

کاربرد پساب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب در کشاورزی و ارزیابی پتانسیل آثار آن بر خاک و گیاهان

سید علی قاسمی و شهناز دانش^{*۱}

(تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۸/۲۳؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۸/۲۸)

چکیده

در این کار تحقیقاتی، کیفیت پساب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهر مشهد جهت استفاده در کشاورزی، براساس رهنمود کیفی آب آیرس و وستکات مورد بررسی قرار گرفت و پتانسیل اثرات نامطلوب آن بر خاک و گیاهان ارزیابی شد. برای این منظور، از پساب هر یک از تصفیه‌خانه‌های مورد نظر در طی مدت یک سال نمونه‌برداری گردید و نمونه‌ها از نظر پارامترهای pH، هدایت الکتریکی، غلظت یون‌های سدیم، کلسیم، منیزیم، کلراید، بور، نیتروژن نیتراتی، بی‌کربنات و برخی از فلزات سنگین مورد آزمایش قرار گرفتند. با توجه به نتایج به‌دست آمده، کاربرد پساب تصفیه‌خانه‌های شهر مشهد در کشاورزی از نظر غلظت بی‌کربنات ($8/0-12/1 \text{ meq/L}$) با محدودیت شدید، و از نقطه‌نظر پارامترهای هدایت الکتریکی ($1/3-1/9 \text{ dS/m}$)، غلظت سدیم ($5/8-8/7$ برحسب SAR)، غلظت کلراید ($3/2-6/5 \text{ meq/L}$) و نیز شاخص نسبت جذب سدیم تنظیم شده ($7/8-11/7$)، با محدودیت کم تا متوسط مواجه است. این در حالی است که مقادیر pH ($7/3-8$)، نیتروژن نیتراتی ($0/5-4/2 \text{ mg/L}$)، بور ($0/2-0/8 \text{ mg/L}$) و فلزات سنگین محدودیتی را برای استفاده از این پساب‌ها در کشاورزی نشان ندادند. به‌طورکلی نتایج این پژوهش دلالت بر آن دارد که استفاده از پساب در کشاورزی بایستی براساس رعایت برنامه‌ریزی‌های دقیق پایش و مدیریتی انجام پذیرد.

واژه‌های کلیدی: پساب، آبیاری، پارامترهای کیفی آب، رهنمود آیرس و وستکات، تصفیه فاضلاب

۱. گروه عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد

* : مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: sdanesh@ferdowsi.um.ac.ir

مقدمه

در قرن اخیر، نیاز به زمین‌های کشاورزی به صورت تابعی از رشد جمعیت، به شدت افزایش یافته است (۶). علاوه بر این، عواملی مانند شهرنشینی، صنعتی شدن، مدیریت نامناسب در بخش کشاورزی و ورود آلاینده‌های مختلف به محیط زیست، کاهش مساحت زمین‌های قابل کشت را موجب شده است. امروزه تأثیر مستقیم کیفیت آب آبیاری بر خصوصیات خاک و محصولات کشاورزی کاملاً مشخص گردیده است. به عنوان مثال یکی از مهم‌ترین معضلات ناشی از کاربرد منابع آب کم کیفیت در کشاورزی شور شدن خاک است. به گونه‌ای که سالانه ۱۰ میلیون هکتار از زمین‌های کشاورزی در جهان به دلیل افزایش شوری به زمین‌های غیرقابل کشت تبدیل می‌شوند (۲۴). از این رو کاربرد مؤثر زمین‌های کشاورزی و آب آبیاری به یکی از اجزای مهم برنامه‌های مدیریت و توسعه کشاورزی تبدیل شده است. کمبود منابع آب سطحی و زیرزمینی معضل مهم دیگری است که در سال‌های اخیر، خصوصاً در بخش کشاورزی شدت یافته است.

این مسأله تصمیم‌گیران را در نقاط مختلف دنیا به سمت استفاده از منابع آب غیرمعارف و خصوصاً پساب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب سوق داده است. پساب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب علاوه بر این که یک منبع آب پایدار به حساب می‌آید، بخشی از مواد غذایی مورد نیاز گیاهان را تأمین نموده و از این طریق مصرف کودهای شیمیایی را در تولید محصولات کشاورزی کاهش می‌دهد (۱۵). کاربرد منبع آب غیرمعارف در آبیاری محصولات کشاورزی یکی از مهم‌ترین عوامل کاهش کیفیت خاک و محصولات تولیدی به حساب می‌آید (۱۳). شور شدن و تخریب ساختمان خاک، تجمع فلزات سنگین، مسمومیت گیاهان و کاهش عملکرد آنها نمونه‌های بارزی از تأثیر نامطلوب استفاده از پساب در آبیاری محصولات کشاورزی است که توسط بسیاری از پژوهشگران مورد تأیید قرار گرفته است (۳۰). به عقیده کاندلا و همکاران (۱۴) افزایش شوری خاک جدی‌ترین خطری است که در نتیجه کاربرد

طولانی مدت پساب در کشاورزی می‌تواند اتفاق بیفتد. مطالعات جامع لادو و بن هور (۲۵) در ارتباط با ارزیابی اثرات آبیاری با فاضلاب شهری بر خصوصیات خاک در مناطق خشک و نیمه‌خشک نشان داد که آبیاری خاک‌های شنی و رسی با فاضلاب باعث افزایش شوری خاک تا عمق حدود ۱/۵ متری می‌شود. عزیزاده و همکاران (۱۱) در تحقیقات خود به این نتیجه دست یافتند که آبیاری ذرت با فاضلاب تصفیه شده شهر مشهد به مدت ۲ سال، کاهش ۱۵۶ درصدی ظرفیت نفوذپذیری خاک را در مقایسه با زمان قبل از آغاز تحقیق به دنبال داشته است. شادکام و سایرین (۴) نیز کاهش چشمگیری را در هدایت هیدرولیکی خاک‌های مورد مطالعه را در اثر آبیاری با پساب مشاهده نمودند. لوچو کونسانتینو و همکاران (۲۷) با ارزیابی تأثیر آبیاری با فاضلاب بر تجمع عناصر مختلف در خاک مزارع مرکزی مکزیک، نشان دادند که غلظت عنصر بور در خاک این مناطق پس از ۱۰ سال آبیاری با فاضلاب، ۱۰ تا ۱۲ برابر افزایش یافته است. لیو و همکاران (۲۶) با بررسی تأثیر آبیاری با فاضلاب بر توزیع فلزات سنگین و آلودگی خاک در پکن، مشاهده نمودند که غلظت فلزات کادمیم، کروم، مس، روی و سرب در خاک آبیاری شده با فاضلاب نسبت به مقادیر مرجع بالاتر است. این محققین ثابت نمودند که غلظت سرب، کروم و کادمیم در برخی از نقاط نمونه‌برداری، از مقادیر قابل قبول برای تولید محصولات کشاورزی بیشتر است.

به‌طور کلی، آثار نامطلوب ذکر شده عمدتاً به وجود برخی از یون‌ها در آب آبیاری و در نتیجه تجمع آنها در خاک نسبت داده می‌شود. بنابراین در وضعیت فعلی، مدیریت کیفیت آب آبیاری مهم در جهت تأمین محصولات کشاورزی با کیفیت و تضمین بهره‌برداری پایدار از زمین‌های زراعی به حساب می‌آید. کیفیت و میزان مطلوبیت آب آبیاری همواره براساس مقادیر ارائه شده در استانداردها و رهنمودها تعیین می‌گردد. از میان این استانداردها و رهنمودها، توصیه‌های آیرس و وستکات (۱۳) به عنوان مهم‌ترین دستورالعمل ارزیابی کیفیت آب آبیاری شناخته می‌شود. از آنجا که رهنمودهای آیرس و وستکات

براساس مطالعات و تحقیقات زیاد و با در نظر گرفتن عواملی مانند درصد آبشویی، تغییرات نفوذپذیری خاک، ظرفیت قابل تحمل گیاهان در مقابل شوری، سدیم، سمیت بور و سایر عناصر کمیاب، تدوین شده است، می‌تواند در ارزیابی کیفیت پساب برای کاربرد در کشاورزی نیز مبنای مناسبی باشد (۲). رهنمودهای کیفی آیرس و وستکات در جداول ۱ و ۲ ارائه شده است. در تحقیق حاضر کیفیت پساب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهر مشهد از نقطه نظر پتانسیل اثرگذاری بر خاک و محصولات کشاورزی، با ملاک قرار دادن پارامترهای کیفی ارائه شده از سوی آیرس و وستکات مورد ارزیابی قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

توصیف محل انجام تحقیق

مشهد شهری در شمال شرقی ایران و مرکز استان خراسان رضوی است. این شهر از نظر جغرافیایی در محدوده طول جغرافیایی ۱۵° ۵۹' تا ۳۶° ۶۰' و عرض جغرافیایی ۳۵° ۴۳' تا ۸' ۳۷° واقع گردیده است. شهر مشهد دارای اقلیمی خشک و متغیر است و غالباً در تابستان فاقد بارندگی است (۹). وجود بارگاه ملکوتی امام هشتم شیعیان، علی‌ابن موسی‌الرضا علیه‌السلام، جایگاه و موقعیت ویژه‌ای به شهر مشهد داده و آن را به‌صورت یک کلان‌شهر مذهبی در آورده است. در حال حاضر، این شهر با جمعیتی بالغ بر ۲/۴ میلیون نفر، دومین شهر پر جمعیت کشور به‌حساب می‌آید (۶). شهر مشهد دارای ۳ تصفیه‌خانه بزرگ فاضلاب با نام‌های اولنگ، پرکندآباد (۱) و پرکندآباد (۲) است که وظیفه تصفیه در حدود ۱۷ درصد از فاضلاب تولیدی در این شهر را بر عهده دارند (۵). تصفیه‌خانه اولنگ با مساحتی حدود ۶۰۰ هکتار در شرق مشهد واقع گردیده است. در حال حاضر دبی متوسط جریان فاضلاب ورودی به این تصفیه‌خانه حدود ۲۲۰۰۰ مترمکعب در شبانه روز گزارش شده است. در این تصفیه‌خانه از فرآیند تصفیه برکه‌های تثبیت فاضلاب استفاده شده است. واحدهای اصلی تصفیه در این تصفیه‌خانه شامل چهار برکه اختیاری و دو برکه

جلادهی می‌باشد که در داخل هریک از برکه‌های اختیاری دو چاله هضم وجود دارد. زمان ماند برکه‌های اختیاری و جلادهی به‌ترتیب ۱۶ و ۵ روز است (۵ و ۹). تصفیه‌خانه فاضلاب پرکندآباد (۱) در حاشیه جنوبی رودخانه فصلی کشف رود و در ۱۰ کیلومتری شمال غرب مشهد قرار گرفته است. ظرفیت اسمی این تصفیه‌خانه ۱۵۲۰۰ مترمکعب در شبانه روز و جمعیت تحت پوشش آن معادل ۱۰۰ هزار نفر می‌باشد. فرآیند تصفیه مورد استفاده در این تصفیه‌خانه از نوع لاگون هوادهی با اختلاط کامل می‌باشد به گونه‌ای که فاضلاب خام با عبور از واحد آشغالگیر، لاگون‌های هوادهی، حوضچه‌های ته‌نشینی، برکه جلادهی و واحد گندزدایی تصفیه می‌شود. زمان ماند فاضلاب در لاگون‌های هوادهی، حوضچه‌های ته‌نشینی و برکه جلادهی به‌ترتیب ۵، ۲ و ۴ روز است (۹). تصفیه‌خانه فاضلاب پرکندآباد (۲) با ظرفیت اسمی ۶۰۰۰۰ مترمکعب در شبانه روز در شمال شرقی شهر مشهد احداث شده است. فاضلاب ورودی به این تصفیه‌خانه شامل فاضلاب انسانی و بخشی از فاضلاب شهرک صنعتی طوس (واقع در کیلومتر ۱۵ جاده مشهد قوچان) می‌باشد. فرآیند مورد استفاده در تصفیه‌خانه فاضلاب پرکندآباد (۲) از نوع برکه‌های تثبیت فاضلاب است. فاضلاب خام پس از آشغالگیری بین چهار برکه بی‌هوازی توزیع شده و با از عبور از دو برکه اختیاری و چهار برکه جلادهی از تصفیه‌خانه خارج می‌شود (۵ و ۹).

نمونه‌برداری، آزمایشات و تحلیل نتایج

در این تحقیق برای ارزیابی کیفیت پساب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهر مشهد، به مدت یک سال (۱۳۸۸)، نمونه‌هایی با فواصل زمانی ۱۵ روزه (۲۴ نوبت) از پساب تصفیه‌خانه‌های اولنگ، پرکندآباد (۱) و پرکندآباد (۲) برداشت گردید و پارامترهای مختلفی مانند pH، هدایت الکتریکی، غلظت سدیم، کلراید، کلسیم، منیزیم، بور، بی‌کربنات و نیترژن نیتراتی و فلزات سنگین (کروم، کادمیم، سرب و نیکل) در نمونه‌های مذکور اندازه‌گیری شد. با توجه به توصیه مراجع و نیز نوع

جدول ۱. رهنمودهای کیفیت آب آبیاری آیرس و وستکات (۱۳)

میزان محدودیت در استفاده			واحد	مشکل بالقوه
شدید	کم تا متوسط	بدون محدودیت		
>۳	۰/۷-۳	<۰/۷	dS.m ⁻¹	هدایت الکتریکی
>۲۰۰۰	۴۵۰-۲۰۰۰	<۴۵۰	mg.L ⁻¹	غلظت جامدات محلول
<۰/۲	۰/۲-۰/۷	>۰/۷	و هدایت الکتریکی =	نسبت جذب سدیم = ۰-۳
<۰/۳	۰/۳-۱/۲	>۱/۲		نسبت جذب سدیم = ۳-۶
<۰/۵	۰/۵-۱/۹	>۱/۹		نسبت جذب سدیم = ۶-۱۲
<۱/۳	۱/۳-۲/۹	>۲/۹		نسبت جذب سدیم = ۱۲-۲۰
<۲/۹	۲/۹-۵/۰	>۵/۰		نسبت جذب سدیم = ۲۰-۴۰
>۹	۳-۹	<۳	SAR	سدیم (آبیاری سطحی)
>۱۰	۴-۱۰	<۴	meq.L ⁻¹	کلراید
>۳	۰/۷-۳	<۰/۷	mg.L ⁻¹	بور
>۳۰	۵-۳۰	<۵	mg.L ⁻¹	نیتروژن نیتراتی
>۸/۵	۱/۵-۸/۵	<۱/۵	meq.L ⁻¹	بی کربنات
محدوده نرمال ۶/۵-۸/۴			-	pH

جدول ۲. حداکثر غلظت‌های توصیه شده برای عناصر کمیاب در آب آبیاری (۱۳)

پارامتر	واحد	مقدار	پارامتر	واحد	مقدار
آلومینیوم	mg.L ⁻¹	۵/۰۰	آهن	mg.L ⁻¹	۵/۰۰
آرسنیک	mg.L ⁻¹	۰/۱۰	لیتیوم	mg.L ⁻¹	۲/۵۰
برلیوم	mg.L ⁻¹	۰/۱۰	منگنز	mg.L ⁻¹	۰/۲۰
کادمیم	mg.L ⁻¹	۰/۰۱	مولیبدن	mg.L ⁻¹	۰/۰۱
کبالت	mg.L ⁻¹	۰/۰۵	نیکل	mg.L ⁻¹	۰/۲۰
کروم	mg.L ⁻¹	۰/۱۰	سرب	mg.L ⁻¹	۵/۰۰
مس	mg.L ⁻¹	۰/۲۰	سلنیوم	mg.L ⁻¹	۰/۰۲
فلوراید	mg.L ⁻¹	۱/۰۰	وانادیوم	mg.L ⁻¹	۰/۱۰
روی	mg.L ⁻¹	۲/۰۰	تیتانیوم	mg.L ⁻¹	-

علاوه بر این غلظت فلزات سنگین با استفاده از دستگاه جذب اتمی مجهز به کوره گرافیتی (Varian SpectrAA280) با دقت ۱ ppb، pH به کمک pH متر دیجیتالی (HACH, sensION156)، هدایت الکتریکی با استفاده از EC

پارامترهای مورد آزمایش، نمونه‌برداری به صورت مرکب (Composite Sampling) انجام پذیرفت (۱۸). جهت تعیین غلظت یون‌های سدیم، کلراید، بور و نیتروژن نیتراتی از دستگاه اسپکتروفتومتر (HACH-DR 2800) استفاده گردید.

متر دیجیتال (Metrohm, 660)، کلسیم و منیزیم از طریق تیتراسیون با EDTA (Ethylenediaminetetraacetic Acid) و غلظت بی‌کربنات نیز به کمک روش تیتراسیون با اسید سولفوریک اندازه‌گیری شدند (۱۸ و ۲۲). شایان ذکر است که به منظور افزایش دقت و استانداردپذیری نتایج، کلیه پارامترها در ۳ تکرار مورد آزمایش قرار گرفتند. در این طرح، تجزیه و تحلیل آماری نتایج به دست آمده از مراحل مختلف با استفاده از نرم‌افزار MINITAB (ویرایش ۱۴) انجام شد و برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel استفاده گردید.

نتایج و بحث

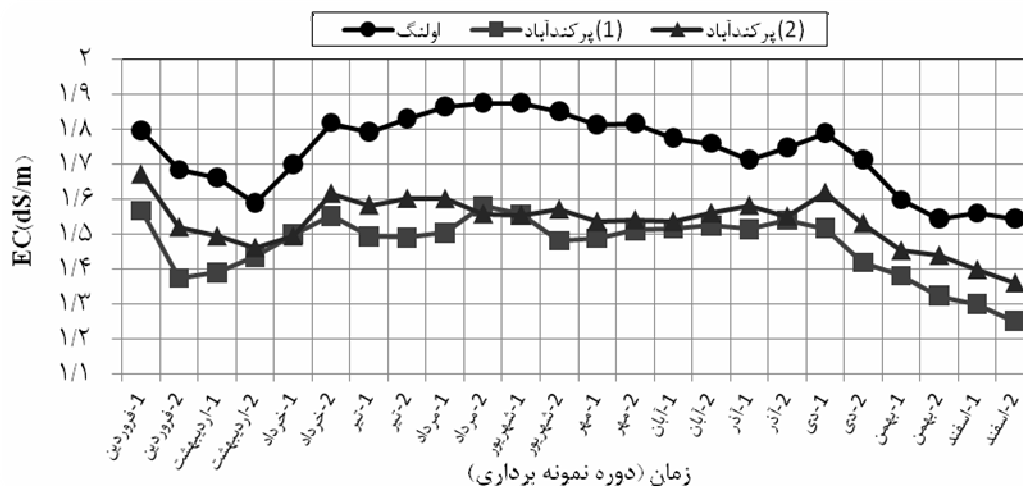
هدایت الکتریکی

نتایج ارائه شده در نمودار ۱ نشان می‌دهد که تغییرات هدایت الکتریکی در پساب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهر مشهد از روند مشابهی تبعیت می‌کنند ($0/857 \leq r \leq 0/836$ و $p = 0$). علاوه بر این پساب تصفیه‌خانه‌های پرکن‌آباد (۱) و اولنگ در طی دوره انجام تحقیق به ترتیب، دارای کمترین و بیشترین مقادیر هدایت الکتریکی بوده است. بیشتر بودن نسبت حجم آب زیرزمینی به آب سطحی در شبکه توزیع آب آشامیدنی مناطق شرقی مشهد (محدوده جمع‌آوری تصفیه‌خانه اولنگ) نسبت به مناطق غربی آن (محدوده جمع‌آوری تصفیه‌خانه‌های پرکن‌آباد) و نیز تراکم بیشتر زائرین و مسافری در محدوده جمع‌آوری فاضلاب تصفیه‌خانه اولنگ، را می‌توان مهم‌ترین عوامل افزایش هدایت الکتریکی پساب تصفیه‌خانه اولنگ نسبت به دو تصفیه‌خانه دیگر به حساب آورد (۱۶). تجزیه و تحلیل نتایج هم‌چنین نشان می‌دهد که هدایت الکتریکی پساب تصفیه‌خانه‌های مورد مطالعه در ۶ ماه نخست سال، به تدریج و به‌طور قابل ملاحظه‌ای افزایش یافته است که این موضوع می‌تواند به دلیل افزایش میزان تبخیر از سطح برکه‌ها و حوضچه‌ها و در نتیجه افزایش نسبی غلظت املاح صورت پذیرفته باشد. یافته مذکور با نتایج ارائه شده توسط شاتاناوی و فیاد (۳۲) در ارتباط با ارزیابی کیفیت پساب تصفیه‌خانه خربه

السمراء در اردن مطابقت دارد. هدایت الکتریکی پساب تصفیه‌خانه‌های مورد مطالعه، در طی دوره انجام تحقیق، در محدوده ۱/۳ تا $1/9 \text{ dS.m}^{-1}$ قرار داشته است. با استناد به معیار طبقه‌بندی کیفی آب آبیاری آیرس و وستکات، از نظر هدایت الکتریکی، استفاده از پساب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهر مشهد در کشاورزی، در کلیه ماه‌های سال، با محدودیت کم تا متوسط همراه است. براساس بررسی‌های مبتنی بر مطالعات سایر محققین، می‌توان چنین بیان داشت که استفاده از پساب تصفیه‌خانه اولنگ برای آبیاری برخی از محصولات کشاورزی، بدون اعمال روش‌های مدیریت شوری، می‌تواند به کاهش میزان محصول تولیدی منجر شود. به گونه‌ای که آبیاری گیاهانی مانند ذرت، سیب‌زمینی، شلغم، شبدر، گریپ فروت، پرتقال، بادام و آلو، کاهش ۱۰ درصدی تولید محصول را به دلیل شوری نسبتاً بالای پساب، به دنبال خواهد داشت. هم‌چنین میزان کاهش محصول در گیاهان حساس‌تر مانند لوبیا، هویج و زرد آلو، در حدود ۲۵ درصد پیش‌بینی می‌شود (۱۳ و ۲۸). نتیجه ارزیابی کیفیت پساب تصفیه‌خانه شهر یاسوج که توسط فریدونی و همکاران (۸) انجام شد نیز دلالت بر آن داشت که پساب تصفیه‌خانه مذکور از نظر هدایت الکتریکی، در طبقه آب‌هایی با محدودیت کاربرد کم تا متوسط قرار می‌گیرد. برخی دیگر از محققین نیز در مطالعات خود به محدودیت کاربرد پساب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهری از نقطه نظر هدایت الکتریکی اشاره نموده‌اند (۳ و ۷).

نسبت جذب سدیم تنظیم شده

میانگین ماهانه نسبت جذب سدیم تنظیم شده ($\text{adj } R_{Na}$) و هدایت الکتریکی پساب تصفیه‌خانه‌های اولنگ، پرکن‌آباد (۱) و پرکن‌آباد (۲) در جدول ۳ آمده است. بررسی روند تغییرات مقادیر به‌دست آمده نشان می‌دهد که متوسط $\text{adj } R_{Na}$ پساب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب مورد مطالعه در ماه‌های فصل تابستان به‌طور قابل ملاحظه‌ای افزایش یافته است. علاوه بر این نتایج دلالت بر آن دارد که پساب تصفیه‌خانه اولنگ در ۵۸ درصد از



نمودار ۱. تغییرات سالیانه هدایت الکتریکی در پساب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهر مشهد

جدول ۳. متوسط ماهانه و سالانه هدایت الکتریکی و نسبت جذب سدیم تنظیم شده در پساب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهر مشهد

اولنگ		پرکندآباد (۱)		پرکندآباد (۲)		ماه
adj R _{Na}	EC (dS. m ⁻¹)	adj R _{Na}	EC (dS. m ⁻¹)	adj R _{Na}	EC (dS. m ⁻¹)	
۸/۹	۱/۷	۹/۱	۱/۵	۹/۰	۱/۶	فروردین
۷/۸	۱/۶	۸/۶	۱/۴	۸/۹	۱/۵	اردیبهشت
۹/۶	۱/۸	۱۱/۷	۱/۵	۹/۶	۱/۶	خرداد
۸/۸	۱/۸	۱۰/۱	۱/۵	۹/۶	۱/۶	تیر
۹/۵	۱/۹	۱۱/۴	۱/۵	۱۰/۹	۱/۶	مرداد
۹/۸	۱/۸	۹/۷	۱/۵	۱۱/۰	۱/۶	شهریور
۹/۱	۱/۸	۹/۲	۱/۵	۹/۳	۱/۵	مهر
۷/۸	۱/۸	۹/۰	۱/۵	۸/۸	۱/۵	آبان
۸/۰	۱/۷	۹/۱	۱/۵	۸/۱	۱/۶	آذر
۸/۲	۱/۸	۸/۸	۱/۵	۹/۵	۱/۶	دی
۸/۷	۱/۶	۸/۸	۱/۴	۹/۱	۱/۴	بهمن
۸/۱	۱/۶	۸/۵	۱/۳	۸/۹	۱/۴	اسفند
۸/۷	۱/۷	۹/۵	۱/۵	۹/۴	۱/۵	میانگین

که کاربرد پساب تصفیه‌خانه‌های اولنگ، پرکندآباد (۱) و پرکندآباد (۲) در آبیاری محصولات کشاورزی از نقطه نظر شاخص $adj R_{Na}$ و هدایت الکتریکی، با محدودیت کم تا متوسط همراه است.

طول دوره تحقیق کمترین $adj R_{Na}$ را داشته و در مقابل پساب تصفیه‌خانه پرکندآباد (۲) در ۵۴ درصد از دوره‌های نمونه‌برداری حائز بیشترین مقدار $adj R_{Na}$ بوده است. ارزیابی کیفی پساب براساس معیارهای آیرس و وستکات بیان‌گر این مطلب است

سدیم

برای ارزیابی خطر سمیت ناشی از یون سدیم در آبیاری سطحی محصولات کشاورزی، از شاخص نسبت جذب سدیم یا SAR استفاده می‌شود [۳]. در نمودار ۲ روند تغییرات شاخص SAR در پساب تصفیه‌خانه‌های اولنگ، پرکندآباد (۱) و پرکندآباد (۲)، در طی مدت انجام تحقیق نشان داده شده است. همان‌گونه که از نمودار مذکور برمی‌آید تغییرات شاخص SAR پساب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهر مشهد از روند مشابهی تبعیت می‌کند به گونه‌ای که محاسبه ضرایب همبستگی بین شاخص SAR در پساب تصفیه‌خانه‌های اولنگ، پرکندآباد (۱) و پرکندآباد (۲) نیز این موضوع را تأیید می‌کند ($r \leq 0.778$ و $p = 0$). بررسی چگونگی تغییرات این شاخص هم‌چنین نشان می‌دهد که متوسط SAR پساب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب مورد مطالعه در سه دوره نیمه دوم خرداد، نیمه دوم مرداد و نیز نیمه اول دی ماه به‌طور قابل ملاحظه‌ای افزایش یافته است.

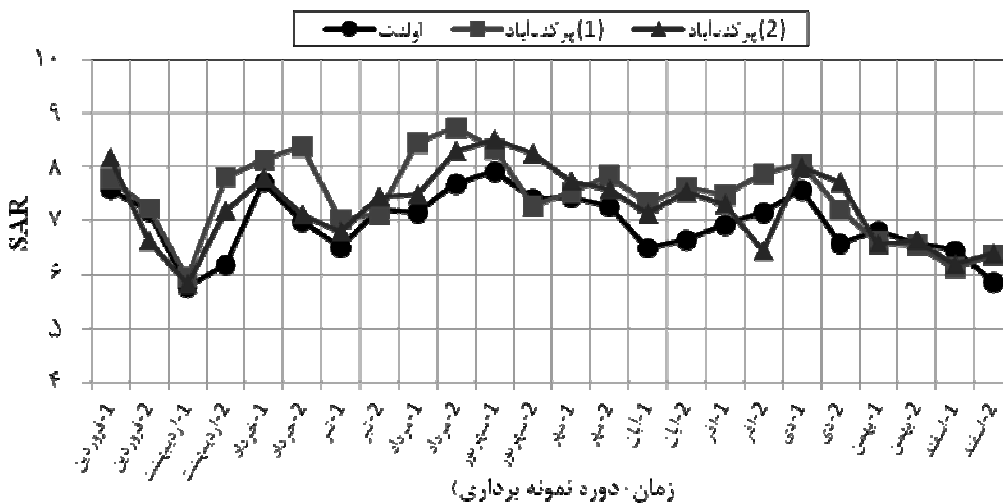
علاوه بر این نتایج دلالت بر آن دارد که پساب تصفیه‌خانه اولنگ در ۷۱ درصد از طول دوره تحقیق کمترین SAR را داشته و در مقابل، پساب تصفیه‌خانه پرکندآباد (۱) در ۵۸ درصد از دوره‌های نمونه‌برداری دارای بیشترین مقدار SAR بوده است. لازم به ذکر است که میانگین شاخص SAR پساب تصفیه‌خانه‌های اولنگ، پرکندآباد (۱) و پرکندآباد (۲) در طی دوره انجام تحقیق، به‌ترتیب معادل $7/0$ ، $7/5$ و $7/3$ بوده است. ارزیابی کیفی پساب براساس رهنمود آیرس و وستکات (۱۳) بیان‌گر این مطلب است که کاربرد پساب تصفیه‌خانه‌های اولنگ، پرکندآباد (۱) و پرکندآباد (۲) در آبیاری سطحی محصولات کشاورزی از نقطه نظر سمیت ناشی از یون سدیم، با محدودیت کم تا متوسط مواجه است. حسن‌لی و جوان (۱) نیز با بررسی کارایی تصفیه‌خانه فاضلاب شهر مرودشت، نشان دادند که استفاده از پساب این تصفیه‌خانه در آبیاری محصولات کشاورزی، از نظر شاخص SAR با محدودیت کم تا متوسط روبه‌رو است.

کلراید

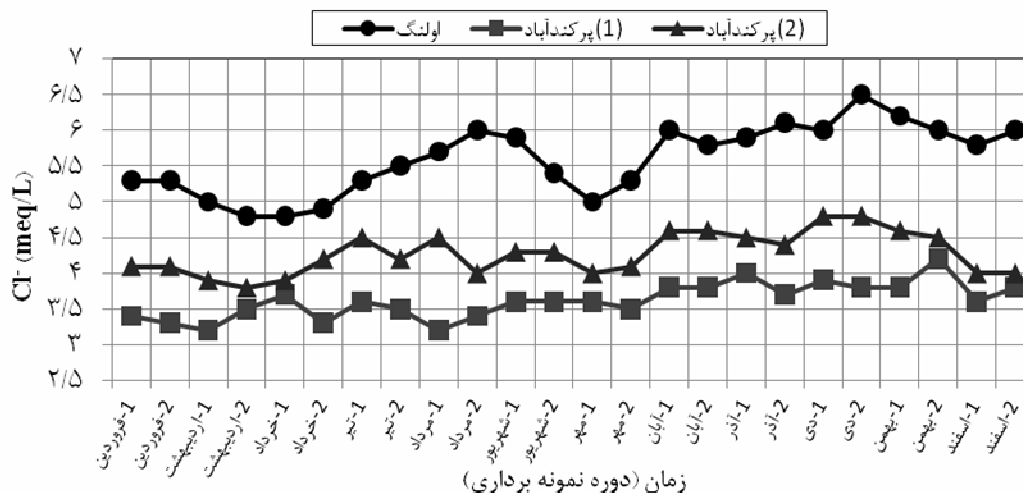
یون کلراید نقش مهمی در ایجاد سمیت برای گیاهان و محصولات کشاورزی دارد (۱۳). نتایج ارائه شده در نمودار ۳ دلالت بر آن دارد که پساب تصفیه‌خانه‌های پرکندآباد (۱) و اولنگ در طی دوره مطالعات، به‌ترتیب، حاوی کمترین و بیشترین مقادیر یون کلراید بوده است. علاوه بر این متوسط غلظت یون کلراید در پساب تصفیه‌خانه‌های اولنگ، پرکندآباد (۱) و پرکندآباد (۲) در طی دوره انجام تحقیق به‌ترتیب معادل $5/6$ ، $3/6$ و $4/3 \text{ meq.L}^{-1}$ به‌دست آمده است. با ملاک قرار دادن رهنمود کیفی آیرس و وستکات می‌توان چنین بیان کرد که به‌جز پساب تصفیه‌خانه پرکندآباد (۱) که می‌توان از آن در آبیاری محصولات حساس استفاده کرد، پساب سایر تصفیه‌خانه‌ها از نقطه نظر غلظت یون کلراید، برای آبیاری گیاهان مذکور مناسب نمی‌باشد. بررسی میزان یون کلراید در پساب تصفیه‌خانه‌های مورد مطالعه هم‌چنین دلالت بر این دارد که استفاده از پساب تصفیه‌خانه اولنگ برای آبیاری گیاهان حساس مانند بادام، زردآلو، آلو و مرکبات مناسب نیست (۱۳). با این وجود استفاده از پساب این تصفیه‌خانه برای آبیاری گیاهان نیمه‌حساس، از نقطه نظر غلظت یون کلراید، بلامانع است. نتیجه مطالعات الخشمان (۱۲) در ارتباط با ارزیابی شیمیایی پساب تصفیه‌خانه معان در کشور اردن حاکی از آن بود که میانگین غلظت یون کلراید در پساب تصفیه‌خانه مذکور معادل $2/63 \text{ meq.L}^{-1}$ بوده و بنابراین کاربرد آن در آبیاری محصولات کشاورزی از نقطه نظر یون کلراید فاقد محدودیت است. در مطالعات رحمانی و فیضی (۳) نیز پساب تصفیه‌خانه فاضلاب شمال شهر اصفهان از نقطه نظر غلظت یون کلراید برای استفاده در کشاورزی مناسب تشخیص داده شد.

بور

بور برخلاف سدیم، عنصری ضروری برای رشد گیاهان است اما چنان‌چه مقدار آن در خاک به بیش از میزان مورد نیاز گیاه برسد باعث ایجاد مسمومیت در گیاه می‌شود (۱۳). همان‌طور که



نمودار ۲. تغییرات سالیانه شاخص نسبت جذب سدیم در پساب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهر مشهد

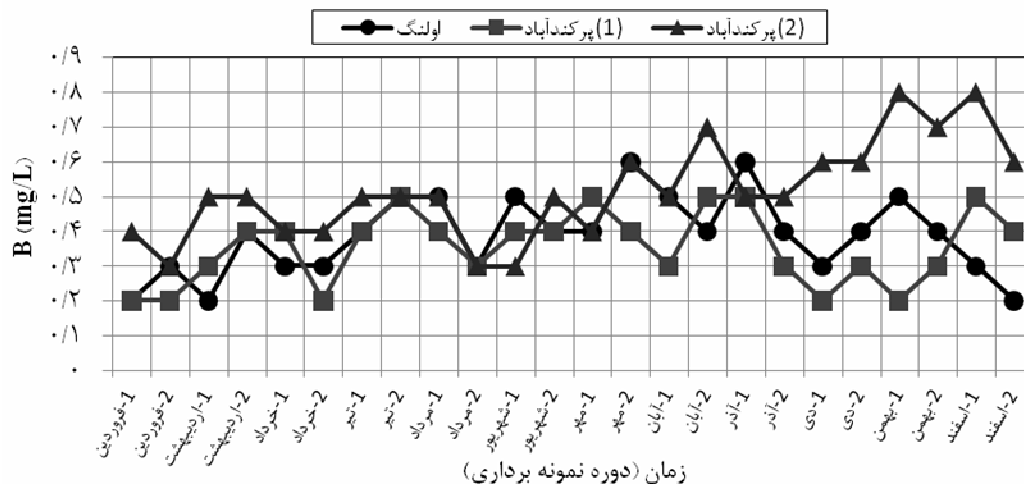


نمودار ۳. تغییرات سالیانه غلظت یون کلراید در پساب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهر مشهد

تصفیه‌خانه پرکندآباد (۲) را می‌توان مهم‌ترین عامل افزایش غلظت و روند تغییرات متفاوت یون بور در پساب این تصفیه‌خانه به حساب آورد (۵ و ۹). همان‌طور که ملاحظه می‌گردد نوسانات غلظت بور در پساب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهر مشهد در محدوده ۰/۲ تا ۸ mg.L⁻¹ به وقوع پیوسته است.

براساس رهنمود کیفی آیرس و وستکات، محدودیتی در استفاده از آب‌هایی با غلظت بور کمتر از ۷ mg.L⁻¹ در

از نمودار ۴ برمی‌آید پساب تصفیه‌خانه پرکندآباد (۲) در مقایسه با تصفیه‌خانه‌های اولنگ و پرکندآباد (۱)، در بیش از ۸۵ درصد دوره‌های نمونه‌برداری، حاوی بیشترین مقادیر بور بوده است. تحلیل سری زمانی مقادیر به‌دست آمده در طول دوره تحقیق نشان می‌دهد که روند تغییرات غلظت بور در پساب تصفیه‌خانه‌های اولنگ و پرکندآباد (۲) در مقایسه با تصفیه‌خانه پرکندآباد (۱) از مشابهت بیشتری برخوردار است ($r = 0.377$ و $p = 0.07$). ورود بخشی از فاضلاب شهرک صنعتی طوس به



نمودار ۴. تغییرات سالیانه غلظت بور در پساب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهر مشهد

سیستم تصفیه در تصفیه‌خانه فاضلاب پرکندآباد (۱) و وجود شرایط بهتر برای انجام فرآیند نیتروژنیکاسیون به وقوع پیوسته است (۲۱ و ۳۱). میانگین غلظت نیتروژن نیتراتی در پساب تصفیه‌خانه‌های اولنگ، پرکندآباد (۱) و پرکندآباد (۲) در طی دوره انجام تحقیق، به ترتیب معادل $0.9/2$ و $1/1 \text{ mg.L}^{-1}$ به دست آمده است. با ملاک قرار دادن مقادیر توصیه شده در رهنمود آیرس و وستکات، کیفیت پساب تصفیه‌خانه‌های اولنگ، پرکندآباد (۱) و پرکندآباد (۲) از نظر غلظت نیتروژن نیتراتی، برای آبیاری محصولات کشاورزی، مطلوب ارزیابی می‌شود. فریدونی و همکاران (۸) نیز با ارزیابی کیفیت پساب تصفیه‌خانه فاضلاب شهر یاسوج، به این نتیجه دست یافتند که غلظت پساب تصفیه‌خانه مذکور از نقطه نظر نیتروژن نیتراتی برای کاربرد در آبیاری محصولات کشاورزی مناسب است. این یافته با نتیجه مطالعات رحمانی و فیضی (۳) در ارتباط با کیفیت پساب تصفیه‌خانه فاضلاب شمال شهر اصفهان نیز مطابقت دارد.

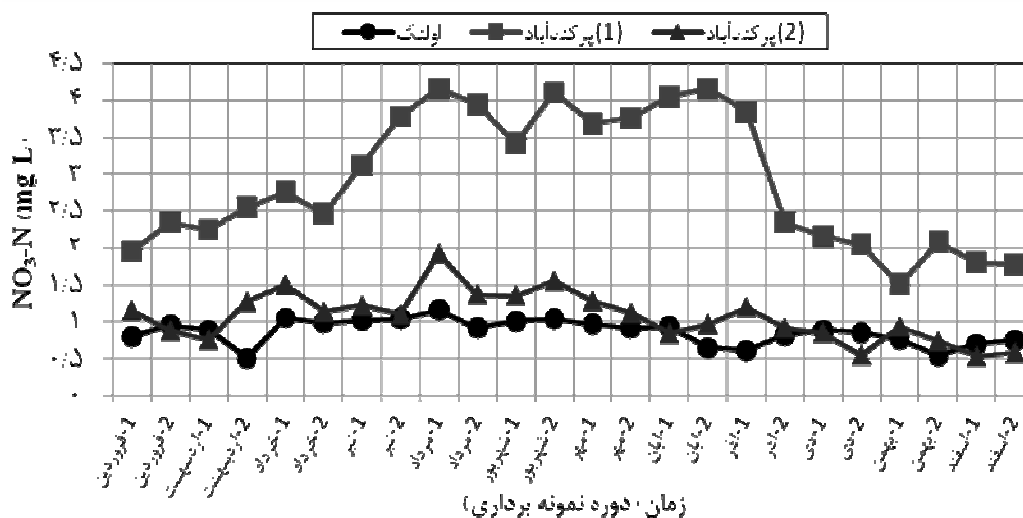
بی‌کربنات

بی‌کربنات به عنوان یکی از عوامل قلبائیت، با ترسیب یون‌های کلسیم و منیزیم پتانسیل تخریب خاک را افزایش می‌دهد (۱۳).

کشاورزی وجود ندارد. بنابراین کیفیت پساب تصفیه‌خانه‌های اولنگ و پرکندآباد (۱) از نقطه نظر غلظت بور برای استفاده در آبیاری محصولات کشاورزی مطلوب ارزیابی می‌شود. بررسی غلظت بور در پساب تصفیه‌خانه پرکندآباد (۲) نشان می‌دهد که استفاده از پساب این تصفیه‌خانه در طی دوره زمانی نیمه اول بهمن تا نیمه اول اسفند ماه و هم‌چنین نیمه دوم آبان ماه با محدودیت کم تا متوسط همراه است. نتیجه بررسی‌های انجام گرفته توسط تعدادی از پژوهشگران دلالت بر آن داشته است که غلظت بور در پساب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهری در محدوده مجاز آبیاری قرار دارد (۱، ۷ و ۱۲).

نیتروژن نیتراتی

نیترات یکی از شکل‌های نیتروژن است که بسته به نوع فرآیند تصفیه، در پساب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب یافت می‌شود (۱۷). وجود مقادیر بیش از حد نیتروژن نیتراتی در پساب می‌تواند سبب کاهش عملکرد و کیفیت محصول و در ضمن باعث رشد فزاینده علف‌های هرز شود (۲). روند تغییرات غلظت نیتروژن نیتراتی که در نمودار ۵ آمده است، نشان می‌دهد که غلظت نیترات در پساب تصفیه‌خانه فاضلاب پرکندآباد (۱) نسبت به دو تصفیه‌خانه دیگر بیشتر بوده است. این امر به دلیل هوایی بودن



نمودار ۵. تغییرات سالیانه نیتروژن نیتروژن در پساب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهر مشهد

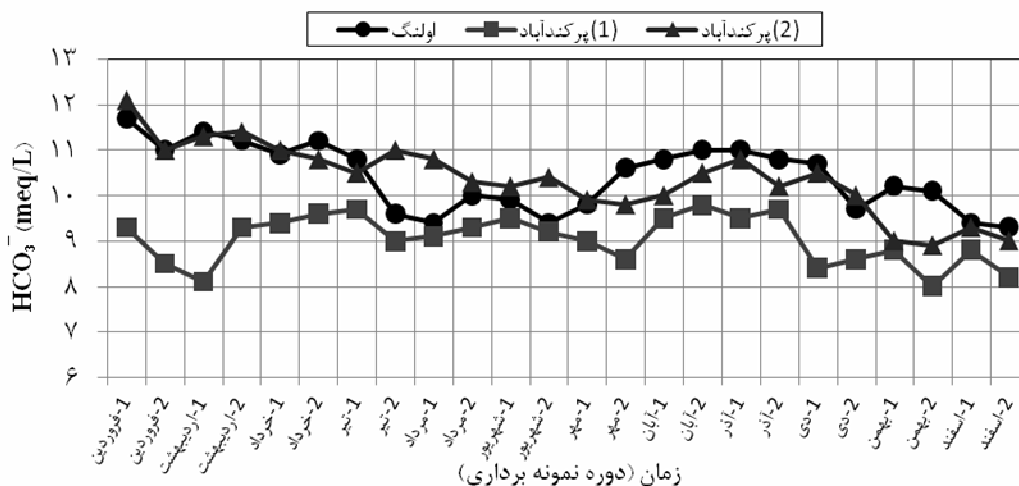
وستکات بیان‌گر این واقعیت است که غلظت بی‌کربنات در پساب تصفیه‌خانه‌های مورد مطالعه، در اکثر دوره‌های نمونه‌برداری، از حداکثر مقادیر مجاز تعیین شده بیشتر بوده است. با این وجود کیفیت پساب تصفیه‌خانه پرنکندآباد (۱) در فصل زمستان، از نظر میزان بی‌کربنات مطلوب ارزیابی می‌شود. نتیجه تجزیه و تحلیل انجام شده توسط رحمانی و فیضی (۳) در ارتباط با کیفیت پساب تصفیه‌خانه فاضلاب شمال شهر اصفهان حاکی از آن بود که استفاده از پساب این تصفیه‌خانه در کشاورزی از نقطه نظر غلظت بی‌کربنات، با محدودیت کم تا متوسط مواجه است.

pH

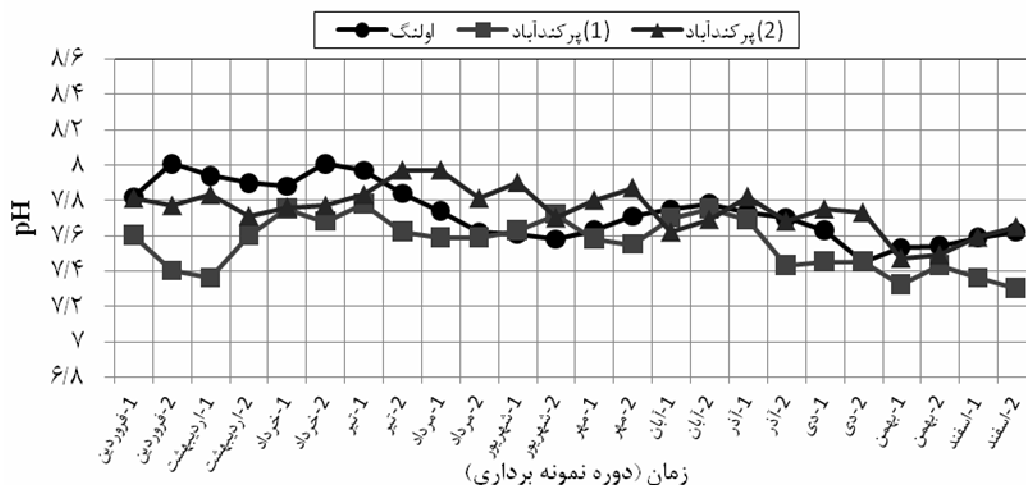
pH یک پارامتر تأثیرگذار بر میزان حلالیت نسبی مواد مغذی و فلزات سنگین است که می‌تواند رشد گیاه و عملکرد آن را تحت تأثیر قرار دهد (۱۳). همان‌طور که در نمودار ۷ مشخص است میزان تغییرات pH پساب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب مورد مطالعه در طول دوره انجام تحقیق، اندک بوده است. به گونه‌ای که تفاضل pH بیشینه و pH کمینه در پساب این تصفیه‌خانه‌ها، در کلیه دوره‌های نمونه‌برداری از مقدار ۰/۶ تجاوز ننموده است. بنابراین می‌توان نشان داد که pH پساب تصفیه‌خانه‌های

نتایج ارائه شده در نمودار ۶ حاکی از این است که تغییرات غلظت یون بی‌کربنات در پساب تصفیه‌خانه‌های اولنگ و پرنکندآباد (۲) در طی دوره انجام مطالعه نسبتاً مشابه بوده است ($r = 0.609$ و $p = 0.002$). ولی همبستگی معنی‌داری بین تغییرات غلظت بی‌کربنات در پساب تصفیه‌خانه پرنکندآباد (۱) و دو تصفیه‌خانه دیگر وجود ندارد. تشابه نسبی فرآیند تصفیه و فعالیت باکتری‌های احیاکننده سولفات، مهم‌ترین عوامل مؤثر بر تشابه روند تغییرات غلظت بی‌کربنات در پساب تصفیه‌خانه‌های اولنگ و پرنکندآباد (۲) هستند (۲۰ و ۳۳). لازم به ذکر است که تغییرات غلظت یون بی‌کربنات در پساب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب به عوامل دیگری مانند درجه حرارت، میزان دی‌اکسید کربن محلول و ترسیب شیمیایی نیز بستگی دارد (۹).

تجزیه و تحلیل نتایج دلالت بر آن دارد که پساب تصفیه‌خانه‌های پرنکندآباد (۱) و اولنگ در طی مدت انجام تحقیق، به‌ترتیب دارای کمترین و بیشترین غلظت یون بی‌کربنات بوده است. علاوه بر این میانگین غلظت یون بی‌کربنات در شش ماهه ابتدایی دوره تحقیق در پساب تصفیه‌خانه‌های اولنگ، پرنکندآباد (۱) و پرنکندآباد (۲) به‌ترتیب معادل ۱۰/۵، ۹/۲ و ۱۰/۹ meq.L^{-1} به‌دست آمده است. مقایسه نتایج به‌دست آمده با معیار ارائه شده در رهنمود آیرس و



نمودار ۶. تغییرات سالیانه غلظت بی‌کربنات در پساب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهر مشهد



نمودار ۷. روند تغییرات pH پساب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهر مشهد

برکه‌های جلادهی این دو تصفیه‌خانه نسبت داد. جلبک‌های مذکور با مصرف دی‌اکسیدکربن محلول و تحت تأثیر قرار دادن واکنش‌های تعادلی، pH پساب خروجی را افزایش می‌دهند (۲۳). با توجه به مقادیر اندازه‌گیری شده مشاهده می‌گردد که pH پساب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهر مشهد در طی مدت انجام تحقیق، در محدوده مجاز تعیین شده توسط آیرس و وستکات قرار داشته است. بنابراین استفاده از پساب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهر مشهد در کشاورزی، از نقطه نظر pH، تأثیر

فاضلاب شهر مشهد، در طی دوره انجام تحقیق، از ثبات مطلوبی برخوردار بوده است. لازم به ذکر است که همبستگی مثبت و معنی‌داری بین مقادیر pH و غلظت بی‌کربنات در پساب تصفیه‌خانه‌های اولنگ، پرکندآباد (۱) و پرکندآباد (۲) وجود دارد که این امر صحت نتایج آزمایش‌ها را تأیید می‌کند ($0.772 \leq r \leq 0.619$ و $0 \leq p \leq 0.001$). علاوه بر این، pH بالاتر پساب تصفیه‌خانه‌های اولنگ و پرکندآباد (۲) را می‌توان به تشابه فرایندهای تصفیه و در نتیجه تراکم جلبکی بیشتر در

جدول ۴. میانگین ماهانه غلظت فلزات سنگین در پساب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهر مشهد (برحسب میکروگرم در لیتر)

ماه	اولنگ				پرکندآباد (۱)				پرکندآباد (۲)			
	کروم	کادمیم	سرب	نیکل	کروم	کادمیم	سرب	نیکل	کروم	کادمیم	سرب	نیکل
فروردین	۷	< ۱	۷	۱	۱۳	۲	۱۰	۵	۲۰	۴	۱۸	۱۲
اردیبهشت	۶	۱	۶	۱	۱۵	۲	۱۰	۵	۱۶	۳	۲۱	۱۲
خرداد	۹	۱	۸	۲	۲۰	۲	۸	۶	۲۱	۴	۲۰	۷
تیر	۸	< ۱	۶	۳	۱۸	۲	۷	۶	۲۶	۴	۱۸	۸
مرداد	۹	< ۱	۴	۲	۱۷	۲	۶	۵	۳۱	۵	۱۶	۸
شهریور	۱۳	< ۱	۶	۱	۱۸	۲	۷	۴	۲۵	۴	۱۵	۶
مهر	۱۰	< ۱	۵	۲	۱۴	۱	۹	۴	۲۵	۵	۲۱	۱۴
آبان	۱۰	< ۱	۴	۲	۱۵	۱	۹	۳	۲۷	۴	۱۸	۱۱
آذر	۱۰	< ۱	۶	۲	۱۸	۲	۱۰	۵	۲۵	۳	۲۱	۱۶
دی	۱۱	۱	۶	۳	۱۶	۱	۱۲	۴	۲۴	۵	۱۸	۱۵
بهمن	۱۰	۱	۷	۲	۱۸	۱	۱۰	۳	۱۷	۴	۱۹	۹
اسفند	۱۱	< ۱	۶	۳	۱۹	۱	۷	۳	۱۷	۴	۱۷	۱۳

نامطلوبی بر خاک و محصولات تحت آبیاری برجای نخواهد گذاشت. معاضد و حنیفه لو (۱۰) در بررسی پساب تصفیه‌خانه غرب شهر اهواز به این نتیجه دست یافتند که تغییرات pH پساب این تصفیه‌خانه بسیار اندک بوده و در طی دوره تحقیق در محدوده استاندارد قرار داشته است. در ارزیابی‌های سایر محققین نیز به عدم محدودیت کاربرد پساب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهری از نقطه نظر پارامتر pH اشاره شده است (۱ و ۷).

فلزات سنگین

کاربرد پساب در آبیاری اراضی کشاورزی، می‌تواند تجمع فلزات سنگین را در خاک و آب‌های زیرزمینی افزایش داده و غلظت آنها را به مرز غلظت‌های سمی برای گیاهان برساند. از طرفی تجمع عناصر سنگین در گیاهان سبب ورود آنها به زنجیره‌های غذایی شده و از این طریق می‌تواند آثار نامطلوبی بر سلامت مصرف‌کنندگان بگذارد (۲۹). در جدول ۴ میانگین

ماهانه غلظت فلزات سنگین (کروم، کادمیم، سرب و نیکل) اندازه‌گیری شده در پساب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهر مشهد آمده است. نتایج به‌دست آمده دلالت بر این دارد که در کلیه دوره‌های نمونه‌برداری، غلظت فلزات سنگین مذکور در پساب تصفیه‌خانه پرکندآباد (۲) نسبت به دو تصفیه‌خانه دیگر بیشتر بوده است که این موضوع با استناد به ورود بخشی از فاضلاب شهرک صنعتی طوس به این تصفیه‌خانه قابل پیش‌بینی بود (۵ و ۹). علاوه بر این، پساب تصفیه‌خانه اولنگ در کلیه دوره‌های سال در مقایسه با تصفیه‌خانه‌های پرکندآباد (۱) و پرکندآباد (۲) حاوی مقادیر کمتری از فلزات سنگین بوده است. با مقایسه مقادیر اندازه‌گیری شده و حداکثر مقادیر مجاز توصیه شده در رهنمود آیرس و وستکات، می‌توان چنین نتیجه گرفت که غلظت فلزات سنگین در پساب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهر مشهد در محدوده مجاز تعیین شده قرار دارد. ولی با توجه به امکان بالقوه تجمع فلزات سنگین در خاک و گیاه و توانایی متفاوت گیاهان مختلف در جذب عناصر مذکور، پایش و

اندازه‌گیری دوره‌ای کیفیت پساب، خاک و محصولات تحت آبیاری، در برنامه‌های کاربرد پساب توصیه می‌شود.

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج به‌دست آمده در این تحقیق، استفاده از پساب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهر مشهد در کشاورزی از نقطه نظر غلظت یون بی‌کربنات دارای محدودیت شدید است. هم‌چنین در ارتباط با پارامترهای هدایت الکتریکی، سدیم، غلظت کلراید و نیز شاخص $adj R_{Na}$ استفاده از پساب تصفیه‌خانه‌های مورد مطالعه در کشاورزی با محدودیت کم تا متوسط مواجه است. لازم به یادآوری است که در برخی از خاک‌ها مانند خاک‌های گچی، آ نامطلوب ناشی از غلظت بالای یون بی‌کربنات و یا بالا بودن SAR می‌تواند کاهش یابد. برای کاهش اثرات نامطلوب کاربرد پساب تصفیه‌خانه‌های شهر مشهد بر خاک و گیاهان زیر آبیاری، استفاده از روش‌های مدیریت کنترل شوری توصیه می‌گردد. علاوه بر آبیروی نمک‌ها از ناحیه ریشه، انتخاب الگوی کشت سازگار با کیفیت آب و خاک، استفاده از روش‌های آبیاری مناسب، هموارسازی خاک مزرعه، اختلاط پساب و آب با کیفیت بهتر، تنظیم زمان آبیاری و مدیریت کوددهی را می‌توان در زمره روش‌های مدیریت آبیاری با پساب برای به حداقل رساندن مشکلات ناشی از شوری دانست (۱۹). لازم به ذکر است که پساب تصفیه‌خانه‌های اولنگ و پرکن‌آباد (۱) از نظر pH، غلظت بور، نیتروژن نیتراتی و فلزات

سنگین برای آبیاری محصولات کشاورزی مناسب ارزیابی می‌شود. تجزیه واریانس نتایج نیز نشان داد که تغییرات کیفی پساب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهر مشهد در طی دوره انجام تحقیق کاملاً معنی‌دار است ($P < 0/05$). مقایسه مقادیر به‌دست آمده هم‌چنین دلالت بر این دارد که پساب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهر مشهد در فصول بهار و زمستان (خصوصاً ماه‌های اردیبهشت و اسفند) از کیفیت مطلوب‌تری برخوردار بوده است. هم‌چنین پساب تصفیه‌خانه پرکن‌آباد (۱) در مقایسه با دو تصفیه‌خانه دیگر، از نظر پارامترهای کیفی مؤثر بر خاک و گیاه مناسب‌تر ارزیابی می‌گردد. به‌طورکلی با مد نظر قرار دادن جمیع موارد مذکور می‌توان چنین نتیجه گرفت که کاربرد پساب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهر مشهد در آبیاری محصولات کشاورزی به مدیریت و برنامه‌ریزی دقیق نیاز دارد، در غیر این صورت استفاده از پساب این تصفیه‌خانه‌ها می‌تواند در طولانی مدت اثرات نامطلوبی را بر خاک و محصولات تحت آبیاری تحمیل نماید.

سپاسگزاری

این پژوهش با حمایت مالی شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی انجام پذیرفت. نویسندگان این مقاله به این وسیله از کارکنان بخش تحقیقات این شرکت به خاطر همکاری و مساعدت ارزشمندشان تشکر و قدردانی می‌نمایند.

منابع مورد استفاده

۱. حسن‌لی، ع. م. و م. جوان. ۱۳۸۴. ارزیابی پساب تصفیه شده شهری و کاربرد آن در آبیاری فضای سبز، مطالعه موردی: (تصفیه‌خانه فاضلاب شهر مرودشت). محیط‌شناسی ۳۸: ۲۳-۳۰.
۲. دانش، ش. و ع. علیزاده. ۱۳۸۷. کاربرد پساب در کشاورزی، فرصت‌ها و چالش‌ها. اولین سمینار ملی جایگاه آب‌های بازیافتی و پساب در مدیریت منابع آب، مشهد.
۳. رحمانی، ح. ر. و م. فیضی. ۱۳۸۷. بررسی کیفیت پساب فاضلاب شهری شمال اصفهان (سال‌های ۱۳۸۱ تا ۱۳۸۳) و ارزیابی آن جهت استفاده در بخش کشاورزی یا ورود به محیط زیست (سال‌های ۱۳۸۱ تا ۱۳۸۳). سومین کنگره ملی بازیافت و استفاده از منابع آلی تجدیدشونده در کشاورزی، اصفهان.

۴. شادکام، س.، ش. دانش، الف. علیزاده و م. پروان. ۱۳۸۵. بررسی استفاده مجدد از فاضلاب خام و پساب تصفیه شده بر هدایت هیدرولیکی بافت‌های مختلف خاک. اولین همایش تخصصی مهندسی محیط زیست، تهران.
۵. شرکت مهندسی مشاور طوس آب. ۱۳۸۸. بررسی راهکارهای بهبود و اصلاح کیفی مدیریت بهم پیوسته منابع آب (IWRM) حوضه آبریز کشف رود (جلد دوازدهم). شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی، مشهد.
۶. علیزاده، ع. ۱۳۸۳. بررسی استفاده از آب‌های غیرمتعارف در درشت مشهد (از دیدگاه منابع آب). شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی، کمیته تحقیقات کاربردی، مشهد.
۷. غلامی توران پشته، م. و س. ع. چراغی. ۱۳۸۹. تعیین مصارف فاضلاب خروجی از تصفیه‌خانه شهر یزد در بخش کشاورزی. دومین سمینار ملی جایگاه آب‌های بازیافتی و پساب در مدیریت منابع آب، مشهد.
۸. فریدونی م. ج.، ه. فرجی، ح. ر. اولیایی، ا. ادهمی و ع. صالحی. ۱۳۸۹. پتانسیل استفاده از پساب تصفیه شده تصفیه‌خانه شهر یاسوج در آبیاری محصولات کشاورزی. دومین سمینار ملی جایگاه آب‌های بازیافتی و پساب در مدیریت منابع آب، مشهد.
۹. قاسمی س. ع. ۱۳۸۹. بررسی و ارزیابی کیفیت پساب تصفیه‌خانه‌ها به منظور استفاده در کشاورزی (مطالعه موردی: پساب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهر مشهد). پایان‌نامه کارشناسی ارشد، گروه مهندسی عمران، دانشگاه فردوسی مشهد.
۱۰. معاضد ه. و ا. حنیفه لو. ۱۳۸۵. ارزیابی کیفیت فاضلاب‌های ورودی و خروجی تصفیه‌خانه فاضلاب غرب شهر اهواز برای استفاده مجدد در کشاورزی. اولین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زه‌کشی، اهواز.
11. Alizadeh, A. 2001. Using reclaimed municipal wastewater for irrigation of corn. International Workshop on Wastewater Reuse Management, ICID-CIID, Seoul.
12. Al-Khashman, O. A. 2009. Chemical evaluation of Ma'an sewage effluents and its reuse in irrigation purposes. Water Resour. Manage. 23(6): 1041-1053.
13. Ayers, R. S. and D. W. Westcot. 1985. Water quality for agriculture. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 29, Food and Agriculture Organization, Rome.
14. Candela, L., S. Fabregat, A. Josa, J. Suriol, N. Vigués and J. Mas. 2007. Assessment of soil and groundwater impacts by treated urban wastewater reuse. A case study: application in a golf course (Girona, Spain). Sci. Total Environ. 374: 26-35.
15. Coppola, A., A. Santini, P. Botti, S. Vacca, V. Comegna and G. Severino. 2004. Methodological approach for evaluating the response of soil hydrological behavior to irrigation with treated municipal wastewater. J. Hydrol. 292: 114-134.
16. Danesh, S., A. Belador and S. A. Ghassemi. 2008. Evaluation of different types of water usage in the city of mashhad and its significance in water quality management. Metropolis Training Workshop, Mashhad.
17. Duncan, R. R., R. N. Carrow and M. T. Huck. 2008. Turfgrass and Landscape Irrigation Water Quality: Assessment and Management. CRC Press., USA.
18. Eaton, A. D., APHA, M. A. H. Franson, and AWWA. 2005. Standard methods for the examination of water and wastewater. American Public Health Association.
19. FAO. 2003. Users manual for irrigation with treated wastewater. FAO Regional Office for the Near East, Cairo.
20. Henze, M. and van M. C. M. Loosdrecht. 2008. Biological Wastewater Treatment: Principles, Modelling and Design. IWA Pub., London.
21. Hussainy, S. U. 1979. Ecological studies of lagoons at Werribee: removal of biochemical oxygen demand, nitrogen and heavy metals. Water Technol. 11(4-5): 315-337.
22. Kaur, K. 2007. Handbook of Water and Wastewater Analysis. Atlantic Pub., New Delhi.
23. Kayombo, S., T. S. A. Mbvette, J. H. Y. Katima, N. Ladegaard and S. E. Jørgensen. 2004. Waste stabilization ponds and constructed wetlands design manual. WSP and CW Research Project.
24. Kwiatkowski, J., L. C. Marciak, D. Wentz and C. R. King. 1995. Salinity mapping for resource management within the County of Wheatland. Conservation and Development Branch, Alberta Agriculture, Food and Rural Development, Edmonton.
25. Lado, M. and M. Ben-Hur. 2009. Treated domestic sewage irrigation effects on soil hydraulic properties in arid and semiarid zones: A review. Soil Till. Res. 106: 152-163.

26. Liu, W., J. Zhao, Z. Ouyang, L. Soderlund and G. Liu. 2005. Impacts of sewage irrigation on heavy metal distribution and contamination in Beijing, China. *Environ. Intl.* 31: 805-812.
27. Lucho-Constantino, C. A., F. Prieto-García, L. M. Del Razo, R. Rodríguez-Vázquez and H. M. Poggi-Varaldo. 2005. Chemical fractionation of boron and heavy metals in soils irrigated with wastewater in central Mexico. *Agric. Ecosys. Environ.* 108: 57-71.
28. Maas, E. V. 1984. Salt Tolerance in Plants. *In*: B.R. Christie, (Ed.), *The Handbook of Plant Science in Agriculture*. CRC Press, USA.
29. Mapanda, F., E. N. Mangwayana, J. Nyamangara and K. E. Gillera. 2005. The effect of long-term irrigation using wastewater on heavy metal contents of soils under vegetables in Harare, Zimbabwe. *Agric. Ecosys Environ.* 107: 151-165.
30. Rahil, M. H. and V. Z. Antonopoulos. 2007. Simulating soil water flow and nitrogen dynamics in a sunflower field irrigated with reclaimed wastewater. *Agr. Water Manage.* 92: 142-150
31. United States Environmental Protection Agency. 2002. Aerated, Partial Mix Lagoons. *Wastewater Technology Fact Sheet*, Washington DC.
32. Shatanawi, M. and M. Fayyad. 1996. Effect of Khirbet As-Samara treated effluent on the quality of irrigation water in the central Jordan valley. *Water Res.* 30(12): 2915-2920.
33. Tchobanoglous, G., F. L. Burton and H. D. Stensel. 2004. *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*. McGraw-Hill Pub., USA.