

## Effect of Irrigation with Wastewater on Certain Soil Physical and Chemical properties

Farzad Rohani Shahraki\*, Rasul Mahdavi \*\*, Marziyeh Rezaee\*\*

## اثر آبیاری با پساب بر برخی خواص فیزیکی و شیمیایی خاک

فرزاد روحانی شهرکی\* رسول مهدوی\*\*  
مرضیه رضایی\*\*

(دریافت ۸۳/۱۰/۱۹ پذیرش ۸۴/۱/۱۶)

### Abstract

Depending on effluent characteristics, irrigation with wastewater plant effluent can be either beneficial or harmful. To investigate the effects of nine years of irrigation with North Isfahan Wastewater Treatment Plant effluent on physical and chemical properties of soil, a study was carried out using a randomized complete block design with three replications. Treatments included: 1) raw wastewater; 2) effluent from primary settling basin; 3) final plant effluent and 4) well water. To investigate soil physical and chemical properties, samples were taken from depths of 0-5 cm and 5-10 cm from each plot. The results showed that raw wastewater COD and SS were higher than the Iranian Standard limits for use in irrigation. So were BOD<sub>5</sub> and turbidity of effluent from primary sedimentation tanks. From the results obtained, the raw wastewater may be considered to be of medium quality. However, regarding other parameters such as EC, SAR, Na and Pb, the quality of the raw wastewater was considerably higher than that of well water. All treatments showed medium infiltrability with respect to chloride concentration. The concentration of lead in well water was higher than in treated wastewater. It should be noted that lead concentration in all samples was less than the standard limits. The average soil bulk density and percentage of moisture in FC did not follow any specific trend. The results indicate that the soil irrigated with effluent over the nine years had a lower bulk density, a higher percentage of moisture, and a lower infiltration compared to adjacent soil not irrigated with wastewater. Analysis of variance for all results did not confirm any significant differences among treatments.

**Key Words:** Plant Effluent, Suspended Solids, BOD<sub>5</sub>, COD, Wastewater.

### چکیده

به کارگیری فاضلاب شهری در کشاورزی بسته به خصوصیات آن می تواند سودمند یا زیان بار باشد. کیفیت فاضلاب باید با توجه به اثرات آن بر خاک، گیاه، دام و انسان ارزیابی شود. برای بررسی اثر آبیاری با پساب تصفیه خانه شمال اصفهان، بر خواص فیزیکی و شیمیایی خاک منطقه، از طرح بلوک های کامل تصادفی در سه تکرار و چهار تیمار آبی در زمین های تصفیه خانه که به مدت ۹ سال با پساب آبیاری شده بود، استفاده گردید. تیمارهای آبی شامل: فاضلاب ورودی به تصفیه خانه (تصفیه نشده)، فاضلاب نیمه تصفیه (خروجی استخر ته نشینی اولیه)، فاضلاب خروجی (تصفیه شده) و آب چاه تصفیه خانه بود. برای بررسی خواص فیزیکی خاک از اعماق صفر تا پنج و پنج تا ده سانتی متری از هر پلات نمونه گیری به عمل آمد. برای مقایسه خواص فیزیکی خاک تصفیه خانه و خاک مزرعه مجاور که هیچ گونه تیماری در آن اعمال نشده و آبیاری آن با استفاده از چاه شخصی بوده است، از خاک مزرعه مجاور نیز نمونه برداری شد. برای بررسی کیفیت تیمارهای آبی در هر نوبت آبیاری از کلیه تیمارها نمونه گیری شد و اندازه گیری های لازم انجام گرفت. نتایج نشان داد که کلیه تیمارهای پساب از لحاظ اکسیژن مورد نیاز شیمیایی (COD) و مواد معلق (SS) و تیمارهای فاضلاب ورودی و نیمه تصفیه شده از لحاظ کدورت و اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیایی (BOD<sub>5</sub>)، بیشتر از حد استاندارد ایران می باشند. از نظر طبقه بندی، فاضلاب ورودی دارای درجه متوسط است. تیمارهای پساب از نظر هدایت الکتریکی، نسبت جذب سدیم، سدیم و سرب دارای میزان کمتری نسبت به آب چاه می باشند. کلیه تیمارها از لحاظ نفوذپذیری در درجه خوب و از نظر کلراید در درجه متوسط هستند. سرب کلیه تیمارها به مراتب کمتر از حد مجاز است. میانگین جرم مخصوص ظاهری خاک و درصد رطوبت در گنجایش زراعی (FC) روند خاصی را دنبال نمی کند. نتایج این طرح نشان می دهد، که زمین آبیاری شده با پساب به مدت ۹ سال دارای جرم مخصوص ظاهری کمتر، درصد رطوبت بیشتر (در FC) و نفوذ نهایی کمتر نسبت به مزرعه مجاور آبیاری شده با آب چاه می باشد.

**واژه های کلیدی:** پساب، مواد معلق، اکسیژن مورد نیاز شیمیایی، اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیایی، فاضلاب.

\* Faculty Member of Natural Resources, Isfahan University of Technology

\*\* Grad. Students of Natural Resources, Isfahan University of Technology

\* عضو هیئت علمی دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان  
\*\* کارشناسان ارشد مهندسی منابع طبیعی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان

از خاک‌های آبیاری شده با آب چاه بود، اگر چه تفاوت معنی دار نبود [۸].

با در نظر گرفتن شرایط خشک اقلیمی ایران و به خصوص وضعیت بارندگی اصفهان که متوسط سالانه آن حدود ۱۲۰ میلی‌متر است، ضرورت استفاده بهینه از همه منابع آب و از جمله فاضلاب واضح است. هدف این تحقیق بررسی اثر استفاده از پساب در مراحل مختلف تصفیه در تصفیه‌خانه شمال اصفهان واقع در منطقه برخوردار بر بعضی خواص فیزیکی و شیمیایی خاک منطقه است.

## ۲- مواد و روش‌ها

برای بررسی پیامد آبیاری با پساب بر خواص فیزیکی و شیمیایی خاک منطقه برخوردار، دو قطعه زمین به فاصله ۵۰۰ متر از یکدیگر انتخاب شد. قطعه اول در زمین‌های تصفیه‌خانه شمال اصفهان و قطعه دوم در مزرعه مجاور تصفیه‌خانه قرار دارد. منطقه طرح دارای آب و هوای خشک و زمین‌های آن هموار و میانگین بارندگی و دمای سالانه به ترتیب ۱۲۱ میلی‌متر و ۱۶ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. خاک‌های منطقه از خاک‌های سری حاجی آباد می‌باشد که عمدتاً در رده Aridisols و تحت رده Calcids قرار می‌گیرد. این خاک‌ها در هنگام خشکی، در لایه‌های بالایی، دارای شکاف‌هایی است که تا ژرفای ۳۰ سانتی‌متری امتداد دارد [۸]. برای تعیین بافت دو قطعه زمین مذکور توسط اوگر پولادی، از اعماق (۰-۳۰)، (۳۰-۶۰)، (۶۰-۹۰) و (۹۰-۱۲۰) سانتی‌متری قطعه اول و اعماق (۰-۱۰) و (۱۰-۳۰) سانتی‌متری قطعه دوم نمونه‌گیری به عمل آمد. در این تصفیه‌خانه عمل تصفیه به روش بیولوژیک (لجن فعال) بدون کلرزی انجام می‌گیرد. زمین قطعه اول به مدت ۹ سال با پساب تصفیه شده آبیاری شده بود اما در قطعه زمین دوم هیچ‌گونه آبیاری با پساب صورت نگرفته بود. در قطعه اول یک طرح کامل تصادفی در سه تکرار پیاده شد که تیمارهای آبی به ترتیب عبارت بودند از:

۱- فاضلاب ورودی به تصفیه‌خانه (تصفیه نشده)

۲- فاضلاب نیمه تصفیه (خروجی استخر ته نشینی اولیه)

۳- پساب خروجی تصفیه‌خانه (تصفیه شده)

۴- آب چاه تصفیه‌خانه

نحوه پیاده کردن طرح و مشخصات پلات‌ها در شکل ۱ منعکس شده است. گندم تریتیکوم استیووم<sup>۱</sup> با رقم روشن به عنوان گیاه شاخص در این طرح، با دست کشت گردید. میزان آب مورد نیاز طرح بر اساس روش منتخب برآورد گردید. این روش تقریباً بینابین روش تشک تبخیر و روش اصلاح شده بلینی کریدل<sup>۲</sup> می‌باشد که در منطقه طرح، پیشنهاد شده است [۹]. برای رساندن

فاضلاب حاصل از مصرف آب در زندگی روزمره انسان از ۹۹/۹ درصد آب و ۰/۱ درصد مخلوطی از مواد معلق معدنی و آلی و گازها تشکیل شده است [۱]. در کشورهای در حال توسعه معمولاً سه عامل را در آلودگی آب‌ها مؤثر می‌دانند که شامل رشد بی‌رویه جمعیت، توسعه ماشین‌آلات و پایین بودن آب‌بها می‌باشد [۲].

استفاده از فاضلاب در آبیاری، بسته به منطقه جغرافیایی می‌تواند سودمند یا زیان‌بار باشد، که در این راستا تحقیقات زیادی انجام گرفته است. صابر (۱۹۸۶) از ویژگی‌های فیزیکی خاک‌های شنی قاهره مصر تنها گنجایش نگهداری آب در خاک را آزمایش کرده است و نشان داده که با افزایش سال‌های آبیاری با فاضلاب شهری این ویژگی افزایش یافته است [۳]. مهیدا (۱۹۸۱) نشان داده است که بهره‌گیری از فاضلاب به جای آب کانال، سبب بهبود بیشتر ویژگی‌های فیزیکی خاک مانند نفوذپذیری، تخلخل و پیدایش ساختمان اسفنجی خاک شده است [۴]. لک (۱۹۷۰) نشان داد که جریان فاضلاب به داخل خاک، سبب گرفتگی سطحی (۵ میلی‌متر) خاک شده است و این مسئله را با تغییرات شیمیایی و میکروبی، کل مواد جامد (TS)، پلی ساکاریدها و سولفید آهن مرتبط می‌داند [۵ و ۶]. وین تن و همکاران (۱۹۸۳) اثر مواد جامد معلق را بر هدایت هیدرولیکی سه نوع خاک مطالعه کردند و مشاهده کردند که کاهش در نفوذپذیری در خاک سیلتی لوم به مراتب بیشتر از خاک‌های شنی و لوم شنی می‌باشد. آن‌ها معتقدند با یک مدیریت صحیح مشکل نفوذپذیری قابل حل است. والندر و همکاران (۱۹۹۱) نشان دادند که با افزایش بار اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیایی و کل مواد جامد فاضلاب کارخانه گوجه فرنگی، کاهش نفوذ نهایی خاک را خواهیم داشت [۷]. رایس (۱۹۷۴) گزارش کرد که مواد معلق در گرفتگی خاک نقش مهمی دارد و نباید از ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر بیشتر باشد. وی پیشنهاد نموده است که با شخم و طولانی کردن فاصله آبیاری‌ها، هوادهی به خاک بهتر انجام می‌گیرد و مواد جا مانده زودتر تجزیه می‌شوند [۳]. سگریست (۱۹۸۷) گرفتگی خاک را بر اثر تجزیه زیاد و شدت بارگذاری تشخیص داده است. وی منطقه گرفتگی را سطح خاک و چند میلی‌متری سطح خاک تشخیص داده است [۶].

فیضی (۱۳۸۰) در مقایسه تأثیر پساب فاضلاب و آب چاه بر خاک منطقه شمال اصفهان نشان داد که هدایت الکتریکی، pH و نسبت جذب سدیم با شوری آب مصرفی ارتباط نزدیکی دارد. غلظت عناصری از قبیل سرب، روی، منگنز، مس و آهن در خاک (عمق صفر تا ۴۰ سانتی‌متری) آبیاری شده با پساب فاضلاب بیشتر

<sup>1</sup> Triticum aestivum

<sup>2</sup> Blaney Criddle

بلوک اول به اندازه ۱۵ سانتی‌متر در خاک کوبیده شد. دو حلقه هم در قطعه دوم قرار گرفت. نفوذ نهایی آب پس از چهار ساعت، هنگامی که نفوذپذیری ثابت ماند، اندازه‌گیری شد.

### ۳- نتایج و بحث

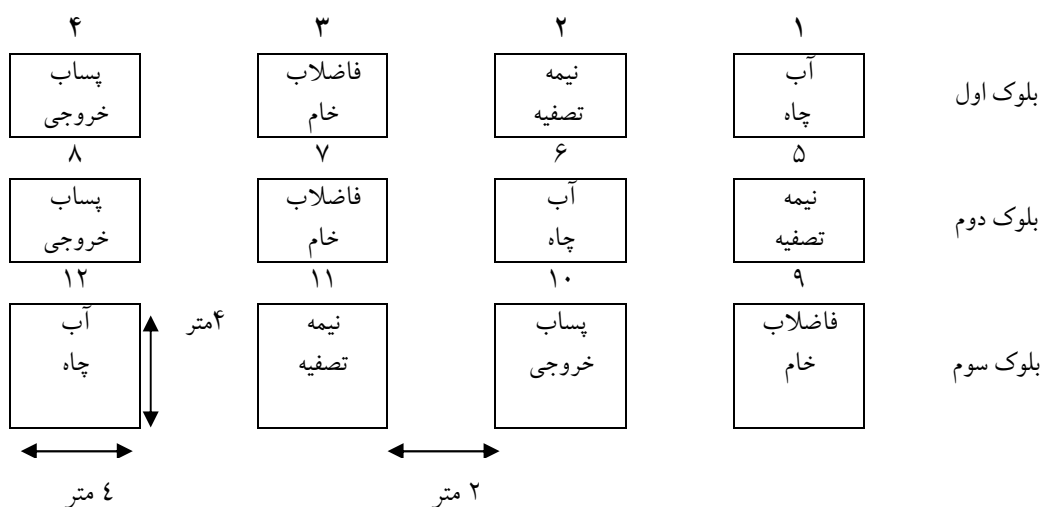
#### ارزیابی تیمارهای آبی در سنجش با استاندارد

برای بررسی تیمارهای پساب و درجه پالایش آن‌ها، از استاندارد سازمان حفاظت محیط زیست ایران (۱۳۷۱) استفاده گردید که نتایج آن در جدول ۱ منعکس گردیده است [۲]. شایان ذکر است که دوری ما تنها بر پایه ویژگی‌های بررسی شده در این تحقیق می‌باشد. از طرف دیگر باید به ویژگی‌های بنیادی که در این جدول برای آنها مرزی گمارده نشده هم توجه کرد. لذا در همین راستا از جدول رهنمودهای ارزیابی آب آبیاری، آیرز و وست کات (۱۹۸۵) فائو نیز استفاده گردید [۳]. در جدول ۲ ارزیابی کیفیت تیمارهای آبی با استاندارد فائو آورده شده است.

#### ۳-۱- طبقه‌بندی فاضلاب ورودی

این تصفیه‌خانه در مقایسه با درجه‌بندی فاضلاب از لحاظ pH، ازت آلی، اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیایی و شیمیایی دارای درجه متوسطی است [۱۰]. از نظر مواد معلق و کل مواد جامد، این فاضلاب از درجه قوی برخوردار است [۱۱]. طبقه‌بندی فاضلاب ورودی در جدول ۳ ارائه گردیده است. آب چاه دارای ۱۶/۸ میلی‌گرم در لیتر ازت نیتراتی و ۰/۰۸ میلی‌گرم در لیتر سرب می‌باشد. نتایج آزمایش نشان می‌دهد که تیمارهای پساب از لحاظ شوری و میزان سدیم و سرب، از آب چاه منطقه بهتر می‌باشند.

تیمارهای پساب ورودی و نیمه تصفیه به تانک مستقر در محل آزمایش، از یک پمپ کف‌کش و ۱۵۰ متر لوله پلی‌اتیلنی استفاده گردید. به منظور اندازه‌گیری میزان آب آبیاری، از بشکه‌هایی که به شیر تخلیه و پیژومتر مجهز بودند، استفاده شد. شبکه لوله‌گذاری تصفیه‌خانه برای انتقال پساب خروجی و آب چاه مورد استفاده قرار گرفت. دو پمپ مجزا که عبارت بودند از پمپ آب چاه و پمپ پساب خروجی روی این شبکه مستقر بودند. برای تخلیه آب درون شبکه، از یک شیر تعبیه شده به همین منظور استفاده و قبل از هر آبیاری از تیمارهای آبی نمونه تهیه و به آزمایشگاه منتقل می‌شد. برای اطلاع از میزان نیتروژن آلی، نیتروژن آمونیاک و فسفر کل در تیمارهای پساب از آمار سه ساله، متوسط‌گیری شد؛ سپس عمل نمونه‌گیری خاک پلات‌ها انجام گرفت. برای اندازه‌گیری جرم مخصوص ظاهری از اعماق (۵-۱۰) و (۱۰-۵) سانتی‌متری هر پلات در پنج تکرار به وسیله استوانه فلزی به ارتفاع ۴ و قطر ۷/۷ سانتی‌متر نمونه‌گیری انجام گرفت. به منظور اندازه‌گیری درصد رطوبت در گنجایش زراعی از همان اعماق در سه تکرار نمونه‌برداری شد. سپس نمونه‌ها به وسیله دستگاه پی اف متر، تحت مکش  $\frac{1}{3}$  اتمسفر قرار گرفت. بعد از توزین، نمونه‌ها را در آون به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده و درصد رطوبت آنها محاسبه گردید. اندازه‌گیری جرم مخصوص حقیقی در همین دو عمق به روش پیکنومتر انجام گرفت. در کلیه موارد مذکور عمل نمونه‌گیری و آزمایش از هر دو قطعه انجام شد. برای مقایسه سرعت نفوذ نهایی خاک‌ها، دو قطعه از استوانه‌های مضاعف به قطر ۴۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر که از جنس آهن سفید تهیه شده بود، مورد استفاده قرار گرفت. چهار حلقه رینگ در چهار پلات



شکل ۱- نحوه پیاده کردن طرح بلوک‌های کامل تصادفی

### ۳-۲- بافت خاک

نتایج بافت خاک در جدول ۴ منعکس شده است. بافت کلیه لایه‌های اندازه‌گیری شده رسی می‌باشد. لازم به ذکر است که مزرعه مجاور تا به حال با پساب آبیاری نشده و فقط با آب چاه مشروب گردیده است.

### ۳-۳- ارزیابی اراضی منطقه به خاطر استفاده از پساب

مشخصات جمع‌آوری شده پلان آزمایشی در این ارزیابی عبارت‌اند از: بافت خاک: رسی، سرعت نفوذ نهایی: ۱/۴۲ سانتی متر بر ساعت، عمق آب تحت الارضی: ۷۰ متر، اسیدیته در عمق ۰/۵ متری سطح خاک: ۸/۴، ظرفیت تبادل کاتیونی: ۲۲/۸۳. با توجه به این مشخصات، این خاک از نظر بافت و نفوذپذیری برای

کاربرد فاضلاب نامناسب و از لحاظ دیگر موارد مناسب می‌باشد [۱۲]. در جدول ۵ برخی از خواص فیزیکی خاک نشان داده شده است. هیچ یک از تیمارهای آبی در مورد وزن مخصوص ظاهری و حقیقی خاک و هیچ یک از تیمارهای پساب در مورد درصد رطوبت در گنجایش زراعی روند خاصی را در مدت آزمایش نداشته‌اند و در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. یعنی خطای آزمایش و تفاوت نقاط مختلف در موارد فوق بیشتر از تغییرات حاصله می‌باشد. وجود ترک‌های بزرگ در خاک منطقه هم در به وجود آمدن خطای بی‌تأثیر نبوده است.

جدول ۱- مقایسه کیفیت تیمارهای پساب برای استفاده در کشاورزی با استاندارد سازمان حفاظت محیط زیست ایران (۱۳۷۱)

استاندارد	اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیایی mg/l	اکسیژن مورد نیاز شیمیایی mg/l	مواد معلق mg/l	مواد محلول mg/l	pH	تیرگی (BTU)	ازت آلی mg/l	آمونیاک mg/l	فسفر کل mg/l	سرب mg/l
استاندارد	۱۰۰	۲۰۰	۱۰۰	---	۶-۸	۷۵	---	---	---	۱
ورودی	۲۷۸+	۴۵۲+	۳۴۷+	۸۳۰	۷/۴	> ۱۰۰+	۱۴/۴	۴۰/۷	۳۸/۲	۰/۰۴
نیمه تصفیه	۱۷۷+	۳۳۱+	۱۱۸+	۷۰۶	۷/۵۵	۹۲+	۱۲/۶	۳۷/۶	۳۴/۱	۰/۰۳
خروجی	۸۳	۲۳۶+	۱۱۱+	۸۴۵	۷/۸۵	۴۲	۹	۳۴/۴	۲۲/۹	۰/۰۶

(+) شاخص بالاتر از حد استاندارد است

(--) حدی تعیین نشده است

جدول ۲- کیفیت تیمارهای آبی با استاندارد فائو (۱۹۸۵)

نسبت جذب سدیم <sup>۱</sup> (سمیت سدیم)	نسبت جذب سدیم (نفوذپذیری)	هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر)	کربنات هیدروژن <sup>۱</sup> mg/L	کلر <sup>۱</sup> mg/l	منیزیم mg/L	کلسیم mg/L	سدیم <sup>۲</sup> mg/L	
۲/۴۶	۲/۴۶	۱/۶۵	۵۵۰	۱۷۰/۵	۲۶۰	۱۰۰	۱۴۵/۷	ورودی
a	a	b	c	b	b	b	b	
۲/۴۲	۲/۴۲	۱/۴۳	۲۶۵	۱۷۰/۵	۲۵۴	۹۶	۱۴۱/۲	نیمه تصفیه
a	a	b	b	b	b	b	b	
۲/۳	۲/۳	۱/۴۲	۲۱۰	۱۷۳/۹	۲۶۰	۹۰	۱۳۸/۹	خروجی
a	a	b	b	b	b	b	b	
۶/۸	۶/۸	۳/۴	۴۵۰	۳۴۵	۴۶۸	۸۳	۵۲۱/۶	آب چاه
b	a	c	b	b	b	b	b	

۱- استاندارد برای آبیاری سطحی

۲- استاندارد برای آبیاری بارانی

a- بدون پیامد بد

b- درجه پیامد بد، کم تا میانه

c- درجه پیامد بد، بالا

جدول ۳- طبقه بندی فاضلاب ورودی

پارامترها	اندازه‌گیری شده	ضعیف	متوسط	قوی
pH	۷/۴	۶/۵	۷/۵	۸
مواد معلق، میلی‌گرم بر لیتر	۳۴۷	۱۰۰	۲۰۰	۲۷۵
کل مواد جامد، میلی‌گرم بر لیتر	۱۱۷۶	۲۵۰	۴۲۵	۸۰۰
اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیایی، میلی‌گرم بر لیتر	۲۷۸	۲۰۰	۳۵۰	۵۰۰
اکسیژن مورد نیاز شیمیایی، میلی‌گرم بر لیتر	۴۵۲	۴۰۰	۷۰۰	۱۰۰۰
نیتروژن آلی، میلی‌گرم بر لیتر	۱۴/۵	۱۰	۲۵	۴۰
نیتروژن کل، میلی‌گرم بر لیتر	۵۷	۲۵	۴۰	۶۰

جدول ۴- بافت خاک منطقه طرح

محل نمونه برداری	عمق خاک (سانتی متر)	درصد شن	درصد سیلت	درصد رس	بافت خاک
مزرعه آزمایشی طرح	۰-۳۰	۵/۶	۲۸	۶۶/۴	رسی
مزرعه آزمایشی طرح	۳۰-۶۰	۳/۶	۲۴	۷۲/۴	رسی
مزرعه آزمایشی طرح	۶۰-۹۰	۵/۶	۲۰	۷۴/۴	رسی
مزرعه آزمایشی طرح	۹۰-۱۲۰	۷/۶	۲۶	۶۶/۴	رسی
مزرعه آزمایشی طرح	۰-۱۰	۹/۶	۲۶	۶۶/۴	رسی
مزرعه مجاور	۰-۱۰	۱۱/۶	۲۲	۶۶/۴	رسی
مزرعه مجاور	۰-۳۰	۱۱/۶	۲۰	۶۸/۴	رسی

جدول ۵- برخی ویژگی‌های فیزیکی خاک‌های نمونه برداری شده

شماره پلات	تیمار آبی	درصد رطوبت در گنجایش زراعی		وزن مخصوص ظاهری		وزن مخصوص حقیقی	
		در عمق‌های مختلف	در عمق‌های مختلف	(گرم بر سانتی متر مکعب)	(گرم بر سانتی متر مکعب)	(گرم بر سانتی متر مکعب)	(گرم بر سانتی متر مکعب)
		۰-۵	۵-۱۰	۰-۵	۵-۱۰	۰-۵	۵-۱۰
		سانتی متر	سانتی متر	سانتی متر	سانتی متر	سانتی متر	سانتی متر
۱	آب چاه	۲۹/۶۲۸	۳۱/۰۶۳	۱/۲	۱/۲۵۳	۲/۶۶۵	۲/۶۷
۲	نیمه تصفیه	۲۹/۷۰۴	۲۹/۵۷۳۱	۱/۱۵	۱/۲۲۳	۲/۷۰۷	۲/۶۷۸
۳	ورودی	۳۰/۲۲۷	۲۹/۱۹۵۲	۱/۲۰۸	۱/۲۲	۲/۷۲۷	۲/۶۹۵
۴	خروجی	۲۹/۹۳۱	۲۹/۹۰۴۹	۱/۲۲۲	۱/۲۲۵	۲/۶۸۸	۲/۶۸
۵	نیمه تصفیه	۲۹/۸۶۲	۲۸/۷۹۳۵	۱/۱۷۳	۱/۲۳۵	۲/۷۵	۲/۶۷۱
۶	آب چاه	۲۸/۳۹۱	۲۸/۴۵۷۲	۱/۲۶۹	۱/۲۳۲	۲/۶۲۴	۲/۷۲۹
۷	ورودی	۲۸/۵۸۹	۲۸/۵۳۱۵	۱/۲۰۱	۱/۲۵۷	۲/۷۲۱	۲/۷۴
۸	خروجی	۲۹/۳۴۹	۳۰/۱۹۵۷	۱/۲۵۳	۱/۱۸۹	۲/۴۳۲	۲/۷۳۲
۹	ورودی	۲۸/۶۰۲۱	۲۹/۸۴۶۵	۱/۱۷	۱/۲۵۳	۲/۶۴۹	۲/۶۶
۱۰	خروجی	۲۹/۶۰۲۱	۲۹/۰۳۳	۱/۲۲۴	۱/۲۶۵	۲/۷۲۵	۲/۷۸۶
۱۱	نیمه تصفیه	۳۱/۱۴۷۴	۲۸/۸۴۶۲	۱/۲۲۲	۱/۲۷۸	۲/۷۰۷	۲/۵۸۴
۱۲	آب چاه	۲۷/۸۶۲	۲۷/۰۹۲۹	۱/۱۹۶	۱/۲۴۱	۲/۷۲۶	۲/۷۳۲

جدول ۶- تجزیه واریانس وزن مخصوص ظاهری در عمق (۵-۰) سانتی متری

منابع تغییرات	درجه آزادی	SS	MS	FS
تکرار (R)	۲	۰/۰۰۲۴	۰/۰۰۱۲	۲/۳۵۶
تیمار (V)	۳	۰/۰۰۰۶۸	۰/۰۰۰۲۳	۰/۴۲۷۴
خطا (E)	۶	۰/۰۰۳۲	۰/۰۰۰۵۳	

جدول ۷- تجزیه واریانس وزن مخصوص ظاهری در عمق (۱۰-۵) سانتی متری

منابع تغییرات	درجه آزادی	SS	MS	FS
تکرار (R)	۲	۰/۰۰۱۸	۰/۰۰۰۹	۰/۹۴
تیمار (V)	۳	۰/۰۰۵۲	۰/۰۰۱۷	۱/۸۲
خطا (E)	۶	۰/۰۰۵۷	۰/۰۰۰۹۵	

### ۳-۴- جرم مخصوص ظاهری

جدول‌های ۶ و ۷ نتایج تجزیه واریانس وزن مخصوص ظاهری در عمق‌های (۵-۰) و (۱۰-۵) سانتی‌متری را نشان می‌دهند. بافت خاک هر دو قسمت در عمق (۱۰-۰) سانتی‌متری رسی بوده و درصد شن، سیلت و رس آن‌ها نزدیک به هم می‌باشد، با این حال زمین‌های آبیاری شده با پساب (به مدت ۹ سال) دارای متوسط وزن مخصوص ظاهری کمتری نسبت به زمین‌های آبیاری شده با آب چاه (مزرعه) می‌باشد. این نتیجه با گزارش مهیدا (۱۹۸۱) در مورد تخلخل و اسفنجی شدن خاک‌های آبیاری شده با پساب، همخوانی دارد [۴]. این تفاوت، در ارتباط با مواد آلی موجود در پساب است.

### ۳-۵- درصد رطوبت در حد گنجایش زراعی (FC)

خاک آبیاری شده با آب چاه در قسمت اول دارای درصد رطوبت کمتری نسبت به خاک‌های آبیاری شده با تیمارهای پساب می‌باشد. خاک‌های آبیاری نشده با پساب در مزرعه مجاور نیز نسبت به خاک‌های آبیاری شده با پساب (به مدت ۹ سال) دارای درصد رطوبت کمتری می‌باشد. موارد فوق در هر دو عمق بررسی شده صدق می‌کند. این نتیجه با گزارش صابر (۱۹۸۱) هم‌خوانی دارد [۱۳]. بهبود پیدا کردن خواص فیزیکی خاک در این راستا، در ارتباط با مواد آلی موجود در پساب می‌باشد. البته زمین‌های آبیاری نشده با پساب از کودهای شیمیایی و عمدتاً دامی استفاده کرده‌اند.

### ۳-۶- وزن مخصوص حقیقی

نتایج حاصله هیچ روندی را دنبال نمی‌کند. اعداد در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

### ۳-۷- نفوذپذیری

نتایج اندازه‌گیری نفوذ نهایی نشان داد که خاک‌های آبیاری شده با پساب دارای نفوذ نهایی ۰/۰۲۵ سانتی‌متر بر دقیقه می‌باشد؛ حال آن که خاک‌های آبیاری نشده با پساب دارای نفوذ نهایی ۰/۰۴۵ سانتی‌متر بر دقیقه است. این مقدار اختلاف در نفوذ نهایی به خاطر وجود مواد معلق در پساب و هم‌چنین تفاوت جزئی در درصد رس دو خاک می‌باشد. بررسی کیفیت تیمارهای پساب و آب چاه مزرعه در ارتباط با نفوذپذیری وضعیت مشابهی داشته و هر دو

### ۶- مراجع

- 1- Metcalf & Eddy. (2003). "Wastewater Engineering, Treatment and Reuse." Forth Edition, McGraw Hill.
- ۲- معاونت تحقیقاتی سازمان حفاظت محیط زیست، (۱۳۷۱). "استاندارد خروجی فاضلاب‌ها". انتشارات دفتر آموزش زیست محیطی، ۱۰ص.
- 3- Ayers, R.S. and Westcot, D.W. (1985). "Water - Quality for Agriculture ." Rev. I, FAO, Rome. 174p.
- 4- Mahida, N.U. (1981). "Water Pollution and Disposal of Wastewater on Land. " Tata McGraw - Hill PUBLISHING Company limited, New Delhi, 325.
- ۵- هیئت تحریریه، (۱۳۷۰). "ضرورت جمع‌آوری و تصفیه فاضلاب در ایران". فصلنامه آب و فاضلاب کشور، پیش شماره.

در طبقه‌بندی (۱۹۸۵) فائو در درجه خوب قرار دارند. این نتیجه با نتایج لک (۱۹۷۰)، رایس (۱۹۷۴)، سگریست (۱۹۸۷) و زانتولیس و والندر (۱۹۹۱) همخوانی دارد [۶ و ۷].

### ۴- نتیجه گیری

#### ۴-۱- ارزیابی کیفیت تیمارهای آبی

- پساب تصفیه شده از لحاظ اکسیژن مورد نیاز شیمیایی و مواد معلق، بالاتر از مرز استاندارد ایران است.  
- کلیه تیمارهای پساب از لحاظ شوری، قلیائیت، سدیم و میزان سرب، بهتر از آب چاه منطقه می‌باشند.  
- کلیه تیمارها از لحاظ نفوذپذیری در وضعیت خوبی هستند.  
- از نظر بی‌کربنات، پساب ورودی در درجه بالا و مابقی در درجه متوسط قرار دارند.

- سرب موجود در کلیه تیمارها از مرز استاندارد به مراتب پایین‌تر است.

#### ۴-۲- تأثیر تیمارهای آبی بر خواص فیزیکی و شیمیایی خاک

- زمین‌های آبیاری شده با پساب دارای جرم مخصوص ظاهری کمتر، درصد رطوبت بیشتر در گنجایش زراعی و نفوذ نهایی کمتر نسبت به مزرعه مجاور آبیاری شده با آب چاه می‌باشند.  
- خاک آبیاری شده با آب چاه دارای هدایت الکتریکی و نسبت جذب سدیم بیشتری نسبت به تیمارهای پساب می‌باشد.  
- تیمارهای پساب نه تنها هیچ‌گونه مسئله‌ای از لحاظ شوری و قلیائیت در منطقه ایجاد ننموده، بلکه شوری و قلیائیت خاک‌های منطقه را کاهش داده‌اند.

- میانگین میزان نیتروژن و فسفر موجود در خاک از تیمار ورودی تا تیمار آب چاه روند کاهشی داشته است که علت آن کاهش میزان نیتروژن و فسفر در روند تصفیه است.

### ۵- تشکر و قدردانی

از پرسنل محترم تصفیه‌خانه فاضلاب دولت آباد و هم‌چنین دانشگاه صنعتی اصفهان به خصوص دانشکده منابع طبیعی که نقش مؤثری در مراحل مختلف انجام پروژه داشته‌اند، کمال تشکر و قدردانی را دارم.

6- ROBERT, L., SOEGRIST( 1987). "Soil Clogging During Subsurface Wastewater Infiltration as Affected by Effluent Composition and Loading Rate." J. Environ. Qual., 16(2).

7- Xanthoulis, D. W., and Wallender., ( 1991). "Furrow Infiltration and Design with Cannery Wastewater." Transactions of ASAE, 34(6), 2390-2396.

۸- فیضی، م. (۱۳۸۰). "مقایسه تأثیر مصرف پساب فاضلاب و آب چاه بر روی خاک و گیاه در شمال اصفهان." گزارش نهایی طرح، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان.

۹- مهندسین مشاور زاینده آب. (۱۳۷۰). "طرح شبکه آبیاری دشت برخوار اصفهان."

۱۰- حسینیان، م.ر. (۱۳۶۹). "اصول طراحی تصفیه خانه های فاضلاب شهری و پساب صنعتی." انتشارات شهر آب، فصل های اول و دهم.

۱۱- ابراهیمی، ن. (۱۳۸۰). "بررسی اثر کودهای آلی بر خصوصیات شیمیایی خاک و جذب عناصر به وسیله ذرت و گندم." پایان نامه کارشناسی ارشد خاک شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

۱۲- شریعتی، م.ر. (۱۳۶۵). "فاضلاب منبع غذایی و اثرات سوء آن." مؤسسه تحقیقات خاک و آب. نشریه ۶۸۸.

13- Saber, M.S.M. (1986). "Prolonged Effect of Land Disposal of Human Wastes on Soil Conditions." Wat. Sci. Tech., (18), 371-374.