Advanced Technologies in Water Efficiency
homepage:https://atwe.razi.ac.ir
Online ISSN:2783-4964
Razi University

# Investigation of long-term irrigation with Kermanshah municipal treated wastewater on some of chemical properties of soil layers

**Milad Farmanifard**[1]✉

[1] Corresponding Author, Ph. D graduated of Irrigation and Drainage, Expert of Kermanshah Regional Water Company, Office of Basic Studies of Water Resources, Kermanshah, Iran. E-mail: milad.farmanifard@gmail.com

## ABSTRACT

**Introduction**

In countries in the arid and semi-arid regions of the world, one of the most important problems in the agricultural sector as the main consumer of water resources is finding alternative and reliable water sources for irrigation. Reuse water is thought to be the only source of water that is increasing despite decreasing the volume of other sources. In recent years, one of the most suitable options for saving water resources is the recycling of urban and industrial wastewater for irrigation which is common practice in different parts of the world, but if the use of wastewater Sewage can not be managed properly for irrigation, which may cause environmental problems.

**Material and methods**

In this context, it is essential to have sufficient and localized information and continuous monitoring of affected water and soil resources. Therefore, the purpose of this study was to investigate the effects of long-term irrigation with municipal treated wastewater (TWW) compared to well water (WEW) as a control treatment on soil chemical in three layer with three replications in a two-year split plot trial design was performed. in three It has been repeated.

**Results and discussion**

The results of the study on the use of TWW in the studied areas showed that due to the availability of this source and the possibility of leaching, the risk of saltinification of this land has been somewhat overcome. However, in some areas, due to the increase of sodium, the risk of sodiumization of this land has led to the fact that, due to the high clay content of this land, its future consequences include traps and reduced permeability. Irrigation with TWW resulted in a significant increase of 0.3 units of pH in irrigated soils with wastewater compared to WEW. The TN content varied between %11.30 and %25, which indicates the variable percentages of this parameter at the region of the study area. Also, the results of soil organic carbon (OC) changes as a result of irrigation with TWW showed that this irrigation effect was significant and increased by 55% for irrigation compared to treatments irrigation with WEW due to Organic contents in the wastewater. This, in addition to the advantages of soil fertility, can stabilize and stop the movement of heavy metals by making organic bonds with heavy metals.

**Conclusions**

The result showed that due to sufficient access to this source and the possibility of washing, the risk of salinization of these lands has been eliminated. However, in some areas, the increase of sodium ions and lower amounts of calcium and magnesium ions have resulted in the risk of sodicization of these lands, which due to the high percentage of clay in these lands, the future consequences of which include sele and reduced permeability are quite evident. Also, the changes of the SAR parameter between the two irrigation treatments with effluent and well water were not significant, which was similar to the parameters affecting SAR. On the other hand; Due to the low salinity of the incoming wastewater and the high volume of water used for irrigation and the lack of salinity of the soils in the region, the use of wastewater does not lead to a significant increase in the salinity of the lands in the region compared to the lands irrigated with well water. The results of this research in examining the amount of change in soil organic carbon (OC) as a result of irrigation with urban sewage showed that this effect is significant and increased by 55% for irrigation with sewage compared to irrigation with well water affected by existing organic matter. It is in the sewage. This issue, along with the advantage of soil fertility, can stabilize and stop the mobility of heavy metals by creating organic bonds with heavy metals. According to the results of this study, irrigation with municipal wastewater leads to a significant increase in pH of 0.3 units in soils irrigated with wastewater compared to soils irrigated with well water, which can be caused by high leaching of basic cations. And basically, high inputs of nitrate and sulfate or oxidation of organic materials followed by the production of organic acids. According to the available water sources in the region, including underground water sources and wastewater in the region, as well as the chemical analysis of the well water and the physical and chemical characteristics of the drinking lands, it can be seen that while this water source is limited, its water quality causes soil conditions to deteriorate. In terms of salinity and in the future, it has the possibility of crossing the border of sodium. Therefore, it is not possible to rely on this water source and since there is no more suitable water source for replacement, it is necessary to carry out long-term planning with additional measures to improve the quality of the effluent. gave The lack of water and the low quality of the underground water resources in the region dictates the optimal management of incoming wastewater.

**Keywords**: Water resources crisis, Municipal treated wastewater, Chemical properties, Soil layers, OC, EC

**Article Type**: Research Article
**Article history: Received:** 29 January 2023 **Revised:** 30 April 2023 **Accepted:** 26 May 2023 **ePublished:** 27 May 2023

**Cite this article**: Farmanifard, M. (2023). Investigation of long-term irrigation with Kermanshah municipal treated wastewater on some of chemical properties of soil layers, *Advanced Technologies in Water Efficiency*,79-102. DOI: 10.22126/ATWE.2023.8751.1033

Publisher: Razi University
© The Author(s).

فناوری های پیشرفته در بهره وری آب

وبگاه نشریه: https://atwe.razi.ac.ir شاپا الکترونیکی: ۲۷۸۳-۴۹۶۴

# بررسی تأثیر آبیاری بلندمدت با فاضلاب تصفیه‌شده شهری کرمانشاه بر برخی خصوصیات شیمیایی لایه‌های خاک

**میلاد فرمانی فرد** [۱]✉

[۱] نویسنده مسئول، دانش‌آموخته دکتری آبیاری و زهکشی، کارشناس شرکت آب منطقه‌ای کرمانشاه، دفتر مطالعات پایه منابع آب، کرمانشاه، ایران. رایانامه: milad.farmanifard@gmail.com

چکیده

در کشورهای واقع در مناطق خشک و نیمه‌خشک دنیا، یکی از مهم‌ترین مشکلات در بخش کشاورزی به‌عنوان مصرف‌کننده اصلی منابع آب، یافتن منابع آب جایگزین و قابل‌اتکا برای آبیاری است. به نظر می‌رسد که پساب تنها منبع آبی است که علیرغم کاهش حجم منابع دیگر، در حال افزایش است. در سال‌های اخیر یکی از گزینه‌های مناسب جهت صرفه‌جویی در مصرف منابع آب، بازیافت پساب فاضلاب شهری و صنعتی برای آبیاری است که به‌عنوان یک عمل مشترک در مناطق مختلف دنیا رواج دارد اما درصورتی‌که استفاده از پساب فاضلاب برای آبیاری به‌درستی مدیریت نشود ممکن است باعث ایجاد مشکلات زیست‌محیطی شود. در این شرایط، در اختیار داشتن اطلاعات کافی و محلی و پایش مداوم منابع آب‌وخاک تحت تأثیر، امری ضروری است. ازاین‌رو؛ هدف این تحقیق بررسی اثرات آبیاری بلندمدت با پساب تصفیه‌شده شهری (پساب) در مقایسه با آب چاه به‌عنوان تیمار شاهد، بر خصوصیات شیمیایی خاک در قالب طرح تجزیه مرکب دوساله و آزمایش کرت‌های خردشده در سه تکرار بوده است. نتیجه بررسی استفاده از پساب شهری در اراضی موردبررسی، نشان داد که به علت دسترسی کافی به این منبع و امکان انجام آبشویی، خطر شور شدن این اراضی تا حدودی مرتفع گردیده است. ولیکن در برخی مناطق، در پی افزایش سدیم، خطر سدیمی شدن این اراضی را در پی داشته است که با توجه به درصد بالای رس این اراضی، پیامدهای آتی آن شامل سله و کاهش نفوذپذیری مشهود است. نتایج نشان داد که آبیاری با پساب شهری به‌طور متوسط منجر به افزایش معنی‌دار ۰/۳ واحدی pH در خاک‌های تحت آبیاری با پساب نسبت به اراضی مشروب از آب چاه شد. همچنین، نتایج بررسی میزان تغییر کربن آلی خاک (OC) درنتیجه آبیاری با پساب شهری نشان داد که این اثر آبیاری با پساب معنی‌دار و به میزان ۵۵ درصد افزایش برای حالت آبیاری با پساب در مقایسه با آبیاری با آب چاه متأثر از مواد آلی موجود در پساب است. این موضوع ضمن مزیت حاصلخیز کنندگی خاک، می‌تواند موجب تثبیت و متوقف نمودن حرکت‌پذیری فلزات سنگین با ایجاد پیوندهای آلی با فلزات سنگین گردد.

**واژه‌های کلیدی:** بحران منابع آب، پساب تصفیه‌شده شهری، خصوصیات شیمیایی، لایه‌های خاک، کربن آلی، شوری

**نوع مقاله: مقاله پژوهشی**

**سابقه مقاله: دریافت:** ۰۹ بهمن ۱۴۰۱ **اصلاح:** ۱۰ اردیبهشت ۱۴۰۲ **پذیرش:** ۰۵ خرداد ۱۴۰۲ **چاپ الکترونیکی:** ۰۶ تیر ۱۴۰۲

**استناد:** فرمانی فرد، م. (۱۴۰۲). بررسی تأثیر آبیاری بلندمدت با فاضلاب تصفیه‌شده شهری کرمانشاه بر برخی خصوصیات شیمیایی لایه‌های خاک ، *فناوری‌های پیشرفته در بهره‌وری آب*،۱۰۲-۷۹ ، شناسه دیجیتال: 10.22126/ATWE.2023.8751.1033

ناشر: دانشگاه رازی © نویسندگان.

## مقدمه

جمعیت انسان به‌طور پیوسته در حال افزایش است و پیش‌بینی می‌شود از ۷٫۶ میلیارد نفر در سال ۲۰۱۷ در سال ۲۰۵۰ به ۹٫۸ میلیارد نفر برسد (ایالات‌متحده[1] ۲۰۱۷) که این افزایش سریع جمعیت انسانی در چند دهه اخیر شهرنشینی را به‌سرعت افزایش داده است (مریم و بویوکگونگور[2] ۲۰۱۹) که منتج به افزایش قابل‌توجه تولید فاضلاب شهری شده است (رومانو و همکاران[3] ۲۰۱۹). این در حالی است که جهان روزبه‌روز با تشدید بحران آب مواجه است و به تبع آن، استفاده مجدد از پساب فاضلاب‌ها به‌عنوان گزینه‌ای برای افزایش منابع آب قابل‌دسترس موردتوجه است (بیچای[4] و همکاران، ۲۰۱۲) و در شرایط فعلی، یکی از راه‌های مقابله با شرایط اقلیمی خشک در ایران نیز استفاده بهینه از منابع آب موجود و همچنین استفاده از آب‌های نامتعارف است.

بخش کشاورزی عمده‌ترین بخش مصرف‌کننده آب شیرین بشمار می‌رود که معمولاً بیش از ۷۰ درصد از برداشت منابع آب را به خود اختصاص داده است (فائو[5] ۲۰۱۶). از طرفی افزایش تقاضا در بخش مصرف خانگی و شرب، منجر به بالا رفتن حجم پساب در این بخش شده و می‌تواند یک گزینه مناسب برای تأمین دائمی حجم بالای آب برای آبیاری بوده و به کاهش محدودیت منابع آب در دسترس کمک کند (گونستون[6] ۲۰۰۸).

استفاده از پساب تصفیه‌شده برای آبیاری محصولات، مقادیر مختلفی از عناصر دیگر مانند سدیم، کلسیم، منیزیم و غیره را به خاک اضافه می‌کند. بنابراین، پساب تصفیه‌شده به‌اندازه کافی می‌تواند منبع قابل‌اعتمادی برای تولید محصولات کشاورزی، به‌ویژه در مناطق خشک کم آب باشد (آنگلاکیس و همکاران[7] ۲۰۰۳، فرهادخانی و همکاران[8] ۲۰۲۰ و جونگ و همکاران[9] ۲۰۲۰). دراین‌ارتباط باید توجه داشت که؛ مواد مغذی موجود در فاضلاب بیشتر از آب شیرین است، ازاین‌رو از یک‌سو می‌تواند به‌عنوان یک منبع پایدار برای مواد مغذی در کشاورزی و در جهت کمک به کاهش مصرف کودهای شیمیایی بکار گرفته‌شده و از طرفی نیز از تخلیه فاضلاب به آب‌های سطحی و آلودگی محیط‌زیست جلوگیری می‌کند (سازمان حفاظت محیط‌زیست؛[10] ۲۰۱۶). در سوی مقابل استفاده از این پساب با دغدغه‌های چون: شوری و سدیمی شدن خاک‌ها و تجمع فلزات سنگین همراه است (ژو[11] و همکاران، ۲۰۱۰). البته محققین، افزایش مواد آلی خاک و برخی ریزمغذی‌ها را نیز به‌عنوان آثار مثبت استفاده از پساب‌ها عنوان نمودند. همچنین، سدیمی شدن و به‌تبع آن تخریب ساختمان خاک، سله‌بستن سطح خاک و کاهش نفوذپذیری و درنتیجه کاهش محصول می‌تواند از اثرات استفاده از پساب‌های شهری بر کشاورزی باشد (موین و همکاران[12] ۲۰۱۱ و سینگ و همکاران[13] ۲۰۱۲). چنانچه غلظت برخی عناصر موجود در پساب از میزان استاندارد بیشتر باشد، غلظت این عناصر در خاک نیز به‌تدریج افزایش‌یافته و از آستانه تحمل گیاه فراتر خواهد رفت (امین[14] و همکاران، ۲۰۱۲). درعین‌حال ممکن است موجب آلودگی آب‌های زیرزمینی و بروز مشکلات زیست محیطی شوند.

## مبانی نظری و پیشینه پژوهش

برخی از محققین با مطالعه مزایای استفاده مجدد از پساب در بخش کشاورزی گزارش نمودند به دلیل اینکه فاضلاب تصفیه شده به طور کلی دارای غلظت بالایی از مواد مغذی مانند نیتروژن و فسفر می‌باشد، استفاده از آن می‌تواند کاربرد از کود را کاهش داده و موجب بهبود راندمان تولید

---

[1] United Nations
[2] Maryam & Buyukgungor
[3] Romano et al
[4] Bichai et al
[5] FAO
[6] Gunston
[7] Angelakis et al
[8] Farhadkhani et al
[9] Jeong et al
[10] EPA
[11] Xu
[12] Muyen et al
[13] Singh et al
[14] Amin

گردد (بلوم و همکاران [1]، ۲۰۱۲ و نوگویرا و همکاران [2]، ۲۰۱۳). همچنین، مطالعات متعددی مبنی بر تغییرات در برخی از ویژگی‌های شیمیایی خاک به دلیل استفاده از فاضلاب تصفیه شده مانند افزایش شوری خاک، هدایت الکتریکی (EC)، سدیم، پتاسیم، کلسیم، منیزیم قابل تبادل، فسفر قابل دسترس گیاه و عناصر کم مصرف (النقشبندی و همکاران[3] ۱۹۹۷.، کیزیلوغلو و همکاران[4] ۲۰۰۸.، تارچونا و همکاران [5]، ۲۰۱۰.، گونزی و مونوندو[6] ۲۰۰۸ و بام و همکاران[7] ۲۰۱۴)، افزایش محتوای ماده آلی (روشن و همکاران[8] ۲۰۰۷ و ژو و همکاران، ۲۰۱۰) و افزایش pH خاک (رادینگوانا و همکاران[9] ۲۰۲۰ و حسین و همکاران[10] ۲۰۱۹) و بهبود ساختار و خاکدانه سازی ذرات خاک گزارش شده است. از طرفی نیز باید گزارش شده که آبیاری با فاضلاب باعث افزایش سدیم خاک می‌شود که موجب تخریب ساختار خاک شده و بر تخلخل خاک و تنوع زیستی میکروبی خاک تأثیر منفی می‌گذارد (بلاید و همکاران[11] ۲۰۱۲ و حسین و همکاران، ۲۰۱۹) که افزایش محتوای سدیم خاک همچنین ممکن است به دلیل ممانعت از رشد عمومی در مراحل مختلف رشد و عدم تعادل تغذیه‌ای، تخریب کلی خاک و محدود شدن تولید محصول را تشدید کند (هانجرا و همکاران[12] ۲۰۱۲ و پنا و همکاران[13] ۲۰۲۰).

شایان جزی و همکاران (۱۳۸۹)، پس از بررسی تأثیر آبیاری با پساب شهری به مدت ۱۵ سال در منطقه شمال اصفهان گزارش کردند که استفاده از پساب برای آبیاری، باعث افزایش اسیدیته خاک (pH)، کاهش EC، کاهش درصد سدیم تبادلی(ESP) و کاهش SAR گردیده است. همچنین آبیاری با پساب شهری تأثیری بر میزان مواد آلی خاک و ظرفیت تبادل کاتیونی(CEC) نداشته است. بنابراین استفاده از پساب تأثیر مطلوبی بر خاک در مقایسه با استفاده از آب چاه داشته است.

سلگی و همکاران (۱۳۹۹) در تحقیقی با هدف بررسی تأثیر آبیاری با فاضلاب تصفیه نشده شهری بر تجمع فلزات سنگین در خاک سطحی و زیرسطحی اراضی کشاورزی جنوب شهر بروجرد، ۱۳ مزرعه آبیاری شده با فاضلاب تصفیه نشده شهری و ۷ مزرعه آبیاری شده با آب چاه که بافت خاک مشابهی داشتند را آزمایش و مقادیر سرب، کادمیوم، مس، روی، pH، EC و مواد آلی خاک را اندازه‌گیری نمودند. نتایج بدست آمده نشان داد که میانگین غلظت همه فلزات سنگین در خاک سطحی (بجز مس) و زیرسطحی آبیاری شده با فاضلاب تصفیه نشده شهری در مقایسه با خاک آبیاری شده با آب چاه بیشتر بود. همچنین نتایج این مطالعه نشان داد که کاربرد فاضلاب pH خاک را تا حدوری در مقایسه با خاک‌های آبیاری شده با آب چاه کاهش داده است و مقادیر EC هم به دلیل کاربرد فاضلاب افزایش یافته است.

فرهادخانی و همکاران (۲۰۱۸) تأثیر فاضلاب تصفیه شده بر ویژگی‌های خاک و کیفیت محصولات مختلف را در مقایسه با آبیاری آب شیرین در منطقه تحت تنش آب خاور میانه ارزیابی نمودند. نتایج نشان داد آبیاری با فاضلاب تصفیه شده تاثیر معنی‌داری بر ویژگی‌های خاک تحت آبیاری در کرت‌های شاهد وجود ندارد. با این حال، مطالعه مقادیر SAR و EC کمی بالاتر در مناطق تحت آبیاری فاضلاب گزارش کرد. این مطالعه به این نتیجه رسید که آبیاری با پساب تصفیه شده می‌تواند با رعایت ملاحظات لازم به عنوان یک منبع آبیاری اختیاری برای محصولات برگی و ریشه‌ای در مناطق کم آب در نظر گرفته شود.

پینتو و همکاران[14](۲۰۱۰) سطوح بالای EC و pH را با آب با کیفیت حاشیه‌ای در مقایسه با تصفیه‌های فاضلاب شیرین و رقیق گزارش کردند.

---

[1] Blum et al
[2] Nogueira et al
[3] Al-Nakshabandi et al
[4] Kiziloglu et al
[5] Tarchouna et al
[6] Gwenzi & Munondo
[7] Bame et al
[8] Rusan et al
[9] Radingoana et al
[10] Hussain et al
[11] Belaid et al
[12] Hanjra et al
[13] Pena et al
[14] Pinto et al

لادو و بن‌هور[۱](۲۰۰۹) و مورگان-کورونادو و همکاران[۲](۲۰۱۱)، گزارش داده‌اند که شوری و سدیم خاک‌هایی که تحت آبیاری بلندمدت با پساب تصفیه شده شهری قرار دارند، افزایش می‌یابد. طبری و صالحی[۳](۲۰۰۹)، در مطالعه‌ای که اثرات آبیاری با فاضلاب شهری بر روی خاک را بررسی کردند، که افزایش در pH، EC و کربن آلی خاک در تیمار پساب مشاهده گردید. رانا و همکاران [۴](۲۰۱۰)، اثرات بلندمدت آبیاری با پساب شهری را بر روی خصوصیات خاک در هایانای هند مورد بررسی قرار دادند. پایش پساب ورودی نشان داد که کل نمک و محتوای فلزات سنگین در مقایسه با آب چاه بالاتر، ولیکن در محدوده مورد قبول قرار دارد. همچنین، محتوای کربن آلی، فسفر، کلسیم و منیزیم در خاک‌های تحت آبیاری با پساب بالاتر و pH کمتر از خاک‌های تحت آبیاری با آب چاه می‌باشد. کاربرد مستمر پساب طی ۳۵ سال، منجر به تجمع معنی‌دار فلزات سنگین و مواد مغذی در خاک شده است. نتایج تحقیقات اُلفا–هِنتاتی و همکاران [۵](۲۰۱۳)، در منطقه الحجاب تانزانیا حاکی از افزایش pH بود که آنرا به افزایش نمک‌های مختلف محلول در پساب شهری نسبت دادند. افزایش SAR خاک را نیز متأثر از EC بالای پساب و مقادیر بالای $Ca^{2+}$ و $Na^{+}$ دانستند. همچنین دریافتند که میزان نمک خاک متأثر از میزان دوره آبیاری با پساب بوده و با طولانی شدن این دوره افزایش یافته است. همچنین با افزایش عمق، خاک شورتر شده است. ییشای و همکاران [۶](۲۰۱۴)، نتیجه گرفتند که در خاک‌های رسی تحت آبیاری نسبتاً سنگین با پساب تصفیه شده شهری، خطرات سدیم بیشتر از کلر و یا شوری مستقیم برای گیاه و خاک است. بائو و همکاران [۷](۲۰۱۴)، در مطالعه‌ای پیرامون تأثیر بلندمدت آبیاری با پساب (۲۰، ۳۰ و ۴۰ سال) در اراضی شهر بیجینگ چین به این نتیجه رسیدند که آبیاری بلندمدت با پساب باعث افزایش محتوای کربن آلی خاک گردیده و مقدار کربن آلی تأثیر معنی‌داری بر روی تجمع عناصر حاصلخیز داشته است. الغبار و همکاران [۸](۲۰۱۴) و الغبار و سورشا[۹](۲۰۱۵)، با تحقیق روی خاک‌های تحت آبیاری بلند مدت با پساب شهری در منطقه کارناتاکای هند، افزایش EC، نیتروژن، فسفر و پتاسیم و همچنین کاهش pH خاک را گزارش نمودند در حالیکه Cl دارای تغییر معنی‌داری نشان نداد. فرمانی‌فرد و همکاران (۱۳۹۶ و ۱۳۹۵)، در تحقیقات خود دریافتند که استفاده از پساب تصفیه شده شهر کرمانشاه باعث بهبود شرایط فیزیکی خاک گردید، اما با توجه به نتایج بدست آمده از آزمایشات شیمیایی و فلزات سنگین آب و خاک، استفاده از فاضلاب تصفیه نشده و پساب برای آبیاری محصولات خوراکی توصیه نمی‌شود. اخیراً عامری و همکاران [۱۰](۲۰۲۳)، تأثیرات کوتاه، میان‌مدت و بلندمدت پساب تصفیه‌شده به عنوان یک روش آبیاری بر خواص فیزیکی، شیمیایی و میکروبیولوژیکی خاک (تحت تیمارهای مختلف آبیاری به مدت ۱، ۷ و ۱۵ سال در مقایسه با خاک کشت دیم) در منطقه‌ای با اقلیم خشک واقع در جنوب شرقی تونس را مطالعه نمودند. ارزیابی فیزیکی و شیمیایی بدست آمده از این تحقیق ثابت کرد که آبیاری با پساب تصفیه شده حاصلخیزی خاک را بهبود بخشده است و زیست توده میکروبی C و N با افزایش زمان آبیاری افزایش یافته است. همچنین این مطالعه نشان داد که آبیاری طولانی مدت با پساب تصفیه شده باعث افزایش فعالیت میکروارگانیسم‌های خاک و در نتیجه حاصلخیزی خاک شده است. در نقطه مقابل، پاتوژن ها و باکتری ها می‌توانند تهدیدی جدی برای کیفیت بهداشتی خاک و یک عامل محدود کننده برای استفاده از پساب تصفیه شده در مناطق کشاورزی بدون تصفیه سوم باشند.

استفاده از فاضلاب‌های شهری و صنعتی در آبیاری اراضی مناطق حومه شهری در بسیاری از نقاط جهان به امری معمول و متعارف تبدیل شده است (سینگ و آگراول[۱۱](۲۰۰۸). از طرف دیگر، فاضلاب‌ها اغلب دارای مقادیر قابل توجهی فلزات سنگین و سمی می‌باشند (تبری و همکاران [۱۲] ، ۲۰۰۸) که نوع و مقدار آنها از مکانی به مکان دیگر و حتی در یک مکان خاص، در طول زمان متفاوت است. بنابراین در صورت استفاده از

---

[1] Lado & Ben-Hur
[2] Morugán-Coronado et ah
[3] Tabari & Salehi
[4] Rana et ah
[5] Olfa Hentati et ah
[6] Yishai et ah
[7] Bao et ah
[8] Alghobar et ah
[9] Alghobar & Suresha
[10] Ammeri et al
[11] Singh and Agrawal
[12] Tabari et al

فاضلاب باید مسائل مرتبط با کاربرد آن نیز شناسایی، بررسی و مدیریت شود (امونگور و رامولمانا[1] ۲۰۰۴). در حال حاضر در بسیاری از شهرهای ایران، فاضلاب‌های شهری و رواناب‌های سطحی که از شهرها خارج می‌شوند، در زمین‌های کشاورزی پایین‌دست استفاده می‌گردد. در این ارتباط، ضرورت دارد در مورد اثرات آبیاری با پساب تأثیرپذیری خاک از ابعاد مختلف فیزیکی و شیمیایی در قیاس با شرایط آبیاری با آب با کیفیت مناسب مطالعه و ارزیابی شده و نتایج حاصله از آزمایشات با استانداردهای موجود و دست آوردهای تحقیقات پیشین مقایسه گردد. لذا، هدف از این تحقیق بررسی اثرات آبیاری بلند مدت با پساب شهری بر روی خصوصیات شیمیایی لایه‌های خاک شامل: نسبت جذب سدیم خاک (SAR)، کل جامدات محلول، هدایت الکتریکی و اسیدیته (pH) و مقایسه آن با آب چاه به عنوان شاهد می‌باشد.

## روش پژوهش

موقعیت منطقه مورد مطالعه

تصفیه‌خانه فاضلاب شهر کرمانشاه با مساحتی در حدود ۷۸ هکتار، در جنوب‌غربی شهر و به مختصاتی به طول جغرافیایی ‘‘۲۷ ‘۱۸ °۳۴ و عرض ‘‘۱۸ ‘۰۸ °۴۷ واقع شده است. این تصفیه‌خانه برای جمعیتی برابر ۴۰۰ هزار نفر طراحی و از اواسط پائیز ۱۳۸۴ مورد بهره‌برداری قرار گرفته است. فرآیند تصفیه در این تصفیه‌خانه به روش لجن فعال از نوع متعارف می‌باشد که شامل مراحل تصفیه‌های مقدماتی، اولیه و ثانویه و نهایتاً گندزدایی پساب است. مقدار پساب خروجی معادل ۷۰۰ لیتر در ثانیه و ۶۰۰۰۰ مترمکعب در شبانه روز است.

این تحقیق در شرایط واقعی انجام شده و سعی گردید که تمام شرایط مزرعه بر آزمایشات حاکم باشد. اراضی منتخب در پایین‌دست تصفیه‌خانه واقع گردیده‌اند که به روش سطحی و سنتی قریب ۱۰ سال با پساب خروجی تصفیه‌خانه آبیاری شده‌اند. همچنین نمونه‌های شاهد (که از سال‌های دور با آب چاه آبیاری شده و می‌شوند) نیز دقیقاً در اراضی روبروی این منطقه واقع شده اند که هر یک مساحتی قریب ۵ هکتار را شامل می‌گردند. دور آبیاری در فصل بهار ۹ روزه و در تابستان ۷ روزه بود. کشت غالب در کل منطقه مورد مطالعه و اراضی اطراف آن گندم، جو و ذرت است که جهت شباهت حداکثری و عدم ایجاد اختلاف در نتایج، نمونه‌برداری از خاک به نحوی صورت پذیرفت که هر دو نمونه خاک تحت تیمارهای مختلف از اراضی تحت کشت یک محصول یکسان جمع‌آوری گردد. همچنین، به دلیل امکان تأثیر گیاه و سیستم ریشه، نمونه‌برداری از سه لایه خاک ۳۰ سانتی‌متری از قسمت‌های مختلف مزرعه در سه تکرار انجام شد.

مشخصات و آنالیز نمونه‌های آب

در این مطالعه از دو تیمار آب، یکی پساب خروجی تصفیه‌خانه فاضلاب و دیگری چاه به عنوان شاهد استفاده شد. برای آزمایشات آب، قبل از شروع آبیاری یعنی اوائل اردیبهشت و در پایان برداشت محصول و قبل از بارندگی سال زراعی بعد، یعنی اوائل شهریور اقدام به نمونه‌برداری از پساب خروجی از تصفیه‌خانه و آب چاه در همان محل جهت انجام آزمایشات شیمیایی گردید و این کار به مدت دو سال تکرار شد و پارامترهای کیفی نمونه‌های برداشت شده با استانداردهای معتبر مقایسه شد (فائو، ۱۹۸۵ و سازمان بهداشت جهانی[2] ۲۰۰۳)

مطابق نتایج ارائه شده در جدول (۱)، غلظت برخی از پارامترها در نمونه‌های پساب تصفیه‌خانه بیشتر از حدود مجاز بدست آمده است. غلظت منیزیم، آهن، منگنز، و غلظت کلسیم و نیترات و فسفات و مقدار هدایت الکتریکی اکثر نمونه‌های پساب و حتی در برخی موارد معدود آب چاه، بیشتر از حدود پیشنهادی و مجاز جهت آبیاری است که باید مورد توجه و بررسی بیشتر قرار گیرد و می‌تواند در خاک جذب شده و در طول رشد گیاه از طریق ریشه وارد شده و در اندام‌های مختلف تجمع یابد.

به طور معمول، اگر غلظت سدیم در آب آبیاری بالا باشد، جایگزین کلسیم و منیزیم قابل تعویض شده که این پدیده می‌تواند باعث تضعیف هوادهی خاک به دلیل کاهش نفوذپذیری شود (استیونس و همکاران [3]، ۲۰۰۳. حسن‌لی و همکاران[4] ۲۰۰۸ و موین و همکاران، ۲۰۱۱). همچنین، لی و همکاران[5] (۲۰۰۹) پراکندگی خاک رس در خاک آبیاری شده با پساب که حاوی سدیم با غلظت بیش از ۱۲۰ میلی‌گرم در لیتر بود را مشاهده

[1] Emongor and Ramolemana
[2] WHO
[3] Stevens et al
[4] Hassanli etal
[5] Li et al

نمودند. از آنجا که غلظت سدیم در پساب مورد استفاده در پژوهش حاضر، به طور متوسط، در حدود ۵۰ میلی‌گرم در لیتر می‌باشد، پایش و همچنین اصلاح خاک پس از آبیاری با این پساب، از اهمیت زیادی برای حفظ سلامت و پتانسیل خاک برای استفاده کشاورزی آبی منطقه برخوردار است. مقدار pH پساب ورودی به منطقه نیز قلیائیت این آب را نشان می‌دهد. ولیکن شوری آن پایین بوده و SAR آن نیز کمتر از نصف آب چاه می‌باشد. مقادیر pH هر دو منبع آبی در دامنه قلیائیت قرار دارد. این موضوع موجب قلیایی شدن خاک تحت آبیاری گردیده، مگر آنکه برخی واکنش‌های شیمیایی و فعل و انفعالات صورت گرفته در خاک موجب تغییر این روند گردد.

**جدول۱. نتایج آزمایشات شیمیایی و فلزات سنگین آب و مقایسه با استانداردها جهت استفاده در آبیاری**

| متغیر | واحد | آب | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | پساب | آب چاه | FAO[1] | سازمان حفاظت محیط زیست |
| مس (Cu) | mg/l | ۰/۱۱ | ۰/۰ | ۰/۲ | ۰/۲ |
| آهن (Fe) | mg/l | ۳۶/۲ | ۱/۰۶ | ۵ | ۳ |
| روی (Zn) | mg/l | ۰/۱۱ | ۰/۰۷ | ۱ | ۲ |
| منگنز (Mn) | mg/l | ۱۱/۱ | ۰/۰۲ | ۰/۲ | ۱ |
| کادمیوم (Cd) | mg/l | ۰/۳۵ | ۰/۰۶ | – | ۰/۰۵ |
| سدیم (Na) | mg/l | ۲۶/۲ | ۳۲/۶ | ۶۹ | – |
| کلسیم (Ca) | mg/l | ۳۱۸/۵ | ۱۰۸/۲ | ۲۰۰ | – |
| منیزیم (Mg) | mg/l | ۱۶۸/۳ | ۵۴/۱ | ۲۵ | ۱۰۰ |
| نیترات ($NO_3$) | mg/l | ۶۰/۷ | ۲۸/۴ | ۵۰ | ۳۰ |
| فسفات ($PO_4$) | mg/l | ۶/۲۵ | ۴۳/۳ | ۶ | ۱۰ |
| پتاسیم (K) | mg/l | ۱۹/۸ | ۸/۵ | – | – |
| کلرو ($Cl^-$) | mg/l | ۵۸/۳ | ۲۱/۵ | ۱۰۰ | ۶۰۰ |
| نسبت جذب سدیم (SAR) | - | ۱۷/۰ | ۳/۶۱ | ۳ | – |
| کل ذرات محلول (TDS) | mg/l | ۱۱۸۶ | ۳۶۸ | ۱۰۰۰–۲۰۰۰ | ۷۰۰ |
| هدایت الکتریکی (EC) | dS/m | ۰/۹۶ | ۱/۴۱ | ۰/۷ | – |
| اسیدیته (pH) | - | ۷/۶۸ | ۷/۰ | ۶/۵–۸/۴ | ۶–۸/۵ |

بر اساس نمودار ویلکوکس (پیشنهادی برای مصارف کشاورزی) و با توجه به میزان EC اندازه‌گیری شده (بین ۸۲۰ تا ۱۴۱۰ میکروزیمنس بر سانتی‌متر)، هر دو منبع آب در کلاس C3 با شاخص شوری زیاد قرار می‌گیرند اما با توجه تغییرات زیاد مقدار SAR (۳/۰۴ تا ۱۷)، شاخص خطر سدیمی کم تا زیاد طبقه‌بندی می‌شوند. بطور دقیق‌تر، پساب مورد استفاده در کلاس $C_3S_2$ با شوری زیاد و نسبت جذب سدیمی متوسط و نمونه‌های آب چاه مورد آزمایش در کلاس $C_3S_1$ با شوری زیاد و نسبت جذب سدیمی کم قرار می‌گیرند. در مجموع با توجه به بالا بودن شوری نسبی منابع آب مورد استفاده (پساب و آب چاه)، ادامه آبیاری با این منابع می‌تواند منجر به شور شدن خاک در لایه‌های مختلف گردد. از طرفی نیز؛ قرار گرفتن پساب در کلاس سدیمی بالاتر از متوسط و حتی زیاد ($S_2$ و $S_3$) در برخی نمونه‌های اندازه‌گیری، خطر سدیمی شدن خاک‌های تخت آبیاری بلند مدت با پساب را گوشزد می‌کند. لذا این نتایج، نشان می‌دهند که این آب‌ها (خصوصاً پساب مورد استفاده) برای آبیاری مناسب نمی‌باشند.

## مشخصات و آنالیز نمونه‌های خاک

در مورد خاک، در پایان هر فصل زراعی و به مدت دو سال (۹۲ و ۹۳) نمونه‌های خاک تحت تیمار پساب و آب چاه و در سه تکرار از سه لایه (عمق‌های ۳۰–۰، ۶۰–۳۰ و ۹۰–۶۰ سانتی‌متری) برداشت شد. در مجموع ۳۶ نمونه خاک مورد آزمایشات فیزیکی و شیمیایی قرار گرفت. بطوریکه؛ پس از خشک شدن نمونه‌ها را خرد کرده و از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شدند. ویژگی‌های فیزیکی خاک، شامل جرم مخصوص حقیقی به روش

1 Food and Agriculture Organization of United Nations

آزمایشگاهی با استفاده از پیکنومتر (کلوت و دیرکون[1] ۱۹۸۶)، جرم مخصوص ظاهری به روش نمونه‌برداری دست نخورده (کلوت و دیرکون، ۱۹۸۶)، رطوبت در نقطه ظرفیت زراعی و رطوبت در نقطه پژمردگی دائم به روش مزرعه‌ای و میزان آب قابل دسترس از تفاضل مقادیر FC و PWP (علیزاده و همکاران، ۱۳۸۲)، اندازه‌گیری شدند. برای اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی اشباع خاک از روش بار افتان استفاده شد (کلوت و دیرکون، ۱۹۸۶). بافت خاک با استفاده از هیدرومتر تعیین و بر اساس طبقه‌بندی USDA در هر سه لایه، بافت خاک لوم ماسه‌ای به‌دست آمد. خلاصه نتایج خصوصیات فیزیکی اندازه‌گیری شده خاک در لایه‌های مختلف در جدول (۲) ارائه شده است.

**جدول ۲. مشخصات فیزیکی و بافت خاک در لایه‌های عمقی مختلف**

| تیمار آبیاری | لایه خاک (سانتی‌متر) | هدایت هیدرولیکی اشباع (میلی‌متر بر ساعت) | وزن مخصوص ظاهری (گرم برسانتی‌متر مکعب) | تخلخل (٪) | درصد ماسه | درصد سیلت | درصد رس | کلاس بافت خاک |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| پساب تصفیه شده | ۰ – ۳۰ | ۳۸/۰۲ | ۱/۶۴ | ۳۵/۸۳ | ۶۱/۶ | ۲۲/۰ | ۱۶/۴ | Sandy Loam |
| | ۳۰ – ۶۰ | ۳۴/۱۸ | ۱/۵۸ | ۲۷/۱۱ | ۵۹/۶ | ۲۲/۳ | ۱۸/۱ | Sandy Clay Loam |
| | ۶۰ – ۹۰ | ۳۶/۰۶ | ۱/۷۲ | ۳۳/۱۹ | ۶۳/۶ | ۱۴/۰ | ۲۲/۴ | Sandy Loam |
| آب چاه | ۰ – ۳۰ | ۱۸/۱۹ | ۱/۷۰ | ۳۷/۰۰ | ۷۲/۱ | ۱۵/۴ | ۱۲/۴ | Sandy Loam |
| | ۳۰ – ۶۰ | ۲۷/۱۶ | ۱/۸۰ | ۲۹/۹۰ | ۷۵/۲ | ۱۳/۴ | ۱۱/۴ | Sandy Loam |
| | ۶۰ – ۹۰ | ۲۰/۶۰ | ۱/۶۹ | ۲۵/۷۳ | ۶۸/۲ | ۱۵/۴ | ۱۶/۴ | Sandy Loam |

جهت آنالیز شیمیایی نمونه‌های خاک پس از انتقال به آزمایشگاه به مدت ۲۴ ساعت در داخل آون در دمای ۷۰ درجه سانتیگراد قرار می‌گیرد تا کاملاً خشک گردد. در مرحله بعد آنها را الک و آسیاب کرده تا پودر کاملاً یکنواختی بدست آید. ۰/۵ گرم از نمونه فوق را با روش هضم کامل جهت تزریق به دستگاه آماده شد. برای اندازه‌گیری کلیه عناصر موجود در این تحقیق، از روش جذب اتمی با کوره گرافیکی استفاده شد.

این پژوهش در قالب یک طرح تجزیه مرکب دو ساله با آزمایش کرت‌های خرد شده (برای دو تیمار آبیاری با پساب و آب چاه) و در سه تکرار، در مدت دو سال برای هریک از پارامترهای شیمیایی خاک انجام شد. پارامترهای اندازه‌گیری شده با استفاده از نرم افزارهای آماری SAS 9.1 و MSTATC تحلیل و ارزیابی شدند. آزمون نرمال بودن داده‌ها بر اساس روش کولموگورف–اسمیرنف[2]صورت گرفت. آزمون مقایسه میانگین نیز در سطوح احتمالی ۱٪ و ۵٪ بر اساس روش دانکن انجام گردید

## یافته‌ها

خلاصه نتایج جدول تجزیه واریانس خصوصیات شیمیایی لایه‌های خاک تحت تأثیر تیمارهای آبیاری با پساب و آب چاه در جدول (۳) نشان داده شده است.

**جدول ۳. خلاصه نتایج جدول تجزیه واریانس خصوصیات شیمیایی لایه‌های خاک تحت تأثیر تیمارهای آبیاری**

| Sources | Df | SAR | OC | EC | pH |
|---|---|---|---|---|---|

[1] Klute & Dirkwen
[2] Kolmogorov-Smirnov

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Year | ۱ | ns۰/۲۰۳ | ns۰/۰۰۳ | ns۰/۰۰٥٤ | **۸/۸٤۳ |
| Rep(Year) | ٤ | *۰/۷۷۸ | ns۰/۱٥۲ | ns۰/۰۰۳۲ | ns۰/۰۲۳ |
| A | ۱ | ns۰/۰۹۰ | **۳/۰۳۹ | **۰/۰۰۰۲ | **۰/۸۱۳ |
| Year*A | ۱ | ns۰/۲۱۱ | ns۰/۰۷۷ | ns۰/۰۳٥ | **۰/۱٤۸ |
| Rep*A(Year) | ٤ | ns۰/۳۰۸ | ns۰/۱۱۷ | ns۰/۰۰۳٥ | ns۰/۰۲۱ |
| Error A | ۱٦ | ۰/۳۰۸ | ۰/۱۱۷ | ۰/۰۰٤٦ | ۰/۰۲۱ |
| B | ۲ | ns۰/۰۸۳ | ns۰/۲۲۷ | ns۰/۰۰۷۸ | **۰/۱٤۷ |
| Year*B | ۲ | ns۰/۰۷٤ | ns۰/۰٥۸ | ns۰/۰۰٤۸ | ns۰/۰۰۸ |
| A*B | ۲ | ns۲/۲۲٤ | ns۰/۲٥٥ | ns۰/۰۰۰۳ | ns۰/۰۰۲ |
| Year*A*B | ۲ | **۰/۰۳٥ | ns۰/۰۲۲ | ns۰/۰۲۱ | ns۰/۰۱۳ |
| Error B | ۲ | ۰/۰۸۳ | ۰/۲۲۷ | ۰/۰۰۹۲ | ۰/۱٤۷ |
| CV (%) | | ۸/۸۲ | ۱٦/٤۰ | ۷/۱٥ | ۱/٦۷ |

*معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد، **معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد و ns عدم وجود تفاوت معنی‌دار.

Y: سال، R: تکرار، A: تیمار آب و B: لایه خاک

نتایج نشان داد که مقدار مواد آلی، کربن آلی و هدایت الکتریکی خاک تحت تأثیر تیمارها و عوامل مختلف از نظر آماری معنی‌دار نشده است. نتایج جدول تجزیه واریانس نشان از معنی‌دار شدن اثر تیمار آبیاری بر تمامی پارامترهای مورد مطالعه به جز مواد آلی در سطح ۵٪ است. همچنین تأثیر تفاوت غلظت کل جامدات محلول و اسیدیته بین لایه‌های خاک معنی‌دار می‌باشد. از نکات قابل توجه، عدم مشاهده تفاوت آماری معنی‌دار در غلظت پارامترهای شیمیایی خاک در نتیجه اثر متقابل تیمارهای آبیاری در لایه‌های سه‌گانه خاک می‌باشد.

نتایج آزمون دانکن جهت مقایسه میانگین‌های غلظت پارامترهای شیمیایی در لایه‌های خاک تحت تاثیر تیمارهای آبیاری در جدول (۴) ارائه شده است. مطابق نتایج آماری بدست آمده، تأثیر تیمارهای آبیاری (A) بر نسبت جذب سدیم، مواد آلی، هدایت الکتریکی و اسیدیته، در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار نبود. همچنین، متوسط دو ساله تأثیر متقابل تیمارهای آبیاری در لایه‌های خاک نتایج نسبتاً متفاوتی داشته است. بطوریکه؛ برای هدایت الکتریکی اختلاف آماری معنی‌داری مشاهده نمی‌شود. در همه موارد اختلاف بین لایه‌های دوم و سوم (۶۰-۳۰ و ۹۰-۶۰ سانتی‌متری) در نمونه‌های خاک‌های تحت هر دو تیمار آبیاری در سطح ۵ درصد معنی‌دار نشده است. همچنین، علیرغم وجود اختلاف مقداری غلظت پارامترهای شیمیایی مختلف در لایه‌های خاک در دو سال مختلف تکرار آزمایشات، می‌توان گفت؛ تفاوت معنی‌دار آماری (در سطح احتمال ۵٪) بین لایه‌های خاک تحت تیمارهای یکسان از این نظر مشاهده نمی‌شود. در واقع می‌توان چنین برداشت نمود که تأثیر کیفیت آب آبیاری در کوتاه مدت نمی‌تواند تغییر قابل توجهی در تغییر خاک ایجاد نماید (عدم مشاهده اختلاف آماری بین لایه‌های خاک تحت تیمارهای یکسان)، اما آبیاری بلند مدت باعث ایجاد تفاوت مقداری و آماری محسوس در تغییر غلظت پارامترهای شیمیایی خاک (وجود اختلاف آماری معنی‌دار در خاک‌های تحت تیمارهای آبیاری پساب و آب چاه) خواهد شد.

**جدول ٤. مقایسه میانگین‌های غلظت خصوصیات شیمیایی لایه‌های خاک تحت تاثیر تیمارهای آبیاری**

| تیمار آب | عمق خاک (cm) | SAR | OC (%) | EC (dS/m) | pH |
|---|---|---|---|---|---|
| پساب | ۰ – ۹۰ | a۵/۱۹ | a۲/۰۳ | a٤/۱۲ | a۷/۳۸ |
| آب چاه | ۰ – ۹۰ | a۵/۲۹ | b۱/٤۵ | a۲/۹۳ | a۷/۰۸ |
| پساب | ۰–۳۰ | a۵/۵۸ | a۲/۱۲ | a٤/٤۳ | abc۷/۲۷ |
| | ۳۰–٦۰ | c٤/۹۲ | ab۱/۸٦ | a٤/۰۳ | ab۷/۳۸ |
| | ٦۰–۹۰ | bc۵/۰۷ | a۲/۱۲ | a۳/۹۱ | a۷/۵۱ |
| آب چاه | ۰–۳۰ | c٤/۷۱ | bc۱/٦۸ | ab۳/۳۱ | c۷/۰۰ |
| | ۳۰–٦۰ | a۵/۷۰ | cd۱/٤٦ | b۲/۸۳ | c۷/۰٦ |
| | ٦۰–۹۰ | ab۵/٤۷ | d۱/۲۱ | b۲/۸۰ | bc۷/۱۹ |
| پساب (سال اول) | ۰–۳۰ | a۵/۳۷ | ab۲/۰۱ | b۳/۸۵ | ab۷/۳۳ |
| | ۳۰–٦۰ | a٤/٦۹ | ab۱/۸۵ | b۳/۷۳ | a۷/۰۵ |
| | ٦۰–۹۰ | a۵/۰٦ | ab۱/۱۲ | b۳/٦۲ | a۷/۵۸ |
| آب چاه (سال اول) | ۰–۳۰ | a٤/۷۵ | ab۱/٦۸ | b۳/۰۸ | abc۷/۲۷ |
| | ۳۰–٦۰ | a۵/٦٤ | ab۱/٦۳ | b۲/۹۲ | abc۷/۲۸ |
| | ٦۰–۹۰ | a۵/٤۹ | b۱/۲۰ | b۳/۰۷ | ab۷/۳۷ |
| پساب (سال دوم) | ۰–۳۰ | a۵/۷۹ | a۲/۲۳ | a۵/۰۲ | abc۷/۲۰ |
| | ۳۰–٦۰ | a۵/۱٦ | ab۱/۸٦ | ab٤/۳۲ | abc۷/۲۵ |
| | ٦۰–۹۰ | a۵/۰۸ | ab۲/۱۲ | ab٤/۲۰ | ab۷/٤۳ |
| آب چاه (سال دوم) | ۰–۳۰ | a٤/٦۸ | ab۱/٦۸ | ab۳/۱۸ | d٦/۷۳ |
| | ۳۰–٦۰ | a۵/۷٦ | ab۱/۳۰ | b۲/۷۵ | cd٦/۸۵ |
| | ٦۰–۹۰ | a۵/٤٤ | b۱/۲۱ | b۲/۵٦ | bcd۷/۰۲ |

(P< ۰/۰۵) در هر ستون و برای هر گروه میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک باشند با همدیگر اختلاف معنی‌داری ندارند

این افزایش در SAR محلول خاک نشان می‌دهد تا زمانی که بارش باران کافی وجود دارد، تجمع نمک سدیم در خاک کمتر است. علاوه بر این، در آینده، افزایش SAR در لایه‌های پایین‌تر پروفیل خاک، بطور بالقوه می‌تواند منجر به کاهش نفوذ لایه‌های زیرین نسبت لایه‌های سطحی شود (آندروز و همکاران[1] ۲۰۱۶).

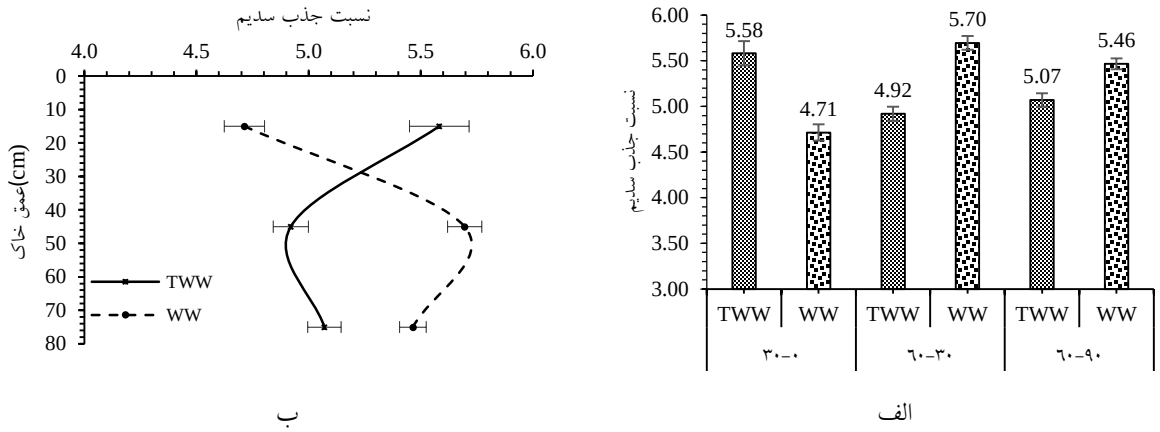
## بررسی و مقایسه پارامترهای شیمیایی خاک تحت تاثیر تیمارهای آبیاری

در استفاده از فاضلاب‌های شهری و پساب حاصل از تصفیه آن برای آبیاری محصولات کشاورزی و به دلیل وجود انواع یون‌های محلول در این قبیل آب‌ها، توجه به خصوصیات خاک، به ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک از موارد مهم و اساسی به شمار می‌آید. در چنین شرایط اقلیمی که با دمای بالای هوا و رطوبت نسبی کم توأم است، تبخیر و تعرق گیاهی قابل ملاحظه بوده و در نتیجه، مقدار املاح باقیمانده در لایه سطحی نیمرخ خاک افزایش قابل توجهی می‌یابد.

## نسبت جذب سدیم خاک (SAR)

آبیاری سطح سدیم تبادلی در خاک را افزایش می‌دهد. به ویژه هنگامی که از پساب تصفیه شده برای آبیاری استفاده شود (سیلوا و همکاران[2] ۲۰۱۶). شور شدن خاک زمانی رخ می‌دهد که غلظت سدیم در سایت‌های تبادل مواد معدنی خاک رسی در مقایسه با غلظت کلسیم و منیزیم بیش از حد بالا باشد. این افزایش در غلظت نمک‌ها (به خصوص سدیم) و SAR در پساب به طور عمده به علت افزایش استفاده از نرم کننده‌های آب در جهت تلاش برای حفاظت از آب و تصفیه آن است. از آنجا که نمک‌ها با هر آبیاری به خاک اضافه می‌شوند، می‌توان انتظار داشت که آبیاری طولانی مدت با شوری و سدیم بالا، موجب تجمع املاح در خاک و افزایش SAR خاک گردد (آیرز و وسکات[3] ۱۹۸۵ و رحمان و همکاران[4] ۲۰۱۵). از آنجا که نسبت جذب سدیم متأثر از وجود و غلظت سه کاتیون Na، Ca و Mg می‌باشد، روند و تغییرات آن در لایه‌های خاک متفاوت بدست آمده است که در شکل (۱) نشان داده شده است.

[1] Andrews et al
[2] Silva et al
[3] Ayers & Westcot
[4] Rahman




**شکل ۱: متوسط مقدار نسبت جذب سدیم (SAR) در لایه‌های خاک تحت تیمارهای مختلف آبیاری**

از نکات قابل توجه، تغییر روند مقدار SAR از لایه ۳۰ سانتی‌متری سطحی خاک به لایه‌های زیرین است. بطوریکه؛ مقدار SAR محاسبه شده در تیمارهای پساب لایه سطحی به مقدار قابل توجهی بیشتر از تیمار آب چاه بوده است اما در دو لایه زیرین، این روند عکس شده و مقدار SAR محاسبه برای تیمارهای آبیاری شده با آب چاه به مقدار محسوسی فزونی یافته است. این افزایش در زیر لایه‌های خاک موافق با یافته‌های مرتضی و همکاران[1](۲۰۱۵) است که اشاره نمودند مقدار SAR با افزایش عمق خاک کاهش یافته است. مقدار بالای SAR (بیشتر از ۱۳) نشان دهنده افزایش سدیمی شدن خاک که در نتیجه آبیاری با فاضلاب تصفیه شده می‌باشد (خاسخوسی و همکاران[2]، ۲۰۱۵).

بیشترین و کمترین مقدار SAR نیز در لایه ۶۰-۳۰ سانتی‌متری و ۳۰-۰ سانتی‌متری خاک تیمار شده با آب چاه به ترتیب برابر با ۵/۷۰ و ۴/۷۱ بدست آمده است. بطور معمول، مقدار SAR در خاک‌های آبیاری شده با فاضلاب از ۴/۵ تا ۷/۹ متغیر است (موین و همکاران، ۲۰۱۱). مشابه با همین تحقیق اندروز و همکاران (۲۰۱۶)، بیان داشتند که آبیاری با فاضلاب دارای SAR بالا، می‌تواند منجر به افزایش معنی‌دار SAR محلول خاک گردد. در بسیاری از موارد، شوری خاک تحت آبیاری با پساب تصفیه شده به دلیل آبشستگی کم و بافت سنگین خاک رخ می‌دهد (کاندلا و همکاران [3]، ۲۰۰۷ و چن و همکاران [4]، ۲۰۱۳).

[1] Murtaza et al
[2] Khaskhoussy et al
[3] Candela et al
[4] Chen et al

همچنین از دید دیگر، مقدار SAR در تیمارهای آبیاری با پساب با افزایش عمق خاک (از لایه‌های سطحی به لایه‌های عمقی‌تر) بطور محسوسی کاهش یافته است در حالیکه برای تیمارهای آب چاه همین روند بطور محسوتر اما افزایشی بوده است. در مطالعات مختلف اثرات متفاوتی از آبیاری با پساب بر روی میزان پارامتر SAR گزارش شده است. برخی محققین این اثر را افزایشی (اُلفا–هنتاتی و همکاران[1] ۲۰۱۳، خاسخوسی و همکاران، ۲۰۱۵ و چن و همکاران، ۲۰۱۵) و در تحقیقات کمتری (شایان جزی و همکاران، ۱۳۸۹)، این اثر کاهشی گزارش شده است که تاحد زیادی مرتبط با خصوصیات پساب آبیاری و نسبت پارامترهای حاکم بر معادله جذب سدیمی خاک می‌باشد. همچنین، مونذر و همکاران [2](۲۰۱۳)، دریافتند که استفاده از پساب تصفیه شده موجب افزایش قابل توجه SAR لایه‌های بالایی خاک شده است در تحقیق حاضر، افزایش نسبی SAR خاک آبیاری شده با پساب تصفیه شده در توافق با مطالعات مختلف (لی و همکاران، ۲۰۰۹ و موین و همکاران، ۲۰۱۱) می‌باشد.

افزایش SAR خاک در نتیجه استفاده بلندمدت از پساب‌ها، می‌تواند باعث تخریب مسیرهای جریان آب در لایه‌های خاک شده و با کمبود موقت تهویه موردنیاز، به رشد محصول و عملکرد آسیب وارد نماید (لوی و همکاران[3] ۲۰۱۴). شرایط اولیه خاک و کیفیت آب آبیاری، در شرایط ثانویه پایداری خاک و خاکدانه‌ها و حجم منافذ قابل زهکشی بسیار مؤثر است (مامدو[4] ۲۰۱۴)، به گونه‌ای که، خطر تخریب خاکدانه‌ها و سدیمی شدن خاک در خاک‌هایی با درصد رس پایین کمتر می‌باشد، حتی اگر کیفیت پساب مورد استفاده پایین بوده و میزان سدیم آن بالا باشد (گارسیا–اورنس و همکاران [5]، ۲۰۱۵ و لوی و همکاران، ۲۰۰۳).

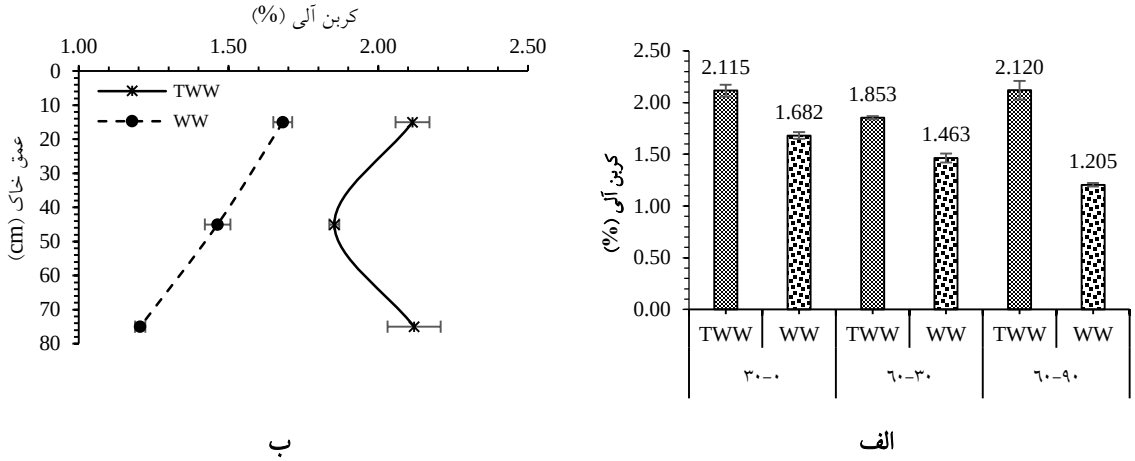
## کربن آلی خاک (OC)

بعد از pH، کربن آلی خاک (OC[6]) مهم‌ترین شاخص کیفیت خاک و نقش اصلی را در سیکل غذایی گیاه بازی می‌کند (راتان و همکاران، ۲۰۰۵). چنین عملکردی از آبیاری با پساب به معنای حفظ پایداری کیفی خاک می‌باشد. در سال‌های اخیر، این نقش پساب‌ها در غنی‌سازی ماده آلی خاک در کنار سایر ریز مغذی‌ها، به یک شیوه به‌زراعی برای احیاء حاصلخیزی خاک و برگشت مواد آلی به خاک تبدیل شده است (سامیا و همکاران [7]، ۲۰۱۳). بنا بر گزارش مالدونادو و همکاران [8](۲۰۰۸)، محتوای مواد آلی یک فاکتوری مهم و مؤثر بر حرکت‌پذیری فلزات در خاک‌های با رژیم طولانی‌مدت آبیاری با پساب می‌باشد.

سطوح بالای ماده آلی در خاک، نگهداشت فلزات سنگین توسط این متغیر را یادآوری می‌نماید. ر بین پارامترهای شیمیایی مورد بررسی در این تحقیق، محتوای کربن آلی خاک بیشترین تأثیرپذیری را نشان داده و آبیاری با پساب تأثیر بسزایی بر افزایش محتوای مواد آلی خاک داشته است. مطابق نتایج ارائه شده، درصد کربن آلی خاک در نتیجه آبیاری با پساب افزایش یافته است. اختلاف بین میزان کربن آلی اندازه‌گیری شده در لایه ۶۰–۹۰ سانتی‌متری خاک دو تیمار آبیاری محسوس‌تر و بیشتر بوده است. همانطور که در شکل (۱، الف) نشان داده شده است، مقدار کربن آلی این لایه تحت آبیاری پساب از ۱/۲۱ به ۲/۱۲ درصد رسیده است که معادل افزایش ۷۶ درصدی است و با نتایج بلید و همکاران [9](۲۰۱۲)، مطابقت زیادی دارد که افزایش حدود ۱۰۰ درصدی را گزارش نمودند. همچنین، مقدار کربن آلی در خاک‌های آبیاری شده با آب چاه در لایه‌های سطحی بیشتر بوده است و با افزایش عمق خاک روند کاهشی نشان می‌دهد. مقدار کربن آلی اندازه‌گیری شده در کلیه نمونه‌های خاک در تیمارهای آبیاری

[1] Olfa Hentati et al
[2] Mounzer
[3] Levy et al
[4] Mamedov
[5] García-Orenes et al
[6] Organic Carbon
[7] Samia et al
[8] Maldonado et al
[9] Belaid et al

شده با پساب از ۱/۵۷ تا ۲/۹۸ درصد و در تیمارهای آبیاری شده با آب چاه از ۱/۱۰ تا ۱/۹۸ درصد متغیر بود. نتایج آزمایشات بیگی‌هرچگانی و بنی‌طالبی (۱۳۹۲)، حاکی است که آبیاری با پساب کربن آلی خاک را افزایش داده است ( $p<0/05$). زیرا پساب برخلاف آب چاه حاوی کربن آلی است که با BOD و COD نمایش داده می‌شود. پژوهشگران دیگر مانند دریچزل و همکاران[1](۲۰۱۰) نیز نتیجه مشابهی را گزارش کردند.




**شکل ۲. متوسط مقدار کربن آلی(OC) در لایه‌های خاک تحت تیمارهای مختلف آبیاری**

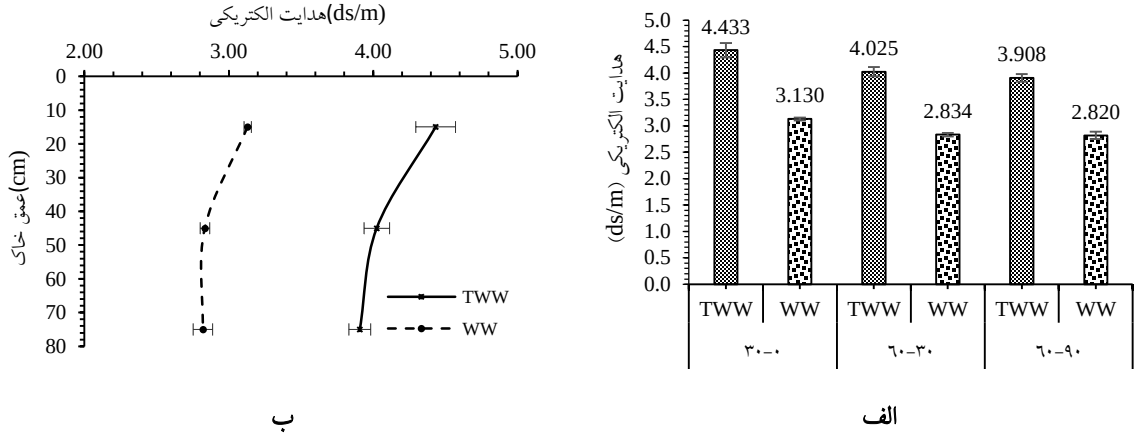
همچنین نتایج بدست آمده می‌تواند نشانگر تأثیر نسبتاً مشخص پساب بر خاک (تا عمق مورد بررسی) باشد. بعبارتی پساب با دارا بودن مواد معدنی و آلی مختلف باعث تغییر نسبی محتوای کربن آلی خاک شده است. اگرچه با توجه به پایین بودن محتوای کربن آلی در لایه‌های زیرین خاک آبیاری شده با آب چاه، میزان افزایش آن در لایه‌های زیر سطحی محسوس‌تر و بیشتر از لایه سطحی بوده است. برخی مطالعات نشان داده‌اند که مقدار کربن آلی در خاک‌های آبیاری شده با پساب فاضلاب کاهش یافته است و این کاهش در در ارتباط با افزایش فعالیت‌های میکروبی به دلیل بالارفتن C و N در نتیجه تأثیر فاضلاب است (تارچونا و همکاران[2] ۲۰۱۰).

### پارامترهای روتین شیمیایی خاک (pH ،EC)

بالا بودن مقدار هدایت الکتریکی خاک حاکی از شور شدن خاک است که عوارض منفی مهمی بر فعالیت‌های کشاورزی پایدار دارد (کلی و همکاران[3] ۲۰۱۰). بر اساس نتایج بدست آمده از شکل (۳، الف و ب) تأثیر بلند مدت آبیاری با پساب بر تغییر و افزایش هدایت الکتریکی خاک مشخص و قابل توجه است. متوسط مقدار EC لایه‌های مختلف خاک تیمار شده با پساب ۴/۱۲ دسی زیمنس بر متر و در خاک‌های آبیاری شده با آب چاه ۲/۹۳ دسی زیمنس بر متر بدست آمده است. همچنین مقدار افزایش هدایت الکتریکی در لایه‌های ۳۰-۰، ۶۰-۳۰ و ۹۰-۶۰ سانتی‌متری خاک آبیاری شده با پساب نسبت به آب چاه به ترتیب ۴۳، ۴۱ و ۳۹ درصد بوده است. این نتایج حاکی از تأثیر یکنواخت آبیاری با پساب بر عمق ۹۰ سانتی‌متری خاک است. در تأیید یافته‌های تحقیق حاضر، دیدگاه‌های مشابهی توسط بسیاری از محققان در مورد افزایش

[1] Drechsel et al
[2] Tarchouna et al
[3] Klay et al

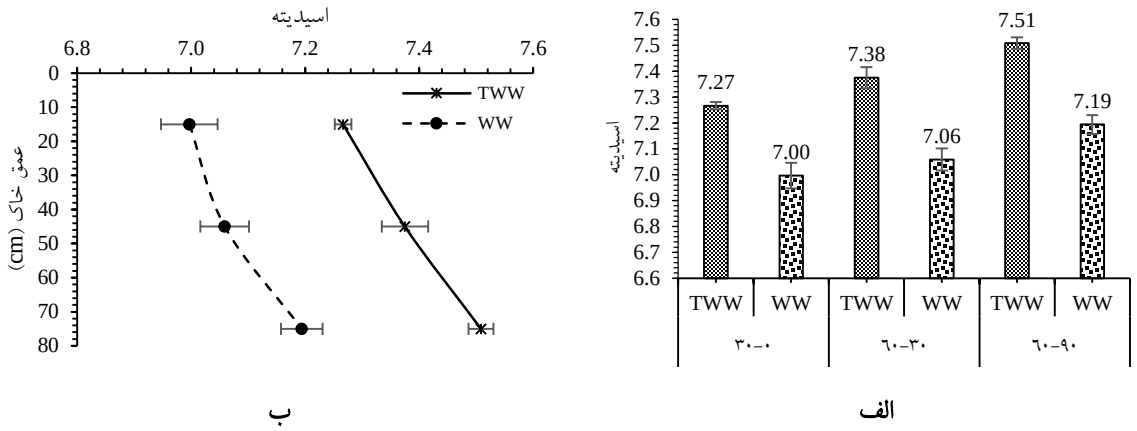
شوری و سدیمی شدن خاک در لایه بالایی و سطحی خاک در نتیجه آبیاری با پساب تصفیه شده بیان شده است (حسنلی و همکاران، ۲۰۰۸.، امیری و همکاران، ۲۰۰۸.، و لاورنسن و همکاران [1]، ۲۰۱۲).




**شکل ۳. متوسط مقدار هدایت الکتریکی (EC) در لایه‌های خاک تحت تیمارهای مختلف آبیاری**

میزان EC با مقادیر کمتر از ۴ دسی‌زیمنس بر متر بیانگر آن است که خاک منطقه غیرشور شده (قدیر و همکاران [2] ۲۰۱۰) و ریسک شور شدن اراضی منطقه مورد مطالعه را پایین برآورد می‌نماید. اما ادامه آبیاری طولانی مدت با پساب تصفیه شده، از علل شور شدن بیش از حد خاک است. علاوه بر این، اگر بارش منطقه کمتر از ۲۵۰ میلی‌متر باشد، خطر بالای شور شدن خاک نیز وجود دارد (ملگار و همکاران [3]، ۲۰۰۹). تحقیقات ساسانی (۱۳۹۴) که میزان EC در تیمار آبیاری با آب چاه در دامنه ۴/۱۵ تا ۶/۸ و در تیمار آبیاری با پساب در دامنه ۱/۱۶ تا ۱/۶۱ دسی‌زیمنس بر متر قرار دارد که حاکی از اثر معنی‌دار آبیاری با پساب در اراضی تحت آبیاری بر میزان EC بود. وجود نمک‌های محلول، سدیم، منیزیم و کلسیم موجود در فاضلاب می‌تواند هدایت الکتریکی خاک را افزایش می‌دهد (قنبری و همکاران [4] ۲۰۰۷.، محمد و مظهره [5] ۲۰۰۳.، و مونهت و همکاران [6] ۱۹۹۶). لازم به ذکر است که به علت آبشویی، تجمع نمک در لایه های عمیق‌تر بیشتر از لایه های سطحی بود (ابو عواد [7] ۱۹۹۶). همچنین، نتایج یافته‌های خاسخوسی و همکاران (۲۰۱۵) نشان داد که هدایت الکتریکی تیمارهای خاک آبیاری شده با فاضلاب تصفیه شده به طور قابل توجهی در مقایسه با تیمار شاهد افزایش یافته است که این افزایش مربوط به اعماق ۶۰-۳۰ و ۹۰-۶۰ سانتی‌متر خاک بوده است. با این حال، آبیاری با آب شیرین به کاهش معنی دار EC منجر شده است. نتایج مشابهی در تأیید این موضوع گزارش شده است (راتان و همکاران [8] ۲۰۰۵؛ روشن و همکاران، ۲۰۰۷). این افزایش متأثر از غلظت بالای کاتیون‌هایی مانند سدیم و پتاسیم در فاضلاب گزارش شده است (روشن و همکاران، ۲۰۰۷).

[1] Laurenson et al
[2] Qadir et al
[3] Melgar et al
[4] Ghanbari et al
[5] Mohammad & Mazahreh
[6] Monnett et al
[7] Abu-Awwad
[8] Rattan et al




**شکل ٤. متوسط مقدار اسیدیته (pH) در لایه‌های خاک تحت تیمارهای مختلف آبیاری**

کرکهام[1](۲۰۰۶)، مهم‌ترین عامل در تحرک‌پذیری برخی فلزات تحرک‌پذیر (Zn) را pH عنوان نموده است. همچنین، حلالیت فلزات سنگین در pH های بالا رو به افزایش و در pH های پایین رو به کاهش است. در مطالعه حاضر، با محدوده pH بین ۷ تا ۷/۹۳، محدودیت تحرک پذیری فلزات را نشان می‌دهد. مشابه این دامنه از تغییرات نیز منجر به چنین نتیجه‌گیری در مطالعه خاسخوسی و همکاران (۲۰۱۵) شده است. بطور نسبی آبیاری با پساب باعث قلیائی شدن (افزایش pH) خاک‌های تخت آبیاری شده است. همانطور که در شکل (۴، الف) نشان داده شده است، متوسط pH اندازه‌گیری شده در لایه ۹۰ سانتی‌متری تیمارهای خاک آبیاری شده با پساب ۷/۳۸ و برای تیمارهای خاک آبیاری شده با آب چاه ۷/۰۸ بوده است. چنانکه فالکینر و اسمیت[2](۱۹۹۷)، این افزایش را بین ۰/۳ تا ۰/۷ گزارش نمودند. چنین نتیجه‌ای تا حدود یک واحد نیز در نتایج مطالعات استوارت و همکاران [3](۱۹۹۰) نیز مشاهده می‌گردد. ساسانی (۱۳۹۴)، pH خاک‌های تحت آبیاری با آب چاه را بین ۷/۹ تا ۸/۳ برای اراضی تحت آبیاری با پساب بین ۶/۹ تا ۷/۹ گزارش نمود.

برخی از تحقیقات نشان داد که آبیاری با پساب باعث کاهش pH خاک شده است. این کاهش به دلیل تجزیه مواد آلی و تولید اسیدهای آلی بود. دیگر محققین (استوارت و همکاران، ۱۹۹۰.، مانسینو و پیپر[4] ۱۹۹۲.، راتان و همکاران، ۲۰۰۵.، و روشن و همکاران، ۲۰۰۷) نشان دادند که آبیاری با فاضلاب تصفیه شده باعث افزایش pH خاک شد. همچنین، تارچونا و همکاران[5](۲۰۱۰) نیز، افزایش pH خاک را متأثر از خصوصیات شیمیایی و محتوای بالای کاتیون‌های اساسی مانند سدیم، کلسیم و منیزیم موجود در فاضلاب در نتیجه یک دوره آبیاری طولانی با فاضلاب نسبت دادند. که این نتیجه توسط شیپر و همکاران [6](۱۹۹۶) و گونزی و مونوندو[7](۲۰۰۸) تأیید شده است.

[1] Kirkham
[2] Falkiner & Smith
[3] Stewart et al
[4] Mancino & Pepper
[5] Tarchouna et al
[6] Schipper
[7] Gwenzi & Munondo

مطابق نتایج ارائه شده در شکل (۱۰، ب)، مقدار pH خاک با افزایش عمق، با یک روند مشابه در هر دو تیمار آبیاری افزایش یافته است. مقدار افزایش pH خاک تحت تأثیر آبیاری با پساب در لایه‌های ۳۰-۰، ۶۰-۳۰ و ۹۰-۶۰ سانتی‌متری به ترتیب ۳/۸، ۴/۵ و ۴/۴ درصد بدست آمده است. این تغییرات کوچک در pH خاک به عنوان تابعی از پساب مورد استفاده در آبیاری ممکن است در ارتباط با اضافه شدن غلظت‌های بالای سولفات، انتشار کاتیون‌های قابل تبادل در نتیجه معدنی شدن مواد آلی (کیزیلوغلو و همکاران[1] ۲۰۰۸)، اکسیداسیون ترکیبات آلی و نیتریفیکاسیون آمونیاک و یا شسته شدن کاتیون‌های اصلی (ژو و همکاران، ۲۰۱۰) رخ دهد

## بحث

با توجه به بحران کمبود منابع آب و لزوم بهره‌برداری از منابع آب نامتعارف، بهره‌گیری مطلوب و بهینه از پساب فاضلاب شهری یکی از مباحث مهم پژوهش‌ها است. در ایران تاکنون در مورد امکان بهره‌برداری از این منبع، پژوهش‌هایی صورت گرفته است، ولی به نظر می‌رسد که در زمینه اعمال مدیریت صحیح در بهره‌برداری از پساب فاضلاب تصفیه شده و خام در راستای حفظ شرایط زیست محیطی، لازم است که پژوهش‌های جامع‌تری صورت گیرد. زیرا تکیه کردن بر تجارب سایر کشورها (بدون توجه به شرایط بومی هر منطقه) ممکن است صدمات جبران ناپذیری بر خاک و کشاورزی وارد نماید. لذا درک و بررسی تغییرپذیری این پارامترها می‌تواند متضمن مدیریت مناسب و بهره‌وری پایدار باشد (آل‌عمران[2] و همکاران، ۲۰۱۳).

## نتیجه‌گیری

نتیجه بررسی استفاده از پساب شهری در اراضی مورد بررسی که بیش از ۱۰ سال تحت آبیاری با پساب شهری بوده‌اند، نشان داد که به علت دسترسی کافی به این منبع و امکان انجام آبشویی، خطر شور شدن این اراضی مرتفع شده است. ولیکن در برخی مناطق، افزایش یون سدیم و مقادیر کمتر یون‌های کلسیم و منیزیم، خطر سدیمی شدن این اراضی را در پی داشته است که با توجه به درصد بالای رس این اراضی، پیامدهای آتی آن شامل سله و کاهش نفوذپذیری کاملاً مشهود است. همچنین، نتایج این تحقیق نشان داد که تغییرات پارامتر SAR میان دو تیمار آبیاری با پساب و آب چاه معنی‌دار نشده است که این موضوع به نسبت‌های مشابه پارامترهای مؤثر بر SAR بود. از طرفی؛ با توجه به شوری پایین پساب ورودی و حجم بالای آب مورد استفاده برای آبیاری و از سویی شوری نبودن خاک‌های منطقه، استفاده از پساب منجر به افزایش قابل توجه میزان شوری اراضی منطقه در مقایسه با اراضی تحت آبیاری با آب چاه نمی‌گردد. نتایج این تحقیق در بررسی میزان تغییر کربن آلی خاک (OC) در نتیجه آبیاری با پساب شهری نشان داد که این اثر معنی‌دار و به میزان ۵۵ درصد افزایش برای حالت آبیاری با پساب در مقایسه با آبیاری با آب چاه متأثر از مواد آلی موجود در پساب می‌باشد. این موضوع ضمن مزیت حاصلخیزکنندگی خاک، می‌تواند موجب تثبیت و متوقف نمودن حرکت-پذیری فلزات سنگین با ایجاد پیوندهای آلی با فلزات سنگین گردد. مطابق با نتایج این مطالعه، آبیاری با پساب شهری منجر به افزایش معنی‌دار ۰/۳ واحدی pH در خاک‌های تحت آبیاری با پساب نسبت به اراضی مشروب از آب چاه می‌باشدکه می‌تواند ناشی از آبشویی زیاد کاتیون‌های پایه و اساسی، ورودی‌های بالای نیترات و سولفات و یا اکسایش مواد آلی و به دنبال آن تولید اسیدهای آلی باشد. با توجه به منابع آب موجود در منطقه شامل منابع آب زیرزمینی و پساب منطقه و همچنین بررسی آنالیز شیمیایی آب چاه و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی اراضی مشروب از آن می‌توان دریافت که ضمن محدود بودن این منبع آبی، کیفیت آبی آن باعث تخریب شرایط خاک از لحاظ شوری و در آینده، احتمال عبور از مرز سدیمی شدن را دارد. لذا نمی‌توان به این منبع آبی اتکای لازم را داشت و از آنجایی که منبع آب مناسب‌تری جهت جایگزینی وجود ندارد، می‌بایست با

[1] Kiziloglu et al
[2] Al-Omran

اقدامات تکمیلی جهت بهبود کیفیت پساب، نسبت به این منبع آبی برنامه‌ریزی‌های بلندمدت را انجام داد. کمبود آب و کیفیت پایین منابع آب زیرزمینی منطقه، مدیریت بهینه پساب‌های ورودی را دیکته می‌کند.

## منابع

بیگی هرچگانی، حبیب اله.، و بنی طالبی، گلنوش. (۱۳۹۲). اثر بیست و سه سال آبیاری سطحی با پساب شهری بر انباشت بعضی فلزات سنگین در خاک، انتقال به دانه های گندم و ذرت و خطرات بهداشتی مرتبط. مجله آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲۷(۳)، ۵۸۰-۵۷۰. https://doi.org/10.22067/jsw.v0i0.26085

ساسانی فاطمه. (۱۳۹۴). تحلیل چند متغیره خاک‌های اراضی کشاورزی تحت آبیاری بلند مدت با پساب شهری. پایان نامه دکتری، دانشگاه رازی، کرمانشاه.

سلگی. عیسی.، شاهوردی نیک. مهدی. و رمضانی. مهدی. (۱۳۹۹). تأثیر آبیاری با فاضلاب تصفیه نشده شهری بر تجمع فلزات سنگین در خاک سطحی و زیرسطحی. نشریه علوم و تکنولوژی محیط زیست، ۲۲(۳)، ۳۳۳-۳۱۷. https://doi.org/10.22034/jest.2018.22585.3165

شایان جزی، مینا.، قربانی، هادی.، و فیضی، محمد. (۱۳۸۹). تأثیر استفاده از پساب در کشاورزی بر برخی خواص شیمیایی خاک. دومین سمینار ملی جایگاه آب های بازیافتی و پساب در مدیریت منابع آب- کاربردها در کشاورزی و فضای سبز، مشهد. https://civilica.com/doc/103537

فرمانی فرد، میلاد.، قمرنیا، هوشنگ.، پیرصاحب. مقداد.، و فتاحی. نظیر. (۱۳۹۶). تأثیر آبیاری بلند مدت با فاضلاب تصفیه شده شهری کرمانشاه بر برخی خصوصیات فیزیکی لایه‌های خاک. مجله پژوهش آب در کشاورزی، ۳۱(۳)، ۵۰۸-۴۹۳. https://doi.org/10.22092/jwra.2017.113682

فرمانی فرد، میلاد.، قمرنیا، هوشنگ.، پیرصاحب، مقداد.، و فتاحی، نظیر. (۱۳۹۵). مطالعه تجمع فلزات سنگین در محصولات مختلف تحت تأثیر آبیاری با پساب تصفیه شده شهری کرمانشاه. مجله مدیریت آب و آبیاری، ۶(۲)، ۱۴۳-۱۳۳. https://doi.org/10.22059/jwim.2016.64498

## References

Abu-Awwad, A.M. (1996). Irrigation water management for onion trickle irrigated with saline drainage water. Dirasat, 23, 46–55. https://eurekamag.com/research/002/879/002879877.php

Alghobar, M.A., & Suresha, S. (2015). Evaluation of nutrients and trace metals and their enrichment factors in soil and sugarcane crop irrigated with wastewater. J. Geosci. Environ, Protect, 3, 46-56. http://dx.doi.org/10.4236/gep.2015.38005

Alghobar, M.A., Ramachandra, L., & Suresha, S. (2014). Effect of sewage water irrigation on soil properties and evaluation of accumulation of elements in grass crop in Mysore city, Karnataka, India. Am. J. Environ. Protect, 3(5), 283-291. http://dx.doi.org/10.11648/j.ajep.20140305.22

Al-Nakshabandi, G.A., Saqqar, M.M., Shatanawi, M.R., Fayyadand, M., & Al-Horani, H. (1997). Some environmental problems associated with the use of treated wastewater for irrigation in Jordan. Agric. Water Manage, 34 (1), 81-94. https://ideas.repec.org/a/eee/agiwat/v34y1997i1p81-94.html

Al-Omran, A.M., Al-Wabel, M.I., El-Maghraby, S.E., Nadeem, M.E., & Al-Sharani. S. (2013). Spatial variability for some properties of the wastewater irrigated soils. J. Saudi Soc. Agric. Sci, 12(2), 167-175. https://doi.org/10.1016/j.jssas.2012.12.001

Amin, N., Hussain, A., Alamzeb, S., & Begum, S. (2012). Accumulation of heavy metals in edible parts of vegetables irrigated with waste water and their daily intake to adults and children, District Mardan Pakistan. Food Chem, 136(3-4), 1515–1523. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.09.058

Amiri, S.S., Maralian, H., & Aghabarati, A. (2008). Heavy metal accumulation in under crown Olea europaea L. forest irrigated with wastewater. Afr. J. Biotechnol, 7(21). https://core.ac.uk/reader/30640730

Ammeri, R.W., Hidri, Y., Souid, F., Simeone, G.D.R., Hajjaji, F., Moussa, M., Hassen, A., & Eturki, S. (2023). Improvement of degraded agricultural soil in an arid zone following short- and long-term treated municipal wastewater application: A case study of Gabes perimeter, Tunisia. Applied Soil Ecology, 182,104685. https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2022.104685

Andrews, D.M., Robb, T., Elliott, H., & Watson, J.E. (2016). Impact of long-term wastewater irrigation on the physicochemical properties of humid region soils: The Living Filter site case study. Agric, Water Manage, 178, 239–247. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.10.001

Angelakis, A.N., Bontoux, L., Lazarova, V. (2003). Challenges and prospectives for water recycling and reuse in EU countries. Water Sci, Technol, Water Supply, 3(4), 59–68. http://dx.doi.org/10.2166/ws.2003.0046

Ayers, R.S., & Westcot, D.E.W. (1985). Water Quality for Agriculture. Rome. 29 Rev, FAO Irrigation and drainage paper. https://www.fao.org/3/t0234e/T0234E00.htm

Bame, I.B., Hughes, J.C., Titshall, L.W., & Buckley, C.A. (2014). The effect of irrigation with anaerobic baffled reactor effluent on nutrient availability, soil properties and maize growth. Agric. Water Manage, 134, 50-59. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2013.11.011

Bao, Z., Wu, W., Liu, H., Chen, H., & Yin, S. (2014). Impact of long-term irrigation with sewage on heavy metals in soils, crops, and groundwater – a case study in Beijing. Pol. J. Environ. Stud, 23(2), 309-318. http://www.pjoes.com/pdf-89196-23055?filename=Impact%20of%20Long_Term.pdf

Beigi Harchgani, H.A., & Bani Talebi, G. (2012). The effect of twenty-three years of surface irrigation with urban wastewater on the accumulation of some heavy metals in the soil, transfer to wheat and corn seeds and related health risks. Water and Soil Journal (Agricultural Sciences and Industries), 27(3), 580-570. https://doi.org/10.22067/jsw.v0i0.26085 [In Persian]

Belaid, N., Neel, C., Kallel, M., Ayoub, T., Ayadi, A., & Baudu, M. (2012). Long term effects of treated wastewater irrigation on calcisol fertility: a case study of Sfax-Tunisia. Agric. Sci, 3, 702–713. http://dx.doi.org/10.4236/as.2012.35085

Bichai, F., Polo-López, M.I., & Ibanez, P.F. (2012). Solar disinfection of wastewater to reduce contamination of lettuce crops by Escherichia coli in reclaimed water irrigation. Water Res. 46, 6040–6050. https://doi.org/10.1016/j.watres.2012.08.024

Candela, L., Fabregat, S., Josa, A., Suriol, J., Vigues, N., & Mas, J. (2007). Assessment of soil and groundwater impacts by treated urban wastewater reuse. A case study: application in a golf course (Girona, Spain). Sci. Total Environ, 374, 26–35. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2006.12.028

Chen, W., Lu, S., Pan N, Wang, Y., & Wu, L. (2015). Impact of reclaimed water irrigation on soil health in urban green areas. Chemosphere, 119, 654–661. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2014.07.035

Chen, W.P., Lu, S.D., Pan, N., & Jiao, W.T. (2013). Impacts of long-term reclaimed water irrigation on soil salinity accumulation in urban green land in Beijing. Water Resour. Res, 49, 7401–7410. http://dx.doi.org/10.1002/wrcr.20550

Drechsel, P., Ascott, Ch., Raschid-sally, L., Redwood, M., & Bahri, A. (2010). Wastewater Irrigation and Health Assessing and Mitigating Risk in Low-income Countries. Earthscan, London. https://idrc-crdi.ca/sites/default/files/openebooks/475-8/index.html

Emongor, V.E., & Ramolemana, G.M. (2004). Treated sewage effluent (water) potential to be used for horticultural production in Botswana. Physics and Chemistry of the Earth, 29, 1101-1108. https://doi.org/10.1016/j.pce.2004.08.003

Falkiner, R.A., & Smith, C.J. (1997). Changes in soil chemistry in effluent-irrigated Pinus radiate and Eucalyptus grandis. Aust. J. Soil Res, 35(1), 131–147. https://doi.org/10.1071/S95080

Farhadkhani, M., Nikaeen, M., Hadi, M., Gholipour, S., Yadegarfar, Gh. (2020). Campylobacter risk for the consumers of wastewater-irrigated vegetables based on field experiments. Chemosphere 251, 126408. https:// doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.126408.

Farhadkhani, M., Nikaeen, M., Yadegarfar, Gh., Hatamzadeh, M., Pourmohammadbagher, H., Sahbaei, Z., & Rahmani, H.R. (2018). Effects of irrigation with secondary treated wastewater on physicochemical and microbial properties of soil and produce safety in a semi-arid area. Water Res. 144, 356–364. https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.07.047

Farmanifard, M., Ghamarnia, H., Pirsaheb, M., & Fatahi, N. (2016). Investigation of heavy metal accumulation on different crop under irrigation with Kermanshah treated municipal wastewater. Water and Irrigation Management, 6(2), 347-365. https://doi.org/10.22059/jwim.2016.64498 [In Persian]

Farmanifard, M., Ghamarnia, H., Pirsaheb, M., & Fatahi, N. (2017). Impact of Long-Term Irrigation with Kermanshah Municipal Treated Wastewater on Some Soil Physical Properties. Impact of Long-Term Irrigation with Kermanshah Municipal Treated Wastewater on Some Soil Physical Properties. Journal of Water Research in Agriculture, 31(3), 493-508. https://doi.org/10.22092/jwra.2017.113682 [In Persian]

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2016). Water NEWS: Climate Change & Water. http://www.fao.org/nr/water/news/climchange.html

Gambrell, R.P. (1994). Trace and toxic metals in wetlands-a review. J Environ Quality, 23(5), 883-891. https://doi.org/10.2134/jeq1994.00472425002300050005x

García-Orenes, F., Caravaca, F., Morugán-Coronado, A., & Roldán, A. (2015). Prolonged irrigation with municipal wastewater promotes a persistent and active soil microbial community in a semiarid agroecosystem. Agric. Water Manage, 149, 115-122. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2014.10.030

Ghanbari, A., Abedikoupai, J., & TaieSemiromi, J. (2007). Effect of municipal wastewater irrigation on yield and quality of wheat and some soil properties in sistan zone. Journal of Science and Technology Agricultural and Natural Recourse, 10(4), 59-74. https://www.researchgate.net/publication/26622333

Gunston, H. (2008). Wastewater use in irrigated agriculture: confronting the liveli-hood and Environmental realities. In: Scott, C.A., Faruqui, N.I., Raschid-Sally, L. (Eds.), Experimental Agriculture. CABI Publishing. https://www.cabidigitallibrary.org/doi/book/10.1079/9780851998237.0000

Gwenzi, W., & Munondo, R. (2008). Long-term impacts of pasture irrigation with treated sewage effluent on nutrient status of a sandy soil in Zimbabwe. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 82, 197-207. http://dx.doi.org/10.1007/s10705-008-9181-3

Hassanli, A., Javan, M., & Saadat, Y. (2008). Reuse of municipal effluent with drip irrigation and evaluation the effect on soil properties in a semi-arid area. Environ. Monit. Assess, 144, 151–158. https://doi.org/10.1007/s10661-007-9953-2

Hussain, M.I., Muscolo, A., Farooq, M., & Ahmad, W. (2019). Sustainable use and management of non-conventional water resources for rehabilitation of marginal lands in arid and semiarid environments. Agric. Water Manag, 221, 462–476. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.04.014

Jeong, H., Bhattarai, R., Adamowski, J., & Yu, D.J. (2020). Insights from socio-hydrological modeling to design sustainable wastewater reuse strategies for agriculture at the watershed scale. Agric. Water Manag, 231, 105983. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.105983.

Khaskhoussy, K., Kahlaoui, B., & Nefzi, B.M. (2015). Effect of treated wastewater Irrigation on heavy metals distribution in a Tunisian soil engineering. Eng. Technol. Appl. Sci.Res, 5(3), 805-810. http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.18803

Kirkham, M.B. (2006). Cadmium in plants on polluted soils: effects of soil factors, hyperaccumulation, and amendments. Geoderma, 137(1-2), 19–32. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2006.08.024

Kiziloglu, F.M., Turan, M., Sahin, U., Kuslu, Y., & Dursun, A. (2008). Effects of untreated and treated wastewater irrigation on some chemical properties of cauliflower (Brassica olerecea L. var. botrytis) and red cabbage (Brassica olerecea L. var. rubra) grown on calcareous soil in Turkey. Agricultural Water Management, 95,716 -724. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2008.01.008

Klay, S., Charef, A., Ayed, A., Houman, B., & Rezgu, F. (2010). Effect of irrigation with treated wastewater on geochemical properties (saltiness, C, N and heavy metals) of isohumic soils (Zaouit Sousse perimeter, Oriental Tunisia). Desalination, 253, 180-187. https://doi.org/10.1016/j.desal.2009.10.019

Klute, A., & Dirkwen, C. (1986). Hyraulic conductivity and Dffusivity: Laboratory methods. In: A. Klute (Ed.), Method of soil analysis. Part 1. Physical and mineralogical methods. SSSA Publisher, 687-734. https://doi.org/10.2136/sssabookser5.1.2ed.c28

Lado, M., & Ben-Hur, M. (2009). Treated domestic sewage irrigation effects on soil hydraulic properties in arid and semiarid zones: A review. Soil. Till. Res, 106, 152-163. https://doi.org/10.1016/j.still.2009.04.011

Laurenson, S., Bolan, N.S., Smith, E., & McCarthy, M. (2012). Review: use of recycled wastewater for irrigating grapevines. Aust. J. Grape Wine Res, 18, 1–10. http://dx.doi.org/10.1111/j.1755-0238.2011.00170.x

Levy, G.J., Fine, P., Goldstein, D., Azenkot, A., Zilberman, A., Chazan, A., & Grinhut, T. (2014). Long term irrigation with treated wastewater (TWW) and soil sodification. Biosyst. Eng, 128, 4-10. https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2014.05.004

Levy, G.J., Mamedov, A.I., & Goldstein, D. (2003). Sodicity and water quality effects on slaking of aggregates from semiarid soils. Soil. Sci, 168(8), 552–562. http://dx.doi.org/10.1097/01.ss.0000085050.25696.52

Li, P., Wang, X., Allinson, G., Li, X., & Xiong, X. (2009). Risk assessment of heavy metals in soil previously irrigated with industrial wastewater in Shenyang, China. Journal of Hazardous Materials, 161(1), 516–521. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.03.130

Maldonado, V.M., Arias, H.O.R., Quintana, R., Saucedo, R.A., Gutierrez, M., Ortega, J.A., & Nevarez, G.V. (2008). Heavy metal content in soils under different wastewater irrigation patterns in Chihuahua, Mexico. Int. J. Environ. Res. Public Health, 5(5), 441-449. https://doi.org/10.3390/ijerph5050441

Mancino, C.F., & Pepper, I.L. (1992). Irrigation of turfgrass with secondary sewage effluent: soil quality. Agron. J, 84, 650–654. https://doi.org/10.2134/agronj1992.00021962008400040023x

Maryam, B., Buyukgungor, H. (2019). Wastewater reclamation and reuse trends in Turkey: opportunities and challenges. J. Water Process Eng, 30, 100501. https://doi. org/10.1016/j.jwpe.2017.10.001

Melgar, J.C., Mohamed, Y., Serrano, N., Garcia-Galavis, P.A., Navarro, C., Parra, M.A., Benlloch, M., & Fernandez-Escobar, R. (2009). Long term responses of olive trees to salinity. Agric. Water Manag. 96, 1105-1113. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2009.02.009

Mohammad, M. J., & Mazahreh, N. (2003). Changes in soil fertility parameters in response to irrigation of forage crops with secondary treated wastewater. Comm. Soil Sci. Plant Anal, 34, 1281–1294. https://doi.org/10.1081/CSS-120020444

Monnett, G.T., Reneau, R.B., & Hagedorn, C. (1996). Evaluation of spray irrigation for on-site wastewater treatment and disposal on marginal soils. Water Environmental Research, 68, 11–18. https://doi.org/10.1016/j.desal.2006.10.032

Morugán-Coronado, A., García-Orenes, F., Mataix-Solera, J., Arcenegui, V., & Mataix-Beneyto, J. (2011). Short-term effects of treated wastewater irrigation on Mediterranean calcareous soil. Soil and Tillage Research, 112(1), 18–26. https://doi.org/10.1016/j.still.2010.11.004

Mounzer, O., Pedrero-Salcedo, F., Nortes, P.A., Bayona, J.-M., Nicolás-Nicolás, E., & Alarcón, J.J. (2013). Transient soil salinity under the combined effect of reclaimed water and regulated deficit drip irrigation of Mandarin trees. Agric. Water Manag, 120, 23–29. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2012.10.014

Murtaza, G., Usman, M., & Ahmad, H.R. (2015). Monitoring and management of wastewater for safer crop production. Global Journal on Advances Pure and Applied Sciences (GJPAS), 5, 78-85. https://www.researchgate.net/publication/344335510

Muyen, Z., Moore, G.A., & Wrigley, R.J. (2011). Soil salinity and sodicity effects of wastewater irrigation in South East Australia. Agric. Water Manage, 99(1), 33– 41. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2011.07.021

Olfa Hentati, O., Chaker, S., Wali, A., Ayoub, T., & Ksibi, M. (2013). Effects of long-term irrigation with treated wastewater on soil quality, soil-borne pathogens, and living organisms: case study of the vicinity of El Hajeb (Tunisia). Environ. Monit. Assess, 186(5), 2671-2683. http://dx.doi.org/10.1007/s10661-013-3570-z

Pena, A., Delgado-Moreno, L., & Rodríguez-Liébana, J.A. (2020). A review of the impact of wastewater on the fate of pesticides in soils: effect of some soil and solution properties. Sci. Total Environ, 718, 134468. https://doi.org/ 10.1016/j.scitotenv.2019.134468

Pinto, U., Maheshwari, B.L., Grewal, H.S. (2010). Effects of greywater irrigation on plant growth, water use and soil properties. Resour. Conserv. Recycl, 54 (7), 429–435. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2009.09.007

Qadir, M., Wichelns, D., Raschid-Sally, L., McCornick, P.G., Drechsel, P., Bahri, A., & Minhas, P.S. (2010). The challenges of wastewater irrigation in developing countries. Agric. Water Manage, 97(4), 561–568. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2008.11.004

Radingoana, M.P., Dube, T., & Mazvimavi, D. (2020). Progress in greywater reuse for home gardening: opportunities, perceptions and challenges. Phy. Chem. Earth. https://doi.org/ 10.1016/j.pce.2020.102853.

Rahman, M.M., Hagare, D., Maheshwari, B., & Dillon, P. (2015). Impacts of prolonged drought on salt accumulation in the root zone due to recycled water irrigation. Water Air Soil Pollut. 226, 90–108. http://dx.doi.org/10.1007/s11270-015-2370-1

Rana, L., Dhankhar, R., & Chhikara, S. (2010). Soil characteristics affected by long-term application of sewage wastewater. Int. J. Environ. Res, 4(3), 513-518. https://www.researchgate.net/publication/285800192

Rattan, R.K., Datta, S.P., Chhonkar, P,K., Suribabu, K., & Singh, A.K. (2005). Long-term impact of irrigation with sewage effluents on heavy metal content in soils, crops and groundwater-a case study. Agric. Ecol. Environ, 109(3), 310–322. https://www.researchgate.net/publication/285800192

Romano, G., Rapposelli, A., & Marrucci, L. (2019). Improving waste production and recycling through zero-waste strategy and privatization: an empirical investigation. Resour. Conservat. Recycl, 146, 256–263. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.03.030

Rusan M., Hinnawi S., & Rousan L. (2007). Long term effect of wastewater irrigation of forage crops on soil and plant quality parameters. Desalination, 215, 143–152. https://doi.org/10.1016/j.desal.2006.10.032

Salgi, I., Shahvardi Nik, M., & Ramazani, Mehdi. (2019). The effect of irrigation with untreated urban wastewater on the accumulation of heavy metals in surface and subsurface soil. Journal of

Environmental Sciences and Technology, 22(3), 333-317. https://doi.org/10.22034/jest.2018.22585.3165 [In Persian]

Samia, K., Abdelkarim, C., Hidri-Yassin, H., & Teruo, H. (2013). The effect of long-term soil irrigation by wastewater on organic matter, polycyclic aromatic hydrocarbons, and heavy metals evolution: case study of Zaouit Sousse (Tunisia). Arab. J. Geosci, 6(11), 4337–4346. http://dx.doi.org/10.1007/s12517-012-0666-7

Sassani, F. (2014). Multivariate analysis of agricultural soils under long-term irrigation with municipal wastewater. PhD thesis, Razi University, Kermanshah. [In Persian]

Schipper, L.A., Williamson, J.C., Kettles, H.A., & Speir, T.W. (1996). Impact of land-applied tertiary-treated effluent on soil biochemical properties. J. Environ. Qual, 25, 1073–1077. https://doi.org/10.2134/jeq1996.00472425002500050020x

Shayan Jazi, M., Ghorbani, H., & Feizi, M. (2010). The effect of wastewater uses in agriculture on some soil chemical properties. The second national seminar on the role of recycled water and wastewater in water resource management - applications in agriculture and green space, Mashhad. https://civilica.com/doc/103537 [In Persian]

Silva, L.V.B.D., de Lima, V.L.A., Pearson, H.W., Silva, T.T.S., Maciel, C.L.S., & Sofiatti, V. (2016). Chemical properties of a Haplustalf soil under irrigation with treated wastewater and nitrogen fertilization. R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental, 20(4), 308-315. http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v20n4p308-315

Singh, P.K., Deshbhratar, P.B., & Ramteke, D.S. (2012). Effects of sewage wastewater irrigation on soil properties. crop yield and environment. Agric. Water Manage, 103, 100–104. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2011.10.022

Singh, R.P., & Agrawal, M. (2008). Potential benefits and risks of land application of sewage sludge. Waste Management, 28 (2), 347-358. http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2006.12.010

Smith, S.R. (1996). Agricultural recycling of sewage sludge and the environment. CABI Press. https://doi.org/10.2134/jeq1996.00472425002500060044x

Sparling, D.W., & Lowe, T.P. (1998). Metal concentrations in aquatic macrophytes as influenced by soil and acidification. Water, Air and Soil Pollution, 108(1-2), 203-221. https://doi.org/10.1023/A:1005090224878

Stevens, D., McLaughlin, M., & Smart, M.K. (2003). Effects of long-term irrigation with reclaimed water on soils of the Northern Adelaide Plains, South Australia. Soil Res, 41, 933–948. http://dx.doi.org/10.1071/SR02049

Stewart, H., Hopmans, P., Flinn, D., & Hillman, T. (1990). Nutrient accumulation in trees and soil following irrigation with municipal effluent in Australia. Environ. Pollut, 63(2), 155-177. https://doi.org/10.1016/0269-7491(90)90065-K

Tabari, M., & Salehi, A. (2009). Long-term impact of municipal sewage irrigation on treated soil and black locust trees in a semi-arid suburban area of Iran. J. Environ. Sci (China), 21, 1438–1445. https://doi.org/10.1016/S1001-0742(08)62437-7

Tarchouna, L.G., Merdy, P., Raynaud, M., Pfeifer, H.R., & Lucas, Y. (2010). Effects of long-term irrigation with treated wastewater. Part I: Evolution of soil physic-chemical properties. Applied Geochemistry, 25, 1703–1710. https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2010.08.018

United Nations. (2017). World Population Prospects: 2017 Revision Population Database online at http://www.un.org/esa/population/unpop.htm (accessed on 22nd May 2018).

Usman, A.R.H., & Ghallab, A. (2006). Heavy-metal fractionation and distribution in soil profiles short-term-irrigated with sewage wastewater. Chem. Ecol, 22(4), 267-278. https://doi.org/10.1080/02757540600812859

World Health Organization (WHO). (2003). Guidelines for Drinking Water Quality. 3rd Ed. Geneva. https://www.who.int/publications/i/item/9789241549950