تأثیر کاربرد فاضلاب شهری در آبیاری سورگوم بر برخی خصوصیات فیزیکی خاک

سعید مسعودی آشتیانی[۱]*، مسعود پارسی نژاد و فریبرز عباسی

دانش آموخته کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی دانشگاه تهران؛ **s_masoudi1361@yahoo.com**

دانشیار گروه آبیاری و آبادانی دانشگاه تهران؛ **parsinejad@ut.ac.ir**

عضو هیأت علمی (دانشیار) موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی؛ **fariborzabbasi@ymail.com**

چکیده

در این مطالعه، اثرات استفاده کوتاه مدت از فاضلاب خانگی بر تعدادی از خصوصیات فیزیکی مهم خاک ناشی از چهار عامل کیفیت آب آبیاری (آب معمولی، فاضلاب خام و فاضلاب تصفیه شده)، بافت خاک (دو نمونه خاک لومی)، روش آبیاری (سطحی و زیرسطحی) و حضور و عدم حضور گیاه، در قالب تحقیقات گلدانی و در محل تصفیه خانه فاضلاب شهرک اکباتان (تهران) در سال ۱۳۸۷ مورد بررسی قرار گرفت. طول دوره آزمایش چهار ماه و گیاه مورد مطالعه سورگوم بود. در انتهای دوره مطالعه، پارامترهای فیزیکی خاک شامل چگالی ظاهری و شدت نفوذ نهایی اندازه گیری شده و نتایج با استفاده از طرح آماری کاملاً تصادفی با سه تکرار، و منحنی های خصوصیات رطوبتی خاک با نرم افزار RETC بررسی و مقایسه شدند. در خصوص اثرات کیفیت آب آبیاری بر منحنی خصوصیات رطوبتی خاک، به طور میانگین میزان آب قابل استفاده در خاک های تحت آبیاری با فاضلاب (تصفیه شده و خام) در مقایسه با آب معمولی در حدود ۴ درصد حجمی و به طور نسبی به میزان ۲۴ درصد افزایش نشان داد. میانگین ظرفیت نگهداری آب در خاک در نقطه ۰/۱ بار بین ۹/۵ تا ۱۰ درصد حجمی، در نقطه ۰/۳۳ بار بین ۴/۵ تا ۵ درصد حجمی و در نقطه یک بار بین ۱/۵ تا ۲ درصد حجمی، در خاک های تحت آبیاری با فاضلاب خام و تصفیه شده، بیشتر از تیمارهای آبیاری شده با آب معمولی بود که نشان از بهبود نسبی ساختمان خاک داشت. به طور کلی شدت نفوذ نهایی خاک های تحت آبیاری با فاضلاب خام و تصفیه شده در مقایسه با تیمار آب معمولی افزایش نشان داد، اما اختلاف به دست آمده معنی دار نبود. در خصوص چگالی ظاهری خاک، به دلیل کوتاه بودن دوره کاربرد فاضلاب، تأثیر قابل توجهی مشاهده نشد. به طور کلی با توجه به اندازه گیری های انجام شده، شواهد نشان می دهد که آبیاری با فاضلاب به دلیل وجود ترکیبات مختلف شیمیایی و آلی (از جمله غلظت بالای منیزیم) به خصوص در شرایط تحت کشت و حضور گیاه، در راستای بهبود ساختمان خاک و افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک عمل نموده است.

واژه های کلیدی: آبیاری، فاضلاب خام، فاضلاب تصفیه شده، ظرفیت نگهداری آب خاک، شدت نفوذ نهایی، سورگوم، شهرک اکباتان

مقدمه

آمار منتشره توسط سازمان خواربار و کشاورزی ملل حدود ۵۰ درصد اراضی کشاورزی در ایران تحت آبیاری

---

[۱] نویسنده مسئول، آدرس: تهران، میدان شهدا، خیابان پیروزی، خیابان اول نیروی هوایی، کوچه شهید میرعابدینی، پلاک ۱۴، کد پستی، ۱۷۳۶۸۸۴۵۱۱

* دریافت: فروردین۱۳۸۹ و پذیرش: مهر ۱۳۹۰

متحد (F.A.O) در سال ۲۰۰۵ میلادی نشان می دهد که و همکاران (۱۳۸۵) از نظر مصرف منابع آب، بخش کشاورزی در ایران حدود ۹۰ درصد مصرف آب را به خود اختصاص داده است. پیش بینی موسسه بین المللی مدیریت آب (IWMI) برای سال ۲۰۲۵ نشان می دهد که کشورهای شمال آفریقا و خاورمیانه (از جمله ایران)، پاکستان، هند و قسمت شمالی چین با کم آبی شدید مواجه می شوند (IWMI، ۲۰۰۰). از آنجائی که به طور متوسط در حدود ۷۵ درصد آب مصرفی شهرها به فاضلاب تبدیل شده و پیش بینی می شود حجم کل فاضلاب شهری و صنعتی تولیدی در ایران در سال ۱۳۹۰ به ۷ میلیارد متر مکعب در سال برسد (رنگ زن و همکاران، ۱۳۸۵)، لذا می توان استفاده از فاضلاب را در آبیاری، به عنوان یک گزینه در جهت جبران کمبود آب قابل دسترس در کشور مد نظر قرار داد. در این راستا، بررسی پیامدهای کاربرد فاضلاب تصفیه شده شهری بر روی ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک در راستای پایداری اراضی امری ضروری است. خلیل و همکاران (۱۹۸۱) با بررسی داده های ۱۲ منبع مطالعاتی مختلف، ۲۱ نوع خاک، ۷ نوع فاضلاب و ۸ نوع گیاه، افزایش ظرفیت نگهداری آب خاک و کاهش چگالی ظاهری را گزارش کردند. صابر (۱۹۸۶) از ویژگی های فیزیکی خاک های شنی شهر قاهره، تنها ظرفیت نگهداری آب خاک را بررسی کرد و نشان داد که با کاربرد فاضلاب به روش غرقابی در مدت یک تا ۶۰ سال، این ویژگی خاک نیز بهبود پیدا کرده است. متهن (۱۹۹۴) افزایش خلل و فرج، کاهش چگالی ظاهری و افزایش هدایت هیدرولیکی خاک را در اثر کاربرد فاضلاب در مدت ۱۰ تا ۱۵ سال برای خاک لومی شنی گزارش کرد. زادهوش و فرداد (۱۳۷۵) گزارش کردند در کاربرد فاضلاب در اصفهان برای کشت گندم و بر روی خاک رسی، میانگین جرم مخصوص ظاهری خاک و درصد رطوبت در ظرفیت مزرعه در مدت یکسال روند خاصی را دنبال نمی کند. ولی در یک مقایسه معلوم گردید که زمین‌های آبیاری شده با فاضلاب به مدت نه سال دارای جرم مخصوص ظاهری کمتر، درصد رطوبت بیشتر در ظرفیت مزرعه و نفوذ نهایی کمتر نسبت به مزرعه آبیاری نشده با فاضلاب می باشد. لیوی و همکاران (۱۹۹۹) اثرات مضر در آبیاری با فاضلاب تصفیه شده را در نتیجه مقادیر بالای ذرات معلق فاضلاب بر هدایت هیدرولیکی خاک دانستند که بستگی به بافت خاک دارد. بافت خاک ریزتر، کاهش هدایت هیدرولیکی بیشتری دارد. مگسان (۲۰۰۱) گزارش کرد که آبیاری با فاضلاب در مدت ۴ سال برای یک خاک شنی، چگالی حقیقی و ظاهری و هدایت هیدرولیکی غیراشباع را کاهش است. همچنین براساس آمار منتشره توسط احسانی و خلل و فرج درشت و نفوذپذیری خاک را افزایش داد که می تواند به دلیل افزایش مواد آلی باشد. همچنین در خاکهای شنی و آتشفشانی، خلل و فرج درشت به طور محسوس افزایش یافت که مرتبط با افزایش فرآیندهای بیولوژیکی می باشد. حسن اقلی و همکاران (۱۳۸۱) افزایش هدایت هیدرولیکی اشباع خاکها را پس از اجرای عملیات کشت جعفری، هویج و گوجه فرنگی و آبیاری با فاضلاب خام، فاضلاب تصفیه شده و آب چاه در خاکهای لومی رسی طی دو سال گزارش کردند. بیشترین افزایش هدایت هیدرولیکی اشباع در کاربرد فاضلاب خام و پس از آن در فاضلاب تصفیه شده و آب چاه بود. داوز و همکاران (۲۰۰۴) در زمینه تأثیر فاضلاب بر خصوصیات فیزیکی خاک بیان کردند که کاربرد فاضلاب در ایالت کوینزلند استرالیا بر خاکهای لومی رسی، لومی رسی شنی، لوم و لومی شنی در مدت ۲/۵ تا ۱۹ سال، نگهداری آب خاک را افزایش و حجم خلل فرج را کاهش داد و می تواند هدایت هیدرولیکی اشباع را کاهش دهد. تقوائیان و همکاران (۱۳۸۶) پس از چهار ماه کاربرد فاضلاب در خاکی با ۱۵ درصد رس، افزایش ظرفیت نگهداشت آب خاک را مشاهده کردند. تغییرات مشاهده شده در نفوذپذیری بسیار ناچیز بود. اسلامیان و همکاران (۱۳۸۶) گزارش کردند تأثیر فاضلاب تصفیه شده و خام در طی یک فصل زراعی بر خاکهای زراعی شهرستان نجف آباد اصفهان، باعث افزایش مواد آلی خاک به طور متوسط از ۱۷/۴ تا ۴۸/۸ درصد، بهبود ساختمان خاک و افزایش قابلیت نگهداشت آب خاک شد. آییلو و همکاران (۲۰۰۷) با کاربرد فاضلاب تصفیه شده در مدت یک فصل رشد در مزارع گوجه فرنگی با خاک شنی و آبیاری قطره ای، کاهش هدایت هیدرولیکی، خلل و فرج و ظرفیت نگهداشت آب و افزایش چگالی ظاهری در لایه ۰-۳۰ سانتیمتری خاک نسبت به مقدار اولیه را گزارش کردند. لیوی و همکاران (۲۰۱۱) بیان کردند اثرات ترکیبی شوری، سدیمی و حضور مواد آلی محلول در فاضلاب تصفیه شده بر هدایت هیدرولیکی خاک پیچیده هستند و بستگی به کیفیت فاضلاب تصفیه شده، خصوصیات خاک و شرایط موجود در خاک دارد.

هدف اصلی از این تحقیق، بررسی اثرات استفاده از فاضلاب شهری بر برخی خصوصیات فیزیکی مهم خاک براساس چهار عامل کیفیت آب آبیاری (آب معمولی، فاضلاب خام و فاضلاب تصفیه شده)، نوع خاک، روش آبیاری (سطحی و زیرسطحی) و حضور یا عدم کشت گیاه است.

مواد و روشها

این مطالعه با استفاده از دو خاک لومی، سه کیفیت آب آبیاری، دو روش آبیاری و با حضور یا عدم کشت گیاه و در قالب طرح کاملا تصادفی با سه تکرار و در مجموع با ۲۴ تیمار و به صورت تحقیقات گلدانی در سال ۱۳۸۷ انجام شد. طول دوره مطالعه چهار ماه بود و گیاه سورگوم دانه ای کشت شد. در این مدت جمعاً ۲۵ آبیاری، ۶ آبیاری اول به صورت سطحی و با آب معمولی برای رشد اولیه گیاه، انجام شد. طول مدت اعمال تیمارهای آبیاری سه ماه بود که از تعداد ۲۵ آبیاری انجام شده، ۱۹ آبیاری در دوره اعمال تیمار بود. حجم هر آبیاری ۲/۵ لیتر و براساس داده های تبخیر و تعرق استان تهران از موسسه تحقیقات خاک و آب (۱۳۷۶) برای گیاه سورگوم دور آبیاری ۴ روزه از ابتدای رشد تا مرحله آخر رشد گیاه و در مرحله آخر رشد گیاه ۷ روزه شد. این طرح در قالب طرح آماری کاملا تصادفی با سه تکرار در گلدانهای به ارتفاع ۳۶ سانتیمتر و قطر ۳۰ سانتیمتر و با تعداد ۷۲ گلدان (۲۴ تیمار در سه تکرار) انجام شد. جداره بیرونی گلدانها با پشم شیشه عایق شد تا اثرات ناشی از تابش آفتاب و تبادل دمایی به حداقل رسانده شود. در عین حال جداره داخلی گلدانها با چسب و شن برای جلوگیری از ایجاد درز و ترک بین جداره و بدنه و کاهش جریان ترجیحی، پوشش داده شد. در کف هر گلدان تعدادی روزنه برای زهکشی ایجاد گردید و به ارتفاع سه سانتیمتر گراول در کف قرار داده شد. برای اطمینان از ایجاد تراکم و یکنواختی، خاک در هر گلدان به صورت لایه لایه (هر ۱۰ سانتیمتر) و تا سه سانتیمتری لبه گلدانها پر شد. بافت خاک با استفاده از آزمایش هیدرومتری تعیین گردید. نمونه اول خاک از عمق ۰-۳۰ سانتیمتری سطحی مزرعه دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران (خاک زراعی) و نمونه خاک دوم از منطقه شهریار (خاک غیر زراعی) تهیه شد. علیرغم اینکه هر دو خاک دارای بافت مشابه بودند، ولی به لحاظ خصوصیات اولیه شیمیایی (هدایت الکتریکی، سدیم، منیزیم و فسفر) متفاوت بودند که این تفاوت در فرآیند تأثیرپذیری فاضلاب می تواند مؤثر باشد. خصوصیات فیزیکی خاک از قبیل رطوبت در ظرفیت مزرعه با استفاده از دستگاه صفحه فشار، و نفوذپذیری خاک مستقیماً در روی گلدانها اندازه گیری شد (جدول۱). همچنین خصوصیات شیمیایی عصاره اشباع خاک شامل هدایت الکتریکی با استفاده از دستگاه هدایت سنج JENWEY 4010، اسیدیته با استفاده از دستگاه پی اچ متر JENWEY 3010، منیزیم با استفاده از محلول بافر آمونیاکی، پتاسیم و سدیم با استفاده از دستگاه فلیم فتومتری JENWEY PFP 7، کلسیم با استفاده از محلول سود ۴ نرمال، بی کربنات با استفاده از تیتراسیون اسید سولفوریک ۰/۰۱ نرمال و نیتروژن نیتراتی و فسفر محلول با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتری JENWEY 6705 UV/VIS اندازه گیری شد (جدول۲). آب آبیاری شامل آب معمولی (شهری) تهران، فاضلاب شهری خام و تصفیه شده از تصفیه خانه شهرک اکباتان واقع در غرب تهران تهیه و استفاده شد. تیمارهای آبیاری شده با آب معمولی به عنوان شاهد در نظر گرفته شدند. مطالعه در محل تصفیه خانه فاضلاب شهرک اکباتان به دلیل در دسترس بودن فاضلاب خام و تصفیه شده و در فضای آزاد انجام شد. فاضلاب خام بعد از مرحله آشغال گیری و فاضلاب تصفیه شده از خروجی نهایی تصفیه خانه که شامل مراحل آشغال گیری، دانه گیری، ته نشینی مواد معلق و تصفیه زیستی با استفاده از باکتری های هوازی و بی هوازی بود، برداشت و مستقیماً استفاده شد. آب معمولی، آب لوله کشی شهر تهران بود. خصوصیات کیفی سه نوع آب مورد استفاده تعیین گردید و در جدول (۳) آورده شده است. برای آبیاری از دو روش سطحی و زیرسطحی استفاده شد. آبیاری سطحی به وسیله آبپاش انجام شد. برای آبیاری زیرسطحی سه لوله آبیاری قطره ای (لوله های اسپاگتی) در سه نقطه در عمق ۲۰ سانتیمتر از سطح خاک تعبیه شد. این لوله ها با استفاده از یک لوله ۱۶ میلیمتری آبیاری قطره ای به یک پمپ آب که در داخل یک مخزن کوچک قرار داده شده بود، وصل شد. بنابراین سه لوله برای آبیاری هر گلدان در روش زیرسطحی، قرار داده شد که دبی هر لوله ۴ لیتر در ساعت و آبیاری هر گلدان حدود ۱۵ دقیقه طول می کشید. در انتهای فصل رشد، ابتدا محصول از یک سانتی متری سطح خاک قطع و سپس سه مشخصه فیزیکی خاک شامل چگالی ظاهری خاک، شدت نفوذ نهایی و منحنی خصوصیات رطوبتی خاک اندازه گیری شد. برای اندازه گیری نفوذپذیری خاک از یک قطعه لوله پلی اتیلن به ارتفاع ۳۰ سانتیمتر و قطر ۲۵ سانتیمتر استفاده شد. لوله به اندازه ۳ – ۵ سانتیمتر در خاک گلدان (به طوری که از جداره گلدان از هر طرف به اندازه ۲/۵ سانتیمتر فاصله باشد) نصب شد. اندازه گیری سرعت نفوذ به روش بار افتان بود. با استفاده از سیلندرهای استاندارد، نمونه های دست نخورده از عمق های ۰- ۱۵ سانتیمتر و ۱۵-۳۰ سانتیمتری هر گلدان برداشت و چگالی ظاهری اندازه گیری شد. همچنین برای تعیین منحنی خصوصیات رطوبتی خاک، نمونه گیری خاک از دو عمق به طور مجزا برای هر گلدان انجام شد. سپس نمونه ها در مجاورت هوای آزاد قرار گرفت تا هوا خشک شوند. نمونه های هر

تیمار با روش استاندارد در داخل صفحه فشار قرار داده شد. برای تعیین منحنی خصوصیات رطوبتی خاک نقاط ۰/۱، ۰/۳۳، ۱، ۲، ۳، ۵ یا ۵/۵ بار به ترتیب از مکش کمتر به بیشتر بر روی نمونه اعمال شد تا رطوبت حجمی (حاصل از رطوبت وزنی صفحه فشار در چگالی ظاهری اندازه گیری شده) در هر نقطه مکشی به دست آید. سپس با استفاده از نرم افزار RETC رابطه Mualem-va Genuchten (۱۹۸۰) به داده های اندازه گیری شده منحنی خصوصیات رطوبتی خاک برازش داده شد (عباسی، ۱۳۸۶). مقایسه آماری چگالی ظاهری و شدت نفوذ نهایی برای چهار عامل کیفیت آب آبیاری، نوع خاک، روش آبیاری و کشت گیاه به علت اندازه گیری تمام تکرارها (گلدانها) در قالب طرح آماری کاملا تصادفی با سه تکرار با استفاده از نرم افزار SPSS14 انجام شد (نوری و همکاران، ۱۳۸۵). مقایسه منحنی های خصوصیات رطوبتی خاک با عدم وجود تکرار برای هر تیمار، انجام گردید.

نتایج و بحث

منحنی خصوصیات رطوبتی

در تیمار "لوم۱، آبیاری سطحی، بدون گیاه"، افزایش نگهداری آب خاک در خاک های تحت آبیاری با فاضلاب تا حدود ۹ درصد حجمی در مکش های کم (صفر تا یک بار) در مقایسه با آب معمولی می باشد (شکل۱). در این محدوده، تأثیرات بیشتر مرتبط با ساختمان خاک می باشد.

در تیمار "لوم۲، آبیاری سطحی، بدون گیاه"، این بررسی نیز نشان می دهد که ظرفیت نگهداری در نقاط با مکش کم (صفر تا یک بار) در خاک های تحت آبیاری با فاضلاب افزایش پیدا کرده است (شکل۲). ولی میزان افزایش در حد کمتری (تا حدود ۷ درصد حجمی) بوده که اختلاف موجود می تواند مرتبط به درصد ذرات خاک از جمله میزان رس باشد.

در تیمار "لوم۱، آبیاری سطحی، گیاه"، ظرفیت نگهداری آب در خاک در نقاط با مکش در دامنه صفر تا ۱/۵ بار تا حدود ۱۳ درصد حجمی افزایش پیدا کرده است (شکل۳). در عین حال نکته قابل توجه، تشابه بسیار زیاد به دست آمده بین دو تیمار تحت آبیاری با فاضلاب خام و تصفیه شده می باشد که بیانگر این واقعیت است که عناصر مؤثر در ساختمان پذیری خاک از قبیل کلسیم و پتاسیم، تفاوت فاحشی ندارند (جدول۳).

در تیمار "لوم۲، آبیاری سطحی، گیاه"، ظرفیت نگهداری آب در خاک در نقاط با مکش در دامنه صفر تا ۱/۵ بار تا حدود ۱۲ درصد حجمی افزایش پیدا کرده است (شکل۴). همچنین تشابه بین دو تیمار تحت آبیاری با فاضلاب خام و تصفیه شده وجود دارد.

در تیمار "لوم۱، آبیاری زیرسطحی، بدون گیاه"، تفاوت بین تیمار آب معمولی و دو نوع فاضلاب تا حدود ۸/۵ درصد حجمی وجود دارد (شکل۵) و مشابه تیمارهای تحت آبیاری سطحی است. یکی از دلایل عدم وجود اختلاف، مرکب بودن نمونه های خاک مورد مطالعه بوده است. بدین معنی که نمونه خاک های تیمارهای مشابه در سه تکرار مخلوط و منحنی رطوبتی یک نمونه مرکب اندازه گیری شد. در صورتی که تفاوت در روش آبیاری می تواند بیشتر در نفوذپذیری خاک نمود پیدا کند.

در تیمار "لوم۲، آبیاری زیرسطحی، بدون گیاه"، نتایج این بررسی نشان داد که کماکان اختلاف بین تیمارهای آب معمولی با دو نوع فاضلاب در محدوده مکش صفر تا یک بار به میزان حداکثر تا ۱۱/۶ درصد حجمی وجود دارد (شکل۶). همچنین تشابه بین دو تیمار تحت آبیاری با فاضلاب خام و تصفیه شده وجود دارد.

در تیمار "لوم۱، آبیاری زیرسطحی، گیاه"، ظرفیت نگهداری آب در خاک در نقاط با مکش در دامنه صفر تا ۱/۵ بار تا حدود ۱۴/۵ درصد افزایش پیدا کرده است (شکل۷). مشاهده کلی، اختلاف اولیه دو نمونه خاک زراعی و غیر زراعی را از نظر ظرفیت نگهداری آب خاک نشان داده است (جدول۱) که اثر بخشی استفاده از فاضلاب، آن را تحت تأثیر قرار می دهد.

در تیمار "لوم۲، آبیاری زیرسطحی، گیاه"، نتایج این بررسی نشان می دهد که کماکان اختلاف بین تیمارهای آب معمولی با دو نوع فاضلاب در محدوده مکش صفر تا ۱/۵ بار تا حدود ۹/۶ درصد حجمی وجود دارد (شکل۸).

همان طور که جدول (۴) و شکل های (۱) تا (۸) نشان می دهند، در مکش های کمتر از ۱ بار، ظرفیت رطوبتی خاک در تمام تیمارهای آبیاری شده با فاضلاب خام و تصفیه شده نسبت به تیمارهای آبیاری شده با آب معمولی بیشتر است. ظرفیت رطوبتی خاک به طور میانگین، در نقطه ۰/۱ بار ۹ تا ۱۰ درصد حجمی، در نقطه ۰/۳۳ بار بین ۴/۵ تا ۵ درصد حجمی و مکش ۱ بار بین ۱/۵ تا ۲ درصد حجمی برای خاک های تحت آبیاری با فاضلاب خام و تصفیه شده نسبت به آب معمولی بیشتر است. نتایج این تحقیق با نتایج خلیل و همکاران (۱۹۸۱)، صابر (۱۹۸۶)، داوز (۲۰۰۴)، تقواییان و همکاران (۱۳۸۶) و اسلامیان و همکاران (۱۳۸۶) همخوانی دارد.

در مقایسه منحنی های خصوصیات رطوبتی برای دو روش آبیاری و با حضور و عدم حضور گیاه، روند مشخصی مشاهده نشد.

آب قابل استفاده

برحسب تعریف به رطوبت موجود در حد فاصل بین نقطه ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی یک خاک، آب قابل استفاده گیاه اتلاق می شود. در این بررسی با استفاده از نرم افزار RETC مدل رطوبتی Mualem-van Genuchten (۱۹۸۰) به نقاط اندازه گیری شده منحنی خصوصیات رطوبتی برازش داده شد. این بررسی نشان داد که به طور متوسط، آب قابل استفاده در خاک های تحت آبیاری با فاضلاب (تصفیه شده و خام) در مقایسه با تیمار شاهد (آب معمولی) حدود ۴ درصد حجمی افزایش داشته است. افزایش مقدار آب قابل استفاده در تیمارهای آبیاری شده با فاضلاب خام و تصفیه شده نسبت به تیمارهای آبیاری شده با آب معمولی نشان می دهد که به دلیل استفاده از فاضلاب، زمینه افزایش مواد آلی در جهت بهبود ساختمان خاک و در نتیجه افزایش ظرفیت نگهداری آب خاک بوده است. نتایج بدست آمده با مطالعات خلیل و همکاران (۱۹۸۱)، صابر (۱۹۸۶)، زادهوش و فرداد (۱۳۷۵)، داوز (۲۰۰۴)، تقوائیان و همکاران (۱۳۸۶) و اسلامیان و همکاران (۱۳۸۶) مطابقت دارد.

شدت نفوذ نهایی

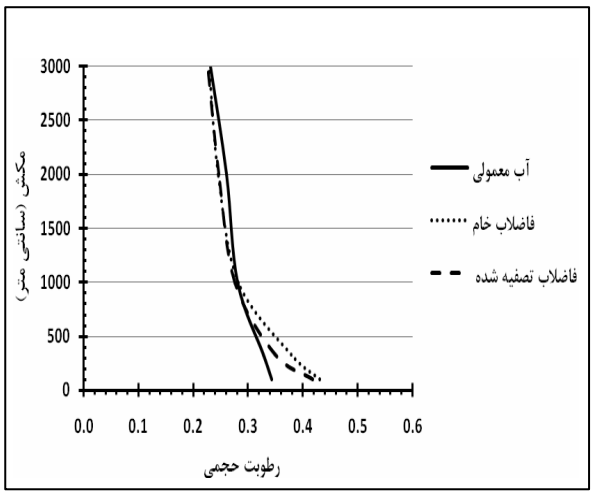
مقایسه نتایج شدت نفوذ نهایی نشان داد که به طور کلی شدت نفوذ نهایی خاک های تحت آبیاری با فاضلاب (خام و تصفیه شده) در مقایسه با تیمارهای شاهد (آب معمولی) افزایش داشته است. اما این افزایش به لحاظ آماری معنی دار نشد (جداول ۵ و ۶). این مهم بدلیل بهبود ساختمان خاک و در نتیجه نفوذ پذیری بهتر آن می باشد. متهن (۱۹۹۴) افزایش هدایت هیدرولیکی خاک و مگسان (۲۰۰۱) افزایش نفوذپذیری خاک را در اثر کاربرد فاضلاب گزارش کردند. حسن اقلی و همکاران (۱۳۸۱) بیشترین افزایش هدایت هیدرولیکی اشباع را در کاربرد فاضلاب خام و پس از آن در فاضلاب تصفیه شده مشاهده کردند. کوتاه بودن دوره کاربرد فاضلاب در این تحقیق (حدود سه ماه) علت اصلی عدم همخوانی نتایج با تحقیقات قبلی است.

چگالی ظاهری خاک

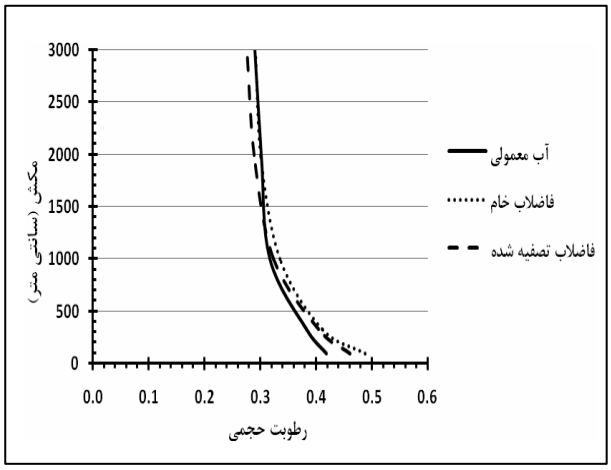
نتایج نشان داد که به طور کلی، تفاوت قابل توجهی در بین تیمارها از لحاظ آماری مشاهده نمی شود (جداول ۷ و ۸). دلیل اصلی عدم تأثیر کاربرد فاضلاب بر چگالی ظاهری خاک در این مطالعه، کوتاه بودن دوره آزمایش (سه ماه) می باشد. در بررسی زادهوش و فرداد (۱۳۷۵) نیز عدم وجود اختلاف طی یکسال گزارش گردیده است. در صورتی که آنها کاهش چگالی ظاهری در اثر کاربرد طولانی مدت فاضلاب (طی نه سال) را گزارش کرده اند.

نتیجه گیری

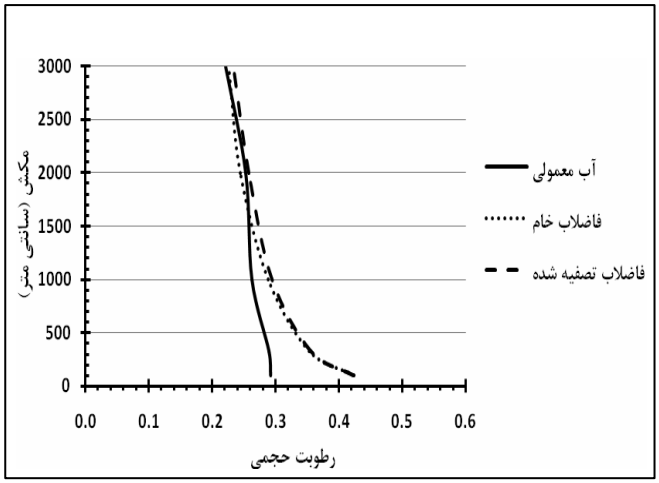
در پیش بینی اثرات کوتاه و طولانی مدت کاربرد فاضلاب شهری بر روی خاک، بررسی خصوصیات خاک و کیفیت فاضلاب شهری هر منطقه مهم خواهد بود. به طور کلی نتایج به دست آمده از اثر کاربرد فاضلاب شهری روی خصوصیات فیزیکی خاک، نشان داد که فاضلاب با وجود کوتاه بودن مدت مطالعه (حدود سه ماه) به علت اضافه شدن مواد آلی از طریق فاضلاب به خاک و غلظت زیاد منیزیم در فاضلاب، موجب بهبود ساختمان خاک و افزایش ظرفیت نگهداشت آب خاک شده است. این مهم در مزارع کشاورزی، از نفوذ عمقی بیشتر آب در خاک جلوگیری و موجب افزایش راندمان آبیاری می شود. اما کاربرد فاضلاب شهری بر روی شدت نفوذ نهایی، در جهت افزایش شدت آن تأثیرگذار بوده، اما معنی دار نبوده است. اثرات کاربرد فاضلاب بر چگالی ظاهری خاک تأثیرگذار نبوده است. با توجه به نتایج به دست آمده، استفاده کوتاه مدت از فاضلاب برای مصارف کشاورزی، بر خصوصیات فیزیکی خاک نظیر چگالی ظاهری، شدت نفوذ نهایی و منحنی خصوصیات رطوبتی خاک اثرات تخریبی نداشته و حتی تحت شرایط مدیریتی مناسب می تواند اثرات مثبتی هم در بر داشته باشد.



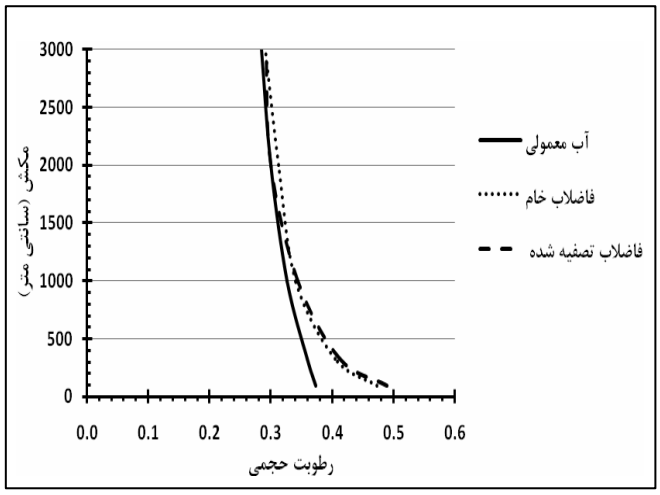
شکل ۱- منحنی های اندازه گیری شده خصوصیات رطوبتی خاک برای سه کیفیت آب آبیاری در تیمار "زراعی، آبیاری سطحی، بدون گیاه"



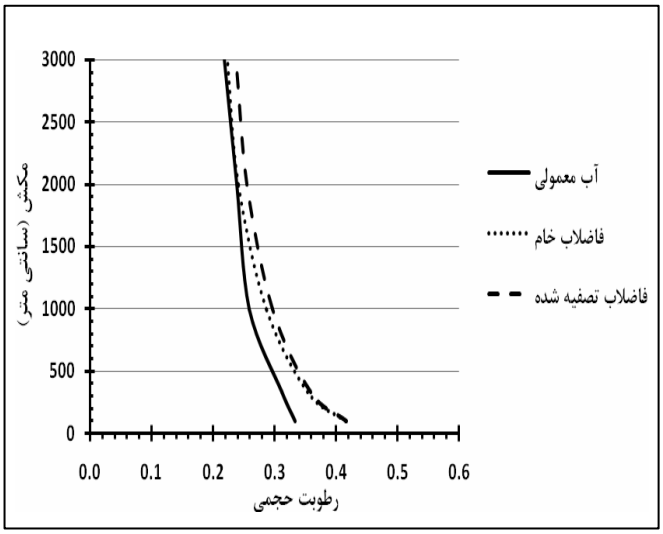
شکل ۲- منحنی های اندازه گیری شده خصوصیات رطوبتی خاک برای سه کیفیت آب آبیاری در تیمار "غیرزراعی، آبیاری سطحی، بدون گیاه"



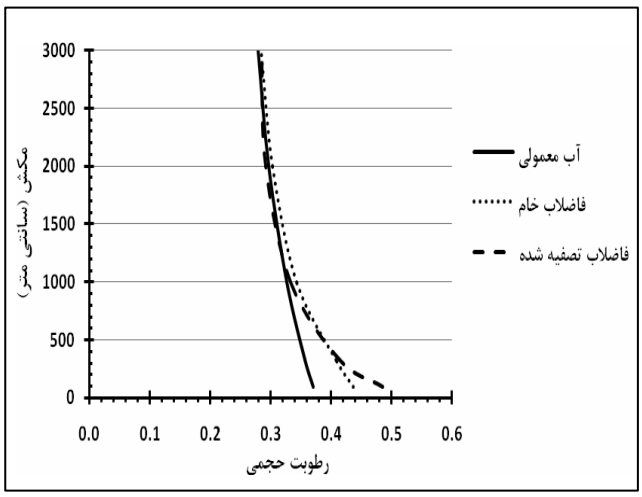
شکل ۳- منحنی های اندازه گیری شده خصوصیات رطوبتی خاک برای سه کیفیت آب آبیاری در تیمار "زراعی، آبیاری سطحی، گیاه"



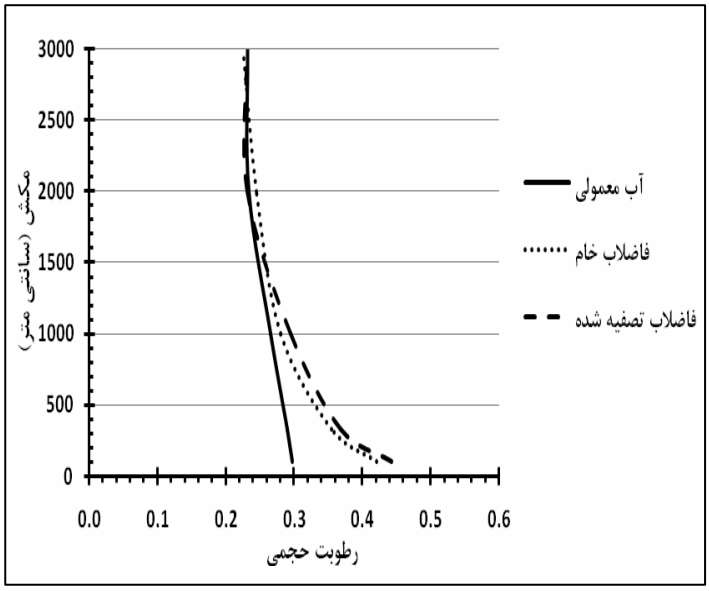
شکل ۴- منحنی های اندازه گیری شده خصوصیات رطوبتی خاک برای سه کیفیت آب آبیاری در تیمار "غیرزراعی، آبیاری سطحی، گیاه"



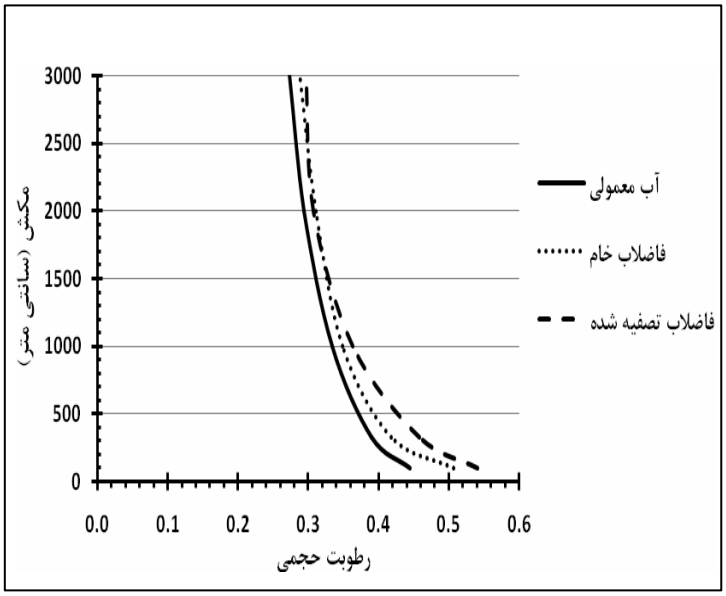
شکل ۵- منحنی های اندازه گیری شده خصوصیات رطوبتی خاک برای سه کیفیت آب آبیاری در تیمار زراعی، آبیاری زیرسطحی، بدون گیاه "



شکل ۶- منحنی های اندازه گیری شده خصوصیات رطوبتی خاک برای سه کیفیت آب آبیاری در تیمار "غیرزراعی، آبیاری زیرسطحی، بدون گیاه"



شکل ۷- منحنی های اندازه گیری شده خصوصیات رطوبتی خاک برای سه کیفیت آب آبیاری تیمار "زراعی، آبیاری زیرسطحی، گیاه"



شکل ۸- منحنی های اندازه گیری شده خصوصیات رطوبتی خاک برای سه کیفیت آب آبیاری در تیمار "غیرزراعی، آبیاری زیرسطحی، گیاه"

جدول۱- خصوصیات فیزیکی خاکهای مورد مطالعه در ابتدا

خاک	شن (درصد)	سیلت (درصد)	رس (درصد)	بافت	رطوبت در ظرفیت مزرعه (درصد وزنی)	شدت نفوذ نهایی (سانتیمتر بر ساعت)
زراعی	۵۱/۵۷	۳۳/۰۰	۱۵/۴۳	لوم	۲۰/۵۵	۱/۳۷
غیرزراعی	۳۷/۰۰	۴۲/۸۶	۲۰/۱۴	لوم	۲۴/۷۲	۰/۶۱

جدول۲- برخی خصوصیات شیمیایی خاکهای مورد مطالعه

خاک	EC ($dS.m^{-1}$)	pH	Mg^{2+} ($meq.l^{-1}$)	K^{+} ($meq.l^{-1}$)	Na^{+} ($meq.l^{-1}$)	Ca^{2+} ($meq.l^{-1}$)	جمع کاتیونها ($meq.l^{-1}$)	Hco_3^{-} ($meq.l^{-1}$)	$N(No_3)^{-}$ ($mg.l^{-1}$)	جمع آنیونها ($meq.l^{-1}$)	P ($mg.kg^{-1}$)	SAR $(meq.l^{-1})^{0.5}$
زراعی	۰/۸۶	۸/۰۸	۲/۶۰	۰/۰۶	۴/۲۸	۵/۶۰	۱۲/۵۴	۱/۲۰	۱۰/۴۴	۱/۵۳	۱۷/۲۲	۲/۱۱
غیرزراعی	۲/۹۷	۷/۸۷	۵/۰۰	۰/۰۸	۲۵/۵۲	۵/۲۰	۳۶/۵۲	۱/۴۰	۹/۳۴	۱/۷۰	۱۵۱/۲۲	۱۱/۳۰

جدول۳- میانگین خصوصیات شیمیایی آب شهری تهران، فاضلاب خام و تصفیه شده تصفیه خانه فاضلاب اکباتان تهران در مدت مطالعه در سال ۱۳۸۷

آب آبیاری	EC ($dS.m^{-1}$)	pH	Mg^{2+} ($meq.l^{-1}$)	K^{+} ($meq.l^{-1}$)	Na^{+} ($meq.l^{-1}$)	Ca^{2+} ($meq.l^{-1}$)	جمع کاتیونها ($meq.l^{-1}$)	Hco_3^{-} ($meq.l^{-1}$)	$N(No_3)^{-}$ ($mg.l^{-1}$)	جمع آنیونها ($meq.l^{-1}$)	P ($mg.l^{-1}$)	SAR $(meq.l^{-1})^{0.5}$
آب معمولی	۰/۶۵	۷/۲۱	۲/۰۰	۰/۰۲	۳/۰۹	۳/۸۰	۸/۹۱	۳/۸	۴۶/۷۲	۵/۳۰	۰/۰۰	۱/۸۲
فاضلاب خام	۱/۴۹	۷/۱۷	۶/۲۰	۰/۲۳	۴/۴۳	۳/۴۰	۱۴/۲۶	۶/۲۰	۰/۰۰	۶/۲۰	۶/۸۰	۲/۰۲
فاضلاب تصفیه شده	۱/۳۳	۷/۳۷	۸/۹۰	۰/۲۴	۳/۹۸	۳/۰۰	۱۶/۱۲	۴/۵۰	۳۵/۶۶	۵/۶۵	۴/۱۰	۱/۶۳

- BOD_5 و COD فاضلاب خام و تصفیه شده تصفیه خانه فاضلاب اکباتان تهران به ترتیب ۲۰۴/۳۰، ۳۷۱/۷۰ و ۱۳/۳۰، ۲۷/۰۰ میلی گرم بر لیتر (حسن اقلی و همکاران، ۱۳۸۱).

جدول ۴- میانگین درصد حجمی رطوبت در تیمارهای مختلف

تیمارها	آب معمولی	فاضلاب خام	فاضلاب تصفیه شده	خاک زراعی	خاک غیرزراعی	زیر سطحی	سطحی	بدون گیاه	با گیاه
نقاط مکشی									
۰/۱ بار	۳۵/۹۱	۴۴/۹۵	۴۵/۹۷	۳۸/۸۱	۴۵/۷۴	۴۱/۹۵	۴۲/۶۰	۴۱/۸۲	۴۲/۷۳
۰/۳۳ بار	۳۳/۸۵	۳۸/۵۴	۳۹/۰۲	۳۴/۱۱	۴۰/۱۶	۳۶/۹۲	۳۷/۳۶	۳۷/۱۵	۳۷/۱۲
۱ بار	۲۹/۶۵	۳۱/۳۱	۳۱/۵۹	۲۸/۰۷	۳۳/۶۳	۳۰/۶۰	۳۱/۱۰	۳۰/۵۲	۳۱/۱۹
۲ بار	۲۷/۲۳	۲۷/۵۴	۲۷/۲۴	۲۴/۶۰	۳۰/۰۶	۲۷/۶۰	۲۷/۰۷	۲۷/۲۵	۲۷/۴۱
۳ بار	۲۵/۴۰	۲۵/۷۳	۲۵/۹۷	۲۲/۸۰	۲۸/۶۰	۲۵/۷۹	۲۵/۶۱	۲۵/۶۲	۲۵/۷۸
۵/۵ بار	۲۲/۰۴	۲۲/۹۳	۲۳/۱۵	۱۹/۵۲	۲۵/۸۹	۲۳/۸۰	۲۲/۴۷	۲۲/۳۰	۲۳/۱۱

جدول ۵ - تجزیه واریانس (برای سه کیفیت آب آبیاری در تیمار "زراعی، آبیاری زیرسطحی، بدون گیاه")

منابع تغییرات	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F
کیفیت آب آبیاری	۵/۲۲۷	۲	۲/۶۱۳	۱/۴۷۷ ns
خطای آزمایشی	۱۰/۶۱۳	۶	۱/۷۶۹	
کل	۱۵/۸۴	۸		

ns – نشان دهنده عدم معنی داری

جدول ۶- آزمون دانکن (برای سه کیفیت آب آبیاری در تیمار "زراعی، آبیاری زیرسطحی، بدون گیاه")

تیمار	میانگین شدت نفوذ نهایی (سانتی متر بر ساعت)	گروه بندی دانکن
آب معمولی	۵/۰۶	A
فاضلاب تصفیه شده	۵/۳۳	A
فاضلاب خام	۶/۸۰	A

جدول ۷ - تجزیه واریانس (برای سه کیفیت آب آبیاری در تیمار "زراعی، آبیاری زیرسطحی، بدون گیاه")

منابع تغییرات	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F
کیفیت آب آبیاری	۰/۰۰۶	۲	۰/۰۰۳	۲/۴۰۸ ns
خطای آزمایشی	۰/۰۰۸	۶	۰/۰۰۱	
کل	۰/۰۱۴	۸		

ns - نشان دهنده عدم معني داري

جدول ۸- آزمون دانکن (برای سه کیفیت آب آبیاری در تیمار "زراعی، آبیاری زیرسطحی، بدون گیاه")

تیمار	میانگین چگالی ظاهری (گرم بر سانتی متر مکعب)	گروه بندی دانکن
آب معمولی	۱/۵۱	A
فاضلاب خام	۱/۵۶	A
فاضلاب تصفیه شده	۱/۵۷	A

فهرست منابع:

۱. اسلامیان، سید سعید. بدری حجارزاده، سید علیرضا گوهری و محمد جواد زارعیان (۱۳۸۶)."تأثیر استفاده از پساب فاضلاب در خاکهای زراعی شهرستان نجف آباد". دهمین کنگره علوم خاک ایران، کرج، شهریور ۱۳۸۶.

۲. احسانی، مهرزاد. هومن خالدی و حسن رحیمی (۱۳۸۵)."ارتقای بهره وری آب کشاورزی با هدف تأمین امنیت آبی و غذایی کشور". فصلنامه فرهنگستان علوم، بهار ۱۳۸۵.

۳. تقواییان، صالح. امین علیزاده و شهناز دانش (۱۳۸۶)."تأثیر کابرد فاضلاب در آبیاری بر خصوصیات فیزیکی و برخی خصوصیات شیمیایی خاک". مجله آبیاری و زهکشی، جلد اول، شماره ۱، صفحات (۴۹-۶۱).

۴. حسن اقلی، علیرضا. مهدی میراب زاده و عبدالمجید لیاقت (۱۳۸۱)."استفاده از فاضلابهای خانگی و پساب تصفیه خانه ها در آبیاری محصولات کشاورزی و تغذیه مصنوعی سفره های آبهای زیر زمینی". رساله برای دریافت درجه دکترا، دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران.

۵. رنگ زن، نفیسه. خوشناز پاینده و احمد لندی (۱۳۸۵)."بررسی کیفیت پساب بر انباشت عناصر سنگین در دو گیاه سورگوم و شبدر". همایش خاک، محیط زیست و توسعه پایدار، کرج، ۱۷ و ۱۸ آبان ۱۳۸۵.

۶. زادهوش، عادل. حسین فرداد (۱۳۷۵)."بررسی اثرات آبیاری با پساب بر خاک و گیاه". پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران.

۷. عباسی، فریبرز (۱۳۸۶)."فیزیک خاک پیشرفته". انتشارات دانشگاه تهران، چاپ اول.

۸. فرشی، علی اصغر. محمد رضا شریعتی، رقیه جار اللهی، محمد رضا قائمی، مهدی شهابی فر و میر مسعود تولائی (۱۳۷۶)."برآورد آب مورد نیاز گیاهان عمده زراعی و باغی کشور". جلد اول، گیاهان زراعی، نشر آموزش کشاورزی وابسته به معاونت آموزش و تجهیز نیروی انسانی سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ۱۳۷۶.

۹. نوری، فتحعلی. رضا عزیزی نژاد، مصطفی آقایی، محمدرضا فرهادی، محسن فرشادفر و علی نوری (۱۳۸۵)." کاربرد SPSS در پژوهشهای کشاورزی". نشر آموزش کشاورزی، چاپ اول، کرج، ۱۳۸۵.

10. Aiello, R., G.L. Cirelli., S.Consoli. 2007. Effects of reclaimed wastewater irrigation on soil and tomato fruits: A case study in Sicily(Italy). J. Agricultural Water Management. 93. pp.65-72
11. Dawes, L. 2004. Assessing changes in soil physical and chemical properties under long term effluent disposal. Proceeding of the Tenth National Symposium on

Individual and Small Community Sewage System: pp 349-357, Sacremento. California. USA.
12. FAOSTAT. 2005. FAOSTAT statistical database. Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations. Available at www.faostat.fao.org.
13. Khaleel, R., K.R. Reddy., and M.R. Overcash. 1981. Changes in soil physical properties due to organic waste applications: A review. Journal of Environmental Quality. Vol 10. No. 2. p133-141.
14. IWMI. 2000. World Water Supply and Demand: 1990 to 2025. International Water Management Institute. Colombo. Stri Lanka.
15. Levy, G.J., A. Rosenthal., I. Shainberg., J. Tarchitzky., and Y. Chen. 1999. Soil hydraulic conductivity changes caused by irrigation with reclaimed waste water. Journal of Environmental Quality. 28: 1658-1664.
16. Levy, G.J., P. Fine., and A. Bar-tal. 2011. Treated Wastewater in Agriculture: Use and Impacts on the Soil Environment and Crops. 1st Edition. Wiley-Blackwell, Inc. ISBN 978-1-4051-4862-7.
17. Magesan, G.N. 2001. Changes in soil physical properties following irrigation of municipal wastewater on two forested soils. New Zealand J. Forestry Sci. 31: 188-195.
18. Mathan, K.K. 1994. Studies of the influence of long-term municipal sewage-effluent irrigation on soil physical properties. Bioresource Technology. Vol 48. Issue 3: 275-276.
19. Saber, M.S.M. 1986. Prolonged effect of land disposal of human wastes on soil conditions. Water Science and Technology. Vol 18. No.7-8. pp 371-374.