Archive of SID

مجله دانش آب و خاک/ جلد 21 شماره 2/ سال 1390

تغییرات پارامترهای هیدرولیکی و نفوذ غیراشباع آب به خاک تحت تأثیر کاربرد فاضلاب در کشت سیب‌زمینی در شرایط لایسیمتری

نصرالدین پارسافر[1]، صفر معروفی[2*]، محمدرضا مصدقی[3]، قاسم رحیمی[4]، محمدباقر فرهنگی[5]

تاریخ دریافت:90/1/21 تاریخ پذیرش: 90/3/25

1- دانشجوی کارشناسی‌ارشد، گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا

2- دانشیار، گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا

3- دانشیار، گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

4- استادیار، گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا

5- دانشجوی دکترای خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا

* مسئول مکاتبه : E-mail: smarofi@yahoo.com

چکیده

در این پژوهش از فاضلاب خام و تصفیه‌شده به منظور کشت سیب‌زمینی در شرایط لایسیمتری استفاده شد. برای این منظور پنج تیمار آبیاری شامل فاضلاب خام، فاضلاب تصفیه‌شده، آب معمولی، ترکیب 50 درصد فاضلاب خام و آب معمولی، و ترکیب50 درصد فاضلاب تصفیه‌شده و آب معمولی به کار گرفته شد. آزمایش در شرایط گلخانه‌ای اجراء گردید. پس از ساخت و آماده‌سازی، لایسیمترها با یک خاک دو لایه که به ترتیب از بالا به پائین دارای بافت لوم‌شنی و لوم رسی‌شنی بودند، گردید. برای بازسازی شرایط و ساختمان طبیعی و گسترش منافذ درشت و مسیرهای ترجیحی در نیم‌رخ خاک، لایسیمترها به مدت پنج ماه به طور هفتگی، پیش از کشت آبیاری شدند. در طی فصل رشد هشت آبیاری، با فواصل یازده روزه انجام گرفت. نفوذ آب به خاک در شروع و پایان فصل رشد به کمک نفوذسنج دیسکی اندازه‌گیری شد. جهت بررسی اثر کاربرد فاضلاب بر برخی از ویژگی‌های فیزیکی خاک مانند هدایت هیدرولیکی و نفوذ آب، ابتداء کارایی روش‌های عددی (نرم‌افزار DISC) و تحلیلی (وودینگ) در برآورد هدایت هیدرولیکی اشباع در مقایسه با روش بار ثابت مورد ارزیابی قرار گرفت، روش عددی (نرم‌افزار DISC) دقت بیش‌تری را بدین منظور داشت. نتایج نشان داد که مقادیر هدایت هیدرولیکی اشباع و شدت نفوذ ماندگار آب در دو مکش 5 و 10 سانتی‌متر در همه تیمارهای آب آبیاری، نسبت به مقدار اولیه آنها افزایش یافت. این افزایش در لایسیمترهای تحت آبیاری با نسبت‌های مختلف فاضلاب، بیش‌تر از لایسیمتر آبیاری شده با آب معمولی بود. بیشترین افزایش شدت نفوذ ماندگار و هدایت هیدرولیکی اشباع خاک به ترتیب در تیمارهای فاضلاب خام و ترکیب فاضلاب تصفیه‌شده و آب معمولی مشاهده گردید. کم‌ترین میزان افزایش نیز در تیمار آب معمولی ثبت گردید. همچنین بیش‌ترین تغییرات ضرایب مدل ونگنوختن در تیمار ترکیب فاضلاب تصفیه شده و آب معمولی و کم‌ترین آن‌ها (به استثناء θ_s) در تیمار آب معمولی (شاهد) مشاهده گردید.

واژه‌های کلیدی: روش وودینگ، کاربرد فاضلاب، کشت سیب‌زمینی، نرم‌افزارDISC، نفوذ غیراشباع، هدایت هیدرولیکی

www.SID.ir

Archive of SID

Variation of Soil Hydraulic Parameters and Unsaturated Water Infiltration Due to Wastewater Application Under Potato Plantation in Lysimeters

N Parsafar[1], S Marofi[2*], MR Mosaddeghi[3], G Rahimi[4] and MB Farhangi[5]

Received: 10 April 2011 Accepted: 15 June 2011
[1]MSc. Student, Dept. of Irrigation, Faculty of Agric., Bu-Ali Sina Univ., Iran
[2]Assoc. Prof., Dept. of Irrigation, Faculty of Agric., Bu-Ali Sina Univ., Iran
[3]Assoc. Prof., Dept. of Soil Sci., Faculty of Agric., Isfahan Univ. of Technology, Iran
[4]Assit. Prof., Dept. of Soil Science, Faculty of Agric., Bu-Ali Sina Univ., Iran
[5]PhD Student, Dept. of Soil Science, Faculty of Agric., Bu-Ali Sina Univ., Iran
*Corresponding author: E-mail: smarofi@yahoo.com

Abstract

In this study, raw and treated wastewaters were used for potato cultivation in lysimeters. Five irrigation water treatments were included as: raw wastewater, treated wastewater, fresh water, a combination of 50% raw wastewater and 50% fresh water and a combination of 50% treated wastewater and 50% fresh water. The experiments were run within greenhouse during a period of four months. After construction and preparation of the lysimeters, they were filled with a two-layered soil. The textures of the upper and lower soil layers were sandy loam and sandy clay loam, respectively. In order to create the structure and conditions of the natural soil and develope macropores and preferential pathways, lysimeters were irrigated systematically each week during a period of five months before plantation. A total of eight irrigation programs with an interval of eleven-days were applied during the growth season. Unsaturated water infiltration into the soil was measured using a disk infiltrometer at the beginning and at the end of growth season. In order to evaluate the irrigation effects on soil physical properties, DISC Software (numerical) and Wooding (analytical) methods were employed to analyze the infiltration data. The results of saturated hydraulic conductivity were compared with direct measurements of the constant-head method, in which the numerical method (DISC software) was identified as the best method. The results showed that in all treatments, the saturated hydraulic conductivity and steady-state infiltration rate at matric suctions 5 and 10 cm increased after irrigations when compared with the initial values. Result also indicated that the unsaturated hydraulic conductivity and steady-state infiltration rate increased significantly in the wastewater treatments compared to the fresh water. Also, the maximum values of the steady-state infiltration rate and saturated hydraulic conductivity were observed in the raw wastewater and the combination of treated wastewater and fresh water treatments. The minimum value also belonged to fresh water treatment. Moreover, the highest changes in θ_s, α_{VG} and n_{VG} were recorded in the combined fresh water-treated wastewater treatment. The lowest variations of these parameters (except θ_s) were observed in fresh water treatment.

Key words: DISC Software, Hydraulic conductivity, Potato cultivation, Unsaturated infiltration, Wastewater use, Wooding's method

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

رشد روز افزون جمعیت جهان، همگام با گسترش فعالیت‌های کشاورزی و صنعتی از یک سو و خشکسالی‌های پی در پی در اکثر کشورهای واقع در کمربند مناطق خشک از سوی دیگر موجب شده است که در سال‌های اخیر تقاضا برای مصرف آب افزایش یابد و در نتیجه فشار بیش از اندازه به منابع آب وارد گردد. از طرف دیگر، توسعه شهرنشینی و صنعتی‌شدن سبب گردیده همه ساله بخش قابل توجهی از منابع آب، به علت تغییر کیفیت آنها، از چرخه مصرف خارج شوند که نمونه بارز آن فاضلاب‌های شهری می‌باشد. با توجه به حجم عظیم فاضلاب‌های تولیدی در بخش‌های مختلف، تلاش برای دست‌یابی به شیوه‌های مناسب معرف آن‌ها ضرورت می‌یابد. پژوهش‌های انجام‌شده نشان داده‌اند که دفع فاضلاب خام در محیط، زیان‌های بهداشتی و زیست محیطی گوناگونی را به دنبال خواهد داشت (شوال و همکاران 1986).

وین‌تن و همکاران (1983) اثر مواد جامد معلق را بر هدایت هیدرولیکی سه خاک شنی، لوم شنی و سیلتی لومی مورد بررسی قرار دادند. نتایج به دست آمده نشان داد که کاهش هدایت هیدرولیکی اشباع (K_s) بیش‌تر در خاک سیلتی لومی رخ داده است که ناشی از تجمع ذرات جامد در سطح خاک می‌باشد. ولی در خاک شنی، رسوب کم ذرات جامد و تغییر اندک در هدایت هیدرولیکی اشباع مشاهده گردید. صابر (1986) با بررسی اثرات درازمدت آبیاری با فاضلاب بر وضعیت خاک در منطقه قاهره مصر، به این نتیجه رسید که هر یک از فلزات سنگین می‌تواند به اندازه چشم‌گیری در خاک انباشته شوند.

جوارکار و همکاران (1987) با بررسی اثر تفاله و فاضلاب کاغذ بر خاک و گیاه مشاهده نمودند که استفاده از فاضلاب اثر چشم‌گیری بر ویژگی‌های هیدرولیکی خاک ندارد. واندیوایور و همکاران (1992) دریافتند که باکتری‌های هوازی سبب کاهش هدایت هیدرولیکی اشباع می‌شوند که این کاهش غالباً در نزدیکی سطح خاک که مواد مغذی وجود دارد رخ می‌دهد. اگلیدز و لوندرا (2000) اثر ترکیب فاضلاب شهری و لجن فاضلاب را بر ویژگی‌های فیزیکی دو نمونه خاک رسی و لومی در یونان بررسی کرده و نشان دادند که ویژگی‌های فیزیکی خاک‌های مورد بررسی در اثر کاربرد این مواد تا حدود زیادی بهبود یافته‌اند. آنها دریافتند که با افزایش کاربرد ترکیب لجن فاضلاب و فاضلاب شهری، هدایت هیدرولیکی اشباع خاک نیز افزایش می‌یابد.

کپلا و همکاران (2004) در یک طرح آزمایشی برای بررسی اثر کاربرد فاضلاب تصفیه‌شده بر رفتار خاک، مشاهده کردند که تشکیل یک لایه تخریبی در سطح خاک باعث کاهش حجم منافذ، گنجایش نگهداشت آب و هدایت هیدرولیکی خاک شد. در انتهای آزمایش پس از بررسی‌های میکرومورفولوژیکی انسداد منافذ را ناشی از تجمع ذرات جامد معلق فاضلاب، رشد فعالیت‌های میکروبی روی دیواره‌های منافذ، انسداد منافذ بعلت وجود مواد ژله‌ای غیرآلی که از تجزیه کلسیم و واکنش آن با سیلیکون موجود در فاضلاب حاصل شده بود، فروپاشی منافذ درشت و رسوب کربنات کلسیم در pH زیاد دانستند.

ولی‌نژاد و همکاران (1381) در پژوهشی در مورد کاربرد پساب تصفیه‌شده منطقه شاهین‌شهر اصفهان برای آبیاری ذرت، به این نتیجه رسیدند که استفاده از پساب اثر معنی‌داری بر افزایش سرعت نفوذ نهایی آب در خاک، در مقایسه با کاربرد آب چاه داشته است. عابدی کوپایی و همکاران (2006) نشان دادند که هدایت هیدرولیکی خاک (رسی و رسی سیلتی) در اثر آبیاری با فاضلاب تصفیه‌شده شهری تغییر معنی‌داری نداشته، ولی در اثر آبیاری با آب زیرزمینی، کاهش معنی‌داری از خود نشان داده است. حسن‌اقلی و همکاران (1384) با کاربرد فاضلاب خانگی و پساب تصفیه‌شده شهرک اکباتان تهران برای آبیاری گوجه فرنگی، جعفری و هویج نشان دادند که کاربرد دو ساله انواع آب آبیاری و کشت سبزیجات، موجب افزایش هدایت هیدرولیکی اشباع خاک در مقایسه با میزان اولیه آن گردید. همچنین قلمباز و همکاران (1387) در بررسی اثر آبیاری با پساب صنعتی مجتمع فولاد خوزستان نتیجه گرفتند که آبیاری با این پساب نسبت به آب رودخانه کارون باعث کاهش معنی‌دار هدایت هیدرولیکی اشباع خاک لومی و لوم رسی می‌گردد.

در این پژوهش تاثیر فاضلاب‌های خام و تصفیه‌شده بر میزان تغییرات هدایت هیدرولیکی و شدت نفوذ غیراشباع آب به خاک، تحت کشت سیب‌زمینی بررسی گردید. همچنین با توجه به اینکه در پژوهش‌های مشابه پیشین، علاوه بر اثر فاضلاب تصفیه شده، تا حدی فاضلاب خام نیز مورد بررسی قرار گرفته است، لذا

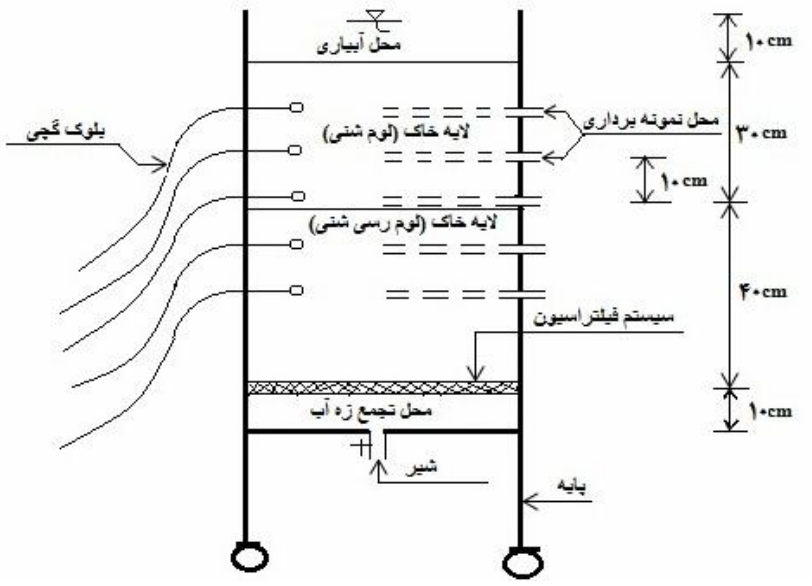
www.SID.ir

Archive of SID

سعی گردید که تیمارهای مربوطه علاوه بر این دو نوع فاضلاب، ترکیب‌های مختلف آنها با آب معمولی را نیز در بر گیرد. همچنین ویژگی‌های هیدرولیکی خاک، بر اساس دو روش تحلیلی وودینگ و عددی (نرم‌افزار DISC) محاسبه و مقایسه شدند. با توجه به اهمیت سیب‌زمینی در استان همدان و سطح وسیع زیر کشت آن که مقام نخست را در سال‌های اخیر در امر تولید محصول به خود اختصاص داده است (بی‌نام 1388)، گیاه مذکور به منظور حصول اهداف پژوهش انتخاب گردید.

مواد و روش‌ها

جهت اجرای این پژوهش پنج تیمار آبیاری شامل سه تیمار اصلی (فاضلاب خام، فاضلاب تصفیه‌شده و آب معمولی) و دو تیمار ترکیبی (ترکیب فاضلاب خام و آب معمولی به نسبت 50 درصد و ترکیب فاضلاب تصفیه‌شده و آب معمولی به نسبت 50 درصد) به کار گرفته شد. در اجرای این پژوهش به منظور کنترل هر چه مطلوب‌تر کلیه عوامل موثر، از لایسیمتر استفاده گردید. تعداد 5 عدد لایسیمتر استوانه‌ای فلزی (عایق-بندی‌شده) حجمی با ظرفیت 220 لیتر (قطر 60 سانتی-متر و ارتفاع 90 سانتی‌متر) استفاده شد. جهت زه‌کشی آب موجود در قسمت پائین لایسیمترها از سیستم زهکشی ویژه‌ای استفاده شد و زه‌آب‌ها در محفظه مخصوصی که بدین منظور تعبیه شده بود جمع‌آوری گردید. در شکل 1 شمایی کلی از لایسیمتر مورد استفاده نشان داده شده است. آزمایش‌ها در گلخانه دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی‌سینا انجام شد.



شکل1- شمایی از لایسیمتر و لایه‌های خاک به کار رفته در پژوهش

پس از طراحی، ساخت و استقرار لایسیمترها در مکان مورد نظر، برای شبیه‌سازی شرایط واقعی خاک-های منطقه، پر نمودن آنها در طی چند مرحله و به تدریج صورت گرفت تا تراکم خاک لایسیمترها در حد شرایط طبیعی منطقه صورت گیرد. به منظور ایجاد شرایط یکنواخت در خاک مورد نظر و جداسازی ذرات درشت‌دانه آن، خاک از الک با اندازه سوراخ یک سانتی-متر عبور داده شد (حسین‌پور و همکاران 1386). ضمناً با توجه به خاک منطقه، خاک مورد استفاده دارای دو لایه رویین (30-0 سانتی‌متر) با بافت لومی شنی و زیرین (70-30 سانتی‌متر) با بافت لوم رسی شنی بود که این توالی و ضخامت لایه‌ها در هنگام پرنمودن لایسیمترها مد نظر قرار گرفت. در نهایت کلیه لایسیمترها تا ارتفاع تقریبی 10 سانتی‌متر پایین‌تر از لبه

www.SID.ir

Archive of SID

جدول 1- کلاس بافت و درصد ذرات اولیه خاک

لایه خاک (سانتی‌متر)	بافت خاک	شن (درصد)	سیلت (درصد)	رس (درصد)
0-30	لوم شنی	60/77	20/26	18/97
30-70	لوم رسی شنی	52/56	21/92	25/52

فوقانی، بر اساس چگالی ظاهری 1/41 گرم بر سانتی-متر مکعب از خاک پر شدند. در جدول 1 بافت و درصد ذرات اولیه خاک در دو لایه 0-30 و 30-70 سانتی-متری ارائه شده است. شایان ذکر است که بافت خاک به روش هیدرومتری تعیین گردید.

پس از استقرار خاک در لایسیمترها (مهر ماه 1388)، جهت جلوگیری از شستشوی خاک عملیات آبیاری با آب معمولی، به روش آبیاری سطحی و با استفاده از یک آبپاش دستی بدون کشت گیاه بطور منظم و پیوسته (هفتگی) در طی یک بازه زمانی پنج ماهه اجراء گردید. تا شرایط و ساختمان طبیعی بازسازی شده و منافذ درشت و مسیرهای ترجیحی در خاک ایجاد گردند. عملیات آبیاری لایسیمترها با توجه به شرایط رطوبتی خاک که توسط بلوک‌های گچی کنترل می‌شد، به طور متوسط هر 11 روز یکبار انجام گرفت. دامنه رطوبتی خاک در هر آبیاری بین FC (پس از آبیاری) و PWP (پیش از آبیاری بعدی) متغیر بود. بر اساس اندازه‌گیری انجام شده، حدود رطوبتی FC و PWP لایه رویین به ترتیب 18/6 و 6/6 درصد حجمی بودند. و به طور متوسط در رطوبت 10 درصد آبیاری صورت گرفت.

پس از نشست خاک و بازسازی ساختمان خاک، کشت سیب‌زمینی و اعمال تیمارهای اصلی آبیاری انجام گرفت. در اسفند 1388 غده‌های سیب‌زمینی (رقم مارفونا) به فاصله مساوی از هم و در عمق 10 سانتی-متری در هر لایسیمتر کشت گردیدند. برای هر دوره آبیاری، فاضلاب تصفیه‌خانه شهر سرکان (بصورت خام و تصفیه‌شده و بطور جداگانه از فاصله 85 کیلومتری همدان) به مکان اجرای پژوهش حمل گردید. و بلافاصله عملیات آبیاری صورت گرفت. حجم آب استفاده‌شده در هر مرحله در حدود 30 الی 35 لیتر بود و در مجموع هشت آبیاری، در تیمارها صورت گرفت.

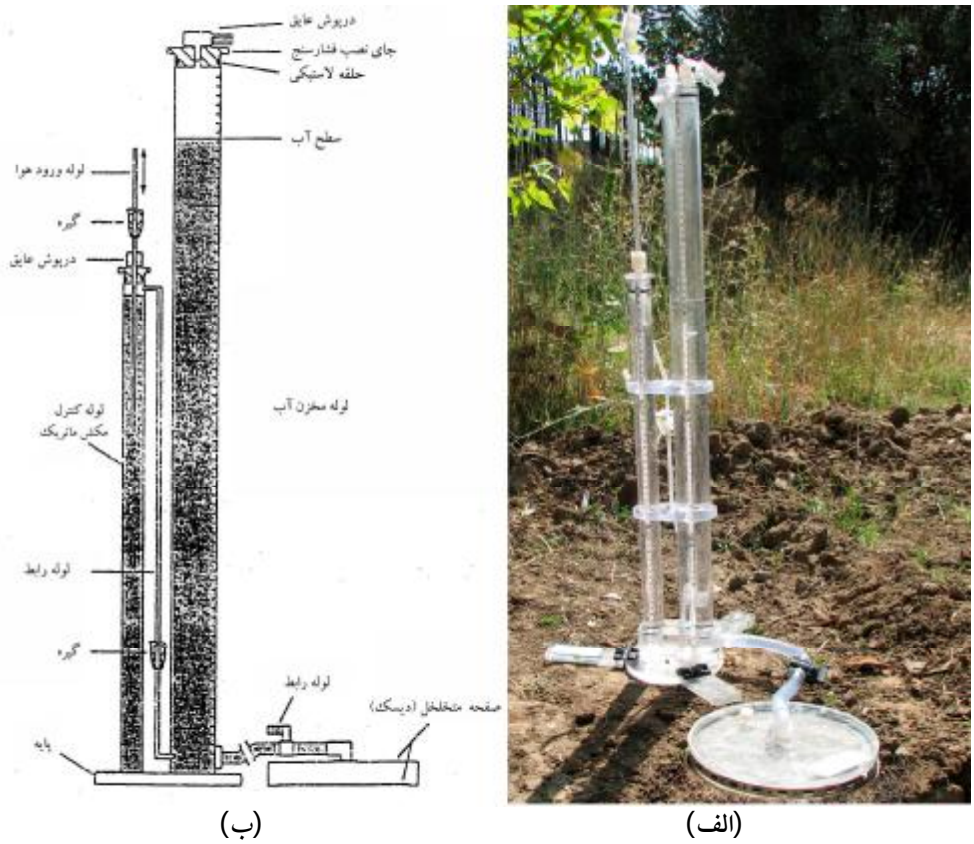
اندازه‌گیری نفوذ غیراشباع آب به خاک و برآورد پارامترهای هیدرولیکی خاک

در این پژوهش به منظور اندازه‌گیری پارامترهای هیدرولیکی خاک از روش‌های زیر استفاده گردید. داده‌های اولیه میدانی با استفاده از نفوذسنج دیسکی (مکشی)[1] جمع‌آوری شده و مقادیر هدایت هیدرولیکی و نفوذ آب به خاک توسط نرم‌افزار DISC و همچنین روش وودینگ تعیین گردید. بدین منظور از دستگاه نفوذسنج دیسکی (مکشی) که معمولاً برای اندازه‌گیری سرعت نفوذ در شرایط غیراشباع بکاربرده می‌شود، استفاده گردید. نفوذسنج دیسکی (با قطر دیسک 200 میلی‌متر) مورد استفاده در شکل 2 ارائه گردیده است. آزمایش در دو مکش ماتریک متوالی 10 و 5 سانتی‌متر انجام گرفت. بدین منظور ابتدا از شرایط رطوبتی اولیه (پیش از شروع آزمایش) خاک لایسیمترها نمونه‌برداری گردید و سپس نفوذ آب در خاک، در بازه-های زمانی سی‌ثانیه‌ای قرائت گردید. برداشت داده‌ها تا زمانی که نفوذ آب در خاک در هر مکش ماتریک ثابت گردد، ادامه یافت و بلافاصله پس از پایان آزمایش، نمونه خاک زیر دیسک برای تعیین مقدار رطوبت نهایی (نظیر مکش ماتریک 5 سانتی‌متر) برداشت گردید.

[1] Tension infiltrometer

www.SID.ir

Archive of SID



(ب) (الف)

شکل 2- دستگاه نفوذسنج مکشی، الف) دستگاه استفاده شده در این پژوهش و ب) نمای شماتیکی آن (*Soil Measurement Systems LLC, Tucson, Arizona*)

روش عددی نرم‌افزار DISC

نرم‌افزار DISC به کمک داده‌های اندازه‌گیری‌شده از نفوذسنج دیسکی شامل داده‌های نفوذ در بازه‌های زمانی، رطوبت خاک در شروع و پایان داده‌برداری، پارامترهای هیدرولیکی خاک را برآورد می‌نماید. این نرم‌افزار شامل برنامه ساده‌شده HYDRUS-2D می‌باشد. همچنین مبنای نرم‌افزار DISC جهت برآورد جریان اشباع و غیر اشباع، حل معادلهٔ ریچاردز می‌باشد که در آن شرایط همسان گردی برای خاک در نظر گرفته می‌شود، اما همگن‌بودن خاک، ضرورتاً جزء شرایط اولیه نیست (سیمونک و همکاران 1998). شایان ذکر است که در نرم‌افزار مذکور از مدل هدایت هیدرولیکی خاک ون‌گنوختن-معلم (1980) استفاده شده است.

روش تحلیلی وودینگ جهت محاسبه هدایت هیدرولیکی خاک

وودینگ (1968) برای جریان ماندگار آب که از یک منبع تغذیهٔ دایره‌ای با شعاع r_o وارد خاک می‌شود، رابطه زیر را ارائه کرد:

$$= K_{wet}\left[1+\frac{4\lambda_c}{\pi r_0}\right] \qquad [1]$$

$$q = K_{wet} + K_{wet}\frac{4\lambda_c}{\pi r_0}$$

که در این رابطه q شدت جریان (LT^{-1})، r_o شعاع دیسک نفوذسنج (L)، K_{wet} هدایت هیدرولیکی نظیر پتانسیل ماتریک اعمال‌شده توسط دستگاه (h_{wet}) در سطح خاک (LT^{-1}) و λ_c طول منافذ درشت مویینه (L) می‌باشند. λ_c با α ارتباط عکس دارد که α شیب تغییر هدایت هیدرولیکی در برابر مکش ماتریک خاک است. در

www.SID.ir

Archive of SID

خاک‌های رسی نیروهای مویینه‌ای غالب بوده و α کوچک است و در خاک‌های شنی به دلیل ناچیزبودن نیروی مویینه‌ای مقدار α بزرگ می‌باشد (کرکام 2005). در سمت راست رابطه (1) عبارت اول نقش نیروی ثقل و عبارت دوم نقش نیروی مویینه‌ای را در فرآیند نفوذ آب به خاک نشان می‌دهد. وودینگ (1968) خاک را یکنواخت، همگن و غیرمنبسط‌شونده فرض کرد که مدل نمایی هدایت هیدرولیکی گاردنر (1958) برای آن صادق باشد:

$$K_{wet} = K_s \, exp\left(\frac{h}{\lambda_c}\right) \qquad [۲]$$

$$K_{wet} = K_s \, exp(ah) \qquad [۳]$$

که در این رابطهh پتانسیل ماتریک و K_s هدایت هیدرولیکی اشباع خاک است.

انکنی و همکاران (1991) به طور غیرمستقیم $K(h)$ را به دست آوردند. در این روش از یک دستگاه استفاده شده و دو مکش ماتریک اعمال‌شد. اساس کار این روش رابطه وودینگ (رابطه 1) و مدل نمایی گاردنر (رابطه 2) است. با قرار دادن دو مکش ماتریک h_1 و h_2 در مدل گاردنر $K(h_1)$ و $K(h_2)$ به دست می‌آیند و با قراردادن مدل گاردنر در رابطه وودینگ دو شدت جریان $q(h_1)$ و $q(h_2)$ محاسبه می‌شوند:

$$q(h_1) = K_s \, exp\left(\frac{h_1}{\lambda_c}\right)\left[1+\frac{4\lambda_c}{\pi r_0}\right] \qquad [4]$$

$$q(h_2) = K_s \, exp\left(\frac{h_2}{\lambda_c}\right)\left[1+\frac{4\lambda_c}{\pi r_0}\right] \qquad [5]$$

با تقسیم رابطه 5 به رابطه 4 خواهیم داشت:

$$\frac{1}{l_c} = \frac{Ln[q(h_2)/q(h_1)]}{h_2 - h_1} \qquad [6]$$

با داشتن مکش‌های h_1 و h_2 و اندازه‌گیری شدت جریان ماندگار نظیر مکش‌های ماتریک $q(h_1)$ و $q(h_2)$، λ_c به دست می‌آید. با داشتن λ_c می‌توان از هر کدام از روابط 4 و 5، Ks را محاسبه کرد. با داشتن λ_c و K_s، می‌توان از رابطه گاردنر (رابطه 2) هدایت هیدرولیکی غیراشباع را در هر مکش ماتریک به دست آورد. لازم به ذکر است که هدایت هیدرولیکی اشباع محاسبه‌شده به کمک این روش می‌تواند با نتایج روش‌های مستقیم (نظیر بار ثابت و افتان) آن تفاوت داشته باشد. یکی از دلایل این تفاوت، می‌تواند غیرخطی‌بودن تغییرات هدایت هیدرولیکی غیراشباع (در یک مکش ماتریک مشخص) در ناحیه نزدیک اشباع باشد.

روش بار ثابت

جهت مقایسه کارایی دو روش نرم‌افزار DISC و وودینگ در برآورد هدایت هیدرولیکی اشباع خاک، از روش استاندارد بار ثابت استفاده گردید (کلوت و دیرکسن 1986). بدین منظور چند نمونه دست‌نخورده از خاک لایسمترها تهیه گردید و پس از اشباع‌نمودن از زیر، در شرایط آزمایشگاه مورد اندازه‌گیری قرار گرفتند. آزمایش نفوذ آب به خاک و اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی به روش بار ثابت در ابتدا و پایان دوره فصل کشت (اعمال تیمارها) انجام شد و نتایج مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

تحلیل نتایج

در این تحقیق به منظور مقایسه داده‌های به دست آمده از روش‌های وودینگ، نرم افزار DISC و مقایسه آنها با روش بار ثابت، مقایسه میانگین‌ها توسط آزمون دانکن و نرم‌افزار SAS 9.1 صورت گرفت. ضمناً معنی-داری در سطح پنج درصد ($p < 0.05$) در نظر گرفته شد.

نتایج و بحث

ارزیابی روش‌های به کاربرده‌شده برای برآورد هدایت هیدرولیکی خاک

در جدول 2 نتایج آزمایش نفوذ آب به خاک بر اساس روش وودینگ (با استفاده از روابط 1 تا 6) در ابتدا و پایان دوره فصل کشت (اعمال تیمارها) و همچنین در جدول 3 مقایسه میانگین هدایت هیدرولیکی

www.SID.ir

Archive of SID

اشباع (K_s) به دست آمده بر اساس سه روش مورد نظر در طول دوره مذکور ارائه گردیده است. نتایج مذکور بیان‌گر آن است که مقادیر هدایت هیدرولیکی اشباع (K_s) به دست آمده از روش وودینگ تفاوت چشم‌گیری با K_s به دست آمده از نرم‌افزار DISC داشته است. در روش وودینگ، ایجاد شرایط ماندگاری جریان و همچنین شرایط همگنی و همسان‌گردی در خاک از اهمیت بسزایی برخوردار است (وودینگ 1968). زمان رسیدن جریان به حالت ماندگار بستگی به بافت خاک، اندازه دیسک نفوذسنج و مکش ماتریک اعمال‌شده بر سطح خاک دارد، در حالیکه در حل عددی معادلهٔ ریچاردز که مبنای نرم‌افزار DISC می‌باشد، شرایط همسان‌گردی برای خاک در نظر گرفته می‌شود، اما همگن‌بودن خاک، ضرورتاً جزء شرایط اولیه نیست (سیمونک و همکاران 1998). افزون بر این مدل هدایت هیدرولیکی خاک در روش وودینگ، مدل نمایی گاردنر (1958) است که در 5 مدل بررسی‌شده توسط لیج و همکاران (1996) در بانک دانسته‌های هیدرولیکی خاک UNSODA جزء مدل‌های ناموفق ذکر شده است. در حالیکه در نرم‌افزار DISC از مدل انعطاف‌پذیر هدایت هیدرولیکی ون‌گنوختن-معلم (1980) استفاده شده است. همچنین اندازه‌گیری مستقیم K_s با روش بار ثابت و مقایسه آن با دو روش نرم‌افزار DISC و وودینگ، بیان‌گر آن است که روش نرم‌افزار DISC اختلاف کم‌تری (به طور میانگین 11 درصد) با داده‌های روش بار ثابت داشته است. ضمناً بر اساس آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری (در سطح پنج درصد) بین روش‌های بار ثابت و نرم‌افزار DISC مشاهده نگردید در حالی‌که بین روش وودینگ و دو روش دیگر اختلاف معنی‌دار وجود داشته است (جدول 3). بنابراین با توجه به موارد ذکر شده، در این پژوهش به منظور بررسی اثر فاضلاب بر ویژگی‌های هیدرولیکی خاک مورد بررسی، از نتایج بدست‌آمده از نرم‌افزار DISC به منظور تحلیل داده‌ها استفاده گردید.

جدول 2- نتایج آزمایش نفوذ آب در خاک به دست آمده از روش وودینگ در هنگام شروع و پایان فصل کشت

تیمارها	h^* (cm)	$K(h)$ (cm/s)		α (cm^{-1})		K_s (cm/s)	
		شروع	پایان	شروع	پایان	شروع	پایان
فاضلاب خام	10	0/005	0/014	0/133	0/132	0/018	0/052
	5	0/009	0/027	0/133	0/132	0/018	0/052
فاضلاب تصفیه‌شده	10	0/004	0/008	0/064	0/065	0/008	0/016
	5	0/006	0/012	0/064	0/065	0/008	0/016
ترکیب فاضلاب خام و آب معمولی	10	0/008	0/025	0/124	0/147	0/026	0/109
	۵	۰/۰۱۴	۰/۰۵۲	۰/۱۲۴	۰/۱۴۷	۰/۰۲۶	۰/۱۰۹
ترکیب فاضلاب تصفیه‌شده و آب معمولی	10	0/003	0/011	0/064	0/063	0/006	0/02
	5	0/005	0/015	0/064	0/063	0/006	0/02
آب معمولی	10	0/009	0/011	0/111	0/111	0/027	0/034
	5	0/015	0/020	0/111	0/111	0/027	0/034

h^* مکش ماتریک، $K(h)$ هدایت هیدرولیکی غیراشباع نظیر هر مکش ماتریک، α شیب تغییر هدایت هیدرولیکی در برابر مکش ماتریک و K_s هدایت هیدرولیکی اشباع خاک.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول 3- مقایسه میانگین مقادیر هدایت هیدرولیکی اشباع خاک محاسبه شده از روش‌های وودینگ، نرم‌افزار DISC و بار ثابت

روش	بار ثابت	نرم‌افزار DISC	وودینگ
میانگین (cm/s)	0/0024[b*]	0/0021[b]	0/046[a]

*میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک می‌باشند، در سطح 5 درصد آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری ندارند.

اثر کاربرد فاضلاب بر پارامترهای هیدرولیکی خاک

مقادیر پارامترهای هیدرولیکی خاک، تحت شرایط تیمارهای مورد نظر که توسط نرم‌افزار DISC محاسبه شده‌اند، در جداول 4 و 5 ارائه است. شایان ذکر است که در این پژوهش تنها به بررسی تغییرات پارامترهایی مانند K_s، n، α و θ_S در طول دوره کشت سیب‌زمینی و تحت شرایط تیمارهای مختلف آبیاری پرداخته‌شده است که ذیلاً مورد بحث قرار گرفته‌اند.

هدایت هیدرولیکی اشباع خاک (K_s)

نتایج به دست آمده از نرم‌افزار DISC نشان‌دهنده آن است که هدایت هیدرولیکی اشباع خاک در همه تیمارهای آب آبیاری، نسبت به مقدار اولیه آنها افزایش یافته است. این افزایش در لایسیمترهای تحت آبیاری با نسبت‌های مختلف فاضلاب، بیش‌تر از لایسیمتر آبیاری-شده با آب معمولی بوده است (جدول 5). همچنین بهبود نفوذ آب در خاک ناشی از کاربرد فاضلاب به ویژه در خاک‌های درشت‌بافت لزوماً به مفهوم افزایش هدرروی آب در اثر نشت عمقی نیست بلکه این اثر ناشی از اثر فاضلاب بر لایه‌های رویین است. چه بسا کاربرد فاضلاب سبب افزایش نفوذپذیری خاک رویین (کاهش رواناب) و افزایش ذخیره آبی خاک شود. حسن‌اقلی و همکاران (1384) نیز افزایش هدایت هیدرولیکی اشباع خاک را در نتیجه تیمارهای فاضلاب گزارش کردند. اگلیدز و لوندرا (2000) دریافتند که با افزایش کاربرد ترکیب لجن فاضلاب و فاضلاب شهری، هدایت هیدرولیکی اشباع خاک (خاک‌هایی با بافت رسی و لومی) نیز افزایش می‌یابد. مباگو (1992) نشان داد که افزودن مواد آلی حاصل از آبیاری با فاضلاب با خاک لومی رسی شنی به طور معنی‌داری منافذ درشت و هدایت هیدرولیکی اشباع را افزایش داد. در حالی‌که کپلا و همکاران (2004) در بررسی اثر کاربرد فاضلاب تصفیه‌شده بر رفتار خاک، مشاهده کردند که تشکیل یک لایه تخریبی در سطح خاک باعث کاهش هدایت هیدرولیکی خاک شده است.

بیش‌ترین افزایش هدایت هیدرولیکی اشباع خاک به ترتیب در لایسیمترهای آبیاری‌شده با ترکیب فاضلاب تصفیه شده و آب (2/3 برابر مقدار اولیه)، فاضلاب تصفیه شده (1/67 برابر مقدار اولیه)، فاضلاب خام و آب (1/67 برابر مقدار اولیه)، فاضلاب خام (1/54 برابر مقدار اولیه) و در لایسیمتر آبیاری با آب معمولی (1/19 برابر مقدار اولیه) مشاهده گردید(جدول 5). حسن‌اقلی و همکاران (1384) و مهیدا (1981) نیز افزایش هدایت هیدرولیکی خاک را در نتیجه کاربرد فاضلاب در خاک با بافت لوم رسی، در مقایسه با مصرف آب گزارش نموده‌اند. این افزایش در خاک آبیاری‌شده به وسیله فاضلاب خام، بیش‌تر از فاضلاب تصفیه‌شده بود (حسن اقلی و همکاران 1384). نتایج تحقیق عابدی کوپایی و همکاران (2006) نیز نشان داد که هدایت هیدرولیکی خاک در اثر آبیاری با فاضلاب تصفیه‌شده شهری، تغییر معنی‌داری نداشته، ولی در اثر آبیاری با آب زیرزمینی کاهش معنی‌داری یافت. قلمباز و همکاران (1387) نیز نتیجه گرفتند که آبیاری با پساب نسبت به آب رودخانه کارون، باعث کاهش معنی‌دار هدایت هیدرولیکی اشباع خاک گردید. همچنین ماتان (1994) در بررسی اثر فاضلاب شهری بر ویژگی‌های فیزیکی خاک با بافت لوم شنی نتیجه گرفت که هدایت هیدرولیکی اشباع در خاک آبیاری‌شده با فاضلاب در مقایسه با خاک آبیاری‌شده با آب چاه افزایش یافته است.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول 4- اثر تیمارهای آب آبیاری بر مقادیر پارامترهای هیدرولیکی خاک در شروع و پایان فصل کشت

تیمار	زمان اندازه‌گیری	K_s * (cm/s)	n	α_{VG} (cm^{-1})	θ_s ($cm^3\ cm^{-3}$)
فاضلاب خام	ابتدای فصل کشت	0/0013	1/782	0/066	0/334
	پایان فصل کشت	0/002	2/25	0/059	0/310
فاضلاب تصفیه‌شده	ابتدای فصل کشت	0/0012	1/89	0/075	0/410
	پایان فصل کشت	0/002	1/488	0/038	0/282
ترکیب فاضلاب خام و آب معمولی	ابتدای فصل کشت	0/0015	1/887	0/06	0/372
	پایان فصل کشت	0/0025	2/343	0/049	0/398
ترکیب فاضلاب تصفیه‌شده و آب معمولی	ابتدای فصل کشت	0/001	1/843	0/077	0/512
	پایان فصل کشت	0/0023	1/228	0/016	0/268
آب معمولی	ابتدای فصل کشت	0/0016	1/983	0/060	0/362
	پایان فصل کشت	0/0019	1/897	0/055	0/263

* K_s: هدایت هیدرولیکی اشباع خاک، α_{VG}: فاکتور مقیاس تقریباً بیان‌گر عکس مکش در نقطه عطف منحنی مشخصه رطوبتی، θ_s: میزان رطوبت اشباع و n: فاکتور تجربی بیان‌کننده شیب منحنی مشخصه رطوبتی خاک در ناحیه دوم

رطوبت اشباع (θ_s)

نتایج به دست آمده از نرم‌افزار DISC نشان‌دهنده آن است که در پژوهش حاضر، میزان رطوبت اشباع (θs) در همه تیمارهای آب آبیاری (به استثناء تیمار ترکیب فاضلاب خام و آب معمولی)، نسبت به مقدار اولیه آنها کاهش یافته است. این کاهش در لایسیمترهای تحت آبیاری با فاضلاب خام، کم‌تر از لایسیمترهای آبیاری‌شده با سایر تیمارها بوده است. بیش‌ترین تغییرات این پارامتر در تیمار ترکیب فاضلاب تصفیه شده و آب معمولی مشاهده گردید (جدول 5).

فاکتور مقیاس (α_{VG})

نتایج بدست آمده بیان‌گر آن است که مقدار پارامتر α_{VG} در اثر کاربرد تیمارهای آبیاری، نسبت به مقدار اولیه آن کاهش یافته است. چون این پارامتر به نوعی بیان‌گر عکس مکش در نقطه عطف منحنی مشخصه رطوبتی می‌باشد، می‌توان گفت کاربرد تیمارهای آبیاری سبب افزایش نگهداشت آب در مکش‌های زیاد شده است. این کاهش در لایسیمترهای تحت آبیاری با آب معمولی، کم‌تر از لایسیمترهای آبیاری‌شده با فاضلاب ترکیبی با آب معمولی بوده است. به طور کلی بر اساس نتایج این پژوهش، بیش‌ترین تغییرات پارامتر α_{VG} در تیمار ترکیب فاضلاب تصفیه‌شده و آب مشاهده گردید. کم‌ترین مقدار این تغییرات در تیمار آب معمولی بوده است (جدول 5).

فاکتور تجربی شیب منحنی مشخصه رطوبتی خاک در ناحیه دوم (n)

بر اساس نتایج به دست آمده مقدار پارامتر تجربی n (که تقریباً بیان‌گر شیب منحنی مشخصه رطوبتی خاک در ناحیه دوم می‌باشد) در همه تیمارهای آب آبیاری (به استثناء تیمارهای فاضلاب خام و ترکیب فاضلاب خام و آب معمولی)، نسبت به مقدار اولیه آنها کاهش یافته است. مقدار تغییرات این پارامتر در لایسیمترهای تحت آبیاری با نسبت‌های مختلف فاضلاب، بیش‌تر از لایسیمتر آبیاری‌شده با آب معمولی بوده است. بیش‌ترین و کم‌ترین تغییرات این پارامتر به ترتیب در تیمارهای ترکیب فاضلاب تصفیه‌شده و آب معمولی و آب معمولی مشاهده گردید (جدول 5).

www.SID.ir

Archive of SID

جدول 5- اثر تیمارهای آب آبیاری بر مقادیر نسبی پارامترهای هیدرولیکی خاک

تیمار	K_s^*	n	α	θ_s
فاضلاب خام	1/54	1/26	0/89	0/93
فاضلاب تصفیه‌شده	1/67	0/79	0/51	0/69
ترکیب فاضلاب خام و آب معمولی	1/67	1/24	0/82	1/07
ترکیب فاضلاب تصفیه‌شده و آب معمولی	2/3	0/67	0/21	0/52
آب معمولی	1/19	0/96	0/92	0/73

* نسبت مقدار پارامتر در پایان دوره پژوهش به مقدار اولیه آن

اثر کاربرد فاضلاب بر نفوذپذیری خاک

میزان شدت نفوذ ماندگار خاک در دو مکش 5 و 10 سانتی‌متر در همه تیمارهای مورد نظر اندازه‌گیری شد. نتایج بدست‌آمده نشان‌دهنده آن است که مقدار نفوذ آب به خاک (نظیر هدایت هیدرولیکی اشباع) با مصرف فاضلاب افزایش یافته است (جدول 6). این مهم بدلیل وجود مواد آلی کلوئیدی در فاضلاب است که سبب بهبود ساختمان خاک و در نتیجه نفوذپذیری آن شده است و همچنین می‌تواند مربوط به قدرت یونی و اثر آن بر هماوری ذرات نیز باشد. این افزایش در خاک لایسیمترهای تحت آبیاری با فاضلاب، بیش‌تر از خاک لایسیمترهای آبیاری شده با آب معمولی بوده است.

جدول 6- اثر کاربرد تیمارهای آب آبیاری بر شدت نفوذ ماندگار غیراشباع خاک

تیمار	زمان اندازه‌گیری	شدت نفوذ (سانتی‌متر در ثانیه)	
		مکش 10 سانتی‌متر	مکش 5 سانتی‌متر
فاضلاب خام	ابتدای فصل کشت	0/008	0/017
	پایان فصل کشت	0/025	0/048
فاضلاب تصفیه‌شده	ابتدای فصل کشت	0/013	0/017
	پایان فصل کشت	0/02	0/033
ترکیب فاضلاب خام و آب معمولی	ابتدای فصل کشت	0/013	0/027
	پایان فصل کشت	0/037	0/068
ترکیب فاضلاب تصفیه‌شده و آب معمولی	ابتدای فصل کشت	0/012	0/015
	پایان فصل کشت	0/027	0/043
آب معمولی	ابتدای فصل کشت	0/017	0/025
	پایان فصل کشت	0/022	0/032

در مورد مکش 10 سانتی‌متر، بیشترین افزایش شدت نفوذ آب به خاک به ترتیب در لایسیمترهای تحت آبیاری با فاضلاب خام (3 برابر مقدار اولیه)، ترکیب فاضلاب خام و آب (2/75 برابر مقدار اولیه)، ترکیب فاضلاب تصفیه‌شده و آب (2/25 برابر مقدار اولیه)، فاضلاب تصفیه‌شده (1/5 برابر مقدار اولیه) و آب معمولی (1/30 برابر مقدار اولیه) مشاهده گردید. در مکش 5 سانتی‌متر، بیشترین افزایش شدت نفوذ به ترتیب در لایسیمترهای تحت آبیاری با فاضلاب خام (2/9 برابر مقدار اولیه)، ترکیب فاضلاب تصفیه‌شده و

www.SID.ir

Archive of SID

آب (2/89 برابر مقدار اولیه)، ترکیب فاضلاب خام و آب (2/56 برابر مقدار اولیه)، فاضلاب تصفیه‌شده (2 برابر مقدار اولیه) و آب معمولی (1/27 برابر مقدار اولیه) بوده است (جدول 7). ولی‌نژاد و همکاران (1381) به این نتیجه رسیدند که استفاده از پساب اثر معنی‌داری بر افزایش سرعت نفوذ نهایی خاک داشته است. عابدی کوپایی و همکاران (2001) نیز افزایش سرعت نفوذ نهایی خاک را در اثر کاربرد فاضلاب گزارش کردند. باید توجه نمود که افزایش هدایت هیدرولیکی اشباع و نفوذ آب به خاک که در این پژوهش تحت شرایط کاربرد آب معمولی انجام گرفته است، عمدتاً تحت تاثیر کشت گیاه انجام گرفته است. نتایج مشابهی در پژوهش حسن‌اقلی و همکاران (1384) بدست آمده است. مگسان (2001) افزایش خلل و فرج و نفوذپذیری خاک را بعد از آبیاری با فاضلاب گزارش نمودند. هم‌چنین ابی و إبو (1995) گزارش کردند که افزودن فاضلاب آلی به خاک شنی به طور عمده منافذ و نفوذپذیری را افزایش می‌دهد که از توسعه محسوس فعالیت بیولوژیکی ناشی می‌شود.

مهیدا (1981) نشان داد که بهره‌گیری از فاضلاب به جای آب کانال سبب بهبود بیشتر ویژگی‌های فیزیکی خاک مانند نفوذپذیری، تخلخل و پیدایش ساختمان اسفنجی خاک می‌گردد. تقواییان و همکاران (1386) تغییرات مشاهده شده در نفوذپذیری خاک با بافت لوم شنی، در اثر کاربرد فاضلاب را ناچیز گزارش کردند. باقری (1379) نشان داد که آبیاری با پساب تأثیر معنی‌داری بر افزایش سرعت نفوذ نهایی خاک در مقایسه با تیمار آب چاه داشته باشد. در حالی که بنا به گزارش حسن اقلی و همکاران (1384) آبیاری گیاه ذرت با پساب تصفیه شده شهری به مدت دو سال و تا پایان سال زراعی، کاهش 15/6 درصدی ظرفیت نفوذپذیری خاک را در مقایسه با زمان پیش از آغاز آزمایش به دنبال داشته است. دلیل اصلی این اثر میزان زیاد مواد جامد معلق موجود در فاضلاب بوده است.

جدول 7- اثر کاربرد تیمارهای آب آبیاری بر شدت نفوذ نسبی آب به خاک

تیمار	I_{10} *	I_5
فاضلاب خام	3	2/9
فاضلاب تصفیه‌شده	1/5	2
ترکیب فاضلاب خام و آب معمولی	2/75	2/56
ترکیب فاضلاب تصفیه‌شده و آب معمولی	2/29	2/89
آب معمولی	1/3	1/27

* نسبت مقدار پارامتر در پایان دوره رشد به مقدار آن در شروع دوره رشد

در پژوهش حاضر علی‌رغم افزایش هدایت هیدرولیکی اشباع و نفوذ غیراشباع آب به خاک که طی یک فصل کشت بدست آمده است، ادامه کاربرد و مصرف فاضلاب ممکن است باعث کاهش روند تغییر در این پارامترها (در مقایسه با آب معمولی) گردد. این روند کاهشی در مورد فاضلاب خام (در مقایسه با فاضلاب تصفیه‌شده و یا ترکیب فاضلاب‌ها با آب معمولی) به علت تجزیه مواد آلی و کاهش پایداری خاک دانه‌ها می‌تواند بیش‌تر باشد. افزایش پایداری خاکدانه‌ها و کاهش چگالی ظاهری خاک می‌تواند باعث افزایش بیش‌تر هدایت هیدرولیکی و سرعت نفوذ آب به خاک در تیمارهای کاربرد فاضلاب گردد. در آغاز فصل رشد، ریسه قارچ‌ها و دیگر ریزجانداران سریعاً رشد کرده و با ایجاد حفره‌هایی در سطح خاک، سرعت نفوذ نهایی خاک را نسبت به شرایط اولیه افزایش می‌دهند (گوپتا و همکاران 1977).

www.SID.ir

Archive of SID

نتیجه‌گیری

در این پژوهش اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی اشباع خاک توسط روش بار ثابت و مقایسه آن با دو روش نرم‌افزار DISC و وودینگ بیان‌گر آن بود که روش نرم‌افزار DISC دقت بیش‌تری در برآورد هدایت هیدرولیکی اشباع خاک داشته است. مقایسه مقادیر هدایت هیدرولیکی اشباع (برآوردشده به وسیله نرم-افزار DISC) و شدت نفوذ غیراشباع ماندگار خاک نشان داد که کاربرد انواع آب آبیاری تأثیر مثبتی بر میزان پارامترهای مذکور بر جای گذاشته و موجب افزایش قابل توجه در مقایسه با مقدار اولیه آنها (ابتدای فصل کشت) شده است. در این پژوهش، مقادیر هدایت هیدرولیکی اشباع و نفوذ غیراشباع آب به خاک در اثر کاربرد فاضلاب (در مقایسه با تیمار آب معمولی) طی دوره کاشت سیب‌زمینی افزایش داشته است. علی‌رغم دست‌یابی به چنین نتیجه‌ایی که طی بازه زمانی چهار ماهه بدست آمده است، ادامه کاربرد فاضلاب ممکن است باعث کاهش روند تغییر در این پارامترها (در مقایسه با آب معمولی) گردد که البته جهت اظهار نظر دقیق‌تر، می‌بایست در قالب یک طرح پژوهشی ویژه، بدقت مورد بررسی قرار گیرد. هم‌چنین بر اساس نتایج این پژوهش، بیش‌ترین تغییرات تغییرات θ_s، α_{VG} و n در تیمار ترکیب فاضلاب تصفیه‌شده و آب و کم‌ترین مقدار تغییرات این پارامترها (به استثناء θs) در تیمار آب معمولی مشاهده گردید.

منابع مورد استفاده

باقری م ر، 1379. اثرات پساب و سیستم‌های آبیاری بر برخی خواص فیزیکی، شیمیایی و آلودگی خاک تحت کشت چند محصول زراعی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی اصفهان، دانشکده کشاورزی.

بی‌نام، 1388. آمار نامه کشاورزی (محصولات زراعی). وزارت جهاد کشاورزی.

تقواییان ص، علیزاده ا و دانش ش، 1386. تاثیر کاربرد فاضلاب در آبیاری بر خصوصیات فیزیکی و برخی خصوصیات شیمیایی خاک. مجله آبیاری و زهکشی ایران. سال اول، شماره 1. صفحه‌های 49 تا 61.

حسن اقلی ع، لیاقت ع و میراب‌زاده م، 1384. بررسی چگونگی تغییرات هدایت هیدرولیکی اشباع خاک در نتیجه اجرای عملیات آبیاری با فاضلاب خانگی و پساب تصفیه‌شده آن. مجله علمی-پژوهشی علوم کشاورزی، سال یازدهم، شماره 4. صفحه‌های 99 تا 108.

حسین‌پور ا، حق نیا غ، علیزاده، ا و فتوت ا، 1386. تاثیر آبیاری با فاضلاب خاک و پساب شهری بر برخی خصوصیات شیمیایی خاک در اعماق مختلف در دو شرایط غرقاب پیوسته و متناوب. مجله آبیاری و زهکشی ایران، سال اول، شماره 2. صفحه‌های 73 تا 85.

قلمباز س، برومند نسب س و کشکولی ح ع، 1387. اثر آبیاری با پساب بر روی هدایت هیدرولیکی اشباع خاک. اولین همایش بهره‌برداری بهینه از منابع آب استان لرستان، خرم‌آباد. شهریور 1387.

ولی‌نژاد م، مصطفی‌زاده ب و میر محمدی میبدی س ع م، 1381. اثر پساب تصفیه‌شده شاهین‌شهر بر خصوصیات زراعی و شیمیایی ذرت تحت سیستم‌های آبیاری بارانی و سطحی. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، سال نهم، شماره اول، صفحه‌های 103 تا 115.

www.SID.ir

Archive of SID

Abedi-Koupai J, Afyuni M, Mostafazadeh B and Bagheri MR, 2001. Influence of treated wastewater and irrigation systems on soil physical properties in Isfahan province. Pp. 165-173. ICID International Workshop on Wastewater Reuse Management. September 19-20, Seoul, Korea.

Abedi-Koupai J, Mostafazadeh-Fard B, Afyuni M and Bagheri MR, 2006. Effect of treated wastewater on soil chemical and physical properties in an arid region. Plant, Soil and Environment 52: 335-344.

Aggelides SM and Londra PA, 2000. Effects of compost produced from town wastes and sewage sludge on the physical properties of loamy soil and a clay soil. Bioresource Technology 71:253-259.

Alizadeh A, Bazari ME, Velayati S, Hasheminia M and Yaghmaie A, 2001. Irrigation of corn with wastewater. Pp. 147-154. ICID International Workshop on Wastewater Reuse and Management. September 19-20, Seoul, Korea.

Angulo-Jaramillo R, Vandervaere JP, Roulier S, Thony JL, Gaudet JP and Vauclin M, 2000. Field measurement of soil surface hydraulic properties by disc and ring infiltrometers: A review and recent developments. Soil & Tillage Research 55:1-29.

Ankeny MD, Ahmed M, Kaspar TC and Horton R, 1991. Simple method for determining unsaturated hydraulic conductivity. Soil Science Society of American Journal 55:467-470.

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

Gardner WR, 1958 Some steady-state solutions of the unsaturated moisture flow equation with applications to evaporation a water table. Soil Science 85:228-232.

Gupta SC, Dowday RH and Larson WE, 1977. Hydraulic and thermal properties of sandy soil influenced by incorporation of sewage sludge. Soil Science Society of American Journal 41:601-605.

Juwarkar AS and Subrahmanyam PVR, 1987. Impact of pulp and paper mill wastewater on crop and soil. Water Science and Technology 19: 693-700.

Kirkham MB, 2005. Principles of Soil and Plant Water Relations. Elsevier Academic Press.London.

Klute A and Dirksen C, 1986. Hydraulic conductivity and diffusivity: laboratory methods. Pp. 687-732. In: Klute A (Ed.) Methods of Soil Analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods. Monograph 9. 2nd Ed. ASA/SSSA. Madison, WI.

Leij FJ, Alves WJ and van Genuchten MTh, 1996. The UNSODA unsaturated soil hydraulic database. EPA, Ada, OK.

Magesan GN, 2001. Changes in soil physical properties following irrigation of municipal wastewater on two forested soils. New Zealand Journal of Forestry Science 31:188-195.

www.SID.ir

Archive of SID

Mahida NU, 1981. Water pollution and disposal of wastewater on land. Tata McGraw- Hill Puplishing Company Limited.

Mathan KK, 1994. Studies on the in Influence of long-term municipal sewage-effluent irrigation on soil physical properties. Bioresource Technology 48:275-276.

Mbagwu JSC, 1992. Improving the productivity of a degraded Ultisol in Nigeria using organic and inorganic amendments. Part2. Changes in physical properties. Bioresource Technology 42:167-175.

Obi ME and Ebo PO, 1995. The effects of organic and inorganic amendments on soil physical properties and maize production in a severely degraded sandy soil in Southern Nigeria. Bioresource Technology 51:117-123.

Saber MSM, 1986. Prolonged effect of land disposal of human wastes on soil conditions. Water Science and Technology 18:371-374.

Shuval HI, Adin A, Fattal B, Rawitz E and Yekutie P, 1986. Wastewater Irrigation in Developing Countries. The World Bank, Washington, D.C.

Šimunek J, Angulo-Jaramillo R, Schaap MG, Vandervaere JP and van Genuchten MTh, 1998. Using an inverse method to estimate the hydraulic properties of crusted soil from tension disc infiltrometer data. Geoderma 86:61-81.

van Genuchten MTh, 1980. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soil. Soil Science Society of American Journal 44:892-898.

Vandevivere P and Baveye P, 1992. Saturated hydraulic conductivity reduction caused by aerobic bacteria in sand columns. Soil Science Society of American Journal 56:1-13.

Vinten AJA, Mingelgrin U and Yaron B, 1983. The effect of suspended solids in wastewater on soil hydraulic conductivity: II. Vertical distribution of suspended solids. Soil Science Society of American Journal 47: 408-412.

Wooding RA, 1968. Steady infiltration from a shallow circular pond. Water Resources Research 4:1259-1273.

www.SID.ir