

« اولین همایش ملی پالش‌های منابع آب و کشاورزی »  
انجمن آبیاری و زهکشی ایران - دانشگاه آزاد اسلامی واحد خوراسگان  
اصفهان - ۲۴ بهمن ۱۳۹۲

## بررسی خصوصیات پساب شهری و صنعتی ذوب آهن و مقایسه آن با خصوصیات آب - های زیرزمینی منطقه به منظور آبیاری فضای سبز

سید حسن طباطبائی

دانشیار گروه مهندسی آب - دانشکده کشاورزی - دانشگاه شهرکرد - شهرکرد - ایران.

پیام نجفی

دانشیار گروه مهندسی آب - دانشکده کشاورزی - دانشگاه خوراسگان - اصفهان - ایران

هاجر طاهری سودجانی (نویسنده مسئول)

دانشجوی دکتری دانشگاه صنعتی اصفهان - دانشکده کشاورزی - دانشگاه اصفهان - اصفهان - ایران

(hajar\_taheri2001@yahoo.com)

### چکیده

استفاده از پساب‌ها به دلیل کمبود منابع آبی در سال‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته است و چنانچه پساب تولید شده استانداردهای مورد نظر از لحاظ سطح آلودگی را کسب کند می‌تواند جایگزین مناسبی برای آب آبیاری باشد. در این پژوهش به منظور مقایسه خصوصیات شیمیایی پساب شهری و صنعتی ذوب آهن با آب‌های زیر زمینی منطقه و همچنین امکان استفاده از آن‌ها در آبیاری فضای سبز، از اسفند ۱۳۸۲ به مدت سه سال از پساب شهری و صنعتی به طور متناوب نمونه‌برداری و پارامترهای مختلف فیزیکی و شیمیایی و شاخص‌های آلودگی پساب اندازه‌گیری شد. میزان شوری،  $SAR_{iw}$  و  $SAR_{adj}$  در هر دو نمونه پساب در حدود ۶۸، ۵۲ و ۳۶ درصد کمتر از میزان آن در آب‌های زیرزمینی منطقه بود. همچنین میزان فلزات سنگین، pH، SAR،  $BOD_5$ ، کلراید و نیتروژن در نمونه‌های پساب در حد مجاز برای آبیاری قرار داشتند. در مجموع می‌توان بیان کرد، استفاده از پساب شهری و صنعتی ذوب‌آهن برای آبیاری در فضای سبز مناسب بوده و کیفیت آن نسبت به آب‌های زیرزمینی منطقه مناسب‌تر می‌باشد.

واژه های کلیدی: پساب، آب زیرزمینی، خصوصیات شیمیایی، آلودگی، آبیاری فضای سبز

## مقدمه

امروزه استفاده از پساب‌ها برای آبیاری در بسیاری از کشورها به‌ویژه در نواحی گرم و نیمه‌خشک به‌علت فقدان منابع آب شیرین متداول و روبه افزایش است. در ایران که جزء کشورهای خشک و نیمه‌خشک جهان محسوب می‌شود، مصرف آب در بخش کلان کشاورزی بیشترین درصد (در حدود ۹۳/۵٪) را در مقایسه با سایر مصارف به خود اختصاص می‌دهد و این در شرایطی است که در بسیاری از نقاط کشور کمبود آب و تشدید آن در اثر خشکسالی‌های اخیر به آن چنان وضعیت حاد و بحرانی رسیده است که برنامه‌ریزان و مدیران منابع آب را مجبور ساخته، تا در برنامه‌ریزی‌های توسعه منابع آبی به کلیه منابع متعارف و غیر متعارف (پساب‌های شهری و خانگی)، که بتوانند به‌نحو مؤثر و اقتصادی در اختیار قرار گیرند هم، توجه نمایند (محمدزاده، ۱۳۸۵ و جمالی و همکاران، ۲۰۰۸). تقریباً ۷۰ درصد آب منحرف شده از رودخانه‌ها و پمپاژ از آب‌های زیر زمینی برای کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرد، در صورت استفاده از پساب‌ها برای آبیاری در کشاورزی مقدار استخراج آب از منابع طبیعی کاهش یافته و از تخلیه پساب‌ها به محیط زیست و آلودگی آن‌ها جلوگیری می‌شود (پدررو و همکاران، ۲۰۱۱).

تصفیه فاضلاب در نهایت منجر به تولید پساب می‌شود. چنانچه پساب تولید شده استانداردهای مورد نظر از لحاظ سطح آلودگی را کسب کند می‌تواند جایگزین مناسبی برای آب آبیاری باشد (تقوئیان و همکاران، ۱۳۸۶). آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا (EPA) نیز در بسیاری از کشورها به ترویج استفاده از پساب فاضلاب‌ها به منظور کاهش آلودگی آب‌ها پرداخته است (گرینوی، ۲۰۰۵). همچنین هزینه‌های بالای کودهای شیمیایی، مواد مغذی بالا در پساب‌ها و هزینه‌های بالا به منظور تصفیه پیشرفته پساب‌ها برای استفاده در مصارف دیگر سبب شده تا استفاده از پساب‌ها در بخش کشاورزی روبه روز افزایش یابد (باند، ۱۹۹۸ و عابدی کوپایی و همکاران، ۲۰۰۶). و فوایدی زیادی برای چراگاه‌ها و درختان در پی داشته باشد که از جمله آن‌ها می‌توان به تحقیقات مورر و دیویس (۱۹۹۳) در زمینه کاربرد پساب برای آبیاری درخت گریپ فورت، مورگان (۲۰۰۸) کاربرد پساب برای آبیاری درختان مرکبات و موندوزا اسپینوسا (۲۰۰۸) کاربرد پساب‌ها برای آبیاری درخت انگور اشاره کرد. جهت استفاده مجدد از پساب در کشاورزی در راستای حفظ سلامت عمومی و بهداشت جامعه در کشورهای مختلف جهان استانداردهای مختلفی به تصویب رسیده است تا استفاده از پساب، حداقل تأثیر منفی را بر خاک، گیاه و انسان داشته باشد (آنونیماس، ۱۹۸۹). از جمله این استانداردها می‌توان به استاندارد رو و عبدالمجید (۱۹۹۵) و استاندارد فائو (۱۹۸۵) اشاره کرد. علاوه بر رعایت استانداردهای تدوین شده در زمینه کاربرد پساب، لازم است با توجه به درجه تصفیه پساب، نوع سیستم آبیاری و میزان احتمال آلودگی، اثرات پساب بر محیط زیست، خاک، آب زیرزمینی و محصول نیز به‌طور مرتب تحت ارزیابی و بررسی قرار گیرد (آنونیماس، ۱۹۸۹). همچنین فلزات سنگین آلاینده‌های اصلی یافت شده در پساب‌های صنعتی هستند. این فلزات می‌توانند در خاک تجمع پیدا کنند و برای گیاهان مشکل ایجاد کنند (فروغی، ۱۳۹۰). غلظت بالای فلزات سنگین در پساب می‌تواند در خاک تجمع نموده و باعث کاهش محصول گردد یا افزایش غلظت فلزات در گیاهانی شود، که مورد تغذیه دام‌ها قرار گرفته و سپس وارد زنجیره غذایی شود (بهبهانی‌نیا و میرباقری، ۲۰۰۸). بنابراین نیاز است که میزان فلزات سنگین پساب قبل از استفاده از آن برای آبیاری اندازه‌گیری شود.

بهره برداری بهینه از پساب‌های شهری و صنعتی ضمن آن که در توسعه پایدار کشاورزی، فضای سبز، چشم اندازها و کمربندهای سبز حاشیه مراکز شهری و صنعتی موثر است، برای حفظ محیط زیست از خطر تزریق غیرقابل کنترل منابع آلوده کننده زیست محیطی به خاک، گیاه و منابع آب زیرزمینی و سطحی ضروری است. بنابراین تحقیق حاضر با هدف بررسی خصوصیات پساب شهری و صنعتی ذوب‌آهن به منظور استفاده از آن برای آبیاری فضای سبز و همچنین مقایسه آن با خصوصیات آب‌های زیرزمینی منطقه انجام گرفت.

## مواد و روش‌ها

در این پژوهش به منظور مقایسه خصوصیات شیمیایی پساب شهری، صنعتی و آب‌های زیر زمینی به منظور استفاده از آن‌ها در آبیاری فضای سبز، از اسفند ۱۳۸۲ به مدت سه سال از پساب شهری و صنعتی به طور متناوب نمونه‌برداری و پارامترهای

مختلف فیزیکی و شیمیایی و شاخص‌های آلودگی پساب اندازه‌گیری شد. همچنین از ایستگاه‌های پمپاژ آب زیرزمینی مناطق اطراف پروژه نیز نمونه‌برداری صورت گرفت. در این گزارش وضعیت کیفیت در پساب مورد مطالعه با آب زیرزمینی منطقه و همچنین سطح مبنای رودخانه زاینده‌رود در مناطق اطراف ذوب‌آهن اصفهان که توسط سازمان آب منطقه‌ای استان اندازه‌گیری شده، مقایسه شد. روش اندازه‌گیری پارامترهای کیفی بر مبنای روش استاندارد متد انجام شده است. جدول ۱ پارامترهای اندازه‌گیری شده را در طول تحقیق در پساب‌های مورد مطالعه و آب زیرزمینی منطقه نشان می‌دهد.

جدول (۱): پارامترهای اندازه‌گیری شده در پساب شهری، صنعتی غیر سمی و آب زیر زمینی منطقه ذوب آهن اصفهان

پارامتر	واحد	پساب شهری	پساب صنعتی	آب زیر زمینی	روش مورد استفاده	پارامتر	واحد	پساب شهری	پساب صنعتی	آب زیر زمینی	روش مورد استفاده
EC	dS/m	×	×	×	توسط هدایت‌سنج	Ca	meq/L	×	×	×	EDTA
pH		×	×	×	توسط pH متر	Mg	meq/L	×	×	×	EDTA
TSS	mg/L	×	×	×	بر اساس استاندارد متد	Na	meq/L	-	×	×	Flame Photometer
BOD <sub>5</sub>	mg/L	×	×	×	بر اساس استاندارد متد	HCO <sub>3</sub>	meq/L	-	-	×	تیتراسیون با اسیدکلریدریک
FC	MPN/100ml	×	×	×	بر اساس استاندارد متد	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	meq/L	-	-	×	تیتراسیون با اسیدکلریدریک
N	mg/L	×	×	×	کجدال	Cl <sup>-</sup>	meq/L	-	×	×	استاندارد متد
N-NH <sub>4</sub>	mg/L	×	×	-	کجدال	Fe	mg/L	-	×	-	Atomic Absorption**
N-NO <sub>3</sub>	mg/L	×	×	-	کجدال	Cd	mg/L	-	×	-	Atomic Absorption
N-NO <sub>2</sub>	mg/L	×	×	-	کجدال	Cu	mg/L	-	×	-	Atomic Absorption
P	mg/L	×	×	-	اولسن	Mn	mg/L	-	×	-	Atomic Absorption
CN <sup>-</sup>	mg/L	-	×	×	استاندارد متد	Zn	mg/L	-	×	-	Atomic Absorption
PO <sub>3</sub>	mg/L	×	×	-	استاندارد متد	Cr	mg/L	-	×	-	Atomic Absorption
K	mg/L	×	×	-	جانشینی پتاسیم توسط آمونیوم، اندازه‌گیری توسط فلیم فتومتر	Pb	mg/L	-	×	-	Atomic Absorption

\*\* حساسیت دستگاه AA تا دو رقم اعشار بوده است.

## نتایج

### هدایت الکتریکی (EC)

هدایت الکتریکی یا EC در ۱۲ نوبت به طور مستمر اندازه‌گیری شد. نتایج این اندازه‌گیری‌ها نشان می‌دهد که تغییرات EC خصوصاً در مورد پساب صنعتی بسیار زیاد است. جدول ۲ میانگین و دامنه تغییرات EC را در نوع پساب مورد مطالعه نشان می‌دهد. بر اساس مقادیر این جدول، شوری پساب شهری و صنعتی در مجموع از مقدار حد آستانه قابل قبول طبق استاندارد FAO برای آبیاری فضای سبز کمتر است و همچنین در مقایسه با آب زیر زمینی منطقه که شوری متوسط آن ۷ دسی زیمنس بر متر ارزیابی شده است، کیفیت بسیار مطلوب‌تری برای آبیاری در فضای سبز را دارد.

جدول (۲): میزان EC پساب شهری، صنعتی و مقایسه آن با استانداردها

آب زیرزمینی	صنعتی ذوب آهن	شهری ذوب آهن	میانگین EC (dS/m)
۷ (۴/۵-۸)	۲ (۰/۹-۲/۶)	۲/۲ (۱/۷-۲/۳)	۲dS/m
			حداکثر آستانه مجاز برای گیاهان (Ayers and weastcot, 1985)

## اسیدیته (pH)

با توجه به جدول ۳ میانگین pH پساب شهری و صنعتی مناطق اطراف ذوب آهن بیشتر از آب زیر زمینی و پساب تصفیه شده شهری اصفهان است و قلیائیت پساب مذکور می تواند در کاهش میزان ضریب جذب عناصر قابل جذب فلزات سنگین مؤثر باشد. در هر صورت بر اساس استاندارد فائو اسیدیته پساب شهری و صنعتی قابل قبول است. قلیائیت پساب حاصل وجود هیدروکسیدها، کربنات‌ها، بیکربنات‌های کلسیم، منیزیم، سدیم و پتاسیم است فاضلاب اصولاً قلیائیت خود را از آب‌های مصرفی و موادی که انسان با آن‌ها سروکار داشته کسب می کند (حسینیان، ۱۳۸۴).

جدول (۳): میزان pH موجود پساب شهری و صنعتی و چند نقطه دیگر

دامنه تغییرات pH	میانگین pH	
۶/۳-۹/۲۷	۸/۰۷	شهری ذوب آهن
۷/۵-۸/۶۵	۸/۱۸	صنعتی ذوب آهن
۷/۳-۷/۵	۷/۴	آب زیر زمینی
۶/۵-۸/۴		حد قابل قبول (Ayers and weastcot, 1985)
۷/۱-۷/۶	۷/۵	پساب تصفیه شده شهری اصفهان

## مواد معلق

میزان مواد معلق در نمونه پساب فاضلاب شهری ذوب آهن به دلیل شکل‌گیری مواد معلق آلی در استخرهای ذخیره پساب نسبتاً بالا بوده و در این شرایط در صورت استفاده از سیستم آبیاری قطره‌ای نیازمند انجام کامل سیستم فیلتراسیون و تصفیه فیزیکی است. در مقابل میزان مواد معلق در پساب صنعتی در غالب موارد اندک و پایین‌تر از حد آستانه آن برای آبیاری و سیستم آبیاری قطره‌ای است ولی در مواقع خاصی به واسطه تزریق فاضلاب غیر معمول در خط لوله انتقالی پساب صنعتی میزان مواد معلق به صورت مقطعی افزایش می‌یابد. در این شرایط سیستم فیلتراسیون آبیاری قطره‌ای به منظور جلوگیری از گرفتگی نازل‌ها ضروری است (جدول ۴).

جدول (۴): میزان مواد معلق موجود در پساب فاضلاب شهری و صنعتی (میلی گرم بر لیتر)

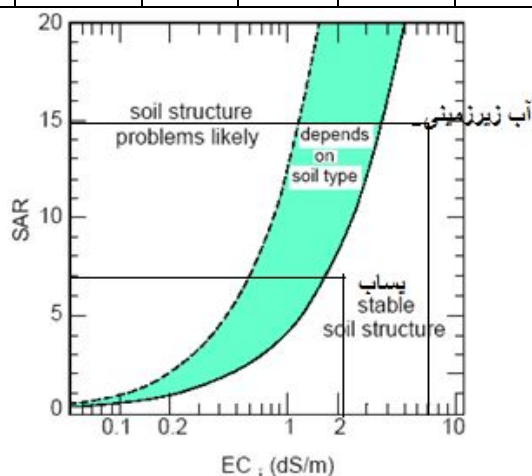
دامنه تغییرات	میانگین	
۹۵-۲۰۰	۱۶۴	شهری ذوب آهن
۱۳-۴۷	۲۴	صنعتی ذوب آهن
۳۰ میلی گرم بر لیتر		حد آستانه (EPA, ۱۹۹۲)
۵۰ میلی گرم بر لیتر		حد آستانه آبیاری قطره‌ای (Nakayama, ۱۹۸۲)

## نسبت جذب سدیم

جدول ۴ مقادیر نسبت جذب سدیمی نمونه‌های آب مورد مطالعه به همراه مقادیر اصلاح شده نسبت جذب سدیمی را نشان می‌دهد. بر اساس این جدول در صورت مقایسه نمونه‌های پساب با نمونه‌های آب زیرزمینی منطقه مقدار  $SAR_{iw}$  و  $SAR_{adj}$  پایین‌تر از آب زیر زمینی است که نشان دهنده تأثیر مخرب کمتری روی ساختمان خاک است. البته هر سه مقدار با توجه به میزان شوری و بر اساس جدول استاندارد FAO و با توجه به شکل ۱، در حد متوسط و قابل قبول لحاظ تأثیر آب آبیاری بر ساختمان خاک و نفوذ پذیری ارزیابی می‌شود چرا که در ازاء افزایش SAR در آب زیر زمینی، EC نیز افزایش یافته است. همچنین در یک مقایسه دیگر نمونه‌های پساب مورد مطالعه مقادیر  $SAR_{iw}$  و  $SAR_{adj}$  بسیار بالاتری از سطح مبنای رودخانه زاینده رود دارند و همچنین نسبت به پساب شهری اصفهان نیز میزان SAR بیشتر است.

جدول (۵): میزان نسبت جذب سدیمی و پارامترهای مرتبط در پساب شهری و صنعتی و مقایسه آن با سایر نقاط

SAR <sub>iw</sub>	SI	SAR <sub>adj</sub>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Mg	Ca	Na	واحد
-	-	-	meq/L	meq/L	meq/L	meq/L	meq/L	شهری
۷/۲۷	۱/۲۲	۱۶/۱۵	۴/۶۵	۰/۳۸	۱/۳۲	۲/۷۱	۱۰/۳۳	شهری
۷/۲۹	۱/۲	۱۶/۰۳	۲/۱۷	۰	۳/۲	۶/۴	۱۵/۹۷	صنعتی
۱۵	۰/۶۸	۲۵/۲۸	۳/۳۵	۰	۵/۹	۱۱/۲	۴۴	آب زیر زمینی
۱/۲	۰/۹۲	۲/۳	۲/۴۹	۰	۰/۸۸	۲/۹۴	۱/۶۶	زاینده رود (ایستگاه پل کله)
۲/۲۲	۱/۰۷	۴/۶	۲/۷۳	۰	۱/۲۴	۳/۲۴	۳/۳۳	زاینده رود (ایستگاه لنج)
۳/۳	۱/۴۱	۷/۹۸	۶/۸	۰	۲/۳۵	۴/۹	۶/۳	پساب تصفیه شده شهری اصفهان



شکل (۱): وضعیت SAR در مقایسه با EC در پساب شهری، صنعتی و آب زیرزمینی منطقه (DEH, 2000)

از دیگر پارامترهای ارائه شده در جدول ۵ میزان شاخص اشباع (Saturation Index) است. بر اساس این جدول، میزان این پارامتر در نمونه‌های پساب از آب زیرزمینی بیشتر است و این امر نشان می‌دهد که در صورت استفاده از پساب در آبیاری قطره‌ای رسوب کربنات کلسیم در محل نازل دیرپرها ایجاد می‌شود. میزان این شاخص در آب زیر زمینی کمتر از پساب‌های مورد مطالعه محاسبه شده است. همچنین میزان این شاخص بر اساس سطح مبنای رودخانه زاینده رود افزایش یافته است. مقادیر بی کربنات و همچنین منیزیم موجود در نمونه‌های پساب بر اساس جدول ۵ نشان دهنده قابل قبول بودن مقادیر مذکور بر اساس توصیه‌های مختلف از جمله FAO و Rowe است.

### سولفات و کلرید

جدول ۶ مقادیر سولفات و کلرید را در نمونه‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد بر اساس این جدول غالب نمونه‌های برداشت شده از فاضلاب شهری در محدوده قابل قبول است. در مقابل غلظت پارامترهای مذکور در نمونه پساب صنعتی در غالب نمونه‌ها بیشتر از حد توصیه‌های متعارف است.

جدول (۶): غلظت سولفات و کلرید موجود در نمونه‌های پساب فاضلاب و مقایسه آن با سایر نقاط و توصیه‌ها

Cl <sup>-</sup> (meq/l)		SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (meq/l)		
دامنه تغییرات	میانگین	دامنه تغییرات	میانگین	
۳/۹-۹/۸	۷/۲۶	۱/۳-۱۰/۸	۳/۰۴	شهری
۲/۹-۲۴/۱	۱۲/۳	۲/۸-۳/۳	۱۶/۶۳	صنعتی
۱۳/۴-۲۵/۲	۱۵/۳۴	۳۵-۴۹/۳	۴۰/۷۵	آب زیر زمینی
۰/۳-۰/۶	۰/۴۲	۰/۷۱-۴/۴۵	۲/۱۸	زاینده‌رود (ایستگاه پل کله)
۰/۹-۳/۸	۱/۵۶	۱-۱۰/۷	۳/۵	زاینده‌رود (ایستگاه لنج)
۱/۱۱-۱/۵۶	۱/۴	۰/۹۴-۱/۷۱	۱/۶	پساب فاضلاب شهری اصفهان
۱۸/۳		۸/۸۳		استاندارد Rowe

بر اساس نتایج ارائه شده در جدول ۶ غلظت سولفات و کلرید در آب زیرزمینی نیز بالاتر از حد آستانه قابل قبول برای آبیاری است و لذا اعمال مدیریت خاص آبیاری در شرایط کاربرد آن لازم است. همچنین مقادیر مذکور در مقایسه با پساب‌های مورد مطالعه نیز بالاتر است و از این جهت نیز آب زیرزمینی منطقه کیفیت نامطلوب‌تری را در مقایسه با پساب‌های صنعتی و شهری دارد. غلظت سولفات در پساب شهری با سطح مبنای رودخانه زاینده‌رود تفاوت چندانی نشان نداده است ولی بر عکس غلظت سولفات پساب صنعتی افزایش قابل توجه داشته است. در مورد کلرید هر دو نمونه فاضلاب تفاوت با سطح مبنای رودخانه زاینده‌رود زیاد است.

در یک مقایسه دیگر، اگر پساب شهری ذوب‌آهن را با پساب فاضلاب شهری اصفهان به عنوان یک سطح متعارف فاضلاب تصفیه شده انسانی مقایسه شود، می‌توان تفاوت قابل توجه غلظت دو یون خصوصاً کلرید را با پساب شهری اصفهان مشاهده نمود. این تفاوت در غلظت کلرید به پروسه تصفیه در پساب شهری ذوب‌آهن و تصفیه فاضلاب شهری اصفهان بستگی ندارد و تفاوت آن می‌تواند به منشأ غیر انسانی تزریق احتمالی فاضلاب و هرزآب در خط جمع‌آوری فاضلاب شهری وابسته باشد. در مورد سولفات نیز با توجه به سطح مبنای رودخانه زاینده‌رود، این تفاوت به محل برداشت آب اولیه منطقه و مقایسه آن با منشأ اولیه پساب فاضلاب شهری اصفهان وابسته باشد و از این جهت قابل توجیه است.

### عناصر سنگین

هفت عنصر فلز سنگین در نمونه‌های پساب صنعتی و شهری اندازه‌گیری شد. جدول ۷ نتایج حاصل از این اندازه‌گیری‌ها و همچنین حد آستانه کاربرد بلندمدت پساب توصیه شده توسط Rowe و توصیه FAO را نشان می‌دهد.

در رابطه با غلظت آهن میزان آن در نمونه فاضلاب شهری بسیار ناچیز بوده و با توجه به حساسیت دستگاه مقاداری برای آن مشاهده نشده است. همچنین غلظت این عنصر در فاضلاب صنعتی ۰/۰۴ میلی‌گرم در لیتر به طور متوسط برآورد شده که این مقدار بسیار کمتر از حد آستانه مجاز بر اساس توصیه Rowe و استاندارد سازمان محیط ایران است.

میزان غلظت عنصر منگنز در هر دو نمونه فاضلاب تقریباً ۲ برابر فاضلاب شهری اصفهان برآورد شده ولی بر اساس Rowe و FAO مقدار آن اصولاً در حدی نیست که سمیت غیر مجاز در قسمت خوراکی محصولات ایجاد نماید ضمن آنکه شرایط کلیایی آب و خاک میزان جذب این عنصر را کاهش می‌دهد.

مقادیر غلظت عناصر مس و روی بسیار ناچیز بوده و در حد حساسیت دستگاه مورد استفاده نبوده است. غلظت کروم نیز کمتر از حد آستانه کاربرد بلندمدت آن بوده و از لحاظ عددی در حد مطلوب برای استفاده در کشاورزی است. غلظت کادمیوم موجود در نمونه‌های فاضلاب شهری و صنعتی بر اساس توصیه FAO در شرایط آبیاری متعارف و با شرایط خاک متوسط در آستانه حد مجاز قرار دارد و برای پساب صنعتی اندکی بالاتر از حد آستانه است. در این مورد نیز شرایط کلیایی و اعمال تیمارهای خاص آبیاری خطر تجمع غیر مجاز Cd در گیاهان را کاهش می‌دهد.

از بین عناصر مورد مطالعه، عنصر سرب بیشترین غلظت را نشان داده است که مقدار آن بیشتر از سطح فاضلاب شهری اصفهان است. هر چند این مقادیر در دامنه مجاز و کمتر از غلظت کاربرد بلند مدت فاضلاب بر اساس توصیه Rowe و FAO است (جدول ۶). تجمع این عنصر در خاک و نهایتاً تجمع در اندام‌های گیاهی می‌تواند منجر به کاهش رشد و حتی توقف آن می‌گردد.

جدول (۷): غلظت عناصر سنگین در پساب فاضلاب شهری و صنعتی غیر سمی ذوب‌آهن اصفهان بر حسب میلی‌گرم بر لیتر

پارامتر	شهری		صنعتی	
	میانگین	دامنه تغییرات	میانگین	دامنه تغییرات
Fe	ne	ne	۰/۰۴	۰/۰۱-۰/۰۶
Mn	۰/۱۱	۰/۰۳-۰/۱۶	۰/۱	۰/۰۳-۰/۱۱
Cu	ne	ne	ne	ne
Zn	ne	ne	ne	ne
Cr	۰/۰۲	۰/۰۱-۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۰۱-۰/۰۳
Pb	۰/۴	۰/۲-۰/۶	۴۱	۰/۱۷-۰/۶۶
Cd	۰/۰۱	۰/۰۱-۰/۰۱	۰/۰۱۵	۰/۰۱-۰/۰۲

## نیتروژن

در این تحقیق چهار پارامتر نیتروژن نیتراته، نیتروژن آلی، نیتروژن نیتريد و نیتروژن آمونیاکی اندازه‌گیری شد. غلظت نیتروژن نیتراته در پساب شهری بسیار بالاتر از پساب صنعتی است همچنین غلظت این پارامتر در هر دو نمونه پساب کمتر از حد آستانه توصیه شده توسط FAO می‌باشد و مقدار آن بالاتر از میانگین نیتروژن نیتراته در پساب فاضلاب شهری محاسبه شده است (جدول ۸).

غلظت نیتروژن آمونیاکی موجود در نمونه‌های پساب پایین‌تر از میانگین آن در پساب شهری اصفهان و حد آستانه FAO است (جدول ۸). تفاوت غلظت آمونیاک در پساب شهری ذوب آهن و پساب شهری اصفهان را می‌توان به علت زمان ماند پساب شهری ذوب آهن در استخرهای ذخیره بیان کرد، ضمن آنکه کاهش آمونیاک در پساب صنعتی به منشا غیر انسانی پساب مرتبط است.

نوع فرایند تصفیه پساب شهری ذوب آهن و زمان ماند در استخرهای ذخیره غلظت نیتروژن آلی را افزایش یافته داده است به طوری که بالاتر از حد متعارف توصیه شده در Rowe و بالاتر از میانگین نیتروژن آلی شهری اصفهان شده است. این میزان همچنین باعث شده با در نظر گرفتن سایر مشتقات نیتروژن در نمونه پساب امکان، غلظت نیتروژن کل پساب مذکور را افزایش دهد. غلظت نیتروژن آلی پساب صنعتی نیز حدود ۸/۵ میلی‌گرم در لیتر برآورد شده است. غلظت نیتروژن نیتراته نیز کمتر از حد آستانه توصیه شده در استانداردهای زیست محیطی است.

جدول (۸): غلظت نیتروژن نیتراته، آمونیاکی، آلی و نیتربیتی موجود در نمونه‌های فاضلاب شهری و صنعتی و مقایسه آن با فاضلاب

شهری اصفهان و استاندارد Rowe

استاندارد FAO	شهری اصفهان	صنعتی ذوب آهن	شهری ذوب آهن	
۳۰	۱/۲۸	۴/۲	۱۳/۳	N-NO <sub>3</sub>
۳۰	۲۹/۱۶	۵/۶	۴/۷	N-NH <sub>3</sub>
۵	۳/۵	۸/۵	۲۹/۵	N <sub>org</sub>
۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۸	N-NO <sub>2</sub>

## BOD<sub>5</sub>

در جدول ۹ مقادیر BOD<sub>5</sub> را در نمونه‌های پساب شهری ذوب آهن را نشان داده شد. بر اساس این جدول میانگین BOD<sub>5</sub> به طور متوسط ۲۳/۳ میلی‌گرم بر لیتر برآورد شده است. بر اساس توصیه EPA حد آستانه BOD<sub>5</sub>، ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد. با توجه به مقادیر نمونه‌های اندازه‌گیری شده مقادیر BOD<sub>5</sub> در ۷۱ درصد از نمونه‌ها در حد مجاز قرار دارد، ضمن آن‌که میانگین نمونه‌ها کمتر از ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر است

جدول (۹): مقادیر BOD<sub>5</sub> در نمونه‌های شهری بر میلی‌گرم بر لیتر

تعداد نمونه‌های اندازه‌گیری شده	میانگین	ماکزیمم	مینیمم	BOD <sub>5</sub> mg/l
۷	۲۳/۳	۴۲/۲	۱۴	

بنابراین در مجموع می‌توان گفت که استفاده از پساب شهری و صنعتی ذوب آهن برای آبیاری در فضای سبز مناسب بوده و کیفیت آن نسبت به آب‌های زیرزمینی منطقه مناسب‌تر می‌باشد.

## جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

- شوری پساب شهری و صنعتی در محدوده مجاز برای آبیاری در فضای سبز قرار دارد و همچنین در مقایسه با آب زیر زمینی منطقه، کیفیت بسیار مطلوب‌تری را دارد.
- بر اساس استاندارد فائو اسیدیته پساب شهری و صنعتی ذوب آهن قابل قبول است.
- مقادیر SAR<sub>adj</sub> و SAR<sub>iw</sub> پساب شهری و صنعتی ذوب آهن پایین‌تر از آب زیر زمینی منطقه است که نشان دهنده تأثیر مخرب کمتری روی ساختمان خاک است.

- مقادیر سولفات و کلرید در غالب نمونه‌های برداشت شده از پساب شهری ذوب آهن در محدوده قابل قبول است و در مقابل غلظت پارامترهای مذکور در نمونه پساب صنعتی در غالب نمونه‌ها بیشتر از حد توصیه‌های متعارف است.
- مقادیر فلزات سنگین در نمونه‌های پساب صنعتی و شهری در محدوده توصیه شده توسط Rowe و توصیه FAO می‌باشد.
- غلظت نیتروژن نیتراته در پساب شهری بسیار بالاتر از پساب صنعتی است. ثانیاً غلظت این پارامتر و نیتروژن نیتراتی در هر دو نمونه پساب کمتر از حد آستانه توصیه شده توسط FAO است. غلظت نیتروژن آمونیاکی موجود در نمونه‌های پساب شهری و صنعتی ذوب آهن پایین تر از میانگین آن در پساب شهری اصفهان و حد آستانه FAO است.
- مقادیر BOD<sub>5</sub> در ۷۱ درصد از نمونه‌های پساب شهری ذوب آهن در حد مجاز قرار دارد.

## منابع

۱. تقواییان، ص.، علیزاده، ا. و دانش، ش. ۱۳۸۶. تاثیر کاربرد فاضلاب در آبیاری بر خصوصیات فیزیکی و برخی خصوصیات شیمیایی خاک. مجله آبیاری و زهکشی ایران، جلد ۱، شماره ۱، ص ۵۰.
۲. حسینیان، م. ۱۳۸۴. اصول طراحی تصفیه خانه های فاضلاب شهری و پساب صنعتی. انتشارات حسینیان، ۵۲۸ ص.
۳. فروغی، س. ۱۳۹۰. تاثیر آبیاری با پساب صنعتی شهرکرد بر برخی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک، رشد، عملکرد لوبیای قرمز. دانشگاه شهرکرد، دانشکده کشاورزی.
۴. محمدزاده، ا.ر. ۱۳۸۵. بررسی اثر مصرف پساب‌های تصفیه شده خانگی بر رشد و عملکرد گندم و ویژگی‌های خاک. مجموعه مقالات همایش خاک، محیط زیست و توسعه پایدار، کرج ۱۷ و ۱۸ آبان ماه ۱۳۸۵، صص ۱۳۱-۱۳۲.
5. Abedi-Koupai, J., Mostafazadeh-Fard, B., Afyuni, M. and Bagheri, M.R. 2006. Effect of treated wastewater on soil chemical and physical properties in an arid region. *J. Plant Soil Environ*, 52 (8), 335-344.
6. Ayers, R.S. and Westcot, D.W. 1985. *Water Quality for agriculture*. FAO, Irrigation and Drainage Paper 29 Rec, 1. FAO, Rome.p 174.
7. Anonymous, 1989. Health guideline for the use of wastewater in agriculture, Technical Report N.778, World Health organization, Geneva, 74p.
8. Behbahania, A. and Mirbagheri, S.A. 2008. Investigation of Heavy Metals Uptake by Vegetable Crops from Metal-Contaminated Soil. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 43, 56-58.
9. Bond, W.J. 1998 Effluent irrigation – an environmental challenge for soil science. *Australian Journal of Soil Research*, 36: 543-555.
10. DEH. 2000. Australian and New Zealand Guidelines for fresh and Marine Quality. Department of Environmental and Heritage, available on [www.deh.gov.au/water/publication/index.html](http://www.deh.gov.au/water/publication/index.html)
11. EPA, 1992. Guideline for water reuse (manual), U.S. EPA, Washington DC, 247p.
12. Greenway, M. 2005. The role of constructed wetlands in secondary effluent treatment and water reuse in subtropical and arid Australia *Ecological Engineering* 25(1), 501-509.
13. Jamali, M.K., Kazi, T.G., Arain, M.B., Afridi, I., Jalbani, N., Kandhro, G.A., Shah, Q. and Baig, A. 2008. Heavy metal accumulation in different varieties of wheat (*Triticum aestivum* L.) grown in soil amended with domestic sewage sludge. *Journal of Hazardous Materials*, 2:1386-1391.
14. Maurer, M.A. and Davies, F.S. 1993. Microsprinkler Irrigation of Young 'Redblush' Grapefruit Trees Using Reclaimed Water. *HORTSCIENCE*, 28(12), 1157-1161.
15. Morgan, K.T. 2008. Effects of Reclaimed Municipal Waste Water on Horticultural Characteristics, Fruit Quality, and Soil and Leaf Mineral Concentration of Citrus. *HORTSCIENCE*, 43(2):459-464.
16. Mendoza-Espinosa, L.G., Cabello-Pasini, A., Macias-Carranza, V., Daessle-Heuser, W., Orozco-Borbón, M.V. and Quintanilla-Montoya, A.L. 2008. The effect of reclaimed wastewater on the quality and growth of grapevines. *Water Sci Technol*, 57(9):1445-50.
17. Nakayama, F.S. 1982. Water analysis and treatment techniques to control emitter plugging. Proc. Irrigation Association Conference, 21-24 February 1982. Portland, Oregon.
18. Pedrero, F., Kalavrouziotis, L., Alarcón, J., Koukoulakis, P. and Asano, T. 2011. Use of treated municipal wastewater in irrigated agriculture—Review of some practices in Spain and Greece *Agricultural Water Management*, 97:1233-1241.
19. Rowe, D.R. and Abdel-Magid, J.M. 1995. *Handbook of wastewater reclamation and reuse*, Lewis Publisher by CRC press Inc. 195.