بررسی میزان تغییرات زمانی و مکانی غلظت فلزات سنگین (آلاینده و تغذیه‌ای) و پارامترهای کیفی در پساب تصفیه‌خانه‌ی مورد استفاده در آبیاری اراضی فضای‌سبز شاهین‌شهر اصفهان

حمید رضا رحمانی [۱*]

۱*- عضو هیات علمی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران.

*ایمیل : rahmani.hrhr@gmail.com

تاریخ دریافت : ۹۹/۰۱/۰۹ تاریخ پذیرش : ۹۹/۰۱/۲۵

چکیده

هدف مطالعه حاضر، پایش پساب تصفیه‌خانه‌ی فاضلاب شهری مورد استفاده در اراضی فضای سبز شاهین‌شهر به منظور بررسی غلظت فلزات سنگین و پارامترهای کیفی براساس استانداردهای زیست‌محیطی موجود در پساب در طول سال ۹۷-۱۳۹۶ بود. در این تحقیق از هفت ایستگاه نمونه‌های پساب در طول یک سال جمع آوری شد. نمونه‌ها مورد سنجش غلظت عناصر سنگین آلاینده‌ی سرب، نیکل، کبالت، کروم و عناصرسنگین‌تغذیه‌ای روی، مس، آهن و منگنز و اسیدیته، هدایت الکتریکی و مقدارکل جامدات معلق بر اساس روش‌های استاندارد قرارگرفتند. نتایج به دست آمده در دو مسیر سنجش تغییرات فصلی و یا ماهانه (زمانی) و سنجش تغییرات ایستگاهی(مکانی) مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت. نتایج نشان داد، غلظت عناصر سنگین در پساب تصفیه‌خانه پایین‌تر از حدود مجاز است. قیاس غلظت هر یک از عناصر سنگین با استاندارد سازمان‌های محیط زیست ایران، سازمان بهداشت جهانی و آژانس حفاظت محیط‌زیست نشان داد، با توجه به استانداردهای مربوطه پساب تصفیه‌شده بعد از کلرزنی قابلیت مصرف جهت آبیاری فضای سبز را دارد. در مورد اسیدیته و میزان کل جامدات معلق پساب محدودیتی وجود نداشت. میزان هدایت الکتریکی در طول دوره پایش بیش از حدود مجاز بود که با توجه به استانداردها، پساب از نظر میزان هدایت الکتریکی برای آبیاری کیفیت متوسط داشت.

کلمات کلیدی

پساب، فلزات سنگین، تصفیه‌خانه، آبیاری، تغییرات زمانی و مکانی

Investigation of temporal and local variations of heavy metal (pollutant and refinery nutritional) concentration and qualitative parameters in wastewater of used in irrigation of Shahin Shahr green space of Isfahan

[*]1.Hamid Reza Rahmani

[*]Email Address : rahmani.hrhr@gmail.com

Abstract

The purpose of the present study was to monitor the effluent of municipal wastewater treatment plant used in Shahinshahr lands to investigate the heavy metal concentration and quality parameters based on environmental standards in wastewater during 1396-97. In this study, samples from seven stations were collected during one year. The samples were subjected to standard concentrations of heavy metals such as lead, nickel, cobalt, chromium and nutritional heavy metals zinc, copper, iron and manganese, and acidity, electrical conductivity and total solids content. The results were statistically analyzed in two ways: measuring seasonal or monthly (temporal) and stationary (spatial) changes. The results showed that the concentration of heavy metals in the wastewater was lower than the permissible limit. Comparison of the concentration of each heavy element with the standards of Iran Environmental Protection Agency, World Health Organization and Environmental Protection Agency showed that according to the relevant standards, the treated wastewater after chlorination is capable of irrigation for green space. There was no limitation on the acidity and total amount of suspended solids. Electrical conductivity was exceeded during the monitoring period and by standards the effluent had average electrical conductivity for irrigation.

Keywords

Wastewater, Heavy Metals, Refinery, Irrigation, Temporal and Local Changes

۱- مقدمه

منابع آب شیرین در جهان بسیار اندک می‌باشد به طوری که از کل آب موجود ۹۷/۲٪ شور و تنها ۲/۸٪ آن شیرین است که کمتر از ۲۵٪ حجم آب شیرین کره زمین قابل استحصال است. کشور ما در زمره کشورهای خشک و نیمه خشک جهان قرار دارد به‌طوری که مسئله بحران منابع آب درآن به‌صورت یک مسئله جدی مطرح است (صفامنش و همکاران، ۱۳۹۶؛ سامانی، ۱۳۸۳).رشد روزافزون جمعیت و متمرکز شدن مراکز جمعیت شهری و صنعتی در نقاط مختلف، منجر به افزایش سرانه مصرف آب و شکل‌گیری حجم عظیم فاضلاب و پساب ناشی از این مراکز جمعیتی شده و باعث ایجاد نگرانی‌های زیست محیطی گردیده است (بدلیانس قلی‌کندی و همکاران، ۱۳۹۲). مطالعات و بررسی‌ها نشان می‌دهد که پتانسیل منابع آب تجدیدشونده کشور حدود ۱۳۰ میلیارد مترمکعب است در حالی که بر مبنای رشد فعلی جمعیت، نیاز کشور در سال ۱۳۹۰ حدود ۱۲۶ میلیارد مترمکعب و در سال ۱۴۰۰، رقمی معادل ۱۵۰ میلیارد مترمکعب خواهد بود که ۱۵٪ از حجم آب قابل استحصال و منابع آب تجدیدپذیر بیشتر است در چنین شرایطی که کشور به شدت از لحاظ کمبود منابع آب‌شیرین رنج می‌برد توجه به منابع غیرمتعارف آب اجتناب ناپذیر است و استفاده از فاضلاب تصفیه شده (پساب) به عنوان یک منبع آب پایدار بیش از پیش مورد توجه محققان و مدیران مربوطه قرار گرفته است (مهرآوران و همکاران، ۱۳۹۴). در نتیجه مطالعه حاضر با هدف پایش غلظت عناصر سنگین پساب تصفیه‌خانه شهرستان شاهین‌شهر، مورد استفاه در آبیاری فضای سبز شهری شاهین‌شهر اصفهان انجام گرفت. فاضلاب تصفیه شده و یا پساب در برگیرنده آن دسته از فاضلاب‌های شهری و صنعتی هستند که حداقل یک مرحله تصفیه اعم از فیزیکی، شیمیایی یا زیستی را طی کرده باشند. فاضلاب‌های خانگی بطور معمول شامل ۹۹/۹ درصد آب، ۰/۱ درصد مواد معدنی، آلی و گاز می‌باشند (Metkalef and Eddy, 2003) که پس از اصلاح جزئی برای مصارف آبیاری در سطح وسیع قابل استفاده می‌باشند (شوشتریان و همکاران، ۱۳۸۹). توجه به میزان غلظت فلزات سنگین و املاح (هدایت الکتریکی) در پساب اهمیت زیادی دارد. مطلوبیت پساب برای آبیاری با توجه به مقدار و میزان املاح موجود در آن تعیین می‌شود. عناصری نظیر سدیم، کلسیم، منیزیم و آنیون‌های کربنات و بی‌کربنات و میزان هدایت الکتریکی کل موجود در پساب نیز بر میزان نفوذپذیری خاک تأثیر دارند(افیونی و همکاران، ۱۳۶۳؛ حاج‌رسولیها، ۱۳۶۴).بنابراین استفاده از پساب در آبیاری نیازمند پایش و کنترل زیست‌محیطی است. بررسی کمی و کیفی پساب‌های خروجی به منظور پیشگیری از بروز مخاطرات بهداشتی، انتقال بیماری و حفاظت از محیطزیست یک ضرورت اجتناب‌ناپذیر است (Carr, 2005). تعیین سطح کیفیت قابل قبول از فاضلاب تصفیه شده در برنامه‌ریزی و اجرای پروژه‌های تصفیه و استفاده مجدد از فاضلاب تصفیه شده، با توجه به نوع استفاده مجدد، نحوه کاربرد و احتمال تماس انسان با آن تعیین می‌گردد (Weizhen et al., 2003; Carr, 2005; Jimenez, 2005). این استانداردها (برای استفاده از فاضلاب تصفیه‌شده در مصارف مختلف) توسط سازمان محیطزیست و منابع معتبر دیگر ارائه شده است (حسینیان، ۱۳۸۱؛ قانعیان، ۱۳۷۹؛ سازمان حفاظت محیطزیست ایران، ۱۳۸۲؛ معاونت برنامه‌ریزی و نظارت رییس‌جمهور، ۱۳۸۹). بدلیانس قلی‌کندی و همکاران (۱۳۹۲)، ویژگی‌های کیفی پساب تصفیه‌شده تصفیه‌خانه قیطریه – تهران را به منظور استفاده مجدد برای آبیاری فضای سبز شهری مورد بررسی قرار دادند. راندمان حذف آلاینده در فرآیند تصفیه به ترتیب ۸۷/۴٪ جامدات کل،۹۴/۵٪ نیاز اکسیژن‌خواهی زیستی (BOD_5) و ۸۷/۲٪ نیاز اکسیژن‌خواهی شیمیایی (COD) بود. مقایسه پارامترهای کیفی پساب با استانداردهای زیست‌محیطی موجود (سازمان محیط-زیست ایران و WHO) در محدود غلظت مجاز قرار داشتند و برای آبیاری فضای سبز محدودیتی نداشتند. مهرآوران و همکاران (۱۳۹۴)، امکان استفاده از پساب خروجی تصفیه‌خانه پرکندآباد- مشهد در آبیاری را با توجه به اثرات زیست‌محیطی آن مورد بررسی قرار دادند. در این مطالعه شاخص‌های کیفی پساب شامل جامدات کل، روی، مس، کروم در فاضلاب ورودی و خروجی مورد ارزیابی قرار گرفت. راندمان حذف جامدات کل۷۷/۸۳٪ بود و با توجه به استانداردهای سازمان حفاظت محیطزیست، پساب خروجی قابلیت استفاد برای مصارف آبیاری در کشاورزی را داشت. حاتمی و همکاران (۱۳۹۷)، امکان استفاده از پساب خروجی فرآیند هوادهی گسترده تصفیه فاضلاب شهر بجنورد جهت مصارف کشاورزی و آبیاری را سنجش نمودند. راندمان حذف فرآیند هوادهی گسترده برای جامدات کل بیش از ۸۵٪ بود. بر اساس نتایج، پساب این تصفیه‌خانه به علت بالا بودن غلظت کلراید برای آبیاری گیاهان حساس مطلوب نمی‌باشد. همچنین این پساب برای تغذیه آب‌های زیر زمینی پیشنهاد نشد و استفاده از روش‌های پیشرفته‌تر تصفیه جهت رسیدن به سطوح استاندارد توصیه گردید.نعیمی (۱۳۹۳)، ویژگی‌های کیفی پساب تصفیه‌خانه فاضلاب شهرک قدس – تهران را برای استفاده مجدد و آبیاری فضای سبز شهری با استفاده از روش CCME-WQI مورد ارزیابی قرار داد. بر اساس نتایج مربوط به میزان انحراف کیفیت پساب نسبت به استانداردهای سازمان محیطزیست، WHO وEPA استفاده از پساب با محدودیت روبرو و نیازمند مدیریت و برنامه‌ریزی دقیق بود. همچنین مطابق استانداردهای FAO پساب این تصفیه-خانه برای آبیاری فضای سبز مناسب نبود. Alobaidy et al. (2010)، با تحلیل نمودار هدایت الکتریکی نمونه پساب تصفیه‌خانه شهر بغداد، پساب این تصفیه خانه را در محدوده مناسب و بدون مخاطره برای آبیاری اراضی کشاورزی شناسایی کردند. اگرچه به‌علت غلظت بالای کلراید، محدودیت با درجه نسبی اندک تا متوسط برای آبیاری اراضی وجود داشت که به توصیه نویسنده نیازمند توجه در مدیریت روش تصفیه و آبیاری قرار بگیرد. Ali Al-Khashman et al. (2013)، پساب تصفیه‌خانه جنوب اردن را به منظور استفاده مجدد جهت آبیاری مورد بررسی قرار دادند. در این مطالعه دما، هدایت الکتریکی، اکسیژن محلول، اسیدیته و عناصرسنگین (بور، آهن، مس، کادمیوم، کروم، سرب، روی و منگنز) اندازه‌گیری شد. بر اساس نتایج بدست آمده به‌علت مخاطرات شوری و سدیم برای استفاده انسانی مطلوب نبوده اما به خاطر داشتن غلظت کم فلزات سنگین در مقایسه با استانداردهای جهانی سازمان بهداشت و همچنین داشتن هدایت الکتریکی مناسب، برای مصارف آبیاری پیشنهاد شد. Bourazanis and Kerkides (2015)، کیفیت پساب تصفیه‌خانه Sparta- یونان را با هدف منبع آب جهت آبیاری بر اساس استانداردهای زیست‌محیطی یونان در طول دو سال ارزیابی نمودند. پساب مورد نظر از دیدگاه خطر افزایش شوری در گروه خطر بالا و برای یون کلر در گروه کم تا متوسط گروه‌بندی شد. مطابق با استانداردهای زیست‌محیطی، بر اساس پارامترهای جامدات کل و BOD_5برای استفاده غیرمستقیم مناسب و برای آبیاری بصورت محدود مناسب ارزیابی شد.

۲- روش انجام تحقیق

در این تحقیق نمونه‌برداری از پساب تصفیه‌خانه در شهرستان شاهین شهر اصفهان انجام گرفت. به منظور بررسی ویژگی‌های کیفی آب پساب تصفیه‌خانه شاهین‌شهر، تعداد ۷ ایستگاه نمونه‌برداری شامل: پساب ورودی قبل از عملیات

کلرزنی، پساب خروجی بعد از عملیات کلرزنی ، پارک انقلاب، پارک حافظ، پارک ولیعصر، پارک گل‌سرخ و پارک مولوی مورد سنجش و ارزیابی قرار گرفتند. اطلاعات مربوط به موقعیت مکانی (مختصات **UTM**) این ایستگاه‌ها در جدول ۱ آمده است. آنالیز شاخص‌های کیفی از پساب به صورت دو بار در ماه و در فاصله مرداد ماه ۱۳۹۶ تا تیرماه ۱۳۹۷ انجام گرفت. همچنین غلظت عناصر سنگین بصورت فصلی پایش شد (تعداد کل ۲۸ نمونه).

جدول۱- موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های سنجش پساب- شاهین‌شهر اصفهان

نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی
پساب ورودی قبل از عملیات کلرزنی	۳۹S-۵۵۳۷۹۳	۳۶۳۵۸۹۰
پساب ورودی بعد از عملیات کلرزنی	۳۹S-۵۵۰۶۳۵	۳۶۳۷۰۷۱
پارک انقلاب	۳۹S-۵۴۹۰۷۸	۳۶۳۶۲۰۷
پارک حافظ	۳۹S-۵۴۹۶۵۰	۳۶۴۰۰۹۷
پارک ولیعصر	۳۹S-۵۵۲۷۷۹	۳۶۳۴۷۳۰
پارک گل‌سرخ	۳۹S-۵۵۵۲۵۸	۳۶۲۹۹۲۴
پارک مولوی	۳۹S-۵۵۴۶۱۶	۳۶۳۱۲۶۵

مجموعه‌ای از پارامترهای کیفی شامل، کل مواد جامد معلق (TSS)، هدایت الکتریکی (EC)، اسیدیته (pH)، و غلظت فلزات سنگین کروم (Cr)، سرب (Pb)، کبالت (Co)،نیکل(Ni)، مس(Cu)، منگنز (Mn)، آهن (Fe) و روی(Zn)؛ اندازه‌گیری شد. جدول ۲ خلاصه‌ای از روش‌های مورد استفاده در سنجش و اندازه‌گیری پارامترهای ذکر شده را نشان می‌دهد.

جدول ۲- روش‌های اندازه‌گیری پارامترهای شیمیایی و کیفی در آب و پساب

پارامتر	واحد	روش اندازه‌گیری
TSS	mg/l	وزن‌سنجی
EC	dS/cm	EC متر- روش مقاومت‌سنجی
pH	-	pH متر- روش پتانسیومتری
Cr	mg/kg	جذب اتمیک
Co	mg/kg	جذب اتمیک
Ni	mg/kg	جذب اتمیک
Cu	mg/kg	جذب اتمیک
Mn	mg/kg	جذب اتمیک
Pb	mg/kg	جذب اتک
Fe	mg/kg	جذب اتمیک
Zn	mg/kg	جذب اتمیک

استانداردها و رهنمودهای کیفیت آب بازیافتی در کشورهای مختلف با توجه به نوع کاربرد، نیازهای منطقه‌ای و میزان ریسک کلی متفاوت است. با توجه به خصوصیات پروژه استانداردهای کیفیت آب، فرآیند تصفیه و معیارهای راهبردی تصفیه‌خانه متفاوت خواهد بود. با این حال نقطه شروع برای هر پروژه بازیافت آب، بر اساس نوع مصرف آب بازیافتی، تأمین سلامت جامعه است. جداول۳، ۴ و ۵ خلاصه استانداردهای زیست‌محیطی تعیین شده بترتیب توسط سازمان محیطزیست[1] (۱۳۸۲)، سازمان بهداشت جهانی[2] (۲۰۰۶) و آژانس حفاظت محیطزیست[3] (۲۰۱۲) برای استفاده از پساب جهت مصارف کشاورزی و فضای سبز را نشان می‌دهد.

جدول ۳- استاندارد سازمان حفاظت محیطزیست ایران برای پساب جهت آبیاری درکشاورزی و فضای سبز

آلاینده	میلی‌گرم برلیتر	آلاینده	میلی‌گرم برلیتر
pH (بدون واحد)	۶/۵-۸/۵	کروم (Cr^{+3})	۲
مجموع جامدات معلق (TSS)	۱۰۰	مس (Cu)	۰/۲
هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر)	۰/۷	آهن (Fe)	۳
روی (Zn)	۲	منگنز (Mn)	۱
سرب (Pb)	۱	نیکل (Ni)	۲
کبالت (Co)	۰/۰۵		

1 - IRNDOE
2 - WHO
3 - EPA

جدول ٤- استاندارد سازمان بهداشت جهانی برای پساب جهت آبیاری

آلاینده	میلی‌گرم برلیتر
pH(بدون واحد)	۶-۸/۵
مجموع جامدات معلق (TSS)	-
هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر)	۰/۷
روی (Zn)	۲
سرب (Pb)	۳
کبالت (Co)	-
کروم (Cr^{+6})	۰/۱
مس (Cu)	۰/۲
آهن (Fe)	۵
منگنز (Mn)	۰/۲
نیکل (Ni)	۰/۲

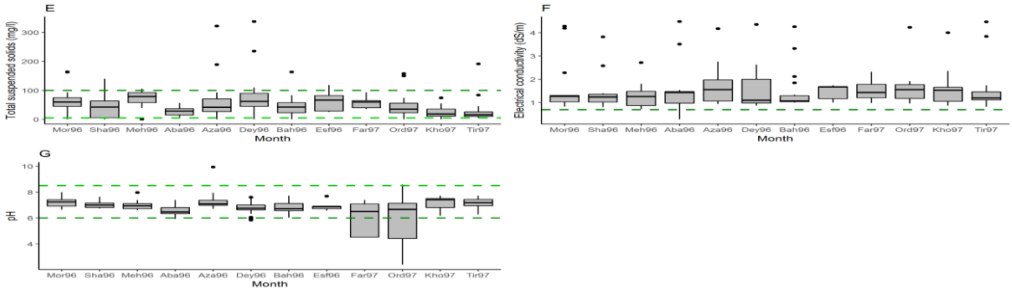
جدول ٥- استاندارد آژانس حفاظت محیط‌زیست برای پساب جهت آبیاری

آلاینده	میلی‌گرم برلیتر
pH(بدون واحد)	۶/۵-۸/۴
مجموع جامدات معلق (TSS)	۵
هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر)	۰/۷
روی (Zn)	۱
سرب (Pb)	۵
کبالت (Co)	۰/۰۵
کروم (Cr^{+6})	۰/۱
مس (Cu)	۰/۲
آهن (Fe)	۵
منگنز (Mn)	۰/۲
نیکل (Ni)	۰/۲

در این تحقیق از استانداردهای تعریف شده سازمان محیط‌زیست ایران در ارزیابی کیفی پساب استفاده شد. همچنین در صورت عدم تعریف حد مجاز برای پارامتر مورد بررسی از حدود ارائه شده توسط سازمان جهانی بهداشت و یا آژانس حفاظت محیط زیست استفاده گردید. تغییرات زمانی (۱۵ روزه یا ماهانه) و مکانی (ایستگاه‌های مختلف نمونه‌برداری) پارامترهای اندازه‌گیری شده با استفاده از آزمون یک‌طرفه واریانس و در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور زمان نمونه‌برداری (هفته، ماه و سال) و ایستگاه نمونه‌برداری به عنوان عامل در نظر گرفته شد. پیش از انجام آزمون، توزیع یکنواخت و نرمال داده‌ها با استفاده از آماره‌های توصیفی، آزمون کلموگروف-اسمیرنوف و آزمون لون بررسی شد و در صورت نیاز پارامترهای محیطی با استفاده از تبدیل log10 نرمال‌سازی شدند. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن انجام گرفت. همچنین جهت مقایسه مقادیر اندازه‌گیری شده با حدود استاندارد از آزمون تی مستقل در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ استفاده شد. تجزیه و تحلیل آماری پژوهش حاضر با استفاده نرم‌افزار R (version 3.5.2) و در محیط RStudio (version 1.1.423) انجام گرفت.

۳-نتایج تغییرات زمانی پارامترهای کیفی پساب

بررسی پارامترهای جامدات معلق (P value = ۰/۰۵۱)، هدایت الکتریکی (P value = ۰/۶۵۸) و اسیدیته (P value = ۰/۱۰۱)، نشان داد این تغییرات به صورت هر ۱۵ روزه معنی دار نبود. لذا تغییرات ماهانه بررسی شد. شکل ۱ این تغییرات را نشان می‌دهد. نمودار **E** مربوط به مجموع جامدات معلق (TSS)، نمودار F مربوط به هدایت الکتریکی و نمودار G مربوط به اسیدیته می‌باشد.

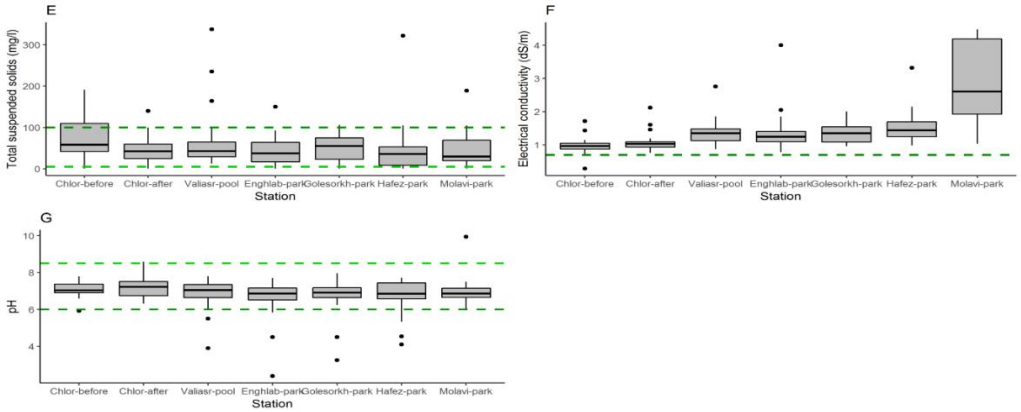


شکل۱- ویژگی‌های کیفی پساب شاهین‌شهر در طول ماه‌های مختلف نمونه‌برداری. خط‌چین سبز رنگ مقدار استاندارد پارامتر موردنظر را نمایش می‌دهد.

بر اساس نتایج آزمون دانکن ویژگی‌های کیفی پساب شاهین‌شهر نشان داد، بیش‌ترین میزان جامدات معلق در نمونه‌های مربوط به دی‌ماه اندازه‌گیری شد (a). آذر، مهر (ab)؛ مرداد (abc)؛ اسفند، فروردین، اردیبهشت (abcd)؛ بهمن، شهریور، تیر (abcd)؛ و آبان (ad) در گروه‌های بعدی قرار داشتند. کم‌ترین میزان جامدات معلق متعلق به نمونه‌های خرداد ماه (d) بود (شکل۱ E). آزمون آنالیز واریانس هدایت الکتریکی در پساب تصفیه‌شده شاهین‌شهر آشکار کرد مقادیر هدایت الکتریکی در طول ماه‌های مختلف نمونه‌برداری تغییرات معنی-داری نداشتند (P value = ۰/۸۶۲) و میانگین‌های ماهانه در یک گروه قرار داشتند. بیش‌ترین مقدار مربوط به نمونه‌های آذر بود و کم‌ترین مقدار متعلق به ماه مهر اندازه‌گیری شد (شکل۱ F). میانگین اسیدیته پساب در ماهای مختلف در محدوده ۵/۸۵ تا ۷/۳۷ محاسبه شد. بر این اساس، آذرماه بیش‌ترین مقدار اسیدیته (a) را داشت و در اردیبهشت ماه کم‌ترین مقدار اندازه‌گیری شد (d). نمونه‌های متعلق به ماه‌های دیگر اختلاف معنی‌داری از نظر میزان اسیدیته نداشتند (شکل۱ G). مقایسه ویژگی‌های کیفی پساب تصفیه‌شده با حدود استاندارد نشان داد، هدایت الکتریکی که در همه ماه‌ها از حدود استاندارد بالاتر بود (P value < ۰/۰۰۱). همچنین به جز ماه اردیبهشت که میزان اسیدیته کم‌تر از حد پایین استاندارد بود (P value < ۰/۰۱) در بقیه ماه‌ها در دامنه استاندارد قرار داشت. میزان جامدات معلق در همه ماه‌ها از حدود استاندارد آژانس حفاظت محیط زیست (خط سبز کم‌رنگ) به صورت معنی‌داری بیشتر بود (P value < ۰/۰۰۱).

تغییرات مکانی(ایستگاهی) پارامترهای کیفی پساب

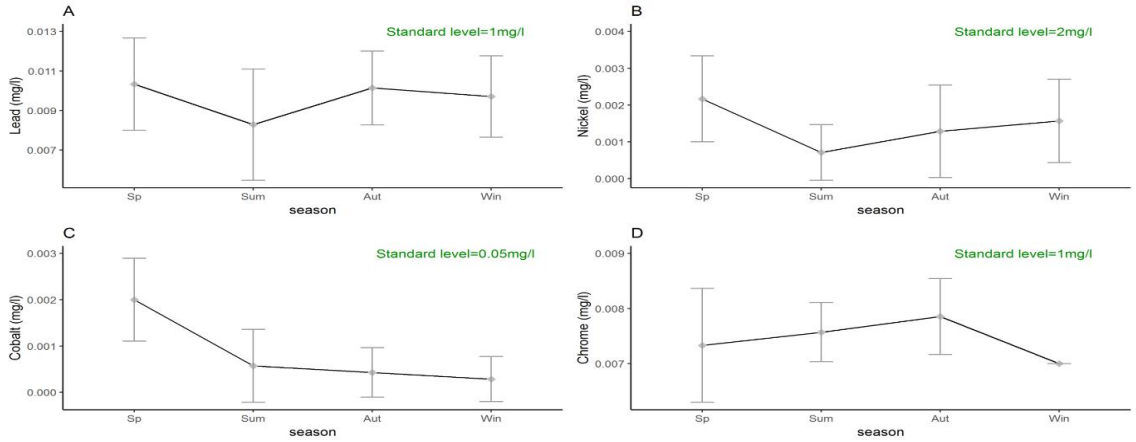
بررسی پارامترهای کیفی پساب نشان داد این تغییرات در ایستگاه‌های مختلف به جز جامدات معلق (P value = ۰/۱۵۷)، برای پارامترهای هدایت الکتریکی (P value < ۰/۰۰۱) و اسیدیته (P value = ۰/۰۲۵) معنی‌دار بود. شکل ۲ تغییرات مکانی پارامترهای اندازه‌گیری شده را نمایش می‌دهد. آزمون آنالیز واریانس جامدات معلق در پساب شاهین‌شهر آشکار کرد مقادیر جامدات معلق در ایستگاه‌های مختلف نمونه‌برداری تغییرات معنی‌داری نداشتند (P = ۰/۱۵۷ value). بیش‌ترین مقدار مربوط به نمونه‌های قبل از کلرزنی بود و کم‌ترین مقدار در پارک انقلاب اندازه‌گیری شد (شکل۲ E). نتایج ویژگی‌های کیفی هدایت الکتریکی نشان داد، بیش‌ترین میزان هدایت الکتریکی در نمونه‌های مربوط به پارک مولوی اندازه‌گیری شد (a). پارک حافظ (b)؛ استخر ولیعصر، پارک گل‌سرخ، انقلاب (bc) و بعد از کلرزنی (cd) در گروه‌های بعدی قرار داشتند. کم‌ترین میزان هدایت الکتریکی متعلق به نمونه‌های قبل از کلرزنی (d) بود (شکل۲ F). میانگین اسیدیته پساب در ماه‌های مختلف در محدوده ۶/۵۹ تا ۷/۲۱ محاسبه شد. بر این اساس، ایستگاه بعد از کلرزنی بیش‌ترین مقدار اسیدیته (a) را داشت و در مقابل کم‌ترین مقدار در ایستگاه انقلاب اندازه-گیری شد (c). نمونه‌های متعلق به ایستگاه‌های دیگر شامل قبل از کلرزنی (b)؛ پارک مولوی و استخر ولیعصر (abc) و ایستگاه حافظ و پارک گل‌سرخ (bc) اختلاف معنی‌داری از نظر میزان اسیدیته نداشتند (شکل۲ G). در حالی‌که در همه ایستگاه‌ها هدایت الکتریکی فراتر از حد استاندارد بود (P < ۰/۰۰۱ value)، پارامترهای اسیدیته و میزان کل جامدات معلق در محدوده استاندارد کم‌تر بود. میزان جامدات معلق در همه ایستگاه‌ها از حدود استاندارد آژانس حفاظت محیط زیست (خط سبز کم‌رنگ) به صورت معنی‌داری بیشتر بود (P value < ۰/۰۰۱).



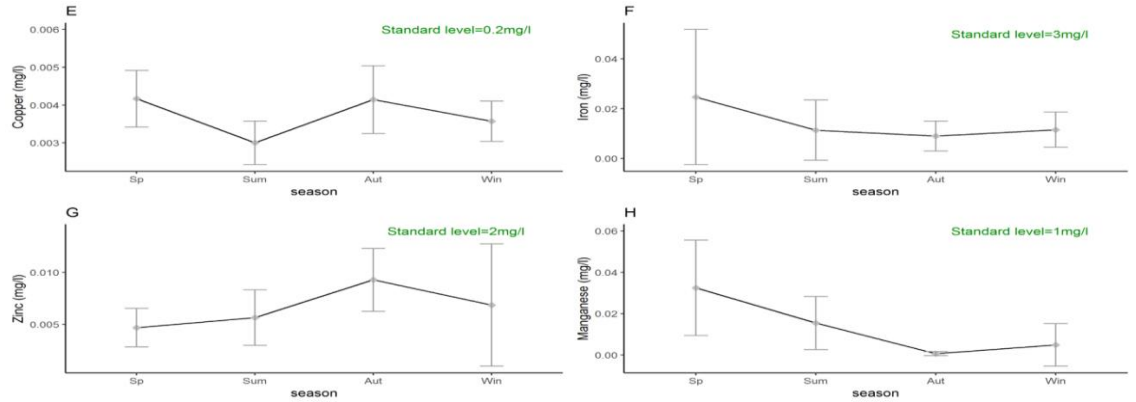
شکل ۲- ویژگی‌های کیفی پساب شاهین‌شهر در ایستگاه‌های مختلف نمونه‌برداری. خط‌چین سبز رنگ مقدار استاندارد پارامتر موردنظر را نمایش می‌دهد.

تغییرات زمانی غلظت فلزات سنگین پساب

سنجش فلزات سنگین پساب شاهین‌شهر هر سه ماه یک‌بار و بصورت فصلی انجام گرفت. بر اساس نتایج آنالیز یک‌طرفه واریانس عامل فصل در تغییرات غلظت سرب (P value = ۰/۰۲۴)، کبالت (P value = ۰/۰۰۱۶)، مس (P value = ۰/۰۳۶) و منگنز (P value = ۰/۰۰۳) در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود، اما برای غلظت نیکل (P value = ۰/۲۲۵)، کروم (P = ۰/۸۹ value)، آهن (P value = ۰/۱۵۵) و روی (P value = ۰/۱۶۲) معنی‌دار نبود. شکل‌های ۳ و ۴ تغییرات فصلی غلظت فلزات سنگین و عناصر کم‌مصرف (فلزات سنگین تغذیه‌ای) در پساب را نمایش می‌دهند. نمودار **A** مربوط به سرب ، نمودار **B** مربوط به نیکل، نمودار **C** مربوط به کبالت ، نمودار **D** مربوط به کروم، نمودار **E** مربوط به مس، مربوط به نمودار **F** مربوط به آهن، نمودار **G** مربوط به روی، نمودار **H**مربوط به منگنز می‌باشند.



شکل۳- غلظت فلزات سنگین آلاینده پساب شاهین‌شهر در فصول مختلف نمونه‌برداری.



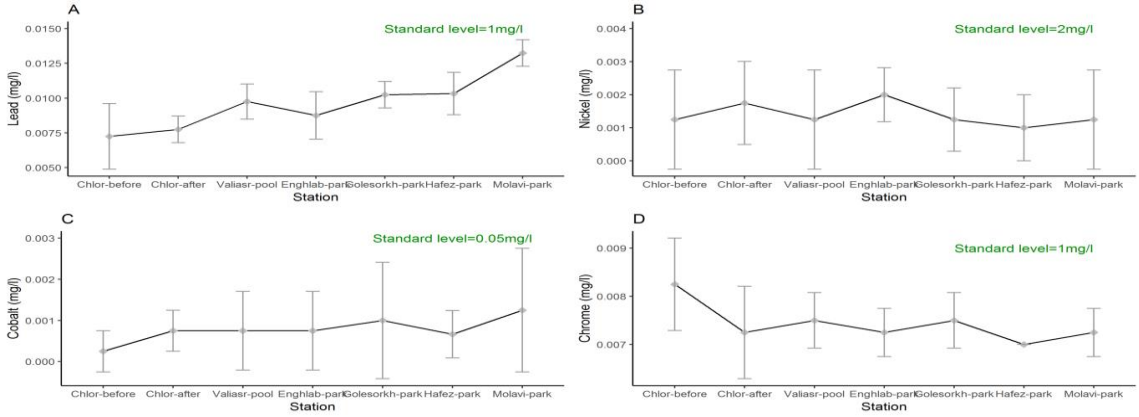
شکل ٤- غلظت عناصر کم‌مصرف (فلزات سنگین تغذیه‌ای) پساب شاهین‌شهر در فصول مختلف نمونه‌برداری.

میانگین غلظت سرب بصورت معنی‌داری در فصل تابستان کم‌تر از نمونه‌های مربوط به فصول دیگر بود (b). بیش‌ترین میزان سرب در نمونه‌های فصل بهار اندازه‌گیری شد (۰/۰۱۰۳±۰/۰۰۲۳ میلی‌گرم بر لیتر). اگرچه اختلاف معنی‌داری با فصل پاییز (۰/۰۱۰۱±۰/۰۰۱۸ میلی‌گرم بر لیتر) و زمستان (۰/۰۰۹±۰/۰۰۲ میلی‌گرم بر لیتر) نداشت (a) (شکل۳ A). مطابق نتایج آنالیز یک‌طرفه واریانس تغییرات غلظت نیکل اختلاف معنی‌داری تحت تأثیر عامل فصل نداشت. کم-ترین و بیش‌ترین غلظت اندازه‌گیری بترتیب متلعق به نمونه‌های فصل تابستان (۰/۰۰۰۷±۰/۰۰۰۷ میلی‌گرم بر لیتر) و بهار(۰/۰۰۲±۰/۰۰۱۱ میلی‌گرم بر لیتر) بود (شکل۳ B). در بین نمونه‌هایی که غلظت فلز کبالت در آن‌ها سنجش شد، نمونه‌های فصل بهار حداکثر (۰/۰۰۲±۰/۰۰۰۸ میلی‌گرم بر لیتر) (a) و زمستان حداقل (۰/۰۰۰۲±۰/۰۰۰۴ میلی‌گرم بر لیتر) مقادیر را داشتند (b). مطابق نتایج آزمون دانکن نمونه‌های فصل تابستان (۰/۰۰۰۵±۰/۰۰۰۷ میلی‌گرم بر لیتر) و پاییز (۰/۰۰۰۴±۰/۰۰۰۵ میلی‌گرم بر لیتر) اختلاف معنی‌داری با فصل زمستان نداشت (b) (شکل۳ C). مشابه با فلز نیکل، تغییرات غلظت کروم اختلاف معنی‌داری تحت تأثیر عامل فصل نداشت. کم‌ترین و بیش‌ترین غلظت اندازه-گیری بترتیب متلعق به نمونه‌های فصل پاییز (۰/۰۰۷۸±۰/۰۰۰۶ میلی‌گرم بر لیتر) و زمستان (۰/۰۰۷±۰/۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) بود (شکل۳ D). غلظت فلزات سنگین پساب تصفیه‌شده در همه فصول در مقایسه با حدود مجاز ارائه شده توسط سازمان محیط‌زیست ایران بطور معنی‌داری کم‌تر بود (P value < ۰/۰۰۱). غلظت فلز مس تغییرات معنی‌داری در فصول مختلف نمونه‌برداری نشان داد بطوری‌که در فصل بهار (۰/۰۰۴۱±۰/۰۰۰۷ میلی‌گرم بر لیتر) و سپس پاییز (۰/۰۰۴۱±۰/۸۶ میلی‌گرم بر لیتر) در بیش‌ترین مقدار خود (a) داشت. میزان مس در زمستان (۰/۰۰۳۵±۰/۰۰۰۵ میلی‌گرم بر لیتر) با کاهش همراه بود (ab) و در تابستان (۰/۰۰۳±۰/۰۰۰۵ میلی‌گرم بر لیتر) به کم‌ترین مقدار خود رسید (b) (شکل۴ E). تغییرات غلظت آهن و روی تحت تأثیر فصل معنی‌دار نبود. میانگین غلظت آهن در دامنه ۰/۰۲۵±۰/۰۲ میلی‌گرم بر لیتر در بهار تا ۰/۰۰۹±۰/۰۰۶ میلی‌گرم بر لیتر در پاییز نوسان داشت (شکل۴ F). در حالی‌که دامنه این مقادیر برای فلز روی از ۰/۰۰۹±۰/۰۰۳ میلی‌گرم بر لیتر در پاییز تا ۰/۰۰۴±۰/۰۰۱ میلی‌گرم بر لیتر در بهار بود (شکل۴ G). برخلاف آهن و روی، غلظت فلز منگنز تغییرات معنی‌داری در فصول مختلف نشان داد. بر اساس نتایج آزمون دانکن، نمونه‌های بهار بیش‌ترین غلظت را داشتند (۰/۰۳۲±۰/۰۲۳ میلی‌گرم بر لیتر) و درگروه مجزا (a) قرار گرفتند اما نمونه‌های تابستان (۰/۰۱۵±۰/۰۱۲ میلی‌گرم بر لیتر)، زمستان (۰/۰۰۴±۰/۰۱ میلی‌گرم بر لیتر) و پاییز (۰/۰۰۰۵±۰/۰۰۰۹ میلی‌گرم بر لیتر) در یک گروه واقع شدند (b) (شکل۴ H). غلظت عناصر کم‌مصرف پساب تصفیه‌شده در همه فصول در مقایسه با حدود مجاز ارائه شده توسط سازمان محیط‌زیست ایران بطور معنی-داری کم‌تر بود (P value < ۰/۰۰۱).

تغییرات مکانی (ایستگاهی) غلظت فلزات سنگین پساب

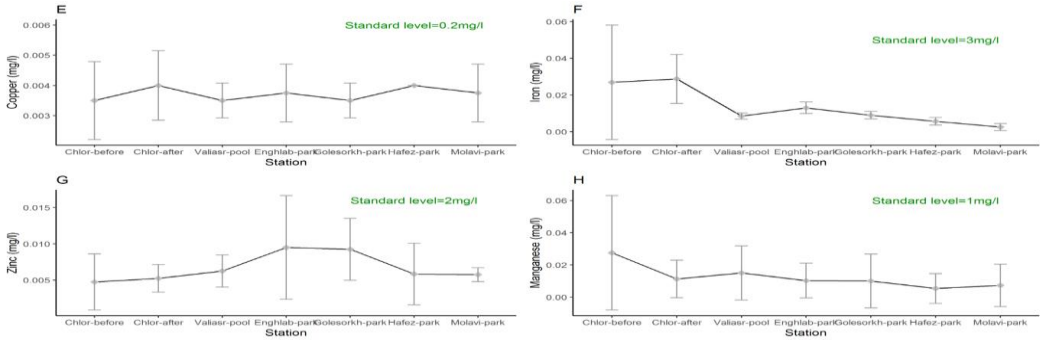
بر اساس نتایج آنالیز یک‌طرفه واریانس عامل ایستگاه نمونه‌برداری به جز تغییرات غلظت سرب (P value < ۰/۰۰۱) که در سطح ۵ درصد معنی‌دار

بود، برای غلظت نیکل (P value = ۰/۹۴۶)، کبالت (P value = ۰/۵۷۸)، کروم (P value = ۰/۱۶۸)، مس (P value = ۰/۸۵۴)، آهن (P value = ۰/۰۶۶)، روی (P value = ۰/۳۸۹) و منگنز (P value = ۰/۴۹) معنی‌دار نبود. شکل‌های ۵ و تغییرات مکانی (ایستگاهی) غلظت فلزات سنگین و عناصر کم‌مصرف (فلزات سنگین تغذیه‌ای) در پساب را نمایش می‌دهند. نمودار **A** مربوط به سرب ، نمودار **B** مربوط به نیکل، نمودار **C** مربوط به کبالت ، نمودار **D** مربوط به کروم، نمودار **E** مربوط به مس، مربوط به نمودار **F** مربوط به آهن، نمودار **G** مربوط به روی، نمودار **H**مربوط به منگنز می‌باشند. میانگین غلظت سرب بصورت معنی‌داری در ایستگاه قبل از کلرزنی کم‌تر از نمونه‌های مربوط به فصول دیگر بود (۰/۰۰۷۲±۰/۰۰۲۳ میلی‌گرم بر لیتر) (d). بیش‌ترین میزان سرب در نمونه‌های ایستگاه پارک مولوی اندازه‌گیری شد (۰/۰۱۳۲±۰/۰۰۰۹ میلی‌گرم بر لیتر) (a). پس از آن غلظت سرب در ایستگاه‌های حافظ (۰/۰۱۰۳±۰/۰۰۱۵ میلی‌گرم بر لیتر) و پارک‌گل‌سرخ (۰/۰۱۰۲±۰/۰۰۱۷ میلی‌گرم بر لیتر) (b)؛ استخر ولیعصر (۰/۰۰۹۷±۰/۰۰۱۲ میلی‌گرم بر لیتر) (bc)؛ پارک انقلاب (۰/۰۰۸۷±۰/۰۰۱۷ میلی‌گرم بر لیتر) (bcd) و بعد از کلرزنی (۰/۰۰۷۷±۰/۰۰۰۹ میلی‌گرم بر لیتر) قرارداشتند (bd) (شکل۵ A). مطابق نتایج آنالیز یک‌طرفه واریانس تغییرات غلظت نیکل اختلاف معنی‌داری تحت تأثیر عامل ایستگاه نمونه‌برداری نداشت. کم‌ترین و بیش‌ترین غلظت اندازه‌گیری بترتیب متعلق به نمونه‌های ایستگاه پارک حافظ (۰/۰۰۱±۰/۰۰۱ میلی‌گرم بر لیتر) و انقلاب (۰/۰۰۲±۰/۰۰۰۸ میلی‌گرم بر لیتر) بود (شکل۵ B) .



شکل ۵- غلظت فلزات سنگین آلاینده پساب شاهین‌شهر در ایستگاه‌های مختلف نمونه‌برداری.

در بین نمونه‌هایی که غلظت فلز کبالت در آن‌ها سنجش شد، نمونه‌های ایستگاه پارک مولوی حداکثر (۰/۰۰۱۲±۰/۰۰۱ میلی‌گرم بر لیتر) و قبل از کلرزنی حداقل (۰/۰۰۰۲±۰/۰۰۰۵ میلی‌گرم بر لیتر) مقادیر را داشتند (شکل۵C). کم‌ترین و بیش‌ترین غلظت کروم اندازه‌گیری بترتیب متعلق به نمونه‌های پارک حافظ (۰/۰۰۱±۰/۰۰۱ میلی‌گرم بر لیتر) و بعد از کلرزنی (۰/۰۰۱۷±۰/۰۰۱۲ میلی‌گرم بر لیتر) بود (شکل۵ D).غلظت فلزات سنگین پساب تصفیه‌شده در همه ایستگاه‌ها در مقایسه با حدود مجاز ارائه شده توسط سازمان محیط‌زیست ایران بطور معنی‌داری کم‌تر بود (P value < ۰/۰۰۱).غلظت فلز مس تغییرات معنی‌داری در ایستگاه‌های مختلف نمونه‌برداری نشان نداد. بیش‌ترین غلظت در نمونه‌های مربوط به ایستگاه بعد از کلرزنی (۰/۰۰۴±۰/۰۰۱۱ میلی‌گرم بر لیتر) و کم‌ترین غلظت در نمونه‌های استخر ولیعصر (۰/۰۰۳۵±۰/۰۰۰۵ میلی‌گرم بر لیتر) اندازه‌گیری شد (شکل۶ E). بصورت مشابهی تغییرات غلظت آهن و روی تحت تأثیر ایستگاه معنی‌دار نبود. میانگین غلظت آهن در دامنه ۰/۰۰۲±۰/۰۰۱۹ میلی‌گرم بر لیتر در پارک مولوی تا ۰/۰۲۸۷±۰/۰۱۳۳ میلی‌گرم بر لیتر در ایستگاه بعد از کلرزنی نوسان داشت (شکل۶ F). در حالی‌که دامنه این مقادیر برای فلز روی از ۰/۰۰۴۷±۰/۰۰۳۸ میلی‌گرم بر لیتر در ایستگاه قبل از کلرزنی تا ۰/۰۰۹۵±۰/۰۰۷۱ میلی‌گرم بر لیتر در پارک انقلاب بود (شکل۶ G). غلظت فلز منگنز نیز تغییرات معنی‌داری در فصول مختلف نشان نداد. بر اساس نتایج آزمون دانکن، نمونه‌های قبل از کلرزنی بیش‌ترین غلظت را داشتند (۰/۰۲۷۵±۰/۰۳۵ میلی‌گرم بر لیتر) اما نمونه‌های پارک حافظ (۰/۰۰۵±۰/۰۰۹ میلی‌گرم بر لیتر) و پارک مولوی (۰/۰۰۷±۰/۰۱۳ میلی‌گرم بر لیترکم‌ترین غلظت را داشتند (شکل۶ H). غلظت عناصر کم‌مصرف پساب تصفیه‌شده در همه ایستگاه‌ها در مقایسه با حدود مجاز ارائه شده توسط سازمان محیط‌زیست ایران بطور معنی‌داری کم‌تر بود (P value < ۰/۰۰۱).



شکل۶- غلظت عناصر کم‌مصرف (فلزات سنگین تغذیه‌ای) پساب شاهین‌شهر در ایستگاه‌های مختلف نمونه‌برداری.

٤-نتیجه گیری

همان طور که در قبل نیز اشاره شد، کیفیت آب جهت آبیاری از طریق کمیت و نوع یون‌های موجود در آن آب و یا منبعی که برای تأمین آب آبیاری در نظر گرفته شده است تعیین می‌شود (Pedrero et al., 2010). اگرچه اغلب گیاهان از نظر واکنش و تحمل میزان شوری متفاوت هستند (Maas and Grattan, 1999) اما به‌عنوان یک قانون عمومی، هرچه میزان شوری در پساب افزایش یابد، احتمال بروز برخی از مشکلات در خاک، آب و کشت نیز افزایش می‌یابد (Pedrero et al., 2010). مطابق نتایج ویژگی‌های کیفی پساب در مطالعه حاضر میزان هدایت الکتریکی در مقایسه با حد ۰/۷ دسی زیمنس بر متر، در همه ماه‌ها و ایستگاه‌های نمونه‌برداری بالاتر از حد استاندارد ذکر شده بود. میزان هدایت الکتریکی بین ۴/۴۸- ۰/۲۹دسی زیمنس بر متر در نوسان بود. بر اساس نمودار ویلکاکس کیفیت پساب بر اساس معیار متوسط EC در صورتی که دانه‌بندی و نفوذپذیری خاک مناسب باشد برای آبیاری کیفیت متوسط دارد. در مطالعات پیشین ذکر شده است که در چنین شرایطی (شرایط شوری پساب)، زهکشی مناسب خاک می‌تواند امکان جابه‌جایی و حرکت مداوم آب و نمک‌ها را در منطقه ریشه امکان‌پذیر کند و بنابراین استفاده بلندمدت از پساب تصفیه‌شده برای آبیاری بدون بهره‌بردن از زهکشی مناسب امکان‌پذیر نیست (Pedrero et al., 2010). همچنین پیشنهاد شده است که زمانی که میزان شوری در پساب تصفیه‌شده بیش از حدود استاندارد و یا فراتر از حد تحمل گیاه کشت شده باشد می‌توان از رقیق‌سازی (مخلوط کردن) پساب با آب شیرین بهره برد. این امر می‌تواند قبل از آبیاری یا در طول آبیاری صورت گیرد که این امر حجم آب در دسترس کشاورز را افزایش خواهد داد (Oster and Grattan, 2002 ؛Rhoades, 1999). میزان تغییرات اسیدیته خاک تحت تأثیر آبیاری با پساب تصفیه‌شده وابسته به نوع پوشش خاک، بافت خاک و طول دوره آبیاری است (Becerra et al., 2015). در تحقیق حاضر اسیدیته پساب به جز در ماه اردیبهشت که بصورت معنی‌داری کم‌تر از محدوده طبیعی اسیدیته بود در بقیه ماه‌های نمونه‌برداری در تمام ایستگاه‌ها در محدود مطلوب قرار گرفت. در حدود ۷ درصد مشاهدات (از ۱۸۲ نمونه اندازه‌گیری شده) دارای اسیدیته کم‌تر از ۶ و در رنج اسیدی قرار داشت که عمده این مشاهدات متعلق به دو ماه فروردین و اردیبهشت می‌باشد. ۴۸٪ مشاهدات در رنج ۷-۶، ۴۳٪ مشاهدات در محدوده ۸-۷ قرار داشت و تنها ۱٪ در محدوده بازی ۹-۸ واقع شد. بنابراین پساب تصفیه‌شده از نظر میزان اسیدیته در محدوده اسیدی تا خنثی بود. از آنجا که آبیاری با پساب دارای اسیدیته خارج از محدوده طبیعی می‌تواند در نهایت موجبات عدم تعادل مواد مغذی از طریق تغییر حلالیت و متعاقباً میزان جذب و یا افزایش سمیت فلزات سمی بشود، لذا توجه به کنترل میزان اسیدیته در کنترل آثار سوء احتمالی مؤثر می‌باشد (Ayers and Westcot, 1985). اگرچه برخی محققین گزارش نمودند که تغییرات اسیدیته یک عامل تعیین کننده در تعداد و تنوع گونه‌ای میکروارگانیسم‌های خاک است که افزایش فلزات در خاک در واقع ناشی از فعالیت آن‌ها بوده و به تغییرات اسیدیته بستگی ندارد. همچنین غلظت و دسترسی فلزات بصورت بالقوه بر بستر جوامع میکروبی دارد (Fierer and Jackson, 2006، Lauber et al., 2009؛ Rattan et al., 2005؛ Rousk et al., 2010). در اغلب مطالعات محدوده بازی برای پساب شهری گزارش شده است (Al-Khashman et al., 2013؛ Alobaidy et al., 2010). میزان جامدات معلق در تمام طول سال و در تمامی ایستگاه‌ها فراتر از حدود آژانس حفاظت محیط‌زیست آمریکا مشاهده شد. مقایسه غلظت عناصر سنگین در پساب تصفیه‌خانه شاهین‌شهر نشان داد، در همه‌ایستگاه‌ها و در طول ماه‌های نمونه‌برداری غلظت این عناصر از محدوده مجاز فراتر نبود. شهامت و همکاران (۱۳۹۶) نتایج مشابهی را برای غلظت عناصر سنگین شامل سرب، کادمیوم، نیکل و کروم در پساب تصفیه‌خانه گرگان گزارش نمودند. همچنین طباطبایی و همکاران (۱۳۹۳) غلظت فلزات سنگین در پساب شهری اصفهان را در محدوده مجاز اعلام و در مقایسه با پساب‌های صنعتی (کارخانه ذوب آهن)، غلظت این عناصر را در پساب‌های شهری کم‌تر گزارش کردند. لذا بر اساس نتایج تحقیق حاضر مصرف پساب جهت آبیاری فضای سبز با محدودیت سمیت فلزات سنگین مواجه نیست اگرچه به علت انباشت زیستی این عناصر و ایجاد ریسک زیست‌محیطی در بلندمدت، پایش مداوم این عناصر پیشنهاد می‌گردد.

منابع

- افیونی،م.، مجتبی‌پور، ن.،نوربخش، ف.، ۱۳۶۳. خاک‌های شور و سدیمی و اصلاح آن‌ها. انتشارات اردکان، یزد. ۱۹۳ صفحه.
- بدلیانس قلی‌کندی، گ.، ابریشمی، ع.، جمشیدی، ش.، فریور، پ.، رفیعی‌طبا، س.، ۱۳۹۲. امکان‌سنجی استفاده مجدد از پساب تصفیه‌شده برای آبیاری فضای سبز (مطالعه موردی: تصفیه‌خانه فاضلاب قیطریه). اولین همایش و نمایشگاه تخصصی محیط‌زیست، انرژی و صنعت پاک- دانشگاه تهران. ۱-۱۰.
- حاج‌رسولیها، ش.، ۱۳۶۴. کیفیت آب در کشاورزی. انتشارات مرکزنشر دانشگاهی، تهران. ۱۳۷ صفحه.
- حاتمی، ط.، نادعلی، ا.، روشنایی، ق.، شکوهی، ر.، ۱۳۹۷. امکان‌سنجی استفاده مجدد از پساب خروجی فرآیند هوادهی گسترده تصفیه فاضلاب شهر بجنورد جهت مصارف کشاورزی و آبیاری. مجله علمی پژوهان، ۱۶(۲): ۲۸-۲۰.
- حسینیان، س.م.، ۱۳۸۱. مصارف مجدد فاضاب‌های تصفیه شده. انتشارات علوم روز، تهران. ۹۲ صفحه.
- خسروی دهکردی،ا.، افیونی،م.،موسوی، ف.، ۱۳۸. بررسی تغییرات غلظت نیترات آب‌های زیرزمینی حاشیه زاینده‌رود در استان اصفهان.محیط‌شناسی، ۳۹: ۴۰-۳۳.
- سامانی، ج.م.، ۱۳۸۳. مدیریت منابع آب و توسعه پایدار. دفتر مطالعات زیربنایی، تهران. ۳۵ صفحه.
- سازمان حفاظت محیط زیت ایران.، ۱۳۹۲. استانداردهای کیفیت منابع خاک و راهنماهای آن. معاونت محیط زیست انسانی، دغتر اب و خاک. ۱۶۱ صفحه.
- شوشتریان، س.، تهرانی‌فر، ع.، انصاری، ح.، ۱۳۸۹. بررسی کاربرد پساب‌های شهری تصفیه شده در آبیاری گیاهان فضای سبز شهری مشهد. مشهدپژوهشی، ۳(۴):۱۳-۱.
- شهامت، ی.، سنگ‌بری، ن.، ظفرزاده، ع.، بیرامی، س.، ۱۳۹۶. بررسی فلزات سنگین در پساب و لجن تصفیه‌خانه شهری گرگان. مجله دانشگاه علوم پزشکی مازندران، ۱۵۰:۱۶۹-۱۵۸.

- طباطبایی، س.ج.، نجفی پ.، طاهری سودجانی، ه.، ۱۳۹۳. تأثیر دراز مدت روش‌های مختلف آبیاری درختان با پساب بر تجمع فلزات سنگین در خاک. نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار، ۴(۳): ۲۴۹-۲۳۳.
- صفامنش، ه.، بذرافشان، ا.، نصرآبادی، م.، ۱۳۹۶. امکان‌سنجی استفاده مجدد از پساب بیمارستان علی ابن ابیطالب (ع) زاهدان جهت آبیاری. چهارمین کنفرانس بین‌المللی برنامه‌ریزی و مدیریت محیطزیست- دانشگاه تهران. ۶-۱.
- قانعیان، م.ن.، ۱۳۷۹. بررسی وضعیت فاضلاب و امکان استفاده مجدد از پساب در جزیره کیش. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علوم پزشکی تهران. ۱۲۳ صفحه.
- معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور، ۱۳۸۹. ضوابط زیست‌محیطی استفاده مجدد از آب‌های برگشتی و پساب‌ها. شماره ۵۳۵، معاونت برنامه-ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور، تهران. شماره ۵۳۵، ۱۵۵ صفحه.
- مهرآوران، ب.، انصاری، ح.، بهشتی، ع.ا.، اسماعیلی، ک.، ۱۳۹۴. بررسی امکان استفاده از پساب تصفیه شده در ابیاری با توجه به اثرات زیست‌محیطی آن (مطالعه موردی پساب خروجی تصفیه‌خانه پرکنآباد مشهد). نشریه آبیاری و زهکشی ایران، ۳(۹): ۴۴۶-۴۳۹.
- نعیمی، ل.، جاوید، ا.م، میرباقری، س.ا.، ۱۳۹۳. بررسی تأثیر استفاده مجدد از پساب تصفیه‌خانه فاضلاب در فضای سبز شهری به منظور توسعه پایدار (مطالعه موردی: شهرک غرب تهران). مجله پایداری، توسعه و محیط زیست، ۱: ۴۵-۳۷.
- Ali Al-Khashman, O., Al-Hwaiti, M., Al-Khatib, L., Fraige, F., 2013. Assessment and evaluation of treated municipal wastewater quality for irrigation purposes. Research Journal of Environmental and Earth Sciences, 5(5): 229-236.
- Alobaidy, A.H.M.J., Al-Sameraiy, M.A., Kadhem, A.J., Abdul, A., 2010. Evaluation of treated municipal wastewater quality for irrigation. Journal of Environmental Protection, 1: 216-225.
- Ayers, R.S.,Westcot, D.W.,1985.Water quality for agriculture.Food and Agriculture Organization, Rome. 174 p.
- Fierer, N., Jackson, R.B., 2006. The diversity and biogeography of soil bacterial communities. Proceeding of the National Academy of Science of the USA, 103: 626-631
- Bourazanis, G., Kerkides, P., 2015. Evaluation of Sparta’s municipal wastewater treatment plant’s effluent as an irrigation water source according to Greek Legislation. Desalination and Water Treatment, 1-11.
- Carr, R., 2005. WHO guide-line for safe wastewater use-more than just numbers. Irrigation and Drainage, 54: 103–111.
- Jimenez, B., 2005. Treatment technology and standards for agricultural wastewater reuse: A case study in Mexico City. Irrigation and Drainage, 54: 23-33.
- Lauber, C.L., Hamady, M., Knight, R., Fierer, N., 2009. Pyrosequencing-based assessment of soil ph as a predictor of soil bacterial community structure at the continental scale. Applied Environmental Microbiology, 75: 5111-5120.
- Metcalf and Eddy., 2003. Wastewater Engineering: Treatment and Reuse. 4th Edition, McGraw-Hill, New York. 126p.
- Maas, E.V., Grattan, S.R., 1999. Crop yields as affected by salinity. In: Skaggs, R.W., van Schilfgaarde, J. (Eds.), Agricultural Drainage. American Society of Agronomy, Madison, WI. 55-108.
- Oster, J.D., Grattan, S.R., 2002. Drainage water reuse. Irrigation and Drainage Systems. 16(4): 297-310.
- Pedrero, F., Kalavrouziotis, I., Alarcón, J.J., Koukoulakis, P., Asano, T., 2010. Use of treated municipal wastewater in irrigated agriculture-Review of some practices in Spain and Greece. Agricultural Water Management, 97: 1233-1241.
- Rattan, R., Datta, S., Chhonkar, P., Suribabu, K., Singh, A., 2005. Long-term impact of irrigation with sewage effluents on heavy metal content in soils, crops and groundwater - A case study. Agriculture Ecosystems & Environment, 109: 310-322.
- Rousk, J., Bååth, E., Brookes, P., Lauber, C., Lozupone, C., Caporaso, G., Knight, R., Fierer, N., 2010. Soil bacterial and fungal communities across a pH gradient in an arable soil. International Society for Microbial Ecology Journal, 4: 1340-1351.
- Weizhen, L., Leung, A.Y., 2003. A preliminary study on potential of developing shower / laundry wastewater reclamation and reuse system. Chemosphere, 52: 1451-1459.