشترین مقدار آهن با میانگین ۳۷/۳ میلی گرم بر کیلوگرم از کاربرد ۲۰۰ تن لجن فاضلاب در هکتار بدست آمد. همچنین آرواس و همکاران<sup>۲</sup> (۶) با مطالعه سطوح ۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ تن در هکتار لجن فاضلاب در خاک و ارتباط بین مواد آلی و فلزات قابل استخراج با DTPA دریافتند که لجن فاضلاب، غلظت آهن قابل استخراج با DTPA را به ویژه در سال دوم کاربرد لجن فاضلاب در خاک سطحی افزایش داد.

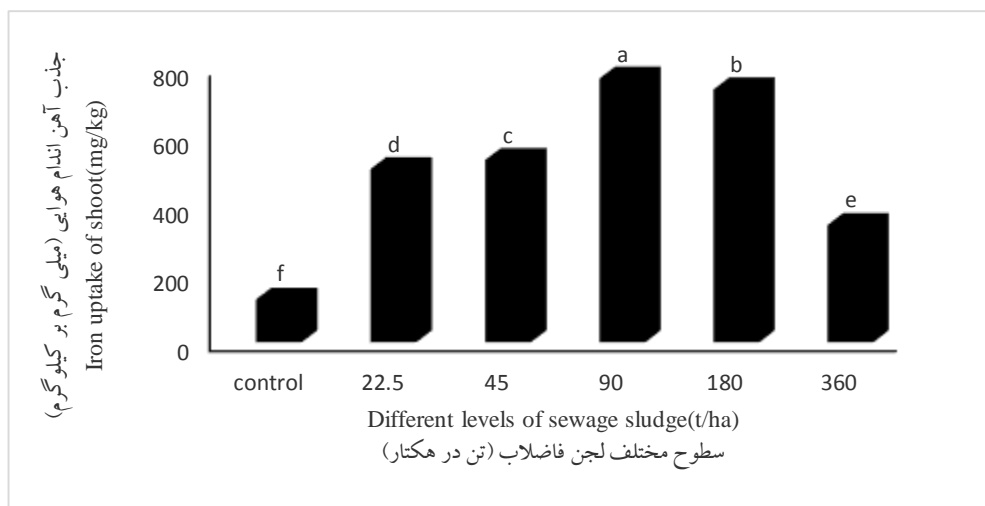
غلظت آهن و افزایش ماده خشک گیاه با مصرف لجن فاضلاب به دلیل فراهم آوردن شرایط فیزیکی و شیمیایی بهتر برای رشد از لحاظ عناصر غذایی کم مصرف است. همچنین کاهش جذب آهن در سطوح ۱۸۰ و ۳۶۰ تن در هکتار لجن فاضلاب می‌تواند ناشی از کاهش ماده خشک گیاه اسفناج به دلیل برهم خوردن تعادل عناصر غذایی و افزایش شوری خاک باشد (شکل ۴). عسگری لجایر و همکاران (۸) گزارش کردند کاربرد لجن فاضلاب پرتوتابی شده و نشده در سطوح ۱۵ و ۳۰ گرم بر کیلوگرم سبب افزایش غلظت عناصر مس، نیکل، سرب، روی، منگنز، آهن و کادمیم ریشه گیاه ریحان (*Ocimum basilicum L.*) شد، لکن سطح ۶۰ گرم بر کیلوگرم موجب کاهش جذب عناصر مذکور در ریشه گیاه ریحان (*Ocimum basilicum L.*) شد. کاستیکا و همکاران<sup>۱</sup> (۲۱) در پژوهشی دریافتند که افزودن لجن فاضلاب به خاک، موجب افزایش غلظت آهن اندام هوایی گیاه ذرت گردید. آن‌ها بیشترین افزایش را در تیمار ۴۰ تن در هکتار لجن مشاهده کردند. بوستانی و رونقی (۱۴) با بررسی اثر کاربرد لجن فاضلاب بر زیست فراهمی برخی از عناصر غذایی در یک خاک آهکی تحت کشت اسفناج (*Spinacia olerace L.*) دریافتند، بیشترین مقدار آهن با میانگین ۴۱۵/۴۶ میلی گرم بر کیلوگرم وزن خشک از کاربرد ۸۰ گرم در کیلوگرم خاک لجن فاضلاب در بافت لوم رسی بدست آمد. احمد و همکاران (۳) دریافتند که با کاربرد پساب فاضلاب به خاک، میزان غلظت عناصر کم مصرف نظیر آهن در بافت گیاه اسفناج (*Spinacia olerace L.*) افزایش یافت. نتایج آن‌ها نشان داد که میزان آهن از ۴۶/۹ میکروگرم بر گرم به ۷۱/۹ میکروگرم بر گرم افزایش یافت. عید و همکاران (۲۴) گزارش کردند که با افزایش سطوح مختلف لجن فاضلاب (صفر، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، و ۵۰ گرم بر کیلوگرم خاک) غلظت آهن در ریشه و ساقه اسفناج (*Spinacia oleracea L.*) افزایش داد. آنها همچنین گزارش کردند بیشترین مقدار آهن ریشه و

قریشی امیری و همکاران: پاسخ گیاه اسفناج...



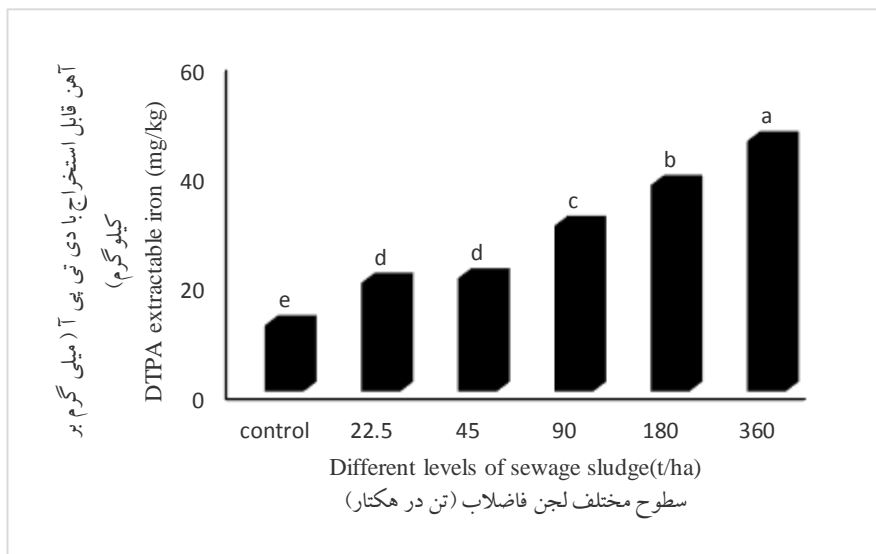
شکل (۳) اثر تیمارهای مختلف لجن فاضلاب بر غلظت آهن اندام هوایی اسفناج

Fig (3) The effect of different sewage sludge treatments on iron concentration of spinach shoot



شکل (۴) اثر تیمارهای مختلف لجن فاضلاب بر جذب آهن اندام هوایی اسفناج

Fig (4) The effect of different sewage sludge treatments on iron uptake of spinach shoot



شکل (۵) اثر تیمارهای مختلف لجن فاضلاب بر آهن قابل استخراج با DTPA در خاک

Fig(5) The effect of different sewage sludge treatments on DTPA extractable iron in soil

منگنز) نسبت به تیمار شاهد افزایش در مقدار هر جزء مشاهده گردید (جدول ۴). علاوه بر این نتایج نشان داد که ۹۲٪ از کل شکل‌های آهن مربوط به شکل باقی‌مانده و شکل‌های دیگر آهن کمتر از ۸ درصد کل آهن را به خود اختصاص داده‌اند (جدول ۴). نتایج مشابهی توسط وانگ و همکاران<sup>۲</sup> (۷۸) گزارش شده است. زینتی و همکاران<sup>۳</sup> (۸۹) نیز در پژوهشی که بر روی تجمع و شکل‌های فلزات در برخی خاک‌های آهکی تیمار شده با چند کمپوست انجام دادند دریافتند که بیش از ۹۰ درصد آهن در همه تیمارها به شکل باقی‌مانده بود. بوس و همکاران<sup>۴</sup> (۱۶) با بررسی تیمارهای حاصل از افزودن لجن فاضلاب صنعتی مشاهده کردند که بیشترین مقدار آهن در همه تیمارها مربوط به بخش آلی و باقی‌مانده بود. هانای و همکاران<sup>۵</sup> (۲۸) نیز با جزءبندی برخی فلزات تحت تیمار لجن فاضلاب گزارش کردند که بخش عمده آهن خاک در بخش باقی‌مانده و میزان ناچیزی در بخش‌های تبادلی و کریستالی مشاهده شد.

آنها همچنین گزارش کردند که بیشترین غلظت آهن قابل استخراج با DTPA در خاک‌های سطحی در سال اول و دوم به ترتیب با میانگین ۴۵/۷ و ۳۴۸/۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم از کاربرد ۷۵ تن در هکتار لجن فاضلاب بدست آمد. محمت و همکاران<sup>۱</sup> (۴۸) در پژوهش خود گزارش کردند که استفاده از ۳۸/۱ تن لجن در هکتار باعث افزایش ۴۳ درصدی مقدار آهن قابل استخراج با DTPA نسبت به تیمار شاهد گردید. اورمان و همکاران (۵۷) با بررسی اثر لجن فاضلاب بر عناصر کم‌مصرف گزارش کردند که کاربرد ۸۰ تن لجن فاضلاب در هکتار، موجب افزایش ۴۵/۱۲ درصدی غلظت آهن استخراج شده با DTPA نسبت به تیمار شاهد شد.

نتایج جزءبندی آهن نشان داد که مقادیر همه اجزای آهن در خاک (به جز اکسیدهای آهن و منگنز) با کاربرد لجن فاضلاب افزایش یافت (جدول ۴). در خاک شاهد اجزای مختلف آهن به ترتیب زیر بود: تبادلی > کریستالی > آلی > اکسیدهای آهن و منگنز > باقی‌مانده. با اعمال تیمارها، ترتیب تغییر نکرد با این تفاوت که پس از اعمال تیمارها، در همه اجزاء آهن (به جز اکسیدهای آهن و

2- Wang *et al.*  
3- Zinati *et al.*  
4 - Bose *et al.*  
5 - Hanay *et al.*

1- Mehmet *et al.*

درصد نسبتاً کمی از غلظت کل فلز را در برمی‌گیرد ولی بلافاصله و بالقوه برای گیاه قابلیت دسترسی دارد.

تائو و همکاران<sup>۴</sup> (۷۳) بیان کردند که انتقال شکل پیوند یافته با کربنات‌ها به سایر شکل‌ها می‌تواند علت کاهش این شکل در خاک کشت شده باشد. با کاربرد لجن شکل متصل به اکسیدهای آهن و منگنز کاهش یافت، بدین صورت که تیمار شاهد نسبت به تیمارهایی که لجن دریافت کرده بودند بیشترین مقدار شکل متصل به اکسیدهای آهن و منگنز را دارا بود (جدول ۴). با کاربرد لجن فاضلاب آهن متصل به مواد آلی خاک (شکل آلی) افزایش یافت هرچند بین تیمارهای شاهد تا ۴۵ تن در هکتار لجن تفاوت معنی‌داری در جزء آلی آهن مشاهده نشد لیکن آهن آلی در تیمارهای ۹۰، ۱۸۰ و ۳۶۰ تن در هکتار لجن فاضلاب در مقایسه با تیمار شاهد، به ترتیب افزایشی معادل با ۳۰/۳، ۴۱/۹ و ۵۲/۷ درصد داشتند. عناصر کم‌مصرف ممکن است از طریق فرآیندهای کمپلکس شدن، با شکل‌های مختلفی از مواد آلی در ارتباط باشند این شکل خیلی متحرک یا قابل دسترس نیست (جدول ۴). شکل‌های تبادل، کربناتی و آلی در تمامی تیمارهای لجن، کمتر از ۱٪ آهن کل موجود در خاک را شامل می‌شود که مقدار بسیار پایینی است نتایج این پژوهش همچنین نشان داد در تمامی تیمارهای لجن فاضلاب، بیش از ۹۲٪ از آهن کل مربوط شکل باقی مانده آهن بود (شکل ۵). سوکاریا و همکاران<sup>۵</sup> (۶۹) بیان کردند که کاربرد پسماندهای صنعتی به خاک، مقدار آهن متصل به مواد آلی خاک (شکل آلی) را نسبت به تیمار شاهد افزایش داد. دودایا و همکاران<sup>۶</sup> (۲۳) نیز میزان آهن متصل به مواد آلی را بین ۱۶/۲۲-۵۵/۸ درصد گزارش کردند که پس از شکل باقی مانده بیشترین میزان را دارا بود. انتقال شکل پیوند یافته با اکسیدهای آهن و منگنز به سایر شکل‌ها می‌تواند علت کاهش ۱۳/۹۷ درصدی این شکل در خاک-ها تحت تیمار لجن فاضلاب باشد. که می‌توان چنین نتیجه-

پراسانت و همکاران<sup>۱</sup> (۶۲) در پژوهشی دریافتند که در بین شکل‌های آهن، شکل باقی مانده بیشترین مقدار را داشت و پس از آن به ترتیب شکل‌های متصل به اکسیدهای آهن و منگنز، آلی، تبدلی و کربناتی قرار گرفتند. همچنین پاشاپور و همکاران (۶۱) توزیع شکل‌های شیمیایی آهن را در برخی از خاکهای استان آذربایجان شرقی با استفاده از روش سینگ و همکاران به صورت باقیمانده < اکسیدهای آهن بلوری > اکسیدهای آهن بی‌شکل < اکسیدهای منگنز > آلی < تبدلی > کربناتی گزارش کردند.

به‌طور کلی کاربرد لجن فاضلاب موجب افزایش معنی‌دار شکل تبدلی آهن شد. در تمامی تیمارهای لجن، آهن تبدلی کمتر از ۱٪ شکل‌های آهن را به خود اختصاص داد (جدول ۴). بین تیمارهای شاهد تا ۴۵ تن در هکتار لجن تفاوت معنی‌داری در آهن تبدلی مشاهده نشد. لیکن آهن تبدلی در تیمارهای ۹۰، ۱۸۰ و ۳۶۰ تن در هکتار لجن فاضلاب در مقایسه با تیمار شاهد، به ترتیب افزایشی معادل با ۲۵/۵، ۴۴/۲ و ۵۰/۱ درصد داشتند (جدول ۴). آلوارز و همکاران<sup>۲</sup> (۴) بیان کردند مزیت همه روش‌های عصاره‌گیری دنباله‌ای این است که در هنگام استفاده برای خاک-های کشاورزی می‌توانند جزء قابل تبادل که قابل جذب برای گیاهان است را جداسازی کنند. جزء تبدلی بخشی از عناصر کم‌مصرف را در برمی‌گیرد که می‌تواند تقریباً بیش‌تر از همه در خاک رها شود و معمولاً یک بخش کوچکی از مقدار کل فلز را در خاک شامل می‌شود که قابلیت بالقوه و زیست‌فراهمی برای گیاهان را دارد (۲۵). میزان ناچیز آهن تبدلی (کمتر از ۱٪) در خاک‌های تیمار شده با لجن فاضلاب توسط هانای و همکاران (۲۸) نیز گزارش شده است. در شکل کربناتی نیز، کاربرد لجن فاضلاب سبب افزایش معنی‌دار این شکل نسبت به شاهد گردید ولی در بین خود تیمارها این تفاوت معنی‌دار نبود (جدول ۴). فلیگورز و همکاران<sup>۳</sup> (۲۵) بیان کردند که جزء کربناتی

4 - Tao *et al.*5 - Sukkariyah *et al.*6 - Doddaiyah *et al.*1 - Prasanth *et al.*2 - Alvarez *et al.*3- Filgueiras *et al.*

نامحلول مواد آلی خاک، تاثیر بسزایی در افزایش یا کاهش حلالیت آهن به عهده دارند. تحرک آهن و ارتباط آن با مواد آلی خاک، به خواص ترکیبات آلی از جمله، گروه‌های عاملی مواد آلی و همچنین خصوصیتی از خاک مانند پ-هاش و ظرفیت تبادل کاتیونی و قدرت یونی وابسته می‌باشد (۷۲).

همچنین نتایج نشان داد بین آهن عصاره‌گیری شده با DTPA با آهن تبادلی ( $r = 0/96$ ) و آهن متصل به بخش آلی ( $r = 0/98$ ) همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح یک درصد و با آهن باقیمانده ( $r = 0/82$ ) همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد وجود داشت (جدول ۵). همچنین بین آهن عصاره‌گیری شده با DTPA با آهن متصل به اکسیدهای آهن و منگنز همبستگی منفی و معنی‌داری ( $r = 0/98$ ) در سطح احتمال یک درصد وجود داشت (جدول ۵). این در حالی است که بین جذب آهن در گیاه اسفناج با مقدار آهن قابل استخراج با DTPA و شکل‌های شیمیایی آهن همبستگی معنی‌داری بدست نیامد (جدول ۵). زاهدی‌فر (۸۶) گزارش کرد بین شکل‌های شیمیایی مختلف آهن، با آهن قابل استخراج با DTPA همبستگی مثبت معنی‌داری ( $r = 0/85$ ) در سطح احتمال یک درصد وجود داشت که نشان دهنده این است که هر چه ماده آلی در خاک بیشتر شود، شکل اکسیدی آهن بی‌شکل و در پی آن آهن کل خاک زیاد شده و از طرفی آهن قابل استفاده نیز افزایش می‌یابد. همچنین آرواس و همکاران (۶) بین مواد آلی خاک با آهن عصاره‌گیری شده توسط DTPA در خاک‌های سطحی همبستگی مثبت و معنی‌داری ( $r = 0/905$ ) را مشاهده نمودند. تابنده و همکاران (۷۲) گزارش کردند بین آهن متصل به ترکیبات آلی با ماده آلی همبستگی مثبت معنی‌داری ( $r = 0/65$ ) به دست آمد. با تعیین روابط بین شکل‌های شیمیایی آهن با ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و همچنین پاسخ‌های گیاهی از جمله غلظت و جذب آهن، می‌توان اقدامات لازم را برای بهینه کردن شرایط خاک برای جلوگیری از کمبود آهن در گیاه و افزایش قابلیت دسترسی آن در خاک انجام داد (۱۵). همبستگی منفی بین

گیری کرد که با افزایش لجن فاضلاب، آهن موجود در بخش متصل به اکسیدهای آهن منگنز کاهش و در بخش متصل به مواد آلی و تبادلی افزایش می‌یابد (جدول ۴). وی و همکاران (۸۱) گزارش کردند که در اثر افزایش ماده آلی، شرایط احیاء در خاک ایجاد شده و اکسیدهای آهن کاهش یافته و آهن متصل به اکسیدها آزاد شده و وارد محلول خاک می‌شود، بنابراین میزان آهن قابل استخراج توسط DTPA افزایش می‌یابد. همبستگی بین شکل‌های شیمیایی آهن با آهن قابل استخراج با DTPA و آهن گیاه اسفناج در جدول ۵ ارائه شده است. نتایج نشان داد بین غلظت آهن در گیاه اسفناج و آهن قابل استفاده با DTPA ( $r = 0/93$ )، آهن تبادلی ( $r = 0/95$ ) و آهن متصل به بخش آلی ( $r = 0/98$ ) همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح یک درصد و با آهن متصل به اکسیدهای آهن و منگنز ( $r = 0/98$ ) همبستگی منفی و معنی‌داری در سطح یک درصد وجود دارد که ممکن است حاکی از نقش این شکل‌های آهن (آهن قابل استفاده با DTPA، آهن تبادلی و آهن متصل به بخش آلی) در تغذیه گیاه اسفناج (*Spinacia oleracea L.*) باشد (جدول ۵). افزایش غلظت آهن در اندام‌های گیاهی با کاربرد لجن فاضلاب، ممکن است در اثر افزایش غلظت عناصر در خاک و به طبع آن جذب بیشتر این عنصر به وسیله گیاه باشد. تاثیر کودهای آلی بروی جذب آهن ممکن است به این دلیل باشد که کود آلی افزون بر اینکه خود دارای عناصر کم مصرفی مانند آهن می‌باشد به شکل یک منبع انرژی برای ریز جانداران خاک بوده و در فرایند معدنی شدن به دلیل آزادسازی اسیدهای آلی، سبب کاهش موضعی pH خاک شده و جذب آهن را افزایش دهد (۵۸). تابنده و بخشی (۷۱) گزارش کردند از بین شکل‌های شیمیایی مختلف آهن، شکل آلی آهن همبستگی مثبت معنی‌داری ( $r = 0/43$ ) با آهن قابل استخراج با DTPA داشت. آنان اینگونه استنباط کردند که شکل آلی آهن، منبع بالقوه‌ای از آهن قابل استفاده خاک‌های آهکی استان فارس را، تشکیل می‌دهند. نیامان و همکاران<sup>۱</sup> (۵۵) گزارش کردند که ترکیبات محلول و

شکل‌های شیمیایی آهن با آهن متصل به اکسیدهای آهن و منگنز، همچنین همبستگی مثبت و معنی‌دار آهن قابل استخراج با DTPA با شکل‌های قابل جذب آهن (آهن تبادلی و آهن متصل به بخش آلی) در گیاه اسفناج

(*Spinacia oleracea L.*) اهمیت مدیریت ماده آلی در افزایش عناصر کم مصرف به ویژه آهن در گیاهان را نشان می‌دهد.

جدول (۴) مقایسه میانگین‌های اثر کاربرد تیمارهای مختلف لجن فاضلاب بر شکل‌های مختلف آهن (میلی‌گرم بر کیلوگرم) در فاز جامد خاک

Table (4) Mean comparison for the effect of sewage sludge treatments on different forms of iron (mg kg<sup>-1</sup>) in solid soil phase

باقی مانده Residual	متصل به ماده آلی Organic bound	متصل به اکسید آهن-منگنز Oxide Fe-Mn-bound	متصل به کربنات Carbonate-bound	تبادلی Exchangeable	تیمار Treatment
32000 <sup>b</sup>	39.128 <sup>c</sup>	2738.11 <sup>a</sup>	2.631 <sup>b</sup>	2.265 <sup>d</sup>	شاهد
34100 <sup>a</sup>	46.469 <sup>cd</sup>	2695.23 <sup>a</sup>	3.781 <sup>a</sup>	2.359 <sup>d</sup>	22.5
34750 <sup>a</sup>	50.531 <sup>cd</sup>	2682.31 <sup>a</sup>	3.706 <sup>a</sup>	2.375 <sup>d</sup>	45
34900 <sup>a</sup>	56.094 <sup>c</sup>	2563.03 <sup>b</sup>	3.688 <sup>a</sup>	3.043 <sup>c</sup>	90
35266 <sup>a</sup>	67.344 <sup>b</sup>	2508.92 <sup>b</sup>	3.781 <sup>a</sup>	4.062 <sup>b</sup>	180
35366 <sup>a</sup>	82.719 <sup>a</sup>	2362.48 <sup>c</sup>	3.627 <sup>a</sup>	4.546 <sup>a</sup>	360

در هر ستون حروف مشابه نمایانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد است

Numbers followed by the same letter are not significantly different (P<0.05)

جدول (۵) ضریب همبستگی پیرسون (r) بین میزان آهن گیاه و آهن قابل استفاده خاک (DTPA) با شکل‌های شیمیایی آهن

Table (5) The Pearson correlation coefficient (r) between plant-Fe content and soil available Fe with Fe chemical forms

9	8	7	6	5	4	3	2	1	
								1	۱-وزن خشک dry weight
							1	-0.16 <sup>ns</sup>	۲-غلظت آهن iron concentrations
						1	0.051 <sup>ns</sup>	0.97 <sup>**</sup>	۳-جذب آهن iron uptake
					1	0.38 <sup>ns</sup>	0.93 <sup>**</sup>	0.17 <sup>ns</sup>	۴-آهن قابل استفاده با دی تی پی DTPA extractable iron
				1	0.96 <sup>**</sup>	0.23 <sup>ns</sup>	0.95 <sup>**</sup>	0.0006 <sup>ns</sup>	۵-آهن تبادلی Exchangeable iron
			1	0.36 <sup>ns</sup>	0.55 <sup>ns</sup>	0.78 <sup>ns</sup>	0.32 <sup>ns</sup>	0.74 <sup>ns</sup>	۶-آهن کربناتی Carbonate-bound iron
		1	-0.43 <sup>ns</sup>	-0.97 <sup>**</sup>	-0.98 <sup>**</sup>	-0.25 <sup>ns</sup>	-0.97 <sup>**</sup>	-0.037 <sup>ns</sup>	۷-اکسیدهای آهن و منگنز Oxide Fe-Mn-bound
	1	-0.98 <sup>**</sup>	0.48 <sup>ns</sup>	0.96 <sup>**</sup>	0.98 <sup>**</sup>	0.24 <sup>ns</sup>	0.97 <sup>**</sup>	0.031 <sup>ns</sup>	۸-آهن متصل به بخش آلی Organic bound iron
1	0.77 <sup>**</sup>	-0.73 <sup>**</sup>	0.90 <sup>*</sup>	0.67 <sup>ns</sup>	0.82 <sup>*</sup>	0.72 <sup>ns</sup>	0.64 <sup>ns</sup>	0.59 <sup>ns</sup>	۹-آهن باقیمانده Residual iron

\*, \*\*, ns و به ترتیب معنی‌دار در سطح یک درصد، پنج درصد و غیر معنی‌دار

\*\*, \* are significant at 1% and 5% probability levels, respectively and ns, not significant



### نتیجه‌گیری

لجن فاضلاب به دلیل دارا بودن مقادیر زیادی از عناصر غذایی و مواد آلی و ارزانی قیمت، امروزه به طور وسیعی به عنوان کود و یا اصلاح کننده ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده قرار می‌گیرد. نتایج این پژوهش نشان داد کاربرد لجن فاضلاب سبب افزایش معنی‌دار آهن قابل جذب خاک و غلظت آهن در اندام هوایی اسفناج شد. افزودن لجن فاضلاب به میزان ۹۰ تن در هکتار باعث افزایش وزن خشک و جذب آهن در گیاه اسفناج شد هر چند با افزایش سطح لجن به ۱۸۰ و ۳۶۰ تن در هکتار به دلیل اثرات سوء لجن نظیر به هم خوردن تعادل C/N خاک و افزایش شوری خاک مقدار آنها کاهش یافت. همچنین توزیع شکل‌های شیمیایی آهن در خاک‌های تیمار شده با لجن فاضلاب با استفاده از روش سینگ همکاران نشان داد که آهن باقی مانده بیشترین میزان آهن را در خاک و آهن تبادلی و

کربناتی کمترین میزان آهن را داراست. از بین شکل‌های آهن، آهن قابل استفاده با DTPA ( $r = 0/93$ )، آهن تبادلی ( $r = 0/95$ ) و آهن متصل به بخش آلی ( $r = 0/98$ ) با غلظت آهن در گیاه اسفناج همبستگی مثبت و معنی‌داری نشان دادند که می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که این شکل‌های آهن در تغذیه این گیاه نقش به‌سزایی دارند. هرچند، کاربرد لجن فاضلاب باعث فراهمی عناصر غذایی برای رشد گیاه شده و هزینه اقتصادی دفع را کاهش می‌دهد، لیکن توصیه می‌شود پیش از کاربرد لجن فاضلاب حد آستانه سمیت و شوری بسته به نوع خاک، گیاه و شرایط محیطی کاربرد لجن تعیین گردد. همچنین لازم است تحقیقات گسترده‌تری برای استاندارد نمودن روش و مقادیر نسبی از کاربرد این اصلاح کننده آلی صورت گیرد.

### References

1. Abdelgadir, E. M., Oka, M., and Fujiyama, H. 2005. Characteristics of nitrate uptake by plants under salinity. *Journal of Plant Nutrition*. 28: 33-46.
2. Afyuni, M., Rezajnejad, Y., and Khayambashi, B. 1988. Effect of Sewage Sludge on Yield and Heavy Metal Uptake of Lettuce and Spinach. *Journal of Water and Soil Science*. 2: (1). 19-30. (in Persian with English abstract).
3. Ahmad, K., Khan, Z. I., ashfaq, A., ashraf, M., and yasmin, S. 2014. Assessment of heavy metal and metalloids levels in spinach (*Spinacia oleracea* L.) grown in wastewater irrigated agricultural soil of Sargodha, Pakistan. *Pakistan Journal of Botany*, 46(5), 1805-1810.
4. Alvarez, J.M., Lopez-Valdivia, L.M., Novillo, J., Obrador, A., and Rico, M.I. 2006. Comparison of EDTA and sequential extraction tests for phyto availability prediction of manganese and zinc in agricultural alkaline soils. *Geoderma*, 132: 450- 463.
5. Antolin, M.C., Muro, I., and Sanchez-Diaz, M. 2010. Application of sewage sludge improves growth, photosynthesis and antioxidant activities of nodulated alfalfa plants under drought conditions. *Environmental and Experimental Botany*, 68: 75-82.
6. Arvas, S., Keskin, B., and Hakkı Yilmaz, I. 2013. Effect of sewage sludge on metal content of grassland soil and herbage in semiarid lands. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 37: 179-187.
7. Asgari Lajayer, B., Ghorbanpour, M., and Nikabadi, S. 2017. Heavy metals in contaminated environment: Destiny of secondary metabolite biosynthesis, oxidative status and phytoextraction in

- medicinal plants. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 145: 377-390. (in Persian with English abstract).
8. Asgari Lajayer., B. Najafi., N. , Moghiseh., E. Mosaferi.,M and Hadian., J. 2019. Effects of Gamma Irradiated and Non-Irradiated Sewage Sludge on Uptake of Micronutrients and Heavy Metals in Basil. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Prpduction*, 29 (2):233-253. (in Persian with English abstract).
  9. Baveye, P., Mc Bride, M. B. Bouldin, D. Hinesly, T. D. Dahahoh M. S. A. and Abdel-sabour, M. F. 1999. Mass balance and distribution of sludge-borne trace elements in a silt loam soil following long-term applications of sewage sludge. *Science of the Total Environment*, 227: 13- 28.
  10. Behbahaninia, A., S. A. Mirbagheri., N. Khorasani., J. Nouri., and A. H. Javid. 2009. Heavy metal contamination of municipal effluent in soil and plants. *Journal of Food, Agriculture and Environment*. 7:(3,4): 851-856.
  11. Benton, J., and Case, V.W. 1990. Sampling handling and analyzing plant tissue samples. In: Westerman, R.L. (ed.). *Soil testing and plant analysis*. 3rded. Book series No.3. Soil Science Society of America, Inc. Madison, WI., USA.389-428.
  12. Bolan, N.S. and Duraisamy, V.P. 2003. Role of inorganic and organic soil amendments on immobilisation and phytoavailability of heavy metals: A review involving specific case studies. *Australian Journal of Soil Research*, 41(5): 33-55.
  13. Boostani, H.R. and Ronaghi, A. 2011. Comparison of sewage sludge and chemical fertilizer application on yield and concentration of some nutrients in spinach (*Spinosa olerace L.*) in three textural classes of a calcareous soil. *Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture*, 2(6): 65-73. (In Persian).
  14. Boostani, H.R. and Ronaghi, A. 2012. Bioavailability of nutrients in three textural classes of a calcareous soil affected by addition of sewage sludge and fertilizer after harvesting corn. *Journal of Water and Soil Science*, 26 (2): 272-281. (In Persian).
  15. Boostani, H.R., Najafi Ghiri, M., Amin, H., and Mirsoleimani, A. 2017. Investigation of Iron Chemical Fractions in Some Calcareous Soils of Orange (*Citrus sinensis L.*) Orchards in Darab Region, Southeast of Fars Province. *Applied Soil Research*, 6 (3): 92-105. (in Persian with English abstract).
  16. Bose, S., Jain, A., Rai, V., and Ramanathan, A.L. 2008. Chemical fractionation and translocation of heavy metals in *Canna indica L.* grown on industrial waste amended soil. *Journal of Hazardous Materials*, 160(1):187-193.
  17. Bozkurt, M.A. and Yarilgac, T. 2003. The effects of sewage sludge applications on the yield, growth, nutrition and heavy metal accumulation in apple trees growing in dry condition. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 27:285-292.
  18. Casado-vela, J., Selles, S., Dias-Crespo, C., Navarro-Pedreno, J., Mataix-Beneyto, J., and Grmez, I. 2007. Effect of composted sewage sludge application to soil on sweet pepper crop (*capsicum annum var. annum*) grown under two exploitation regimes. *Waste Management*. 27: 1509-1518.
  19. Chapman, H.D. 1965. Cation exchange capacity. In Black C.A. etal.(eds.). *Methods of soil analysis*. USA. Madison, WI. Pp: 891-901.
  20. Chi, C.M. and Wang, Z.C. 2010. Characterizing salt-affected soils of Songnen Plain using saturated paste and 1: 5 soil-to-water extraction methods. *Arid Land Research and Management*, 24(1): 1-11.
  21. Costica, A., Gerard, J., Daniel, B., and Despina. A. 2007. Influence of sewage sludge on maize yield and quality and soil chemical characteristics. *Journal of Food, Agriculture and Environment*, 5: 310-313.

22. Day, P.R. 1955. Particle fractionation and particle-size analysis. In: Black, C.A. (ed), Methods of soil analysis. Part 1. Agronomy 9, Soil Sci. Soc. Am. Madison, WI. Pp: 545-567.
23. Doddaiah, S., Shivanna, S., Swamy, S., and Budiguppe M, K. 2012. Speciation and Geochemical Behaviour of Heavy Metals in Industrial Area Soil of Mysore City, India. Journal of Environmental Protection, 3(10):1384-1392.
24. Eid, E.M., El-Bebany, A.F., Alrumman, S.A., Hesham, A.E.L., Taher, M.A., and Fawy, K.F. 2017. Effects of different sewage sludge applications on heavy metal accumulation, growth and yield of spinach (*Spinacia oleracea* L.). International Journal of Phytoremediation, 19(4): 340-347.
25. Filgueiras A.V., Lavilla I., and Bendicho C. 2002. Chemical sequential extraction for metal partitioning in environmental solid samples. Journal of Environmental Monitoring, 4 (6): 823- 857.
26. Galavi, M., Jalali A., Mousavi, S.R., and Galavi, H. 2009. Effect of treated municipal wastewater on forage yield, quantitative and qualitative properties of sorghum (*S. bicolor* Speed feed). Asian Journal of Plant Sciences, 8: 489-494.
27. Ghafoori, M., Majid, N.M., Islam, M.M., and Luhath, S. 2011. Bioaccumulation of heavy metals by *Dyera costulata* cultivated in sewage sludge contaminated soil. African Journal of Biotechnology, 10:10674-10682.
28. Hanay, O., Hasar, H., Kocer, N.N., and Aslan, S. 2008. Evaluation for agricultural usage with speciation of heavy metals in a municipal sewage sludge. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, 81(1): 42-46.
29. Hargreaves, J.C., Adl, M.S., and Warman, P.R. 2008. A review of the use of composted municipal solid waste in agriculture. Agriculture, Ecosystems and Environment, 123: 1- 14.
30. Havlin, J.L., Beaton, J.D., Tisdale, S.L., and Nelson, W.L. 2006. Soil Fertility and Fertilizers an Introduction to Nutrient Management. 7th Edition, Prentice Hall of India, New Delhi, India.
31. Hosseini Khanmyry, N., Hashemimajd, K., Asghari, S., Oustan, S., and Keivan Behjou, F. 2012. Effects of Tabriz petrochemicals' biological sludge on heavy metals concentration in soil and spring barley in greenhouse conditions. Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture Soilless Culture Research Center. 2: (4). 83-93.
32. Hosseinpour, R., Ghajar Sepanlou, M., and oush Salek Gilani, S. 2016. The Effects of Sewage Sludge and Chemical Fertilizers on Concentration of Some Microelements in Soil and Lettuce (*Lactuca Sativa* L.). Journal of Crops Improvement, 26 (2): 31-43. (in Persian with English abstract).
33. Hossner, L.R. 1996. Dissolution for total elemental analysis. P 49-64, In Methods of soil analysis. Sparks, D.L., (ed.). ASA and SSSA. Madison, WI.
34. Hualan, Z. and Xiulan, Z. 2012. Effects of lime stabilized sewage sludge compost on soil physicochemical properties and heavy metal uptake by ryegrass. Advanced Materials Research, 414:306-311.
35. Jackosn, M.L. 1973. Soil Chemical Analysis Prentice Halla of India Private Limited. New Delhi, indian.250p.
36. Jahantigh, M. 2008. Impact of Recycled Wastewater Irrigation on Soil Chemical Properties in an Arid Region. Pakistanian Journal of Biological Sciences, 11 (18): 2264-2268.
37. Jones, J.B., and Case, V.W. 1990. Sampling, handling and analyzing plant tissue samples. Sampling, handling and analyzing plant tissue samples. (Ed. 3), pp.389-427.

38. Kafi, M., Borzooei, A., Salehi, M., Kamandi, A., Maassoumi, A., and Nabati, M. 2009. Plantenvironmental stress physiology. Mashhad University Jihad Press. 502 p. (In Persian).
39. Kamal, A.T.M.M., Islam, M.M., Hossain, M.S., and Ullah, S.M., 2013. Influence of sewage sludge on yield and mineral contents of rice grain. *Bangladesh Journal of Scientific Research*, 26(1-2): 57-60.
40. Kassray, R., Saedi, S., and Aliasgharzadeh, N. 2008. The study of biochemical effects of Tabriz petrochemical factory biological sludge application on a sample of Ahar region soils. *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*. 15(2): 67-75. (in Persian with English abstract).
41. Kumar, V. and Chopra, A. K. 2014. Accumulation and Translocation of Metals in Soil and Different Parts of French Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) Amended with Sewage Sludge. *Bulletin of environmental contamination and toxicology*. 92 (1): 103-108.
42. Kumar, V. and Chopra, A.K. 2015. Fertigation with agro-residue-based paper mill effluent on a high-yield spinach variety. *International Journal of Vegetable Science*, 21(1): 69-97.
43. Kumar, V. and Chopra, A.K. 2016. Agronomical Performance of High Yielding Cultivar of Eggplant (*Solanum melongena* L.) Grown in Sewage Sludge Amended Soil. *Research in Agriculture*, 1(1): 1-24.
44. Lindsay, W.L. and Norwell, W.A. 1978. Development of DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. *Soil Science Society of America Journal*, 46: 260-264.
45. Maas, E.V. and Hoffman, G. J. 1977. Crop salt tolerance-current assessment. *ASCE, Journal of the Irrigation and Drainage Division*, 103(2): 115-134.
46. Mackowiak, CL., Grossl, P.R., and Bugbee, B.G. 2001. Beneficial effects of humic acid on micronutrient availability to wheat. *Soil Science Society of America Journal*, 65(6): 1744-1750.
47. McGrath, S.P., Zhao, F.J., Dunham, S.J., Crosland, A.R., and Coleman, K. 2000. Long-term changes in the extractability and bioavailability of zinc and cadmium after sludge application. *Journal of Environmental Quality*, 29:87-883.
48. Mehmet A.B., Akdeniz H., Yilmaz B.K.H. 2006. Possibilities of using sewage sludge as nitrogen fertilizer for maize. *Acta Agriculture Scandinavica, Section B-Plant and Soil Science*, 56:143-149.
49. Melamed, R., Cao, X., Chen, M., and Ma, L. Q. 2003. Field assessment of lead immobilization in a contaminated soil after phosphate application. *Science of the Total Environment*, 305: 117-127.
50. Milivojević, J., Jakovljević, M., Jelić, M., and Boškovičkočević, L. 2002. Investigation of methods for Fe, Mn and Zn solubility in the Smonitzas of Serbia. *The Journal of Agricultural Science*, 47(1): 9-18.
51. Mirzaei, M.R., Kambozia, J., Sabahi, H., and Mahdavi, A. 2009. "Effect of different organic fertilizers on soil physicochemical properties, production and biomass yield of tomato (*Lycopersicon esculentum*)."  
*Iranian Journal of Crops Researches*, 7(1): 257-267. (in Persian with English abstract).
52. Mohamed, B., Olivier, G., Francois, G., Laurence, A.S., Bourgeade, P., Badr, A.S., and Lotfi, A. 2018. Sewage sludge as a soil amendment in a *Larix decidua* plantation: effects on tree growth and floristic diversity. *Science of the Total Environment*, 621:291-301.
53. Mylavarapu, R.S. and Zinati, G.M. 2009. Improvement of soil properties using compost for optimum parsley production in sandy soils. *Scientia Horticulturae*, 120: 426-430.
54. Najafi, N., Mardomi, S., and Oustan, Sh. 2012. The effect of waterlogging, sewage sludge and manure on selected macronutrients and sodium uptake in sunflower plant in a loamy sand soil. *Journal of Water and Soil*, 26(3): 619-636. (In Persian).

55. Neaman, A., Reyes, L., Trolard, F., Bourrie, G., and Sauve, S. 2009. Copper mobility in contaminated soils of the puchancavi valley, central Chile. *Geoderma*, 150: 359- 366.
56. Nelson, D.W., and sommers, L.E. 1982. Total carbon, organic carbon, and organic matter, pp. 539-577 in: A.L. page, R.H. Miller and D.R. Keeney (eds.) *Methods of soils analysis part 2*.
57. Orman, S., OK, H., and Kaplan, M. 2014. Application of Sewage Sludge for Growing Alfalfa, Its Effects on the Macro-Micronutrient Concentration, Heavy Metal Accumulation, and Translocation. *Ekoloji*. 23(90): 10-19.
58. Ouda B.A. and Mahadeen A.Y. 2008. Effect of fertilizers on growth, yield, yield components, quality and certain nutrient contents in broccoli (*Brassica oleracea*). *International Journal of Agriculture and Biology*, 10: 627-32.
59. Page, A.L., Miller, R.H., and Keeney, D.R. 1982. *Methods of soil analysis Part 2*. 2nd ed. ASA and SSSSA. Madison, WI. 9: 643-659.
60. Parsafar, N., Marofi, S., Rahimi, G., and Marofi, H. 2015. Assessment of Pollution Index (PI) of Cd, Zn, Cu and Pb in the soil irrigated with municipal wastewater. *Water and Soil Science*, 25(1): 1-12. (in Persian with English abstract).
61. Pashapoor, N., Reyhanitabar, A., and Oustan, Sh. 2016. Determination of Iron Fractions and their Relations with Soil properties in Some Soils of East Azerbaijan. *Water and Soil Science*, 26(1): 205-215. (in Persian with English abstract).
62. Prasanth, K. M., Sreekala, P. P., Sandeep, S., Kripa, P. K., and Sreejesh, K. K. 2013. Heavy Metals and its Fractions in Soils of Koratty Region, Kerala. *Research Journal of Recent Sciences*, 2: 171-176.
63. Roads, J.D. 1996. Salinity: Electrical conductivity and total dissolved solids. In sparks, D.L. (ed.). *Methods of soil analysis*. SSSSA. Madison, WI. Pp: 417-435.
64. Samaras, V., Tsadilas, D., and Stamatiadis, S. 2008. Effects of repeated application of municipal sewage sludge on soil fertility, cotton yield, and leaching. *Agronomy Journal*, 3: 477-483.
65. Samavat, S., Tehrani, M.M., Bazargan, K., and Basirat, M. 2011. Instructions checking of organic Matter. Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran. (In Persian).
66. Shuman, L.M. 1991. In: Mortvedt J. J. et al. (Eds) *Chemical forms of micronutrients in soils*. p. 113-144.
67. Smernik, R.J., Oliver, I.W., and Merrington, G. 2003. Characterization of sewage sludge organic matter using solid-state carbon-13, nuclear magnetic resonance spectroscopy. *Journal of Environmental Quality*, 32: 1516- 1522.
68. Sohrabi, N., Alinejadian Bidabadi, A., Feizian, M., and Maleki, A. 2017. A Comparative Study of the Effects of Sewage Sludge on Heavy Metals Concentrations and Some Morphological Characteristics of Lettuce. *Iranian Journal of Soil Research*. 31:3. 291-302. (in Persian with English abstract).
69. Sukkariyah, B.F., Evanylo, G., and Zelazny, L. 2005. Recovery and distribution of biosolids-derived trace metals in a clay loam soil. *Journal of Environmental Quality*, 34: 1843-1850.
70. Tabande, L., and Karimian, N.A. 2012. Comparison of Two Laboratory Methods for Investigation Distribution of Iron Chemical Forms in Some Soils of Fars Province. *Journal Water and Soil Science*, 24(1): 41-54.

71. Tabande, L. and Bakhshi, M.R. 2017. Effect of Fe-EDDHA on Soybean and Distribution of Chemical Forms of Iron in Soils of Fars Province. *Journal of Water and Soil*, 31(4): 1108-1119. (in Persian with English abstract).
72. Tabande, L., Bakhshi, M.R., and Karimian, N.A. 2012. Comparison of Two Laboratory Methods for Investigation Distribution of Iron Chemical Forms in Some Soils of Fars Province. *Journal Water and Soil Science*, 24(1):41-54. (in Persian with English abstract).
73. Tao, S., Liu W.X., Chen, Y.J., Xu, F.L., Dawson, R.W., Li, B.G., Cao, J., Wang, X.J., Hu J.Y., and Fang, J.Y. 2004: Evaluation of factors influencing root-induced changes of copper fractionation in rhizosphere of a calcareous soil. *Environmental Pollution*, 129:5-12.
74. Tessier, A., Campbell, P.G.C., and Bisson, M. 1979. Sequential extraction procedure for the speciation of particulate traces metals. *Analytical chemistry*, 51: 844-851.
75. Vaseghi, S., Afyuni, M., Shariatmadari, H., and Mobli, M. 2003. Effects of sewage sludge and soil pH on micronutrient and heavy metal availability. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*, 7 (3): 95-106.
76. Vaseghi, S., Afyuni, M., Shariatmadari, H., and Mobli, M. 2005. Effect of Sewage Sludge on Some Macronutrients Concentration and Soil Chemical Properties. *Jouranal of Water and Wastewater*, 53: 15-26.
77. Vaseghi, S., Afyuni, M., Shariatmadari, H., and Mobli, M. 2005. Effect of Sewage Sludge on Some Macronutrients Concentration and Soil Chemical Properties. *Water and Wastewater Consultion Engineers*.16(1): 15-22.
78. Wang, S., Jia, Y., Wang, S., Wang, X., Wang, H., Zhao, Z., and Liu, B. 2010. Fractionation of heavy metals in shallow marine sediments from Jinzhou Bay, China. *Journal of Environmental Sciences*, 22(1): 23-31.
79. Wei, X., Shao, M., Zhuang, J., and Horton, R. 2010. Soil iron fractionation and availability at selected landscape positions in a loessial gully region of northwestern China. *Soil Science and Plant Nutrition*, 56: 617-626
80. Wei, Y.J. and Liu, Y. 2005. Effects of sewage sludge compost application on crops and cropland in a 3-year field study. *Chemosphere*, 59: 1257-1265.
81. Wei, X.R., Shao, M.A., Zhuang, J., and Horton, R. 2010. Soil iron fractionation and availability at selected landscape positions in a loessial gully region of northwestern China. *Soil Science and Plant Nutrition*, 56(4): 617-626.
82. Wong, J.W.C. and Wong, M.H. 2000. The growth of *Brassica chinensis* in heavy-metal contaminated sewage sludge compost from Hong Kong. *Journal of Agriculture, Ecosystems and Environmental*, 81: 209-216.
83. Xian, X. 2003. Effect of chemical forms of Cadmium, Zinc, and Lead in polluted soils on their uptake by cabbage plants. *Plant and Soil* 113(2): 257-264.
84. Young, K.C., Maurice, P.A., and Hersman, L.E. 2006. Acquisition of Fe from various natural organic matter isolates by aerobic pseudomonad bacteria. *Geomicrobiol Journal*, 23(3-4): 183-188.
85. Yuruk, A. and Bozkurt M.A. 2006. Heavy metal accumulation in different organs of plants grown under high sewage sludge doses. *Fresenius Environmental Bulletin* 15: 107-112.
86. Zahedifar, M. 2018. Iron Fractionation in the Calcareous Soils of Different Land Uses as Influenced by Biochar. *Waste and Biomass Valorization*, pp.1-10.

87. Zare, M., chorom, M., and Moallemi. N. 2015. Effect of Treated Urban Sewage Sludge on Soil Essential Nutrients, Soil Chemical Properties and Physiological Properties of Olive Tree. *Journal of Agricultural Engineering*, 37(2): 1-15.
88. Zhou, Q., Gibson, C.E., and Stewart, B.M. 2003. Chemical forms and extractability of iron in sediments of three contrasting lakes of China and UK. *Journal of Environmental Sciences*, 15(6): 728-733.
89. Zinati, G.M., Li, Y., and Bryan, H.H. 2001. Accumulation and fractionation of copper, iron, manganese, and zinc in calcareous soils amended with composts. *Journal of Environmental Science and Health, Part B*. 36: 229-243.