

## آبیاری با نسبت‌های مختلف پساب و اثرات آن بر خصوصیات شیمیایی خاک

معصومه دلبری<sup>۱</sup> و رسول اسدی<sup>۲\*</sup>

### چکیده

با توجه به لزوم استفاده مجدد از فاضلاب تصفیه شده برای کشاورزی در مناطق خشک و همچنین اهمیت تحقیقات در زمینه سرنوشت مواد اضافه شده به خاک توسط فاضلاب از نظر انتقال به عمق خاک، آزمایشی در زمینی به مساحت ۴۰ متر، در قالب طرح فاکتوریل در سه تکرار در شهر کرمان در سال ۱۳۹۲ انجام شد. تیمارهای مورد مطالعه شامل آبیاری، ۱۰۰ درصد با آب چاه=I<sub>۱</sub>، ۵۰ درصد با آب چاه و ۵۰ درصد با پساب=I<sub>۲</sub> و ۱۰۰ درصد با پساب=I<sub>۳</sub> بودند. در این پژوهش دور آبیاری ۶ روز و آبیاری به مدت ۱۲۰ روز انجام پذیرفت. همچنین نمونه‌برداری از قسمت میانی هر کرت و در دو عمق ۳۰-۶۰ سانتی‌متر صورت گرفت. نتایج نشان‌دهنده کاهش میزان اسیدیته، افزایش شوری، افزایش نسبت جذب سدیم، افزایش فسفر فسفاتی، افزایش نیتروژن نیتراتی و افزایش تجمع فلزات سنگین خاک آبیاری شده با پساب در مقایسه با خاک آبیاری شده با آب چاه بود. همچنین میزان عناصر شیمیایی اندازه‌گیری شده در دو عمق مورد بررسی نشان داد که با افزایش عمق میزان اسیدیته و فلزات سنگین افزایش ولی میزان شوری، نسبت جذب سدیم، نیتروژن نیتراتی، فسفر فسفاتی و کربن آلی کل با افزایش عمق کاهش می‌یابند.

**واژه‌های کلیدی:** آب چاه، فاضلاب تصفیه شده، اسیدیته، شوری، فسفر، فلزات سنگین، نیتروژن

### مقدمه

با اهمیت‌تری استفاده کرد (Najafi et al., 2005). از آن‌جایی که پساب فاضلاب جزء آب‌های با کیفیت پایین محسوب می‌شود، کاربرد آن در کشاورزی توصیه شده و نیازمند مدیریت خاصی است که مخاطرات زیست محیطی و بهداشتی را برای انسان، خاک، گیاه و منابع آب سطحی و زیر سطحی به حداقل برساند. در صورتی که بتوان کاربرد پساب را با روش‌های مناسب آبیاری در هم آمیخت، هم‌زمان می‌توان در جهت مرتفع ساختن مشکلات بهداشتی، آلودگی و بحران آب گام مهمی برداشت. آبیاری قطره‌ای، از جمله روش‌هایی است که با کم‌ترین تماس بین خاک، گیاه و انسان می‌تواند مخاطرات زیست‌محیطی کاربرد پساب را به حداقل رساند (Sacco et al., 2012).

در این راستا تحقیقات پژوهشگران نشان می‌دهد که استفاده از پساب به منظور آبیاری، تأثیر مستقیم بر روی خصوصیات خاک دارد. به طوری که میزان pH خاک در اراضی آبیاری شده با پساب به‌طور قابل ملاحظه‌ای کمتر از اراضی است که با آب معمولی آبیاری می‌شوند، محققان دلیل کاهش اسیدیته خاک در شرایط استفاده از پساب را افزایش مواد آلی، تشکیل مواد حدواسط اسیدی و گازهایی مانند H<sub>2</sub>S اعلام نموده‌اند (Mojiri, 2011). همچنین میزان شوری

بحران کمبود آب و محدودیت منابع آب شیرین در کشور از چالش‌هایی هستند که توجه ذینفعان را به استفاده از منابع آب جدید از جمله آب‌های غیرمتعارف به خود معطوف نموده است. به دلیل توسعه شهرها و افزایش مصرف آب، روزانه حجم زیادی پساب حاصل از تصفیه فاضلاب تولید می‌شود. رهاسازی فاضلاب خام در طبیعت و آلوده کردن محیط زیست، می‌تواند تأثیرات سوئی در خصوصیات کیفی جریان‌های سطحی و زیرزمینی داشته باشد. تصفیه فاضلاب، ضمن حفظ محیط زیست، باعث بهره‌برداری از فاضلاب و بازیافت آب می‌شود. البته حجم پساب حاصل از تصفیه فاضلاب در مقایسه با حجم آب آبیاری مورد نیاز، مقدار کمی را شامل می‌شود، ولی همین مقدار کم باعث می‌شود که آب‌های با کیفیت بالاتر را بتوان در موارد

۱ - دانشیار بخش مهندسی آب، دانشکده آب و خاک، دانشگاه زابل

۲ - مدرس گروه کشاورزی دانشگاه پیام‌نور، تهران، ایران

(\* نویسنده مسئول: Email: rakh\_802@yahoo.com)

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۳/۳۰

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۷/۲۰

خاک را پس از یک دوره طولانی مدت آبیاری با پساب در منطقه نیمه خشک مورد پژوهش قرار دادند. بر اساس گزارشات آن‌ها، به کارگیری پساب به منظور آبیاری باعث افزایش ۸۰ درصدی هدایت هیدرولیکی، ۳۵۰ درصدی کربن آلی، ۱۰۰ درصدی ازت و ۳۰۰ درصدی پتاسیم می‌شود. کریمزاده و همکاران (Karimzadeh *et al.*, 2012) اظهار داشتند که استفاده از پساب در آبیاری موجب کاهش هدایت هیدرولیکی اشباع خاک و افزایش وزن مخصوص ظاهری خاک می‌گردد.

استان کرمان با متوسط بارندگی ۱۴۵ و تبخیر ۱۷۰۰ میلی‌متر در سال، دارای محدودیت شدید از نظر منابع آبی است (Asadi *et al.*, 2010). یکی از منابع آب نامتعرف استان کرمان، تصفیه‌خانه فاضلاب شهری است که از سال ۱۳۸۶ شروع به جمع‌آوری و تصفیه فاضلاب نموده و تاکنون در حدود ۲۰ هزار مشترک به این سیستم پیوسته‌اند. پیش‌بینی می‌شود که این تصفیه‌خانه تا سال ۱۴۰۵ به بهره‌برداری کامل برسد و میزان پساب تولیدی به ۳۸/۵ میلیون مترمکعب در سال برسد (Asadi, & Yazdanpanah, 2011). حال با توجه به مطالب ذکر شده، چنین به نظر می‌رسد که بتوان از پساب تصفیه شده فاضلاب، به عنوان یک منبع مطمئن برای تأمین آب، به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک، که با کمبود شدید منابع آب روبرو هستند، استفاده کرد. در صورتی که از این پساب در آبیاری اراضی کشاورزی استفاده شود، می‌توان در صرفه‌جویی برداشت از منابع آب و مصرف کود شیمیایی و همچنین کاهش هزینه تأمین آب قدم بلندی برداشت. هدف از تحقیق حاضر، بررسی اثرات استفاده از پساب تصفیه شده فاضلاب شهری کرمان بر خصوصیات شیمیایی خاک در قالب به‌کارگیری روش‌های آبیاری قطره‌ای و شیاری می‌باشد. در همین راستا توجه و اهتمام به بحث خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک آبیاری شده با پساب فاضلاب تصفیه‌خانه کرمان را می‌توان یکی از نوآوری‌های تحقیق حاضر برشمرد. این در حالی است که تحقیق مشابهی با توجه به تحلیل عناصر فیزیکی و شیمیایی خاک در این محدوده صورت نپذیرفته است.

### مواد و روش‌ها

به منظور ارزیابی اثرات استفاده از پساب تصفیه شده فاضلاب شهری کرمان بر خصوصیات شیمیایی خاک، آزمایشی در زمینی به ابعاد ۸×۵ متر در مزرعه تحقیقاتی در فاصله ۵۰۰ متری تصفیه‌خانه فاضلاب شهر کرمان، در قالب طرح فاکتوریل در سه تکرار و در شرایط بدون کاشت گیاه، در سال ۱۳۹۲ به اجرا درآمد. در این

خاک آبیاری شده با پساب بیشتر از خاک‌های معمول می‌باشد. به‌علاوه نتایج حکایت از افزایش سطح نیتروژن، فسفر و پتاسیم در خاک دارند، در حالی که تغییرات میزان فلزات سنگین رابطه مستقیم با تعداد سال‌های آبیاری با پساب دارد (Kaschl *et al.*, 2002).

ملی و همکاران (Meli *et al.*, 2002) اثر پساب شهری را بر خصوصیات شیمیایی و میکروبیولوژیکی خاک در اقلیم نیمه خشک بررسی نمودند. آن‌ها اذعان داشتند که استفاده از پساب شهری موجب افزایش بهره‌وری و حاصلخیزی خاک شده است. حنیفلو و معاضد (Hanifehlo & Moazed, 2007) اثر آبیاری با پساب شهری اهواز را بر خواص هیدرولیکی خاک بررسی کردند. نتایج گزارش شده توسط این محققان نشان از افزایش معنی‌دار ضریب هدایت هیدرولیکی اشباع و نفوذپذیری لایه سطحی خاک نسبت به آبیاری با آب کارون دارد. حیدرپور و همکاران (Heidarpour *et al.*, 2007)، اثر استفاده از پساب تصفیه شده را روی خصوصیات شیمیایی خاک از جمله، هدایت الکتریکی، سدیم، کلسیم، منیزیم محلول، ازت، فسفر و پتاسیم، در دو نوع آبیاری سطحی و زیرسطحی مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که استفاده از آبیاری زیرسطحی افزایش هدایت الکتریکی، سدیم و منیزیم محلول را در لایه سطحی خاک در پی دارد، اما تغییرات مشاهده شده در پارامترهای بافت خاک، چگالی حقیقی، تخلخل و نفوذ آب معنی‌دار نمی‌باشد.

آیلو و همکاران (Aiello *et al.*, 2007) تأثیر به‌کارگیری پساب تصفیه شده را بر خصوصیات خاک با استفاده از آبیاری قطره‌ای مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که استفاده از پساب موجب افزایش میزان آلودگی میکروبی سطح خاک، کاهش تخلخل و هدایت هیدرولیکی می‌شود. زو و همکاران (Xu *et al.*, 2010) تأثیر بلندمدت (۲۰ ساله) پساب تصفیه شده را بر روی خاک‌های کشاورزی بررسی کردند. آن‌ها بیان داشتند که استفاده از پساب موجب کاهش pH و افزایش فلزات سنگین در سطح ۵ درصد شده است. بلوم و همکاران (Blum *et al.*, 2012) تغییرات خصوصیات خاک یک مزرعه نیشکر را پس از آبیاری با فاضلاب تصفیه شده در یک دوره ۲ ساله مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان‌دهنده تغییرات شدیدتر خصوصیات شیمیایی خاک در سال اول نسبت به سال دوم بود. سوداکوره و همکاران (SouDakoure *et al.*, 2013) اثرات آبیاری با پساب صنعتی را بر روی خصوصیات خاک مورد کاوش قرار دادند. ایشان به هم‌ریختگی ساختار خاک و نامناسب بودن شرایط فیزیکی آن پس از آبیاری با پساب را گزارش نمودند. رضاپور و همکاران (Rezapour *et al.*, 2012) واکنش خصوصیات فیزیکی و شیمیایی

دستگاه جذب اتمی مجهز به کوره گرافیتی و بر اساس روش ارائه شده توسط (APHA). همچنین میزان آب ورودی به هر کرت توسط کنتور کنترل شد. لازم به ذکر است داده‌های اندازه‌گیری شده با استفاده از نرم‌افزار MSTAT-C مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن (در سطح اعتماد ۹۹ درصد) انجام شد.

### نتایج و بحث

جدول ۱ تجزیه برخی خصوصیات شیمیایی آب چاه و پساب مورد استفاده (همرا با حدود مجاز در کشاورزی) را نشان می‌دهد. با توجه به جدول ۱ می‌توان چنین اذعان داشت که پساب حاصل از تصفیه فاضلاب شهری کرمان از لحاظ تمامی پارامترهای مورد بررسی در مقایسه با استاندارد ارائه شده توسط و FAO سازمان محافظت از محیط زیست ایران (قابل مصرف در بخش کشاورزی) در حد مجاز قرار دارند. خصوصیات فیزیکی خاک منطقه مورد مطالعه در جدول ۲ درج شده است.

آزمایش اثرات ۳ تیمار آبیاری (۱۰۰ درصد با آب چاه=I<sub>۱</sub>، ۵۰ درصد با آب چاه و ۵۰ درصد با پساب=I<sub>۲</sub> و ۱۰۰ درصد با پساب=I<sub>۳</sub>) در شرایط خاک یکسان، مورد مقایسه قرار گرفت. تیمارها در کرت‌هایی به عرض یک و طول ۲ متر مورد ارزیابی قرار گرفتند. همچنین فاصله بین کرت‌های اصلی و تکرارها که به صورت عمودی کنار هم قرار گرفتند، ۱ متر بود و تعداد کل کرت‌ها با احتساب تکرارها به ۹ کرت رسید.

در این تحقیق برای هر کرت، میزان ۱۴۰۰ لیتر آب که طی ۲۰ مرتبه آبیاری (دور آبیاری ۶ روز) انجام گردید، مورد استفاده قرار گرفت. برای اندازه‌گیری پارامترهای فیزیکی و شیمیایی خاک، از قسمت وسط هر کرت از دو عمق ۰-۳۰ و ۳۰-۶۰ سانتی‌متری خاک، نمونه‌برداری شد. پارامترهایی اندازه‌گیری شده عبارت‌اند از: اسیدیته خاک (توسط دستگاه pH سنج مدل ۶۲۰ اهم‌متر)، شوری خاک (توسط دستگاه هدایت‌سنج الکترونیکی مدل ۶۴۶ اهم‌متر)، سدیم (توسط دستگاه فتومتر کورنینگ مدل ۴۱۰)، کلسیم و منیزیم (توسط تیتراسیون با محلول اورسین)، نیتروژن-نیتراتی (توسط دستگاه کج‌دال)، فسفر-فسفاتی (توسط دستگاه فتومتر کورنینگ به روش اولسن)، کربن آلی (توسط روش اکسیداسیون به کمک دی‌کرومات) و غلظت عناصر سنگین مانند نیکل، کادمیم، روی و آهن (توسط

جدول ۱- خصوصیات شیمیایی آب چاه و پساب مورد استفاده

میزان مجاز استاندارد (استفاده به عنوان آب آبیاری)		پساب	آب چاه	پارامتر اندازه‌گیری شده
FAO <sup>۲</sup>	ایران <sup>۱</sup>			
۶/۳-۸/۴	۶-۸/۵	۶/۴	۶/۷	pH
۳	-	۲/۳	۱/۵	هدایت الکتریکی (dS/m)
۳-۹	-	۱۴/۳	۳/۶	سدیم (meq/l)
-	-	۳/۲	۱/۴	کلسیم (meq/l)
-	۴/۱	۲/۷	۲/۱	منیزیم (meq/l)
-	-	۸/۴	۲/۷	نسبت جذب سدیم (meq/l) <sup>0.5</sup>
-	-	۲/۶	-	فسفر-فسفاتی (meq/l)
۵-۳۰	۱۰	۳۸/۹	-	نیتروژن-نیتراتی (meq/l)
-	-	۷۴/۱	-	کربن آلی کل (meq/l)
۰/۰۱	۰/۰۵	۰/۰۱۴	-	کادمیم (meq/l)
۰/۰۶	۲	۰/۰۸۷	-	نیکل (meq/l)
-	۳	۰/۰۲۹	-	آهن (meq/l)
-	۲	۰/۰۰۲	-	روی (meq/l)
-	۱۰۰	۳۴	-	BOD (ppm)
-	۲۰۰	۵۱	-	COD (ppm)

۱: استاندارد سازمان محافظت از محیط زیست ایران (Hosseinpour et al., 2008)

۲: برگرفته از FAO (Anon, 1992)

جدول ۲- تجزیه برخی خصوصیت‌های فیزیکی خاک منطقه مورد مطالعه

عمق (cm)	جرم مخصوص حقیقی (gr/cm <sup>3</sup> )	جرم مخصوص ظاهری (gr/cm <sup>3</sup> )	تخلخل (%)	رس (%)	سیلت (%)	شن (%)
قبل از انجام آزمایش						
۰-۳۰	۲/۶۷	۱/۴۲	۴۶/۸	۱۴/۳	۲۸/۲	۵۷/۵
۳۰-۶۰	۲/۷۱	۱/۳۷	۴۹/۴	۱۶/۸	۳۱/۹	۵۱/۳

### تحلیل اسیدیته خاک

مقایسه میانگین تجزیه خصوصیات شیمیایی خاک (جدول ۳) نشان می‌دهد که میزان اسیدیته خاک تحت تأثیر استفاده از پساب نسبت به میزان اسیدیته خاک قبل از انجام آزمایش، کاهش یافته است. همان‌طور که در جدول ۳ مشخص شده است کاهش میزان اسیدیته خاک در شرایط آبیاری با ۱۰۰ درصد پساب بسیار چشم‌گیر بوده است، به طوری که میزان اسیدیته خاک در عمق ۰-۶۰ سانتی‌متری خاک در شرایط آبیاری با ۱۰۰ درصد پساب، نسبت به اسیدیته خاک قبل از انجام آزمایش، ۱۲/۵ درصد کاهش داشت، این در حالی است که کاهش اسیدیته خاک در شرایط استفاده آبیاری با ۵۰ درصد آب چاه و ۵۰ درصد پساب، نسبت به اسیدیته خاک قبل از

انجام آزمایش، ۶/۹ درصد بوده است. محققان دلیل کاهش اسیدیته خاک در شرایط استفاده از پساب را افزایش مواد آلی، تشکیل مواد حدواسط اسیدی و گازهایی مانند H<sub>2</sub>S اعلام نمودند (Mojiri, 2011). همچنین مقایسه میانگین اسیدیته خاک در اعماق مورد بررسی نشان می‌دهد (جدول ۳)، که با افزایش عمق، میزان اسیدیته خاک نیز افزایش می‌یابد. به نظر می‌رسد کاهش اسیدیته خاک در سطح خاک نسبت به اعماق به این دلیل است که با توجه به اینکه در سطح خاک شرایط برای ورود هوا به داخل خاک مساعدتر است، موجب افزایش سرعت تجزیه مواد آلی از جمله فرآیند نیتریفیکاسیون می‌شود که کاهش اسیدیته خاک را به دنبال دارد (McLaren et al., 2003).

جدول ۳- مقایسه میانگین تجزیه خصوصیت‌های شیمیایی خاک منطقه مورد مطالعه

عمق (cm)	pH	EC (dS/m)	Na (meq/l)	Ca (meq/l)	Mg (meq/l)	SAR (meq/l) <sup>0.5</sup>	Cd (meq/l)	Ni (meq/l)	Fe (meq/l)	Zn (meq/l)
قبل از انجام آزمایش										
۰-۳۰	۷/۱b	۱/۰۵d	۳/۱۴d	۵/۸۵a	۳/۵۱a	۱/۴۵d	۰/۰۰۰۱c	۰/۰۰۵۵d	۰/۰۰۰۱b	۰/۰۰۳c
۳۰-۶۰	۷/۴a	۰/۹۵e	۲/۷۱e	۴/۷۴c	۳/۲۲b	۱/۳۳d	۰/۰۰۰۱c	۰/۰۰۳۸e	۰/۰۰۰۱b	۰/۰۰۳c
۰-۶۰	۷/۲	۱	۲/۹۲	۵/۲۹	۳/۳۶	۱/۳۹	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۴۶	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۳
بعد از انجام آزمایش (آبیاری ۱۰۰ درصد با آب چاه)										
۰-۳۰	۶/۹c	۱/۱۱d	۳/۴۵c	۴/۷۲c	۳/۱۱c	۱/۷۳c	۰/۰۰۰۱c	۰/۰۰۵۷d	۰/۰۰۰۱b	۰/۰۰۲۷c
۳۰-۶۰	۷/۱b	۱/۰۷d	۳/۴۲c	۵/۲۸a	۳/۰۹c	۱/۶۸c	۰/۰۰۰۱c	۰/۰۰۳۱e	۰/۰۰۰۱b	۰/۰۰۲۷c
۰-۶۰	۷	۱/۰۹	۳/۴۳	۵	۳/۱	۱/۷	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۴۴	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۲۷
بعد از انجام آزمایش (آبیاری ۵۰ درصد با آب چاه و ۵۰ درصد با پساب)										
۰-۳۰	۶/۶d	۱/۸۱b	۶/۶۴b	۴/۳۱d	۳/۱۹b	۳/۴۲b	۰/۰۰۲۵b	۰/۰۰۸۹c	۰/۰۰۰۷a	۰/۰۰۸b
۳۰-۶۰	۶/۸c	۱/۵۵c	۶/۲۱b	۴/۷۴c	۳/۰۷c	۳/۱۴b	۰/۰۰۲۱b	۰/۰۰۷۱c	۰/۰۰۰۵۲a	۰/۰۰۷b
۰-۶۰	۶/۷	۱/۶۸	۶/۴۲	۴/۵۲	۳/۱۳	۳/۷۸	۰/۰۰۲۳	۰/۰۰۰۸	۰/۰۰۰۰۶۱	۰/۰۰۷۵
بعد از انجام آزمایش (آبیاری ۱۰۰ درصد با پساب)										
۰-۳۰	۶/۱e	۲/۱۱a	۸/۵۸a	۵/۰۲b	۳/۲۵b	۴/۲۳a	۰/۰۰۴۷a	۰/۰۱۴۲a	۰/۰۰۱۲a	۰/۰۱۲۷a
۳۰-۶۰	۶/۵d	۱/۸۴b	۸/۳۱a	۴/۹۷b	۳/۲۱b	۴/۱۱a	۰/۰۰۳۲a	۰/۰۱۰۹b	۰/۰۰۰۹a	۰/۰۱۰۹a
۰-۶۰	۶/۳	۱/۹۷	۸/۴۴	۵	۳/۲۳	۴/۱۷	۰/۰۰۴	۰/۰۱۲۵	۰/۰۰۱۱	۰/۰۰۶۰۸

### تحلیل شوری خاک

کاتیون‌های محلول در لایه‌های سطحی خاک بیشتر از لایه‌های عمیق می‌باشد (Hosseinpour et al., 2008). همچنین همان‌طور که در جدول ۳ مشخص است، آبیاری با پساب افزایش نسبت جذب سدیم را نسبت به آبیاری با آب چاه در پی دارد به‌طوری‌که میزان نسبت جذب سدیم در آبیاری با ۱۰۰ درصد پساب نسبت به آبیاری با ۵۰ درصد آب چاه و ۵۰ درصد پساب، ۹/۵ درصد افزایش داشت. محققان دلیل این امر را اینگونه بیان نمودند که اعمال پساب سرشار از سدیم، تعادل طبیعی کاتیون‌های محلول خاک را بر هم می‌زند و منجر به جایگزینی سدیم با کاتیون‌های دیگر به‌ویژه کلسیم و منیزیم موجود بر سطوح قابل تبادل خاک می‌گردد که به موجب آن افزایش نسبت جذب سدیم را در پی دارد (Meli et al., 2002; Heidarpour et al., 2007; Sacco et al., 2012; SouDakoure et al., 2013)

### تحلیل فسفر-فسفاتی

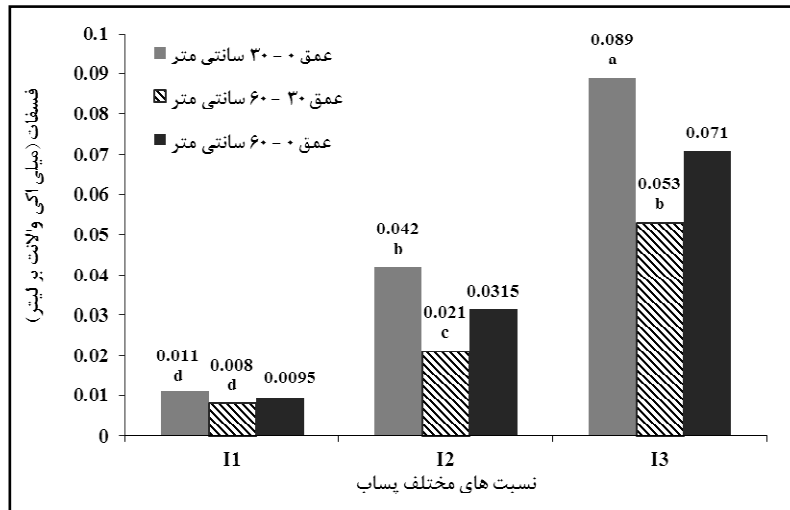
فسفر به عنوان یک عامل تغذیه‌ای موثر در وقوع پدیده اوتریفیکاسیون به‌شمار می‌رود که انتقال آن به آب‌های سطحی و زیرزمینی کاهش کیفیت آب را به دنبال دارد (Aiello et al., 2007). در این تحقیق میزان فسفر خاک بر حسب فسفات اندازه‌گیری شده است. لذا مقایسه میانگین تجزیه فسفات خاک در شکل ۱ نشان داده شده است. همان‌طور که در این شکل مشخص است میزان فسفات خاک تحت تأثیر استفاده از پساب نسبت به میزان فسفات خاک قبل از انجام آزمایش، افزایش یافته است. به‌طوری‌که میزان فسفات خاک در عمق ۶۰-۰ سانتی‌متری خاک در شرایط آبیاری ۱۰۰ درصد با پساب، نسبت به میزان آن قبل از انجام آزمایش (I<sub>۱</sub>)، ۸۶/۶ درصد افزایش داشت، این در حالی است که افزایش فسفات خاک در شرایط آبیاری با ۵۰ درصد آب چاه و ۵۰ درصد پساب (I<sub>۲</sub>)، نسبت به فسفات خاک قبل از انجام آزمایش، ۶۹/۸ درصد بوده است. همچنین با توجه به تحرک بسیار کم فسفر در خاک، تجمع فسفر در لایه‌های سطحی خاک بیشتر است (Mojiri, 2011) لذا در این تحقیق نیز مقایسه میانگین فسفات در اعماق مورد بررسی نشان می‌دهد (شکل ۱) که با افزایش عمق، میزان فسفات خاک کاهش می‌یابد.

مقایسه میانگین نتایج تجزیه شیمیایی خاک (جدول ۳) نشان می‌دهد که استفاده از پساب برای آبیاری نسبت به آب چاه در دو تیمار آبیاری با ۱۰۰ درصد پساب و آبیاری با ۵۰ درصد آب چاه و ۵۰ درصد پساب در عمق ۶۰-۰ سانتی‌متر به ترتیب باعث افزایش ۴۴/۶۷ و ۳۵/۱۱ درصدی شوری خاک شده است. با توجه به اینکه شوری پساب مورد آزمایش تقریباً ۲ برابر شوری خاک بوده است، افزایش شوری خاک به‌دنبال کاربرد پساب دور از انتظار نمی‌باشد. محققان بسیاری شور شدن خاک را در اثر آبیاری با پساب اظهار داشته‌اند (Hosseinpour et al., 2008; Khai et al., 2008; Najafi & Nasr, 2009). همچنین محققان افزایش EC خاک آبیاری شده با پساب را به‌دلیل بالا بودن غلظت کاتیون‌هایی مثل Na در پساب ارتباط داده‌اند (Khai et al., 2008).

مقایسه میانگین شوری خاک در دو عمق مورد بررسی (جدول ۳) نشان می‌دهد که با افزایش عمق، میزان شوری خاک کاهش می‌یابد. در شرایط اعمال پساب به خاک، تجمع مواد آلی در سطح خاک افزایش یافته و به‌دلیل عدم فرصت کافی برای تجزیه مواد آلی، نفوذ پساب به اعماق خاک کاهش می‌یابد که به موجب آن شرایط لازم برای تجمع نمک در سطح خاک فراهم می‌گردد، لذا شوری خاک در لایه‌های سطحی خاک افزایش می‌یابد (Najafi et al., 2005; Khai et al., 2008; Xu et al., 2010; Sepaskhah et al., 2011). در همین راستا مگسن و همکاران (Magesan et al., 2000) گزارش نمودند که مقدار مواد آلی در پساب تأثیر مهمی بر خاصیت نفوذپذیری خاک دارد، به‌طوری‌که افزایش مواد آلی با مسدود نمودن منافذ خاک، نفوذ پساب را به اعماق خاک کاهش می‌دهد.

### تحلیل نسبت جذب سدیم

مقایسه میانگین میزان نسبت جذب سدیم در اعماق مورد بررسی تحت تأثیر نسبت‌های مختلف پساب (جدول ۳) نشان می‌دهد که با افزایش عمق، میزان نسبت جذب سدیم کاهش می‌یابد. دلیل این امر را می‌توان این دانست که تجمع

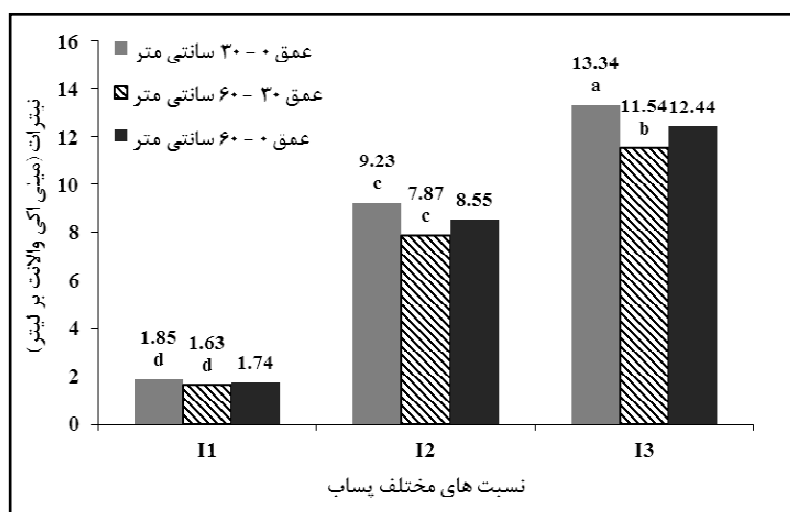


شکل ۱- مقایسه میانگین تجزیه فسفات خاک

۵۰ درصد پساب نسبت به آبیاری با آب چاه در عمق ۰-۶۰ سانتی‌متر به ترتیب باعث افزایش ۸۶ و ۷۹/۶ درصدی نیترات خاک قبل از انجام آزمایش شده است. همچنین با افزایش عمق، میزان نیترات خاک کاهش می‌یابد. دلیل این امر را می‌توان چنین ذکر کرد که با توجه به این که انباشتگی مواد آلی در بخش سطحی نیم‌رخ خاک بیشتر است، احتمال می‌رود زیاد بودن مقدار نیترات در سطح، به دلیل تجزیه مواد آلی و آزاد شدن آمونیوم باشد، که در نتیجه پدیده نیتراتی شدن، افزایش آنیون در سطح خاک را در پی داشته است (Hosseinpour *et al.*, 2008; Xu *et al.*, 2010; Rezapour *et al.*, 2012).

### تحلیل نیتروژن - نیتراتی

در نتیجه اعمال پساب به خاک، مقدار قابل توجهی نیتروژن به خاک افزوده می‌شود که میزان آن بستگی به مقدار نیتروژن موجود در پساب و حجم پساب کاربردی دارد. یکی از شکل‌های نیتروژن یون نیترات است. یون نیترات به دلیل داشتن بار منفی از پویایی بسیار زیادی برخوردار است و اگر به وسیله گیاهان و یا میکروارگانیسم‌ها جذب نگردد به سرعت وارد آب‌ها سطحی و زیرزمینی شده و خطرات بهداشتی را به دنبال خواهد داشت (Hosseinpour *et al.*, 2008). مقایسه میانگین تجزیه نیترات خاک نشان می‌دهد (شکل ۲)، که آبیاری با ۱۰۰ درصد پساب و آبیاری با ۵۰ درصد آب چاه و

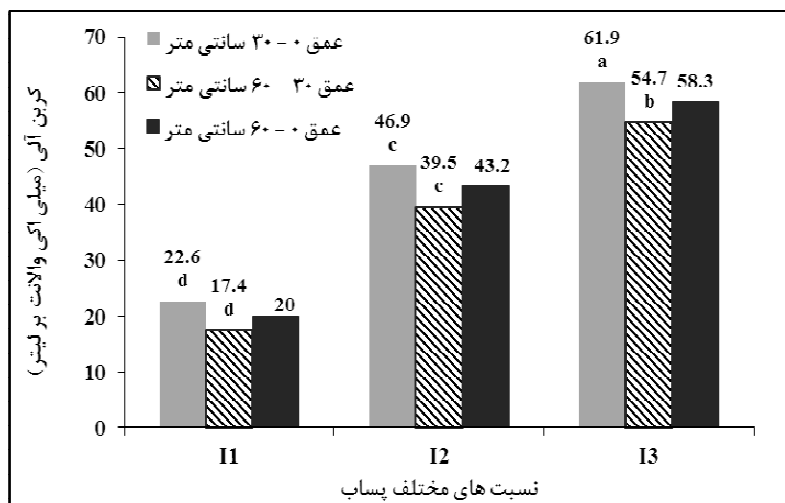


شکل ۲- مقایسه میانگین تجزیه نیترات خاک

### تحلیل کربن آلی کل

وجود مواد آلی محلول در خاک می‌تواند بیانگر حضور ترکیبات میکروبی و همچنین ترکیبات آلی مقاوم به تجزیه باشد که در خاک تجزیه نشده‌اند (Meli *et al.*, 2002). ترکیب‌های آلی مقاوم به تجزیه خاصیت انباشتگی زیستی دارند که برای میکروارگانیسم‌های خاک و گیاهان سمی بوده و در انسان اثرات سرطان‌زایی دارند. با توجه به فواید بی‌شمار مواد آلی، وجود کربن آلی کل در محلول خاک می‌تواند سبب افزایش پویایی فلزات سنگین در اعماق خاک و همچنین تغییر در پتانسیل اکسایش خاک گردد (SouDakoure *et al.*, 2013). افزون بر آن پیوند ترجیحی ترکیبات آلی محلول با کلسیم و منیزیم، افزایش پراکندگی ذرات خاک را به دنبال دارد (Blum *et al.*, 2012). مقایسه میانگین میزان کربن آلی کل در اعماق مورد بررسی تحت تأثیر اعمال پساب نشان می‌دهد

(شکل ۳)، که با افزایش عمق میزان کربن آلی کل کاهش می‌یابد. مکلارن و همکاران (McLaren *et al.*, 2003) گزارش نمودند که با افزایش عمق خاک میزان کربن آلی کل به شدت کاهش می‌یابد که با نتیجه بدست آمده از تحقیق حاضر هم‌خوانی دارد. از طرف دیگر کربن آلی مهم‌ترین پارامتر برای کیفیت و تقویت حاصل‌خیزی خاک است (Sepaskhah *et al.*, 2011). لذا از دیگر نتایج تحقیق حاضر می‌توان چنین ادعان داشت که آبیاری با پساب افزایش کربن آلی کل را نسبت به آبیاری با آب چاه در پی دارد. در همین راستا نجفی و نصر (Najafi & Nasr, 2009) گزارش نمودند که کربن آلی در خاک‌های آبیاری شده با پساب شهری افزایش معنی‌داری نسبت به خاک‌های شاهد و آبیاری شده با کودهای شیمیایی دارد، به طوری که مقدار کربن آلی خاک در تیمار حاوی پساب شهری از افزایش ۴۱ درصدی نسبت به تیمار شاهد برخوردار بود.



شکل ۳- مقایسه میانگین تجزیه کربن آلی کل خاک

### تحلیل عناصر سنگین

عناصر سنگین در عرصه‌های مختلف فعالیت‌های شهری، خدماتی، کشاورزی و صنعتی دارای مصرف روزافزایان می‌باشند و در فرآیند مصرف آب، این مواد می‌توانند وارد فاضلاب گردند. فلزات سنگین در طبیعت اثرات سوئی بر کیفیت محصولات کشاورزی، حاصل‌خیزی خاک و آب‌های زیرزمینی می‌گذارند. خصوصیات مختلف خاک، ترکیب و درجه تصفیه فاضلاب و روش آبیاری نقش مهمی بر انتقال فلزات سنگین به آب‌های زیرزمینی ایفا می‌کنند. از طرف دیگر باید توجه کرد که در مورد تجمع فلزات سنگین در

خاک نباید انتظار داشت که در یک سال زراعی میزان غلظت فلزات سنگین در خاک افزایش معنی‌داری نشان دهد زیرا غلظت این عناصر در پساب بسیار ناچیز است. تجمع عناصر سنگین در خاک طی آبیاری با پساب به عوامل مختلفی از جمله غلظت این عناصر در پساب، مدت آبیاری با پساب، بافت خاک، اسیدیته و درصد مواد آلی خاک بستگی دارد (Hosseinpour *et al.*, 2008).

مقایسه میانگین میزان عناصر سنگین در اعماق مورد بررسی تحت تأثیر اعمال پساب (جدول ۳) نشان می‌دهد که با افزایش عمق، میزان عناصر سنگین کاهش می‌یابد. حسین‌پور و همکاران

- Asadi, R. and Yazdanpanah, N. 2011. Utilization improvement of the sewage effluent based on some environmental considerations (case study, Kerman). International Conference on Water and Wastewater.
- Blum, J., Herpin, U., Melfi, A. J. and Montes, C. R. 2012. Soil properties in a sugarcane plantation after the application of treated sewage effluent and phosphogypsum in Brazil. *Agricultural Water Management*. 115, 203-216.
- Hanifehlou, A. and Moazed, H. 2007. Effects of Ahwaz treated municipal wastewater application on hydraulic characteristics of soil. *Journal of Agricultural Engineering Research*. 8, 47-62. (in Farsi)
- Heidarpour, M., Mostafazadeh-Fard, B., Abedi Koupai, J. and Malekian, R. 2007. The effects of treated wastewater on soil chemical properties using subsurface and surface irrigation methods. *Agricultural Water Management*. 90, 87-94.
- Hosseinpour, A., Haghnia, G., Alizadeh, A. and Fotovat, A. 2008. Transport of some elements to depth of a soil following irrigation with raw and treated municipal wastewaters under continuous and intermittent flood conditions. *Journal of Water and Soil*. 22, 117-133. (in Farsi)
- Karimzadeh, M., Alizadeh, A. and Mohammady Arya, M. 2012. Effect of Irrigation with Waste Water on Soil Saturated Hydraulic Conductivity. *Journal of Water and Soil*. 26, 1553-1547. (in Farsi)
- Kaschl, A., Romheld, V. and Chen, Y. 2002. The influence of soluble organic matter from municipal solid waste compost on trace metal leaching in calcareous soils. *The Science of the Total Environment*. 291, 45-57.
- Khai, N., Tuan, P., Vinh, C. and Oborn, I. 2008. Effects of using wastewater as nutrient sources on soil chemical properties in peri per urban agricultural systems. *Journal of Science, Earth Sciences*. 24, 87-95.
- Magesan, G., Williamson, J., Yeates, G. and Lloyd-Jones, A. 2000. Wastewater C:N ratio effects on soil hydraulic conductivity and potential mechanisms for recovery. *Bio resource Technology*. 71, 21-27.
- McLaren, R. G., Clucas, L. M., Taylor, M. D. and Hendry, T. 2003. Leaching of macronutrients and metals from undisturbed soils treated with metal-spiked sewage sludge, Leaching of macronutrients. *Australian Journal of Soil Research*. 41, 571-588.
- (Hosseinpour *et al.*, 2008)، در تحقیقی دریافتند که مقدار فلزات سنگین در سطح خاک بیشتر از اعماق زیرین می باشد. اما در تحقیق حاضر انتقال عناصر سنگین به عمق ۳۰-۶۰ سانتی متری خاک نیز صورت گرفته است که نوع بافت خاک می تواند یکی از عوامل موثر بر افزایش درصد انتقال عناصر سنگین به اعماق خاک باشد. در خاک هایی که منافذ درشت دارند، حرکت بخشی از رسوبات کلوئیدی و ذرات رس همراه با حرکت محلول خاک، سبب انتقال فلزات سنگین متصل به این ذرات می گردد. از سوی دیگر انتقال کربن آلی کل و روند افزایش درصد انتقال آن به عمق خاک در طول زمان، نیز می تواند یکی دیگر از عوامل موثر بر انتقال باشد. به طوری که کاسچل و همکاران (Kaschl *et al.*, 2002) افزایش میزان فلزات سنگین در خاک های با اسیدیته قلیایی را به علت پیوند آن ها با مواد آلی محلول گزارش نمودند.
- ### نتیجه گیری
- نتایج به دست آمده از تأثیر نسبت های مختلف فاضلاب تصفیه شده بر خصوصیات شیمیایی خاک نشان داد که استفاده از فاضلاب تصفیه شده شهر کرمان در مقایسه با آب معمولی باعث کاهش میزان اسیدیته، افزایش شوری، افزایش نسبت جذب سدیم، افزایش فسفر فسفات، افزایش نیتروژن نیتراتی و افزایش تجمع فلزات سنگین خاک شد. همچنین بررسی تأثیر فاضلاب تصفیه شده شهری بر دو عمق ۳۰-۶۰ سانتی متری خاک نشان داد که با افزایش عمق خاک میزان اسیدیته و فلزات سنگین افزایش ولی میزان شوری، نسبت جذب سدیم، نیتروژن نیتراتی، فسفر فسفات و کربن آلی کل با افزایش عمق کاهش می یابند.
- ### مراجع
- Aiello, R., Cirelli, G. L. and Consoli, S. 2007. Effects of reclaimed wastewater irrigation on soil and tomato fruits: A case study in Sicily (Italy). *Agricultural Water Management*. 93, 65-72.
- Anon. 1992. Wastewater treatment and use in agriculture. Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO. Rome, No. 47.
- Asadi, R., Haghghatjou, P. and Koochi, N. 2010. Evaluation of the evapotranspiration based on solar radiation and air temperature in Kerman city. The 1<sup>st</sup> International Conference on Plant, Water, Soil and Weather Modeling; Kerman, Iran. (in Farsi)



- Rezapour, S., Samadi, A. and Khodaverdiloo, H. 2012. Impact of long-term wastewater irrigation on variability of soil attributes along a landscape, semi-arid region of Iran. *Environmental Earth Sciences*. 67, 1713–1723.
- Sacco, D., Cremon, C., Zavattaro, L. and Grignani, C. 2012. Seasonal variation of soil physical properties under different water managements in irrigated rice. *Soil and Tillage Research*. 118, 22-31.
- Sepaskhah, A. R. and Karizi, A. 2011. Effects of alternate use of wastewater and fresh water on soil saturated hydraulic conductivity. *Journal of Agronomy and Soil Science*. 57, 149–158.
- SouDakoure, M. Y., Mermoud, A., Yacouba, H. and Boivin, P. 2013. Impacts of irrigation with industrial treated wastewater on soil properties. *Geoderma*. 200, 31-39.
- Xu, J., Wu, L., Chang, A. C. and Zhang, Y. 2010. Impact of long-term reclaimed wastewater irrigation on agricultural soils: A preliminary assessment. *Journal of Hazardous Materials*. 183, 780-786.
- Meli, S., Porto, M., Belligno, A., Bufo, S.A., Mazzatura, A. and Scopa, A. 2002. Influence of irrigation with lagooned urban wastewater on chemical and microbiological soil parameters in a citrus orchard under Mediterranean condition. *Science of the Total Environment*. 285, 69-77.
- Mojiri, A. 2011. Effects of municipal wastewater on physical and chemical properties of saline soil. *Journal of Biology and Environmental Science*. 14, 71-76.
- Najafi, P. and Nasr, S. 2009. Comparison effects of wastewater on soil chemical properties in three irrigation methods. *Research on Crops*. 10, 277-280.
- Najafi, P., Mosavi, F. and Feizi, M. 2005. Effect of using municipal wastewater in irrigation of potato. *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*, 2, 15-25.
- Papadopoulos, A., Bird, N. R. A., Whitmore, A. P. and Mooney, S. J. 2014. Does organic management lead to enhanced soil physical quality. *Geoderma*. 213, 435-443.

## Irrigation by Different Levels of Wastewater and Its Effects on Soil Chemical Properties

M. Delbari<sup>1</sup> and R. Asadi<sup>2\*</sup>

### Abstract

Due to the necessity of wastewater reuse in arid regions and the necessity of investigation on the fate of added materials into the soil, a field experiment was carried out in 2013 at experimental farm in Kerman city. The treatments were laid out in split plot a Randomized Complete Block Design (RCBD) design with three replications. The treatments were comprised of I1: 100 percent of groundwater, I2: 50 percent of groundwater and 50 percent of wastewater and I3: 100 percent of wastewater. Irrigation period was 6 days and lasted for 4 months. Samplings were done for the middle part of furrows in two depths of 0-30 cm and 30-60 cm in every treatment. Results showed the reduction of pH, and increment of salinity, phosphate phosphorus, nitrate nitrogen and heavy metals of using wastewater compare to groundwater. Moreover, the results indicate the increasing of accumulation of heavy metals in soil depth applying furrow irrigation in comparison to drip irrigation.

**Keyword:** Groundwater, Wastewater, pH, Salinity, Heavy Metals

Received: June 20, 2014

Accepted: October 12, 2014

---

1 - Associate Professor, Water Engineering Department, Faculty of Water and Soil, Zabol University

2 - Lecturer of Department of Agriculture, Payame Noor University, Tehran, Iran.

(\*Corresponding Author: Email: rakh\_802@yahoo.com)