مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی/جلد ۸/ شماره ۲/ تابستان ۱۳۸۶/ص ۶۲-۴۷

تأثیرات آبیاری با پساب فاضلاب شهر اهواز بر خصوصیات هیدرولیکی خاک

ابوالفضل حنیفه‌لو و هادی معاضد*

* به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز؛ و استادیار گروه آبیاری و زهکشی دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز، نشانی: اهواز، دانشگاه شهید چمران اهواز، ص. پ. ۱۱۴-۶۱۳۳۵، تلفن: ۳۳۶۵۶۷۰ (۰۶۱۱)، پیام‌نگار: hmoazed955@yahoo.com

تاریخ دریافت مقاله: ۸۴/۸/۲۱؛ تاریخ پذیرش: ۸۶/۱/۲۵

چکیده

در بیشتر شهرهای بزرگ دنیا، قسمت اعظم منابع آب شیرین به تامین نیازهای شرب، بهداشت، وصنعت اختصاص داده می شود. این امر باعث کمبود آب جهت آبیاری اراضی کشاورزی شده است. در چنین شرایطی، استفاده از پساب فاضلاب شهری برای مقاصد مختلف و به خصوص کشاورزی به عنوان راه حلی مؤثر مورد توجه متخصصان مربوطه قرار گرفته است. در این پژوهش، اثر پساب فاضلاب شهر اهواز روی برخی از خصوصیات هیدرولیکی خاک مانند نفوذپذیری نهایی لایهٔ سطحی، ضریب هدایت هیدرولیکی اشباع، و نگهداشت ویژهٔ خاک درعمق‌های مختلف و در نتیجه تداوم عملیات آبیاری بررسی شده است. این تحقیق به صورت یک طرح آماری فاکتوریل با پایهٔ کاملاً تصادفی با سه تکرار و دو سطح تیمار آبی (پساب فاضلاب شهر اهواز و آب رودخانهٔ کارون)، سه سطح عمق خاک (۱۳-۰، ۲۶-۱۳ و ۴۰-۲۶ سانتی‌متری خاک)، و چهار سطح دورهٔ آبیاری (۴،۲،۱، و۶ ماه) در کرت‌هایی به ابعاد ۲/۵×۲/۵ متر مربع، در زمین مجاور تصفیه خانهٔ فاضلاب شهری غرب شهر اهواز و در شرایط بدون کاشت گیاه اجرا شد. بافت خاک محل اجرای طرح از نوع لوم شنی بوده. با گذشت ۱، ۲، ۴، و۶ ماه از شروع آبیاری، خصوصیات هیدرولیکی خاک شامل نفوذپذیری نهایی لایهٔ سطحی، ضریب هدایت هیدرولیکی اشباع، و نگهداشت ویژهٔ خاک در سه عمق ۱۳-۰، ۲۶-۱۳، و ۴۰-۲۶ سانتی‌متری خاک اندازه‌گیری و محاسبه شد. تجزیه و تحلیل نتایج نشان می‌دهد که پساب فاضلاب شهر اهواز، در مقایسه با آب رودخانه کارون باعث افزایش معنی‌دار ضریب هدایت هیدرولیکی اشباع و نفوذپذیری لایهٔ سطحی خاک می‌شود. با افزایش مدت زمان آبیاری از ۲ به ۴ ماه، اثر پساب فاضلاب در بهبود خصوصیات هیدرولیکی خاک افزایش می‌یابد که این افزایش می‌تواند به دلیل شرایط مساعدتر محیطی برای رشد میکروارگانیسم‌ها (فصل بهار) باشد. همچنین مشخص شد که در عمق‌های پایین‌تر خاک، اثر پساب فاضلاب در بهبود خصوصیات هیدرولیکی خاک کاهش پیدا می‌کند.

واژه‌های کلیدی

آبیاری با پساب فاضلاب، خصوصیات هیدرولیکی خاک، نفوذپذیری خاک، نگهداشت ویژه آب در خاک، هدایت هیدرولیکی اشباع خاک

مقدمه

دستیابی به منابع آب شیرین، یکی از مهم‌ترین نگرانی‌های بشر در عصر حاضر است. براساس براوردهای جهانی، در کمتر از پنجاه سال آینده شمار زیادی از کشورهای جهان با بحران کمبود آب مواجه خواهند شد. این موضوع توجه جهانیان را به خود معطوف ساخته است، به طوری که در دستور کار کنفرانس محیط زیست و توسعه در سال ۱۹۹۲«آب عاملی

© 2010,The Author(s). Published by Agricultural Engineering Research Institute. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

کلیـــدی در توســـعهٔ پایـــدار» شـــناخته شـــده اســـت (Tavakkoli & Tabatabaee, 1999).

با توسعهٔ روش‌های تصفیهٔ فاضلاب، توجه به اسـتفاده از پساب حاصل از تصفیه خانه‌هـای فاضـلاب شـهری در کـشاورزی افـزایش پیـدا کـرده اسـت (Chace, 1964). برخی از متخصصان بر این باورند که بهتـرین روش بـرای دفع پساب‌های خانگی، پخش آنها روی اراضی کـشاورزی است، زیرا با این روش هـم چرخـهٔ مـواد غـذایی تکمیـل می‌شود و عناصری را که گیاهان زراعـی از خـاک خـارج کرده‌اند دوباره به آن باز گردانـده مـی‌شـود و هـم خطـر آلودگی محیط زیست و به خـصوص رودخانـه‌هـا و سـایر منابع آب‌های پذیرنده کاهش می‌یابد (Chace, 1964).

با توجه به مطالب فوق و همچنین با توجه به کمبـود آب در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهـان ماننـد ایـران، فاضلاب شهری تصفیه‌شده می‌تواند به عنوان یـک منبـع آب مـورد توجـه قـرار گیـرد تـا کـسری از کمبـود آب کـــشاورزی را جبـــران کنـــد و از آثـــار ســـوء تخلیـــهٔ بی‌رویه فاضلاب‌ها و خـساراتی کـه بـه محـیط زیـست و آب‌های پذیرنده وارد می‌آید جلوگیری شود.

تاکنون دربـارهٔ تـأثیرات آبیـاری بـا فاضـلاب خـام و تـصفیه‌شـدهٔ خـانگی روی خـاک و گیـاه، در برخـی از کشورهای جهان تحقیقاتی شده است. در مورد آبیاری با فاضلاب تـصفیه‌شـدهٔ خـانگی، گـزارش شـده اسـت کـه بهره‌گیری از فاضلاب به جای آب رودخانـه سـبب بهبـود برخی از ویژگی‌های فیزیکی و هیـدرولیکی خـاک ماننـد نفوذپذیری، تخلخل کلّ و پیـدایش سـاختمان اسـفنجی خاک می‌شود (Mahida, 1981).

در یونان، اثر آبیاری با مخلوط فاضلاب خام شـهری و لجن فاضـلاب را روی برخـی از خـصوصیات هیـدرولیکی خاک رسی و خاک لومی بررسی و مشاهده کرده‌انـد کـه با افزایش کاربرد مخلوط لجن فاضلاب و فاضلاب شهری، ضریب هدایت هیدرولیکی اشباع خاک افـزایش مـی‌یابـد (Aggelides & Londra, 2000).

با مطالعـهٔ تـأثیر طـولانی مـدت آبیـاری بـا فاضـلاب شهری تصفیه‌نشده روی ضریب هدایت هیدرولیکی اشباع خاک گزارش شده است که ضـریب هـدایت هیـدرولیکی اشباع خاک‌های آبیاری‌شده به مـدت ۱۰ و ۱۵ سـال بـا فاضلاب تصفیه‌شده شهری، در مقایسه با ضـریب هـدایت هیدرولیکی اشباع خاک آبیاری‌شده با آب چاه، به ترتیـب ۴۹ و ۸۱ درصد افزایش داشته است (Mathan, 1994).

ظرفیت زراعی آب خاک[1] در اثر آبیـاری بـا فاضـلاب تصفیه‌شده شهری را نیز بررسی و مشاهده کرده‌اند که بـا افزایش سال‌های آبیاری با فاضلاب تـصفیه‌شـده شـهری، ظرفیت زراعی خـاک افـزایش مـی‌یابـد (Saber, 1986). اگزانتـولیس و والنـدر (Xanthoulis & Wallender, 1991) گـزارش کـرده‌انـد کـه بـا افـزایش بـار اکـسیژن بیوشیمیایی مورد نیـاز[2] (BOD) و کـل موادجامـد (TS) فاضلاب کارخانه کنسرو گوجه‌فرنگی، نفوذپـذیری نهـایی خاک کاهش می‌یابد.

نـشان داده شـده اسـت کـه ترکیبـات شـیمیایی و میکروبیولوژیکی آب برای ارزیابی مناسب بودن آن بـرای آبیاری به تنهایی کافی نیست، بلکه باید عواملی دیگـر از قبیل خصوصیات فیزیکی و هیدرولیکی خاک نیز در نظر گرفته شوند (Coppola *et al.*, 2004).

فاضـلاب شـهری تـصفیه‌شـده قـبلاً از چنـد اسـتخر ته‌نشینی عبور داده شده و مواد جامد معلق آن جدا شده است، در نتیجه بیشتر مواد جامد فاضلاب تصفیه‌شده که هنگام آبیاری به خاک افزوده می‌شـوند کلوئیـدهای آلـی بـسیار ریـز هـستند (Bouwer & Chaney, 1974). انباشتگی این مواد در خاک موجـب پیـدایش لایـه‌ای بـا

1-Field Capacity 2-Biochemical Oxygen Demand

هدایت هیدرولیکی بسیار پایین می‌شود که سرعت نفوذ آب را در خاک پایین می‌آورد، اما خشک‌شدن خاک و پوسیدگی و تجزیهٔ مواد آلی به کمک ریزجانداران، هدایت هیدرولیکی خاک را به آن برمی‌گرداند (Kirkham, 1988).

گزارش شده است که جریان فاضلاب به داخل خاک منجر به تغییرات شیمیایی، میکروبی و گرفتگی لایهٔ سطحی خاک می‌شود (Laak, 1970). به عقیدهٔ این محقق، گرفتگی لایهٔ سطحی خاک به طور مستقیم به کل مواد معلق (TSS) موجود در فاضلاب، و تجمع پلی‌ساکاریدهای میکروبی و سولفید آهن در خاک مربوط است.

در ایران تاکنون تحقیقات پراکنده‌ای در مورد امکان‌سنجی استفاده از فاضلاب‌های شهری در آبیاری برخی از محصولات کشاورزی انجام گرفته است.

عابدی-کوپایی و همکاران (Abedi Koupae *et al*., 2001) اثر آبیاری با فاضلاب تصفیه‌شدهٔ شهری را روی خصوصیات فیزیکی خاک بررسی و مشاهده کردند که هدایت هیدرولیکی اشباع خاک در اثر آبیاری با فاضلاب تصفیه‌شده تغییر معنی‌داری نسبت به شاهد ندارد ولی در اثر آبیاری با آب زیرزمینی کاهش معنی‌داری نسبت به شاهد دارد.

امکان استفاده از فاضلاب‌های شهری در سیستم‌های آبیاری تحت فشار برای آبیاری محصولات کشاورزی نیز بررسی شده است. نتایج این بررسی نشان می‌دهد که آبیاری قطره‌ای در مقایسه با سایر روش‌های آبیاری، روشی مناسب و بی‌خطر برای آبیاری محصولات کشاورزی با فاضلاب‌های شهری است (Moazed, 2003).

پیامد آبیاری با فاضلاب شهری تصفیه‌شده روی برخی از ویژگی‌های شیمیایی خاک در ناحیهٔ برخوار اصفهان نیز بررسی شده است. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که هفت سال آبیاری کرتی با پساب شهری توانسته است خاک‌های شور و سدیمی منطقه را به خاک مناسب برای کشاورزی تبدیل کند (Safari Sanjani & Hajrasouliha, 1996).

در مطالعه‌ای دیگر، نتیجه گرفته شده است که آبیاری با فاضلاب تصفیه‌شده شهری بر نفوذپذیری خاک تأثیر منفی ندارد (Alizadeh *et al*., 1996).

استفاده از فاضلاب تصفیه‌شدهٔ سرشار از مواد غذایی در کشاورزی، مستلزم تحقیقاتی دقیق خواهد بود زیرا دارای آثار متفاوتی است از جمله تأثیری که بر خواص هیدرولیکی خاک می‌گذارد.

هدف از پژوهش حاضر، بررسی اثر کاربرد پساب فاضلاب شهر اهواز در شرایط بدون کشت محصول بر برخی از خصوصیات هیدرولیکی خاک است نظیر: نفوذپذیری لایهٔ سطحی، ضریب هدایت هیدرولیکی اشباع و نگهداشت ویژهٔ آب خاک (درصد حجمی آب نگهداری‌شده در خاک پس از خارج شدن آب ثقلی) در عمق‌های مختلف خاک، و پس از مدت زمان‌های مختلف آبیاری بوده است.

مواد و روش‌ها

تحقیق حاضر به صورت یک طرح آماری فاکتوریل با پایه کاملاً تصادفی با سه تکرار و دو سطح تیمار آبی (پساب فاضلاب شهر اهواز و آب رودخانه کارون)، سه سطح عمق خاک (۱۳-۰، ۲۶-۱۳، و ۴۰-۲۶ سانتی‌متری خاک)، و چهار سطح مدت زمان آبیاری (۱، ۲، ۴، و ۶ ماه)

در کرت‌هایی به ابعاد ۲/۵×۲/۵ مترمربع، در زمین مجاور تصفیه‌خانهٔ فاضلاب شهری غرب اهواز و در شرایط بدون کشت گیاه اجرا شد. در جدول ۱ خصوصیات هیدرولیکی و فیزیکی اولیّه و بافت خاک در عمق‌های ۱۳-۰، ۲۶-۱۳، و۴۰-۲۶ سانتی‌متری و در جدول ۲، خصوصیات شیمیایی خاک قبل از آبیاری و پس از ۶ ماه آبیاری با پساب فاضلاب شهر اهواز، ارائه‌شده است. دلیل انتخاب اعماق مذکور، طول استوانه نمونه‌برداری خاک (۱۳ سانتی‌متر) جهت اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی اشباع خاک به روش بارافتان بوده است. خاک کرت‌های آزمایشی در عمق ۲۶-۱۳ سانتی‌متری نسبت به اعماق ۱۳-۰ و ۴۰-۲۶ سانتی‌متری بافت ریزتری داشت ولی بافت خاک در هر سه عمق، به طور کلی لوم شنی است. تصفیه‌خانهٔ فاضلاب شهری غرب اهواز به روش لجن فعال فاضلاب را تصفیه و پساب حاصل را مستقیماً وارد رودخانهٔ کارون می‌کند. برخی از ویژگی‌های شیمیایی پساب فاضلاب تصفیه‌خانه شهر اهواز وآب رودخانه کارون در جدول شماره ۳ ارائه شده است.

کرت‌ها، پس از آماده‌سازی، با نایلون پوشیده شدند تا از تأثیرات احتمالی بارندگی جلوگیری شود. آبیاری به صورت کرتی و با توجه به میزان تبخیر و تعرق در هر ماه انجام گرفت. برای تعیین آب مورد نیاز طرح، رطوبت خاک در شرایط ظرفیت مزرعه (FC) و نقطه پژمردگی دائم (P.W.P) با استفاده از دستگاه غشاء فشاری[1] تعیین شد. سپس از تفاضل این دو مقدار و به کمک روابط زیر (Rahimzadegan, 1996)، مقدار آب و دور آبیاری برای تبخیر و تعرق پتانسیل محاسبه شد:

$$dn = (F.C - P.W.P).MAD.D \qquad (۱)$$

$$F_X = \frac{d_n}{ET_o} \qquad (۲)$$

که در آنها،

d_n= نیاز خالص آبیاری (بر حسب میلی‌متر)؛ F.C= درصد حجمی رطوبت خاک در ظرفیت زراعی که متوسط هر سه عمق در نظر گرفته شد؛ ET_o= تبخیر و تعرق پتانسیل (برحسب میلی‌متر در روز)؛ F_x= حداکثر دورآبیاری (بر حسب روز)؛ P.W.P= درصد رطوبت خاک درنقطه پژمردگی دائم؛ D: عمق توسعه ریشه (بر حسب متر) که در این تحقیق برای نشان دادن بهتر اثر تیمارهای آبی تا عمق ۴۰ سانتی‌متری خاک، یک متر در نظر گرفته شد؛ و MAD = کمبود مجاز رطوبتی (بر حسب درصد) که در این تحقیق۵۰ درصد در نظر گرفته شد.

سپس بر اساس حداکثر دور آبیاری، یک دور آبیاری (F) انتخاب و مقدار آب آبیاری اصلاح شده (d'_n) با رابطه زیر (Rahimzadegan, 1996) محاسبه شد:

$$d'n = F.ET \qquad (۳)$$

مقادیر آب آبیاری مورد نیاز و دور آبیاری برای ماه‌های مختلف، در جدول ۴ ارائه شده است.

چهار مرحله نمونه‌برداری از عمق‌های ۱۳-۰، ۲۶-۱۳، و ۴۰-۲۶ سانتی‌متری خاک، به ترتیب پس از ۱، ۲، ۴، و ۶ ماه آبیاری با پساب فاضلاب شهر اهواز و آب رودخانه کارون انجام شد. تعداد نمونه‌برداری‌ها از هر تیمار آبی در هر مرحله ۶ نمونه بوده که از سه کرت و از هر کرت دو نمونه برداشت گردید.

1- Pressure Membrane

جدول ۱- خصوصیات هیدرولیکی و فیزیکی اولیّه و بافت خاک مورد آزمایش

خصوصیات / عمق (سانتی‌متر)	هدایت هیدرولیکی اشباع (سانتی‌متر در ساعت)	نفوذ نهایی خاک (سانتی‌متر در ساعت)	نگهداشت ویژه آب خاک (درصد حجمی)	درصد رطوبت ظرفیت زراعی (درصد حجمی)	رطوبت نقطهٔ پژمردگی (درصد حجمی)	بافت خاک (درصد ذرات)		
						شن	سیلت	رس
۰-۱۳	۱/۵۵	۱/۳۲	۱۸/۵	۱۳/۲	۶/۲	۶۱	۲۱	۱۸
۱۳-۲۶	۱/۳۶	_	۲۳/۰	۱۴/۶	۷/۵	۴۹	۱۲	۳۹
۲۶-۴۰	۱/۴۳	_	۱۹/۹	۱۳/۶	۶/۴	۶۰	۲۰	۲۰

جدول۲- خصوصیات شیمیایی خاک مورد آزمایش

خصوصیات / عمق (سانتی‌متر)		EC (دسی زیمنس بر متر)	کلسیم (میلی اکی والان بر لیتر)	منیزیم (میلی اکی والان بر لیتر)	سدیم (میلی اکی والان بر لیتر)	SAR (درصد)	pH	بیکربنات (میلی‌اکی والان بر لیتر)
	۰-۱۳	۴/۰۶	۹/۲۷	۱۱/۳۳	۲۲/۳۳	۶/۹۶	۷/۴۵	۱/۹۱
قبل از آبیاری	۱۳-۲۶	۴/۹۱	۱۵/۱۷	۱۰/۰۰	۲۵/۲۳	۷/۱۱	۷/۴۳	۲/۷۶
	۲۶-۴۰	۶/۵۶	۱۶/۱۷	۱۲/۶۷	۳۸/۲۷	۱۰/۰۹	۷/۲۷	۳/۸۹
پس از ۶ ماه	۰-۱۳	۴/۵۱	۱۴/۳۰	۸/۰۰	۱۶/۰۰	۴/۷۹	۷/۴۴	۲/۴۱
آبیاری با	۱۳-۲۶	۴/۶۸	۱۶/۰۰	۵/۷۰	۱۷/۰۰	۵/۱۶	۷/۲۵	۳/۰۱
پساب فاضلاب	۲۶-۴۰	۵/۱۱	۱۵/۵۰	۷/۰۰	۲۲/۰۰	۶/۵۶	۷/۲۲	۳/۴۱

جدول ۳- برخی ویژگی‌های شیمیایی تیمارهای آبی

ویژگی	آب رودخانه	پساب فاضلاب
کلسیم (میلی‌اکی‌والان بر لیتر)	۴/۱	۱۴/۵
منیزیم (میلی‌اکی‌والان بر لیتر)	۲/۸	۱۲
سدیم (میلی‌اکی‌والان بر لیتر)	۸/۲	۲۰
نیترات (میلی‌گرم بر لیتر)	۶/۱	۷۷/۷
فسفات (میلی‌گرم بر لیتر)	۰/۲	۳/۴
آمونیاک (میلی‌گرم بر لیتر)	۰/۳	۱/۳
بیکربنات (میلی‌اکی‌والان بر لیتر)	۳/۳	۳/۴
کدورت (NTU)	۱۸	۹/۸
BOD (میلی‌گرم بر لیتر)	۲/۵۶	۱۰/۸
COD (میلی‌گرم بر لیتر)	۱۶/۵	۳۹/۷
EC (دسی‌زیمنس بر متر)	۱/۴۸	۵/۷۶
تعداد کلیفرم (در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب)	$۴/۳\times۱۰^{۴}$	$۷/۸۳\times۱۰^{۵}$
SAR (درصد)	۴/۴۲	۵/۴۹
RSC (میلی‌اکی‌والان بر لیتر)	-۳/۶۳	-۲۳/۱
TS (میلی‌گرم بر لیتر)	NA	۳۶۰۰
SS (میلی‌گرم بر لیتر)	NA	۶۰
pH	۸/۱۳	۷/۱
Cl^{-} (میلی‌اکی‌والان بر لیتر)	۷/۲۲	۳۰/۷۸
SO_4^{-2} (میلی‌اکی‌والان بر لیتر)	۵/۸۸	۲۱/۸
CO_3^{-2} (میلی‌اکی‌والان بر لیتر)	۰/۰۵۴	۰
K (میلی‌اکی‌والان بر لیتر)	۰/۰۷۴	NA

NA= در دسترس نیست.

در هر مرحله، خصوصیات هیدرولیکی خاک شامل ضریب هدایت هیدرولیکی اشباع به روش آزمایشگاهی بار افتان (Ebnejalal & Shafaee Bajestan, 1992)، نگهداشت ویژهٔ خاک با دستگاه صفحهٔ فشاری، و نفوذپذیری نهایی لایه سطحی خاک با روش حلقه‌های مضاعف (Jafari Haghighi, 2003) اندازه‌گیری شد. برای تعیین نگهداشت ویژه خاک، پس از اندازه‌گیری F.C با دستگاه صفحه فشاری، و وزن مخصوص ظاهری (ρ_b) و تخلخل کل (θ) به روش نمونه دست‌نخورده (Jafari Haghighi, 2003)، به کمک روابط زیر تخلخل موثر (S_y) و نگهداشت ویژه (S_r) محاسبه شد (Alizadeh, 2001):

$$S_y = \frac{F.C}{\rho_b} \times 100 \qquad (۴)$$

$$S_r = \theta - S_y \qquad (۵)$$

جدول ۴- تعیین مقدار آب آبیاری و دور آبیاری در ماه‌های مختلف

ماه	تبخیر و تعرق پتانسیل (میلی‌متر در روز)	نیاز آبیاری (میلی‌متر)	حداکثر دور آبیاری (روز)	دور آبیاری انتخابی (روز)	نیاز آبیاری اصلاح شده (میلی‌متر)	نیاز آبیاری ماهیانه (میلی‌متر)
دی	۱/۸۷	۳۵/۶	۱۹/۰	۱۰	۱۸/۷	۵۶/۱
بهمن	۲/۹	۳۵/۶	۱۲/۳	۱۰	۲۹	۸۷
اسفند	۴/۸	۳۵/۶	۷/۴	۷	۳۳/۶	۱۳۴/۴
فروردین	۵/۹۸	۳۵/۶	۵/۹	۵	۲۹/۹	۱۷۹/۴
اردیبهشت	۹/۵۲	۳۵/۶	۳/۷	۳	۲۸/۵	۲۸۵
خرداد	۱۱/۶۷	۳۵/۶	۳/۰	۳	۳۵/۰	۳۵۰

که در روابط بالا، F.C و ρ_b بر حسب گرم بر سانتی‌متر مکعب ؛ و S_y و θ بر حسب درصد هستند. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS انجام گرفت.

نتایج و بحث

در این پژوهش، تغییرات ویژگی‌های هیدرولیکی خاک در طول مدت زمان آبیاری و در چهار نوبت (۱، ۲، ۴، و ۶ ماه) و در سه عمق خاک ذکر شده، در اثر آبیاری با پساب فاضلاب شهر اهواز و آب رودخانه کارون بررسی شد. خصوصیات هیدرولیکی خاک که در این تحقیق بررسی و تجزیه و تحلیل شدند عبارت‌اند از: ضریب هدایت هیدرولیکی اشباع، نگهداشت ویژه، و نفوذپذیری لایهٔ سطحی خاک. نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل داده‌ها و اندازه‌گیری‌ها در زیر ارائه شده است.

ضریب هدایت هیدرولیکی اشباع خاک

جدول ۵، آنالیز آماری حاصل از نتایج هدایت

هیدرولیکی خاک را نشان می‌دهد. طبق این جدول، اثر کیفیت آب، مدت زمان‌های مختلف آبیاری، و عمق‌های مختلف خاک در سطح یک درصد ($\rho < ۰/۰۱$)، همچنین اثر متقابل کیفیت آب و مدت زمان‌های مختلف آبیاری و نیز کیفیت آب و عمق‌های مختلف خاک بر ضریب هدایت هیدرولیکی اشباع خاک در سطح احتمال ۵ درصد ($\rho < ۰/۰۵$) معنی‌دار بوده است. نتایج به دست آمده همچنین نشان می‌دهد که اثر متقابل مدت زمان‌های آبیاری و عمق‌های مختلف خاک، و همچنین اثر متقابل مدت زمان‌های مختلف آبیاری، عمق‌های مختلف خاک و کیفیت آب روی ضریب هدایت هیدرولیکی اشباع خاک در سطح ۵ درصد معنی‌دار نبوده است.

شکل ۱ مقایسه میانگین های ضریب هدایت هیدرولیکی اشباع خاک را در مدت زمان‌های مختلف آبیاری و کیفیت‌های مختلف آب نشان می‌دهد. همان‌گونه که از این شکل مشخص است، اثر پساب فاضلاب نسبت به آب رودخانه در دوره‌های آبیاری ۴ و ۶ ماهه یکسان نیست واختلاف معنی‌داری ($\rho < ۰/۰۵$) دارد، ولی در دوره‌های ۱و۲ ماهه اختلاف معنی‌داری ندارد. این نتیجه نشان‌دهندهٔ آن است که با افزایش مدت زمان آبیاری، تأثیر پساب فاضلاب در افزایش ضریب هدایت هیدرولیکی اشباع خاک افزایش می‌یابد.

جدول ۵- خلاصه تجزیهٔ واریانس اثر سطوح مختلف کیفیت آب آبیاری، مدت زمان آبیاری، و عمق خاک بر صفات مورد ارزیابی که با میانگین مربعات نشان داده شده است.

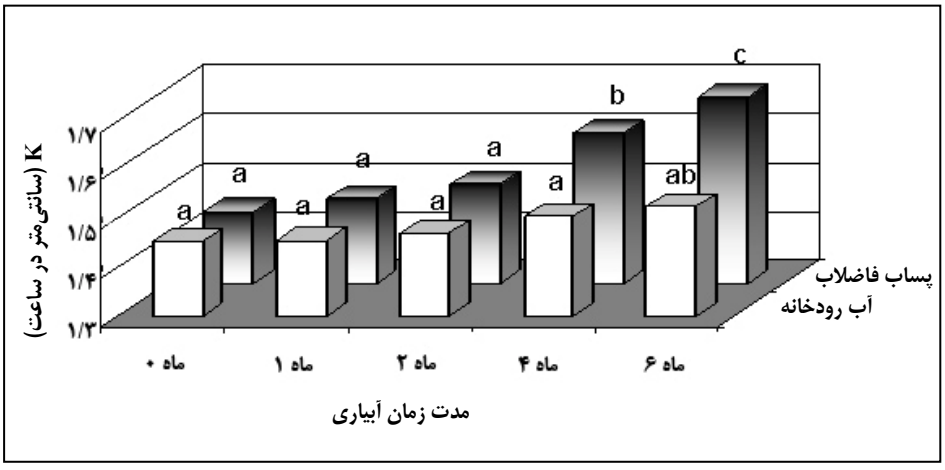
منابع تغییر	درجهٔ آزادی	هدایت هیدرولیکی اشباع (سانتی‌متر در ساعت)	نگهداشت ویژه خاک (درصد)	نفوذنهایی خاک (میلی‌متر در ساعت)
کیفیت آب	۱	۰/۱۴۳**	۱۸/۰ns	۷/۷۹**
عمق	۲	۰/۸۴۴**	۳۳۸/۴**	–
زمان	۴	۱/۲۰۱**	۱۶/۰ns	۴/۰۸**
عمق × کیفیت آب	۲	۰/۰۲۸*	۳/۷ns	–
زمان ×کیفیت آب	۴	۰/۱۶۰*	۱۶/۵ns	۷/۸۱**
زمان × عمق	۸	۰/۰۳۰ns	۱/۷ns	–
زمان × عمق × کیفیت آب	۸	۰/۰۴۲ns	۲/۷ns	–
خطای آزمایشی	۶۰	۰/۶۳۶	۴۴۴/۶	۱/۹۵**

** اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد، * اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد و ns نبود اختلاف معنی‌دار

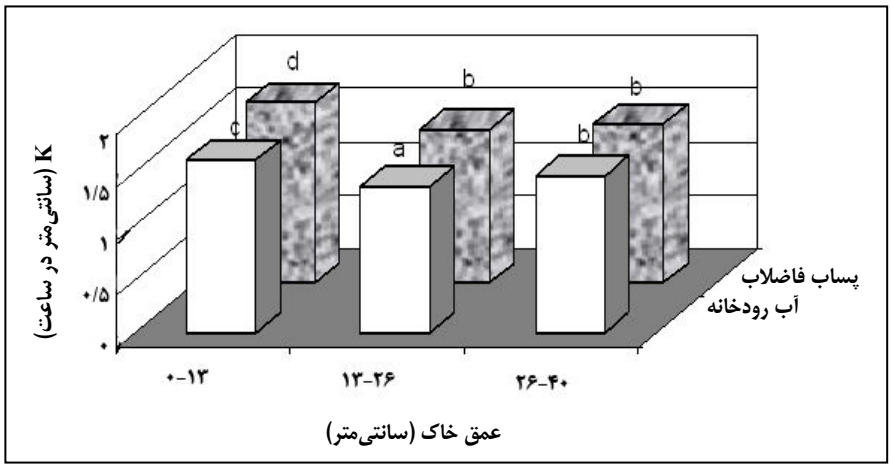
هدایت هیدرولیکی اشباع خاک دراثر آبیاری با پساب فاضلاب در دوره‌های ۱، ۲، ۴، و۶ ماهه درمقایسه با آبیاری با آب رودخانه کارون، به ترتیب ۱/۱، ۲/۳، ۷/۱، و ۱۰/۳ درصد افزایش داشته است که می‌تواند به دلیل افزایش مواد آلی خاک در اثر آبیاری با پساب فاضلاب، pH پایین، و EC بالای پساب فاضلاب نسبت به آب

رودخانه کارون باشد. در شکل ۱ همچنین مشاهده می‌شود که ضریب هدایت هیدرولیکی اشباع خاک در اثر آبیاری با پساب فاضلاب در دوره‌های آبیاری ۴ و ۶ ماهه نسبت به وضعیت اولیه آن (ماه صفر) افزایش معنی‌داری ($\rho < ۰/۰۵$) داشته است که ناشی از افزایش مواد آلی بیشتر در اثر تداوم آبیاری با پساب فاضلاب است، ولی در اثر آبیاری با آب رودخانه کارون هدایت هیدرولیکی اشباع خاک با وجود افزایش جزئی، نسبت به وضعیت اولیه‌اش افزایش معنی‌داری ($\rho < ۰/۰۵$) از خود نشان نداده است. این نتایج، مشابه با نتایج به دست آمده توسط مهیدا (Mahida, 1981) است که نتیجه گرفته است بهره‌گیری از فاضلاب شهری تصفیه‌شده به جای آب رودخانه سبب بهبود نفوذپذیری نهایی خاک می‌شود. وی عقیده دارد که هدایت الکتریکی بالای پساب فاضلاب، پایین بودن باقیمانده کربنات سدیم، و کدورت آب در به‌دست آمدن این نتیجه مؤثر بوده‌اند.

شکل ۲، مقایسهٔ میانگین‌های ضریب هدایت هیدرولیکی اشباع خاک را در عمق‌های مختلف خاک و کیفیت های مختلف آب (میانگین‌های ۱، ۲، ۴، و۶ ماه آبیاری) نشان می‌دهد. براساس این شکل، آبیاری با پساب فاضلاب در مقایسه با آبیاری با آب رودخانه کارون موجب افزایش ضریب هدایت هیدورلیکی اشباع خاک در همه اعماق خاک شده است. بهر صورت، اختلاف بین مقادیر ضرایب هدایت هیدرولیکی اشباع خاک در آبیاری با پساب فاضلاب و آب رودخانه کارون برای اعماق ۱۳-۰ و ۲۶-۱۳ سانتی‌متری معنی‌دار ($\rho <۰/۰۵$) و برای عمق ۴۰-۲۶ سانتی‌متری در سطح احتمال ۵ درصد ($\rho < ۰/۰۵$) غیر معنی‌دار است. ضریب هدایت هیدرولیکی اشباع خاک در آبیاری با پساب فاضلاب در عمق‌های ۱۳-۰، ۲۶-۱۳، و۴۰-۲۶ سانتی‌متری خاک در مقایسه با آبیاری با آب رودخانه کارون به ترتیب ۵/۲، ۵/۵، و ۱/۶ درصد افزایش پیدا کرده است.



شکل ۱- اثر کیفیت آب بر ضریب هدایت هیدرولیکی اشباع خاک درمدت زمان‌های مختلف آبیاری (ستون‌های دارای حرف مشترک در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند)



شکل۲- اثر کیفیت آب بر ضریب هدایت هیدرولیکی اشباع خاک درعمق‌های مختلف خاک
(ستون‌های دارای حرف مشترک در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند)

دلیل معنی‌دار نبودن اختلاف بین مقادیر ضرایب هدایت هیدرولیکی اشباع خاک درعمق ۴۰-۲۶ سانتی‌متری خاک برای تیمارهای مختلف آبیاری را می‌توان کوتاه بودن مدت زمان آبیاری دانست.

نگهداشت ویژهٔ آب خاک

درجدول ۵ مشاهده می‌شود که فقط اثر عمق‌های مختلف خاک بر نگهداشت ویژهٔ در سطح یک درصد ($\rho < ۰/۰۱$) معنی‌دار بوده است و اثر کیفیت‌های مختلف آب، مدت زمان‌های مختلف آبیاری، تأثیرات متقابل کیفیت آب و مدت زمان‌های مختلف آبیاری، کیفیت آب و عمق‌های مختلف خاک، مدت زمان‌های مختلف آبیاری و عمق‌های مختلف خاک، و همچنین تأثیرات متقابل مدت زمان‌های مختلف آبیاری، عمق‌های مختلف خاک، و کیفیت آب بر نگهداشت ویژه آب خاک در سطح ۵ درصد ($\rho < ۰/۰۵$) معنی‌دار نیست.

طبق شکل ۳، اثر پساب فاضلاب، نسبت به آب رودخانهٔ کارون، بر نگهداشت ویژهٔ خاک فقط در دورهٔ ۶ ماهه معنی‌دار است و در بقیهٔ دوره‌های آبیاری اختلاف معنی‌داری ($\rho < ۰/۰۵$) ندارد. طبق این شکل، نگهداشت ویژهٔ خاک در اثر آبیاری با پساب فاضلاب در دوره‌های آبیاری ۱، ۲، ۴، و۶ ماهه در مقایسه با آبیاری با آب رودخانه کارون به ترتیب ۲/۴، ۲/۱، ۷/۱، و ۱۱/۰درصد افزایش داشته است. این نتیجه نشان‌دهندهٔ آن است که با افزایش مدت زمان آبیاری، تأثیر پساب فاضلاب در افزایش نگهداشت ویژهٔ خاک افزایش می‌کند که ناشی از افزایش تخلخل کل در اثر تجمع مواد آلی و فعالیت میکروارگانیسم‌های خاک و در نتیجه پوک شدن خاک است؛ افزایش تخلخل نیز به نوبهٔ خود باعث افزایش نگهداشت ویژهٔ خاک می‌شود.

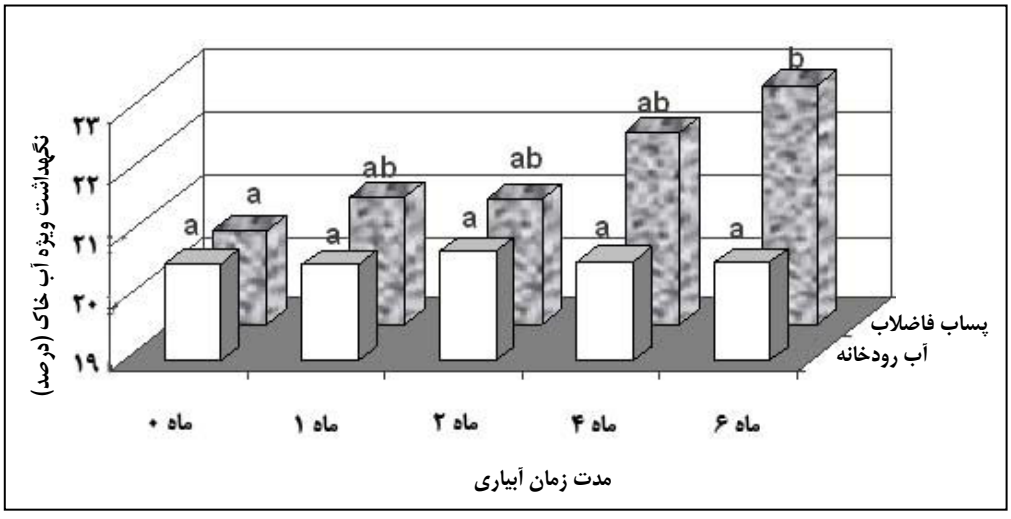
شکل ۴، مقایسهٔ میانگین‌های نگهداشت ویژه خاک را در عمق‌های مختلف خاک وکیفیت های مختلف آب نشان می دهد. طبق این شکل، اثر پساب فاضلاب نسبت به آب رودخانه بر نگهداشت ویژهٔ خاک در هر سه

عمق یکسان است و در هیچ یک افزایش معنی‌داری ($\rho < ۰/۰۵$) دیده نمی‌شود. نگهداشت ویژه خاک در اثر آبیاری با پساب فاضلاب در عمق‌های ۱۳-۰، ۲۶-۱۳، و۴۰-۲۶ سانتی‌متری در مقایسه با آبیاری با آب رودخانه کارون به ترتیب ۷/۳، ۴/۲، و ۱/۸ درصد افزایش پیدا کرده است.

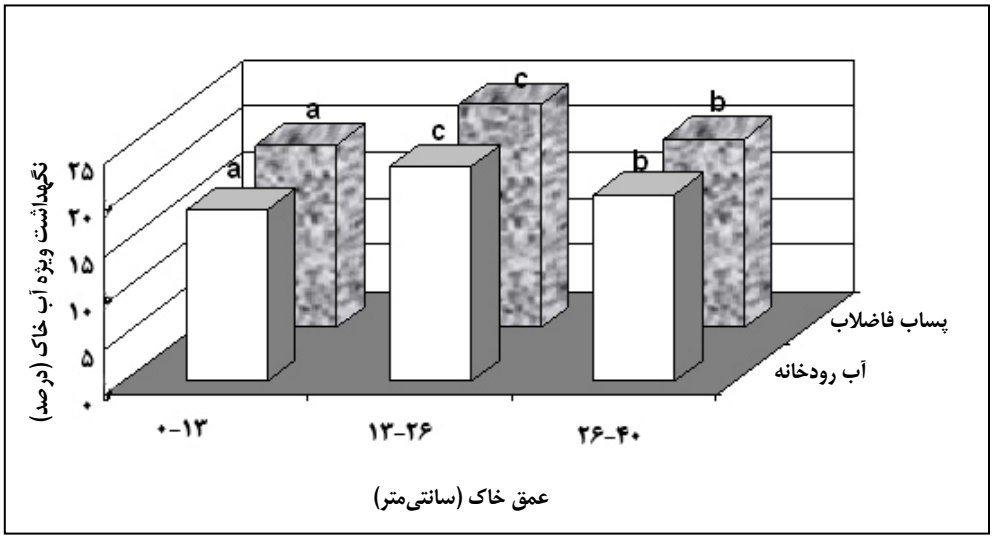
نفوذپذیری نهایی خاک

در جدول ۵ مشاهده می‌شود که اثر کیفیت آب، مدت زمان‌های مختلف آبیاری، و تاثیرات متقابل کیفیت آب و مدت زمان‌های مختلف آبیاری بر نفوذ نهایی لایهٔ سطحی (۱۳-۰ سانتی‌متری) خاک در سطح یک درصد ($\rho < ۰/۰۱$) معنی‌دار است.

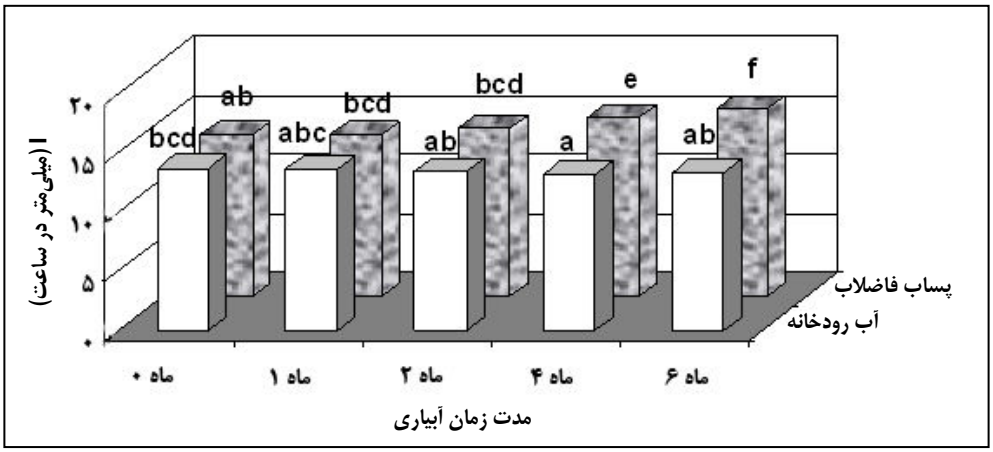
طبق شکل ۵، اثر پساب فاضلاب نسبت به آب رودخانه کارون بر نفوذپذیری نهایی لایهٔ سطحی خاک در دوره‌های آبیاری ۴ و ۶ ماهه یکسان نیست و اختلاف معنی‌داری ($\rho < ۰/۰۵$) دارد. ولی این اختلاف در دوره‌های ۱ و ۲ ماهه معنی‌دار ($\rho < ۰/۰۵$) نیست که نشان می‌دهد با افزایش مدت زمان آبیاری، تأثیر پساب فاضلاب در افزایش نفوذپذیری نهایی لایهٔ سطحی خاک بیشتر می‌شود. نفوذپذیری نهایی لایهٔ سطحی خاک در آبیاری با پساب فاضلاب در دوره‌های آبیاری ۱، ۲، ۴، و۶ ماهه، در مقایسه با آبیاری با آب رودخانه کارون، به ترتیب ۰/۲۴، ۵/۸، ۱۵/۱، و۱۸/۸ درصد افزایش یافته است. این امر می‌تواند به دلیل بهبود تدریجی ساختمان خاک در اثر افزایش تدریجی مواد آلی اضافه شده در اثر آبیاری با پساب فاضلاب باشد. مواد آلی پساب فاضلاب پس از افزوده شدن به خاک مورد حملهٔ قارچ‌ها قرار می‌گیرد و میسلیوم آنها در خاک زیاد می‌شود. بنابراین شبکه‌های قارچی باعث افزایش پایداری خاکدانه‌ها می‌شود. میسلیوم‌های قارچ و دیگر میکروارگانیسم‌ها در اثر رشد سریع، حفره‌هایی در خاک ایجاد می‌کنند و باعث افزایش سرعت نفوذ نهایی خاک می‌شوند.



شکل ۳- اثر کیفیت آب بر نگهداشت ویژهٔ آب خاک در مدت زمان‌های مختلف آبیاری



شکل ۴- اثر کیفیت آب بر نگهداشت ویژهٔ آب خاک در عمق‌های مختلف خاک



شکل ۵- اثر کیفیت آب بر نفوذپذیری نهایی لایهٔ سطحی خاک در مدت زمان‌های مختلف آبیاری

در شکل ۵ مشاهده می‌شود کـه نفوذپـذیری نهـایی لایهٔ سطحی خاک در اثـر آبیـاری بـا پـساب فاضـلاب در دوره‌های آبیـاری۴ و ۶ ماهـه نـسبت بـه مـاه اول، دوم و وضـعیت اولیـهٔ آن و همچنـین در دوره آبیـاری ۶ ماهـه نسبت بـه مـاه چهـارم افـزایش معنـی‌داری ($\rho < ۰/۰۵$) دارد، ولی در اثر آبیاری با آب رودخانه کارون نفوذپذیری نهایی لایهٔ سطحی خـاک نـسبت بـه وضـعیت اولیـه‌اش تغییرات معنی‌داری ($\rho < ۰/۰۵$) از خود نشان نمی‌دهـد. این نتیجه با نتایج پژوهش‌های مهیدا (Mahida, 1981) مطابقت دارد که نشان داده است بهره‌گیـری از فاضـلاب

به جای آب کانال سبب بهبودی ویژگی‌های هیدرولیکی خاک، مانند نفوذپذیری نهایی خاک، می‌شود.

اگزانتولیس و والندر (Xanthoulis & Wallender, 1991) کاهش نفوذپذیری نهایی لایهٔ سطحی خاک را در اثر آبیاری با فاضلاب گزارش داده‌اند. این محققان عقیده دارند که این کاهش به دلیل پایین بودن کیفیت فاضلاب استفاده شده از نظر وجود مواد معلق در آن است و عامل دیگری نظیر بالا بودن SAR فاضلاب بی تأثیر است.

لاک (Laak, 1970) عقیده دارد که کاهش نفوذپذیری نهایی لایه سطحی خاک در اثر آبیاری با فاضلاب به دلیل ایجاد یک لایهٔ نفوذناپذیر در اثر بالا بودن مواد جامد معلق در فاضلاب است. وی عواملی چون تجمع پلی ساکاریدهای میکروبی و سولفید آهن را نیز در این امر بی‌تأثیر نمی‌داند.

در این پژوهش، به دلیل پایین بودن مقدار مواد معلق (TSS) پساب فاضلاب شهر اهواز و همچنین بافت نسبتاً سبک خاک محل آزمایش، آبیاری با پساب فاضلاب نه تنها باعث کاهش نفوذپذیری نهایی لایه سطحی خاک نشد، بلکه وجود مواد آلی موجود در آن، نفوذپذیری خاک را افزایش داده است.

نتایج به دست آمده از این تحقیق نشان می‌دهد که پساب فاضلاب شهر اهواز در مقایسه با آب رودخانه کارون، خصوصیات هیدرولیکی خاک را به دلائل زیر بهبود می‌بخشد:

۱- آب با هدایت الکتریکی (EC) پایین، در مقایسه با آب دارای هدایت الکتریکی بالا، تمایل بیشتری به جریان یافتن در بین فضای صفحات دارد. اگر غلظت الکترولیتی در آب خیلی پایین باشد، از هم‌پاشیدگی و تورم خاکدانه‌ها بدون توجه به ترکیب شیمیایی آن اتفاق می‌افتد. بنابراین برای یک نسبت جذب سدیم (SAR) مشخص، با افزایش غلظت نمک، سرعت نفوذ، افزایش می‌یابد (Hokmabadi & Sedaghatpour, 2003). در این پژوهش نیز با توجه به یکسان بودن تقریبی SAR پساب فاضلاب شهر اهواز با آب رودخانه کارون، EC بالای پساب فاضلاب نسبت به آب رودخانه کارون (جدول۲) توانسته است تا حدودی باعث افزایش نفوذپذیری خاک شود.

۲- مواد آلی پساب فاضلاب پس از افزوده شدن به خاک مورد حمله قارچها قرار می‌گیرند و میسلیوم قارچها در خاک زیاد می‌شود. بنابراین، شبکه‌های قارچی باعث افزایش پایداری خاکدانه‌ها می‌شود. همچنین، میسلیوم قارچها و دیگر میکروارگانیسم‌ها در اثر رشد سریع، حفره‌هایی در خاک ایجاد می‌کنند و باعث افزایش هدایت هیدرولیکی و سرعت نفوذ نهایی خاک می‌شوند.

۳- از نظر بی‌کربنات نیز پساب فاضلاب مورد استفاده مشکل خاصی در ارتباط با رسوب کلسیم و منیزیم به صورت کربنات وجود نداشته است، تا باعث کمبود یون کلسیم و افزایش SAR خاک شود و به همین دلیل باقیماندهٔ کربنات سدیم (RSC) پساب فاضلاب پایین است.

۴- تأثیر پساب فاضلاب در بهبود خصوصیات هیدرولیکی خاک در ماه چهارم آبیاری نسبت به ماه‌های دیگر بیشتر است. یکی از علل احتمالی این امر عوامل محیطی مانند دماست. در نمونه‌برداری ماه اول و دوم، (فصل زمستان) هوا نسبتاً سرد و شرایط برای فعالیت قارچها نامساعد بوده است، ولی در هنگام نمونه‌برداری ماه چهارم (فصل بهار) شرایط برای فعالیت قارچها بسیار مناسب بوده است. بنابراین،

قارچها تأثیر بیشتری بر خاک داشته‌اند. همچنین، درهنگام نمونه برداری ماه ششم هوای گرم (تابستان) باعث کاهش فعالیت قارچها گردیده است.

۵- موضوع دیگری که باید مورد توجه قرار گیرد، شور شدن خاک در اثر آبیاری با پساب فاضلاب است. با توجه به شوری بالای پساب فاضلاب شهر اهواز ((دسی زیمنس بر متر) EC=۵/۸)، باید در هنگام استفاده از آن روش‌های خاصی به کار گرفته شود و از گیاهان مقاوم به شوری استفاده شود تا مشکل خاصی از لحاظ شور شدن زمین و کاهش محصول به وجود نیاید.

نتیجه‌گیری

نتایج به دست آمده از این پژوهش را می‌توان به صورت زیر خلاصه کرد:

- ضریب هدایت هیدرولیکی اشباع و نفوذپذیری نهایی لایهٔ سطحی خاک در اثرآبیاری با پساب فاضلاب، نسبت به آب رودخانه کارون، افزایش معنی‌داری ($\rho <$۰/۰۵) پیدا کرده است.
- با افزایش مدت زمان آبیاری، تأثیر پساب فاضلاب در افزایش ضریب هدایت هیدرولیکی اشباع و نفوذپذیری نهایی لایهٔ سطحی خاک بیشتر شده است. این افزایش معمولاً در دوره های آبیاری ۴ و ۶ ماهه نسبت به وضعیت اولیه معنی دار ($\rho <$ ۰/۰۵) بوده است. این نتیجه در کوتاه مدت حاصل شده است و ممکن است در درازمدت به دلیل افزایش مواد معلق موجود در پساب فاضلاب به خاک، نتیجهٔ معکوس شود.
- با افزایش عمق خاک، تأثیر پساب فاضلاب در افزایش ضریب هدایت هیدرولیکی اشباع و نگهداشت ویژه خاک کاهش یافته است. اثر پساب فاضلاب، نسبت به آب رودخانه کارون، اغلب در عمق‌های ۱۳-۰ و ۲۶-۱۳ سانتی‌متری خاک با هم اختلاف معنی‌داری ($\rho <$ ۰/۰۵) داشته‌اند، ولی این اثر در عمق ۴۰-۲۶ سانتی‌متری معنی‌دار ($\rho <$ ۰/۰۵) نبوده است.
- نگهداشت ویژه آب خاک در اثر آبیاری با پساب فاضلاب، نسبت به آب رودخانه کارون، تغییر معنی‌داری ($\rho <$ ۰/۰۵) نداشته است.
- با افزایش مدّت زمان آبیاری، تأثیر پساب فاضلاب در افزایش نگهداشت ویژه خاک تغییر نکرده است. این امر می‌تواند ناشی از کوتاه بودن دورهٔ آبیاری و تأثیر کم پساب فاضلاب بر این خصوصیت مهمّ خاک باشد.
- اثر کیفیّت آب بر افزایش نگهداشت ویژه آب در عمق‌های مختلف خاک یکسان است.

به این ترتیب پیشنهاد می‌شود:

- به دلیل بالا بودن املاح کل پساب فاضلاب شهر اهواز، آبیاری با این پساب ممکن است در درازمدت منجر به تجمع نمک در ناحیهٔ ریشهٔ گیاه شود و در نهایت بر تولید محصول اثر منفی بگذارد. بنابراین پیشنهاد می‌شود مطالعات جامعی در این زمینه در دراز مدت صورت گیرد تا مشکل خاصی از این جهت پیش نیاید.
- به دلیل بالا بودن نسبی بی‌کربنات در پساب فاضلاب شهر اهواز که در روش آبیاری بارانی ممکن است باعث سوختگی برگ گیاهان شود، توصیه می‌شود از سایر روش‌های آبیاری با پساب فاضلاب استفاده شود.
- به دلیل وجود کارخانه های صنعتی و کارگاه‌های مختلف در محدودهٔ شهر اهواز، فاضلاب این شهر حاوی بعضی عناصر سمّی مانند فلزات سنگین و مواد آلی مضّر است. برخی از این عناصر در فرایند تصفیه حذف می شوند، برخی دیگر پایداری بیشتری دارند و می‌توانند مشکلات مسمومیت را به وجود آورند. بنابراین پیشنهاد می شود که پساب فاضلاب شهر

اهـــواز از نظـــر مخـــاطراتی کـــه ایـــن عناصـــر روی خـصوصیات خـاک و محـصولات مختلـف کـشاورزی ممکن است ایجاد کنند بررسی شود و مورد آزمـایش قرار گیرد.

قدردانی

این پژوهش در زمین مجاور تصفیه‌خانهٔ فاضلاب غرب شهر اهواز و با همکاری صمیمانه مسئولان و اسـتفاده از امکانـات تـصفیه خانه اجرا شده است که بدین وسیله از مسئولان تصفیه‌خانه صمیمانه قدردانی می‌شود.

مراجع

Abedi Koupai, J., Afyuni, M., Mostafazadeh, B. and Bagheri, M. R. 2001. Influence of treated wastewater and irrigation systems on soil physical properties in Isfahan Province. ICID International Workshop on Wastewater Reuse Management. Sep. 19- 20. Seoul, Rep. Korea. Session 3.

Aggelides, S. M. and Londra, P. A. 2000. Effects of compost produced from town wastes and sewage sludge on the physical properties of a loamy and clay soil. Biores. Tech. J. 71, 253-259.

Alizadeh, A. 2001. Principles of Applied Hydrology. 13th Ed. Astan-e- Ghods-e- Razavi Press. Mshad. Iran. (in Farsi)

Alizadeh, A., Haghnia, G. and Naghibi, A. 1996. Application of treated municipal wastewaters in irrigation. The 2nd National Congress on Soil and Water. Feb. 16-19. Tehran. Iran. (in Farsi)

Bouwer, H. and Chaney, R. L. 1974. Land treatment of wastewater. Adv. Agro. 26, 133-176.

Chace, S. E. 1964. Nine decades of sanitary eng. Part 3. Back to the land .Water Work and Wastewater J. 7, 48.

Coppola, A., Santini, A., Botti, P., Vacca, S., Comegna, V. and Severino, G. 2004. Methodoligical approach for evaluating the response of soil hydrological behavior to irrigation with treated municipal wastewater. Hydrology J. 292, 114-134.

Ebne Jalal, R. and Shafaee Bajestan, M. 1992. Theoretical and Practical Principles of Soil Mechanics. Shahid Chamran University of Ahvaz Pub. (in Farsi)

Hokmabadi, H. and Sedaghatpour, S. 2003. (Translators). Salinity and Drainage. Horticultural Affairs of Jihad Keshavarzi. Agricultural Research and Education Organization. Karaj. Iran. (in Farsi)

Jafari Haghighi, M. 2003. Methods of Soil Analysis. Nadaye Zehy Press. Iran. (in Farsi)

Kirkham, M. B. 1988. Problems of using wastewater on vegetable crops. Hort. Sci. 21(1): 24-27.

Laak, R. 1970. Influence of domestic wastewater pretreatment on soil clogging. J. Water Pollut. Cont. Fed. 42, 1495-1500.

Mahida, U. N. 1981. Water pollution and disposal of wastewater on land. Tata Mc Grow-Hill Pub. Co. Ltd. New Delhi.

Mathan, K. K. 1994. Studies on the influence of long-term municipal sewage-effluent irrigation on soil physical properties. Biores. Tech. J. 48, 275-276.

Moazed, H. 2003. Feasibility of Application of pressurized systems in irrigating of agricultural crops by municipal wastewaters. The 3rd Irrigation and Drainage Regional Conference of Khuzestan Province. Jan. 6-7. Ahvaz. Iran. (in Farsi)

Rahimzadegan, R. 1996. Design of Sprinkler Irrigation Systems. Isfahan University of Technology. Jihad - e- Daneshgahi Pub. (in Farsi)

Saber, M. S. M. 1986. Prolonged effect of land disposal of human wastes on soil conditions. Water Sci. Tech. 18, 371-374.

Safari Sanjani, A. and Hajrasouliha, S. 1996. Outcomes of irrigation with wastewater on some of the chemical properties of Barkhar (Isfahan) Soils. The 5th Iranian Soil Sciences Congress. Sep. 1-4. Karaj. Iran. (in Farsi)

Tavakkoli, M. and Tabatabaee, M. 1999. Irrigation with treated wastewater. Iranian National Committee on Irrigation and Drainage. (in Farsi)

Xanthoulis, D. and Wallender, W. 1991. Furrow infiltration and design with cannery wastewater. Trans. ASAE. 34 (6): 2390-2396.

Journal of Agricultural Engineering Research/Vol.8 /No.2 / Summer 2007/P: 47-62

Effects of Ahwaz Treated Municipal Wastewater Application on Hydraulic Characteristics of Soil

A. Hanifehlou and H. Moazed*

* Corresponding Author: Assistant Professor, Department of Irrigation and Drainage, College of Water Science Engineering, Ahwaz University, P. O. Box: 61335-114, Ahwaz, Iran. E-mail: hmoazed955@yahoo.com

In big cities, considerable amounts of fresh water are allocated to the municipal and industrial usages, and no sufficient water is available for agricultural purposes. As a result, in recent years, utilizing treated municipal wastewater for other purposes and especially for irrigation has brought the attention of many researchers and scientists. In this study, the effects of the treated municipal wastewater of Ahwaz on some of the hydraulic characteristics of soil including saturated hydraulic conductivity (K_s), specific water retention (S_r), and final infiltration rate of the soil (I_f) at various depths (0-13, 13-26, and 26-40cm) and various irrigation periods (1, 2, 4, and 6 months) were investigated. The irrigation waters used were effluent from Ahwaz Municipal Wastewater Treatment Plant (AMWTP) and Karoon River Water (KRW). The study performed on the lands near the Ahwaz Municipal Wastewater Treatment Plant with a completely randomized factorial design and three replications under no plant culture. The experimental plots were 2.5m × 2.5m in size with a sandy loam texture. After 1, 2, 4, and 6 months irrigation with the AMWTP and KRW, the hydraulic characteristics of the experimental plots at the specified depths of soil were measured and/or calculated. The results of the study showed that irrigation with the AMWTP significantly ($P<0.05$) increased the final infiltration rate and the saturated hydraulic conductivity (K_s) of soil compared to the KRW. Also, with increasing the irrigation period from 2 to 4 months, the AMWTP increased more the hydraulic properties of the soil, which could be due to better environmental conditions for the growth of micro-organisms in the Spring season. The results also indicated that with increasing the soil depth, the increasing effect of the AMWTP on the hydraulic properties of the soil decreased.

Key words: Infiltration Rate, Irrigation with Treated Wastewater, Saturated Hydraulic Conductivity, Soil Hydraulic Properties, Specific Water Retention