

## The effect of using bi-level geocomposite sheets on the soil chemical and biochemical characteristics under wastewater reuse

Sayyed-Hassan Tabatabaei<sup>1\*</sup>, Sajad Googoochani<sup>2</sup>, Mahdi Ghobadinia<sup>3</sup>, Hamidreza Motaghian<sup>4</sup>, Azimeh Asgari<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran

<sup>2</sup> Former M.Sc. Student, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran

<sup>3</sup> Assistant Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran

<sup>4</sup> Associate Professor, Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran

<sup>5</sup> Ph.D., Co-researcher of Water Research Center, Shahrekord University, Shahrekord, Iran

### Extended Abstract

#### Introduction

Reusing wastewater in agriculture, especially for crop irrigation, is one of the most important options to alleviate the water shortage problem and reduce environmental pollution through land-based wastewater treatment. The presence of organic matter, nutrients, and fecal matter in sewage effluent enhance the activity, survival, growth, and development of bacteria. These are factors that contribute to soil coliform contamination under irrigation with sewage. Subsurface irrigation is one of the proven methods that can minimize soil contamination compared with other methods of irrigation. Studies have shown that subsurface irrigation systems with geotextiles can reduce environmental pollution and the risk of soil and plant contamination when using wastewater. So far, many studies have investigated the effects of wastewater application on soil characteristics, but there is limited information on the effect of wastewater application using subsurface textile irrigation (SSTI) systems on soil properties. In this study, the effects of wastewater application through subsurface irrigation with geocomposite sheets on the chemical and biochemical characteristics of soil were investigated. Specifically, the changes in the chemical and biochemical characteristics of soil due to the application of Shahrekord University wastewater using subsurface irrigation with geocomposite sheets were analyzed.

#### Materials and Methods

This research was conducted as a factorial experiment based on a completely randomized design with three replications. The studied factors included the measurement location at two levels: above (zero to 40 cm) and below (40-80 cm) the injection layer, and the distance of the drain from the injection layer at two levels: 35 (D35) and 70 cm (D70). For the experiment, trenches (each 4 m long, 40 cm wide, and 75 (D35) and 110 cm (D70) deep) were dug in the soil. The bed and walls of the trenches were covered with plastic and greased to prevent preferential flow from the plastic walls. Then, the geocomposite layers were used as a drainage layer with a length of 4 m and a width of 20 cm. Next, soil was poured on the drain to a depth of 40 cm from the ground surface, according to the experimental setup (35 and 70 cm thick). To conduct the research, geocomposite sheets were used for both water influx layer and drainage layer. The treatments included two distances of 35 cm and 75 cm between the water influx and the drainage layer. In both treatments, the water influx layer was placed 40 cm below the ground surface. Wastewater was injected 12 times at weekly intervals. At the beginning and end of the study period, soil samples were taken from two depths (0-40 cm and 40-80 cm), and pH, electrical conductivity total calcium and magnesium, carbonate and bicarbonate, nitrate, and fecal and total coliform levels were measured.

#### Results and Discussion

The results showed an increase in electrical conductivity, nitrate, carbonate, and bicarbonate levels, total coliform, and fecal coliform in the soil at the end of the study period compared to the beginning of the study period. The pH of the soil decreased in both the upper and lower areas of the water table. The decrease in soil pH under wastewater irrigation conditions is likely due to the nitrification of ammonium and the leaching of cations from the soil. However, the results of the ANOVA of the effect of measurement depth, drain depth, and their interaction on soil

pH changes showed that the effect was not significant. The electrical conductivity of the soil increased in both areas above and below the water table for both treatments. The results of ANOVA of the effect of measurement depth, drain installation depth, and their interaction on percentage changes in soil electrical conductivity showed that the effect was not significant. The total calcium and magnesium content in the soil decreased by an average of 6.66 and 8.48% in D70 and D35 compared to the beginning of the period, but this difference was not significant. According to the results, the amount of soil nitrate increased as a result of irrigation with wastewater at both depths compared to the beginning of the research period. The concentration of total coliform and fecal coliform in the soil at the end of the period was higher compared to its initial value at the beginning of the period.

### Conclusion

The green spaces on university campuses are major consumers of water. One potential water source for maintaining green space in the conditions of water shortage is the wastewater from the dormitories. However, the main problem with this water source is that during the periods of peak green space demand, the effluent from sewage is significantly reduced. The presence of organic matter, nutrients, and fecal matter in the sewage effluent simulates the activity, survival, and growth of bacteria, which was identified as a key factor contributing to soil coliform contamination. The initial microbial contamination in the soil wastewater application may be due to the use of animal manure containing pathogenic bacteria. In conclusion, the use of geocomposite sheets for land treatment during the period of the study did not have a negative effect on the chemical and biochemical properties of the soil, and this method can be used without significant concerns regarding soil contamination. However, other physical, chemical, and biological characteristics of the soil should be further investigated, and a final recommendation should be made regarding the use of wastewater.

**Keywords:** Subsurface irrigation, Geocomposite, Land treatment, Soil contamination, Urban wastewater.

**Article Type:** Research Article

### Acknowledgment

We would like to express our sincere gratitude to the University of Shahrekord for the financial and logistical support, which significantly contributed to this research project.

### Conflicts of interest

The authors of this article declared no conflict of interest regarding the authorship or publication of this article.

### Data availability statement

The datasets are available upon a reasonable request to the corresponding author.

### Authors' contribution

**Sayed-Hassan Tabatabaei:** Conceptualization, analysis, manuscript editing; **Sajad Googoochani:** Running test, software, analysis; **Mahdi Ghobadinia:** Formal analysis and investigation, supervision; **Hamidreza Motaghian:** Manuscript editing; **Azimeh Asgari:** Writing-original draft preparation.

\*Corresponding Author, E-mail: Sayyed Hassan Tabatabaei, tabatabaei@sku.ac.ir

**Citation:** Tabatabaei, S.H., Googoochani, S., Ghobadinia, M., Motaghian, H.R., & Asgari, A. (2025). The effect of using bi-levels geocomposite sheets on the chemical and biochemical characteristics of soil under wastewater reuse. *Water and Soil Management and Modeling*, 5(1), 1-14.  
doi: 10.22098/mmws.2023.13904.1372

Received: 29 October 2023, Received in revised form: 4 December 2023, Accepted: 05 December 2023, Published online: 21 March 2025

*Water and Soil Management and Modeling*, Year 2025, Vol. 5, No. 1, pp. 1-14

Publisher: University of Mohaghegh Ardabili

© Author(s)





## اثر کاربرد دو ترازوی صفحات ژئوکمپوزیت بر ویژگی‌های شیمیایی و بیوشیمیایی خاک در شرایط استفاده از فاضلاب

سیدحسن طباطبائی\*<sup>۱</sup>، سجاد گوگوچانی<sup>۲</sup>، مهدی قبادی‌نیا<sup>۳</sup>، حمیدرضا متقیان<sup>۴</sup>، عظیمه عسگری<sup>۵</sup>

<sup>۱</sup> استاد، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران

<sup>۲</sup> دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران

<sup>۳</sup> استادیار، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران

<sup>۴</sup> دانشیار، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران

<sup>۵</sup> دکتری، پژوهش‌گر همکار مرکز تحقیقات آب، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران

### چکیده

در پژوهش حاضر تغییرات ویژگی‌های شیمیایی شامل pH، هدایت الکتریکی، مجموع کلسیم و منیزیم، کربنات و بی‌کربنات و نیتрат و ویژگی بیوشیمیایی کلیفرم مدفوعی خاک تحت تأثیر استفاده از پساب دانشگاه شهرکرد با استفاده از سامانه آبیاری زیرسطحی همراه با صفحات ژئوکمپوزیت مورد بررسی قرار گرفت. برای انجام پژوهش حاضر از صفحات ژئوکمپوزیت به‌عنوان لایه آبد و لایه زهکش استفاده شد. تیمارهای پژوهش شامل دو فاصله ۷۰ و ۳۵ سانتی‌متر بین لایه آبد و لایه زهکش بود. در هر دو تیمار، لایه آبد به فاصله ۴۰ سانتی‌متری از سطح خاک در زمین قرار گرفت. تزریق پساب به داخل خاک طی ۱۲ نوبت و با تناوب هفتگی انجام شد. در ابتدا و انتهای دوره مطالعه از دو عمق صفر تا ۴۰ و ۴۰ تا ۸۰ سانتی‌متری خاک نمونه‌برداری و میزان pH، هدایت الکتریکی، مجموع کلسیم و منیزیم، کربنات و بی‌کربنات، نیترات و کلیفرم مدفوعی اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که تغییرات تمامی پارامترها در طول دوره در خاک معنادار نبود. البته نتایج نشان از افزایش هدایت الکتریکی، کربنات و بی‌کربنات، کلی‌فرم کل و کلی‌فرم مدفوعی در خاک در انتهای دوره نسبت به ابتدای دوره داشت. میزان pH خاک در تیمارهای D35 و D70 به‌طور میانگین به‌ترتیب ۲/۲۹ و ۲/۳۲ درصد نسبت به ابتدای دوره کاهش یافت. مجموع کلسیم و منیزیم خاک نیز در تیمارهای D35 و D70 به‌طور میانگین ۶/۶۶ و ۸/۴۸ درصد نسبت به ابتدای دوره کاهش یافت ولی همان‌طور که اشاره شد، این تفاوت معنادار نبود. در مجموع کاربرد صفحات ژئوکمپوزیت برای تصفیه زمینی در طی دوره آزمایش تأثیر منفی بر ویژگی‌های شیمیایی و بیوشیمیایی خاک نداشت و با کنترل و پایش سایر پارامترها، این روش، بدون نگرانی از آلودگی خاک می‌تواند استفاده شود.

**واژه‌های کلیدی:** آبیاری زیرسطحی، آلودگی خاک، پساب شهری، تصفیه زمینی، ژئوکمپوزیت

نوع مقاله: پژوهشی

\*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: Tabatabaei@sku.ac.ir

**استاد:** طباطبائی، سیدحسن، گوگوچانی، سجاد، قبادی‌نیا، مهدی، متقیان، حمیدرضا، و عسگری، عظیمه (۱۴۰۴). اثر کاربرد دو ترازوی صفحات ژئوکمپوزیت بر ویژگی‌های شیمیایی و بیوشیمیایی خاک در شرایط استفاده از فاضلاب. *مدل سازی و مدیریت آب و خاک*، ۱(۱)، ۱-۱۴.

doi: 10.22098/mmws.2023.13904.1372

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۸/۰۴، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۹/۱۳، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۹/۱۴، تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۱/۰۱

*مدل سازی و مدیریت آب و خاک*، سال ۱۴۰۴، دوره ۵، شماره ۱، صفحه ۱ تا ۱۴

© نویسنده‌گان

ناشر: دانشگاه محقق اردبیلی



## ۱- مقدمه

بیش از ۹۰ درصد از سطح ایران را زمین‌های خشک و نیمه‌خشک که با تبخیر زیاد و بارش‌های نامنظم و پراکنده شناخته می‌شوند پوشش می‌دهد. تولید محصولات کشاورزی در مناطق خشک و نیمه‌خشک به شدت به آبیاری وابسته است. از حدود ۱۴/۳ میلیون هکتار سطح زیرکشت در سال‌های ۲۰۲۱-۲۰۱۱، به ترتیب ۵/۹ و ۸/۴ میلیون هکتار در شرایط دیم و آبی قرار دارند. با این حال، حدود ۹۲ درصد از ۹۵/۲ میلیون تن محصول از مزارع آبی برداشت می‌شود که بر اهمیت آبیاری در تولید کشاورزی در ایران تأکید می‌نماید (Nouri et al., 2023). بخش کشاورزی ایران در حال حاضر حدود ۱۲۹ از ۱۵۲ میلیون تن تقاضای غذایی را تأمین می‌کند که ۸۵ درصد از خودکفایی غذایی را شامل می‌شود (Soltani et al., 2020). با این وجود، این بخش حدود ۸۹ درصد از کل منابع آب تجدیدپذیر را برداشت می‌نماید (Nouri et al., 2023). استفاده ناکارآمد از آب در بخش کشاورزی، به عبارت دیگر بهره‌وری نسبتاً کم مصرف آب به کمبود آب در ایران کمک می‌کند (Barati et al., 2023). علاوه بر این، روند گرم شدن آب و هوا، همراه با دوره‌های مکرر و شدید خشکی تحت تأثیر تغییرات آب و هوایی، منجر به تقاضای آب بیشتر و کاهش دسترسی به آب در بخش کشاورزی و تشدید ناامنی آب و غذایی در ایران شده است (Bijani et al., 2020; Mirzaei and Zibaei, 2020; Nouri and Homaei, 2020). علاوه بر این، رشد جمعیت در ایران باعث کاهش سرانه منابع آب تجدیدپذیر و تشدید بیش‌تر کمبود آب شده است (Zakeri et al., 2022; Barati et al., 2023). با توجه به این که آبیاری کشاورزی بیش‌ترین برداشت و مصرف آب را به خود اختصاص می‌دهد، هر گونه تلاش برای کاهش تنش آبی باید بر بهبود مدیریت آب کشاورزی و کاهش مصرف منابع آب قابل شرب در این بخش متمرکز شود. استفاده از پساب‌ها برای آبیاری، فشار وارد بر منابع آبی را کاهش داده و امکان استفاده از منابع آب با کیفیت را در سایر بخش‌های مصرف فراهم می‌نماید. بنابراین، استفاده از پساب‌ها منابع غذایی مورد نیاز گیاهان را تأمین نموده و در نتیجه سبب کاهش مصرف کودهای شیمیایی و افزایش عملکرد گیاهان می‌شود (Bedbabis et al., 2015). لذا، استفاده از پساب‌ها ممکن است بر تولید محصول و محیط خاک اثرات منفی داشته باشد که از آن میان می‌توان به افزایش شوری خاک، کاهش نفوذپذیری خاک، تجمع موادغذایی، تجمع و جذب فلزات سنگین و آلودگی به کلیفرم کل و اشرشیا کلیفرم اشاره نمود. همچنین استفاده از پساب به صورت کنترل نشده می‌تواند اثرات مخربی بر محیط زیست و

منابع آبی وارد نماید (Andrews et al., 2016; Tabatabaei et al., 2020; Urbano et al., 2017).

در این راستا، (Sdiri et al., 2023) با بیان این که استفاده از پساب تصفیه شده با استفاده از روش آبیاری سطحی و قطره‌ای به منظور آبیاری باغ‌های زیتون کیفیت خاک را حفظ نموده و موجب تخریب خاک نشد، استفاده از پساب تصفیه شده را به عنوان جایگزینی برای آبیاری به منظور صرفه‌جویی در منابع آب برای استفاده در مصارف شهری، توصیه نمودند. در پژوهشی، Habibi (2019) بیان کرد که استفاده بلندمدت از پساب، هدایت الکتریکی و نسبت جذب سدیمی خاک را کاهش و بی‌کربنات، ماده آلی و فلزات سنگین (روی، منگنز و آهن) آن را افزایش داد. در پژوهش دیگری، (Urbano et al., 2017) تأثیر آبیاری با پساب تصفیه شده بر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و میکروبیولوژیکی خاک و عملکرد و کیفیت کاهو را مورد بررسی قرار داده و گزارش دادند که استفاده از پساب راه‌کاری برای افزایش دسترسی به آب آبیاری در زمان‌های کم‌آبی و دارای مزایای بهبود عناصر غذایی خاک و افزایش بهره‌وری بدون آسیب رساندن به ویژگی‌های فیزیکی و ساختمان خاک است. در ادامه، (Nv Bedbabis et al., 2015) نشان دادند که آبیاری باغ زیتون با پساب برای مدت پنج و ده سال، pH، هدایت الکتریکی، ماده آلی، عناصر پرمصرف نیتروژن، پتاسیم و فسفر، املاح و عناصر سنگین خاک را افزایش داد. همچنین، (Bedbabis et al., 2014) گزارش دادند که در اثر آبیاری درختان زیتون با پساب برای مدت چهار سال، pH و نفوذپذیری خاک کاهش و هدایت الکتریکی، نسبت جذب سدیمی و ماده آلی خاک افزایش یافت. در نهایت، (Singh et al., 2012) بیان کردند که استفاده از پساب منجر به تغییرات فیزیکی و بیوشیمیایی مفید خاک از جمله کاهش pH و افزایش کربن آلی، نیتروژن و فسفر و کاتیون‌های تبادل (سدیم، پتاسیم و کلسیم) شد اما آلودگی فلزات سنگین را افزایش داد.

استفاده از پساب در سامانه‌های آبیاری زیرسطحی می‌تواند امکان انتقال پاتوژن‌ها و تماس انسان و حیوانات با این گونه آب‌ها را کاهش دهد. آبیاری زیرسطحی همراه با زمین‌بافت‌ها (ژئوسنتتیک‌ها) یا SSTI<sup>1</sup> فناوری است که به‌طور خاص برای آبیاری زیرسطحی طراحی شده است و در تمامی خاک‌ها از جمله خاک‌های شنی تا رسی قابل کاربرد است. استفاده از SSTI مصرف آب، کود و علف‌کش‌ها را به‌صورت چشم‌گیر کاهش خواهد داد. عمر این سامانه در صورت استفاده صحیح و نگهداری اصولی تا چندین سال است. این سیستم با رساندن مستقیم آب و مواد غذایی به منطقه ریشه، موجب افزایش عملکرد گیاهان و کیفیت آن‌ها می‌شود. سامانه آبیاری

<sup>1</sup> Subsurface textile irrigation (SSTI)

بسیار سرد است. میانگین سالانه دمای هوا در شهرکرد ۱۱/۵ درجه سانتی‌گراد است. در طول ۳۰ سال گذشته کمینه و بیشینه مطلق دمای ثبت شده در شهرکرد به ترتیب ۳۲ درجه سانتی‌گراد زیر صفر و ۴۲ درجه سانتی‌گراد بوده است. اگرچه در زمستان میزان رطوبت متوسط نسبتاً بالا است، میزان بارش در فصلی که کشت انجام می‌شود به جز فروردین تا خرداد تقریباً نزدیک به صفر است (Hajhashemkhani et al., 2014).

پساب مورد استفاده در این پژوهش، از منهول فاضلاب دانشگاه شهرکرد تأمین شد. پساب پیش از استفاده با عبور از صافی توری و سپس یک فیلتر شنی و یک فیلتر ژئوتکستایل مورد تصفیه ابتدایی قرار گرفت. استاندارد کیفی فاضلاب‌های تصفیه شده مورد استفاده در آبیاری و برخی ویژگی‌های پساب مورد استفاده در طول دوره مطالعه در جدول ۱ ارائه شده است. بر این اساس، با توجه به استاندارد (Ayers and Westcot (1985 مصرف پساب شهری دانشگاه شهرکرد در کشاورزی، از لحاظ نیترات و بی‌کربنات دارای محدودیت متوسط است و بر طبق استاندارد کمیسیون اروپا (Gharbi et al., 2010) پساب شهری دانشگاه شهرکرد از لحاظ شوری دارای محدودیت متوسط است. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در این پژوهش در جدول ۲ ذکر شده است.

زیرسطحی همراه با زمین‌بافت‌ها دارای یک لایه پایه غیرقابل نفوذ است که نوار قطره‌ای در امتداد آن پایه، یک لایه ژئوتکستایل در بالای نوار قطره‌ای و در نهایت، یک لایه باریک نفوذناپذیر در بالای آن قرار دارد (Abou Seeda et al., 2020).

تاکنون مطالعات بسیاری به بررسی اثرات استفاده از پساب بر ویژگی‌های خاک پرداخته‌اند. اما اطلاعاتی در زمینه تأثیر کاربرد پساب با استفاده از سامانه‌های SSTI بر ویژگی‌های خاک وجود ندارد. در مطالعه Gogochani et al. (2024) به بررسی اثر استفاده از پساب در حضور صفحات ژئوکمپوزیت بر کیفیت زه‌آب پرداخته شده ولی اثرات آن بر خاک به دلیل حجم زیاد مطالب ارائه نشده است. از این‌رو، مطالعه حاضر با هدف تعیین تأثیر آبیاری با پساب با استفاده از سامانه SSTI بر ویژگی‌های شیمیایی و بیوشیمیایی خاک انجام شد.

## ۲- مواد و روش‌ها

این پژوهش به منظور بررسی تأثیر آبیاری با پساب با استفاده از سامانه SSTI بر ویژگی‌های شیمیایی و بیوشیمیایی خاک در تابستان سال ۱۳۹۶ در دانشگاه شهرکرد انجام شد. شهرکرد دارای اقلیم نیمه‌مرطوب معتدل با تابستان‌های معتدل و زمستان‌های

جدول ۱- برخی ویژگی‌های شیمیایی پساب مورد استفاده در طول دوره مطالعه و مقایسه آن با استانداردهای موجود

Table 1- Some of the chemical properties of wastewater used in the experiment and its comparison with existing standards

ویژگی	واحد	بیشینه	کمینه	میانگین	استاندارد فائو*		کمیسیون اروپا**
					محدودیت متوسط	محدودیت زیاد	
pH	-	7.20	6.60	6.90	6.5-8.4	6.5-8.4	
EC	دسی‌زیمنس بر متر	0.79	0.56	0.67	0.7-3	>3	0.3
Na <sup>+</sup>	میلی‌اکی‌والان بر لیتر	1.58	1.26	1.40	>3	<3	6.5
Ca <sup>2+</sup> +Mg <sup>2+</sup>	میلی‌اکی‌والان بر لیتر	7.50	3.00	4.20	-	-	-
SAR	(میلی‌اکی‌والان بر لیتر) <sup>0.5</sup>	1.21	0.92	1.05	3-9	<3	6-12
N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	میلی‌اکی‌والان بر لیتر	17.0	14.5	15.7	5-30	<5	>30
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	میلی‌اکی‌والان بر لیتر	6.00	3.50	4.41	1.5-8.5	<1.5	>8.5
BOD <sub>5</sub>	میلی‌گرم بر لیتر	5.11	4.52	4.83	-	-	-

\* Ayers and Westcot (1985) و \*\* Gharbi et al. (2010)

جدول ۲- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک استفاده شده در پژوهش

Table 2- Some of the physical and chemical properties of soil used in the experiment

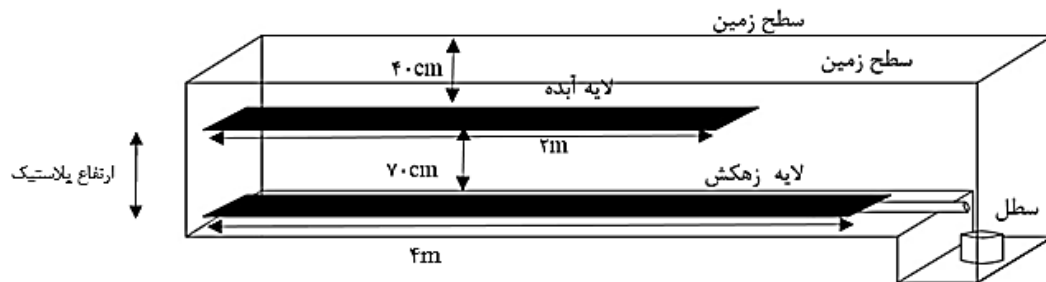
بافت خاک	رس	شن	سیلت	جرم ویژه ظاهری	جرم ویژه حقیقی	تخلخل	اسیدیته	هدایت الکتریکی
			درصد	(گرم بر سانتی‌متر مکعب)	(گرم بر سانتی‌متر مکعب)	(درصد)		(دسی‌زیمنس بر متر)
لومی	15.0	43.0	42.0	1.48	2.63	56.0	7.90	0.20

آبده (۸۰-۴۰ سانتی‌متر) و فاصله زهکش از لایه آبده در دو سطح به میزان ۳۵ (D35) و ۷۰ (D70) سانتی‌متر بود. برای انجام آزمایش ترانشه‌هایی به طول چهار متر، عرض ۴۰ سانتی‌متر و

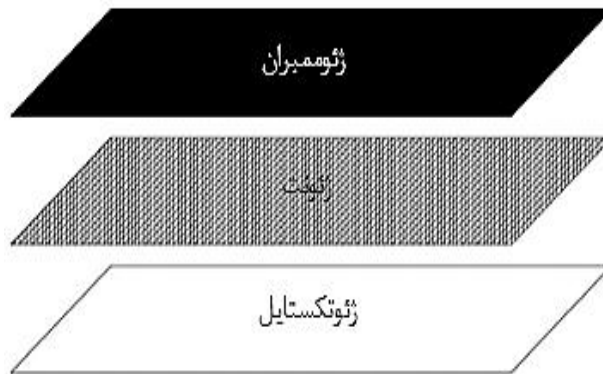
این پژوهش به صورت آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی و در سه تکرار اجرا شد. عوامل پژوهش شامل محل اندازه‌گیری در دو سطح بالا (صفر تا ۴۰ سانتی‌متر) و زیر لایه

خاک الک شده ریخته شد. برای سهولت کار، لایه زهکش در خروجی داخل لوله پولیکا شد و در زیر آن ظروفی برای جمع‌آوری زه‌آب قرار داده شد. شماتیک نحوه کارگذاری ژئوکمپوزیت‌های زهکش و آبد در تیمار D70 در شکل ۱ نشان داده شده است. ژئوکمپوزیت آبد شامل یک لایه ژئونت در وسط، یک لایه ژئوممبران در بالا و یک لایه ژئوتکستایل در پایین (شکل ۲) و ژئوکمپوزیت زهکش شامل یک لایه ژئونت در وسط و دو لایه ژئوتکستایل در طرفین بود (شکل ۳).

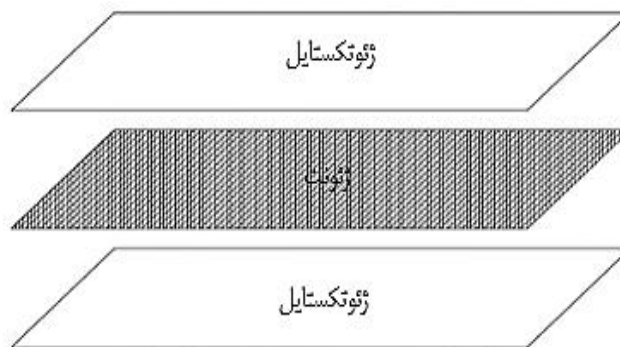
عمق ۷۵ (D35) و ۱۱۰ (D70) سانتی‌متر در خاک حفر شد. کف و دیواره ترانشه‌ها با پلاستیک پوشانده و برای جلوگیری از جریان ترجیحی دیواره‌های پلاستیک به گریس آغشته شد. سپس صفحات ژئوکمپوزیت به‌عنوان لایه زهکش به‌طول چهار متر و عرض ۲۰ سانتی‌متر کارگذاری شد. پس از آن مطابق با تیمار مورد نظر (ضخامت ۳۵ و ۷۰ سانتی‌متر) روی زهکش تا عمق ۴۰ سانتی‌متری از سطح زمین، خاک الک شده ریخته شد. در مرحله بعد صفحات ژئوکمپوزیت به‌عنوان لایه آبد با طول دو متر و عرض ۲۰ سانتی‌متر کارگذاری و روی لایه آبد تا سطح زمین



شکل ۱- نحوه کارگذاری ژئوکمپوزیت‌ها (تیمار D70) و جمع‌آوری زه‌آب  
Figure 1- Installation of geocomposites (D70 treatment) and drainage water collection.



شکل ۲- لایه تغذیه‌کننده (آبد)  
Figure 2- Water influx layer



شکل ۳- لایه زهکش  
Figure 3- Drainage layer

$$\text{درصد تغییرات} = \frac{\text{رادقم رتماراپ رد یادتبا هرود} - \text{رادقم رتماراپ رد یاهتنا هرود}}{\text{رادقم رتماراپ رد یادتبا هرود}} \times 100 \quad (1)$$

تحلیل آماری بر اساس آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی انجام گرفت. تحلیل واریانس درصد تغییرات ویژگی‌های اندازه‌گیری شده با استفاده از نرم‌افزار آماری STATISTICA انجام شد و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون دانکن در سطح اطمینان ۹۵ درصد استفاده شد. برای ترسیم شکل‌ها نیز از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

در ابتدای دوره پیش از استفاده از پساب و در انتهای دوره پس از ۱۲ هفته آبیاری با پساب، از خاک بالا (صفر تا ۴۰ سانتی‌متر) و زیر (۴۰-۷۰ سانتی‌متر) لایه آبد (تغذیه‌کننده) نمونه‌برداری و آزمایش‌های جدول ۳ روی نمونه‌ها انجام شد. پس از جمع‌آوری اطلاعات فوق، درصد تغییرات ویژگی‌های شیمیایی pH، هدایت الکتریکی، مجموع کلسیم و منیزیم، کربنات و بی‌کربنات و نیترات و ویژگی بیوشیمیایی، کلیفرم مدفوعی خاک، در انتهای دوره نسبت به ابتدای دوره از رابطه زیر محاسبه و روند تغییرات این ویژگی‌ها در طول دوره بررسی شد.

جدول ۳- آزمایش‌های شیمیایی خاک

Table 3- Chemical analyses of soil

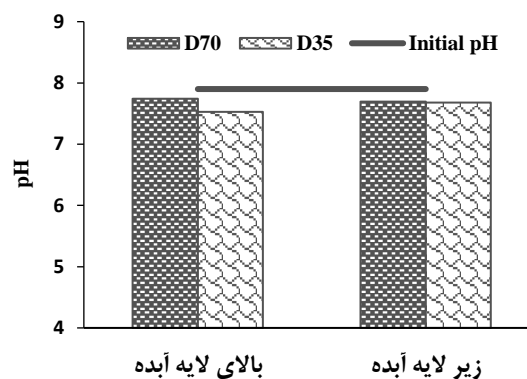
مرجع آزمایش	روش اندازه‌گیری	طبقه‌بندی آزمایش	ویژگی
Rowell (1994)	MPN	زیستی شیمیایی	کلی‌فرم مدفوعی
	هدایت سنج	شیمیایی	هدایت الکتریکی
	تیتراسیون	شیمیایی	کلسیم + منیزیم
APHA (2005)	اسپکتروفتومتری	شیمیایی	نیترات
	تیتراسیون	شیمیایی	بی‌کربنات و کربنات
	pH متر	شیمیایی	pH

### ۱-۳- PH خاک

شکل ۴، مقادیر pH خاک در ناحیه بالا و زیر لایه آبد در ابتدا و انتهای دوره مطالعه در عمق‌های متفاوت کارگذاری زهکش را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، pH خاک در هر دو ناحیه بالا و زیر لایه آبد کاهش یافته است. به‌عنوان مثال، Bedbabis et al. (2014) در مطالعه‌ای برای مدت چهار سال در باغ زیتون و Hajhashemkhani et al. (2014) در مطالعه‌ای روی ستون‌های خاک نیز بیان کردند که pH خاک تحت تأثیر آبیاری با پساب کاهش یافت. در پژوهشی، Tarchouna et al. (2010) دلیل کاهش pH خاک در شرایط استفاده از پساب را نیتریفیکاسیون آمونیوم و آب‌شویی کاتیون‌ها از خاک دانستند.

### ۳- نتایج و بحث

این پژوهش در یک دوره ۱۲ هفته‌ای در تابستان ۱۳۹۶ در مزرعه پژوهش دانشگاه شهرکرد انجام گرفت و نتایج آن به شرح زیر به‌دست آمد. لازم به ذکر است که اثرات کوتاه‌مدت با اثرات بلندمدت استفاده از پساب متفاوت است و اثرات بلندمدت معمولاً بیش‌تر و شدیدتر بروز می‌نماید. لذا، به این نکته در استفاده از نتایج دقت شود.



شکل ۴- PH خاک در ابتدا و انتهای دوره آزمایش در دو عمق زهکش ۷۰ (D70) و ۳۵ (D35) سانتی‌متر از لایه آبد

Figure 4- Soil pH at the beginning and end of the period at two drainage depths of 70 cm (D70) and 35 cm (D35) from the water influx layer.

دو تیمار تفاوت معناداری وجود نداشت، همچنین، تفاوت معناداری در pH خاک در بالای لایه آبد و زیر آن مشاهده نشد. در همین راستا، Kunhikrishnan et al. (2012) بیان کردند که تأثیر آبیاری با پساب بر pH خاک به pH پساب مورد استفاده و ظرفیت بافری خاک وابسته است. با توجه به این که pH پساب مورد استفاده در مطالعه حاضر از pH خاک در ابتدای دوره، کمتر بود، عبور پساب از خاک باعث کاهش pH خاک شد اما با توجه به خاصیت بافری خاک تغییرات آن اندک بود.

نتایج تحلیل واریانس اثر عمق اندازه‌گیری، عمق کارگذاری زهکش و برهمکنش آن‌ها بر تغییرات pH خاک طبق جدول ۴ نشان داد که اثر عمق اندازه‌گیری، عمق کارگذاری زهکش و برهم‌کنش آن‌ها بر درصد تغییرات pH خاک معنادار نبود. Habibi (2019) و Urbano et al. (2017) نیز گزارش دادند که آبیاری با پساب تأثیر معناداری در pH خاک نداشت. نتایج مقایسه میانگین درصد تغییرات pH خاک در ناحیه بالا و زیر لایه آبد در عمق‌های مختلف کارگذاری لایه زهکش طبق جدول ۵ نشان داد که میان

جدول ۴- تحلیل واریانس اثر عمق اندازه‌گیری، عمق کارگذاری زهکش و برهم‌کنش آن‌ها بر درصد تغییرات برخی ویژگی‌های شیمیایی خاک  
Table 4- Analysis of variance of the effect of measurement depth, drainage installation depth, and their interaction on the percentage changes in selected chemical properties of soil.

میانگین مربعات				درجه آزادی	منابع تغییر
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Ca <sup>2+</sup> +Mg <sup>2+</sup>	EC	pH		
245.58 <sup>ns</sup>	17.63 <sup>ns</sup>	5999.5 <sup>ns</sup>	1.63 <sup>ns</sup>	1	عمق اندازه‌گیری
114.97 <sup>ns</sup>	9.91 <sup>ns</sup>	11764.4 <sup>ns</sup>	0.001 <sup>ns</sup>	1	عمق کارگذاری زهکش
6.12 <sup>ns</sup>	4.40 <sup>ns</sup>	8788.7 <sup>ns</sup>	0.108 <sup>ns</sup>	1	عمق اندازه‌گیری × عمق کارگذاری زهکش
400	22.31	4781.8	20.01	8	خطا

<sup>ns</sup> بیان‌گر عدم تفاوت معنادار و \* و \*\* به ترتیب بیان‌گر تفاوت معنادار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد است.

جدول ۵- مقایسه میانگین درصد تغییرات ویژگی‌های شیمیایی خاک در ناحیه بالا و زیر لایه آبد در عمق‌های مختلف کارگذاری لایه زهکش  
Table 5- Comparison of the mean percentage changes in soil chemical properties above and below the water influx layer at different drainage depths.

میانگین	ناحیه اندازه‌گیری		عمق کارگذاری زهکش	
	زیر لایه آبد	بالای لایه آبد		
pH	-2.29 <sup>a</sup>	-2.02 <sup>a</sup>	70	
	-2.32 <sup>a</sup>	-1.85 <sup>a</sup>	35	
		-1.94 <sup>a</sup>	میانگین	
EC	137.04 <sup>a</sup>	132.34 <sup>a</sup>	70	
	156.84 <sup>a</sup>	206.27 <sup>a</sup>	35	
		169.30 <sup>a</sup>	میانگین	
Ca <sup>2+</sup> +Mg <sup>2+</sup>	-6.66 <sup>a</sup>	-4.84 <sup>a</sup>	70	
	-8.48 <sup>a</sup>	-7.87 <sup>a</sup>	35	
		-6.36 <sup>a</sup>	میانگین	
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	38.57 <sup>a</sup>	33.33 <sup>a</sup>	70	
	32.38 <sup>a</sup>	28.57 <sup>a</sup>	35	
		30.90 <sup>a</sup>	میانگین	

بین تیمارهایی که حرف مشترک دارند بر اساس آزمون دانکن تفاوت معناداری وجود ندارد.

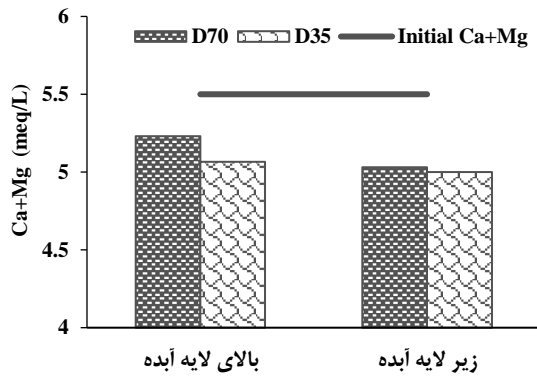
Bedbabis et al. (2015)، Taghikhoo and Karimi (2012) و Andrews et al. (2016) و Bedbabis et al. (2014) در پژوهش خود افزایش هدایت الکتریکی خاک تحت تأثیر استفاده از پساب را مقدار بیش‌تر نمک‌های موجود در پساب گزارش دادند. با بررسی بیلان نمک

### ۲-۳- هدایت الکتریکی (EC) خاک

مقادیر هدایت الکتریکی خاک در ناحیه بالا و زیر لایه آبد در ابتدای و انتهای دوره مطالعه در تیمارهای مختلف در شکل ۵ نشان داده شده است. بر این اساس، هدایت الکتریکی خاک در هر دو ناحیه بالا و زیر لایه آبد برای هر دو تیمار افزایش یافته است که با نتایج



مقایسه میانگین درصد تغییرات مجموع کلسیم و منیزیم خاک در ناحیه بالا و زیر لایه آبد در عمق‌های مختلف کارگذاری لایه زهکش (جدول ۵) نشان داد که میان دو تیمار تفاوت معناداری وجود نداشت و تفاوت معناداری در درصد تغییرات مجموع کلسیم و منیزیم خاک تحت تأثیر استفاده از پساب، در بالای لایه آبد و زیر آن مشاهده نشد.



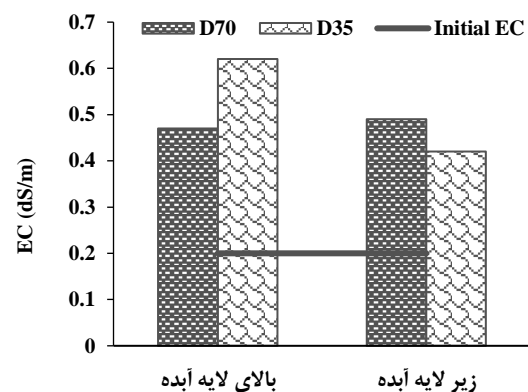
شکل ۶- میزان کلسیم و منیزیم خاک در ابتدا و انتهای دوره آزمایش در دو عمق زهکش ۷۰ (D70) و ۳۵ (D35) سانتی‌متر از لایه آبد

Figure 6- Soil calcium and magnesium levels at the beginning and end of the experiment at two drainage depths of 70 cm (D70) and 35 cm (D35) from the water influx layer.

### ۳-۴- بی‌کربنات خاک

مقادیر بی‌کربنات خاک در ناحیه بالا و زیر لایه آبد در ابتدا و انتهای دوره مطالعه در تیمارهای مختلف در شکل ۷ نشان داده شده است. مقدار بی‌کربنات خاک در بالا و زیر لایه آبد نسبت به ابتدای دوره افزایش یافته است، که این افزایش در پایین لایه آبد بیشتر بود. نتایج تحلیل واریانس اثر عمق اندازه‌گیری، عمق کارگذاری زهکش و برهم‌کنش آن‌ها بر درصد تغییرات بی‌کربنات خاک (جدول ۴) نشان داد که اثر عمق اندازه‌گیری، عمق کارگذاری زهکش و برهم‌کنش آن‌ها بر درصد تغییرات بی‌کربنات خاک معنادار نبود. همان‌طور که در جدول ۵ مشاهده می‌شود، میان میانگین درصد تغییرات بی‌کربنات در دو تیمار از لحاظ آماری تفاوت معناداری وجود نداشت. هم‌چنین، درصد تغییرات بی‌کربنات خاک در ناحیه بالا و زیر لایه آبد تفاوت معنادار نداشت.

پساب مشخص شد که به دلیل حجم زه‌آب بسیار کم (حدوداً ۲۰۰ لیتر) در مقابل حجم پساب (۵۰۰ لیتر)، ذخیره نمک در خاک اتفاق افتاده است ( $\Delta S > 0$ ). نتایج تحلیل واریانس اثر عمق اندازه‌گیری، عمق کارگذاری زهکش و برهم‌کنش آن‌ها بر درصد تغییرات هدایت الکتریکی خاک (جدول ۴) نشان داد که اثر ناحیه اندازه‌گیری، عمق کارگذاری زهکش و برهم‌کنش آن‌ها بر درصد تغییرات هدایت الکتریکی خاک معنادار نبود که با نتایج Taheri-Sodejani et al. (2015) و Taghikhoo and Karimi (2012) مطابقت دارد. نتایج مقایسه میانگین درصد تغییرات EC خاک در ناحیه بالا و زیر لایه آبد در عمق‌های مختلف کارگذاری لایه زهکش طبق جدول ۵ نشان داد که میان دو تیمار تفاوت معناداری وجود نداشت، هم‌چنین، تفاوت معناداری در درصد تغییرات هدایت الکتریکی خاک تحت تأثیر استفاده از پساب، در بالای لایه آبد و زیر آن مشاهده نشد.



شکل ۵- هدایت الکتریکی خاک در ابتدا و انتهای دوره آزمایش در دو عمق زهکش ۷۰ (D70) و ۳۵ (D35) سانتی‌متر از لایه آبد

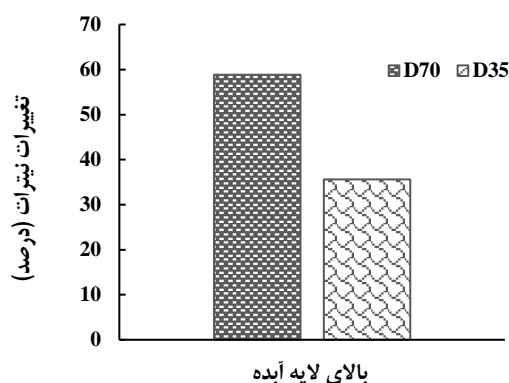
Figure 5- Soil electrical conductivity at the beginning and end of the experiment at two drainage depths of 70 cm (D70) and 35 cm (D35) from the water influx layer.

### ۳-۳- کلسیم و منیزیم خاک

مقادیر مجموع کلسیم و منیزیم خاک در ناحیه بالا و زیر لایه آبد در ابتدا و انتهای دوره مطالعه در تیمارهای مختلف در شکل ۶ نشان داده شده است. با توجه به نتایج، میزان کلسیم و منیزیم خاک در هر دو ناحیه بالا و زیر لایه آبد به دلیل آب‌شویی این کاتیون‌ها از خاک کاهش یافته است. نتایج تحلیل واریانس اثر عمق اندازه‌گیری، عمق کارگذاری زهکش و برهم‌کنش آن‌ها بر درصد تغییرات مجموع کلسیم و منیزیم خاک (جدول ۴) نشان داد که اثر عمق اندازه‌گیری، عمق کارگذاری زهکش و برهم‌کنش آن‌ها بر درصد تغییرات مجموع کلسیم و منیزیم خاک معنادار نبود. در این راستا، Taghikhoo and Karimi (2012) نیز گزارش دادند که آبیاری با پساب تأثیر معناداری بر مقدار کلسیم و منیزیم خاک نداشت. نتایج

### ۳-۵- نیترات خاک

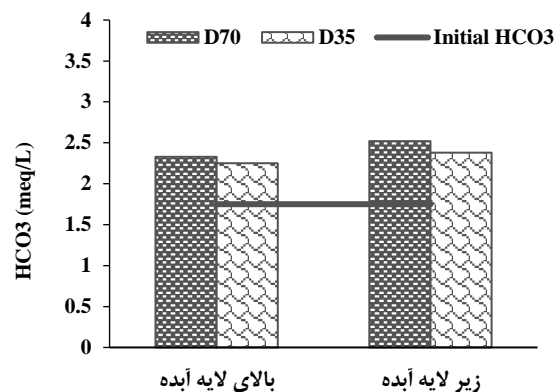
مقادیر نیترات خاک در ناحیه بالای لایه آبد در ابتدا و انتهای دوره مطالعه در تیمارهای مختلف در شکل ۸ نشان داده شده است. شکل ۹ درصد تغییرات نیترات خاک در ناحیه بالای لایه آبد در انتهای دوره در شرایط استفاده از پساب را نشان می دهد. با توجه به نتایج ارائه شده در شکل های ۸ و ۹ میزان نیترات خاک در اثر آبیاری با پساب در هر دو عمق نسبت به ابتدای دوره پژوهش افزایش یافته است که با نتایج Karimi et al. (2015) و Yazdani et al. (2014) مطابقت داشت. در مطالعه ای، Tsigoida and Argyrokastritis (2019) نیز گزارش دادند که میزان نیتروژن کل، نیترات و آمونیوم خاک های لوم شنی و شن لومی تحت تأثیر آبیاری زیرسطحی با فاضلاب خام و پساب فاضلاب افزایش یافت. همچنین، Lado et al. (2012) علت افزایش نیترات خاک در شرایط استفاده از پساب را پدیده نیتریفیکاسیون بیان کردند.



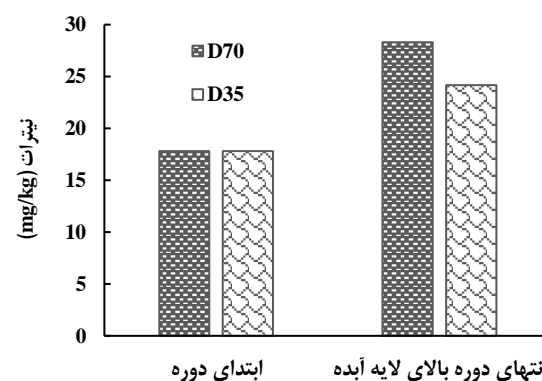
شکل ۹- درصد تغییرات نیترات خاک در دو عمق زهکش ۷۰ (D70) و ۳۵ (D35) سانتی متر از لایه آبد

Figure 9- Changes in soil nitrate at two drainage depths of 70 cm (D70) and 35 cm (D35) from water influx layer.

اسیدی به دلیل دسترسی کم تر به عناصر غذایی نسبت به خاک های قلیایی کاهش می یابد (Mamilov et al., 2014) علاوه بر این، با افزایش شوری محلول خاک میزان دی اکسیدکربن تولیدی، فعالیت آنزیم های خاک و در نهایت میزان بیوماس میکروبی خاک کاهش می یابد (Goldshmid et al., 2013). در مطالعه ای دیگر، Khamisabadi et al. (2019) وجود مواد آلی و مواد غذایی بیشتر و وجود مواد مدفوعی در پساب فاضلاب که موجب افزایش فعالیت، بقا و رشد و نمو باکتری ها می شود را از دیگر عوامل افزایش کلی فرم خاک در شرایط آبیاری با پساب بیان کردند. وجود آلودگی میکروبی در خاک در ابتدای دوره پیش از استفاده از پساب، ممکن است به دلیل کاربرد کودهای دامی آلوده به باکتری های پاتوژنیک باشد



شکل ۷- میزان بی کربنات خاک در ابتدا و انتهای دوره آزمایش در دو عمق زهکش ۷۰ (D70) و ۳۵ (D35) سانتی متر از لایه آبد  
Figure 7- Soil bicarbonate levels at the beginning and end of the experiment at two drainage depths of 70 cm (D70) and 35 cm (D35) from the water influx layer.

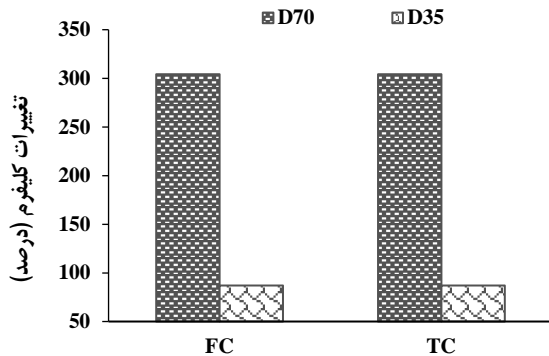


شکل ۸- نیترات خاک در ابتدا و انتهای دوره آزمایش در دو عمق زهکش ۷۰ (D70) و ۳۵ (D35) سانتی متر از لایه آبد  
Figure 8- Soil nitrate levels at the beginning and end of the experiment at two drainage depths of 70 cm (D70) and 35 cm (D35) from the water influx layer.

### ۳-۶- عوامل میکروبی خاک

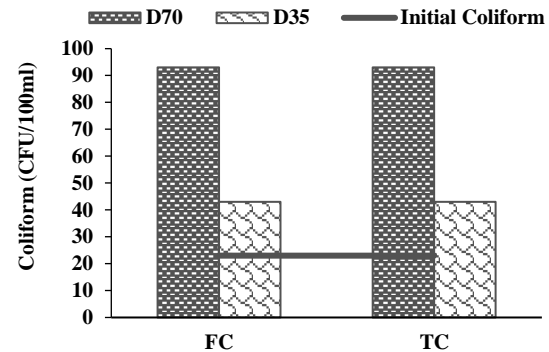
نتایج حاصل از اندازه گیری عوامل میکروبی خاک در عمق پنج سانتی متری در ابتدا و انتهای دوره در شکل ۱۰ و درصد تغییرات در شکل ۱۱ نشان داده شده است. همان طور که مشخص است میزان کلی فرم کل و کلی فرم مدفوعی خاک در انتهای دوره نسبت به مقدار آن در ابتدای دوره افزایش یافته است. در مطالعات Khamisabadi et al. (2019) و García-Orenes et al. (2007) نیز گزارش شده که مقدار کلی فرم کل و مدفوعی نمونه های خاک در اثر آبیاری با پساب افزایش یافت. قلیایی بودن ( $pH > 7$ ) و شوری بسیار کم محلول خاک مورد مطالعه ( $EC < 0.7$ ) در شرایط استفاده از پساب، از دلایل افزایش عوامل میکروبی خاک است. چرا که فعالیت و بقا باکتری ها در خاک های

(Hutchison et al., 2014). همچنین Jahandideh et al. (2024) نشان دادند که کشت گیاه چمن سبب افزایش باکتری انتقال یافته می‌شود.



شکل ۱۱- درصد تغییرات کلی فرم خاک (TC) و کلی فرم مدفوعی (FC) در دو عمق زهکش ۷۰ (D70) و ۳۵ (D35) سانتی متر از لایه آبد

Figure 11- Changes of soil coliform at two drainage depths of 70 cm (D70) and 35 cm (D35) from water influx layer.



شکل ۱۰- میزان کلی فرم کل (TC) و کلی فرم مدفوعی (FC) خاک در ابتدا و انتهای دوره در دو عمق زهکش ۷۰ (D70) و ۳۵ (D35) سانتی متر از لایه آبد

Figure 10- Soil total coliform (TC) and fiscal coliform (FC) at the beginning and end of the experiment at two drainage depths of 70 cm (D70) and 35 cm (D35) from the water influx layer.

#### ۴- نتیجه گیری

فضای سبز دانشگاه‌ها یکی از عمده‌ترین مصرف‌کننده‌های آب در دانشگاه‌ها هستند. یکی از منابع آبی که می‌توان به کمک آن فضای سبز را در شرایط کمبود آب حفظ کرد، پساب حاصل از فاضلاب‌های خوابگاه‌ها است. اما عمده‌ترین مشکل این منبع آبی این است که در زمان اوج نیاز فضای سبز تقریباً پساب ناشی از فاضلاب به حداقل می‌رسد. این پژوهش به منظور بررسی تأثیر آبیاری با پساب با استفاده از سامانه SSTI بر ویژگی‌های شیمیایی و بیوشیمیایی خاک انجام شد. به طور کلی آبیاری با پساب دانشگاه، موجب کاهش pH و مجموع کلسیم و منیزیم و افزایش هدایت الکتریکی، نیترات، کربنات و بی‌کربنات، کلی فرم کل و کلی فرم مدفوعی خاک شد. ولی تغییرات به وجود آمده در سطح پنج درصد معنادار نسبت به خاک اولیه نبود. بنابراین، سایر عوامل فیزیکی و شیمیایی و بیولوژیکی خاک نیز باید بررسی شده و سپس در خصوص استفاده از پساب توصیه نهائی انجام شود.

#### سپاسگزاری

این پژوهش با حمایت مالی معاونت پژوهشی دانشگاه شهرکرد انجام شد. بدین وسیله از حمایت‌های معاونت پژوهشی دانشگاه شهرکرد قدردانی می‌شود.

#### تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ‌گونه تضاد منافی در خصوص نگارش و انتشار مطالب و نتایج این پژوهش ندارند.

#### دسترسی به داده‌ها

داده‌ها و نتایج استفاده شده در این پژوهش از طریق مکاتبه با نویسنده مسئول در اختیار قرار خواهد گرفت.

#### مشارکت نویسندگان

سیدحسن طباطبائی: بنیان پژوهش، تحلیل داده و ویرایش مقاله؛ سجاد گوگوچانی: انجام آزمایش، تحلیل آماری؛ مهدی قبادی‌نیا: تحلیل داده، پژوهش و نظارت؛ حمیدرضا متقیان: ویرایش مقاله؛ عظیمه عسگری: تکمیل و ویرایش مقاله.

#### منابع

تقی‌خو، محبوبه، و کریمی، احمد (۱۳۹۱). تأثیر آبیاری با پساب تصفیه شده شهری شهرکرد بر برخی خصوصیات شیمیایی خاک تحت کشت لوبیا قرمز. سومین همایش ملی جامع مدیریت منابع آب، ساری، مازندران. <https://civilica.com/doc/335396>  
جهاننده، یاشار، طباطبائی، سید حسن، و دهقانیان، مهرنوش (۱۴۰۳). تحلیل منحنی رخنه آلاینده باکتریایی در شرایط کشت چمن در ستون

کریمی، بختیار، فتحی تیلکو، زینب، و عبدی، چنور (۱۳۹۴). بررسی توزیع نیترات در خاک آبیاری شده با فاضلاب تصفیه شده شهری تحت کشت گیاهان ذرت و گوجه فرنگی. *مهندسی آبیاری و آب*، ۲۶(۲)، ۲۵-۳۶. [https://www.waterjournal.ir/article\\_73858.html](https://www.waterjournal.ir/article_73858.html)

گوگوچانی، سجاد، قبادی نیا، مهدی، طباطبائی، سیدحسن، متقیان، حمیدرضا، و عسگری، عظیمه (۱۴۰۲). اثر کاربرد دو ترازوی صفحات ژئو کمپوزیت بر کیفیت پساب دانشگاه شهرکرد. *مدل سازی و مدیریت آب و خاک*، ۴(۳)، ۲۱۸-۲۰۳. doi:10.22098/mmws.2023.13732.1362

یزدانی، وحید قهرمان، بیژن، داوری کامران، و فاضلی ابراهیم (۱۳۹۳). تاثیر پساب بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک. *علوم و تکنولوژی محیط زیست*، ۱۶(۹۳)، ۵۴۳-۵۵۸.

## References

Abou Seeda, M.A., Hammad, S.A., Yassen, A.A., & Abou El-Nour E.A. (2020). Evaluation and optimization of Subsurface Irrigation (SDI) system: A review. *Middle East Journal of Applied Sciences*, 10(3), 503-534. doi:10.36632/mejas/2020.10.3.45

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. *Agricultural Water Management*, 178, 239-247. doi:10.1016/j.agwat.2016.10.001

APHA. (2005). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21st ed. Washington DC: American Public Health Association (APHA). <https://ajph.aphapublications.org/doi/10.2105/AJPH.51.6.940-a>

Ayers, R.S., & Westcot, D.W. (1985). Water quality for agriculture. In: FAO Irrigation and Drainage Paper 29 (Revision 1). Food and Agriculture Organization, Rome. <https://www.fao.org/4/t0234e/t0234e00.htm>

Barati, A.A., Pour, M.D., & Sardooei, M.A. (2023). Water crisis in Iran: a system dynamics approach on water, energy, food, land and climate (WEFLC) nexus. *Science of The Total Environment*, 882, 163549. doi:10.1016/j.scitotenv.2023.163549

Bedbabis, S., Ben Rouina, B., Boukhris, M., & Ferrara, G. (2014). Effect of irrigation with treated wastewater on soil chemical properties and infiltration rate. *Journal of Environmental Management*, 133, 45-50. doi:10.1016/j.jenvman.2013.11.007

Bedbabis, S., Trigui, D., Ahmed, C.B., Clodoveo, M.L., Camposeo, S., Vivaldi, G.A., & Rouina,

خاک با اندازه کود گاوی مختلف، *مدل سازی و مدیریت آب و خاک*، ۴(۲)، ۸۸-۷۵. doi:10.22098/mmws.2023.12529.1247

حاج هاشم خانی، مریم، قبادی نیا، مهدی، طباطبائی، سیدحسن، حسین پور، علیرضا، و هوشمندگوچی، سعدالله (۱۳۹۲). تاثیر روش کاربرد ژئولیت اصلاح شده بر کیفیت پساب شهری خروجی و نفوذپذیری خاک. *آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)*، ۲۸(۳)، ۵۸۷-۵۹۶. doi:10.22067/jsw.v0i0.26564

خمیس آبادی، افسانه، پروانک، کامران، و نصرآبادی، مهناز (۱۳۹۸). تأثیر استفاده از پساب فاضلاب بر آلودگی میکروبی خاک های فضای سبز شهری. *مهندسی بهداشت محیط*، ۷(۱)، ۴۲-۵۲. doi:10.29252/jehe.7.1.42

B.B. (2015). Long-terms effects of irrigation with treated municipal wastewater on soil, yield and olive oil quality. *Agricultural Water Management*, 160, 14-21. doi:10.1016/j.agwat.2015.06.02

Bijani, M., Hayati, D., Azadi, H., Tanaskovik, V., & Witlox, F. (2020). Causes and consequences of the conflict among agricultural water beneficiaries in Iran. *Sustainability*, 12, 6630. doi:10.3390/su12166630

García-Orenes, F., Roldán, A., Guerrero, C., Mataix-Solera, J., Navarro-Pedreño, J., Gómez, I., & Mataix-Beneyto, J. (2007). Effect of irrigation on the survival of total coliforms in three semiarid soils after amendment with sewage sludge. *Waste Management*, 27(12), 1815-1819. doi:10.1016/j.wasman.2006.08.012

Gharbi Tarchouna, L., Merdy, P., Raynaud, M., Pfeifer, H.R., & Lucas, Y. (2010). Effects of longterm irrigation with treated wastewater. Part I: Evolution of soil physic-chemical properties. *Applied Geochemistry*, 25(2), 1703-1710. doi:10.1016/j.apgeochem.2010.08.018

Goldshmid, J., Zohar, D., Argamah, Y., & Koh, Y. (2013). Effect of downloaded from dissolved salts on the filtration of coliform bacteria in sand dunes. In: Jenkins, S.H., editor. *Advances in water pollution research*. Pergamon Press. New York; 2013. p. 147-153.

Gogochani, S., Ghobadinia, M., Tabatabaei, S.H., Motaghiyan, H.R., & Asgari, A. (2024). The effect of using bi-levels of geocomposite layers on the quality of Shahrekord University wastewater. *Water and Soil Management and Modeling*, 4(4), 203-218. doi:10.22098/mmws.2023.13732.1362. [In Persian]

Habibi, S. (2019). A long-term study of the effects of wastewater on some chemical and physical properties of soil. *Journal of Applied Research*

- in *Water and Wastewater*, 12, 156–161. doi:10.22126/arww.2020.4593.1148
- Hajhashemkhani, M., Ghobadi Nia, M., Tabatabaei, S.H., Hosseinpour, A., & Houshmand, S. (2014). Influence of modified zeolite in combine with soil on permeability and quality of Urban wastewater. *Journal of Water and Soil*, 28(3), 586-595. doi:10.22067/jsw.v0i0.26564 [In Persian]
- Hutchison, M.L., Walters, L.D., Moore, A., Crookes, K.M., & Avery, S.M. (2014) Length of time before incorporation on survival of pathogenic bacteria present in livestock wastes applied to agricultural present soil. *Applied and Environmental Microbiology*, 70, 5111-5118. doi:10.1128/AEM.70.9.5111-5118.2004
- Jahandideh, Y., Tabatabaei, S., Dehghanian, M. (2024). Analysis of the bacterial pollution breakthrough curve in the soil column with different sizes of cow manure in the conditions of grass cultivation. *Water and Soil Management and Modeling*, 4(2), 75-88. doi:10.22098/mmws.2023.12529.1247. [In Persian]
- Karimi, B., Fathi Tileko, Z., & Abdi, C. (2015). Evaluation of nitrate distribution in soil irrigated by treated urban wastewater under corn and tomatoes cultivation. *Journal of Irrigation and Water Engineering*, 6(22), 25-36. [In Persian]
- Khamisabadi, A., Parvanak, K., & Nasrabadi, M. (2019). Effect of the use treated wastewater on microbial contamination of soils of urban landscapes. *Journal of Environmental Health Engineering*, 7(1), 42-52. [In Persian]
- Kunhikrishnan, A., Bolan, N.S., Müller K., Laurenson, S., Naidu R., & Kim W.I. (2012). The influence of wastewater irrigation on the transformation and bioavailability of heavy metal (loid)s in soil. *Advances in Agronomy*, 115, 215-297. doi:10.1016/B978-0-12-394276-0.00005-6
- Lado, M., Zapateira, A., Azenkot, A., Assouline, S., Ravina, I., Erner, Y., Fine, P., Dasberg, S., & Ben-Hur, M. (2012). Changes in chemical properties of semiarid soils under long-term secondary treated wastewater irrigation. *Soil Science Society of America Journal*, 76, 1358–1369. doi:10.2136/sssaj2011.0230
- Mamilov, A., Dilly, O.M., Mamilov, S., & Inubushi, K. (2014). Microbial ecophysiology of degrading aral seawetlands: Consequences for C-cycling. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 50, 839-842. doi:10.1080/00380768.2004.10408544
- Mirzaei, A., & Zibaei, M. (2020). Water conflict management between agriculture and wetland under climate change: application of economic-hydrological-behavioral modelling. *Water Resource Management*, 35, 1-21. doi:10.1007/s11269-020-02703-4
- Nouri, M., & Homae, M. (2020). Drought trend, frequency and extremity across a wide range of climates over Iran. *Meteorological Applications*, 27, e1899. doi:10.1002/met.1899
- Nouri, M., Homae, M., Pereira, L.S., & Bybordi, M. (2023). Water management dilemma in the agricultural sector of Iran: A review focusing on water governance. *Agricultural Water Management*, 288, 108480. doi:10.1016/j.agwat.2023.108480
- Rowell, D.L. (1994). *Soil Science: Methods and Applications*. Longman Group, Harlow, 350p.
- Sdiri, W., AlSalem, H.S., Al-Goul, S.T., Binkadem, S.M., & Mansour, H.B. (2023). Assessing the effects of treated wastewater irrigation on soil physico-chemical properties. *Sustainability*, 15, 5793. doi:10.3390/su15075793
- Singh, P.K., Deshbhratar, P.B., & Ramteke, D.S. (2012). Effects of sewage wastewater irrigation on soil properties, crop yield and environment. *Agricultural Water Management*, 103, 100-104. doi:10.1016/j.agwat.2011.10.022
- Soltani, A., Alimagham, S.M., Nehbandani, A., Torabi, B., Zeinali, E., Zand, E., Vadez, V., van Loon, M.P., & Van Ittersum, M.K. (2020). Future food self-sufficiency in Iran: A model-based analysis. *Global Food Security*, 24, 100351. doi:10.1016/j.gfs.2020.100351
- Tabatabaei, S.H., Nourmahnad, N., Golestani Kermani, S., Tabatabaei, S.A., Najafi, P., & Heidarpour, M. (2020). Urban wastewater reuse in agriculture for irrigation in arid and semi-arid regions- A review. *International Journal of Recycling Organic Waste in Agriculture*, 9(2), 193-220. doi:10.30486/ijrowa.2020.671672
- Taghikhoo, M., & Karimi, A. (2012). The effect of irrigation with Shahrekord city treated wastewater on some chemical properties of soil under red bean cultivation. *3<sup>rd</sup> National Conference on Comprehensive Water Resources Management*. <https://civilica.com/doc/335396> [In Persian]
- Taheri-Sodejani, H., Ghobadina, M., Tabatabaei, S.H., & Kazemian, H. (2015). Using natural zeolite for contamination reduction of agricultural soil irrigated with treated urban

- wastewater. *Desalination and Water Treatment*, 54(10), 2723-2730. doi:10.1080/19443994.2014.904818
- Tarchouna, L.G., Merdy, P., Raynaud, M., Pfeifer, H.R., & Lucas, Y. (2010). Effects of longterm irrigation with treated wastewater. Part I: evolution of soil-chemical properties. *Applied Geochemistry*, 25, 1703e1710. doi:j.apgeochem.2010.08.018
- Tsigoida, A., & Argyrokastritis, I. (2019). The effect of sub-irrigation with untreated and treated municipal wastewater on organic matter and nitrogen content in two different soils. *Global NEST Journal*, 21(3), 389-398. doi:10.30955/gnj.002810
- Urbano, V.R., Mendonca, T.G., Bastos, R.G., & Souza, C.F. (2017). Effects of treated wastewater irrigation on soil properties and lettuce yield. *Agricultural Water Management*, 181, 108-115. doi:10.1016/j.agwat.2016.12.001
- Yazdani, Y., Ghahreman, B., Davudee, K., & Fazeli, E. (2014). The effect of wastewater on physical and chemical features of soil. *Journal of Environmental Science and Technology*, 16, 543-555. [In Persian]
- Zakeri, M.A., Mirmia, S.K., & Moradi, H. (2022). Assessment of water security in the large watersheds of Iran. *Environmental Science & Policy*, 127, 31-37. doi:10.1016/j.envsci.2021.10.00