

## Effect of Treated Wastewater on Soil Chemical Properties under Cotton Cultivation

Yahya Choopan<sup>1\*</sup>, Abbas Khashei Siuki<sup>2</sup> and Ali Shahidi<sup>2</sup>

1- Department of Water Engineering, University of Gorgan of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.

2- Department of Water Engineering, University of Birjand, Birjand, Iran.

\* Corresponding Author: yahyachoopan68@gmail.com

Received: 10/4/2018

Revised: 4/11/2018

Accepted: 5/11/2018

### Abstract

The reuse of urban wastewater treatment needs to be further explored due to some extent of potential hazards raised from the spread of various contagious diseases and the presence of toxic elements. At the same time and due to the presence of carbon and nitrogen, the treated wastewater can have beneficial effects on physical and chemical properties of agricultural soil. To assess the impacts of such irrigations, research has been made as farm pilots for depths of 0-40 cm in soil, in a completely randomized design with three replications of five treatments of irrigation. The study treatments were the well water T1, wastewater T2, combining 50% water and 50% wastewater T3, alternate irrigation water and wastewater T4, and the combination of 33% water and 66% wastewater (used by farmers) T5. The well water Chemical treatment were considered as control sample. analysis showed permissible changes in cations and anions in soil irrigated by treated urban wastewater in accordance to irrigation standards. Average amounts of Calcium, Potassium, Phosphorus, Nitrogen, Sulfate, Magnesium, Sodium and Chloride were measured as 22.80, 494.4, 7.87, 1.028, 9.34, 8.34, 39.2 and 25.7 mg/l, respectively. The amounts of average EC and pH were respectively equal to 3387  $\mu\text{m}/\text{m}$  and 8.7. In general, the results showed that using treated urban wastewater had no destructive effect on soil.

**Keywords:** Chemical Properties of Soil, Cotton Cultivation, Wastewater Treatment, Well Water.

## ارزیابی اثرات فاضلاب تصفیه شده شهری بر خصوصیات شیمیایی خاک تحت کشت پنبه

یحیی چوپان<sup>۱\*</sup>، عباس خاشعی سیوکی<sup>۲</sup> و علی شهیدی<sup>۲</sup>

۱- گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.

۲- دانشیار گروه مهندسی آب دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.  
\* نویسنده مسئول، ایمیل: yahyachoopan68@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۱/۲۱

تاریخ اصلاح: ۱۳۹۷/۰۸/۱۳

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۸/۱۴

### چکیده

استفاده از پساب فاضلاب تصفیه شده شهری نیاز به بررسی بیشتری دارد، زیرا این مواد به دلیل پتانسیل انتشار انواع بیماری های واگیردار و حضور عناصر سمی تا حدودی می توانند خطر آفرین باشند. اما به دلیل دارا بودن کربن و نیتروژن میتوانند اثرات مفیدی بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک داشته باشند. به منظور بررسی اثرات آبیاری با پساب فاضلاب تصفیه شده شهری بر خواص شیمیایی خاک تحت کشت محصول پنبه در شهرستان تربت حیدریه، تحقیقی به صورت طرح کامل تصادفی با پنج تیمار و سه تکرار (R)، به صورت آزمایش های مزرعه ای برای عمق ۰-۴۰ سانتیمتری خاک انجام شد. تیمارهای این تحقیق پنج تیمار که شامل آب چاه T1، پساب فاضلاب تصفیه شده شهری T2، ترکیب ۵۰٪ آب چاه و ۵۰٪ پساب فاضلاب تصفیه شده T3، آبیاری یک در میان آب و فاضلاب T4، ترکیب ۳۳٪ آب چاه و ۶۶٪ فاضلاب تصفیه شده (مورد استفاده کشاورزان منطقه) T5، هستند و تیمار آب چاه به عنوان شاهد در نظر گرفته شد. نتایج تحلیل شیمیایی نشان داد پساب تصفیه شده شهری بر کاتیون ها و آنیون های خاک تغییراتی در حد مجاز استاندارد آبیاری و کشت گیاهان دارد. میانگین مقادیر یون های کلسیم، پتاسیم، فسفر، نیتروژن، سولفات، منیزیم، سدیم و کلراید، به ترتیب برابر با ۲۲/۸۰، ۴۹۴/۴، ۷/۸۷، ۱/۰۲۸، ۹/۳۴، ۸/۳۴، ۳۹/۲ و ۲۵/۷ میلیگرم بر لیتر و میانگین مقادیر هدایت الکتریکی (EC) و میزان pH، به ترتیب ۳۳۸۷ میکرو زیمنس بر متر و ۸/۷ به دست آمد. در حالت کلی، نتایج نشان داد پساب فاضلاب تصفیه شده شهری بر خاک اثر مخربی نداشته است.

**واژه های کلیدی:** آب چاه، خواص شیمیایی خاک، عناصر خاک، پساب تصفیه شده، کشت پنبه.

در آب آبیاری به حساب می‌آید (Hassanoghli, 2004; Alizadeh et al., 2001; Feigin et al., 1991).

تحقیقات صفری سنجانی و رسولیها (۱۳۸۰) نشان داد که آبیاری با پساب فاضلاب تصفیه‌شده شهری توانسته است خاک‌های شور و سدیمی را به یک خاک مناسب برای کشاورزی تبدیل کند و این کار موجب افزایش چشمگیر مواد آلی، نیتروژن کل و فسفر قابل جذب در لایه صفر تا ۴۰ سانتیمتری خاک شده است. فیضی (۱۳۸۰) با مقایسه تأثیر پساب فاضلاب تصفیه‌شده شهری و آب چاه بر خاک منطقه شمال اصفهان نشان داد که هدایت الکتریکی (EC)، pH و نسبت جذب سدیم (SAR)، با هدایت الکتریکی (EC) آب مصرفی ارتباط نزدیکی دارد. صابر (۱۹۸۶) با آزمایش خصوصیات خاک‌های شنی واقع در منطقه قاهره مصر نشان داد که با افزایش سال‌های آبیاری با پساب فاضلاب تصفیه‌شده شهری، گنجایش نگهداری آب در خاک، کربن آلی، نیتروژن و فسفر، ظرفیت تبادل کاتیونی، عناصر سنگین مانند آهن، روی و مس در یک دوره صفر تا ۶۰ ساله افزایش و pH کاهش داشته است. Mahida (1981) با بررسی پساب فاضلاب تصفیه‌شده شهری مناطق مختلف هند نشان داد که برای بهره‌برداری از این آب‌ها در آبیاری کشتزارها نیازی به رقیق نمودن آن‌ها نیست. همچنین وی نتیجه گرفت آبیاری با پساب فاضلاب تصفیه‌شده شهری، هدایت الکتریکی (EC) و pH خاک را بیشتر کاهش داده و ظرفیت تبادل کاتیونی، مواد آلی، نیتروژن کل، فسفر محلول و پتاسیم کل خاک را افزایش داده است.

جمع‌بندی تجربیات جهانی استفاده از پساب فاضلاب تصفیه‌شده شهری و آب‌های نامتعارف نشان می‌دهد که با توجه به کمبود آب، استفاده از این منابع به‌عنوان یک منبع ارزشمند آب مطرح است. با این‌وجود پساب فاضلاب تصفیه‌شده شهری به دلیل دارا بودن کربن و نیتروژن می‌تواند اثرات مفیدی بر خصوصیات کمی و کیفی خاک داشته باشد (Zaman et al., 2004). Schacht and Marschner (2015) نتیجه گرفتند آبیاری با پساب فاضلاب تصفیه‌شده شهری در کشاورزی در مناطق مواجه با تنش و کمبود آب، باعث کاهش فشار بر منابع آب موجود شده و اجازه می‌دهد تا منابع آب با کیفیت، برای مصارف دیگر و توسعه زیرساخت‌های امنیت و سلامت اختصاص یابد. Hasan et al. (2015) پی بردند که استفاده از پساب فاضلاب تصفیه‌شده شهری برای آبیاری، یک استراتژی ارزشمند برای بالا بردن منابع آب در دسترس محسوب می‌شود. یزدانی و همکاران

خاک یکی از اجزای مهم منابع پایه است که به‌عنوان بستر اصلی کشت گیاه و نیز محیطی منحصربه‌فرد برای انواع حیات محسوب می‌شود. امروزه استفاده مجدد از پساب فاضلاب تصفیه‌شده شهری به‌عنوان یکی از منابع پایدار در کشاورزی حائز اهمیت است (عابدی کوپایی و همکاران، ۱۳۸۴). از نظر غذایی پساب فاضلاب تصفیه‌شده شهری حاوی سه عنصر ضروری نیتروژن، پتاسیم و فسفر است و علاوه بر آن عناصر ریزمغذی لازم برای رشد گیاهان نیز اغلب در پساب فاضلاب تصفیه‌شده شهری وجود دارد. وجود این عناصر از مزایای اصلی استفاده از پساب فاضلاب تصفیه‌شده شهری در کشاورزی تلقی می‌شود و صرفه‌جویی قابل توجهی در مصرف کودهای شیمیایی به دلیل استفاده از پساب فاضلاب تصفیه‌شده شهری صورت می‌پذیرد. مقدار نیتروژن و پتاسیم موجود در پساب فاضلاب تصفیه‌شده شهری اغلب نیاز گیاهان به این عناصر را طی دوره رشد برآورده می‌نماید، اما در بعضی مواقع، نیتروژن و پتاسیم موجود در پساب فاضلاب تصفیه‌شده شهری بیش از حد مورد نیاز گیاهان است و بنابراین موجب رشد بیش از حد، تأخیر در زمان رسیدن و کاهش کیفیت محصول می‌شود (Al-Salem, 1998; Asano and Levine, 1996; Papadopoulos and Stylianon, 1991, 1998).

به‌منظور بررسی اثرات آبیاری با پساب فاضلاب تصفیه‌شده شهری بر خصوصیات کیفی خاک و شستشوی نمک‌ها به آب زیرزمینی، تحقیقاتی توسط Jalali et al. (2008) بر روی دو نوع خاک شور سدیمی و شور دارای بافت سیلتی لوم انجام و مشاهده شد که در نتیجه کاربرد پساب فاضلاب تصفیه‌شده شهری، تبادل سدیم با کاتیون‌های قابل تبادل خاک (پتاسیم، کلسیم و منیزیم) به‌وقوع پیوست و میانگین درصد سدیم قابل تبادل خاک‌ها در مدت کاربرد پساب فاضلاب تصفیه‌شده شهری و آب‌شویی ستون‌های خاک افزایش یافت. هدایت الکتریکی (EC) خاک نیز در این شرایط افزایش یافته و مقادیر قابل توجهی از منیزیم و پتاسیم به همراه آب زهکشی شده از ستون‌های خاک خارج شد. نکته مهم این است که هدایت الکتریکی (EC)، به‌طور مستقیم با مجموع آنیون‌ها و کاتیون‌ها در ارتباط است و بنابراین، به‌عنوان شاخصی مناسب برای شناسایی مقادیر کل نمک‌های موجود

فاضلاب تصفیه شده شهری توسط کشاورزان تربت حیدریه و رواج کشت پنبه در این منطقه، در این تحقیق به بررسی تأثیر پساب فاضلاب تصفیه شده شهر تربت حیدریه بر خصوصیات شیمیایی خاک تحت کشت پنبه رقم ورامین پرداخته شده است.

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- روش بررسی (منطقه مورد مطالعه)

تحقیق حاضر در اراضی کشاورزی روستای سیوکی واقع در ۱۸ کیلومتری جنوب شرقی شهرستان تربت حیدریه انجام شده است. با توجه به وجود یک حلقه چاه، تانکر برای ذخیره سازی و تلفیق پساب فاضلاب تصفیه شده شهری (کشاورزان از آن برای آبیاری استفاده می‌کنند)، در هر زمان مورد نیاز آبیاری انجام می‌گرفت. شهرستان تربت حیدریه در جنوب غربی مشهد روی مدار  $34^{\circ}$  و  $17^{\circ}$  عرض شمالی در ارتفاع ۱۳۳۳ متر از سطح دریا قرار دارد. براساس اطلاعات اداره کل هواشناسی خراسان رضوی، وضعیت اقلیمی این ایستگاه با استفاده از طبقه‌بندی آمبرژه، اقلیم خشک سرد و براساس طبقه‌بندی دکتر کریمی دارای اقلیم نیمه خشک است. متوسط بارش سالیانه ۲۶۰ میلی‌متر و میانگین دمای سالانه آن ۲۱ درجه است. براساس داده‌های هواشناسی آمار ۲۰ ساله ایستگاه هواشناسی شهرستان تربت حیدریه، متوسط درجه حرارت روزانه در ایستگاه تربت حیدریه  $14/2$  درجه سانتی‌گراد، حداقل و حداکثر دما به ترتیب برابر  $24/6$  - و  $40/4$  درجه سانتی‌گراد، متوسط رطوبت نسبی  $45\%$ ، متوسط بارش سالانه ۲۵۳ میلی‌متر و متوسط تبخیر سالیانه  $1143/13$  میلی‌متر است.

### ۲-۲- پیاده سازی طرح

قبل از پیاده کردن نقشه اجرایی طرح، ابتدا تعداد ۲۴ نقطه اصلی واقع در ابتدا، وسط و انتهای زمین و از عمق ۰-۴۰ سانتیمتری خاک برداشت شده و تحت انجام آزمایشات لازم در آزمایشگاه سایت فاضلاب که محل جمع‌آوری و تصفیه فاضلاب است، برای تعیین پارامترهای شیمیایی خاک قرار گرفتند.

(۱۳۹۳) نتیجه گرفتند که آبیاری با پساب فاضلاب تصفیه شده شهری بر چگالی ظاهری خاک تأثیرگذار بوده و مقدار آن را کاهش می‌دهد. همچنین با افزایش تعداد آبیاری با پساب فاضلاب تصفیه شده شهری، مقدار یون‌های سدیم، فسفر، نیترات و نیکل افزایش می‌یابد. خدادادی و همکاران (۱۳۹۴) گزارش کردند که آبیاری با پساب فاضلاب‌های تصفیه شده شهری و صنعتی موجب افزایش جرم مخصوص ظاهری و همچنین، باعث کاهش هدایت هیدرولیکی (EC) خاک، نفوذپذیری و دو کوهانه شدن منحنی رطوبتی خاک شده است. فرمانی فرد و همکاران (۱۳۹۶) با بررسی تأثیر آبیاری بلند مدت با پساب فاضلاب تصفیه شده شهری کرمانشاه بر برخی خصوصیات فیزیکی خاک، گزارش کردند که تحت تأثیر آبیاری با پساب فاضلاب تصفیه شده شهری، جرم مخصوص ظاهری لایه سطحی خاک کاهش و جرم مخصوص حقیقی آن افزایش یافت. چوپان و همکاران (۱۳۹۶) طی تحقیقی به صورت طرح بلوک کامل تصادفی با پنج تیمار آب آبیاری و سه تکرار به بررسی اثر آبیاری با پساب فاضلاب تصفیه شده شهر تربت حیدریه بر عملکرد مورفولوژیک پنبه رقم ورامین اقدام نمودند. نتایج به‌دست آمده نشان داد، میانگین مربعات صفات، نوع آب آبیاری در صفات عملکرد چین اول، عملکرد چین دوم، عملکرد کل و وزن ۱۰ قوزه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار می‌باشد. چوپان و همکاران (۱۳۹۷) با بررسی خصوصیات شیمیایی خاک زیر کشت جو تحت تأثیر آبیاری با پساب صنعتی تصفیه نشده (پساب خام کارخانه قند تربت حیدریه) نشان دادند که آبیاری با پساب خام کارخانه قند در شرایط تنش آبی تا حدودی باعث بهبود شرایط شیمیایی خاک گردید و به دلیل اثرات مثبت آن، برای آبیاری مزارع جو منطقه مورد مطالعه پیشنهاد می‌شود.

با توجه به بررسی مطالعات انجام شده تا به امروز در مورد تأثیر پساب فاضلاب تصفیه شده شهری بر خواص شیمیایی خاک تحت کشت پنبه در شهرستان تربت حیدریه تحقیقی انجام نشده است. بنابراین با توجه به اهمیت استفاده از پساب‌های شهری و صنعتی و همچنین به دلیل کمبود آب، استفاده از پساب

جدول ۱- خصوصیات شیمیایی خاک محل آزمایش

| مواد آلی (%) | آهک (%) | pH  | هدایت الکتریکی (EC) (dS/m) | نیتروژن کل (%) | فسفر (mg/kg) | پتاسیم (mg/kg) |
|--------------|---------|-----|----------------------------|----------------|--------------|----------------|
| ۰/۰۸۱        | ۱۸/۷۵   | ۷/۶ | ۶/۳                        | ۰/۰۱۱          | ۵/۳          | ۱۷۵            |

نتایج به دست آمده در جدول ۱ (قبل از انجام آزمایش، چند نمونه خاک از محل برداشت شده مورد آنالیز قرار گرفت) ارائه شده است.

پارامترها به صورت زیر اندازه‌گیری شد:

- (الف) pH با دستگاه پی اچ سنج مدل pH Moisture،  
 (ب) کلراید با روش موهر (نیترات نقره)،  
 (ج) هدایت الکتریکی پساب (EC) با استفاده از دستگاه هدایت سنج قلمی MIC تایوان مدل ۹۹۶۰۲،  
 (د) سولفات با روش کولوریمتری در طول موج ۴۲۰،  
 (ذ) کربن آلی با روش سوزاندن در کوره، فسفات با روش کولوریمتری با فسفومولیدات،  
 (و) کلسیم و منیزیم با روش کومپلکسومتری (تیتراسیون با EDTA)،  
 (ل) سدیم با روش اسپکتوفتومتری طول موج در ۵۸۹،  
 (ه) پتاسیم با روش اسپکتوفتومتری در طول موج ۷۶۶ و  
 (ی) نیترات با روش اسپکتوفتومتری در طول موج ۲۲۰ اندازه‌گیری شدند.

این تحقیق با طرح پایه کامل تصادفی با ۳ تکرار (R) اجرا شد. تیمارهای این آزمایش عبارتند از آب چاه T1، پساب فاضلاب تصفیه شده شهری T2، ترکیب ۵۰٪ آب و ۵۰٪ پساب فاضلاب تصفیه شده شهری T3، آبیاری یک در میان آب چاه و پساب فاضلاب تصفیه شده شهری T4، ترکیب ۳۳٪ آب چاه و ۶۶٪ پساب فاضلاب تصفیه شده شهری (مورد استفاده کشاورزان منطقه) T5 و تیمار آب چاه به عنوان شاهد در نظر گرفته شد. میزان حجم آب مورد نیاز به وسیله نرم افزار NETWAT در هر مرحله از آبیاری با استفاده از کنتور حجمی نصب شده در مسیر لوله انتقال آب که آب را در اختیار تیمارهای آزمایشی مورد نظر قرار می‌داد و با دقت لیتر اندازه‌گیری شد. اطلاعات مورد بررسی از نتایج تحلیل خاک پس از جمع آوری با استفاده از نرم افزارهای EXCEL و SAS مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته و نمودارها نیز ترسیم شده اند. در جداول ۲ و ۳ نتایج تحلیل شیمیایی آب چاه و پساب فاضلاب تصفیه شده شهری ارائه شده است.

### ۲-۳- روش نمودار ویلکاکس

در مصارف کشاورزی، آب با غلظت نسبت جذب سدیم کم

جدول ۲- نتایج آنالیز شیمیایی آب چاه

| هدایت الکتریکی (dS/m) (EC) | pH  | کاتیون‌های محلول (mg/L) |        |       |        | آنیون‌های محلول (mg/L) |        |                   | SAR   |
|----------------------------|-----|-------------------------|--------|-------|--------|------------------------|--------|-------------------|-------|
|                            |     | سدیم                    | منیزیم | کلسیم | پتاسیم | کلراید                 | سولفات | کربنات و بیکربنات |       |
| ۲۵۰۰                       | ۶/۸ | ۱۸/۴                    | ۲/۸    | ۱/۲   | -      | ۱۰/۵                   | ۱۰/۸   | ۳/۴               | ۱۳/۰۴ |

توصیه می‌شود، زیرا به ازای مقدار معینی از کاتیون سدیم، افزایش کاتیون‌های کلسیم و منیزیم آب منجر به قابلیت جذب سدیم به وسیله خاک شده و در نتیجه زیان آن برای گیاه کمتر می‌شود. اما سدیم به تنهایی نمی‌تواند معیار کیفی آب به لحاظ کشاورزی مورد استفاده قرار گیرد و بهتر است که تأثیر آن در ارتباط با شوری کل آب در نظر گرفته شود. بنابراین روش طبقه بندی ویلکاکس و استفاده از نمودار آن کاربردی‌ترین روش برای طبقه بندی آب از نظر کشاورزی در مطالعات آبشناسی است، زیرا در نمودار ویلکاکس، محور افقی به شوری آب (برحسب میکروزیمنس بر سانتی‌متر) و محور عمودی به نسبت جذبی سدیم (SAR) اختصاص دارد. در جدول ۴، طبقه بندی آب از نظر کشاورزی براساس معیار ویلکاکس ارائه شده است. از تلفیق این دو عامل

جدول ۳- نتایج آنالیز شیمیایی پساب فاضلاب تصفیه شده شهری

| نتایج آزمایش | واحد اندازه گیری | آزمایش          |
|--------------|------------------|-----------------|
| ۷/۴          | -                | pH              |
| ۳            | TCU              | رنگ             |
| ۶/۵          | NTU              | کدورت           |
| ۱۰۴۴         | mg/L             | کل جامدات محلول |
| ۵۲/۸         | mg/L             | کلسیم           |
| ۳۵/۵         | mg/L             | منیزیم          |
| ۸۴/۹         | mg/L             | سولفات          |
| ۶۰۸          | mg/L             | کلراید          |
| ۱            | mg/L             | نیترات          |
| ۱/۵          | mg/L             | فسفات           |

#### ۴- بحث و نتیجه گیری

##### ۴-۱- درصد مواد آلی

مواد آلی خاک نقش به‌سزایی در تولید محصولات و غنی سازی خاک دارند. نتایج نشان داد تیمارهای دارای پساب فاضلاب تصفیه‌شده شهری (T2, T3, T4, T5)، همگی در یک گروه آماری قرار گرفته و اختلاف معنی‌دار آماری ندارند (جدول ۵). مواد آلی با تشکیل کمپلکس‌های پایدار با فلزات سنگین در خاک به نوعی می‌تواند باعث تثبیت آن‌ها در خاک می‌شود. ترکیبات آلی می‌توانند موجب توزیع دوباره فلزات سنگین و انتقال آن‌ها از فرم‌های محلول و تبادل‌پذیر به فرم‌های در ارتباط با مواد آلی، کربناته و باقیمانده شوند. همچنین اسلایمیان و همکاران (۱۳۸۶) گزارش کردند تأثیر پساب فاضلاب تصفیه‌شده شهری و پساب خام در طی یک فصل زراعی بر خاک‌های زراعی شهرستان نجف آباد اصفهان، منجر به افزایش مواد آلی خاک به‌طور متوسط از ۱۷/۴ تا ۴۸/۸ درصد، بهبود ساختمان خاک و افزایش قابلیت نگه‌داشت آب خاک شد.

##### ۴-۲- pH و هدایت الکتریکی پساب (EC)

براساس نتایج تحلیل شیمیایی خاک تحت تیمارهای تحقیق، pH در تیمارهای تحقیق تغییرات کمی داشته و در محدوده ۸/۴۴ تا ۸/۹۵ قرار گرفته و مشکلی برای کشاورزی گیاهان

(هدایت الکتریکی EC و نسبت جذب سدیم (SAR)، آب‌ها به ۱۶ طبقه تقسیم می‌شوند که از  $S_1 - C_1$  (عالی) شروع و به  $S_4 - C_4$  (نامناسب) ختم می‌شوند (Engineers PC).

جدول ۴ - طبقه بندی آب از نظر کشاورزی بر اساس معیار ویلکاکس

| طبقه      | حدود EC  | طبقه  | حدود SAR |
|-----------|----------|-------|----------|
| ۰-۲۵۰     | عالی C1  | ۰-۱۰  | عالی S1  |
| ۲۵۰-۷۵۰   | خوب C2   | ۱۰-۱۸ | خوب S2   |
| ۷۵۰-۲۲۵۰  | متوسط C3 | ۱۸-۲۶ | متوسط S3 |
| ۲۲۵۰-۵۰۰۰ | ضعیف C4  | ۲۶-۳۲ | ضعیف S4  |

##### ۳- یافته‌ها

نتایج تحلیل شیمیایی و آماری خاک تحت تیمارهای تحقیق در جدول ۵ آمده است. براساس نتایج به دست آمده پساب فاضلاب تصفیه‌شده شهری بر خواص شیمیایی خاک اثر مخربی نداشته و کاتیون‌ها و آنیون‌های خاک تغییراتی در حد نرمال و مجاز استاندارد آبیاری و کشت گیاهان دارند. به‌طوری که پارامترهای کلسیم، پتاسیم و فسفات در تیمارهای مختلف در یک گروه آماری قرار گرفته و اختلاف معنی‌دار آماری بین تیمارهای تحقیق مشاهده نشده است (جدول ۵).

جدول ۵- مقایسه میانگین آنالیز شیمیایی خاک تحت تیمارهای آزمایشی

| پارامتر تیمار | pH    | کلسیم (mg/L) | هدایت الکتریکی (EC) ( $\mu\text{S/cm}$ ) | کلراید (mg/L) | پتاسیم (mg/L) | سولفات (mg/L) | نیترات (mg/L) | منیزیم (mg/L) | فسفات (mg/L) | سدیم (mg/L) | مواد آلی (%) |
|---------------|-------|--------------|--|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|--------------|-------------|--------------|
| T1            | ۸/۹۲a | ۲۲/۴a        | ۳۲۲۵c                                    | ۳۷/۵۸a        | ۵۰۰a          | ۹/۲۶b         | ۱/۲۳a         | ۸/۱۶b         | ۷/۸۸a        | ۳۸/۴۶c      | ۰/۵۹a        |
| T2            | ۸/۷ab | ۲۲/۳a        | ۳۲۳۹c                                    | ۲۰/۱۷c        | ۴۸۶a          | ۹b            | ۱/۰۶b         | ۸/۲b          | ۷/۸۵a        | ۳۹/۱bc      | ۰/۵b         |
| T3            | ۸/۴۴b | ۲۳           | ۳۸۳۱a                                    | ۲۵/۷۹b        | ۴۹۳a          | ۱۰/۸a         | ۰/۹۴c         | ۸/۷a          | ۸a           | ۴۲/۱a       | ۰/۴۹b        |
| T4            | ۸/۹۵a | ۲۳a          | ۳۱۰۷d                                    | ۲۰c           | ۵۰۳a          | ۸/۱۸c         | ۰/۹۳c         | ۸/۵۶a         | ۷/۸۶a        | ۳۶/۴۳d      | ۰/۵b         |
| T5            | ۸/۸۲a | ۲۲           | ۳۵۳۴b                                    | ۲۵/۰۶b        | ۴۹۰a          | ۹/۴۸b         | ۰/۹۸c         | ۸/۳ab         | ۸/۰۳a        | ۳۹/۹۳ab     | ۰/۴۹b        |
| حداقل         | ۸/۴   | ۲۲           | ۳۲۰۰                                     | ۲۰            | ۴۸۰           | ۸             | ۰/۹           | ۸             | ۷/۵          | ۳۶          | ۰/۴          |
| حداکثر        | ۹     | ۲۳/۵۰        | ۳۶۰۰                                     | ۳۸            | ۵۰۰           | ۱۱            | ۱/۲۵          | ۸/۶           | ۸/۵          | ۴۴          | ۰/۶          |
| انحراف معیار  | ۰/۲۱  | ۰/۷۵         | ۱۴/۱۴                                    | ۹             | ۱۰            | ۱/۱۱          | ۰/۳۴          | ۰/۶۷          | ۰/۵          | ۴           | ۰/۱          |

اعداد با ضرایب مشترک در سطح ۰/۰۵ اختلاف معنادار آماری نشان ندادند.

نخواهد داشت. بیشترین مقدار یون کلراید در تیمار شاهد با مقدار ۳۷/۵۸ میلی اکوی والانت بر لیتر و کمترین مقدار یون کلراید برای تیمار T4 با مقدار ۲۰ میلی اکوی والانت بر لیتر مشاهده شد. بیشترین مقدار برای عناصر منیزیم، سولفات و سدیم در تیمار T3 به ترتیب برابر با ۸/۷، ۱۰/۸ و ۴۲/۱ به دست آمد. به طور کلی پایش مقدار آنیون‌ها در پساب فاضلاب تصفیه شده شهری ضروری است، زیرا مقادیر زیاد آن‌ها سبب کاهش کیفیت خاک و همچنین افت کیفیت آب‌های سطحی و زیرزمینی می‌شود.

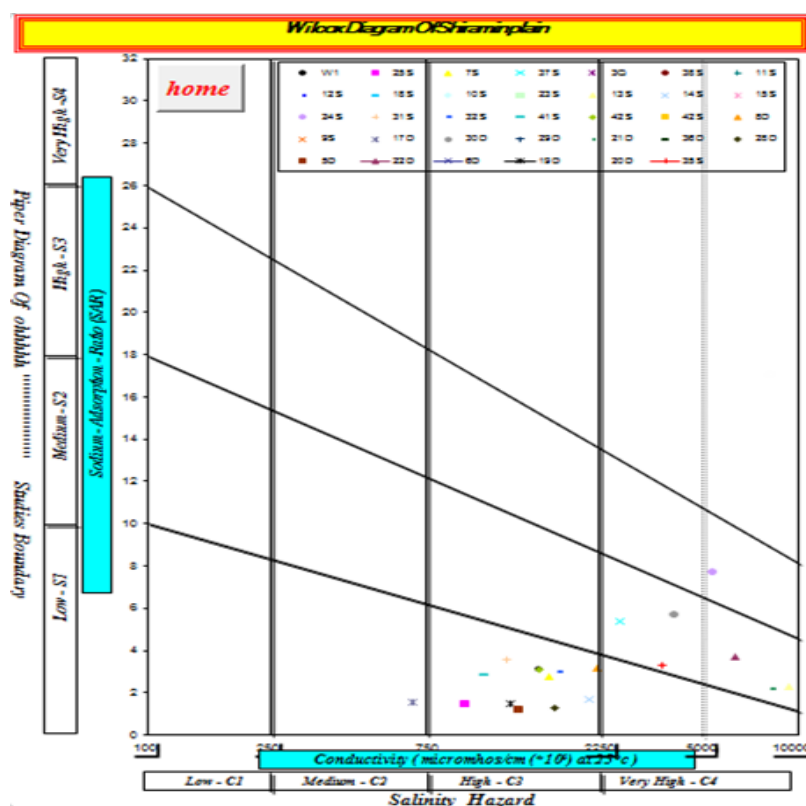
#### ۴-۴- نتایج حاصل از تحلیل نمودار ویلکاس

مطابق این بررسی کیفیت شیمیایی منابع آب حوضه برای مصارف کشاورزی دارای تغییرات وسیعی بوده و در کلاس‌های مختلف قرار می‌گیرند. برای بررسی نسبی تغییرات کلاس منابع آب حوضه، درصد قرارگیری نمونه‌ها در هر یک از کلاس‌های دیاگرام ویلکاس محاسبه شده که نتایج آن در جدول ۶ و شکل ۱ ارائه شده است. با توجه به جدول ۶، اکثر نمونه‌ها در کلاس  $C_3S_1$  و

و خاک تحت کشت ایجاد نمی‌کند. pH و هدایت الکتریکی (EC) خاک تحت تیمارهای تحقیق بین ۳۱۰۰ تا ۳۸۰۰ میکرو زیمنس بر متر به دست آمد و در گروه‌های مختلف آماری قرار گرفتند. بیشترین مقدار pH و هدایت الکتریکی (EC) برای تیمار T3 با مقدار ۳۸۳۱ میکرو زیمنس بر متر و کمترین مقدار برای تیمار T4 با مقدار ۳۱۰۷ میکرو زیمنس بر متر مشاهده شد. هدایت الکتریکی (EC) خاک در این محدوده براساس جدول و نمودار ویلکاس مانعی برای کشاورزی ایجاد نمی‌کند (شکل ۱ و جدول ۴). همچنین تأثیر مواد آلی بر توزیع فرم‌های عناصر سنگین در خاک به pH وابسته است. در مطالعه بر روی خاک‌های با pH بالا، تشکیل کمپلکس‌های آلی-فلزی می‌تواند باعث افزایش حلالیت این فلزات شود.

#### ۴-۳- نیتروژن، سولفات، سدیم، منیزیم و کلراید

نتایج نشان داد عناصر سدیم، منیزیم، سولفات، کلراید و نیتروژن همگی در محدوده مجاز برای استفاده از خاک تحت تیمارهای تحقیق برای کشاورزی است و تأثیر نامطلوبی بر گیاه



شکل ۱- نمودار ویلکاس آنالیز شیمیایی منطقه تربت حیدریه

جدول ۶- درصد هریک از کلاسهای طبقه‌بندی ویلکاکس برای مصارف کشاورزی در محدوده مورد مطالعه

| C4    |       |       |      | C3 |    |    |       | C2 |    |    |      | C1 |    |    |    |
|-------|-------|-------|------|----|----|----|-------|----|----|----|------|----|----|----|----|
| S4    | S3    | S2    | S1   | S4 | S3 | S2 | S1    | S4 | S3 | S2 | S1   | S4 | S3 | S2 | S1 |
| ۱۷/۶۵ | ۲۳/۵۳ | ۲۰/۵۹ | ۵/۸۸ | ۰  | ۰  | ۰  | ۲۹/۴۱ | ۰  | ۰  | ۰  | ۲/۹۴ | ۰  | ۰  | ۰  | ۰  |

روی خاک و گیاه در شمال اصفهان»، گزارش نهایی طرح، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان.

Alizadeh, A., Bazari, M.E., Velayati, S., Hashemini, M., and Yaghmai, A., (2001), "Using reclaimed municipal wastewater for irrigation of corn", *ICID International Workshop on Wastewater Reuse Management*, September 19-20, Seoul, South Korea, 147-154.

Al-Salem, S., (1998), "Environmental consideration for wastewater reuse in agriculture", *Water Science Tach*, 33, 345-355.

Asano, T., and Levine, A.D., (1996), "Wastewater reclamation and reuse, Post, present and future", *Journal of Water Science Technology*, 33, 1-14.

Engineers PC., (2017), "Semi-detailed studies of groundwater resources in Semnan province", Regional Water Authority of Semnan, Semnan, Iran.

Jalali, M., Merikhpour, H., Kaledhonkar, M.J., and Vander Zee, S.E.A.T.M., (2008), "Effects of wastewater irrigation on soil sodicity and nutrient leaching in calcareous soils", *Agriculture and Water Management*, 95, 143-153.

Feigin, A., Ravina, I., and Shalhevet, J., (1991), *Irrigation with treated sewage effluent*, Springer-Verlag, Berlin.

Hasan, H.I., Anwar, M., Battikhi, M., and Qrunfleh, M., (2015), "Impacts of treated wastewater reuse on some soil properties and production of gladiolus communis", *Jordan Journal of Agriculture Science*, 11(4), 1103-1118.

Hassanoghli, A., (2004), "Use of raw and treated domestic wastewater for irrigation of agricultural crops", Final Research Report, Agricultural Engineering Research Institute (AERI), 83/806, 231 pages.

Khodadadi, N., Ghorbani Dashtaki, Sh., and Kiani, Sh., (2015), "Effect of irrigation water quality on some physical properties of soil in rice cultivated land", *Journal of Soil and Water Resources Conservation*, 4(3), 15-28.

Mahida, U.N., (1981), *Water pollution and disposal of waste water on land*, Tata McGraw-hill publishing Co, Ltd, New Delhi.

Papadopoulos, L., and Stylianon, Y., (1991), "Trickle irrigation of sunflower with municipal wastewater", *Agriculture Water Management*, 19, 67-75.

در رده آب‌های متوسط قرار می‌گیرند. این بدان معناست که این نمونه‌ها برای مصارف کشاورزی مناسب هستند.

نتایج به دست آمده از تحقیق حاضر نشان داد که پساب فاضلاب تصفیه شده شهری علاوه بر کاهش شوری خاک به ۴۵٪ مقدار اولیه آن قبل از کشت، باعث افزایش نیترات، سولفات، عناصر اصلی و همچنین افزایش درصد مواد آلی خاک شده که نتیجتاً بهبود وضعیت خاک را شامل می‌شود. نتایج نشان داد که اکثر نمونه‌های مورد بررسی در کلاس  $C_3S_1$  قرار گرفتند و از نظر کیفی در طبقه شور و مناسب برای کشاورزی هستند. بنابراین می‌توان اظهار کرد که پساب فاضلاب تصفیه شده شهری اثر مؤثری بر خاک داشته است و براساس نتایج در صورت استفاده مشکلی برای کشاورزی محصولات ساقه دار به وجود نمی‌آورد.

## ۵- مراجع

پاشا زانوسی، س.، آیتی، ب. و گنجی دوست، ح.، (۱۳۸۹)، «بررسی پتانسیل کرم‌های توپرفکس در کاهش حجم و حجم تصفیه خانه های فاضلاب لجن در مقیاس آزمایشگاهی»، مجله آب و فاضلاب، ۲۴(۴)، ۵۹-۶۵

چوپان، ی.، امامی، س.، و حسام، م.، (۱۳۹۷)، «بررسی خصوصیات شیمیایی خاک تحت تأثیر آبیاری با پساب صنعتی تصفیه نشده (مطالعه موردی: تربت حیدریه)»، نشریه آبیاری و زهکشی ایران، ۶(۴)، ۸۷۱-۸۶۲.

چوپان، ی.، خاشعی سیوکی، ع.، و شهیدی، ع.، (۱۳۹۷)، «اثر آبیاری با فاضلاب تصفیه شده شهر تربت حیدریه بر عملکرد مرفولوژیک پنبه رقم ورامین»، نشریه علمی-پژوهشی پژوهش آب در کشاورزی، ۳۲(۱)، ۶۷-۷۷.

صفری سنجانی، ع.، و حاج رسولیها، ش.، (۱۳۸۰)، «پیامد آبیاری با پساب پالایشگاه فاضلاب شمال اصفهان بر برخی از ویژگی‌های شیمیایی خاک‌های ناحیه برخوردار»، علوم کشاورزی ایران، ۳۲، ۷۹-۸۷.

عابدی کوپایی، م.، افیونی، ج.، موسوی، ف.، مصطفی زاده، ب.، و باقری، م.، (۱۳۸۴)، «تأثیر آبیاری بارانی و سطحی با فاضلاب تصفیه شده بر شوری خاک»، مجله آب و فاضلاب، ۴۵، ۲-۱۲.

فیضی، م.، (۱۳۸۰)، «مقایسه تأثیر پساب فاضلاب و آب چاه بر

- Saber, M.S.M., (1986), "Prolonged effect of land disposal of human wastes on soil conditions", *Water Sciences*, 18, 371-374.
- Schacht, K., and Marschner, B., (2015), "Treated wastewater irrigation effects on soil hydraulic conductivity and aggregate stability of loamy soils in Israel", *Journal of Hydrology and Hydromechanic*, 63(1), 47-54.
- Yazdani, V., Ghahrwman, B., Davari, K., and Fazeli, E., (2014), "Effect of wastewater on physical and chemical properties of soil", *Environmental Science and Technology*, 16, 473-485.
- Zaman, M., Matsushima, M., Chang, S.X., Inubushi, K., Nguyen, L., Goto, S., Kaneko, F., and Yoneyama, T., (2004), "Nitrogen mineralization, N<sub>2</sub>O production and soil microbiological properties as affected by long-term applications of sewage sludge composts", *Biology and Fertility of Soils*, 40, 101-109.