نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۵، شماره ۵، آذر - دی ۱۳۹۰، ص. ۱۱۸۳-۱۱۷۲

Journal of Water and Soil
Vol. 25, No. 5, Nov-Des 2011, p. 1172-1183

ارزیابی پتانسیل تأمین آب آبیاری و ارزش کودی پساب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهری

سید علی قاسمی[۱] - شهناز دانش[۲*] - امین علیزاده[۳]

تاریخ دریافت:۸۹/۱۱/۳۰
تاریخ پذیرش:۹۰/۵/۱۶

چکیده

کاربرد پساب تصفیه خانه‌های فاضلاب به‌عنوان یک منبع آب غیرمتعارف، یکی از مهم‌ترین ارکان مدیریت منابع آب در مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌باشد. از این رو ارزیابی ارزش کودی و پتانسیل تأمین آب این گونه منابع غیرمتعارف جایگاه ویژه‌ای را در برنامه‌ریزی جامع مدیریتی منابع آب به خود اختصاص می‌دهد. به همین منظور، در این کار تحقیقاتی در طی مدت یک سال (۱۳۸۸)، از پساب تصفیه‌خانه‌های شهر مشهد شامل تصفیه‌خانه اولنگ، پرکندآباد ۱ و پرکندآباد ۲ نمونه برداری گردید و ترکیبات مختلف عناصر پرمصرف گیاهی شامل نیتروژن و فسفر در نمونه‌های مذکور اندازه‌گیری شد. نتایج به‌دست آمده در این تحقیق حاکی از آن است که در حال حاضر پتانسیل تأمین آب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهر مشهد در آبیاری محصولات گندم، جو، گوجه‌فرنگی به‌ترتیب معادل ۹۶۲، ۸۷۰، ۷۲۹ هکتار می‌باشد. علاوه بر این بر اساس نتایج مدل تلفیقی برآورد نیتروژن قابل دسترس گیاه، با کاربرد پساب به‌عنوان آب آبیاری می‌توان مقادیری به‌ترتیب معادل ۸۷/۲، ۷۴/۴ و ۱۳۳/۶ کیلوگرم در هکتار از نیاز محصولات گندم، جو و گوجه‌فرنگی به نیتروژن را تأمین نمود. از نظر محتوای فسفر قابل دسترس برای گیاهان نیز نتایج نشان داد که آبیاری با پساب می‌تواند نیاز محصولات گندم، جو و گوجه‌فرنگی را تا حد ۳۶/۷، ۳۱/۷ و ۶۲ کیلوگرم در هکتار تأمین سازد. با توجه به برآورد اقتصادی انجام شده در طی دوره رشد گیاهان مورد بررسی (۶ ماهه نخست سال)، ارزش آبی پساب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهر مشهد در آبیاری گندم، جو و گوجه‌فرنگی به‌ترتیب معادل ۱/۹۷، ۱/۴۴ و ۴/۶۸ میلیارد ریال و ارزش اقتصادی محتوای کودی آن به‌ترتیب معادل ۸۹/۶، ۶۷/۴ و ۱۲۵/۰ میلیون ریال برآورد گردید. به‌طورکلی، نتایج نهایی تحلیل اقتصادی این تحقیق دلالت بر آن دارد که با استفاده از پساب تصفیه‌خانه‌های شهر مشهد می‌توان هزینه‌های تولید گندم، جو و گوجه‌فرنگی در هکتار را به‌ترتیب در حدی معادل ۳۳، ۳۱ و ۲۸ درصد کاهش داد.

واژه‌های کلیدی: ارزش اقتصادی، پساب، فسفر، کشاورزی، منابع آب، نیتروژن

مقدمه

امروزه، دستیابی به توسعه پایدار در بخش‌های مختلف اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی به یکی از مهم‌ترین اهداف برنامه‌ریزی‌های جامع در هر کشوری تبدیل شده است. هدف اصلی از توسعه پایدار، مدیریت و حفاظت از منابع طبیعی به‌خصوص منابع محدود (مانند منابع آب)، به گونه‌ای است که تأمین نیازهای فعلی و آتی جامعه تضمین گردد. در این میان، بخش کشاورزی به‌عنوان یک موتور محرکه اقتصادی در اولویت اجرایی برنامه‌های توسعه پایدار قرار دارد. بررسی‌ها نشان می‌دهد که اجرای برنامه‌های توسعه پایدار در بخش کشاورزی از نظر زیست محیطی ایده آل و از نظر فنی و اقتصادی قابل دستیابی و مقرون به‌صرفه است. یکی از جنبه‌های مهم برنامه‌ریزی دستیابی به توسعه پایدار در کشورهای مناطق خشک و نیمه‌خشک، اعمال مدیریت حفاظتی از منابع آب متعارف می‌باشد. در این راستا، به‌کارگیری پساب تصفیه خانه‌های فاضلاب به‌عنوان یک منبع جایگزین آب در کشاورزی، می‌تواند تنش‌های کمی و کیفی وارده بر منابع آب زیرزمینی را به حداقل رسانده و پیامدهای ناشی از بهره‌برداری بی‌رویه از منابع آب را کاهش دهد (۲۴).

در حال حاضر استفاده از پساب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب در کشاورزی به‌عنوان یکی از راه‌های جبران کمبود منابع آب و تأمین امنیت غذایی، بیش از پیش مورد توجه ویژه تصمیم‌گیران قرار دارد (۳۲). کاربرد پساب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب در آبیاری محصولات

۱و۲- دانش آموخته کارشناسی ارشد و دانشیار گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد
(*-نویسنده مسئول: Email: sdanesh@ferdowsi.um.ac.ir)
۳- استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

Archive of SID
www.SID.ir

کشاورزی، مزایای متعددی از قبیل فراهم نمودن یک منبع آب ارزان و دائمی، کاهش هزینه‌های تصفیه، آزادسازی بخشی از منابع آب با کیفیت خوب برای سایر مصارف، کاهش مصرف کودهای شیمیایی و کاهش اثرات نامطلوب ناشی از دفع پساب به منابع آبی را به همراه دارد (۱۶ و ۲۰).

با این وجود استفاده از این منبع آب غیرمتعارف در کشاورزی یکی از مهم‌ترین عوامل کاهش کیفیت خاک و محصولات تولیدی به حساب می‌آید (۱۶). شور شدن و تخریب ساختمان خاک، تجمع فلزات سنگین، مسمومیت گیاهان و کاهش عملکرد آن‌ها نمونه‌های بارزی از تأثیر نامطلوب استفاده از پساب در آبیاری محصولات کشاورزی است (۱۱ و ۲۰). یکی از ابزارهای مهم در تدوین برنامه‌های جامع کاربرد پساب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب در کشاورزی ارزیابی پتانسیل تأمین آب و ارزش کودی پساب بر اساس نوع الگوی کشت هر منطقه است. کیزیل اوغلو و همکاران (۲۵) در آبیاری دو محصول گل کلم و کلم قرمز با پساب فرآیندهای تصفیه مقدماتی و اولیه دریافتند که محتوای نیتروژن خاک در حالت آبیاری با پساب به‌طور معنی‌داری افزایش می‌یابد. آن‌ها نشان دادند که میزان افزایش محصول تولیدی در آبیاری با پساب، نسبت به استفاده تلفیقی از آب‌های متعارف کشاورزی و کود شیمیایی، بسیار بیشتر است. ملی و همکاران (۳۰) با مطالعه خصوصیات خاک مزارع آبیاری شده با پساب خروجی از یک سیستم لاگون به این نتیجه دست یافتند که آبیاری با پساب به تأمین مقدار قابل توجهی نیتروژن آلی و معدنی (در حدود ۱۴۰ کیلوگرم در هکتار) برای درختان مرکبات می‌انجامد. سازمان بهداشت جهانی[1] (۳۷) گزارش نموده است که در نرخ آبیاری با فاضلابِ معادل ۱/۵ مترمکعب بر متر مربع در سال، میزان ۲۲۵ کیلوگرم نیتروژن و ۴۵ کیلوگرم فسفر برای هر هکتار زمین تحت آبیاری تأمین می‌گردد که در چنین شرایطی استفاده از کودهای آلی و شیمیایی، خصوصاً در مناطق نیمه خشک، به حداقل رسیده یا به‌طورکامل برطرف می‌گردد. در مطالعه روسان و همکاران (۳۵) که با هدف ارزیابی تأثیر آبیاری طولانی مدت با پساب بر خصوصیات کیفی گیاهان علوفه ای انجام گرفت، افزایش قابل ملاحظه غلظت فسفر در جوانه‌های جو آبیاری شده با پساب گزارش شد، به گونه‌ای که محتوای فسفر از ۰/۱۸ درصد در تیمار شاهد به ۰/۲۸ درصد در تیماری که به مدت ۱۰ سال با پساب آبیاری شده بود، افزایش یافت. نتیجه طرح مطالعاتی وانگ و همکاران (۳۶) حاکی از آن است که اگر چه مقدار نیتروژن و فسفر موجود در پساب به اندازه نیاز گیاهان آبیاری شده مورد مطالعه بوده است اما به دلیل حضور این مواد در شکل‌ها و حالت‌های مختلف، بهره‌برداری کامل از مواد مغذی موجود در پساب امکان‌پذیر نبوده است.

1- World Health Organization

به‌طورکلی به‌منظور ارزیابی پتانسیل تأمین آب و ارزش کودی پساب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب عواملی از قبیل الگوی کشت رایج در منطقه، نیاز آبی محصولات، کمیت و کیفیت پساب از نظر عناصر غذایی گیاهی و تغییرات کمی و کیفی این عناصر در خاک بایستی مورد توجه قرار گیرد. یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر در برآورد نیاز آبی گیاهان، تعیین میزان تبخیر و تعرق است. در اغلب روش‌هایی که برای تعیین میزان تبخیر و تعرق ارائه شده است، ابتدا تبخیر و تعرق گیاه مرجع (ET_o) تخمین زده شده و در ادامه تبخیر و تعرق گیاه مورد نظر محاسبه می‌گردد (۸). از میان روش‌های تجربی متعدد ارائه شده برای محاسبه تبخیر و تعرق گیاه مرجع، روش فائو پنمن- مانتیث به‌عنوان تنها روش استاندارد برای محاسبه تبخیر و تعرق گیاه مرجع از روی داده‌های اقلیمی‌از سوی کمیسیون بین المللی آبیاری و زه‌کشی[2] و سازمان غذا و کشاورزی ملل متحد[3]، پیشنهاد شده است (۷). این روش نیازمند داده‌های تابش، درجه حرارت، رطوبت و سرعت باد بوده و در دامنه وسیعی از مناطق و اقلیم‌ها برآورد صحیحی از تبخیر و تعرق گیاه مرجع را ارائه می‌کند (۲۳). دقت بالا و اطمینان قابل قبول نتایج روش فائو پنمن- مانتیث در نتایج ارائه شده از سوی بسیاری از پژوهشگران مورد تأکید قرار گرفته است (۱۵ و ۲۶).

در تحقیق حاضر پس از تعیین نیاز آبی و کودی تعدادی از محصولات متداول در منطقه مشهد، پتانسیل تأمین آب و ارزش کودی پساب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب این شهر مورد ارزیابی قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

تصفیه‌خانه‌های شهر مشهد

شهر مشهد در حال حاضر دارای ۳ تصفیه‌خانه بزرگ فاضلاب با نام‌های اولنگ، پرکندآباد ۱ و پرکندآباد ۲ است که وظیفه تصفیه در حدود ۲۰ درصد از فاضلاب تولیدی در این شهر را بر عهده دارند (۱۳). تصفیه‌خانه اولنگ با مساحتی حدود ۶۰۰ هکتار در شرق مشهد واقع گردیده است. در حال حاضر دبی متوسط جریان فاضلاب ورودی به این تصفیه‌خانه حدود ۲۲۰۰۰ مترمکعب در شبانه‌روز گزارش شده است. واحدهای اصلی تصفیه در این تصفیه‌خانه شامل چهار برکه اختیاری و دو برکه جلادهی می‌باشد. زمان ماند برکه‌های اختیاری و جلادهی به‌ترتیب ۱۶ و ۵ روز است (۴ و ۵).

تصفیه‌خانه فاضلاب پرکند آباد (۱) در حاشیه جنوبی رودخانه فصلی کشف‌رود و در ۱۰ کیلومتری شمال غرب مشهد قرار گرفته است. ظرفیت اسمی این تصفیه‌خانه ۱۵۲۰۰ مترمکعب در شبانه‌روز و

2- International Commission on Irrigation and Drainage
3- Food and Agriculture Organization of the United Nations

Archive of SID

www.SID.ir

جمعیت تحت پوشش آن معادل ۱۰۰ هزار نفر می‌باشد. فرآیند تصفیه مورد استفاده در این تصفیه‌خانه از نوع لاگون هوادهی با اختلاط کامل می‌باشد که فاضلاب خام ورودی به تصفیه‌خانه مذکور با عبور از واحد آشغال‌گیری، لاگون‌های هوادهی، حوضچه‌های ته نشینی، برکه جلادهی و واحد گندزدایی تصفیه می‌شود. زمان ماند فاضلاب در لاگون‌های هوادهی، حوضچه‌های ته نشینی و برکه جلادهی به‌ترتیب ۵، ۲ و ۴ روز می‌باشد (۵).

تصفیه‌خانه فاضلاب پرکند آباد ۲ با ظرفیت اسمی ۶۰۰۰۰ مترمکعب در شبانه‌روز در شمال شرقی شهر مشهد احداث شده است. فاضلاب ورودی به این تصفیه‌خانه شامل فاضلاب انسانی و بخشی از فاضلاب شهرک صنعتی طوس (واقع در کیلومتر ۱۵ جاده مشهد قوچان) می‌باشد. فرآیند مورد استفاده در تصفیه‌خانه فاضلاب پرکندآباد ۲ از نوع برکه‌های تثبیت فاضلاب است. فاضلاب خام پس از آشغال‌گیری بین چهار برکه بی‌هوازی توزیع شده و با از عبور از دو برکه اختیاری و چهار برکه جلادهی از تصفیه‌خانه خارج می‌شود (۵ و ۶).

نمونه‌برداری از پساب و انجام آزمایشات

به‌منظور تعیین ارزش کودی پساب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهر مشهد، در طی مدت یک سال (۱۳۸۸)، نمونه‌هایی با فواصل زمانی ۱۵ روزه (۲ نمونه مرکب در هر ماه) از پساب تصفیه‌خانه‌های اولنگ، پرکندآباد ۱ و پرکندآباد ۲ برداشت گردید و شکل‌های مختلف عناصر پرمصرف گیاهی از قبیل نیتروژن کل، نیتروژن آلی، نیتروژن آمونیاکی، نیتروژن نیتراتی و فسفات در نمونه‌های مذکور اندازه‌گیری شد. کلیه مراحل نمونه‌برداری، نگهداری و انتقال نمونه ها و نیز انجام آزمایشات، بر اساس روش‌های استاندارد و با استفاده از تجهیزات مناسب انجام پذیرفت (۱۹). علاوه بر این، به‌منظور افزایش دقت و استنادپذیری نتایج، کلیه پارامترها در ۳ تکرار مورد آزمایش قرار گرفت.

محصولات مورد مطالعه

در تحقیق حاضر از میان محصولات رایج در منطقه مشهد، سه محصول گندم، جو و گوجه‌فرنگی به‌منظور انجام مطالعات مد نظر قرار گرفت. گندم و جو در دشت مشهد در اواخر اسفند یا اوایل فروردین ماه کشت شده و طول دوره رشد آن‌ها نیز به‌ترتیب معادل ۱۳۰ و ۱۲۰ روز می‌باشد. گوجه‌فرنگی نیز در اواخر فروردین یا اوایل اردیبهشت‌ماه کشت شده و طول دوره رشد متعارف آن در منطقه مشهد ۱۷۵ روز است. در جدول ۱ سطح زیر کشت و درصد فراوانی محصولات کشاورزی مورد بررسی خلاصه شده است.

جدول ۱- سطح زیر کشت و درصد فراوانی محصولات کشاورزی مورد بررسی

نوع محصول	سطح زیر کشت (هکتار)	فراوانی (درصد)
گندم	۱۷۳۰۰	۳۲
جو	۸۷۰۰	۱۶
گوجه‌فرنگی	۶۰۰۰	۹

تعیین نیاز آبی محصولات

برای تعیین نیاز آبی محصولات، در نظر گرفتن عوامل مهمی از قبیل تبخیر و تعرق، بارندگی مؤثر، حداقل نرخ آبشویی مورد نیاز و راندمان آبیاری ضرورت دارد که در ادامه روش‌های مورد استفاده در محاسبه هر یک عوامل مذکور ارائه شده است.

تبخیر و تعرق

همان‌طور که اشاره گردید یکی از مهم‌ترین مراحل در برآورد نیاز آبی محصولات کشاورزی، محاسبه تبخیر و تعرق گیاه مرجع است. به همین سبب در این تحقیق از روش فائو پنمن- مانتیث جهت تعیین میزان تبخیر و تعرق گیاه مرجع استفاده شد که رابطه آن به شرح ذیل است (۹).

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma\left[\frac{900}{T+273}\right]U_2(e_a - e_d)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34U_2)} \quad (۱)$$

در رابطه فوق، ET: تبخیر و تعرق گیاه مرجع ($mm.day^{-1}$)، R_n: تابش خالص در سطح پوشش گیاهی ($MJm^{-2}d^{-1}$)، T: متوسط درجه حرارت هوا در ارتفاع ۲ متری از سطح زمین (^oC)، U_2: سرعت باد در ارتفاع ۲ متری از سطح زمین (ms^{-1})، $e_a - e_d$: کمبود فشار بخار در ارتفاع ۲ متری از سطح زمین (kPa)، Δ: شیب منحنی فشار بخار ($kPa^{\circ}C^{-1}$)، γ: ضریب رطوبتی ($kPa^{\circ}C^{-1}$) و G: شار گرما به داخل خاک ($MJm^{-2}d^{-1}$) می‌باشد.

لازم به ذکر است که داده‌های هواشناسی مورد استفاده در تخمین تبخیر و تعرق گیاه مرجع باید از ایستگاه‌هایی با شرایط مرجع اخذ گردد (۱۴). لیکن در کشور ما به دلیل عدم دسترسی به ایستگاه‌های هواشناسی مرجع، ناگزیر از داده‌های اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های سینوپتیک و کلیماتولوژی استفاده می‌شود که این مسئله به کاهش دقت مقادیر تبخیر و تعرق برآورد شده منجر می‌گردد. به همین سبب در تحقیق حاضر از ضرایب اصلاحی ماهانه ارائه شده توسط محمدیان (۱۲) جهت رفع این خطا و تصحیح نتایج به‌دست آمده استفاده شد. نتیجه مطالعات موسوی بایگی و همکاران (۱۳) نیز دلالت بر این دارد که برآورد ET_0 به روش فائو پنمن- مانتیث با در نظر گرفتن ضرایب اصلاحی ماهانه بهترین برآورد را در منطقه مشهد ارائه می‌دهد. خلاصه‌ای از داده‌های هواشناسی مورد استفاده در برآورد تبخیر و تعرق محصولات در جدول ۲ آمده است.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۲ - خلاصه داده‌های هواشناسی مورد استفاده در تعیین میزان تبخیر و تعرق محصولات (۱۳۸۳-۱۳۶۸)

ماه	دمای بیشینه (^oC)	دمای کمینه (^oC)	بارندگی (mm)	رطوبت نسبی (%)	سرعت باد ($km.d^{-1}$)	ساعات آفتابی (h)
فروردین	۱۹/۵	۷/۲	۳۹/۳	۶۲	۲۹۸	۱۴۹/۱
اردیبهشت	۲۵/۱	۱۲/۰	۳۲/۷	۵۰	۲۹۰	۱۴۷/۳
خرداد	۳۰/۸	۱۶/۷	۱۱/۹	۳۷	۲۸۶	۱۶۱/۲
تیر	۳۴/۵	۲۰/۱	۲/۱	۳۵	۲۸۱	۱۹۸/۶
مرداد	۳۴/۳	۱۹/۲	۱/۰	۳۴	۲۷۶	۲۷۹/۲
شهریور	۳۱/۲	۱۵/۲	۲/۰	۳۸	۲۵۲	۳۴۱/۷

پس از محاسبه تبخیر و تعرق گیاه مرجع، با استفاده از رابطه ۲ میزان تبخیر و تعرق گیاهان متداول منطقه مورد محاسبه قرار گرفت.

$$ET_C = ET_o \times K_C \qquad (۲)$$

در این رابطه K_C: ضریب گیاهی، ET_o: تبخیر و تعرق گیاه مرجع ($mm.day^{-1}$) و ET_C: تبخیر و تعرق واقعی گیاه ($mm.day^{-1}$) است. با توجه به این‌که مقادیر ضریب گیاهی در مناطق مختلف قبلاً توسط برخی از پژوهشگران برآورد گردیده است، در طرح حاضر از نتایج این تحقیقات در تعیین تبخیر و تعرق محصولات مورد مطالعه استفاده گردید (۱۰). به گونه‌ای که ضریب گیاهی برای سه محصول گندم، جو و گوجه‌فرنگی در دوره‌های مختلف رشد به‌ترتیب در محدوده ۱/۱۵-۰/۳، ۱/۱۵-۰/۳ و ۱/۱۵-۰/۶ در نظر گرفته شد.

بارندگی مؤثر

تعیین میزان بارندگی مؤثر در دوره‌های مختلف کشت، گام مهمی‌در برآورد نیاز آبی محصولات کشاورزی است لذا در تحقیق حاضر از روش USDA, SCS [1] و رابطه ۳ به‌منظور محاسبه پارامتر مذکور استفاده شده است (۳۴).

$$\begin{aligned} &if\ P_{tot} < 250\ mm,\ \ P_{eff} = P_{tot} \times \frac{125 - 0.2P_{tot}}{125} \\ &if\ P_{tot} > 250\ mm,\ \ P_{eff} = 125 + 0.1 \times P_{tot} \end{aligned} \qquad (۳)$$

که در آن P_{tot} و P_{eff} به‌ترتیب بیانگر بارندگی کل (mm) و میزان بارندگی مؤثر (mm) می‌باشند.

تعیین نرخ آبشویی مورد نیاز

نتیجه مطالعات پیشین دلالت بر آن دارد که استفاده از پساب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهر مشهد از نظر شوری و شاخص نسبت جذب سدیم با محدودیت کم تا متوسط همراه است (۱۱). لذا تعیین نرخ آبشویی مناسب به‌منظور جلوگیری از تجمع شوری در خاک و تخریب ساختمان آن از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. از این رو در تحقیق حاضر با استفاده از رابطه ۴ حداقل نرخ آبشویی مورد نیاز، به توجه به کیفیت خاک منطقه، نوع محصول و نیز پارامترهای کیفی پساب تصفیه‌خانه‌های مورد مطالعه محاسبه گردید.

$$LR = \frac{EC_w}{5EC_e - EC_w} \qquad (۴)$$

در رابطه فوق، LR: حداقل نرخ آبشویی مورد نیاز، EC_w: هدایت الکتریکی آب آبیاری ($dS.m^{-1}$) و EC_e: متوسط شوری قابل تحمل توسط گیاه ($dS.m^{-1}$) می‌باشد. با توجه به نوع محصولات مورد بررسی، مقدار EC_e برای گندم، جو و گوجه‌فرنگی به‌ترتیب معادل ۵/۷، ۸/۰ و ۲/۵ $dS.m^{-1}$ در نظر گرفته شد. به علاوه، با مد نظر قرار دادن نتایج به‌دست آمده در مطالعات گذشته (۱۱) متوسط هدایت الکتریکی پساب تصفیه‌خانه‌های شهر مشهد معادل ۱/۶ $dS.m^{-1}$ منظور گردید. بر اساس رابطه مذکور، حداقل نرخ آبشویی مورد نیاز برای محصولات گندم، جو و گوجه‌فرنگی به‌ترتیب معادل ۴، ۶ و ۱۵ درصد به‌دست آمده است.

تعیین میزان کود در دسترس محصولات

میزان در دسترس بودن عناصر کودی مورد نیاز گیاهان در خاک، یکی از مهم‌ترین مواردی است که در ارزیابی ارزش کودی پساب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب بایستی مورد توجه قرار گیرد. برای این منظور غلظت عناصر کودی (نیتروژن و فسفر) پساب و تغییر و تحولات این عناصر در خاک پس از آبیاری با پساب، مورد ارزیابی قرار گرفت و سپس با توجه به نیاز آبی محصولات مورد بررسی، ارزش کودی پساب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهر مشهد تعیین گردید. با توجه به چرخه پیچیده و مدل‌های متعدد تغییر شکل نیتروژن در خاک، از ترکیب معادلات پویایی نیتروژن، مدل تلفیقی برآورد نیتروژن قابل دسترس گیاه ارائه گردید. برای توسعه مدل مذکور، علاوه بر تعیین غلظت شکل‌های مختلف نیتروژن در پساب، مهم‌ترین

1- United States Department of Agriculture's Soil Conservation Service

Archive of SID

www.SID.ir

واکنش‌های تغییر شکل این عنصر در خاک از قبیل معدنی شدن نیتروژن آلی، تصعید آمونیاک[1]، نیتریفیکاسیون[2] و دنیتریفیکاسیون[3] مورد توجه قرار گرفت.

معدنی شدن نیتروژن

نیتروژن آلی در اثر فعالیت گروه وسیعی از میکروارگانیزم‌ها و طی فرآیندی موسوم به معدنی شدن[4]، به نیتروژن معدنی تبدیل می‌گردد. کارایی مناسب مدل سینتیکی مرتبه صفر- مرتبه اول در برآورد میزان معدنی شدن نیتروژن در خاک، توسط پژوهشگران متعددی مورد تأکید قرار گرفته است (۱۸، ۲۲ و ۲۸). لذا جهت برآورد روند معدنی شدن نیتروژن آلی موجود در پساب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب پس از ورود به خاک، از مدل سینتیکی مرتبه صفر- مرتبه اول مطابق با رابطه ذیل استفاده گردید.

$$N_m = N_L\left[1-\exp(-k_L t)\right]+kt \qquad (۵)$$

که در آن N_m: نیتروژن معدنی شده در زمان t (d)، N_L: مقدار نیتروژن قابل معدنی شدن از منبع ساده تجزیه‌پذیر در ابتدای آبیاری ($mg.kg^{-1}$)، k_L: ثابت سرعت مرتبه اول (d^{-1}) و k: ثابت سرعت مرتبه صفر (d^{-1}) است. بر اساس نتایج ارائه شده در منابع کتابخانه ای (۲) و با توجه به‌خصوصیات فیزیکی خاک‌های متداول در منطقه، مقادیر k_L و k به‌ترتیب معادل ۰/۰۵ و ۰/۰۸ در نظر گرفته شد.

تصعید آمونیاک

یکی از مهم‌ترین راه‌های جا به جایی نیتروژن در خاک و در نتیجه از دسترس خارج شدن بخش قابل توجهی از آن، تصعید نیتروژن آمونیاکی است (۲). با توجه به این که تصعید آمونیاک از خاک تحت تأثیر عوامل متعددی از قبیل pH خاک، نوع کاربری زمین، نرخ کوددهی، میزان بارندگی و درجه حرارت قرار دارد لذا استفاده از مدل‌های مناسب در تخمین میزان نیتروژن آمونیاکی تصعید شده ضروری به نظر می‌رسد (۳۸). برای این منظور معمولاً از رابطه ۶ برای تخمین میزان تصعید نیتروژن آمونیاکی استفاده می‌شود.

$$EF = EF_{\max} \times RF_{pH} \times RF_{LU} \times RF_{AR} \times RF_{RF} \times RF_{temp} \qquad (۶)$$

که در آن EF_{max}: حداکثر پتانسیل تصعید آمونیاک و RF_{pH}، RF_{LU}، RF_{AR}، RF_{RF} و RF_{temp} به‌ترتیب عوامل کاهنده مرتبط با pH خاک، نوع کاربری زمین، نرخ کوددهی، میزان بارندگی و درجه حرارت هستند (۳۱). مطالعات انجام شده توسط محققین نشان داده است که حداکثر پتانسیل تصعید آمونیاک از خاک معادل ۰/۴۵ می‌باشد (۳۳).

در تحقیق حاضر با استناد به آهکی بودن خاک در اغلب مناطق کشاورزی مشهد، مقدار RF_{pH}، معادل ۱ در نظر گرفته شده است (۱۷). علاوه بر این، با توجه به ارتفاع محصولات مورد بررسی در دوره‌های مختلف کشت، مقدار RF_{LU} در محدوده ۰/۷-۰/۲ لحاظ شده است. EF_{AR} یا عامل کاهنده مرتبط با نرخ کوددهی نیز با توجه به نرخ ورود نیتروژن آمونیاکی به خاک و با استفاده از رابطه ۷ محاسبه گردید.

$$\begin{aligned} &if\ rate \geq 200\ kgN.ha^{-1},\ RF_{AR}=1 \\ &if\ rate > 30\ and\ < 200\ kgN.ha^{-1},\ RF_{AR}=1-0.00353\times(200-rate) \\ &if\ rate \leq 30\ kgN.ha^{-1},\ RF_{AR}=0.4 \end{aligned} \qquad (۷)$$

همچنین بر اساس رابطه شدت و مدت بارندگی در طی دوره کشت، RF_{RF} معادل ۰/۷۵ در نظر گرفته شده است. لازم به توضیح است که RF_{temp} نیز بر مبنای تغییرات درجه حرارت ماهانه و سالانه و نیز غالب بودن خاک‌های آهکی، با استفاده از رابطه ۸ محاسبه گردیده است (۳۷).

$$RF_{temp} = \frac{\exp\left[\dfrac{0.1386\times(T_{month}-T_{Annual})}{3}\right]}{2} \qquad (۸)$$

که در آن T_{month} و T_{annual} به‌ترتیب میانگین درجه حرارت ماهانه و سالیانه در منطقه مورد مطالعه هستند.

نیتریفیکاسیون و دنیتریفیکاسیون

تبدیل نیتروژن آمونیاکی به نیترات و تثبیت نیتروژن نیتراتی از جمله مهم‌ترین فرآیندهای تأثیرگذار بر مهیایی نیتروژن در محیط خاک محسوب می‌شوند. به همین سبب ارزیابی تأثیر فرآیندهای مذکور در برآورد ارزش کودی پساب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب از اهمیت ویژه ای برخوردار است. متداول ترین روش تخمین میزان نیتریفیکاسیون، استفاده از مدل سینتیک مرتبه اول، مطابق با رابطه ۹ است.

$$N_{nit} = N_0\left[1-\exp(-k\,t)\right] \qquad (۹)$$

که در آن N_{nit}، میزان تبدیل نیتروژن آمونیاکی به نیتروژن نیتراتی در زمان t، N_0: پتانسیل نیتریفیکاسیون و k: ثابت سرعت نیتریفیکاسیون (d^{-1}) است. در این مدل k معادل ۱ d^{-1} در نظر گرفته می‌شود که میانگین نرخ‌های ارائه شده در منابع کتابخانه ای است (۱۷ و ۲۷).

در تحقیق حاضر جهت دخالت دادن فرآیند دنیتریفیکاسیون در محاسبه ارزش کودی پساب، از مبانی ارائه شده در مدل CropSyst استفاده گردیده است. به همین منظور، نرخ دنیتریفیکاسیون با استفاده از رابطه ۱۰ محاسبه و تعیین گردید (۲۹).

$$k_d = k_{15}F_{wd}F_t \qquad (۱۰)$$

در رابطه فوق k_{15}: ضریب نرخ دنیتریفیکاسیون در دمای ۱۵ درجه سانتی‌گراد (معادل ۰/۰۱ d^{-1})، F_{wd} عامل محتوای آب در

1- Ammonia Volatilization
2- Nitrification
3- Denitrification
4- Mineralization

Archive of SID

www.SID.ir

خاک و F_t: عامل تنش درجه حرارت خاک می‌باشند که با توجه به شرایط اقلیمی و نوع خاک غالب منطقه به‌ترتیب معادل ۰/۱۵ و ۱/۲ در نظر گرفته شده است.

نتایج و بحث

بررسی تغییرات کمی‌پساب

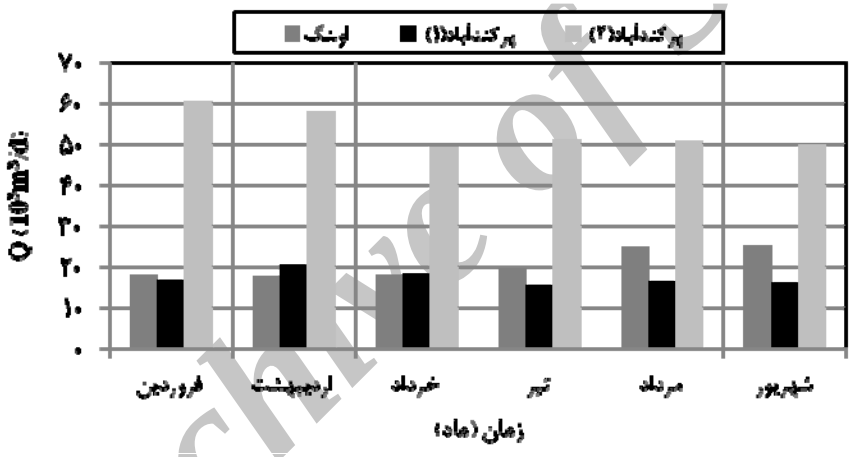
نمودار ۱ روند تغییرات میانگین ماهانه پساب تولیدی در تصفیه‌خانه‌های اولنگ، پرکندآباد ۱ و پرکندآباد ۲ را در طی دوره کشت محصولات مورد بررسی نمایش می‌دهد.

با توجه به نتایج ارائه شده در نمودار مذکور می‌توان چنین نتیجه گرفت که دبی پساب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب پرکندآباد ۱ و پرکندآباد ۲ به‌ترتیب، کمترین و بیشترین تغییرات و پراکندگی آماری را نسبت به متوسط دبی دوره مطالعات داشته است. علاوه بر این کمترین دبی پساب تصفیه‌خانه‌های اولنگ، پرکندآباد ۱ و پرکندآباد ۲ در طی مدت مطالعه، به‌ترتیب، در ماه‌های اردیبهشت، تیر و خرداد مشاهده شده و بیشترین دبی تصفیه‌خانه‌های مذکور نیز به‌ترتیب در ماه‌های شهریور، اردیبهشت و فروردین به ثبت رسیده است.

بررسی تغییرات غلظت عناصر کودی

میانگین غلظت عناصر کودی اندازه‌گیری شده در پساب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهر مشهد، در طی دوره کشت محصولات مورد مطالعه در جدول ۳ ارائه شده است.

همان‌طور که از مقادیر ارائه شده در جدول فوق بر می‌آید، پساب تصفیه‌خانه اولنگ هم از نظر غلظت نیتروژن و هم از نظر غلظت فسفات کمترین مقادیر را داشته است. بر اساس نتایج به‌دست آمده در طی دوره مطالعات، بیشترین غلظت نیتروژن در پساب تصفیه‌خانه پرکندآباد ۱ مشاهده شد در حالی که از نظر محتوای فسفات پساب تصفیه‌خانه پرکندآباد ۲ بیشترین غلظت را دارا بود.



نمودار ۱- روند تغییرات دبی پساب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهر مشهد

جدول ۳ - میانگین غلظت عناصر کودی در پساب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهر مشهد

	اولنگ				پرکندآباد ۱				پرکندآباد ۲			
ماه	NO_3-N (mg/L)	NH_4-N (mg/L)	Org-N (mg/L)	PO4-P (mg/L)	NO_3-N (mg/L)	NH_4-N (mg/L)	Org-N (mg/L)	PO_4-P (mg/L)	NO_3-N (mg/L)	NH_4-N (mg/L)	Org-N (mg/L)	PO4-P (mg/L)
فروردین	۰/۹	۹/۴	۳/۴	۵/۰	۲/۲	۱۰/۵	۳/۷	۵/۵	۱/۰	۹/۱	۳/۸	۵/۴
اردیبهشت	۰/۷	۸/۴	۴/۲	۵/۸	۲/۴	۱۰/۹	۳/۲	۵/۸	۱/۰	۸/۶	۳/۷	۵/۶
خرداد	۱/۰	۱۰/۰	۴/۰	۵/۹	۲/۶	۹/۸	۳/۵	۶/۳	۱/۳	۹/۳	۳/۷	۵/۷
تیر	۱/۰	۹/۴	۳/۷	۵/۸	۳/۵	۹/۳	۲/۶	۶/۰	۱/۲	۹/۱	۳/۶	۶/۱
مرداد	۱/۱	۹/۶	۳/۶	۵/۹	۴/۱	۸/۴	۳/۱	۶/۲	۱/۷	۸/۶	۳/۷	۷/۱
شهریور	۱/۰	۹/۹	۳/۸	۴/۷	۳/۸	۹/۹	۳/۵	۶/۷	۱/۵	۸/۸	۴/۶	۷/۲

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ٤- نیاز آبی خالص ماهانه محصولات کشاورزی مورد بررسی (میلی‌متر)

محصول	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مجموع
گندم	۱/۶	۹۰/۰	۲۳۱/۳	۲۲۵/۸	۳۵/۴	–	۵۸۴/۱
جو	۷/۷	۱۲۴/۳	۲۳۱/۳	۱۶۱/۷	–	–	۵۲۵/۰
گوجه‌فرنگی	۷/۶	۶۸/۹	۲۰۷/۹	۲۵۹/۷	۲۱۵/۲	۷۹/۴	۸۳۸/۷

تعیین پتانسیل تأمین آب

نیاز آبی ماهانه محصولات کشاورزی مورد مطالعه که با در نظر گرفتن تبخیر و تعرق، نوع خاک، حداقل نرخ آبشویی مورد نیاز، بارندگی مؤثر و راندمان آبیاری معادل ۴۴ درصد محاسبه شده است، در جدول ۴ ملاحظه می‌شود (۱ و ۳).

همان گونه که ملاحظه می‌شود گوجه‌فرنگی و جو در میان محصولات مورد بررسی، به‌ترتیب با ۸۳۸/۷ و ۵۲۵/۰ میلی متر، بیشترین و کمترین نیاز آبی را به خود اختصاص می‌دهند. نتایج همچنین دلالت بر آن دارد که نیاز آبی بخش کشاورزی در فصول بهار و تابستان، در مقایسه با فصل‌های پاییز و زمستان به‌طور قابل ملاحظه‌ای بیشتر است. با توجه به روند تغییرات دبی پساب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهر مشهد و نیاز آبی ماهانه محصولات کشاورزی، پتانسیل تأمین آب کشاورزی در کل دوره رشد هر یک از محصولات بر حسب هکتار محاسبه گردید که نتایج آن در جدول ۵ مشاهده می‌شود (۱).

جدول ۵- پتانسیل تأمین آب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهر مشهد برای کشت محصولات کشاورزی (هکتار)

نوع محصول	اولنگ	پرکندآباد ۱	پرکندآباد ۲	جمع
گندم	۲۰۶	۱۸۴	۵۷۲	۹۶۲
جو	۱۷۵	۱۶۹	۵۲۶	۸۷۰
گوجه‌فرنگی	۱۶۴	۱۳۷	۴۲۸	۷۲۹

بر اساس نتایج ارائه شده می‌توان چنین استنباط کرد که تصفیه‌خانه‌های شهر مشهد پتانسیل متفاوتی را در تأمین آب برای آبیاری محصولات کشاورزی دارند زیرا وسعت سطوح زیر کشت قابل آبیاری با پساب، بستگی به نیاز آبی محصولات و تغییرات دبی پساب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب را دارد. لازم به توضیح است که در میان الگوهای کشت مورد بررسی، گوجه‌فرنگی و گندم، به‌ترتیب کمترین و بیشترین سطوح کشت قابل آبیاری با پساب را به خود اختصاص می‌دهند.

تعیین ارزش کودی

در جدول ۶ ارزش کودی بالقوه پساب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهر مشهد، از نقطه نظر نیتروژن و فسفر، ارائه گردیده است.

همان گونه که ملاحظه می‌شود پساب تصفیه‌خانه‌های پرکندآباد ۱ و پرکندآباد ۲ به‌ترتیب کمترین و بیشترین ارزش کودی بالقوه را هم از نظر نیتروژن و هم از نظر فسفر دارا می‌باشند. واضح است که با توجه به اثرگذاری عوامل متعدد بر میزان بهره‌وری از عناصر غذایی پساب، استفاده از کل ارزش کودی بالقوه پساب عملاً امکان‌پذیر نیست. با استناد به این که نرخ کوددهی باید با برنامه‌ریزی و محاسبات دقیق تعیین گردد لذا در این تحقیق میزان مهیایی عناصر کودی برای محصولات، با توجه به نیاز آبی گیاهان و مدل تلفیقی برآورد نیتروژن قابل دسترس گیاه مورد محاسبه قرار گرفت که نتایج آن در جدول ۵ مشاهده می‌شود.

جدول ٦- ارزش کودی بالقوه پساب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهر مشهد (کیلوگرم)

زمان (ماه)	اولنگ		پرکندآباد ۱		پرکندآباد ۲		جمع	
	نیتروژن	فسفر	نیتروژن	فسفر	نیتروژن	فسفر	نیتروژن	فسفر
فروردین	۲۱۱/۹	۹۱/۰	۲۳۴/۰	۹۱/۱	۷۳۳/۲	۳۲۵/۳	۱۱۷۹/۱	۵۰۷/۴
اردیبهشت	۲۰۴/۸	۱۰۰/۴	۲۹۲/۰	۱۱۸/۵	۶۷۴/۸	۳۲۶/۵	۱۱۷۱/۶	۵۴۵/۴
خرداد	۲۳۱/۹	۱۰۳/۴	۲۵۲/۶	۱۱۴/۶	۶۱۴/۷	۲۷۸/۹	۱۰۹۹/۲	۴۹۶/۹
تیر	۲۳۶/۱	۱۱۲/۵	۲۱۳/۷	۸۸/۸	۶۱۲/۲	۳۰۹/۷	۱۰۶۲/۰	۵۱۱/۰
مرداد	۳۰۵/۱	۱۴۴/۹	۲۲۶/۲	۱۰۰/۶	۶۱۵/۶	۳۶۰/۲	۱۱۴۶/۹	۶۰۵/۷
شهریور	۳۲۰/۵	۱۱۵/۸	۲۳۹/۹	۱۰۵/۷	۶۳۴/۹	۳۵۴/۸	۱۱۹۵/۳	۵۷۶/۳
جمع	۱۵۱۰/۳	۶۶۸/۰	۱۵۸۴/۴	۶۱۹/۳	۳۸۸۵/۴	۱۹۵۵/۴	۶۹۸۰/۱	۳۲۴۲/۷

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۷- میزان مهیایی نیتروژن و فسفر پساب برای هر یک از محصولات کشاورزی آبیاری شده با پساب (کیلوگرم در هکتار)

نوع محصول	نیتروژن (N)			فسفر (PO_4)		
	اولنگ	پرکندآباد ۱	پرکندآباد ۲	اولنگ	پرکندآباد ۱	پرکندآباد ۲
گندم	۷۸/۷	۹۱/۹	۸۲/۰	۳۶/۱	۳۷/۵	۳۶/۷
جو	۶۹/۷	۸۱/۵	۷۱/۹	۳۱/۸	۳۳/۰	۳۱/۷
گوجه‌فرنگی	۱۲۳/۰	۱۴۵/۸	۱۳۲/۰	۵۵/۲	۶۰/۱	۶۲/۰

همان‌طور که از مقادیر ارائه شده در جدول ۷ بر می‌آید ارزش کودی پساب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهر مشهد قابل توجه بوده و بسته به نوع گیاه و دوره آبیاری می‌تواند بخشی از نیاز گیاهان به مواد مغذی را رفع نماید. کمترین و بیشترین مقادیر تأمین کود از طریق آبیاری با پساب، به‌ترتیب برای گیاهان جو و گوجه‌فرنگی به‌دست آمد که ارتباط مستقیمی‌با نیاز آبی این محصولات دارد.

آمار و اطلاعات اخذ شده از سازمان جهاد کشاورزی خراسان رضوی (۱) حاکی از این است که نرخ استفاده از کودهای نیتروژنه برای محصولات گندم، جو و گوجه‌فرنگی در منطقه مشهد به‌ترتیب معادل ۲۴۷/۷، ۲۳۵/۵، ۳۸۹/۵ کیلو گرم در هکتار می‌باشد. همچنین میزان کود فسفاته مورد استفاده در تولید محصولات گندم، جو و گوجه‌فرنگی نیز به‌ترتیب معادل ۱۴۹/۳، ۱۴۷/۱، ۳۴۹/۶ کیلو گرم در هکتار گزارش شده است. با مقایسه نتایج درج شده در جدول ۷ و مقادیر مذکور می‌توان چنین نتیجه گیری کرد که میزان نیتروژن و فسفر اعمال شده به خاک، در آبیاری این محصولات با پساب، از نرخ کوددهی متداول در مزارع منطقه کمتر است. به‌طوری که، بر اساس محاسبات، پساب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهر مشهد به‌طور متوسط می‌توانند ۳۳ درصد از نیاز گندم، جو و گوجه‌فرنگی به نیتروژن و ۲۱ درصد از نیاز محصولات مذکور به فسفر را تأمین نماید.

بر اساس هدف‌گذاری‌های انجام شده، نسبت استفاده از کودهای نیتروژن (N)، فسفر (P_2O_5)، پتاسیم (K_2O) و عناصر غذایی کم‌مصرف در منطقه کشاورزی خراسان به صورت ۱۰۰:۶۰:۱۵:۱ پیشنهاد گردیده است (۲۱). نتایج نشان می‌دهند که میانگین نسبت مقدار فسفر (P_2O_5) به نیتروژن (N) در پساب تصفیه‌خانه‌های اولنگ، پرکندآباد ۱ و پرکندآباد ۲ به‌ترتیب معادل ۰/۲۵، ۰/۲۴ و ۰/۳۳ است. لذا می‌توان چنین استنباط کرد که نسبت فسفر به نیتروژن در پساب تصفیه‌خانه‌های مورد مطالعه کمتر از نسبت کوددهی پیشنهادی برای مزارع منطقه است. بدیهی است با افزودن کودهای فسفره به خاک، با توجه به نوع خاک و محصول، می‌توان نسبت عناصر غذایی مذکور را به حالت تعادل توصیه شده نزدیک کرد.

تعیین ارزش اقتصادی پساب

هزینه‌های مربوط به استحصال آب و تأمین کود از جمله مهم‌ترین هزینه‌های تولید فرآورده‌های کشاورزی به‌شمار می‌آیند. از این رو کاربرد پساب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب می‌تواند از طریق تأمین آب و بخشی از کود مورد نیاز محصولات، بهره اقتصادی فعالیت‌های کشاورزی را افزایش دهد. به همین سبب در تحقیق حاضر، ارزش اقتصادی پساب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهر مشهد با مد نظر قرار دادن آب و کود مورد نیاز گیاهان در طی دوره رشد آن‌ها و بر اساس قیمت‌های سال ۱۳۸۸ مورد محاسبه قرار گرفت. برآورد ارزش اقتصادی پساب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهر مشهد از نظر تأمین آب و کود برای محصولات مورد بررسی به‌ترتیب در جداول ۸ و۹ ارائه گردیده است.

جدول ۸- ارزش اقتصادی پساب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهر مشهد از نظر تأمین آب کشاورزی در ٦ ماهه نخست سال (میلیون ریال)

محصول	اولنگ	پرکندآباد ۱	پرکندآباد ۲	مجموع
گندم	۴۲۳	۳۷۷	۱۱۷۲	۱۹۷۲
جو	۲۸۸	۲۸۰	۸۷۰	۱۴۳۸
گوجه‌فرنگی	۱۰۰۹	۱۰۴۲	۲۶۳۳	۴۶۸۴

جدول ۹ - کل ارزش اقتصادی محتوای کودی پساب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهر مشهد (میلیون ریال)

محصول	نیتروژن			فسفر			مجموع		
	اولنگ	پرکندآباد ۱	پرکندآباد ۲	اولنگ	پرکندآباد ۱	پرکندآباد ۲	اولنگ	پرکندآباد ۱	پرکندآباد ۲
گندم	۱۲/۰	۱۲/۵	۳۴/۷	۶/۴	۵/۹	۱۸/۱	۱۸/۴	۱۸/۴	۵۲/۸
جو	۸/۴	۹/۵	۲۶/۱	۴/۷	۴/۷	۱۴/۰	۱۳/۱	۱۴/۲	۴۰/۱
گوجه‌فرنگی	۱۶/۷	۱۶/۶	۴۶/۹	۹/۲	۸/۴	۲۷/۱	۲۵/۹	۲۵/۰	۷۴/۰

Archive of SID

www.SID.ir

همان‌طور که از نتایج ارائه شده در جدول ۸ بر می‌آید، استفاده از پساب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهر مشهد در آبیاری ۳ محصول رایج منطقه، صرفه‌جویی اقتصادی قابل توجهی را در پی دارد. به گونه‌ای که ارزش اقتصادی پساب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهر مشهد از نظر پتانسیل تأمین آب برای گیاهان گندم، جو و گوجه‌فرنگی در مجموع معادل ۸/۰۹۵ میلیارد ریال برآورد می‌گردد. بر اساس جدول ۹، مجموع کل ارزش اقتصادی محتوای کودی پساب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهر مشهد در آبیاری محصولات گندم، جو و گوجه‌فرنگی به‌ترتیب معادل ۸۹/۶، ۶۷/۴ و ۱۲۵/۰ میلیون ریال برآورد گردید. بنابراین می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که استفاده از پساب در آبیاری محصولاتی با نیاز آبی بالاتر، صرفه اقتصادی بیشتری را به دنبال خواهد داشت. در جدول ۱۰ کل هزینه‌های قابل تأمین از طریق کاربرد پساب در آبیاری محصولات متداول منطقه نشان داده شده است.

نتایج ارائه شده در جدول ۱۰ نشان می‌دهند که ارزش اقتصادی پساب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهر مشهد از نظر تأمین آب در مقایسه با ارزش اقتصادی محتوای کودی آن‌ها، به‌طور قابل توجهی بیشتر است. به‌طورکلی، مقایسه نتایج حاصل از این تحقیق و کل هزینه‌های تولید محصولات در منطقه مشهد، دلالت بر آن دارد که با استفاده از پساب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهر مشهد می‌توان به‌ترتیب ۳۳، ۳۱ و ۲۸ درصد از هزینه‌های تولید گندم، جو و گوجه‌فرنگی را کاهش داد.

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج به‌دست آمده در این تحقیق، پتانسیل تأمین آب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهر مشهد در آبیاری گندم، جو، گوجه‌فرنگی به‌ترتیب معادل ۹۶۲، ۸۷۰، ۷۲۹ هکتار می‌باشد. همچنین، نتایج مدل تلفیقی برآورد عناصر کودی قابل دسترس گیاه دلالت بر این دارد که کاربرد پساب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهر مشهد در آبیاری محصولات کشاورزی رایج در منطقه می‌تواند به‌ترتیب معادل ۸۷/۲، ۷۴/۴ و ۱۳۳/۶ کیلوگرم در هکتار از نیاز محصولات گندم، جو و گوجه‌فرنگی به نیتروژن و ۳۶/۷، ۳۱/۷ و ۶۲ کیلوگرم در هکتار از نیاز محصولات مذکور به فسفر را برطرف سازد. به عبارت دیگر استفاده از پساب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب اولنگ، پرکندآباد ۱ و پرکندآباد ۲ در آبیاری محصولات کشاورزی مورد بررسی به‌ترتیب ۳۳ و ۲۱ درصد از نیتروژن و فسفر مورد نیاز آن‌ها به را تأمین می‌نماید. با مد نظر قرار دادن نسبت کوددهی بهینه پیشنهاد شده از سوی مراجع ذی ربط نیز چنین نتیجه گیری می‌گردد که نسبت فسفر به نیتروژن در پساب تصفیه‌خانه‌های مورد مطالعه کمتر از نسبت کوددهی بهینه توصیه شده برای مزارع منطقه است. برآورد اقتصادی پتانسیل تأمین آب و ارزش کودی پساب در طی دوره کشت محصولات مورد بررسی نیز نشان داد که ارزش اقتصادی پساب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهر مشهد از نظر پتانسیل تأمین آب معادل ۸/۰۹۵ میلیارد ریال می‌باشد. علاوه بر این مجموع کل ارزش اقتصادی محتوای کودی پساب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهر مشهد در آبیاری محصولات گندم، جو و گوجه‌فرنگی به‌ترتیب معادل ۸۹/۶، ۶۷/۴ و ۱۲۵/۰ میلیون ریال برآورد شده است. نتایج تحلیل اقتصادی انجام شده همچنین حاکی از آن است که با استفاده از پساب تصفیه‌خانه‌های شهر مشهد می‌توان به‌ترتیب ۳۳، ۳۱ و ۲۸ درصد از هزینه‌های تولید گندم، جو و گوجه‌فرنگی را تأمین کرد.

جدول ۱۰ - کل هزینه‌های قابل تأمین در هکتار (هزار ریال در هکتار)

محصول	کود			آب			مجموع	
	اولنگ	پرکندآباد ۱	پرکندآباد ۲	اولنگ	پرکندآباد ۱	پرکندآباد ۲	اولنگ	پرکندآباد ۱	پرکندآباد ۲
گندم	۸۹/۳	۱۰۰/۳	۹۲/۲	۲۰۴۸/۹	۲۰۴۸/۹	۲۰۴۸/۹	۲۱۳۸/۲	۲۱۴۹/۲	۲۱۴۱/۱
جو	۸۴/۸	۸۴/۰	۷۶/۲	۱۶۵۳/۳	۱۶۵۳/۳	۱۶۵۳/۳	۱۷۲۸/۱	۱۷۳۷/۳	۱۷۲۹/۵
گوجه‌فرنگی	۱۵۸/۴	۱۸۲/۳	۱۷۲/۸	۶۱۵۲/۰	۶۱۵۲/۰	۶۱۵۲/۰	۶۳۱۰/۴	۶۳۳۹/۳	۶۳۲۴/۸

منابع

۱- سازمان جهاد کشاورزی خراسان رضوی. ۱۳۸۸. سالنامه آماری بخش کشاورزی ۱۳۸۷. معاونت برنامه ریزی و امور اقتصادی، اداره آمار و فن آوری اطلاعات و تجهیز شبکه.

۲- سودایی مشاعی ص.، علی اصغر زاده ن. و اوستان ش. ۱۳۸۶. سینتیک معدنی شدن نیتروژن در یک خاک تیمار شده با کمپوست، ورمی‌کمپوست و کود دامی. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. سال ۱۱، شماره ۴۲، ۴۱۴-۴۰۵.

۳- سهراب ف. و عباسی ف. ۱۳۸۷. ارزیابی بازده کاربرد آب آبیاری در سامانه‌های آبیاری طی چند دهه اخیر. دومین همایش ملی مدیریت

Archive of SID

www.SID.ir

شبکه‌های آبیاری و زه‌کشی. دانشگاه شهید چمران اهواز، دانشکده مهندسی آب، اهواز.
۴- شادکام س.، دانش ش.، علیزاده ا. و پروان م. ۱۳۸۵. بررسی استفاده مجدد از فاضلاب خام و پساب تصفیه شده بر هدایت هیدرولیکی بافت‌های مختلف خاک. مجموعه مقالات اولین همایش تخصصی مهندسی محیط زیست، تهران.
۵- شرکت مهندسی مشاور طوس آب. ۱۳۷۰. طرح جامع تأمین آب مشهد (گزارش هیدرولوژی). آرشیو فنی شرکت آب منطقه ای خراسان رضوی.
۶- شرکت مهندسی مشاور طوس آب. ۱۳۷۱. طرح جامع آبرسانی مشهد (اشاره ای کوتاه به سیمای آینده طرح). آرشیو فنی شرکت آب منطقه ای خراسان رضوی.
۷- شریفان ح.، قهرمان ب.، علیزاده ا. و میرلطیفی م. ۱۳۸۴. ارزیابی روش‌های مختلف تشعشعی و رطوبتی جهت برآورد تبخیر-تعرق مرجع و اثرات خشکی هوا بر آن در استان گلستان. مجله علوم آب و خاک. (۲)۱۹،۲۹۰-۲۸۰.
۸- علیزاده ا.، کمالی غ.ع.، خانجانی م.ج. و رهنورد م.ر. ۱۳۸۳. ارزیابی روش‌های برآورد تبخیر-تعرق در مناطق خشک ایران. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی. (۲)۱۹، ۱۰۵-۹۷.
۹- علیزاده ا. ۱۳۸۳. رابطه آب و خاک و گیاه. چاپ چهارم، انتشارات دانشگاه امام رضا (ع)، ۴۷۰ صفحه.
۱۰- فرشی ع.ا.، شریعتی م.ر.، جارالهی ر.، قائمی‌م.ر.، شهابی فر م. و تولایی م.م. ۱۳۷۶. برآورد آب مورد نیاز گیاهان عمده زراعی و باغی کشور. مؤسسه تحقیقات خاک و آب. نشر آموزش کرج.
۱۱- قاسمی‌س.ع. ۱۳۸۹. بررسی و ارزیابی کیفیت پساب تصفیه‌خانه‌ها به‌منظور استفاده در کشاورزی (مطالعه موردی: پساب تصفیه‌خانه‌های مشهد). پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی عمران- محیط زیست، دانشگاه فردوسی مشهد.
۱۲- محمدیان ا. ۱۳۸۲. اصلاح داده‌های هواشناسی برای تخمین تبخیر-تعرق گیاه مرجع در ایستگاه‌های هواشناسی غیر مرجع ایران. پایان نامه کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشگاه فردوسی مشهد.
۱۳- موسوی بایگی م.، عرفانیان م. و سرمدی م. ۱۳۸۸. استفاده از حداقل داده‌های هواشناسی برای برآورد تبخیر و تعرق گیاه مرجع و ارائه ضرایب اصلاحی (مطالعه موردی: استان خراسان رضوی). مجله آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). (۱)۲۲، ۹۹-۹۱.
14- Allen R.G., Smith M., Perrier A., and Pereira L.S. 1994. An update for definition of reference evapotranspiration. ICID Bull., 43(2): 1-35.
15- Allen R.G., Pereira L.S., Raes D., and Smith M. 1998. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper, 56, Rome, Italy.
16- Asano T. 2007. Water reuse: issues, technologies, and applications. McGraw-Hill Professional.
17- Cabon F., Girard G., and Ledoux E. 1991. Modelling of the nitrogen cycle in farm land areas. Fertilizer Research, 27: 161-169.
18- Camargo F.A.O., Gianello C., Riboldi J., Meurer E.J., and Bissani C.A. 2002. Empirical models to predict soil nitrogen mineralization. Rural, 32(3): 393-399.
19- Eaton A.D., American Public Health Association, Franson M.A.H., and American Water Works Association. 2005. Standard methods for the examination of water and wastewater. American Public Health Association.
20- Fatta D., and Kythreotou N. 2005. Wastewater as valuable water resource - concerns, constraints and requirements related to reclamation, recycling and reuse. IWA International Conference on Water Economics, Statistics, and Finance, Greece.
21- Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2005. Fertilizer use by crop in the Islamic Republic of Iran. First version, Rome.
22- Haer H.S., and Benbi D.K. 2003. Modeling nitrogen mineralization kinetics in arable soils of semiarid India. Arid Land Research and Management, 17(2): 153-168.
23- Hargreaves G.H. 1994. Defining and using reference evapotranspiration. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, ASCE, 120(6): 1132-1139.
24- Keremane G.B., and McKay J. 2007. Successful wastewater reuse scheme and sustainable development: a case study in Adelaide. Water and Environment Journal, 21: 83-91.
25- Kiziloglu F.M., Turan M., Sahin U., Kuslu Y., and Dursun A. 2008. Effects of untreated and treated wastewater irrigation on some chemical properties of cauliflower (*Brassica olerecea* L.var. botrytis) and red cabbage (*Brassica olerecea* L. var. rubra) grown on calcareous soil in Turkey. Agricultural Water Management, 95: 716-724.
26- Kuo S.F., Ho S.S., and Liu C.W. 2006. Estimation irrigation water requirements with derived crop coefficients for upland and paddy crops in ChiaNan Irrigation Association, Taiwan. Agricultural Water Management, 82: 433-451.
27- Lafolie F. 1991. Modelling water flow, nitrogen transport and root uptake including physical non-equilibrium and

Archive of SID

www.SID.ir

optimization of the root water potential. Fertilizer Research, 27: 215-231.
28- Li H., Han Y., and Cai. Z. 2003. Nitrogen mineralization in paddy soils of the Taihu Region of China under anaerobic conditions: dynamics and model fitting. Geoderma, 115(3-4): 161-175.
29- Marchetti R., Donatelli M., and Spallacci P. 1997. Testing denitrification functions of dynamic crop models. Journal of Environmental Quality, 26: 394-401.
30- Meli S., Porto M., Belligno A., Bufo S.A., Mazzatura A., and Scopa A. 2002. Influence of irrigation with lagooned urban wastewater on chemical and microbiological soil parameters in a citrus orchard under Mediterranean condition. The Science of the Total Environment, 285: 69-77.
31- Misselbrook T.H., Sutton M.A., and Scholefield D. 2004. A simple process-based model for estimating ammonia emissions from agricultural land after fertilizer applications. Soil Use and Management, 20: 365-372.
32- Oron G., Gillerman L., Bick A., Mnaor Y., Buriakovsky N., and Hagin J. 2007. Advanced low quality waters treatment for unrestricted use purposes: Imminent challenges. Desalination, 213: 189-198.
33- Pacholski A., Cai G.X., Nieder R., Richter J., Fan X.H., Zhu Z.L., and Roelcke M. 2006. Calibration of a simple method for determining ammonia volatilization in the field e comparative measurements in Henan Province, China. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 74(3): 259-273.
34- Pacholski A., Cai G.X., Fan X.H., Ding H., Chen D.L., Nieder R., and Roelcke M. 2008. Comparison of different methods for the measurement of ammonia volatilization after urea application in Henan Province, China. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 171(3): 361-369.
35- Rusan M.J.M., Hinnawi S., and Rousan L. 2007. Long term effect of wastewater irrigation of forage crops on soil and plant quality parameters. Desalination, 215: 143-152.
36- Wang J.F, Wang G.X., and Wanyan H. 2007. Treated wastewater irrigation effect on soil, crop and environment: wastewater recycling in the loess area of China. Journal of Environmental Sciences, 19: 1093-1099.
37- World Health Organization. 2006. WHO guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater, Volume 2 of Wastewater use in agriculture, Geneva.
38- Zhang Y., Luan S., Chen L., and Shao M. 2011. Estimating the volatilization of ammonia from synthetic nitrogenous fertilizers used in China. Journal of Environmental Management, 92: 480-493.

Archive of SID

www.SID.ir

Journal of Water and Soil
Vol. 25, No. 5, Nov-Des 2011, p. 1172-1183

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۵، شماره ۵، آذر - دی ۱۳۹۰، ص. ۱۱۸۳-۱۱۷۲

Assessment of the Municipal Wastewater Treatment Plants' Effluents Based on Water and Fertilizer Values

S.A. Ghassemi[1]**- Sh. Danesh**[2*]**- A. Alizadeh**[3]

Received:19-2-2011
Accepted:7-8-2011

Abstract

One of the major aspects of water resources management in the arid and semi-arid regions is the use of unconventional water sources such as effluents from wastewater treatment plants. As a result, assessment of water supply potential as well as fertilizer values of these unconventional water sources is an important issue in any comprehensive resource management program. In this study, the water supply potential and fertilizer values of the effluents from the City of Mashhad wastewater treatment plants (Olang, Parkand-Abad #1 & Parkand-Abad #2) was assessed based on: 1) the effluents' nitrogen and phosphorus contents, 2) common types of agricultural crops in the region (wheat, barley, tomato), and 3) the crops water and fertilizer requirements over their growing season. The results of this research indicated that the water supply potential of the effluents from above mentioned wastewater treatment plants for irrigation of wheat, barley and tomato are equivalent to 962, 870 and 729 hectares, respectively. Moreover, based on the results of the integrated model used in this research, the use of the effluents can provide 87.2, 74.4 and 133.6 $kg.ha^{-1}$ available nitrogen and 36.7, 31.7 and 62.0 $kg.ha^{-1}$ phosphorus for wheat, barley and tomato, respectively. In terms of economic assessments, the water value of the effluents corresponded to 89.6×10^6 Rials for wheat, 67.4×10^6 Rials for barley, and 125.0×10^6 Rials for tomato. In terms of fertilizer value, the corresponding economic assessment represented values of 1.97×10^9, 1.44×10^9, and 4.68×10^6 Rials. In general, the net results of the economic analysis performed indicated that the use of the effluents from the City of Mashhad wastewater treatment plants in agriculture can reduce the cost of production by 33, 31 and 28 percent for wheat, barley and tomato, respectively.

Keywords: Wastewater, Agriculture, Water Resource, Nitrogen, Phosphorus, Economic Analysis

Archive of SID

1,2- Former MSc Student and Associate Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Ferdowsi University of Mashhad
(*-Corresponding Author Email: sdanesh@ferdowsi.um.ac.ir)
3- Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

www.SID.ir