علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره شانزدهم، شماره ویژه ۹۳

تاثیر پساب بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

وحید یزدانی [*1]
v.yazdany@yahoo.com
بیژن قهرمان [۲]
کامران داوری [۳]
ابراهیم فاضلی [٤]

تاریخ دریافت: ۸۹/۱۰/۱۰ **تاریخ پذیرش:۹۰/۳/۱۸**

چکیده

زمینه و هدف: با توجه به حجم گسترده کاربرد فاضلاب های شهری و خانگی در اراضی زراعی و کشاورزی حواشی شهرهای بزرگ کشور، امروزه تحقیقات منطقه‌ای در این زمینه و مشاهده اثرات مختلف آبیاری با فاضلاب از اهمیت به‌سزایی برخوردار است.

روش بررسی: در این تحقیق از پساب خروجی تصفیه‌خانه فاضلاب پرکند آباد مشهد (SAR=۱۴/۶، TSS=۱۳۸ و BOD=۱۶۹/۵) و آب چاه (EC=۷۴۰ میکرو موس بر سانتی‌متر) به عنوان شاهد استفاده شد. آبیاری و انجام آزمایشات در کرت‌های به مساحت ۴ متر مربع صورت پذیرفت، که اطراف آن ها توسط خاک مزرعه احاطه شده بود. توسط تیمارهای آب چاه و پساب فاضلاب، کرت‌ها به‌ترتیب یک الی پنج بار و به مقدار ۱۵۰ میلی‌متر مورد آبیاری قرار گرفت. سپس توسط استوانه‌های هم مرکز مقدار نفوذ و بر اساس آن هدایت هیدرولیکی اشباع بالای سطح ایستابی برآورد شد. سایر پارامترهای فیزیکی و شیمیایی خاک کرت‌ها بر اساس رهنمودهای ارایه شده در کتاب روش استاندارد اندازه‌گیری شدند.

یافته‌ها: آبیاری با فاضلاب بر چگالی ظاهری خاک تاثیر گذاشته و مقدار آن را کاهش داد، به طوری که با افزایش ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ بار فاضلاب به‌ترتیب کاهشی برابر ۲، ۶/۶، ۴، ۱۵/۷ و ۱۷/۶ درصد به‌دست آمد. هم‌چنین با افزایش تعداد آبیاری با پساب فاضلاب، مقدار یون‌های سدیم، فسفر، نیترات و نیکل افزایش یافت به‌طوری که بیشترین افزایش در یون نیترات (۳۸ درصد) و سدیم (۸۴ درصد) مشاهده گردید. مقدار شدت نفوذ در کرت‌های آبیاری با آب (به هم خوردگی ساختمان خاک) و فاضلاب کمتر از حالت بدون آبیاری بود، ضمن این که در کرت‌های آبیاری شده توسط فاضلاب کاهش چشمگیرتری مشاهده شد. هم‌چنین از آبیاری دوم به دلیل تشکیل یک لایه سله، نفوذپذیری به (۰۳۴/ میلی‌متر در دقیقه در آبیاری دوم) میزان نهایی خود رسید، به طوری که نفوذپذیری تحت این لایه سله کنترل می‌شد. یکی از دلایل اصلی ایجاد لایه سله وجود یون سدیم در فاضلاب و اضافه شدن آن

۱- دانشجوی دکتری گروه مهندسی آب دانشگاه فردوسی، *(مسوول مکاتبات).
۲- استاد گروه مهندسی آب دانشگاه فردوسی مشهد
۳- دانشیار گروه مهندسی آب دانشگاه فردوسی مشهد
۴- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی آب دانشگاه آزاد فردوس

به خاک می‌باشد. به نظر می‌رسد که یون سدیم باعث پراکنده کردن ذرات خاک شده، که در این صورت ذرات ریز منافذ را پر نموده و از نفوذ آب جلوگیری می‌کند.

واژه های کلیدی: آبیاری، خصوصیات خاک، آب چاه، پساب فاضلاب، استوانه‌های هم مرکز

مقدمه

رشد روز افزون جمعیت جهان، همگام با گسترش فعالیت‌های کشاورزی و صنعتی برای تأمین مواد غذایی از یک سو و خشکسالی-های پی در پی در سال‌های اخیر از سوی دیگر، موجب شده است که منابع موجود آب‌های شیرین سطحی و زیرزمینی در اکثر کشورهای واقع در کمربند مناطق خشک به اوج بهره‌برداری خود برسد و بالطبع فشار بیش از اندازه به منابع آب وارد آید. این شرایط در ایران و به-خصوص در دشت مشهد از مدت‌ها پیش حکم فرما می‌باشد. از طرف دیگر توسعه شهرنشینی و صنعتی شدن، باعث تولید حجم عظیمی از فاضلاب شده که مشکل اصلی در این زمینه چگونگی دفع فاضلاب است، به طوری که مخاطرات زیست محیطی و بهداشتی را به دنبال نداشته باشد. در این راستا یکی از بهترین شیوه‌های دفع پساب فاضلاب، کاربرد آن در کشاورزی است که این کار نیازمند مدیریت خاصی می‌باشد که ضمن بهره‌گیری مطلوب از آن، خطرات زیست محیطی و بهداشتی برای خاک، گیاه و منابع آب سطحی و زیرزمینی نداشته باشد.

یکی از راه‌کارهای اصلی برای مقابله با مساله بحران آب، کاربرد زنجیره‌ای آب متناسب با تغییر کیفیت آن در بخش‌های متنوع مصرف می‌باشد. راه حل دیگر، استفاده بهینه از آب‌های متعارف و نامتعارف موجود و کاربرد سیستم‌های آبیاری کارا و با بازده بالاست. از آن جایی که فاضلاب‌ها در زمره آب‌های شیرین ولی آلوده محسوب می‌شوند و هزینه تصفیه آن ها ەبمراتب کمتر از دیگر روش‌های تهیه آب است، مصرف مجدد فاضلاب به منظور جبران کمبود برخی از نیازهای آبی مطـرح می‌باشد. به علاوه پساب‌های شهری به ندرت تحت تاثیر خشکسالی قرار می‌گیرند، بنابراین استفاده مجدد از پساب می‌تواند منبع قابل اطمینان جهت سال‌های خشک و کم باران باشد.

در استفاده از فاضلاب های شهری و پساب حاصل از تصفیه آن برای عملیات آبیاری محصولات کشاورزی و به دلیل وجود انواع یون-های محلول در این قبیل آب‌ها، توجه به خصوصیات خاک به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک از موارد مهم و اساسی به شمار می‌آید. در چنین شرایط اقلیمی که با دمای بالای هوا و رطوبت نسبی کم توأم است، تبخیر و تعرق گیاهی قابل ملاحظه بوده و در نتیجه، مقدار املاح باقیمانده در لایه سطحی نیمرخ خاک افزایش قابل توجهی می-یابد. خواص فیزیکی و مکانیکی خاک نسبت به یون‌های محلول و موجود در آب آبیاری بسیار حساس است و در چنین شرایطی به شدت تحت تاثیر قرار می‌گیرد (۱ و ۲).

آب آبیاری با کیفیت نامناسب می‌تواند خواص شیمیایی و فیزیکی خاک را تغییر دهد. آبی که از شوری پایینی برخوردار باشد، حالت خورندگی پیدا می‌کند و آبشویی کانی‌ها و نمک‌های انحلال پذیر، به‌ویژه کلسیم خاک را سبب شده و موجب می‌شود از شدت تاثیر پایدارکنندگی آن بر روی خاکدانه‌ها و ساختمان خاک کاسته شود. معمولا سرعت نفوذپذیری خاک با افزایش شوری آب آبیاری افزایش پیدا می‌کند(البته در شرایطی که شوری آب ناشی از ازدیاد یون‌های دو ظرفیتی کلسیم و منیزیم در مقابل مقادیر کم سدیم باشد)، در حالی که با افزایش یون سدیم کاهش پیدا می‌کند (۳). این در حالی است که کشاورزی پایدار متکی به خاک‌های حاصلخیز با خلل و فرج کافی، نفوذپذیری خوب و ساختمان مناسب می‌باشد. سدیم جزو عناصری است که برای رشد گیاه مورد نیاز نیست. وجود غلظت بالای سدیم در پساب باعث بروز سمیت در گیاه می‌شود. نشانه‌های مشخص سمیت سدیم سوختگی برگ، خشکیدگی و مردگی بافت‌ها در حاشیه خارجی برگ هاست. باید توجه داشت که در صورت وجود یون کلسیم در پساب از شدت اثر یون سدیم کاسته می‌شود (۴).

بررسی‌های انجام شده توسط هایز و همکاران (۵) مشخص نمود که استفاده از پساب تصفیه شده ثانویه به مدت ۱۶ ماه به ترتیب باعث افزایش نیتروژن به مقدار ۷/۸، پتاسیم به مقدار ۱۳۴ و فسفر به میزان ۳۱/۷ میلی‌گرم در هر کیلوگرم خاک شده است. استفاده از فاضلاب در خاک می‌تواند به عنوان یک ماده مناسب عمل نموده و باعث اصلاح خواص فیزیکی خاک گردد که به تبع آن ظرفیت نگه داری و هدایت هیدرولیکی خاک افزایش یافته، در حالی‌که جرم مخصوص ظاهری خاک کاهش می‌یابد (۶). از سوی دیگر وجود ذرات معلق معدنی و آلی در فاضلاب خام، پساب تصفیه شده و حتی آب های آبیاری متعارف، ممکن است موجبات انسداد خلل و فرج خاک را به خصوص در لایه‌های سطحی آن فراهم آورد، در نتیجه می‌تواند کاهش میزان نفوذ آب به درون خاک و نقصان هدایت هیدرولیکی خاک را به دنبال داشته باشد (۱). نتایج تحقیقات پاترسون نیز نشان داد که استفاده از پساب باعث کاهش هدایت هیدرولیکی اشباع خاک می‌گردد. وی این کاهش را ناشی از افزایش قابل توجه (SAR) پساب حاصل از تصفیه فاضلاب خانگی (در صورت ورود این نوع پساب‌ها به خاک) می‌داند.

هم‌چنین پاترسون بیان داشته است که با افزایش SAR از مقدار

صفر به سه، هدایت هیدرولیکی اشباع خاک به میزان ۵۰ درصد کاهش یافته و در صورت افزایش SAR از صفر به ۱۵، میزان کاهش عامل مورد بررسی (K_{sat}) برابر ۷۹ درصد خواهد بود(۷). در مقابل نتایج مهیدا (۸) همانند چنگ و همکاران (۶) به بهبود نفوذ پذیری، افزایش تخلخل و توسعه ساختمان اسفنجی در خاک در صورت استفاده مجدد از فاضلاب به جای آب آبیاری اشاره دارد.

آبیاری محصول ذرت با استفاده از پساب تصفیه شده شهر مشهد به مدت دو سال و تا پایان سال زراعی، کاهش ۱۵/۶ درصدی ظرفیت نفوذپذیری خاک را در مقایسه با زمان قبل از آغاز آزمایش به دنبال داشته است (۱). دلیل اصلی این امر میزان بالای مواد جامد معلق موجود در فاضلاب بوده و کیفیت شیمیایی فاضلاب در این خصوص بدون تأثیر می‌باشد(۱).

هم‌چنین رایس نیز گزارش کرد که مواد معلق در گرفتگی خاک نقش مهمی دارد و نباید از ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر بیشتر باشد. وی پیشنهاد نموده است که با شخم و طولانی کردن فاصله آبیاری‌ها، هوادهی به خاک بهتر انجام می‌گیرد و مواد جا مانده زودتر تجزیه می‌شوند (۷). اما لک گرفتگی سطحی خاک را با تغییرات شیمیایی و میکروبی، کل مواد جامد (TS)، پلی ساکاریدها و سولفید آهن مرتبط می‌داند (۹). سانتولیز و والندر (۱۰) نشان دادند که با افزایش بار اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیایی و کل مواد جامد فاضلاب کارخانه گوجه فرنگی، کاهش نفوذ نهایی خاک را خواهیم داشت. سگریست (۹) گرفتگی خاک را ناشی از تجزیه زیاد و شدت بارگذاری می‌داند. وی منطقه گرفتگی را سطح خاک و چند میلی‌متری سطح خاک تشخیص داده است.

نتایج صابر (۱۱) در قاهره مشخص نمود که با افزایش سال‌های آبیاری با فاضلاب شهری گنجایش نگه داری آب در خاک افزایش یافته است. وین تن و همکاران (۱۲) اثر مواد جامد معلق را بر هدایت هیدرولیکی سه نوع خاک مورد مطالعه قرار دادند و مشاهده کردند که کاهش نفوذپذیری خاک سیلتی لوم به مراتب بیشتر از خاک‌های شنی و لوم شنی می‌باشد. فیضی (۱۳) در مقایسه تاثیر پساب فاضلاب و آب چاه بر خاک منطقه شمال اصفهان نشان داد که هدایت الکتریکی، pH و نسبت جذب سدیم با شوری آب مصرفی ارتباط نزدیکی دارد. هم‌چنین بیان داشت که غلظت عناصری از قبیل سرب، روی، منگنز، مس و آهن در خاک (عمق صفر تا ۴۰ سانتی‌متری) آبیاری شده با پساب فاضلاب بیشتر از خاک‌های آبیاری شده با آب چاه بود، اگرچه تفاوت معنی دار نیست. در این بین روحانی و همکاران (۱۴) در بررسی تاثیر فاضلاب بر خصوصیات فیزیکی خاک بیان داشتند که زمین آبیاری شده با پساب دارای جرم مخصوص ظاهری کمتر، درصد رطوبت بیشتر در (FC) و نفوذ نهایی کمتر نسبت به مزرعه مجاور آبیاری شده با آب چاه است.

استفاده مجدد از فاضلاب های خانگی و پساب حاصل از تصفیه آن در مصارفی نظیر آبیاری اراضی کشاورزی، موجبات افزوده شدن برخی از انواع یون‌های قابل تبادل، املاح و مواد جامد معلق(آلی و معدنی) را به خاک فراهم نموده که این امر، خواص فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک را تحت تأثیر قرار می‌دهد. از جمله مهم‌ترین پارامترهای فیزیکی متأثر در این شرایط، می‌توان به ساختمان خاک و به تبع آن هدایت هیدرولیکی یا ضریب آبگذری خاک اشاره نمود.

همان طور که در قبل نیز بیان شد نتایج به دست آمده توسط محققان در استفاده از پساب دارای تفاوت‌های بسیاری است. برخی از آن ها کاهش و برخی دیگر افزایش هدایت هیدرولیکی خاک را گزارش نموده‌اند و در سایر موارد و عوامل تاثیر گذار در تغییرات خصوصیات خاک نیز با هم اتفاق نظر ندارند. این تناقص در نتایج به‌دلیل عدم یکسانی در خصوصیات فاضلاب مورد استفاده، آب و هوای منطقه مورد مطالعه، بافت خاک، مقدار آبیاری و ... است. لذا لزوم بررسی‌های موردی در منطقه و دشت مشهد با توجه به کمبود منابع آب سطحی و زیرزمینی و با عنایت به سیاست استفاده از منابع آب غیر متعارف ضروری است. باتوجه به آن‌چه گفته شد شاخص‌های قابل ذکر در آبیاری با فاضلاب های خانگی مورد بررسی قرار گرفت. هدف و دیدگاه اصلی این تحقیق، بررسی تأثیر کاربرد پساب‌های تصفیه شده فاضلاب های خانگی بر میزان تغییرات خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در نتیجه اجرای عملیات آبیاری محصولات کشاورزی با استفاده از این نوع آب‌های نامتعارف می‌باشد.

روش بررسی

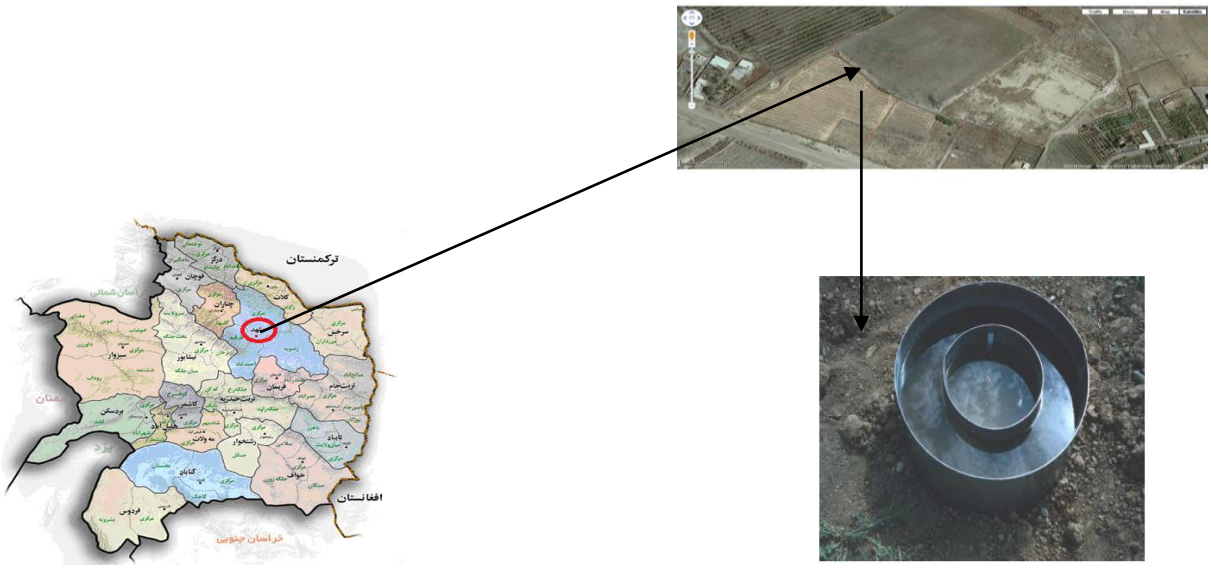
برای انجام آزمایشات از دو تیمار آب چاه و پساب خروجی از تصفیه‌خانه پرکند آباد واقع در غرب مشهد استفاده شد. مشخصات مربوط به پساب خروجی در جدول ۱ آورده شده است. همان طور که در جدول ۱ نیز کاملاً مشهود و واضح است پساب خروجی از لحاظ شدت آلودگی در محدوده پساب‌های متوسط شهری است. از بررسی کیفیت خروجی پساب در انطباق با استاندارد محیطزیست (۱۵) مشخص گردید که پساب خروجی از لحاظ کلیه پارامترهای کیفی نظیر میکروارگانیسم‌ها، پاک‌کننده‌ها، رنگ، TSS، چربی، کدورت، DO، BOD و COD موجود در جدول ۱ بیش از استاندارد استفاده در بخش کشاورزی، رها سازی به آب‌های سطحی و چاه جذب است.

جدول ۱ - میانگین مشخصات پساب خروجی از تصفیه‌خانه پرکند آباد مشهد طی سال‌های (۱۳۸۴-۱۳۸۹)

پارامتر	مقدار	استاندارد محیط زیست[1]	پارامتر	مقدار	استاندارد محیط زیست[1]
جمعیت استفاده کننده	۱۰۰۰۰۰ نفر	-	سرانه تولید	۱۵۲ لیتر در روز	-
ظرفیت اسمی	۱۵۲۰۰ متر مکعب در روز	-	EC umohs/cm	۱۵۳۳	۱۰۰۰[2]
pH	۷/۶	۸/۵-۶	SAR	۱۴/۶	۴[2]
(mg/l) SO_4	۷۷	۵۰۰	(mg/l)BOD	۱۶۹/۵	۱۰۰
(meq/l)ca	۲/۶	-	(mg/l)COD	۲۹۹	۲۰۰
(meq/l)Na	۸/۸	-	(mg/l)NO_3	۷۰	-
(m/l)Tss	۱۳۹	۱۰۰	(mg/l)PO_4	۱۷	-
(meq/l)Mg	۳/۵	۱۰۰۱	(mg/l)DO	۵/۶	۲
رنگ (P.T)	۱۲۲۷	۷۵	کدورت (NTU)	۱۶۱	۵۰
چربی(mg/l)	۱۰۲	۱۰	بر(mg/l)	۰/۳۸	۱
پاک‌کننده(mg/l)	۶۴	۰/۵	کادیوم(mg/l)	۰/۰۰۷	۰/۰۵
میکروارگانیسم‌ها (mpn)	۷۷۰۰۵	۱۰۰۰	کبالت(mg/l)	۰/۰۰۸	۰/۰۵

۱-استاندارد محیط‌زیست برای استفاده از پساب در مصارف کشاورزی (۱۶)

انجام آزمایشات و آبیاری‌ها در ۱۰ کرت به اندازه ۲ در ۲ متر که اطراف آن‌ها توسط خاکریز محصور شده بود انجام گرفت. به‌ترتیب کرت‌ها ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ بار توسط فاضلاب و آب چاه منطقه آبیاری شدند. کرت‌ها دوبه‌دو در نزدیک هم ایجاد شدند تا تغییرات ناشی از بافت و سایر خصوصیات خاک زیاد نباشد. ضمن این‌که برای جلوگیری از تداخل آبیاری‌ها بین هر دو کرت دو متر فاصله لحاظ شد. مقدار آبیاری و دور آبیاری بر اساس عرف محل به ترتیب ۱۵۰ میلی‌متر و ۱۰ روز لحاظ شد. انجام آزمایشات در مزرعه‌ای واقع در شمال مشهد در ۵ کیلومتری آرامگاه فردوسی واقع در اراضی شمس‌آباد صورت گرفت (شکل ۱). هم‌چنین باید اشاره کرد که عملیات آبیاری در قالب طرح بلوک تصادفی و با سه تکرار انجام شد و به‌دلیل جلوگیری از طولانی شدن مقاله و با توجه به اینکه هدف اصلی این تحقیق مشخص نمودن تاثیر پساب بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک است، از نتایج حاصل از تکرارها میانگین گرفته شد.



شکل ۱ - موقعیت منطقه و زمین تحت آزمایش

قبل و بعد از آبیاری(۱۰روز بعد) مقدار رطوبت اولیه (خشک شدن در آون)، رطوبت اشباع(خشک شدن در آون)، چگالی ظاهری (کلوخه پارافینی) و چگالی حقیقی (اضافه شدن حجم آب) نمونه خاک‌ها اندازه‌گیری شد. منحنی دانه‌بندی و بافت خاک‌ها توسط روش الک خیس تعیین گردید. شایان ذکر است که هدایت هیدرولیکی اشباع بالای سطح ایستابی و پارامترهای نفوذپذیری معادله لوییس-کوستیاکف توسط روش استوانه‌های هم مرکز محاسبه شدند (شکل ۱). هم‌چنین برای ارزیابی خصوصیات شیمیایی خاک تحت آبیاری با آب و فاضلاب، عناصر سدیم، کلیسم، فسفر، منیزیم، نیترات و نیکل به همراه مقادیر pH و EC نمونه خاک هر کرت در آزمایشگاه اندازه-گیری شد. کلیه اندازه‌گیری‌ها بر اساس رهنمودهای ارایه شده در کتاب روش استاندارد بوده است (۱۷).

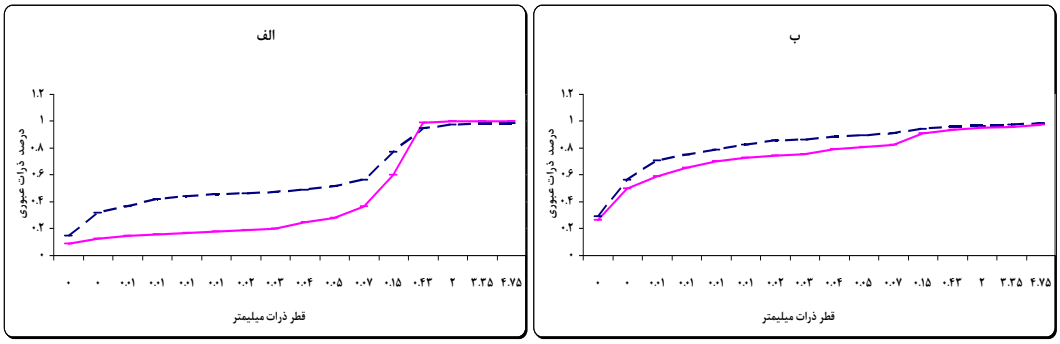
یافته‌ها

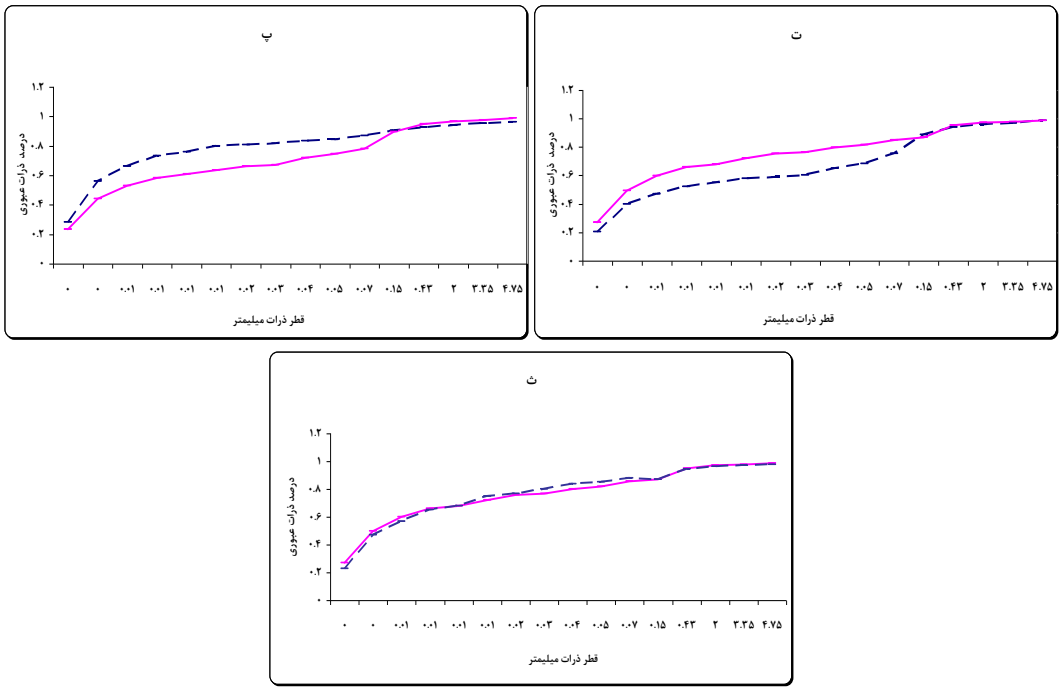
برای سنجش تاثیر آب و فاضلاب مورد استفاده بر روی خاک ابتدا لازم است که شرایط فاضلاب خروجی و آب چاه منطقه را از لحاظ موارد کیفی مورد بررسی قرار داد (جدول ۲). همان طور که در جدول ۲ مشخص است مقادیر کدورت و TSS که معرف مواد معلق موجود در فاضلاب هستند بیشتر از استاندارد استفاده در کشاورزی است. مقادیر منیزیم و کلسیم که در آبیاری مفید می‌باشند بسیار کمتر از مقدار استاندارد بوده و مقدار سدیم نیز قابل توجه می‌باشد (۱۸). فاضلاب مورد استفاده از لحاظ استفاده در کشاورزی و بر اساس طبقه-بندی نمودار ویل‌کاکس در گروه S_2C_3 قرار گرفته است. لذا هم از لحاظ شوری و هم از لحاظ سدیم باید با برنامه‌ریزی و مراقبت خاصی مورد استفاده قرار گیرد. اما با توجه به این‌که هر دو عامل مواد معلق و سدیم زیاد در فاضلاب وجود دارد، لذا با این مقادیر نمی‌توان نتیجه‌ای منطقی و درست به‌دست آورد، بنابراین در ادامه با نمونه‌گیری از کرت‌ها در عمق ۱۰ الی ۲۰ سانتی‌متری اقدام به ارزیابی خصوصیات شیمیایی خاک گردید. با توجه به جدول ۲، شرایط کیفی آب چاه منطقه از لحاظ استفاده در کشاورزی و در مقایسه با نمودار ویل کاکس مناسب می‌باشد.

جدول ۲- خصوصیات فاضلاب و آب چاه مورد استفاده

نمونه	سدیم meq/l	کلسیم meq/l	منیزیم meq/l	SAR	کدورت NTU	TSS mg/l	EC	pH
فاضلاب	۱۶	۱/۴	۱	۱۴/۶	۲۰۰	۱۳۸	۱۵۳۳	۷/۶
آب چاه	۸	۲/۹	۷/۱	۳/۵	۲۰	-	۷۴۰	۷/۳

شکل ۲ بیانگر منحنی دانه‌بندی نمونه خاک هر کدام از کرت‌ها است. نمونه خاک‌های هر دو کرت که تحت تعداد دفعات یکسان آبیاری با آب چاه و یا پساب بوده است، نسبت به هم در یک کلاس بافتی هستند(جدول ۳). تنها کرت‌های شماره یک تحت آبیاری با فاضلاب و آب کمی با هم تفاوت داشته، و با توجه به درصد رس، سیلت و شن این دو کرت نیز در کلاس بافتی متفاوت قرار دارند. همچنین درصد شن، سیلت، رس و رطوبت‌های FC و PWP هر نمونه خاک در جدول ۳ نشان داده شده است. بر اساس جدول ۳ تمام خاک‌ها به جز خاک کرت ۱ آب و ۱ فاضلاب در کلاس رسی قرار گرفته‌اند. خاک‌های کرت‌های شماره یک آب و فاضلاب به‌ترتیب در کلاس بافتی لومی رسی شنی و لومی شنی قرار گرفته‌اند.





شکل۲ - منحنی دانه‌بندی خاک‌ها پس از (الف) یک بار آبیاری، (ب) ۲ بار آبیاری، (پ) ۳ بار آبیاری، (ت) ۴ بار آبیاری و (ث) ۵ بار آبیاری. خط ممتد آبیاری با پساب و خط منقطع آبیاری با آب چاه می‌باشد

جدول ۳ - برخی از ویژگی‌های فیزیکی کرت‌های آبیاری شده با تعداد دفعات متفاوت آب و یا فاضلاب

تعداد دفعات آبیاری شده با		درصد شن	درصد سیلت	درصد رس	بافت خاک	رطوبت در FC	رطوبت در PWP
۱	آب	۴۷/۱	۲۰/۵۲	۳۲/۳۶	لوم رسی شنی	۳۷	۱۸
	فاضلاب	۷۱/۹	۱۵/۵	۱۲/۵۲	لوم شنی	۲۱	۹
۲	آب	۷/۴۹	۳۴/۰۸	۵۸/۴۲	رسی	۴۰	۲۰
	فاضلاب	۱۵/۱۲	۳۲/۴۲	۵۲/۴۵	رسی	۴۰	۲۰
۳	آب	۱۰/۴۵	۲۹/۸۴	۵۹/۶۵	رسی	۴۰	۲۰
	فاضلاب	۲۲/۹۳	۳۱/۵۷	۴۵/۴۹	رسی	۴۰	۲۰
۴	آب	۲۸/۷	۲۹/۵۹	۴۱/۶۲	رسی	۴۰	۲۰
	فاضلاب	۱۶/۰۶	۳۳/۰۳	۵۰/۸۹	رسی	۴۰	۲۰
۵	آب	۱۱/۸	۳۹/۴	۴۸/۷	رسی	۴۰	۲۰
	فاضلاب	۱۵/۶	۳۳/۲	۵۱/۱۵	رسی	۴۰	۲۰

مقادیر رطوبت اولیه نمونه خاک‌ها در زمان انجام آزمایش استوانه‌های هم مرکز در جدول ۴ نشان داده شده است. همان طور که در جدول ۴ نیز مشخص است، مقدار رطوبت اولیه کمی با هم متفاوت بوده، لیکن در این مقاله به‌دلیل تفاوت کم بین رطوبت‌های اولیه از اثر رطوبت‌های متفاوت اولیه چشم پوشی شده است. مقادیر چگالی ظاهری، چگالی حقیقی و تخلخل قبل و بعد از آبیاری در شکل ۳ نشان داده شده است. همان طور که در شکل ۳ نیز کاملاً مشخص است، افزایش فاضلاب بر چگالی ظاهری خاک تاثیر گذاشته و مقدار آن را کاهش می‌دهد، به طوری که با افزایش ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ بار فاضلاب به‌ترتیب با کاهشی برابر ۲، ۶/۶، ۴، ۱۵/۷ و ۱۷/۶ درصد به‌دست آمد. کاهش جرم مخصوص ظاهری خاک نیز از سوی چنگ و همکاران (۶) و روحانی و همکاران (۱۴) گزارش شده است. شرایط

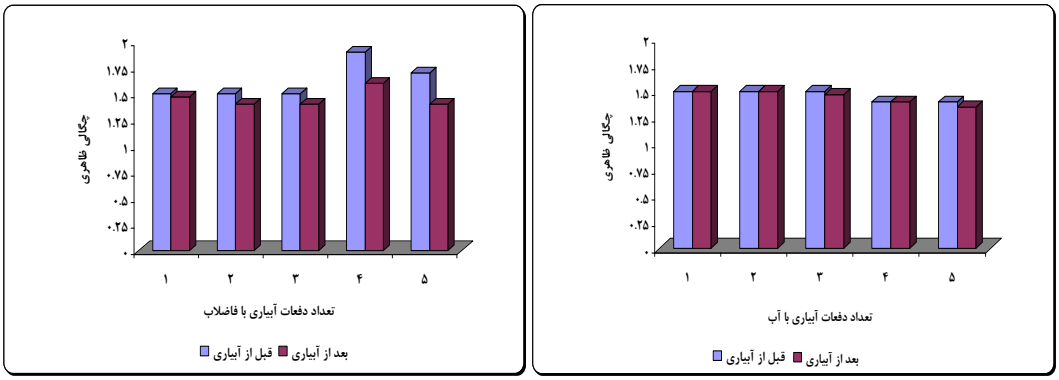
آزمایشات روحانی و همکاران و بافت خاک با تحقیق حاضر یکی بوده اما کیفیت فاضلاب مورد آزمایش آن ها بهتر از تحقیق حاضر است، آن ها کاهش ۸/۲ درصدی را در چگالی ظاهری گزارش نمودند (۱۴). در تحقیق چنگ و همکاران بافت خاک متوسط و آلودگی فاضلاب نیز کمتر از آلودگی فاضلاب مورد بررسی در تحقیق حاضر می‌باشد. هم-چنین آن ها بیان داشتند که میزان کاهش چگالی ظاهری برابر ۱۰ درصد است. ضمن این‌که هر دو تحقیق فوق در مزرعه تحت کشت انجام شده است.

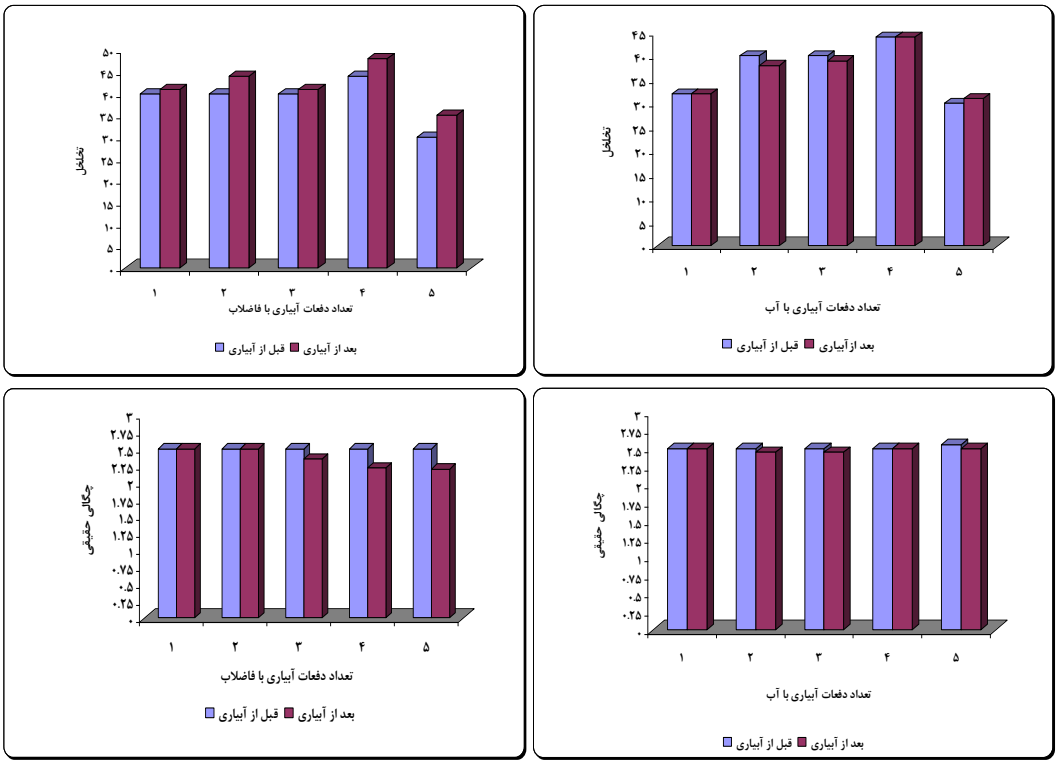
امکان دارد کاهش چگالی ظاهری به‌دلیل به هم خوردگی ساختمان خاک و پراکنده شدن ذرات خاک باشد، به طوری که کلوخه‌های درشت‌تر به ذرات ریزتر تبدیل و باعث پر شدن فضاهای خالی می-شوند(۱۲ و ۱۹). در مقابل در کرت‌های تحت آبیاری با آب چاه منطقه تغییرات چشم‌گیری مشاهده نمی‌شود. بررسی‌ها و محاسبه تخلخل، بیانگر افزایش تخلخل با افزایش دفعات آبیاری با پساب است. این افزایش به‌ترتیب برابر با ۲/۵، ۱۰، ۲/۵، ۹ و ۱۶/۶ درصد با افزایش دفعات آبیاری با پساب می‌باشد. در تخلخل هم مانند چگالی ظاهری روند خاصی در کرت‌های آبیاری با آب چاه مشاهده نمی‌شود، ضمن این‌که تغییرات حاصله در چگالی ظاهری و تخلخل تحت آبیاری با آب چاه در سطح ۰/۰۵ و بر اساس آزمون دو طرفه T معنی‌دار نیست. چگالی واقعی در کرت آبیاری شده با فاضلاب نیز با کاهش روبه‌رو بوده است. به طوری که چگالی واقعی در زمین آبیاری شده با ۴ و ۵ بار فاضلاب از ۲/۵ به ۲/۲۲ رسیده است. روحانی و همکاران نیز به کاهش ۳/۳ درصدی در چگالی حقیقی اشاره داشتند. در اکثر فاضلاب های خانگی مواد آلی موجود بوده که وزن کمتری از ذرات خاک دارند، لذا کاهش در چگالی حقیقی امکان دارد به‌دلیل اضافه شدن این ذرات سبک تر به خاک باشد. به طوری که در محاسبه چگالی واقعی به عنوان ذرات خاک لحاظ شده‌اند. علیزاده (۱) نیز به اضافه شدن مواد آلی به خاک در صورت استفاده از پساب فاضلاب برای آبیاری اشاره داشته است.

جدول ۴- مقادیر رطوبت اولیه قبل و بعد از آبیاری

تعداد دفعات آبیاری شده با		رطوبت اولیه	
		قبل از آبیاری	بعد از آبیاری*
۱	آب	۱۶	۱۷/۹
	فاضلاب	۱۶	۱۷/۹
۲	آب	۱۶	۱۵/۷
	فاضلاب	۱۶	۱۵/۷
۳	آب	۲۰/۳	۲۳
	فاضلاب	۲۰/۳	۲۳
۴	آب	۱۶/۸	۱۱
	فاضلاب	۱۶/۶	۱۱
۵	آب	۱۷	۱۹
	فاضلاب	۱۷	۱۸/۸

*زمان انجام آزمایش استوانه‌های هم مرکز حدود ۱۰ روز بعد از آبیاری

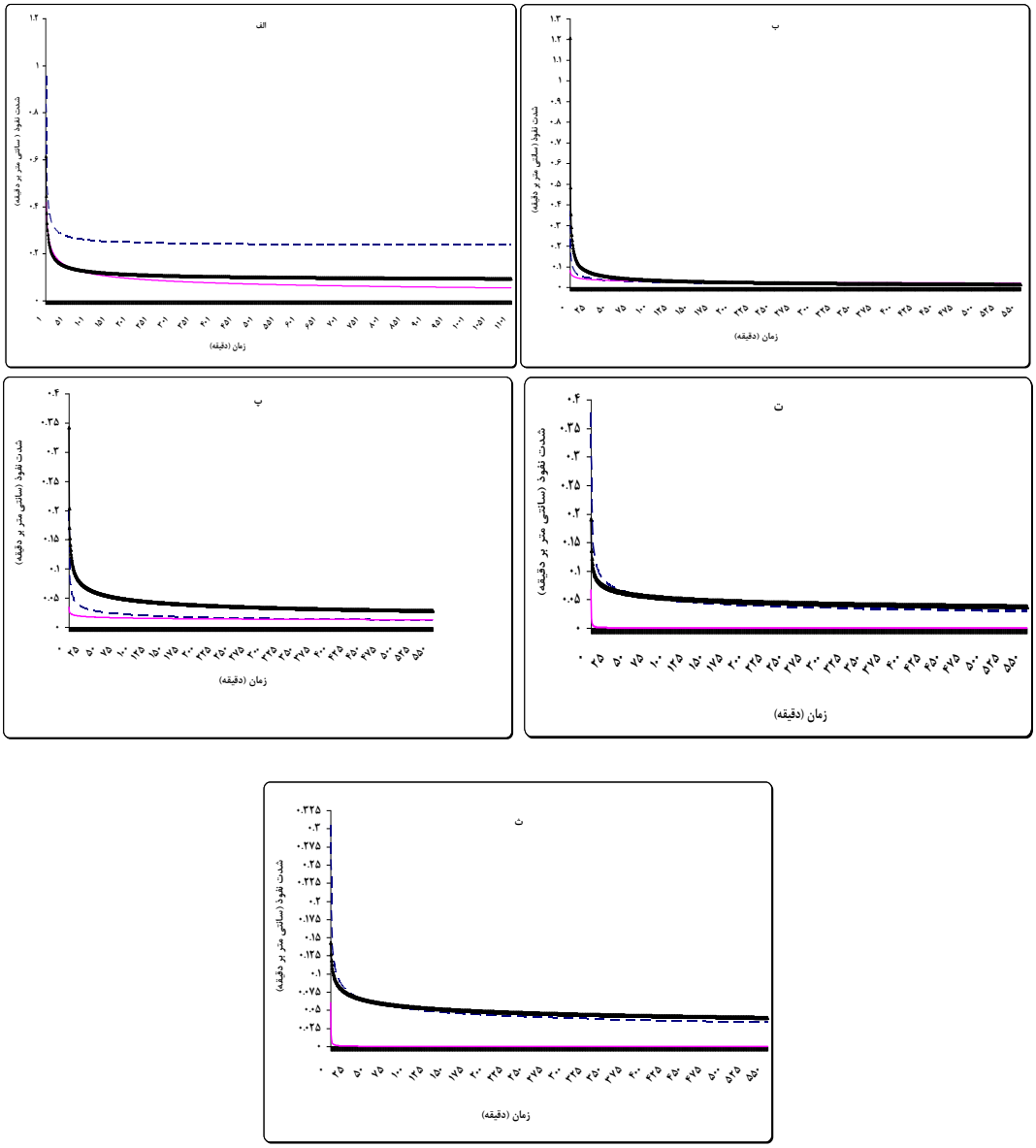




شکل ۳- تغییرات چگالی ظاهری، چگالی حقیقی و تخلخل ناشی از آبیاری با پساب فاضلاب خروجی از تصفیه‌خانه پرکند آباد و آب چاه منطقه

در ادامه مقدار نفوذپذیری هر کرت توسط روش استوانه‌های هم مرکز اندازه‌گیری شد و بر اساس آن معادله لوئیس-کوستیاکف محاسبه گردید. نتایج مربوط به منحنی‌های شدت نفوذ در قبل و بعد از مراحل آبیاری در شکل ۴ آورده شده است. مقدار شدت نفوذ در کرت‌های آبیاری با آب و فاضلاب کمتر از حالت بدون آبیاری است. ضمن اینکه در کرت‌های آبیاری شده توسط فاضلاب این کاهش چشمگیرتر است. از آبیاری دوم به بدلیل ایجاد یک لایه سله نفوذپذیری بلافاصله به نرخ نهایی خود رسید، به طوری که نفوذپذیری تحت این لایه سله کنترل می‌شد. کاهش مقدار نفوذپذیری و ثابت شدن آن در یک مقدار بخصوص بیانگر ایجاد لایه سله بوده و این مقدار نفوذ تابع خصوصیات این لایه می‌باشد. کاهش نفوذپذیری ناشی از آبیاری با پساب فاضلاب نیز توسط آیرس وسکات (۷) و علیزاده (۱) بیان شده است. آنها نیز به گرفتگی لایه سطحی خاک و ایجاد لایه سله اشاره داشته‌اند، نتایج آنها بیانگر نقش مهم ذرات معلق پساب در گرفتگی لایه سطحی خاک و ایجاد لایه سله می‌باشد. در این شرایط مشکلات ثانویه‌ای نظیر ایجاد لایه سخت، به خصوص در بخش فوقانی نیمرخ خاک، رشد و افزایش علفهای هرز، کمبود اکسیژن و فقدان تهویه مناسب نیز ممکن است به صورت همزمان و در نتیجه تخریب ساختمان در لایه سطحی خاک به وجود آید. همچنین کمبود کلسیم در مقایسه با مقادیر زیاد (نسبی) یون سدیم، این مشکل را تشدید می‌نماید.

کمترین تفاوت در معادلات نفوذ در کرت‌های شماره یک تحت آبیاری با آب و یا فاضلاب دیده می‌شود. باید متذکر شد که بافت خاک در این کرت‌ها به ترتیب شنی رسی لومی و شنی لومی بوده است، ضمن اینکه آبیاری با یک بار فاضلاب یا آب چندان تاثیری بر خصوصیات خاک نخواهد گذاشت. وین تن و همکاران (۱۲) اشاره داشتند که کاهش در نفوذپذیری در خاک‌های سنگین به مراتب بیشتر از خاک‌های با بافت سبک است. به طوری که در شرایط یکسان مقدار کاهش در نفوذپذیری در خاک شنی ۳۰ درصد و در خاک‌های رسی ۵۵ درصد می‌باشد، همچنین بیان داشتند که دلیل این امر اندازه منافذ خاک و گرفتگی بیشتر آن ها در خاک رسی نسبت به شنی و اندر کنش مولکول‌های آلی با رس می‌باشد. همان طور که در شکل ۴ نیز مشهود است کاهشی در نفوذپذیری اولیه با افزایش دفعات آبیاری با آب چاه و پساب فاضلاب مشاهده می‌گردد که بخشی از آن مربوط به تفاوت در رطوبت اولیه است و بخشی دیگر نیز ناشی از به‌هم خوردگی ساختمان خاک می‌باشد. به طوری که منافذ لایه سطحی خاک با افزایش آبیاری‌ها مسدود شده و این انسداد با افزایش آبیاری قابل مشاهده می‌باشد. همچنین می‌توان به ثابت شدن مقدار نفوذپذیری که تابعی از مقاومت لایه سله می‌باشد اشاره نمود.



شکل ۴ - منحنی‌های نفوذ تحت شرایط متفاوت آبیاری(الف) یک بار آبیاری، (ب) ۲ بار آبیاری، (پ) ۳ بار آبیاری، (ت) ۴ بار آبیاری و (ث) ۵ بار آبیاری. خط ممتد آبیاری با پساب، خط منقطع آبیاری با آب چاه و خط مشکی با سنبل مثلث بدون آبیاری می‌باشد

با توجه به این‌که شدت نفوذ نهایی یکی از ورودی‌های مهم برای طراحی آبیاری سطحی، دبی قطره‌چکان و شدت پخش آبپاش‌ها است، لذا برآورد تاثیر فاضلاب بر روی نفوذپذیری و هدایت هیدرولیکی اشباع خاک در بالای سطح ایستابی ضروری می‌باشد. در ادامه مقدار هدایت هیدرولیکی اشباع در بالای سطح ایستابی (مقدار نفوذ نهایی) در هر کرت توسط ادامه دادن روش استوانه‌های هم مرکز تا دست‌یابی به مقدار نفوذ نهایی، اندازه‌گیری شد. نتایج مربوط به مقادیر هدایت هیدرولیکی اشباع در بالای سطح ایستابی در جدول ۵ ارایه شده است. مقدار شدت هدایت هیدرولیکی در کرت‌های آبیاری با آب و فاضلاب کمتر از حالت بدون آبیاری است. ضمن این‌که در کرت‌های آبیاری شده توسط فاضلاب این کاهش چشمگیرتر است. از آبیاری دوم به بعد کاهش‌ها بیش‌تر شده (از ۲۴ درصد کاهش در آبیاری دوم به ۹۷ درصد کاهش در آبیاری پنجم رسید) که شاید این افزایش تفاوت‌ها در هدایت هیدرولیکی ناشی از ایجاد لایه سله باشد، به طوری که نفوذپذیری تحت این لایه سله کنترل می‌شد. اما باید متذکر شد که ایجاد لایه سله می‌تواند ناشی از دو پارامتر کیفی فاضلاب باشد، یکی مقدار سدیم زیاد و به تبع آن مقدار کم یون کلسیم و دیگری مواد معلق موجود در فاضلاب که باعث گرفتگی منافذ می‌شود. روحانی و همکاران (۱۴)، علیزاده (۱)، پاترسون (۷)، رایس (۷)، لک (۷)، سانتولیز و والندر (۱۰) و سگریست (۹) به کاهش در نفوذپذیری

نهایی اشاره داشته‌اند. آنها به‌ترتیب دلیل این کاهش را ناشی از کیفیت فاضلاب، مواد معلق موجود در فاضلاب، افزایش سدیم و SAR زیاد، مواد معلق موجود در پساب، گرفتگی سطح خاک مرتبط با تغییرات شیمیایی و میکروبی، افزایش BOD و کل مواد جامد فاضلاب و گرفتگی خاک بر اثر تجزیه زیاد و شدت بارگذاری می‌دانند. در مقابل مهیدا (۸) و چنگ و همکاران (۶) استفاده از پساب را موجب افزایش هدایت هیدرولیکی اشباع قلمداد می‌کنند.

کمترین تفاوت در هدایت هیدرولیکی اشباع در بالای سطح ایستابی در کرت‌های شماره یک تحت آبیاری با آب و فاضلاب دیده می‌شود. باید متذکر شد که بافت خاک در این کرت‌ها سبک تر از سایر کرت‌ها بوده است، لذا میزان کاهش باید کمتر از سایر کرت‌ها باشد که دارای بافت رسی هستند. چنان‌چه که وین تن و همکاران (۱۲) به این امر اشاره داشته‌اند. همان طور که در جدول ۵ نیز مشخص است، هدایت هیدورلیکی اشباع در کرت‌های ۳، ۴ و ۵ در زمره هدایت هیدرولیکی خاک‌های رسی و سدیمی است.

جدول۵ - مقادیر هدایت هیدرولیکی اشباع (میلی‌متر بر دقیقه) بالای سطح ایستابی تحت شرایط متفاوت آبیاری

تعداد آبیاری	قبل ازآبیاری	آب	فاضلاب
۱	۰/۰۷۱	۰/۰۷	۰/۰۶۸
۲	۰/۰۴۱	۰/۰۳۹	۰/۰۳۱
۳	۰/۰۲۲	۰/۰۱۸	۰/۰۱۳
۴	۰/۰۳۲	۰/۰۲۲	۰/۰۰۱
۵	۰/۰۳۴	۰/۰۳۶	۰/۰۰۰۹

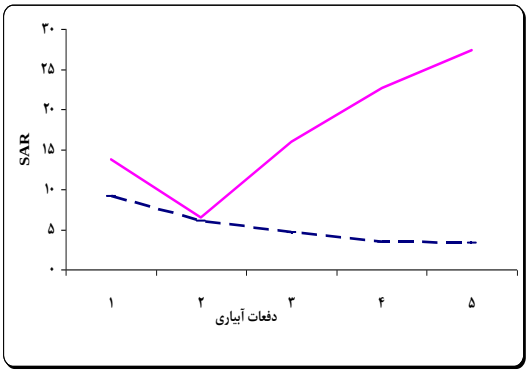
شرایط شیمیایی خاک نیز مورد آزمایش قرار گرفت که نتایج آن در جدول ۶ نشان داده شده است. همان طور که در مشاهده می‌گردد، با افزایش تعداد آبیاری با پساب فاضلاب مقدار یون‌های سدیم، فسفر، نیترات و نیکل افزایش می‌یابد، ضمن این‌که بیشترین افزایش در یون نیترات و سدیم مشاهده گردید. اما تغییرات یون‌های کلسیم، منیزیم با افزایش دفعات آبیاری با فاضلاب از روند خاصی پیروی نمی‌کنند. افزایش یون‌های نیتروژن و فسفر در اثر آبیاری با پساب فاضلاب نیز از سوی هایز و همکاران (۵) گزارش شده است. آنها به افزایش ۷/۸ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک نیترات و فسفر به میزان ۳۱/۷ میلی‌گرم در هر کیلوگرم خاک در مزرعه‌ای با بافت متوسط و کیفیت فاضلاب متوسط اشاره داشتند. ضمن این‌که آبیاری با آب چاه باعث افزایش فسفر، کلسیم، منیزیم و سدیم شده است، به طوری که این افزایش در مقادیر کلسیم و منیزیم بیشتر از سدیم است. با گذشت زمان و با توجه به کاهش نفوذپذیری بعد از هر آبیاری با پساب مقدار تبخیر از سطح خاک افزایش یافته که به تبع آن مواد موجود در پساب در سطح خاک تجمع می‌یابند.

همان طور که مشخص است با افزایش دفعات آبیاری با آب و فاضلاب مقدار pH خاک افزایش داشته است. مقادیر EC نیز در کرت‌های آبیاری با آب چاه افزایش یافته و در کرت‌های آبیاری با فاضلاب دارای روند کاهشی است. باید اشاره نمود که مقدار EC و pH نمونه آب چاه به‌ترتیب برابر ۷۴۰ میلی‌موس بر سانتی‌متر و ۷/۳ بوده است. مقدار سدیم خاک بیش از مقدار آن در آب چاه منطقه و کمتر از مقدار سدیم پساب بوده و با افزایش آبیاری با آب چاه و پساب مقدار سدیم خاک نیز به مرور افزایش یافته است. مقدار سدیم خاک در کرت‌های تحت آبیاری با آب دارای افزایش ۲۵ درصدی و در کرت‌های آبیاری شده با پساب دارای افزایش ۸۴ درصدی بوده است. این در حالی است که سروش و همکاران (۲۰) بیان داشتند که به طور متوسط ۸۰ درصد افزایش سدیم در کرت‌های آبیاری شده با آب و فاضلاب مشاهده می‌شود. البته شرایط حاکم بر آزمایشات با هم یکی نبوده، به طوری که بافت خاک در تحقیق آنها لومی و کیفیت آب و پساب حاصله نیز متفاوت از این تحقیق است.

جدول ۶ - مقادیر عناصر موجود در خاک بعد از آبیاری به‌ترتیب کرت

تعداد دفعات آبیاری شده با		N (ppm)	pH	EC	فسفر (ppm)	سدیم (meq/l)	کلسیم (meq/l)	منیزیم (meq/l)	نیکل (ppm)
بدون آبیاری		۶۲۰	۶/۵۸	۱۲/۱۴	۱۱/۴۱	۱۲	۸/۴	۳/۲	۰/۰۴۸
آب شرب	۱	۶۳۰	۷/۳۱	۸/۷۷	۱۴/۱	۱۲/۱۵	۸	۲/۶۶	۰/۰۶۲
	۲	۶۲۴	۷	۱۴/۷۷	۱۳/۰۴	۱۲/۹	۱۷	۲۲/۶	۰/۰۶۲
	۳	۶۲۴	۷/۳۱	۱۳/۷۲	۱۴/۱۶	۱۲	۲۲	۲۰	۰/۰۳۴
	۴	۶۳۵	۷/۳	۱۵/۰۷	۱۸/۸۵	۱۶/۷	۳۰	۱۸/۶	۰/۰۶۸
	۵	۶۵۰	۷/۶	۱۵	۱۸	۱۶	۲۹	۱۸	۰/۰۵
فاضلاب	۱	۶۹۰	۷/۹۹	۱۲/۳۸	۱۹/۶۶	۲۳/۷	۲۳/۸	۱/۲	۰/۱۰۲
	۲	۷۰۰	۶/۸۹	۱۳/۶۵	۳۶/۲	۲۵	۱۸	۷/۲	۰/۲۵۸
	۳	۷۱۴	۷/۰۳	۱۰/۷۳	۵۳/۱۸	۵۱	۱۴	۶/۵	۰/۶۲۸
	۴	۹۸۷	۷/۲۴	۹/۰۶	۵۷/۲۶	۶۰	۸/۸	۵/۲	۰/۶۷۴
	۵	۱۰۰۶	۷/۳	۹	۶۱	۷۴/۶	۸/۲	۶/۶	۱

روند تغییرات SAR در عصاره اشباع خاک با افزایش دفعات آبیاری با فاضلاب و آب چاه در شکل ۵ نشان داده شده است. همان طور که مشخص است با افزایش آبیاری با پساب فاضلاب پرکندآباد، مقدار SAR عصاره اشباع افزایش یافته و در ۵ بار آبیاری به بالاترین مقدار خود یعنی ۲۷/۴ رسیده است. در مقابل روند تغییرات SAR با دفعات آبیاری با آب چاه کاهشی است، این کاهش به‌دلیل روند افزایش یون‌های کلسیم و منیزیم است. با افزایش دفعات آبیاری با پساب به‌ترتیب مقدار SAR افزایشی برابر ۱/۷، ۲/۰۶، ۱۰/۹ و ۱۷/۷ و ۲۲/۴ واحدی دارد. در همین راستا مقادیر هدایت هیدرولیکی اشباع (جدول ۴) به‌ترتیب با کاهشی به میزان ۴/۲، ۲۴/۴، ۴۱، ۹۶/۸ و ۹۷/۳ درصد نسبت به حالت بدون آبیاری روبه‌رو شده است. در این خصوص پاترسون بیان داشت که افزایش SAR از صفر به ۳ باعث کاهش ۵۰ درصدی در هدایت هیدرولیکی شده و افزایش از صفر به ۱۵ مقدار SAR باعث کاهش ۷۹ درصدی در هدایت هیدرولیکی اشباع می‌شود (۷). لذا آنچه مسلم است میزان سدیم موجود در فاضلاب تاثیر به‌سزایی در ایجاد لایه سله و کاهش نفوذپذیری دارد، ضمن این‌که نباید از اثر مواد معلق موجود در پساب فاضلاب تصفیه‌خانه پرکند آباد در گرفتگی لایه سطحی خاک توسط آنها نیز چشم‌پوشی کرد.



شکل ۵- روند تغییرات SAR در عصاره اشباع خاک بر اساس دفعات آبیاری با آب چاه و پساب خروجی از تصفیه‌خانه پرکند آباد، خط ممتد آبیاری با پساب و خط منقطع آبیاری با آب چاه می‌باشد

نتیجه‌گیری

افزایش فاضلاب بر چگالی ظاهری خاک تأثیر گذاشته و مقدار آن را کاهش داد، به طوری که با افزایش ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ بار فاضلاب به‌ترتیب با کاهشی برابر ۲، ۶/۶، ۴، ۱۵/۷ و ۱۷/۶ درصد روبه‌رو شدیم. هم‌چنین با افزایش تعداد آبیاری با پساب فاضلاب، مقدار یون‌های سدیم، فسفر، نیترات و نیکل افزایش می‌یابد، ضمن این‌که بیشترین افزایش در یون نیترات و سدیم مشاهده گردید. مقدار شدت نفوذ در کرت‌های آبیاری با آب و فاضلاب کمتر از حالت بدون آبیاری بود. هم‌چنین در کرت‌های آبیاری شده توسط فاضلاب این کاهش چشمگیرتر است. از آبیاری دوم به به‌دلیل ایجاد یک لایه سله نفوذپذیری بلافاصله به میزان نهایی خود رسید، به طوری که نفوذپذیری تحت این لایه سله کنترل می‌شد. یکی از دلایل اصلی ایجاد لایه سله وجود یون سدیم (مقدار SAR فاضلاب ۱۴/۶ است در حالی‌که بر اساس نمودار ویل‌کاکس مقدار ۱۰ مناسب است) در فاضلاب و اضافه شدن آن به خاک می‌باشد. زیرا یون سدیم باعث پراکنده کردن ذرات خاک شده که در این صورت ذرات ریز منافذ را پر نموده و از نفوذ آب جلوگیری می‌کند. از طرفی نباید از اثر مواد معلق (مقدار ۱۳۸ میلی‌گرم در لیتر در مقابل مقدار استاندارد ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر) موجود در پساب فاضلاب تصفیه‌خانه پرکند آباد در گرفتگی لایه سطحی خاک توسط آن‌ها نیز چشم‌پوشی کرد. می‌توان با کاهش آلودگی‌های فاضلاب خروجی و یا از ترکیب آب چاه با پساب فاضلاب برای آبیاری استفاده نمود. هم‌چنین آبیاری یک در میان با آب چاه و پساب فاضلاب نیز می‌تواند راهکار مناسبی باشد.

لذا استفاده از پساب تصفیه شده فاضلاب پرکندآباد برای انجام آبیاری در طول کل فصل رشد به‌دلیل کاهش نفوذپذیری، تجمع آب روی سطح خاک و تبخیر از سطح خاک و در نتیجه آن افزایش یون‌ها در سطح خاک مناسب نیست. بنابراین باید از پساب برای زمان اعمال کم آبیاری یا آبیاری‌هایی که در زمان رشد کامل پوشش گیاهی است استفاده شود، زیرا به‌دلیل رشد کامل گیاه و سایه اندازی آن از تبخیر آب تجمع یافته در سطح جلوگیری می‌شود، هم‌چنین در این زمان، شرایط نفوذپذیری مناسب‌تر است.

منابع

۱. علیزاده، امین .۱۳۷۶. استفاده از فاضلاب تصفیه شده در آبیاری چغندرقند .وزارت نیرو، شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور. گزارش نهایی طرح پژوهشی.

۲. علیزاده، امین. ۱۳۷۴. استفاده از پساب تصفیه شده خانگی در آبیاری سبزیجاتی که بصورت خام مصرف می‌شوند. وزارت نیرو، معاونت امور آب و فاضلاب شهری، شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور، گزارش نهایی طرح پژوهشی.

3. Abbott, C.L. and Quosy, D.E. 1996. A Procedure to assess the impacts of drainage water reuse, HR Wallingford in Collaboration with the water management Research Institute, Cairo, Report OD. 134.
4. Pescod, M.B. 1992. Wastewater treatment and use in agriculture, FAO, Irrigation and Drainage Paper, vol 47 : 113 P.
5. Hayes, A.R., Mancino, C.F., Forden, W.Y., Kopec, D.M., and Pepper, I.L. 1990. Irrigation of turfgrass with secondary sewage effluent: II.Turf Quality.J of Agron. Vol 82. pp. 943-946.
6. Chang, A.C. Wameke, J.E. Page, A.L. and Lund, L.J .1984. Accumulation of metal in sewage sludge treated. J. Environ. Qual.vol 13. pp. 87-90.
7. Ayres, R.S. and Wescot, D.W. 1985. Water-Quality for Agriculture. Rev.I, FAO. Rome. 174p.
8. Mahida, N.U. 1981. Water pollution and disposal of wastewater on land. Tata McGraw-Hill Puplishing Company limited. New Dlhi, 325p.
9. Soegrist R.L., 1987. Soil clogging during subsurfase wastewater infiltration as affected by effluent composition and loading rate, J of environ. Qual. Vol 16. No 2. pp. 256-265.
10. Xanthoulis, D. and Wallender, W. 1991. Furrow infiltration and design with cannery wastewater. Transaction of ASAE. Vol 34. No 6. pp. 2390-2396.
11. Saber, M.S.M. 1986. Prolonged effect of land disposal of human wasyes on soil conditions. Wat. SCi. Tech. vol 18. pp. 371-374.
12. Vinten, A.J.A., Mingelgrin, U., Yaron, B., 1983. The effect of suspended solids in wastewater on soil hydraulic conductivity: II. Vertical distribution of suspended solids. Soil Sci. Soc. Am. J. vol 47. pp. 408–412.

۱۳. فیضی، محمد. ۱۳۸۰. مقایسه تاثیر مصرف پساب و آب چاه بر روی خاک و گیاه در شمال اصفهان، گزارش نهایی

طرح، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان.

۱۴. روحانی شهرکی، فرزاد. مهدوی، رسول. و رضایی، مرضیه. ۱۳۸۴. اثر آبیاری با پساب بر برخی خواص فیزیکی و شیمیایی خاک. مجله آب و فاضلاب، جلد ۱۶، شماره ۵۳: ۲۳-۲۹.

۱۵. سازمان حفاظ محیطزیست ایران. ۱۳۸۶ ضوابط و استانداردهای زیست محیطی. انتشارات سازمان حفاظت محیطزیست ایران، صفحات ۵-۶.

16. Alberta Agriculture, Food and Rural Development. 2000 .Guidelines for Municipal Wastewater Irrigation, 30p.
17. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Th Ed 14. 1995.

۱۸. کمیته ملی آبیاری و زهکشی. ۱۳۸۵. مروری بر استانداردها و تجارب استفاده از پساب‌ها برای آبیاری، انتشارات کمیته ملی ابیاری و زهکشی. شماره ۱۰۴. ۲۵۰ صفحه.

19. Levy, G.J., Rosenthal, A., Tarchitzky, J., Shainberg, I., Chen, Y., 1999. Soil hydraulic conductivity changes caused by irrigation with reclaimed waste water. J. Environ. Qual. vol 28. pp. 1658–1664.

۲۰. سروش، فاطمه. موسوی، سید فرهاد. رزمجو، خورشید. و مصطفی زاده فرد، بهروز. ۱۳۸۶. تاثیر آبیاری با مقادیر متفاوت پساب تصفیه‌خانه فاضلاب شهری بر جذب عناصر توسط ارقام چمن ژاپنی، مجله پژوهش کشاورزی، جلد۷، شماره۱۲: ۷۳- ۸۴.