تعیین پتانسیل پساب خروجی تصفیه‌خانه شهر یزد جهت استفاده در بخش کشاورزی بر اساس معیارهای جهانی

مهدی نقی زاده[۱]، محمود غلامی[۲] و روح اله مرادی[۳]*

تاریخ دریافت:۱۳۹۴/۰۲/۰۱
تاریخ پذیرش:۱۳۹۶/۰۶/۰۵

چکیده

به منظور ارزیابی و طبقه‌بندی پساب خروجی از تصفیه‌خانه شهر یزد و تعیین مصارف آن در بخش کشاورزی، بر اساس یک روش علمی، نمونه‌برداری از پساب به صورت هفتگی و به مدت یکسال انجام شده و تعداد کلیفورم مدفوعی(FC) و تخم نماتد (NE)، مقدارPO_4، NO_2، NO3، NH3، SO4، pH، EC، SAR، Na، Ca، Mg، K، HCO3، CO3، B، Fe، Zn، Cu وMn در شرایط استاندارد، اندازه‌گیری شد. نتایج آزمایشات نشان داد که با توجه به معیارهای ارائه شده توسط سازمان بهداشت جهانی، پساب مذکور در کلاس B قرار گرفته و برای آبیاری غلات، گیاهان صنعتی، علوفه‌ای، مراتع، چمنزارها و درختان غیرمثمر، قابل استفاده است. مهمترین عامل محدودکننده این پساب برای استفاده در بخش کشاورزی، غلظت بالای بی‌کربنات است که از طریق ترسیب یون هایی مانند کلسیم و منیزیم محلول باعث افزایش SAR خاک و کاهش نفوذپذیری آن در درازمدت خواهد شد. براساس برآوردهای انجام‌شده، مقدار گچ مورد نیاز به منظور کاهش اثرات سوء سدیم اضافی پساب ۸/۶۲ تن در هکتار می‌باشد. پساب موجود از نظر عناصر غذایی وضع مطلوبی دارد و استفاده از آن در تولید گیاهان صنعتی و علوفه‌ای از جمله پنبه، جو و هالوفیت‌ها بلامانع است. از نظر عنصر سمی بر (B) هیچگونه محدودیتی ندارد. آستانه تحمل غالب گیاهان زراعی بیش از غلظت عناصر کلر و سدیم در پساب است. غلظت فلزات آهن، مس، روی و منگنز نیز در طول دوره اندازه‌گیری کمتر ازحدود بحرانی سمیت ارائه شده بوده و عناصر فوق‌الذکر هیچگونه سمیت یونی برای گیاهان توصیه‌شده ایجاد نخواهند کرد. در مجموع، پنبه، آفتابگردان، ذرت، سورگوم، گلرنگ و کنجد جزء گیاهانی هستند که کشت و آبیاری آنها با پساب خروجی از تصفیه خانه فاضلاب شهر یزد بر اساس استانداردهای جهانی بلامانع است.

واژه‌های کلیدی: بهداشت، ریزمغذی، سمیت، کلیفورم، کیفیت، گچ، نماتد

۱ استادیار، گروه تولیدات گیاهی ، دانشکده کشاورزی بردسیر، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ایران. , ۰۳۴۳۳۵۲۶۵۸۳
msnaghizadeh@gmail.com
[۲] دانشجوی دکتری زراعت، دانشگاه فردوسی مشهد. ایران. m.gholami.t@gmail.com
* نویسنده مسئول: r.moradi@uk.ac.ir ; Roholla18@gmail.com
[۳] استادیار، گروه تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی بردسیر، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ایران. ۰۳۴۳۳۵۲۶۵۸۳

مقدمه

تولید مواد غذایی در بخش کشاورزی مستقیما وابسته به منابع آبی موجود است. از آنجایی که منابع آب قابل استفاده در بخش کشاورزی محدود است، لذا برای افزایش تولید در بخش کشاورزی بایستی یا کارایی مصرف آب را افزایش داد و یا به دنبال تامین منابع جدید آب بود. از جمله این منابع جدید پساب‌ها هستند (نژادنادری و همکاران، ۱۳۹۲). پساب ضمن آنکه حاوی مواد معدنی و آلی گوناگون است، به عنوان یک منبع مطمئن، دائمی و تجدیدپذیر در اختیار بخش کشاورزی است. از طرف دیگر با رشد جمعیت، به همان نسبت که از حجم سایر منابع آبی کاسته می‌شود بر حجم پساب‌ها افزوده خواهد شد. علاوه بر این، واقع شدن ایران در اقلیم خشک و نیمه خشک، بروز خشکسالی‌های متوالی و افت منابع آب سطحی و زیرزمینی، استفاده از این منبع تجدیدپذیر را اجتناب‌ناپذیر کرده است. اما پساب‌ها غالبا حاوی ترکیبات مختلف عناصر کمیاب، فلزات سنگین و ریزجاندارانی هستند که استفاده از آنها را در بخش کشاورزی با محدودیت مواجه کرده است. با این وجود، می‌توان از آن، بر حسب نوع پساب و ترکیبات تشکیل‌دهنده آن، در بخش‌های مختلف جنگل‌داری، منابع طبیعی، تولید گیاهان غیر مثمر و گیاهانی که مستقیما محصول آنها مورد استفاده انسان قرار نمی‌گیرد، سود برد و در عوض آب‌های با کیفیت بالاتر را به تولید گیاهان حساس و یا گیاهانی که مستقیما مورد استفاده بشر قرار می‌گیرند، اختصاص داد. لذا طبقه‌بندی دقیق فاضلاب‌ها به منظور شناسایی موارد صحیح مصرف آنها در بخش کشاورزی، بر اساس یک روش علمی و مستند، امری ضروری است.

در سالهای اخیر، استفاده از پساب در کشورهایی که با محدودیت آب مواجه هستند اهمیت زیادی پیدا کرده است. در ایالات متحده ۱/۵٪ از کل حجم آب مصرفی، ناشی از استفاده مجدد از پساب می‌باشد. شهروندان کالیفرنیایی سالانه حدود ۶۵۶ میلیون متر مکعب از پساب شهری را مجددا مورد استفاده قرار می‌دهند (Molden, 2007). تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی سالیان سال است که در آمریکا بصورت دستی و هدفمند با استفاده از پساب صورت می‌گیرد، بدون آنکه هیچگونه تاثیرات منفی از اینکار گزارش شده باشد. کشاورزان دره تولای مکزیک توانسته‌اند با استفاده از فاضلاب هرساله مقدار ۲۴۰۰ کیلو مواد آلی، ۱۹۵ کیلو نیتروژن و ۸۱ کیلو فسفر به هر هکتار خاک اضافه کنند که این امر موجب افزایش عملکرد محصولات آنها شده است (Jimenez, 2005). در عین حال عدم رعایت اصول بهداشتی و زیستی در استفاده صحیح از پساب با توجه به اصول طبقه‌بندی آن باعث شده تا خسارات جبران ناپذیری بر محیط زیست و بهداشت عمومی جوامع وارد شود. تحقیقات بلومنتال و همکاران (Blumenthal et al., 2000) نشان داد که در مکزیک کشاورزانی که از فاضلاب برای آبیاری اراضی خود استفاده می‌کنند، بیشتر در معرض آلودگی به نماتدهای دستگاه گوارش مثل آسکاریس[1] و آنسیلوستوما[2] هستند. همچنین، استفاده از محصولات آبیاری شده با فاضلاب در کشورهای مصر، آلمان و فلسطین اشغالی میزان ابتلا به آسکاریس و تریکوریس[3] را افزایش داده است (Khalil, , 1931; Shuval, 1984). از اینرو، در مورد استفاده از فاضلاب، سود کشاورز، مزایا و منافع اجتماعی آن و اثرات منفی‌ای که بر سلامت محیط زیست و جامعه خواهد داشت تواما بایستی مد نظر قرارگیرد. برای رسیدن به این منظور نیاز به تدوین استانداردهایی است تا بر مبنای آن محدوده امن استفاده از پساب در تولید محصولات کشاورزی مثمر و غیر مثمر شناخته شود. در این راستا برای اولین بار در سال ۱۹۷۱ میلادی، یک کمیته تخصصی از طرف سازمان بهداشت جهانی[4] (WHO)، تاثیر استفاده از فاضلاب در کشاورزی را بر سلامت عمومی مورد بررسی قرار داد و نهایتا در سال

[1] Ascaris
[2] Ancylostoma
[3] Trichoris
[4] World Health Organizatio

۱۹۷۳ راهنمای کیفیت میکروبی آب برای آبیاری توسط این سازمان تدوین شد (WHO, 2014).

در زمینه ارزیابی پساب‌ها با هدف استفاده در بخش کشاورزی تحقیقات فراوانی صورت گرفته است. که در غالب آنها از معیارهای ارائه شده توسط فائو (FAO) و سازمان بهداشت جهانی برای طبقه بندی و ارزیابی کیفی و بهداشتی پساب، استفاده شده است و در نهایت با توجه به شرایط منطقه و ارزیابی صورت گرفته در رابطه با پساب موجود، نسبت به تعیین گیاهان قابل کاشت اقدام شده است.

ارزیابی کیفیت پساب سانتاروزا در ایالت کالیفرنیا نشان داد که بیشترین درصد تغییرات در پساب تولید شده مربوط به سدیم و کلر می‌باشد در عین حال EC و SAR در محدوده‌ای قرار دارد که می‌توان از آن بدون هیچگونه محدودیتی برای کشت و کار استفاده کرد و تنها عامل محدودکننده آن غلظت زیاد بر می‌باشد (SWRCB, 1981; Bain & Esmaili, 1976).

ارزیابی کیفی پساب شهر کالیستوگا در ایالت کالیفرنیا نشان داد این پساب حاوی مقادیر فراوان بر(B) می‌باشد که استفاده از آن را محدود می‌کرد. لذا از آن برای آبیاری چمن‌های گلف استفاده کردند و به منظور جلوگیری از تجمع مقادیر زیاد بر (B) در برگ‌ها و بروز خسارت، اقدام به چمن زنی مکرر نمودند (Ayers & Westcot, 1985).

ثابت رفتار (۲۰۰۱) ضمن بررسی معیارهای مختلفی که در زمینه طبقه‌بندی، مدیریت و استفاده مجدد از پساب‌ها وجود دارد، خطرات ناشی از عدم مدیریت و استفاده صحیح از آنها را بیان نموده و در نهایت پیشنهاداتی را در زمینه لزوم تدوین استانداردهای لازم در خصوص ویژگی‌های کیفی پساب تصفیه شده در مصارف مختلف و اولویت دهی به اجرای پروژه‌های مربوط به جمع‌آوری و تصفیه پساب ارائه نموده است. از اینرو، طرح‌های مشابهی به منظور ارزیابی کیفی و بهداشتی پساب تصفیه شده و موارد استفاده بهینه از آنها (اربابی و زاهدی، ۲۰۰۰؛ محمد نژاد، ۱۹۹۶؛ سازمان تحقیقات علمی و صنعتی ایران، ۱۳۸۱) در استان‌های تهران، کرمان، اصفهان و اراک صورت گرفته است. اما، در استان یزد بررسی جامعی به منظور ارزیابی دقیق کیفیت پساب تصفیه شده، موارد استفاده و خطرات احتمالی ناشی از استفاده نادرست آن ارائه نشده است. لذا ضروری است در این باره مطالعات دقیق، پیوسته و هدفمندی که استفاده پایدار و بلند مدت از آنها را تضمین کند و خطری برای بهداشت عمومی و سلامت محیط زیست به همراه نداشته باشد، صورت گیرد.

هدف از این تحقیق ارزیابی ترکیبات و پارامترهای موثر بر کیفیت پساب خروجی از تصفیه خانه شهر یزد و طبقه‌بندی آن بر مبنای معیارهای بهداشتی و کیفی ارائه شده توسط سازمان بهداشت جهانی (WHO) و سازمان خوار و بار جهانی (FAO) با تاکید بر مصارف مختلف کشاورزی و جنبه‌های بهداشتی آن می‌باشد.

مواد و روش‌ها

تصفیه خانه فاضلاب یزد واقع در شمال غربی یزد، در فاصله ۷ کیلومتری از دروازه قرآن قرار دارد و در مساحتی بیش از ۲ هزار هکتار نسبت به تصفیه فاضلاب شهر یزد اقدام می کند. به منظور مطالعه میکروبی و بیوشیمیایی ترکیبات موجود در پساب خروجی از حوضچه‌های اختیاری دوم تصفیه‌خانه شهر یزد، به صورت هفتگی از پساب مورد نظر نمونه‌برداری گردید. نمونه گیری‌ها شامل دو نوع نمونه‌گیری ساده و مرکب بود. در نمونه‌گیری ساده، مستقیما پساب خروجی از حوضچه اختیاری دوم تصفیه‌خانه برداشته و در یک یخچال یخ کوچک گذاشته شده و بلافاصله به آزمایشگاه منتقل می‌گردید. در روش نمونه‌گیری مرکب، به منظور حذف نوسانات مقطعی فاضلاب، یک روز قبل از انتقال نمونه‌ها به آزمایشگاه، نمونه‌گیری صورت می‌گرفت. بدین صورت که روزهای دوشنبه هر هفته از ساعت ۸ صبح به مدت ۲۴ ساعت به صورت پیوسته و با فواصل زمانی ۲ ساعت یکبار از خروجی حوضچه مربوطه نمونه‌گیری شده و در داخل ظرف بزرگی که در یک یخچال یخ قرار داشت ریخته می‌شد

و در صبح روز بعد، پس از هم زدن کامل ظرف نمونه‌گیری، نمونه مرکب برداشت شده و بلافاصله به آزمایشگاه منتقل می‌شد تا آزمایشات مربوطه روی آن انجام شود.

به منظور ارزیابی بهداشتی پساب خروجی و تعیین موارد استفاده از آن در بخش کشاورزی، از رهنمودهای ارائه شده توسط سازمان بهداشت جهانی (WHO) استفاده شد. بر مبنای این رهنمودها (جدول۱) عمده‌ترین فاکتورهای مشخص‌کننده کیفیت بهداشتی پساب در بخش کشاورزی میانگین هندسی تعداد کلیفورم‌های مدفوعی (FC) در ۱۰۰ میلی‌لیتر و میانگین حسابی تعداد تخم نماتد (NE) در یک لیتر از پساب است.

برای اندازه‌گیری تعداد کلیفرم در هر نمونه از روش شمارش چند لوله‌ای استفاده گردید و در فاز نتیجه‌گیری نهایی از روش MPN استفاده شد. به منظور محاسبه میانگین هندسی تعداد کلیفورم در ۱۰۰ میلی‌لیتر پساب از رابطه زیر استفاده شد (Richards, 1978).

(۱)

$$MG = \sqrt[n]{x_1 \times x_2 \times x_3 \times .... \times x_n}$$

که در آن X تعداد کلیفرم درهر بار نمونه‌گیری و n تعداد دفعات نمونه‌گیری است.

برای سنجش تعداد تخم نماتد در هر نمونه از روش شناورسازی ساده استفاده شد. معیار سنجش تعداد تخم نماتد در پساب مطابق طبقه‌بندی سازمان بهداشت جهانی، میانگین حسابی تعداد تخم نماتد در یک لیتر نمونه است. لذا برای محاسبه میانگین آن از رابطه زیر استفاده شد:

(۲)

$$M = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} X_i$$

که در آن Xi تعداد تخم نماتد در نمونه i ام و N تعداد کل نمونه‌ها می‌باشد.

از جمله مهمترین پارامترهای شیمیایی موثر بر کیفیت آب و پساب که در این تحقیق اندازه گیری شدند عبارتند از: EC، SAR، pH، غلظت یون‌های سدیم پتاسیم، کلسیم، منیزیم، نیترات، نیتریت، آمونیوم، فسفات، کربنات، بی‌کربنات، کلر و بر که بصورت هفتگی اندازه‌گیری و متوسط غلظت آنها در طول دوره آزمایش به عنوان معیار سنجش کیفی پساب خروجی مورد استفاده قرار گرفت.

کلیه اندازه‌گیری‌های شیمیایی در آزمایشگاه مرکز ملی تحقیقات شوری و اندازه گیری‌های میکروبی توسط آزمایشگاه بهداشت دانشگاه علوم پزشکی یزد و براساس روش‌های استاندارد انجام گرفت.

نتایج و بحث

کیفیت بهداشتی

نتایج آزمایش‌های میکروبی نشان داد که میانگین هندسی تعداد کلیفرم‌های مدفوعی طی این دوره معادل ۵۶۱۰۸ عدد در ۱۰۰ میلی‌لیتر بوده است. از نظر تعداد تخم نماتد نیز در غالب نمونه‌ها تخم نماتد یافت نشد و تنها در دو مورد فقط ۱ عدد تخم نماتد یافت شد. لذا میانگین تعداد تخم نماتد در نمونه‌ها طی دوره مورد نظر کمتر از یک می باشد.

بر مبنای راهنمای طبقه‌بندی سازمان بهداشت جهانی (WHO) که در جدول ۱ ارائه گردیده است مقدار میانگین هندسی تعداد کلیفرم مدفوعی در پساب موجود بیش از مقدار پیشنهاد شده می‌باشد. لذا پساب مورد مطالعه از نظر استانداردهای سازمان بهداشت جهانی در طبقه A قرار نمی‌گیرد. لکن شمارش تعداد تخم نماتد در ۱ لیتر آب نشان داد که مقدار آن در پساب کمتر از حداکثر مقدار پیش‌بینی شده است (کمتر از ۱ عدد در لیتر). لذا با توجه به طبقه‌بندی سازمان بهداشت جهانی، پساب موجود از نظر بهداشتی در کلاس B قرار دارد.

بر مبنای پیشنهادات سازمان بهداشت جهانی، چنانچه کیفیت میکروبی پساب در کلاس B باشد می‌توان از آن برای آبیاری غلات، گیاهان صنعتی،

گیاهان علوفه‌ای، مرتعی و همچنین آبیاری درختان، استفاده کرد. اما کیفیت میکروبی آب مورد استفاده نمی‌تواند به تنهایی در تعیین نوع گیاهانی که برای کاشت در یک منطقه مناسب هستند مورد استفاده قرار گیرد بلکه بایستی سایر پارامترهای مرتبط را نیز مورد توجه قرار داد.

جدول (۱)- راهنمای کیفیت بهداشتی استفاده از پساب در بخش کشاورزی (WHO, 2014)

طبقه	موارد استفاده	گروه هایی که در معرض خطر قرار دارند	نماتدهای روده‌ای (میانگین حسابی تعداد تخم نماتد در یک لیتر)	کلیفرم های مدفوعی (میانگین هندسی در ۱۰۰ میلی لیتر)	فرآیند های لازم برای تصفیه فاضلاب به منظور حصول کیفیت میکروبی مناسب
A	آبیاری گیاهانی که بصورت خام مصرف می شوند،زمین های ورزش و پارک های عمومی	کارگران، مصرف کنندگان و عموم مردم	≤ ۱	≤ ۱۰۰۰	احداث برکه های تثبیت به منظور ارتقائ کیفیت میکروبی فاضلاب، یا تیمارهایی معادل آن
B	آبیاری غلات، گیاهان صنعتی، گیاهان علوفه ای، مراتع و درختان	کارگران	≤ ۱	هیچگونه استانداردی پیشنهاد نشده است.	نگه داری فاضلاب در برکه های تثبیت به مدت ۱۰-۸ روز به منظور حذف کلیفرم های مدفوعی و تخم های نماتد
C	آبیاری موضعی گیاهان زراعی پیشنهاد شده در طبقه B مشروط به آنکه کارگران و عموم مردم در ارتباط باآن قرار نگیرند.	هیچکس	غیر قابل استفاده	غیر قابل استفاده	پیش تیمارهایی که برای آبیاری مورد نیاز است ، با لااقل رسوب گیری اولیه.

هدایت الکتریکی (EC)

دامنه محدودیت و قابل قبول آب از نظر کیفیت انواع مواد در جدول ۲ نشان داده شده است. نتایج آزمایشات نشان داد متوسط هدایت الکتریکی پساب در طول دوره آزمایش، ۲/۳۵ دسی زیمنس بر متر بوده است. (جدول ۳).

جدول ۲- راهنمای تفسیر کیفیت آب برای استفاده در کشاورزی (Pescod, 1992)

نوع محدودیت	واحد	درجه محدودیت استفاده		
		هیچ	کم تا متوسط	شدید
شوری آب آبیاری (EC_w)	dS/m	<۰/۷	۰/۷-۳/۰	>۳/۰
کل جامدات محلول (TDS)	mg/l	<۴۵۰	۴۵۰-۲۰۰۰	>۲۰۰۰
SAR		<۰/۲	۰/۷-۰/۲	>۰/۷
سمیت سدیم (Na)	me/l	<۳	۳-۹	>۹
سمیت کلر (Cl)	me/l	<۴	۴-۱۰	>۱۰
سمیت بور (B)	mg/l	<۰/۷	۰/۷-۳/۰	>۳/۰
نیتروژن $(NO_3\text{-}N)^3$	mg/l	<۵	۵-۳۰	>۳۰
بیکربنات (HCO_3)	meq/I	<۱/۵	۱/۵-۸/۵	>۸/۵
اسیدیته (pH)		<۶/۵	۶/۵-۸/۴	>۸/۴

جدول-۳. میانگین مقادیر پارامترهای شیمیایی اندازه‌گیری شده

پارامتر	واحد	میانگین	پارامتر	واحد	میانگین	پارامتر	واحد	میانگین	پارامتر	واحد	میانگین
PO_4^{3-}	mg/l	۳/۳۹	pH		۸/۲۴	Cu	meq/l	۰/۰۹	Na	meq/l	۱۶/۰۰
NO_2^-	mg/l	۰/۱۴	CO_3	meq/l	۲/۰۵	Zn	meq/l	۰/۱۱	K	meq/l	۰/۶۱
NO_3	mg/l	۵/۷۲	HCO_3	meq/l	۱۱/۱۴	Fe	meq/l	۰/۱۳	Cl	meq/l	۱۰/۹۷
NH_3	mg/l	۵۵/۹۰	RSC		۷/۹۳	Mn	meq/l	۰/۰۴	B	mg/l	۰/۳۶
SO_4	meq/l	۰/۲۸	SAR	-------	۹/۹۹	Ca	meq/l	۴/۰۱	TDS	mg/l	۱۳۸۲/۰۶
EC	µS/cm	۲۳۵۰/۰۰	SAR_{adj}	-------	۲۵/۲۷	Mg	meq/l	۱/۲۵	TSS	mg/l	۸۱/۶۱

RSC: Residual Sodium Carbonate, SAR: Sodium Adsorption Ratio, TDS: Total Dissolved Solids, TSS: Total suspended solids

از اینرو، براساس نتایج تحقیقات ماس و هافمن[1] (۱۹۹۷) در زمینه آستانه تحمل به شوری گیاهان زراعی، کاشت و آبیاری گیاهانی که آستانه تحمل به شوری آنها بیش از متوسط شوری پساب مورد نظر (۲/۳۵ dS/m) باشد به راحتی و بدون هیچگونه محدودیتی امکان پذیر است، مشروط به آنکه این گیاهان در طبقه‌بندی بهداشتی، حداقل در کلاس B قرار گیرند. بر این اساس بنظر می‌رسد پنبه، جو، گلرنگ، کلزا آفتابگردان (با هدف تولید روغن) و سورگوم گیاهان زراعی مناسبی برای کاشت در مزارع تصفیه خانه مذکور باشند اما گیاهانی مثل یونجه و کتان، هرچند بر اساس رهنمود سازمان بهداشت جهانی، برای آبیاری با پساب موجود مناسب اند، اما از آنجا که آستانه تحمل به شوری آنها کمتر از شوری پساب موجود است (به ترتیب ۱/۷dS/m و ۲dS/m)، لذا گیاهان مناسبی نبوده و کشت آنها با کاهش عملکرد همراه خواهد بود و چنانچه تولید آنها بنا به دلایل اقتصادی و اجتماعی توجیه پذیر باشد، بایستی یکسری نکات مدیریتی در زمینه روش‌های بهینه آبیاری و تعیین کسر آبشویی مدنظر قرارگیرد. از گیاهان مرتعی و علوفه‌ای مناسب برای کشت در این اراضی می‌توان به علف‌های گندمی، مرغ و انواع هالوفیت‌ها به خصوص آتریپلکس (*Atriplex hortensis*) که بومی منطقه است اشاره کرد. از گیاهان درختی و درختچه‌ای مناسب برای کاشت در این مناطق می‌توان گونه‌های بومی منطقه مثل گز، تاغ و حتی اوکالیپتوس (*Eucalyptus camadulensis* Dehnh) را نام برد.

در هر حال، تجمع تدریجی نمک در خاک باعث افزایش شوری خاک در دراز مدت و عدم پایداری تولید در اراضی تحت کشت خواهد شد. لذا ضروری است به منظور کنترل شوری خاک در زیر حد آستانه تحمل به شوری گیاه و جلوگیری از شورشدن اراضی در دراز مدت، کسر آبشویی مناسب بر حسب نوع گیاه، مد نظر قرارگیرد تا ضمن مصرف بهینه آب، پایداری تولید در این ارضی حفظ گردد.

اسیدیته (pH)

نتایج آزمایشات انجام شده نشان داد که اسیدیته فاضلاب مورد بررسی، در طول دوره مطالعه بین ۷/۹۹ تا ۸/۵۶ بوده و میانگین مقدار آن معادل ۸/۲۴ می‌باشد (جدول ۳). لذا با توجه به دامنه اسیدیته مطلوب ارائه شده توسط فائو برای استفاده از آب در کشاورزی (جدول ۲) بنظر می‌رسد اسیدیته پساب در مرز بحرانی قرار گرفته است و هرچند ممکن است مقدار آن به حدی که باعث کاهش رشد گیاه شود نرسد اما به علت قلیائیت نسبتا بالای آن می‌تواند باعث تثبیت برخی عناصر فلزی از جمله آهن، مس، روی، منگنز و حتی فسفر در خاک شده و قابلیت استفاده عناصر غذایی توسط گیاه، کاهش یابد. از طرفی، بالا بودن pH ممکن است باعث رسوب کربنات کلسیم و افزایش درصد سدیم قابل تبادل در خاک

[1] Maas & Hoffman

شده و نهایتا منجر به کاهش نفوذپذیری خاک گردد که در زیر مورد بررسی قرارخواهد گرفت.

غلظت کربنات (CO_3) و بیکربنات (HCO_3)

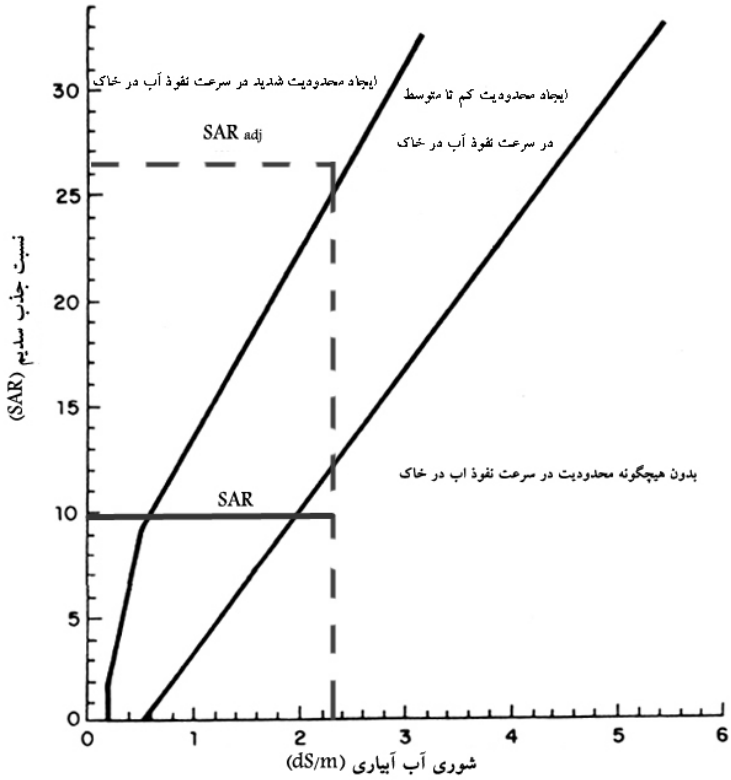
همانطور که در جدول ۳ مشاهده می شود، نتایج آزمایشات نشان داد که غلظت بی‌کربنات در پساب مورد مطالعه بالا است (۱۱/۱۴ meq/l) و در طبقه‌بندی فائو، جزء طیف سوم با محدودیت استفاده بسیار شدید قرارمی‌گیرد (جدول ۴).

جدول ۴- راهنمای استفاده از آب آبیاری با توجه به باقی‌مانده کربنات سدیم موجود در آب (Ayers & Westcot, 1985)

باقی‌مانده کربنات سدیم (میلی اکی والان در لیتر)	درجه محدودیت برای استفاده در آبیاری
< ۱/۵	آب برای آبیاری هیچگونه محدودیت و مشکلی ندارد
۱/۵-۲/۵	با تمهیداتی می توان از آن برای آبیاری استفاده کرد
۲/۵ <	برای آبیاری مناسب نیست

غلظت بالای بی کربنات می‌تواند مانع جذب و انتقال آهن و روی توسط گیاه شده و یا پس از جذب آهن توسط گیاه باعث رسوب آن در ریشه و برگ‌ها شده و متعاقبا باعث کاهش رشد ریشه و اندام‌های هوایی و کلروز (زرد شدن) برگ‌ها گردد (Hasheminejhad et al., 2001). همچنین مشخص شده است که غلظت بالای بی‌کربنات می‌تواند باعث کاهش غلظت ازت، فسفر، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، آهن و منگنز در قلمه‌های هلو شده و انتقال ازت، فسفر، کلسیم، منیزیم و آهن را به شاخه‌های جدید کاهش دهد (Malakouti et al., 1992). از اینرو، بنظر می‌رسد غلظت بالای بی‌کربنات در پساب می‌تواند رشد بسیاری از گیاهان را محدود نماید، ضمن آنکه استفاده از سیستم‌های آبیاری تحت فشار را نیز با محدودیت مواجه خواهد ساخت. بنظر می‌رسد یکی از دلایل افزایش بی‌کربنات، بالا بودن اسیدیته آب باشد.

می‌توان به ازاء هر میلی‌اکی‌والان بی‌کربنات، ۱ میلی‌اکی‌والان در لیتر اسید اضافه نمود تا اسیدیته آب به ۶/۵ کاهش یابد (Malakouti et al., 1992). البته در این رابطه بایستی دقت شود که اسیدیته آب آبیاری کمتر از ۶ نشود چرا که در این شرایط احتمال خوردگی در سیستم‌های آبیاری تحت فشار مطرح شده و ممکن است به تاسیسات موجود آسیب برساند. ضمن آنکه برخی از گیاهان حساس به اسیدیته نیز با محدودیت رشد مواجه خواهند شد. بی‌کربنات بر خواص فیزیکی خاک نیز تاثیرات بسزایی دارد. اگر مقدار بی‌کربنات در آب آبیاری نسبت به سایر آنیون‌ها بیشتر شود، مساله افزایش سدیم در خاک زراعی در دراز مدت بیشتر از مجموع املاح تجمع یافته در خاک خطرآفرین خواهد بود زیرا بی‌کربنات با کلسیم موجود در خاک رسوب کرده و با کاهش میزان کلسیم در مقایسه با سدیم، نسبت جذب سدیم (SAR) در خاک افزایش خواهد یافت که در نتیجه امکان افزایش سدیم تبادلی در خاک وجود دارد و باعث پراکنش ذرات خاک شده و خلل و فرج خاک را مسدود می‌نماید. این امر نیز باعث کاهش نفوذپذیری خاک نسبت به آب و هوا شده و ساختمان خاک را تخریب خواهد کرد و نهایتا امکان آبشویی برای کنترل شوری خاک کاهش خواهد یافت. ضمن آنکه رشد ریشه گیاهان در این خاک، هم به دلیل شورشدن خاک و هم کاهش تهویه، کاهش خواهد یافت (Hasheminejhad et al 2001).



شکل(۱)- وضعیت کیفی پساب مورد مطالعه از نظر خطر کاهش نفوذپذیری خاک (Ayers & Westcot, 1985)

نسبت جذب سدیم

هرچند مقدار SAR که در جدول ۳ نشان داده شده است، با توجه به مقدار شوری آب آبیاری در حد بحرانی نیست (۹/۹۹) اما بالا بودن بیش از حد کربنات و بی‌کربنات ممکن است باعث رسوب

.

(۳)

$$SAR_{adj} = SAR_{iw}(1+SI) = 9.99(1+1.53) = 25.27$$

که در آن SAR_{iw} نسبت جذب سدیم آب آبیاری در شرایط طبیعی و SI نمایه اشباع لانژیلر (Shainberg and Oster, 1974) است. نمایه اشباع لانژیلر شاخصی است که نشان می‌دهد پساب موجود چقدر تمایل به رسوب‌دادن یا حل‌کردن کربنات کلسیم دارد (Shainberg and Oster, 1974). محاسبات نشان داد که متوسط مقدار SI

یون‌های کلسیم و منیزیم شده و نهایتا ضمن افزایش SAR در محلول خاک، خطر کاهش نفوذپذیری خاک را در دراز مدت محتمل سازد که این واقعیت، اصلاح مقدار SAR به SAR_{adj} و تفسیر نتایج بر مبنای آن را ضروری می‌سازد در پساب مورد مطالعه در طول دوره آزمایش معادل ۱/۵۳ است. از اینرو چون مقدار عدد محاسبه شده مثبت است، لذا امکان رسوب کربنات کلسیم در مسیر وجود دارد و این امر استفاده از سیستم‌های تحت فشار را محدود می‌نماید. لذا چنانچه در برنامه‌ریزی‌های مدیریتی مزرعه، در نظر است از سیستم آبیاری تحت فشار استفاده شود، لازم است در این خصوص تدابیری اندیشیده شود. از جمله اینکه نبایستی از قطره چکان‌های حساس به گرفتگی استفاده شود و در عوض می‌توان از قطره چکان‌های خود شوینده و

یا سیستم آبیاری بابلر[1] استفاده کرد. همچنین ضروری است با اضافه کردن اسید، از رسوب کربنات کلسیم در سیستم آبیاری جلوگیری نمود.

با توجه به مقدار اصلاح شده نسبت جذب سدیم (SAR_{adj}) در شرایط موجود (۲۵/۲۷) و هدایت الکتریکی فاضلاب، می‌توان از روی شکل ۱، خطر کاهش نفوذپذیری خاک با استفاده از پساب مورد مطالعه را بررسی کرد. همانطور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود، خطر کاهش نفوذپذیری خاک جدی است و بایستی برای جلوگیری از آن، تمهیداتی اندیشیده شود. از جمله راهکارهایی که می‌توان در این زمینه پیشنهاد داد برآورد نیاز گچی خاک و یا اضافه کردن اسید به پساب است که باعث کاهش pH آب آبیاری و خاک شده و نهایتا موجب رسوب کربنات و بی‌کربنات به شکل نمک سدیمی و افزایش حلالیت ترکیبات کلسیمی خواهد شد.

برآورد نیاز گچی خاک

برای برآورد نیاز گچی خاک بایستی مقدار RSC (کربنات سدیم باقیمانده) پساب مورد نظر محاسبه شود که از رابطه زیر بدست می آید (Adriano, 2001).

$$RSC = [CO_3 + HCO_3] - [Ca + Mg] \quad (۴)$$

مقدار RSC پساب مورد مطالعه بر اساس رابطه فوق برابر ۷/۹۳ میلی اکی والان در لیتر است. بر اساس طبقه‌بندی انجام شده در خصوص حد مجاز RSC در آب آبیاری (جدول ۴) حداکثر مقدار RSC قابل قبول در آب آبیاری ۲/۵ میلی اکیوالان بر لیتر منظور گردیده است. لذا مقدار مازاد RSC بایستی با گچ خنثی شود تا امکان استفاده از پساب مذکور در کشاورزی بدون آنکه بر نفوذپذیری خاک اثر سوء داشته باشد، مقدور گردد.

(۵) مقدار مازاد = ۷/۹۳-۲/۵۰= ۵/۴۳

RSC در پساب مورد مطالعه بر حسب میلی اکیوالان در لیتربنابراین، برای خنثی نمودن کربنات سدیم مازاد در پساب نیاز به ۵/۴۳ میلی اکی والان در لیتر سنگ گچ خالص می‌باشد. با توجه به وزن اتمی گچ خالص این مقدار معادل مصرف ۴۶۶/۹۸ میلی گرم در لیتر سنگ گچ خالص است. اما غالبا سنگ گچ خالص نیست و بایستی عدد مذکور در درصد خلوص سنگ گچ و کارایی مصرف گچ ضرب شده تا مقدار واقعی سنگ گچ مورد نیاز برای اصلاح یک لیتر پساب بدست آید. با توجه به آزمایشات انجام شده درصد خلوص سنگ گچ در معادن گچ استان یزد ۶۵٪ برآورد گردید، که با احتساب ضریب کارایی گچ، مقدار گچ مورد نیاز معادل ۸۶۲ میلی‌گرم در لیتر برآورد شد.

(۶) وزن گچ ناخالص مورد نیاز = وزن گچ خالص مورد نیاز * کارایی گچ * درصد خلوص گچ

$$466.98 * 1.2 * \frac{100}{65} = 862 mg/l$$

بنابراین برای اصلاح پساب مورد نظر ۸۶۲ میلی‌گرم بر لیتر (گرم بر متر مکعب) گچ مورد نیاز است. لذا چنانچه برای آبیاری یک هکتار زمین در طول یکسال ۱۰۰۰۰ متر مکعب از پساب مورد نظر استفاده شود، برای تامین نیاز گچی آن و کاهش خطر نفوذپذیری خاک منطقه، ۸/۶۲ تن در هکتار سنگ گچ نیاز است.

ارزیابی سمیت یونی

تجمع عناصر سمی در بافت‌های گیاهی می‌تواند باعث بروز سمیت در گیاه شده و نهایتا رشد، توسعه و حتی عملکرد گیاه را کاهش دهد.

[1] Bubbler irrigation

اما شدت خسارت ناشی از سمیت یونی و غلظت یونی که می‌تواند باعث بروز سمیت در گیاه شود بسته به نوع گیاه و زمان بروز سمیت متفاوت است. روش آبیاری نیز بر شدت خسارات وارده بر گیاه تاثیر گذار است.

براساس رهنمودهای ارائه شده توسط فائو (جدول ۲) چنانچه غلظت بر(B) در پساب کمتر از ۰/۷ میلی‌گرم در لیتر باشد هیچگونه محدودیتی در استفاده از آن وجود ندارد. نتایج آزمایشات انجام شده بر نمونه‌های پساب خروجی از حوضچه اختیاری دوم تصفیه‌خانه شهر یزد نشان داد که متوسط غلظت بر در نمونه‌ها در طول دوره آزمایش برابر ۰/۳۶ میلی‌گرم بر لیتر بوده و هیچگاه غلظت بر در نمونه‌های آزمایشی به ۰/۷ میلی‌گرم بر لیتر نرسیده است (جدول ۳). از اینرو پساب موجود از نظر سمیت ناشی از غلظت بالای عنصر بر (B) هیچگونه محدودیتی ایجاد ننموده و می‌توان به راحتی برای آبیاری گیاهان مختلف از آن استفاده نمود. دامنه حساسیت برخی گیاهان به بر در جدول ۵ آمده است.

جدول ۵- طبقه‌بندی گیاهان بر اساس حساسیت به بر (Pescod, 1992)

خیلی حساس (کمتر از ۰/۵ میلی گرم در لیتر)			
لیمو	*Citrus limon*	توت سیاه	*Rubus spp.*
حساس (۰/۵ تا ۰/۷۵ میلی‌گرم در لیتر)			
آواکادو	*Persea americana*	گریپ فروت	*Paradisi*×*Citrus*
پرتقال	*Citrus sinensis*	زردالو	*Prunus armeniaca*
هلو	*Prunus persica*	گیلاس	*Prunus avium*
آلو	*Prunus domestica*	خرمالو	*Diospyrus kaki*
انجیر	*Ficus carica*	انگور	*Vitis vini fera*
گردو	*Juglans regia*	گردوی آمریکایی	*Caryaillioiensis*
لوبیا چشم بلبلی	*Vigna unguicalata*	پیاز خوراکی	*Allium cepa*
حساس (بین ۰/۷۵ تا ۱ میلی‌گرم در لیتر)			
سیر	*Allium sativum*	سیب زمینی شیرین	*Ipomoea batatas*
گندم	*Triticum aestivum*	جو	*Hordeum vulgare*
آفتاب گردان	*Helianthus annus*	لوبیا	*Vigna radiata*
کنجد	*Sesamum indicum*	لوبیا گرگی (لوپن)	*Lupinus hartwegii*
توت فرنگی	*Fragaria spp.*	کنگر فرنگی	*Helianthus tuberosus*
لوبیا قرمز	*Phaseolus vulgaris*	لوبیا سیما	*Phaseolus lunatus*
بادام زمینی	*Arachis hypogaea*		
نسبتا حساس (بین ۱ تا ۲ میلی‌گرم در لیتر)			
فلفل قرمز	*Capsicum annum*	نخود	*Pisum sativa*
هویج	*Daucus carota*	تربچه	*Raphanus sativus*
سیب زمینی	*Solanum tuberosum*	خیار	*Cucumis sativus*
نسبتا مقاوم (بین ۲ تا ۴ میلی‌گرم در لیتر)			
کاهو	*Lactuca sativa*	کلم	*Oleracea capitata*
کرفس	*Apium graveolens*	شلغم	*Brassica rapa*
چمن آب خام	*Poa pratensis*	یولاف	*Avena sativa*
ذرت	*Zea mays*	کنگر فرنگی	*Cynara scolymus*
تنباکو	*Nicotiana tabacum*	خردل	*Brassica juncea*
شبدر شیرین	*Melilotus indica*	کدو	*Cucurbita pepo*

مقاوم (بین ۴ تا ۶ میلی‌گرم در لیتر)			
سورگوم	*Sorghum bicolor*	گوجه فرنگی	*Lycopersicum esculentum*
یونجه	*Medicago sativa*	ماش	*Vicia benghalensis*
چغندر قرمز	*Beta vulgaris*	چغندر قند	*Beta vulgaris*
خیلی مقاوم (بین ۶/۵ تا ۱۵ میلی‌گرم در لیتر)			
پنبه	*Gossypium hirsutum*	مارچوبه	*Asparagus officinalis*

جدول ۶- مقاومت نسبی برخی از گیاهان در برابر غلظت یون‌های سمی کلر و سدیم (Ayers & Westcot, 1985)

غلظت‌های کلر و سدیم (meq/l)			
>۲۰	۱۰-۲۰	۵-۱۰	<۵
کلم گل	یونجه	انگور	بادام
پنبه	جو	فلفل	زرد آلو
آفتابگردان	ذرت	سیب زمینی	مرکبات
	خیار	گوجه فرنگی	آلو
	گلرنگ		
	کنجد		
	سورگوم		

*- حساسیت‌ها بر مبنای میزان خسارت به برگ در روش آبیاری بارانی منظور گردیده است. میزان خسارت به برگ بستگی به عوامل دیگری مثل وزش بادهای خشک، سرعت گردش آب پاش‌ها، مدت زمان آبیاری و تعداد دفعات آن، مقدار رطوبت محیط و غیره نیز دارد. لذا چنانچه از سایر روش‌های آبیاری استفاده شود شدت خسارت کمتر خواهد بود.

کلر معمول‌ترین عامل سمیت یونی در آب آبیاری است (WHO, 2014). معمولا علائم سمیت یون کلر در برگ‌ها ظاهر شده و با افزایش غلظت این عنصر، علائم سوختگی در برگ‌ها مشخص شده و نهایتا موجب خشک شدن برگ‌ها می‌گردد. نتایج آزمایشات انجام شده نشان داد که غلظت کلر در پساب مورد مطالعه حدود ۱۱ میلی‌اکیوالان در لیتر است (جدول ۳). از این رو بر اساس رهنمودهای ارائه شده توسط فائو، استفاده از پساب مذکور برای آبیاری برخی از انواع مرکبات، انگور و برخی میوه‌های هسته‌دار توصیه نمی‌شود.

غلظت بالای یون سدیم علاوه براینکه باعث بالارفتن SAR و تخریب ساختمان خاک می‌شود، باعث عدم تعادل تغذیه‌ای و بروز علائم سمیت ناشی در گیاه می‌شود. نتایج آزمایشات نشان داد که غلظت یون سدیم بین ۱۸-۱۳ میلی اکی والان در لیتر متغیر است و میانگین غلظت آن در نمونه‌ها ۱۶ میلی اکیوالان در لیتر محاسبه گردید. اینکه این مقدار سدیم در پساب می‌تواند باعث بروز علائم سمیت در گیاهان شود یا نه، از گیاهی به گیاه دیگر و از گونه‌ای به گونه دیگر متغیر است. لذا براساس رهنمودهای فائو (جدول ۶) پنبه و آفتابگردان مقاوم‌ترین گیاهان نسبت به اثرات سمیت یونی ناشی از غلظت بالای یون‌های کلر و سدیم می‌باشند. علاوه بر آن جو، گلرنگ، سورگوم، ذرت و .... را نیز می‌توان با توجه به کیفیت پساب موجود مورد توجه قرار داد.

نتایج آزمایشات انجام شده نشان داد که غلظت فلزات مس، روی، آهن و منگنز در پساب مورد مطالعه بطور متوسط به ترتیب برابر با ۰/۰۹، ۰/۱۱، ۰/۱۳ و ۰/۰۴ میلی‌گرم بر لیتر بوده است (جدول ۳). بر اساس استانداردهای فائو حد مجاز غلظت عناصر فوق در آب آبیاری به ترتیب برای

عناصر مس، روی، آهن و منگنز برابر ۰/۲، ۲، ۵ و ۰/۲ میلی‌گرم در لیتر است. البته در خاک‌هایی که از نظر تهویه شرایط مناسبی داشته باشند، هیچگونه سمیتی از نظر مقادیر بالای آهن بوجود نخواهد آمد اما غلظت بالای آهن می‌تواند در اسیدی شدن محیط خاک و کاهش مقدار فسفر و مولیبدن قابل دسترس نقش داشته باشد، که بروز چنین پدیده ای به علت pH نسبتا بالای آب آبیاری (۸/۲۴) غیر محتمل است (Chen et al., 2009). دامنه تحمل گیاهان در برابر غلظت بالای روی بسیار متفاوت است. در عین حال چنانچه pH آب آبیاری بیش از ۶ باشد و یا خاک دارای بافت مناسب و مواد آلی کافی باشد اثرات سمیت روی کاهش می‌یابد. غلظت بالای منگنز نیز غالبا باعث بروز علائم سمی در خاک‌های اسیدی می‌شود. که با توجه به بالا بودن pH پساب مورد نظر تنها در صورتی که واکنش محلول خاک اسیدی باشد، محتمل است. در مجموع بنظر می‌رسد غلظت عناصر فوق‌الذکر کمتر از حد بروز سمیت در گیاهان قابل کاشت در محیط سایت تصفیه خانه مذکور باشد اما با توجه به اینکه به مرور زمان، فلزات سنگین در خاک تجمع می‌یابند لذا ضروری است غلظت فلزات سنگین در خاک مزارع سایت مذکور مورد ارزیابی قرار گیرد. حد مجاز تجمع فلزات سنگین در خاک بستگی به ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) خاک دارد که با افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی خاک حد مجاز تجمع فلزات سنگین در خاک نیز افزایش می‌یابد. بر این اساس در جدول۷ حد مجاز تجمع برخی فلزات سنگین در خاک بر حسب کیلوگرم در هکتار بیان شده است (Adriano, 2001). برای مثال، چنانچه ظرفیت تبادل کاتیونی خاک کمتر از ۵ میلی اکیوالان در ۱۰۰ گرم خاک باشد، حد مجاز تجمع مس در خاک معادل ۵/۵ کیلوگرم در هکتار خواهد بود. لذا به منظور ارائه نتایج دقیقتر و کاربردی‌تر و جلوگیری از تجمع بیش از حد فلزات سنگین در خاک، لازم است تا خاک مزارع مورد نظر نیز از لحاظ پارامترهای فوق مورد بررسی و آزمایش قرار گیرند.

جدول۷- راهنمای تعیین حد مجاز افزایش تجمع فلزات در خاک بر اساس ظرفیت تبادل کاتیونی خاک (Westerman,1990)

عناصر	حد مجاز تجمعی افزایش فلز (Kg/ha)		
	<۵ meq/۱۰۰ g	۵-۱۵ meq/ ۱۰۰ gr	> ۱۵ meq/۱۰۰ g
کادمیم	۵/۵	۱۱	۲۲
نیکل	۵۶	۱۱۲	۲۲۴
مس	۱۴۰	۲۸۰	۵۶۰
روی	۲۸۰	۵۶۰	۱۱۲۰
سرب	۵۶۰	۱۱۲۰	۲۲۴۰

عناصر مغذی

پساب سرشار از عناصر غذایی است که می‌تواند برای رشد گیاه، مورد استفاده قرار گیرد و با کاهش نیاز کودی گیاهان باعث کاهش هزینه نهاده‌های کشاورزی شده و سود خالص کشاورز را افزایش دهد.

نتایج آزمایشات انجام شده نشان داد که پساب مورد آزمایش بطور متوسط دارای ۶۱/۷۶ میلی‌گرم بر لیتر ازت در اشکال گوناگون نیترات، نیتریت و آمونیاک است (جدول ۳). این بدان معنا است که اگر یک هکتار زمین زراعی طی یکسال با ۱۰۰۰۰ متر مکعب پساب آبیاری شود، بالغ بر ۶۱۷ کیلوگرم ازت به خاک اضافه خواهد شد که این مقدار معادل مصرف ۱۳۴۰ کیلوگرم اوره، ۲۹۳۸ کیلوگرم نیترات آمونیوم و ۱۸۳ کیلوگرم سولفات آمونیوم است. جدول ۸ ارزش عناصر مغذی پساب را نشان می‌دهد.

جدول۸- برآورد ارزش عناصر مغذی موجود در پساب برای یک هکتار

عنصر	نام کود	مقدار کود (کیلوگرم‌درهکتار)	معادل	قیمت‌هرکیلو (دلار)	صرفه‌جوئی ارزی (دلار در هکتار)
N	اوره	۱۳۴۰		۰/۷	۹۳۸
N	نیترات آمونیوم	۲۹۳۸		۰/۳۵	۱۰۲۸/۳
S	سولفات آمونیوم	۱۸۳		۰/۳۵	۶۴/۰۵.
P	سوپر فسفات معمولی	۱۲۷		۱/۲	۱۰۵/۸۳
P	سوپر فسفات تریپل	۵۲		۱/۳	۶۷/۶
K	سولفات پتاسیم	۵۷۴		۰/۶	۳۴۴/۴

نتیجه گیری

نتایج آزمایشات نشان داد که پساب خروجی از نظر بهداشتی با توجه به طبقه‌بندی ارائه شده توسط سازمان بهداشت جهانی در کلاس B قرار دارد و بطورکلی می‌توان از آن در بخش کشاورزی برای آبیاری غلات، گیاهان صنعتی، گیاهان علوفه‌ای و همچنین آبیاری مراتع و درختان غیر مثمر استفاده کرد و تنها کارگران مزرعه در معرض خطر آلودگی قرار دارند که بایستی نکات ایمنی برای حفظ سلامت آنها رعایت گردد. مطالعه پارامترهای شیمیایی موثر بر کیفیت پساب نشان داد که مهمترین عامل محدودکننده پساب مورد مطالعه، غلظت بالای بی‌کربنات است. بطوریکه، باعث افزایش شاخص SI و رسوب بی‌کربنات در خاک به شکل کربنات کلسیم شده و افزایش SAR خاک، موجب کاهش نفوذپذیری خاک در درازمدت خواهد شد. از اینرو، برای جلوگیری از بروز چنین مشکلی لازم است تا از سیستم‌های اصلاحی از قبیل اضافه کردن اسید به آب، یا گچ به

خاک استفاده نمود. پساب موجود از نظر کیفیت عناصر غذایی وضع مطلوبی دارد و استفاده دقیق و حساب شده از آن در تولید گیاهان صنعتی و علوفه‌ای از جمله پنبه، جو و هالوفیت‌ها می‌تواند صرفه جویی اقتصادی بالایی در هزینه نهاده‌های کشاورزی به همراه داشته باشد. پساب موجود از نظر عنصر سمی بر (B) هیچ گونه محدودیتی ندارد. از نظر بروز علائم سمی ناشی از غلظت بالای یون‌های سدیم و کلر نیز پنبه، آفتابگردان، ذرت، سورگوم، گلرنگ، کنجد و .. جزء گیاهانی هستند که آستانه تحمل آنها بیش از غلظت عناصر فوق در پساب مورد نظر است و کشت آنها در سایت مذکور بلامانع است. غلظت فلزات آهن، مس، روی و منگنز نیز در پساب مذکور کمتر از استانداردهای ارائه شده توسط فائو است و لذا عناصر فوق الذکر هیچگونه سمیت یونی برای گیاهان مورد کاشت در سایت مذکور ایجاد نخواهند کرد.

در مجموع، با توجه به اینکه پساب خروجی از حوضچه اختیاری دوم تصفیه‌خانه شهر یزد کیفیت نسبتا مناسبی دارد، با رعایت نکات ایمنی و فنی ارائه شده، می‌تواند برای آبیاری گیاهان فوق الذکر مورد استفاده قرارگیرد، ولی از آنجا که گیاه در ارتباط مستقیم با محلول خاک است و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک تاثیرات بسزایی بر ترکیب محلول خاک دارد، لذا پیشنهاد می‌شود مطالعات دقیق خاکشناسی و بررسی پارامترهای مذکور در محلول خاک و بررسی سازگاری گیاهان پیشنهادی در این طرح با اقلیم و خاک منطقه به منظور ارائه شیوه دقیق‌تر مدیریت زراعی در سایت مذکور مورد توجه بیشتر قرار گیرد.

منابع

سازمان تحقیقات علمی و صنعتی ایران. ۱۳۸۱. بررسی محیطی سیستم های تیمار پساب در اراک. چاپ اول اراک

نژادنادری، م.، م. ج. خانجانی و ر. منتظمی وظیفه دوست. ۱۳۹۲. بررسی نحوه تخلیه پساب سایت آب شیرین کن بندر خمیر به کمک روابط تجربی. سال سوم، شماره ۱۲. ص: ۳۰-۲۳.

Adriano, D. C. 2001. Trace elements in the terrestrial environments: biogeochemistry, bioavailability and risks of metal, 2nd Ed., Springer-verlog, New York.

Arbabi, M. & M. Zahedi. 2000. Evaluation of function of stabilization pounds in urban wastewater treatment (in cold weather), Proceedings of 3rd national environmental sanitary seminar, ,Kerman, No.2,575-599.

Ayers, R.S., & D.W. Westcot. 1985. Water Quality for Agriculture, FAO Irrigation and Drainage Paper 47 (Rev. 1), FAO, Rome.

Bain R. C. and H. Esmaili. 1976. Santa Rosa effluent irrigation study, Final Report by Brown and Caldwell Engineers.

Blumenthal, D., U. peasey, A. Ruiz-Palacios, G. and D.D. Mara. 2000. Guidlines for wastewater reuse in agriculture and aquaculture: Recommended revisions based on new research evidence, Task no. 68, part1, Loughborough University, UK.

Chen Z-F., Y. Zhao, Y. Zhu, X. Yang, J. Qiao, Q. Tianc, and Q. Zhang. 2009. Health risks of heavy metals in sewage-irrigated soils and edible seeds in Langfang of Hebei province, China. Journal of Science Food Agriculture, 90:314-320.

Hasheminejhad, Y., R. Matlabi Fard, and M. J. Malakouti. 2001. Iron induced chlorosis, technical paper no.186, 1th ed. Soil and Water research Institute, Tehran.

Jimenez, B. 2005. "Treatment Technology and Standards for Agricultural Wastewater Reuse: A Case Study in Mexico." J. Irrigation and Drainage. 54 (1), 22–33.

Khalil, M. 1931. "The Pail Closet as an Efficient Means of Controlling Human Helminth Infection as Observed in Tura Prison, Egypt, with a Discussion on the Source of Ascaris Infection." J. Annals of Tropical Medicine and Parasitology, 25, 35–62.

Maas, E. V. & G. J. Hoffman. 1977. "Crop salt tolerance – current assessment." J. Irrigation and Drainage, 103(IR2), 115-134.

Malakouti, M. J., M. Aliahyaii, and Z. Khoshkhabar. 1999. Irrigation water's Bicarbonate, a limiting factor to increase yield in the country, technical paper no.67, 1th ed., Soil and Water research Institute, Tehran.
Mohammad nejhad, S. 1996. Technical and economical evaluation of using effluents from wastewater treatments of Tehran companies to irrigate ornamentals. M.Sc. Thesis, Sharif University of Technology, Iran.
Molden, D. 2007. Water for Food, Water for Life, 1nd Ed, Earthscan, London.
Pescod, M. B. 1992. Wastewater Treatment and Use in Agriculture, FAO Irrigation and Drainage Paper 47, Rome.
Richards, G.P. 1978. Comparative study of methods for the enumeration of total and faecal coliforms in the estern Oysite;Grostrea Virginica. Appl. Environ. Microbiol., 36(6): 975-978.
Sabet raftar, A. 2001. Evaluation of experiments in Middle East and North Africa Countries in the field of wastewater reuse, Proceedings of Seminar on the Environmental effects of agricultural wastewaters on surface and ground water resources, National irrigation and drainage committee of Iran, Mazandaran, No.53, 25-44.
Shainberg, I. & J. D. Oster. 1974. Quality of irrigation water. IIIC, Calif. USA.
Shuval, H.I., P. Yekutiel, & B. Fattal. 1984. "Epidemiological Evidence for Helminth and Cholera Transmission by Vegetables Irrigated with Wastewater: Jerusalem-A Case Study." J. Water Science and Technology, 17, 433–442.
SWRCB (State Water Resource Control Board). 1981. Evaluation of Agricultural irrigation projects using reclaimed water, prepared by Boyle Engineering Corporation, Sacramento, California.
Westerman R.L. 1990. Soil Testing and Plant Analysis. SSSA, Madison, Wisconsin, USA.
WHO. 2014. Health Guidelines for the Use of Wastewater in Agriculture and Aquaculture, Technical Report No.778. WHO, Geneva.

Determination of the potential of wastewater treatment plant effluent of Yazd for use in agricultural sector based on global criteria

Mehdi Naghizadeh[1], Mahmood Gholami[2], Rooholla Moradi[1*]

Abstracat:

In order to evaluate and classify the quality of wastewater treatment plant effluent of Yazd, and assessing its potential for agricultural sector usage, wastewater samples were weekly collected, and microbial tests, the traits of fecal coli forms (FC), nematode egg (NE) number per each sample, the concentrations of PO_4, NO_2, NO3, NH_3, SO_4, Na, Ca, Mg, K, HCO_3, CO_3, B, Fe, Zn, Cu and Mn ions, and the amounts of pH, EC, SAR, were measured using standard methods. The results showed that wastewater is classified as class B, using WHO guidelines. So, it is suitable for irrigation of cereals, industrial and fodder crops, pastures and ornamental plants. The most limiting factor for applying this wastewater in agriculture is high concentration of HCO_3 which will increases SAR through sequestration of calcium and magnesium ions and consequently decreasing the infiltration rate of soil in long period of time. According to the estimates, the Gypsum Requirement (GR) for alleviating harmful effects of high SAR_{adj} level in wastewater is equal to 8.62 ton ha^{-1}. High concentration of macronutrients in the wastewater made it feasible for cultivating industrial and fodder crops such as cotton, barley and halophytes. Boron toxicity in the wastewater is not a limiting factor. The concentration of Na and Cl in wastewater was less than the toxicity threshold of these ions for cotton, sunflower, corn, sorghum, safflower, sesame, etc. The concentration of Fe, Cu, Zn and Mn in the wastewater is under toxicity levels that are recommended by FAO, so these elements do not cause any ionic toxicity for plants.

Keywords: Coli forms, Gypsum, Health, Microelement, Nematode, Quality, Toxicity.

[1] Assistant Professor, Agricultural Faculty of Bardsir, Shahid Bahonar University of Kerman, Iran

[2] PhD student, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran

*: Corresponding author, E-mail: r.moradi@uk.ac.ir; roholla18@gmail.com