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

سید علی قاسمی و شهناز دانش[1*]

(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 (۱۲/۱–۸/۰ meq/L) با محدودیت شدید، و از نقطه‌نظر پارامترهای هدایت الکتریکی (۱/۹–۱/۳ dS/m)، غلظت سدیم (۸/۷–۵/۸ برحسب SAR)، غلظت کلراید (۶/۵–۳/۲ meq/L) و نیز شاخص نسبت جذب سدیم تنظیم شده (۱۱/۷–۷/۸)، با محدودیت کم تا متوسط مواجه است. این در حالی است که مقادیر pH (۸–۷/۳)، نیتروژن نیتراتی (۴/۲–۰/۵ mg/L)، بور (۰/۸–۰/۲ 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

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2024-07-16]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1391.16.61.9.6]

مقدمه

در قرن اخیر، نیاز به زمین‌های کشاورزی به‌صورت 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 غیرمتعارف 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 غیرمتعارف در آبیاری محصولات کشاورزی یکی از مهم‌ترین عوامل کاهش کیفیت خاک و محصولات تولیدی به‌حساب 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. علیزاده 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 کونستانتینو 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 ابزاری مهم در جهت تأمین محصولات کشاورزی با کیفیت و تضمین بهره‌برداری پایداری 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

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2024-07-16]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1391.16.61.9.6]

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 '۴۳ °۳۵ 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، علی‌ابن‌موسی‌الرضا علیه‌السلام، جایگاه و موقعیت ویژه‌ای به شهر مشهد داده و آن را به‌صورت‌یک کلان‌شهر مذهبی‌در 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 پرکند آباد(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 پرکند آباد(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 نیتروژن نیتراتی و فلزات سنگین (کروم، کادمیم، سرب و نیکل) در نمونه‌های مذکور اندازه‌گیری شد. با توجه به توصیه مراجع و نیز نوع

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2024-07-16]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1391.16.61.9.6]

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

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

جدول۲. 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
بریلیوم	$mg.L^{-1}$	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	$mg.L^{-1}$	–

پارامترهای مورد آزمایش، نمونه‌برداری به‌صورت مرکب(Composite Sampling) انجام پذیرفت (۱۸). جهت تعیین غلظت یون‌های سدیم، کلراید، بور و نیتروژن نیتراتی از دستگاه اسپکتروفتومتر (HACH-DR 2800) استفاده گردید. علاوه بر این غلظت فلزات سنگین با استفاده از دستگاه جذب اتمی مجهز به کوره گرافیتی(Varian SpectrAA280 با دقت ppb ۱)، pH به کمک pH متر دیجیتال (HACH, sensION156)، هدایت الکتریکی با استفاده از EC

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2024-07-16]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1391.16.61.9.6]

متـر دیجیتـال (Metrohm, 660)، کلـسیم و منیـزیم از طریـق تیتراسـیون بـا EDTA (Ethylenediaminetetraacetic Acid) و غلظـت بـی‌کربنـات نیـز بـه کمـک روش تیتراسـیون بـا اسـید سولفوریک اندازه‌گیری شدند (۱۸ و ۲۲). شایان ذکر اسـت کـه به منظور افزایش دقت و استنادپذیری نتایج، کلیه پارامترها در ۳ تکرار مورد آزمایش قرار گرفتند. در این طرح، تجزیه و تحلیـل آماری نتایج به دسـت آمـده از مراحـل مختلـف بـا اسـتفاده از نرم‌افزار MINITAB (ویـرایش ۱۴) انجـام شـد و بـرای رسـم نمودارها از نرم‌افزار Excel استفاده گردید.

نتایج و بحث

هدایت الکتریکی

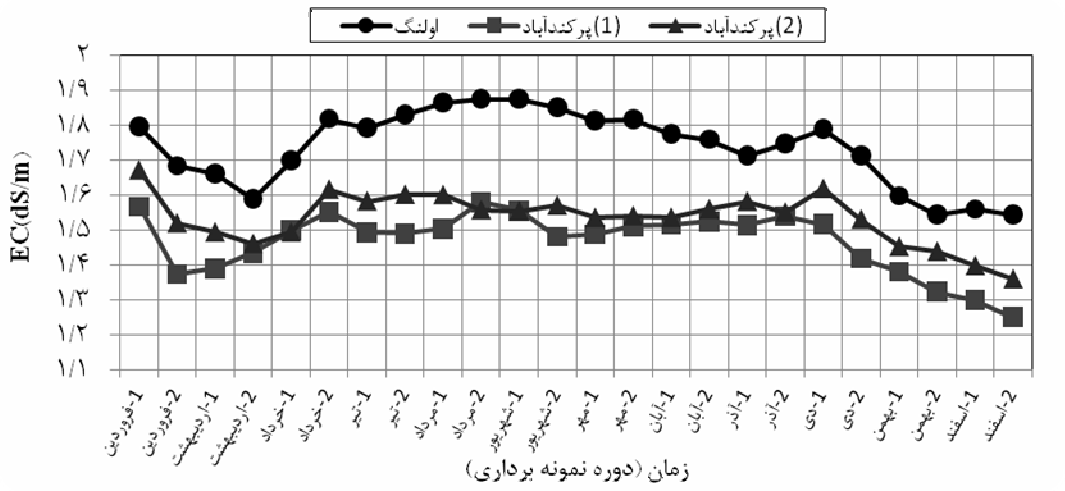
نتایج ارائه شده در نمودار ۱ نشان می‌دهد که تغییـرات هـدایت الکتریکی در پساب تصفیه‌خانـه‌هـای فاضـلاب شـهر مـشهد از روند مشابهی تبعیت می کننـد (۰/۸۵۷ ≤ r ≤ ۰/۸۳۶ و ۰ = p). علاوه بر این پـساب تـصفیه‌خانـه‌هـای پرکنـدآباد(۱) و اولنـگ درطی دوره انجام تحقیق به‌ترتیـب، دارای کمتـرین و بیـشترین مقادیر هدایت الکتریکی بوده است. بیشتر بـودن نـسبت حجـم آب زیرزمینی بـه آب سـطحی در شـبکه توزیـع آب آشـامیدنی مناطق شرقی مشهد (محدوده جمـع‌آوری تـصفیه‌خانـه اولنـگ) نسبت به مناطق غربی آن (محدوده جمع‌آوری تصفیه‌خانـه‌هـای پرکندآباد) و نیز تراکم بیـشتر زائـرین و مـسافرین در محـدوده جمع‌آوری فاضلاب تصفیه‌خانه اولنگ، را مـی‌تـوان مهـم‌تـرین عوامل افزایش هدایت الکتریکی پساب تصفیه‌خانه اولنگ نسبت به دو تصفیه‌خانه دیگر به حساب آورد (۱۶). تجزیـه و تحلیـل نتایج هم‌چنین نـشان مـی‌دهـد کـه هـدایت الکتریکـی پـساب تصفیه‌خانه‌های مورد مطالعه در ۶ ماه نخست سال، به تـدریج و به‌طور قابل ملاحظه‌ای افـزایش یافتـه اسـت کـه ایـن موضـوع می‌توانـد بـه دلیـل افـزایش میـزان تبخیـر از سـطح برکـه‌هـا و حوضچه‌ها و در نتیجه افـزایش نـسبی غلظـت امـلاح صـورت پذیرفته باشد. یافته مذکور با نتایج ارائه شده توسط شـاتاناوی و فیاد (۳۲) در ارتباط با ارزیابی کیفیت پساب تصفیه‌خانـه خربـهٔ الـسمراء در اردن مطابقـت دارد. هـدایت الکتریکـی پـساب تصفیه‌خانه‌های مورد مطالعـه، در طـی دوره انجـام تحقیـق، در محدوده ۱/۳ تا ۱/۹ $dS.m^{-1}$ قرار داشته است. با استناد به معیـار طبقه‌بندی کیفی آب آبیاری آیرس و وستکات، از نظـر هـدایت الکتریکی، استفاده از پساب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهر مشهد در کشاورزی، در کلیه ماه‌های سال، با محدودیت کم تا متوسط همراه است. براسـاس بررسـی‌هـای مبتنـی بـر مطالعـات سـایر محققین، مـی‌تـوان چنـین بیـان داشـت کـه اسـتفاده از پـساب تصفیه‌خانه اولنگ برای آبیاری برخی از محصولات کـشاورزی، بدون اعمال روش‌های مدیریت شـوری، مـی‌توانـد بـه کـاهش میزان محصول تولیدی منجر شود. به گونه‌ای که آبیاری گیاهانی مانند ذرت، سیب‌زمینی، شلغم، شبدر، گریـپ فـروت، پرتقـال، بادام و آلو، کاهش ۱۰ درصدی تولید محصول را به دلیل شوری نسبتاً بالای پساب، به دنبـال خواهـد داشـت. هـم‌چنـین میـزان کاهش محصول در گیاهان حساس‌تر مانند لوبیـا، هـویج و زرد آلو، در حدود ۲۵ درصد پیش‌بینی مـی‌شـود (۱۳ و ۲۸). نتیجـه ارزیابی کیفیـت پـساب تـصفیه‌خانـه شـهر یاسـوج کـه توسـط فریدونی و همکاران (۸) انجام شد نیز دلالت بر آن داشـت کـه پساب تصفیه‌خانه مذکور از نظـر هـدایت الکتریکـی، در طبقـه آب‌هایی با محدودیت کاربرد کم تا متوسط قرار می‌گیرد. برخی دیگر از محققین نیز در مطالعـات خـود بـه محـدودیت کـاربرد پساب تصفیه‌خانه‌های فاضـلاب شـهری از نقطـه نظـر هـدایت الکتریکی اشاره نموده‌اند (۳ و ۷).

نسبت جذب سدیم تنظیم شده

میانگین ماهانه نسبت جـذب سـدیم تنظـیم شـده ($adj\ R_{Na}$) و هدایت الکتریکی پساب تصفیه‌خانه‌های اولنگ، پرکنـدآباد(۱) و پرکندآباد(۲) در جدول ۳ آمده اسـت. بررسـی رونـد تغییـرات مقادیر به‌دست آمده نشان می‌دهد کـه متوسـط $adj\ R_{Na}$ پـساب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب مورد مطالعه در ماه‌های فصل تابـستان به‌طور قابل ملاحظه‌ای افزایش یافته است. علاوه بر ایـن نتـایج دلالت بر آن دارد که پساب تصفیه‌خانه اولنگ در ۵۸ درصـد از

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2024-07-16]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1391.16.61.9.6]



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

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

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 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.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2024-07-16]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1391.16.61.9.6]

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 ($p = ۰$ و $۰/۷۲۴ \leq r \leq ۰/۷۷۸$). 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 ۷/۰، ۷/۵ و ۷/۳ 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

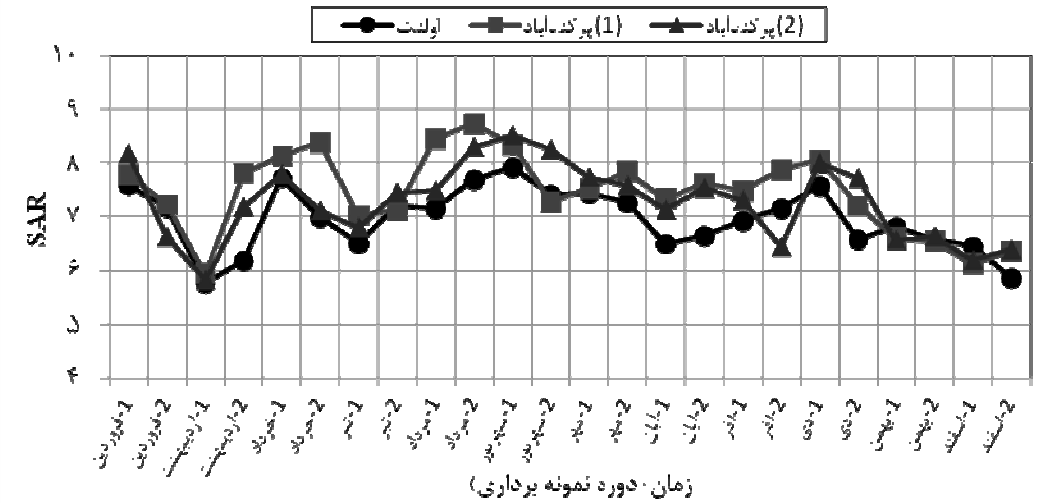
یون کلراید نقش مهمی در ایجاد سمیت برای گیاهان و محصولات کشاورزی دارد (۱۳). نتایج ارائه شده در نمودار ۳ دلالت بر آن دارد که پساب تصفیه‌خانه‌های پرکندآباد(۱) و اولنگ در طی دوره مطالعات، به‌ترتیب، حاوی کمترین و بیشترین مقادیر یون کلراید بوده است. علاوه بر این متوسط غلظت یون کلراید در پساب تصفیه‌خانه‌های اولنگ، پرکندآباد(۱) و پرکندآباد(۲) در طی دوره انجام تحقیق به‌ترتیب معادل ۵/۶، ۳/۶ و ۴/۳ $meq.L^{-1}$ 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 $۲/۶۳ meq.L^{-1}$ 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

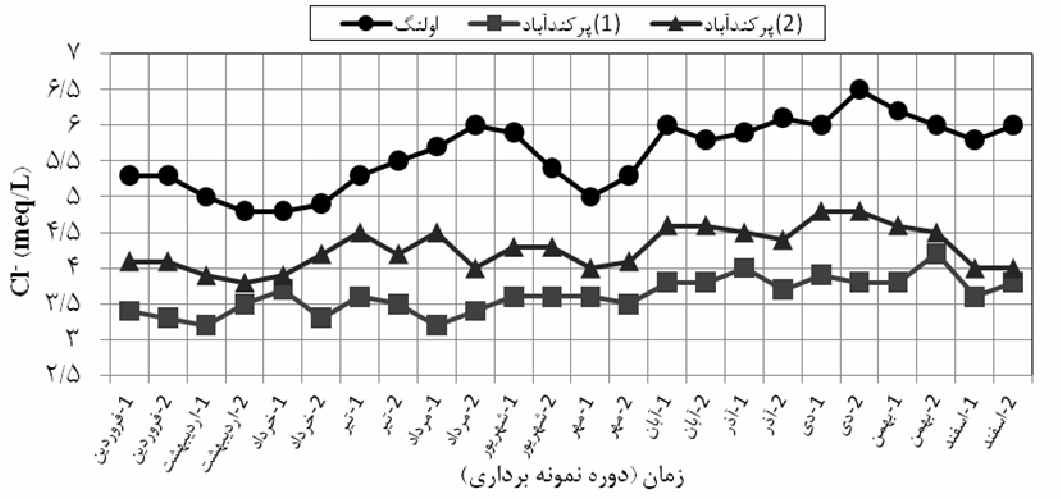
بور برخلاف سدیم، عنصری ضروری برای رشد گیاهان است اما چنان چه مقدار آن در خاک به بیش از میزان مورد نیاز گیاه برسد باعث ایجاد مسمومیت در گیاه می‌شود (۱۳). همان‌طورکه

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2024-07-16]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1391.16.61.9.6]



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



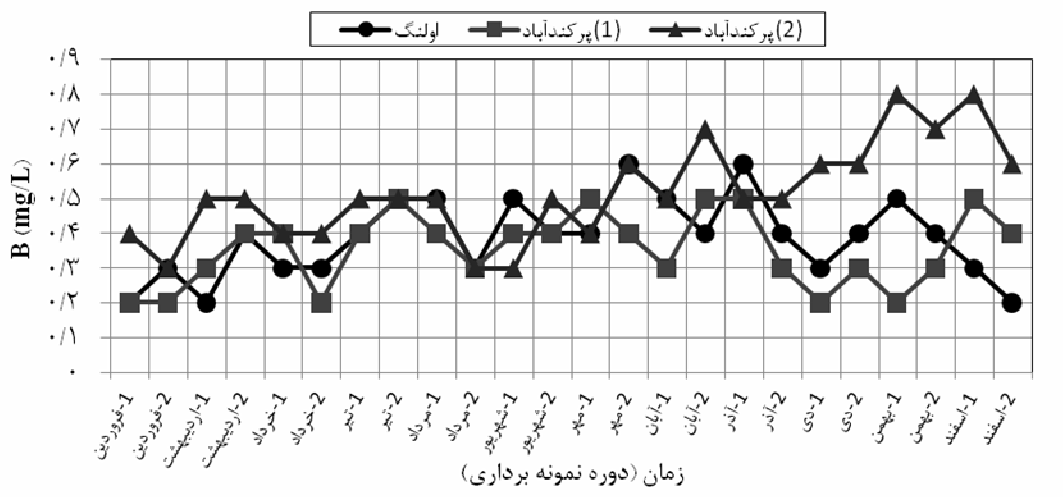
نمودار ۳. تغییرات سالیانه غلظت یون کلراید در پساب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهر مشهد

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 ($r = ۰/۳۷۷$ و $p = ۰/۰۷$). ورود بخشی از فاضلاب شهرک صنعتی طوس به تصفیه‌خانه پرکندآباد(۲) را می‌توان مهم‌ترین عامل افزایش غلظت و روند تغییرات متفاوت یون بور در پساب این تصفیه‌خانه به‌حساب آورد (۵ و ۹). همان‌طورکه ملاحظه می‌گردد نوسانات غلظت بور در پساب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهر مشهد در محدوده ۰/۲ تا $mg.L^{-1}$ ۰/۸ به وقوع پیوسته است.

براساس رهنمود کیفی آیرس و وستکات، محدودیتی در استفاده از آب‌هایی با غلظت بور کمتر از $mg.L^{-1}$ ۰/۷ در

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2024-07-16]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1391.16.61.9.6]



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

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

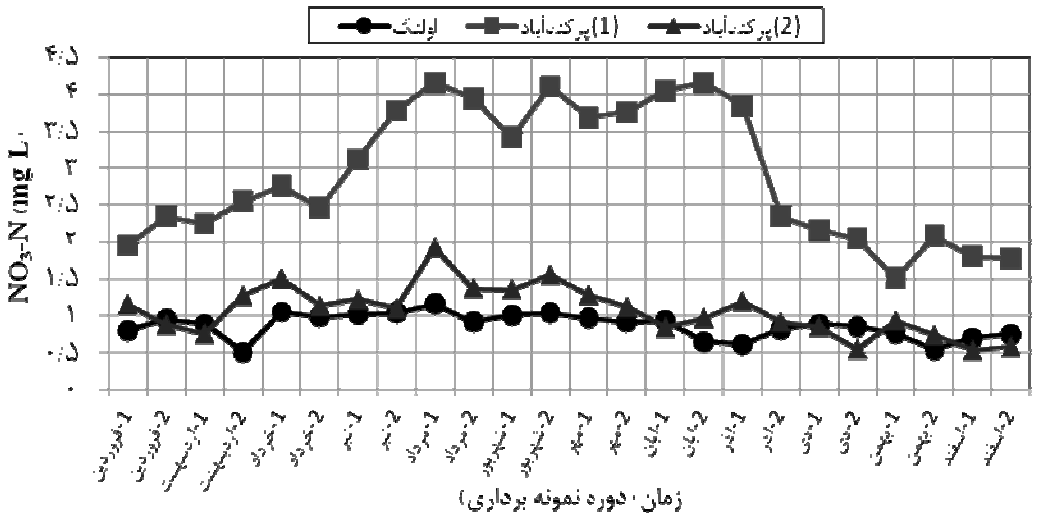
نیترات یکی از شکل‌های نیتروژن است که بسته به نوع فرآیند تصفیه، در پساب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب یافت می‌شود (۱۷). وجود مقادیر بیش از حد نیتروژن نیتراتی در پساب می‌تواند سبب کاهش عملکرد و کیفیت محصول و در ضمن باعث رشد فزاینده علف‌های هرز شود (۲). روند تغییرات غلظت نیتروژن نیتراتی که در نمودار ۵ آمده است، نشان می‌دهد که غلظت نیترات در پساب تصفیه‌خانه فاضلاب پرکندآباد(۱) نسبت به دو تصفیه‌خانه دیگر بیشتر بوده است. این امر به دلیل هوازی بودن سیستم تصفیه در تصفیه‌خانه فاضلاب پرکندآباد(۱) و وجود شرایط بهتر برای انجام فرآیند نیتریفیکاسیون 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، به‌ترتیب معادل ۰/۹، ۲/۹ و ۱/۱ $mg.L^{-1}$ به‌دست 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 قلیائیت، با ترسیب یون‌های کلسیم و منیزیم پتانسیل تخریب خاک را افزایش می‌دهد (۱۳).

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2024-07-16]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1391.16.61.9.6]



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

نتایج ارائه شده در نمودار ۶ حاکی از این است که تغییرات غلظت یون بی‌کربنات در پساب تصفیه‌خانه‌های اولنگ و پرکندآباد(۲) در طی دوره انجام مطالعه نسبتاً مشابه بوده است ($r = ۰/۶۰۹$ و $p = ۰/۰۰۲$). ولی همبستگی معنی‌داری بین تغییرات غلظت بی‌کربنات در پساب تصفیه‌خانه پرکندآباد(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 پرکندآباد(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).

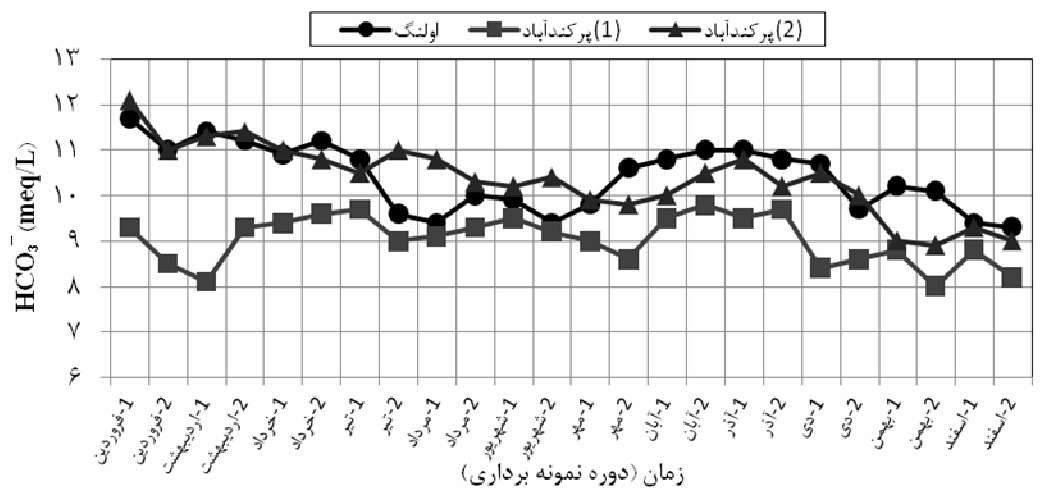
تجزیه و تحلیل نتایج دلالت بر آن دارد که پساب تصفیه‌خانه‌های پرکندآباد(۱) و اولنگ در طی مدت انجام تحقیق، به‌ترتیب دارای کمترین و بیشترین غلظت یون بی‌کربنات بوده است. علاوه بر این میانگین غلظت یون بی‌کربنات در شش ماهه ابتدایی دوره تحقیق در پساب تصفیه‌خانه‌های اولنگ، پرکندآباد(۱) و پرکندآباد(۲) به‌ترتیب 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 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 پرکندآباد(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

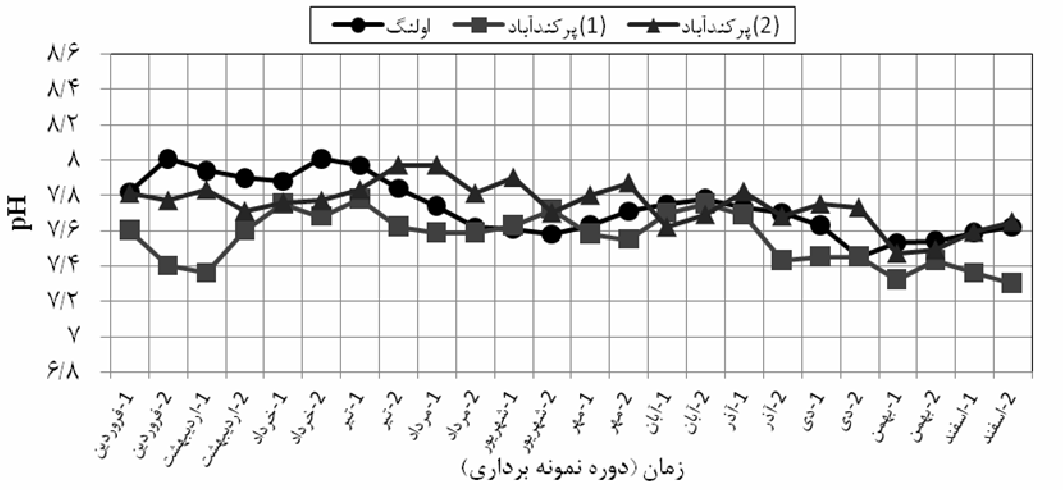
pH یک پارامتر تأثیرگذار بر میزان حلالیت نسبی مواد مغذی و فلزات سنگین است که می‌تواند رشد گیاه و عملکرد آن را تحت تأثیر قرار دهد (۱۳). همان‌طورکه در نمودار ۷ مشخص است میزان تغییرات pH پساب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب مورد مطالعه در طول دوره انجام تحقیق، اندک بوده است. به گونه‌ای که تفاضل pH بیشینه و pH کمینه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

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2024-07-16]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1391.16.61.9.6]



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



نمودار ۷. روند تغییرات pH پساب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهر مشهد

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 ($۰/۷۷۲ \leq r \leq ۰/۶۱۹$ و $۰/۰۰۱ \leq p \leq ۰$). علاوه بر این، pH بالاتر پساب تصفیه‌خانه‌های اولنگ و پرکندآباد(۲) را می‌توان به تشابه فرآیندهای تصفیه و در نتیجه تراکم جلبکی بیشتر در 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

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2024-07-16]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1391.16.61.9.6]

جدول۴. 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 مصرف کنندگان 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

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2024-07-16]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1391.16.61.9.6]

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 آبشویی نمک‌ها از ناحیه ریشه، انتخاب الگوی کشت سازگار با کیفیت آب و خاک، استفاده از روش‌های آبیاری مناسب، هموارسازی خاک مزرعه، اختلاط پساب و آبِ 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 پرکندآباد(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 ($P < ۰/۰۵$). 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 پرکندآباد(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.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2024-07-16]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1391.16.61.9.6]

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.

٦. 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 پشتی، 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.، هـ 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 کارشناسی‌ارشد، گروه مهندسی عمران، دانشگاه فردوسی مشهد.

۱۰. معاضد هـ 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. Mbwette, 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.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2024-07-16]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1391.16.61.9.6]

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-Garcı´a, L. M. Del Razo, R. Rodrı´guez-Va´zquez 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.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2024-07-16]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1391.16.61.9.6]