روابط خاک و گیاه/ سال سیزدهم / شماره چهارم / زمستان ۱۴۰۱ / صفحات ۸۷-۷۱ مقاله پژوهشی
DOI: 10.47176/jspi.13.4.20362 EISSN: 2783-5286 https://jspi.iut.ac.ir

تغییرات مقادیر نیتروژن و فسفر خاک زراعی تحت کشت جو در اثر آبیاری با فاضلاب تصفیه‌شده

هادی سلطانی[1] و بابک سوری*

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۶/۳۱؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۲۷)

چکیده

استفاده مستقیم از فاضلاب شهری خام برای آبیاری زراعی می‌تواند عواقب زیان‌بار بسیاری را ایجاد کند. بنابراین، پساب تصفیه‌شده از طریق فناوری‌های مختلف برای استفاده دوباره به‌ویژه در مناطق کم‌آب مورد توجه قرار گرفته است. هدف این پژوهش مقایسه کاربرد پساب تصفیه‌شده فاضلاب شهری نسبت به آب چاه بر میزان نیترات و فسفات در خاک زراعی تحت کشت جو بود. بدین منظور یک قطعه زمین زراعی به مساحت ۲۰۰۰ مترمربع به دو قسمت مساوی ۱۰۰۰ مترمربعی تقسیم شد که برای یک فصل رشد، یک قطعه آن با آب چاه و قطعه دیگر با آب فاضلاب تصفیه‌شده آبیاری شد؛ ضمن آنکه کیفیت این دو منبع آبی نیز در آزمایشگاه تعیین شد. تعداد ۲۸ نمونه خاک نیز از هر یک از دو قطعه زمین (در مجموع تعداد ۵۶ نمونه) از لایه ۲۰-۰ سانتی‌متری تهیه شده و در آزمایشگاه مورد تجزیه و اندازه‌گیری قرار گرفت. روش درون‌یابی وزن‌دهی فاصله معکوس نیز به‌منظور تعیین توزیع مکانی ویژگی‌های خاک به‌کار رفت. نتایج نشان داد که میانگین غلظت فسفات، پتاسیم و سدیم اندازه‌گیری‌شده در پساب تصفیه‌شده بسیار بیش‌تر از آب چاه بود و کاربرد پساب تصفیه‌شده فاضلاب شهری به‌طور معنی‌داری بر غلظت آمونیوم، فسفات و نیترات و نیتروژن کل خاک مؤثر بود. همچنین استفاده از پساب تصفیه‌شده شهری برای آبیاری توانست عملکرد گیاه جو (*Hordeum vulgare*) را نسبت به تیمار آب چاه بهبود بخشد. قابل توجه آن‌که مدیریت مناسب در بهره‌گیری از فاضلاب تصفیه‌شده و انتخاب گیاهانی که بتوانند آثار زیان‌بار استفاده از این منبع آبی را بر ویژگی‌های خاک و عملکرد محصول به حداقل برسانند، اهمیت زیادی دارد.

واژه‌های کلیدی: آب‌های نامتعارف، محصول جو، فاضلاب، آب چاه، ویژگی‌های خاک.

مقدمه

آب یک جزء ضروری در تولید محصولات کشاورزی است. از مجموع منابع آب شیرین برداشت‌شده در جهان (۳۹۰۶/۷۰ کیلومتر مکعب در سال)، حدود ۷۰ درصد برای اهداف کشاورزی استفاده می‌شود (۶). در اکثر مناطق خشک و نیمه-خشک جهان از جمله زمین‌های کشور ایران (بیش‌تر از ۸۰ درصد)، بحران آب به عنوان یکی از مشکلات اساسی در مسیر کشاورزی پایدار به‌شمار می‌رود (۱۱). با توجه به محدودیت-های آبی و همچنین افزایش مصرف آب، استفاده از منابع آبی نامتعارف به‌عنوان راه‌حلی برای رفع نیازهای آبی کشاورزی در

۱- گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران
* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: bsouri@uok.ac.ir

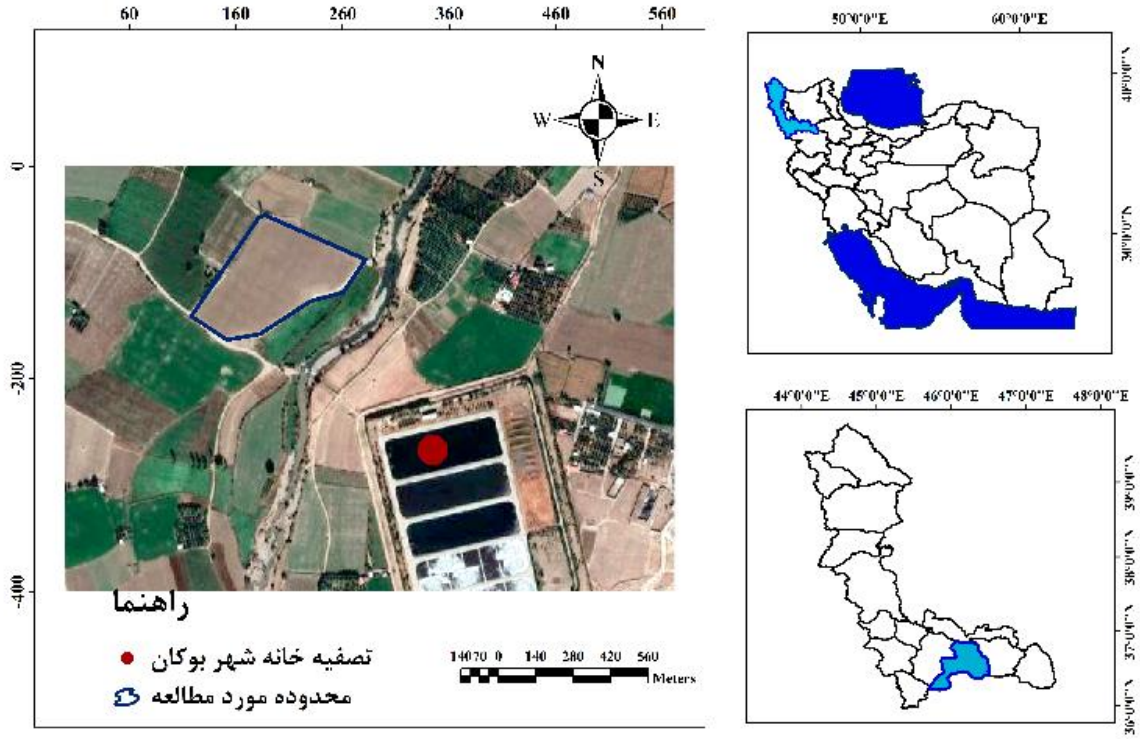
نظر گرفته شده است (۲۳). منابع آبی نامتعارف به آن دسته از آب‌هایی گفته می‌شود که به‌صورت معمول نمی‌توان از آن‌ها استفاده کرد. به طور کلی آب‌های نامتعارف را می‌توان در سه دسته تقسیم‌بندی کرد: آب‌های شور، زهاب و فاضلاب که مورد اخیر معمولاً از سه منشاء شهری، صنعتی و کشاورزی حاصل می‌شود (۲۰). فاضلاب به‌دست آمده از مصرف آب در زندگی روزمره انسان از ۹۹/۹ درصد آب و ۰/۱ درصد مخلوطی از مواد معلق معدنی، آلی و گازها تشکیل شده است (۲۱). از این‌رو به‌کارگیری فاضلاب و پساب در کشت محصولات زراعی علاوه بر کمک به ارتقاء سلامت محیط زیست می‌تواند نیاز به استفاده از کودهای شیمیایی را کاهش دهد (۲). این موضوع به‌ویژه از نظر نقشی که خاک در انتقال آلودگی‌ها به سایر اجزای محیط زیست دارد قابل توجه است (۳۷). به‌علاوه بسیاری از پژوهش‌ها اهمیت استفاده از پساب در تولید محصولات زراعی مانند جو، گندم، ذرت و ماشک را گزارش کرده‌اند (۸، ۱۳، ۲۲ و ۳۳). سازمان بهداشت جهانی (۲۰۰۶) گزارش کرده است که از طریق آبیاری ۱ متر مربع زمین زراعی با ۱/۵ مترمکعب فاضلاب، می‌توان سالانه حدود ۲۲۵ کیلوگرم نیتروژن و ۴۵ کیلوگرم فسفر به خاک هر هکتار زمین زراعی اضافه کرد که در چنین شرایطی استفاده از کودهای آلی و شیمیایی به‌ویژه در مناطق نیمه‌خشک به‌حداقل می‌رسد (۴۸).

یکی از موضوعاتی که توجه پژوهش‌گران و دوست‌داران محیط زیست را به خود جلب کرده است، مواد شیمیایی فاضلاب و فلزات سنگین به‌ویژه آن‌هایی است که می‌توانند به خاک، گیاه و در نهایت زنجیره غذایی وارد شوند (۳). اگرچه فاضلاب تصفیه‌شده دارای مقادیر قابل توجهی از مواد مغذی مفید برای بهبود رشد و عملکرد گیاه است، پساب فاضلاب ممکن است دارای سطوح بالایی از فلزات سنگین مانند کادمیوم، سرب و آلاینده‌های آلی باشد (۱۵ و ۱۶). بنابراین استفاده پایدار از فاضلاب در بخش کشاورزی نیازمند اعمال مدیریت صحیح مصرف و پایش کیفی و میکروبی خاک‌های زراعی آبیاری‌شده با فاضلاب است. کاربرد پساب در کشاورزی با فواید زیادی همراه است اما ممکن است موجب بروز مسائل بهداشتی، کاهش کیفیت خاک و بنابراین کاهش کمیّت و کیفیت محصول شود که نگرانی‌ها در مورد کاربرد بلندمدت پساب را افزایش خواهد داد (۴). از جمله اینکه آبیاری مستمر خاک‌ها با پساب می‌تواند ویژگی‌های فیزیکی (تخلخل و هدایت هیدرولیکی) و شیمیایی (شوری و سدیمی بودن) خاک را تغییر دهد. همچنین فلزات سنگین موجود در پساب می‌توانند در خاک انباشته شده، توسط گیاهان جذب شده و در بافت‌های مختلف گیاهان زراعی تجمع یابند که این امر یکی از مسائل و دغدغه‌های بخش سلامت است (۷).

استفاده دوباره از پساب تصفیه‌شده برای تولید جو و چگونگی واکنش ارقام مختلف جو به آبیاری با استفاده از پساب تصفیه‌شده نیاز به بررسی دارد چرا که محصول جو برای تأمین علوفه دام مهم است و سلامت علوفه تأثیر مستقیمی بر سلامت انسان دارد (۱۱). با توجه به اهمیت سلامت دام و تغذیه انسان در توسعه کشاورزی پایدار، این پژوهش با هدف مقایسه کاربرد پساب تصفیه‌شده فاضلاب شهری نسبت به آب چاه بر غلظتنیترات و فسفات در خاک زراعی تحت کشت جو انجام شد.

مواد و روش‌ها

محدوده مطالعاتی این پژوهش زمین‌های زراعی شهرستان بوکان با مختصات جغرافیایی °۳۶ درجه و ۳۱ دقیقه عرض شمالی و °۴۶ درجه وَ ۱۲ دقیقه طول شرقی واقع در جنوب استان آذربایجان غربی، شمال غربی ایران است که ارتفاع آن از سطح دریای آزاد ۱۳۷۰ متر و دارای میانگین بارندگی سالانه ۴۲۸ میلی‌متر و میانگین دمای سالانه ۱۲/۱ درجه سلسیوس است (شکل ۱). کاربری زمین‌های این محدوده عمدتاً کشاورزی آبی است و غالباً تحت کشت جو، یونجه، گندم و چغندرقند قرار داشته و کودهای اوره و تری‌کلسیم فسفات از جمله کودهای رایج مورد استفاده در این زمین‌ها هستند. منابع آب آبیاری این زمین‌ها نیز پساب تصفیه‌شده خروجی از تصفیه‌خانه فاضلاب



شکل ۱. محدوده مطالعاتی واقع در شمال غرب ایران

Fig. 1. Study area located in northwestern Iran

شهر بوکان و یا چاه است که به روش غرقاب برای آبیاری این زمین‌ها به‌کار می‌روند (۳۳).

نمونه‌برداری خاک از زمین‌های زراعی واقع در شمال شهر بوکان و به فاصله ۱۷۵ متری از تصفیه‌خانه در پهنه‌ای به ابعاد ۴۰×۵۰ مترمربع با مساحت ۲۰۰۰ متر مربع تحت کشت محصول جو که پیش از انجام پژوهش حاضر صرفاً با آب چاه آبیاری می‌شد انجام گرفت. این قطعه زمین به دو قسمت مساوی ۱۰۰۰ مترمربعی (هر یک با ابعاد ۲۵×۴۰ مترمربع) تقسیم شد که برای یک فصل رشد یک قطعه آن با آب چاه و قطعه دیگر با آب فاضلاب تصفیه‌شده تصفیه‌خانه شهر بوکان آبیاری شد. نمونه‌های خاک در دو مقطع زمانی یکی پیش از کشت محصول و دیگری در انتهای فصل کشت مطابق با شبکه‌ای از نقاط با فواصل ۵×۵ متر از یکدیگر و با فاصله ۵ متر از مرز محیطی هر یک از دو قطعه زمین شاهد و تیمار (مجموعاً ۵۶ نمونه شامل: ۲۸ نمونه شاهد و ۲۸ نمونه تیمار) از لایه ۲۰-۰ سانتی‌متری تهیه شد. برای تعیین pH و رسانایی الکتریکی (EC) خاک، از نسبت ۱:۱ خاک:آب مقطر استفاده شد (۲۸). میزان کربن آلی خاک پس از هضم اسید از طریق تیتراسیون تعیین شد (۳۶). به‌منظور اندازه‌گیری کربنات کلسیم از روش خنثی‌سازی اسید اضافی برای حذف کربنات‌های خاک استفاده شد (۲۹). از روش هیدرومتری و باور به‌ترتیب برای تعیین بافت خاک (درصد ذرات رس، سیلت و شن) (۹) و گنجایش تبادل کاتیونی (۷) استفاده شد. آمونیوم، فسفات، نیترات و نیتروژن کل خاک به‌ترتیب با استفاده از روش‌های اندوفنول بلو (۲۶)، اولسن (۲۵)، سالسیلیک (۳۵) و کجلدال (۳۴) تعیین شدند.

کیفیت منابع آب آبیاری (شامل pH، EC، فسفات، سولفات، نیترات، پتاسیم (K)، سدیم (Na)، کل جامدات محلول و سختی

کل) بر اساس دستورالعمل و روش‌های اندازه‌گیری استاندارد سنجش شد (۵).

بهمن رقم انتخابی جو در پژوهش حاضر در تاریخ ۱۴۰۰/۰۸/۱۵ با رعایت اصول اولیه کشت و با روش غرقاب در طول دوره داشت تا زمان زردشدگی برگ و رسیدن فیزیولوژیک گیاه آبیاری شد. عملیات نمونه‌برداری و برداشت محصول جو نیز پس از رسیدگی کامل گیاه در تاریخ ۱۴۰۱/۰۴/۰۸ صورت گرفت.

تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل از اندازه‌گیری ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، منابع آب آبیاری و عملکرد محصول به کمک نرم‌افزار آماری SPSS نسخه ۲۲ انجام شد. با توجه به نرمال‌بودن داده‌ها به‌منظور بررسی آثار ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک اولیه و منابع آب آبیاری بر ویژگی‌های خاک نهایی و عملکرد محصول جو به‌ترتیب از آزمون‌های همبستگی پیرسون، آزمون تعقیبی دانکن[1] و آزمون t غیرجفتی[2] استفاده شد. برای تعیین توزیع مکانی ویژگی‌های خاک نهایی نیز نقشه‌های مربوطه با استفاده از روش درون‌یابی وزن‌دهی فاصله معکوس[3] IDW در محیط نرم‌افزار ArcGIS نسخه ۱۰/۶ تهیه شد.

نتایج و بحث

ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک اولیه

داده‌های توصیف آماری مربوط به ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی نمونه‌های خاک اولیه در جدول (۱) ارائه شده است. بر اساس یافته‌های به‌دست آمده مقادیر میانگین pH بیش از ۷، EC برابر ۰/۵۶۷ دسی‌زیمنس بر سانتی‌متر و کربنات کلسیم معادل (CCE) برابر ۴/۷۵ درصد تعیین شدند. کلاس بافت خاک لوم سیلت و کربن آلی خاک کم (۱/۲۷ درصد) بود (۳۱). میانگین غلظت آمونیوم، فسفات و نیترات نیز به‌ترتیب ۱۰/۲۸، ۱۵/۸۶ و ۴۵/۸۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم و نیتروژن کل خاک ۰/۱۸ درصد بود. میانگین غلظت نیترات از حد بحرانی نیترات در خاک بیش‌تر بود. این در حالیی است که میانگین غلظت نیترات در خاک‌های زراعی برابر ۵/۴۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم است (۲۸). میانگین غلظت آمونیوم در خاک‌های محدوده مورد بررسی نیز برابر ۱۰/۲۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم به‌دست آمد. بر اساس گزارش بازرسی حفاظت محیط زیست[4] (EPI) (۱۴) کم‌ترین و بیش‌ترین مقادیر مجاز غلظت آمونیوم در خاک‌های زراعی به‌ترتیب برابر ۰/۴۳ و ۴۲/۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم است. از این‌رو می‌توان بیان کرد که در خاک‌های مورد بررسی در پژوهش حاضر، غلظت آمونیوم کم‌تر از حد بحرانی است.

ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی منابع آب آبیاری

داده‌های توصیف آماری مربوط به ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آب آبیاری (n=۶) مورد استفاده برای تیمارهای آب چاه و پساب تصفیه‌شده در جدول (۲) نشان داده شده است. مشاهده می‌شود مقادیر pH در آب چاه و پساب تصفیه‌شده به‌ترتیب برابر ۶/۷۷ و ۷/۹۰ بود. کل جامدات محلول آب چاه در محدوده ۳۹۷ الی ۴۳۵ میلی‌گرم بر لیتر و پساب تصفیه‌شده در محدوده ۲۹۲ الی ۳۱۶ میلی‌گرم بر لیتر قرار داشت. میانگین غلظت فسفات، نیترات، پتاسیم و سدیم اندازه‌گیری‌شده به‌ترتیب در تیمارهای آب چاه برابر ۰/۳۶، ۲۲/۱۰، ۲/۵۶ و ۰/۴۷ میلی‌گرم بر لیتر و در پساب تصفیه‌شده برابر ۵/۴۱، ۱۰/۷۳، ۳۷۷/۶۶ و ۰/۷۴ میلی‌گرم بر لیتر بود.

ارتباط بین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک اولیه

همبستگی پیرسون ارتباط معنی‌داری بین برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک اولیه نشان داد (جدول ۳). بین pH و EC خاک محدوده مورد بررسی ($p < ۰/۰۱$) رابطه منفی و معنی‌داری مشاهده شد. به‌علاوه بین EC و درصد رس رابطه مثبت و معنی‌داری ($p < ۰/۰۵$) وجود داشت. pH خاک به‌صورت تابع توانی (غیرخطی) با EC خاک رابطه منفی داشت

1. Duncan post hoc test
2. Unpaired *t*-test
3. Inverse Distance Weighting
4. Environmental Protection Inspection

جدول ۱. ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک اولیه

Table 1. Physicochemical properties of primary soil

پارامتر Parameter	واحد Unit	حداقل Minimum	حداکثر Maximum	میانگین Mean	انحراف معیار Standard deviation
pH	–	6.57	7.50	7.05	0.15
هدایت الکتریکی Electrical conductivity	$dS\ m^{-1}$	0.383	0.677	0.567	0.076
کربن آلی Organic carbon	%	0.69	1.88	1.27	0.27
کربنات کلسیم ($CaCO_3$) Calcium carbonate	%	1.25	7.50	4.75	1.75
آمونیوم Ammonium	$mgkg^{-1}$	4.20	17.43	10.28	3.50
فسفات Phosphate	$mgkg^{-1}$	11.29	25.99	15.86	2.58
نیترات Nitrate	$mgkg^{-1}$	36.76	72.39	45.88	7.17
نیتروژن کل Total nitrogen	%	0.15	0.22	0.18	0.01
گنجایش تبادل کاتیونی Cation exchange capacity	$cmol\ kg^{-1}$	12.27	21.27	15.64	2.42
رس Clay	%	18	28	22.07	2.34
سیلت Silt	%	39.44	56.44	52.19	6.38
شن Sand	%	10.56	36.56	25.73	6.78

زیرا چندین عامل دیگر مانند مواد معدنی، تخلخل، بافت، رطوبت و دمای خاک وجود دارد که بر رسانایی الکتریکی خاک تأثیر می‌گذارند (۴۲). بین فسفات با کربن آلی و کربنات کلسیم خاک در محدوده مورد بررسی ($p < ۰/۰۱$) رابطه مثبت و معنی‌داری مشاهده شد. در پژوهش بیات و همکاران (۴)، میزان فسفات خاک در زمین‌های جنوب شهر تهران، همبستگی مثبت و معنی‌داری با محتوای کربن آلی خاک در لایه رویین گزارش شد. بر اساس یافته‌های توفیقی و شیرمردی (۴۱)، با افزایش درصد CCE در چهار نوع خاک غیرآهکی، میانگین بازیابی فسفر به‌طور معناداری ($p < ۰/۰۵$) افزایش یافت اگرچه این اثر در همه خاک‌ها یکسان نبود، به‌طوری که در یک خاک افزایش درصد CCE تا ۳۵ درصد هیچ تأثیری بر بازیابی فسفر نداشت. به‌علاوه بین CCE و نیتروژن کل خاک در محدوده مورد بررسی ($p < ۰/۰۵$) رابطه مثبت و معنی‌داری مشاهده شد.

جدول ۲. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی منابع آب آبیاری.

Table 2. Physical and chemical characteristics of irrigation water sources.

پارامتر Parameter	واحد Unit	تیمار Treatment	کمینه Minimum	بیشینه Maximum	میانگین Mean	انحراف معیار Standard deviation
pH	–	آب چاه Well water	6.53	7.10	6.77	0.29
		پساب تصفیه‌شده Treated wastewater	7.60	8.10	7.90	0.26
رسانایی الکتریکی Electrical conductivity	$\mu S\ m^{-1}$	آب چاه Well water	784	795	788.33	5.85
		پساب تصفیه‌شده Treated wastewater	1008	1015	1011	3.60
فسفات Phosphate	$mg\ L^{-1}$	آب چاه Well water	0.30	0.40	0.36	0.05
		پساب تصفیه‌شده Treated wastewater	2.12	11	5.41	4.86
سولفات Sulphate	$mg\ L^{-1}$	آب چاه Well water	53	67	60.66	7.09
		پساب تصفیه‌شده Treated wastewater	65	87	70.66	6.65
نیترات Nitrate	$mg\ L^{-1}$	آب چاه Well water	20.40	24.10	22.10	1.86
		پساب تصفیه‌شده Treated wastewater	9.70	11.40	10.73	0.90
پتاسیم K	$mg\ L^{-1}$	آب چاه Well water	2.40	2.70	2.56	0.15
		پساب تصفیه‌شده Treated wastewater	364	372	377.66	4.04
سدیم Na	mgL^{-1}	آب چاه Well water	0.45	0.49	0.47	0.02
		پساب تصفیه‌شده Treated wastewater	0.72	0.78	0.74	0.03
کل جامدات محلول Total dissolved solids	$mg\ L^{-1}$	آب چاه Well water	397	435	416.33	19.55
		پساب تصفیه‌شده Treated wastewater	292	316	301.66	12.66
سختی کل Total hardness	–	آب چاه Well water	292	305	297.33	6.80
		پساب تصفیه‌شده Treated wastewater	221	224	222.26	1.52

جدول ۳. همبستگی پیرسون بین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک اولیه.

Table 3. Pearson's correlation between the initial soil physical and chemical characteristics.

	pH	رسانایی الکتریکی Electrical conductivity (EC)	کربن آلی Organic carbon (OC)	کربنات کلسیم معادل Calcium carbonate equivalent (CCE)	آمونیوم Ammonium	فسفات Phosphate	نیترات Nitrate	نیتروژن کل Total nitrogen (TN)	گنجایش تبادل کاتیونی Cation exchange capacity (CEC)	رس Clay	سیلت Silt	شن Sand
pH	1											
رسانایی الکتریکی Electrical conductivity (EC)	-0.472**	1										
کربن آلی Organic carbon (OC)	0.332	-0.202	1									
کربنات کلسیم معادل Calcium carbonate equivalent (CCE)	-0.075	-0.004	-0.530**	1								
آمونیوم Ammonium	-0.102	-0.124	-0.548**	0.160	1							
فسفات Phosphate	-0.105	0.043	0.788**	0.415**	0.565**	1						
نیترات Nitrate	0.045	0.013	0.034	-0.022	-0.001	0.046	1					
نیتروژن کل Total nitrogen (TN)	-0.228	0.034	-0.250	0.287*	-0.093	0.160	-0.087	1				
گنجایش تبادل کاتیونی Cation exchange capacity (CEC)	0.052	-0.071	0.408**	-0.164	-0.489**	-0.476**	-0.103	-0.068	1			
رس Clay	0.058	0.297*	0.205	-0.072	-0.031	-0.131	-0.016	0.139	0.166	1		
سیلت Silt	0.114	-0.257	0.250	-0.122	-0.110	-0.093	0.068	-0.058	0.083	-0.003	1	
شن Sand	-0.128	0.153	0.320*	0.153	0.136	0.167	-0.035	-0.030	-0.134	-0.319*	-0.939**	1

* همبستگی معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ ** همبستگی معنی‌دار در سطح ۰/۰۱

* Correlation significant at the level of 0.05 ** Correlation significant at the level of 0.01

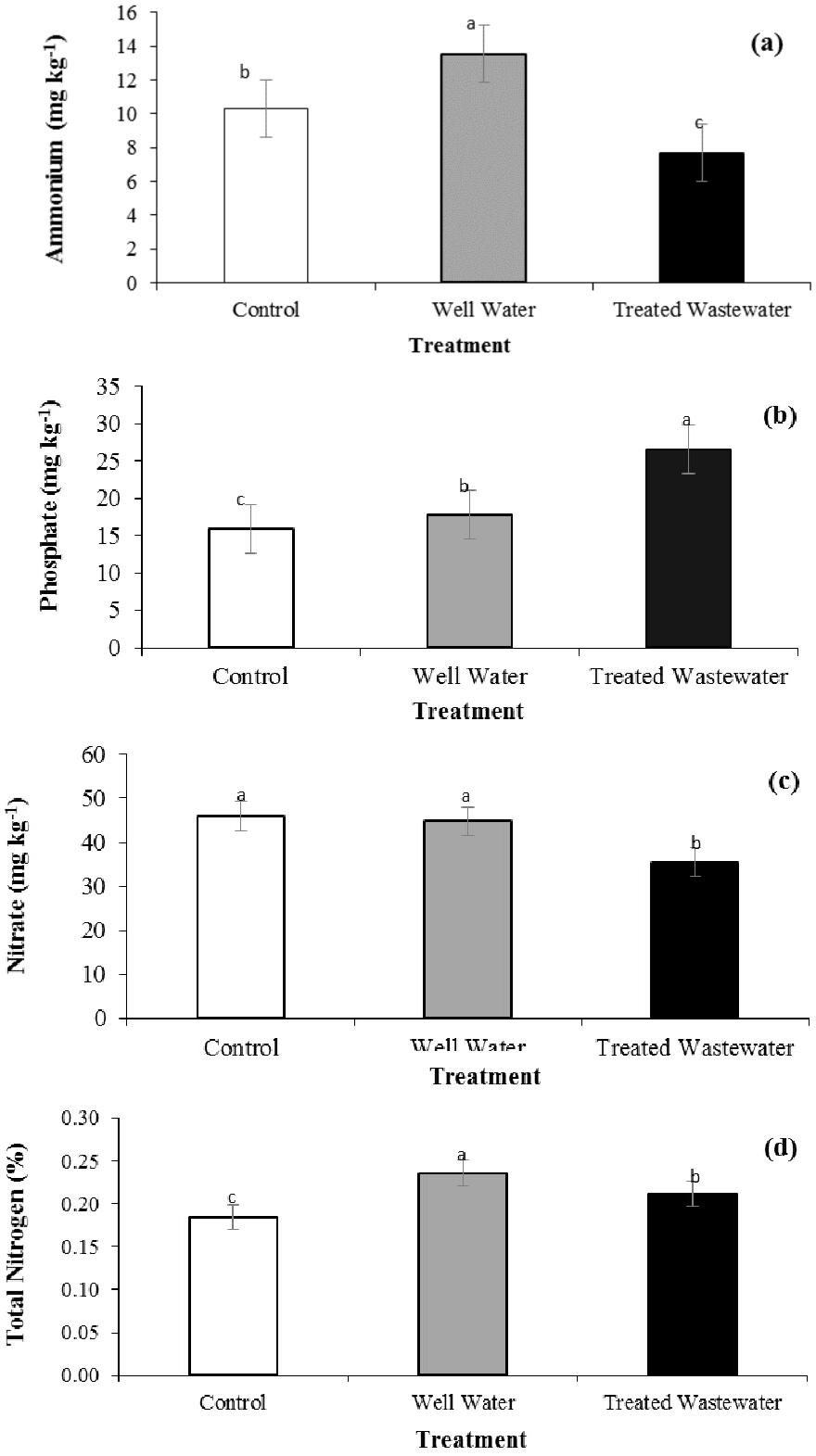
در پژوهش چوی و همکاران (۱۱)، مقدار نیتروژن تصعیدشده از خاک به‌صورت گاز آمونیاک با افزایش مقدار کربنات کلسیم خاک، مقدار بقایای گیاهی و همچنین سطح نیتروژن مصرفی افزایش یافت. بین کربن آلی و درصد شن خاک محدوده مورد بررسی نیز رابطه مثبت و معنی‌داری ($p < ۰/۰۵$) وجود داشت. بافت خاک تأثیر مهمی بر ماده آلی خاک دارد به‌طوری که مقادیر زیاد ماده آلی و بیش‌ترین حفاظت فیزیکی و شیمیایی خاک از مواد آلی در خاک‌های رسی رخ می‌دهد. عواملی دیگر مانند تهویه مناسب برای اکسیداسیون مواد آلی در خاک‌های شنی منجر به مقادیر کم‌تر کربن آلی در مقایسه با خاک‌های رسی (که هدررفت تنفسی کم‌تر دارند) می‌شود (۳۶). در پژوهش حاضر همبستگی پیرسون ارتباط معنی‌داری بین غلظت آمونیوم با کربن آلی و فسفات خاک مشاهده شد. به استناد پژوهش‌های پیشین مهم‌ترین عوامل تعیین‌کننده محتوای نیتروژن در خاک عبارتند از: چگالی ظاهری، مقدار رس، ماده آلی، pH، آب و هوا، پوشش گیاهی، توپوگرافی زمین و فعالیت انسانی (۵ و ۴۳). افزودن بقایای گیاهی و مواد آلی به خاک ممکن است منجر به افزایش مقادیر نیتروژن خاک به دلیل ایجاد تغییر در فرایندهای نیتریفیکاسیون و دنیتریفیکاسیون و کاهش تصاعد نیتروژن و آبشویی نیترات شود (۷). اعتقاد بر این است که افزودن آمونیوم باعث تحریک فعالیت فسفاتاز می‌شود ضمن اینکه با کاهش غلظت آمونیوم فعالیت فسفاتاز نیز ممکن است کاهش یابد (۳۶).

ویژگی‌های خاک پس از آبیاری با پساب و آب چاه

آبیاری با فاضلاب تصفیه‌شده شهری می‌تواند باعث ایجاد تغییر در ویژگی‌هایی از خاک شود که نقش مهمی در انتقال، نگهداری و حرکت مواد مغذی موجود در پساب مورد استفاده ایفا می‌کنند (۱۷). نتایج آمونیوم و نیترات خاک تحت تیمار پساب تصفیه‌شده نسبت به تیمار آب چاه نشان داد که به‌صورت روند نزولی به‌ترتیب (۱۳/۵۳ تا ۷/۶۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم و ۴۴/۷۹ تا ۳۵/۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) تغییر کرده است (شکل ۲).

یکی از منابع عمده آلودگی آب‌های زیرزمینی نشت شیرابه ناشی از دفن زباله‌های شهری به‌ویژه در مواردی است که دفن زباله در زمین‌های شنی و با عمق کم سفره‌های آب‌های زیرزمینی صورت گرفته باشد. همچنین در اثر شستشوی نمک‌ها و ترکیبات کودهای شیمیایی مصرفی در بخش کشاورزی مقدار زیادی از آن‌ها از طریق آبشویی به عمق زمین رفته و وارد آب‌های زیرزمینی می‌شوند که از آن جمله می‌توان به آلودگی نیتراتی آب‌های زیرزمینی اشاره کرد (۲۴). با توجه به این‌که محدوده مورد بررسی در مجاورت مکان دفن زباله (با فاصله تقریبی چهار کیلومتر) قرار دارد، این مهم می‌تواند دلیلی بر آلودگی بیش‌تر آب چاه به نیترات و آمونیوم باشد. از سوی دیگر هنگام محاسبه میزان کود نیتروژنی که باید به خاک داده شود بایستی سهم نیتروژنی که از طریق تبخیر از دست رفته نیز در نظر گرفته شود (۱۸).

مقایسه خاک آبیاری‌شده (پساب و آب چاه) با نمونه‌های خاک اولیه نشان داد که غلظت فسفات (۱۵/۸۷ تا ۲۶/۴۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و نیتروژن کل خاک (۰/۱۸ تا ۰/۲۱ درصد) به‌طور معنی‌داری افزایش یافته است (شکل ۲). براساس گزارش‌های پیشین، در برخی موارد کاربرد فاضلاب تصفیه‌شده غلظت نیتروژن کل و فسفر را به‌ترتیب حتی تا ۴ و ۸ برابر بیش‌تر از نیاز گیاهان علوفه‌ای افزایش داده است (۲۷). نتایج پژوهش گالاوی و همکاران (۱۱) حاکی از آن است که میانگین‌های غلظت نیتروژن کل و فسفر خاک به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تیمارهای آبیاری قرار گرفته است، به‌طوری که بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار نیتروژن کل خاک به‌ترتیب مربوط به آبیاری با فاضلاب تصفیه‌شده در تمام فصل رشد و آبیاری با آب چاه (تیمار شاهد) بوده است. نتایج پژوهش‌های دیگر نیز نشان داد که مقادیر نیتروژن و فسفر خاک تحت تأثیر آبیاری با فاضلاب تصفیه‌شده شهری یا لجن فاضلاب افزایش یافته است (۱۰ و ۱۹). البته استفاده از فاضلاب در آبیاری برای دوره‌های درازمدت تأثیر نامطلوبی بر رسانایی الکتریکی (افزایش شوری) و پایداری خاکدانه‌ها (پراکندگی ذرات رس) دارد. این در حالی



شکل ۲. مقایسه میانگین غلظت آمونیوم (a)، فسفات (b) و نیترات (c)، و نیتروژن کل (d) در خاک آبیاری‌شده با پساب و آب چاه در پایان دوره کشت.

Fig. 2. Mean comparison of ammonium (a), phosphate (b) and nitrate (c) concentrations, and total nitrogen content (d) in the soil irrigated with wastewater and well water at the end of the cultivation period.

است که نیتروژن، فسفر و پتاسیم موجود را افزایش داده و می‌تواند تأثیر مثبتی بر حاصلخیزی خاک و رشد گیاه داشته باشد (۱ و ۱۱).

توزیع مکانی ویژگی‌های اندازه‌گیری‌شده در خاک آبیاری‌شده با پساب و آب چاه در پایان دوره کشت

از آنجایی که هرگونه عملیات اصلاحی و یا مدیریت خاک مبتنی بر اطلاعات و داده‌های خاک در مناطق مختلف است، لذا استفاده از ابزارهای متناسب در پردازش داده‌ها و تعمیم آن‌ها به نقاط مجهول و ترسیم نقشه‌های پهنه‌بندی می‌تواند بسیار سودمند باشد. چنانکه در شکل (۳) نشان داده شده است مقادیر بیش‌تر آمونیوم عمدتاً در بخش جنوبی با غلظت ۱۸/۹۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک در مساحتی برابر ۲۵/۹۴ درصد و همچنین در بخش شرقی با غلظت ۱۶/۲۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک در مساحتی برابر ۲۸/۵۸ درصد از محدوده مورد بررسی مشاهده شد. مقادیر بیش‌تر غلظت نیترات و نیتروژن کل خاک در بخش شرقی با غلظت ۶۱/۶۵ میلی‌گرم نیترات بر کیلوگرم خاک در مساحتی برابر ۲۲/۹۰ درصد و ۰/۲۵ درصد نیتروژن کل خاک در مساحتی برابر ۲۰/۳۲ درصد از محدوده مطالعاتی و همچنین در بخش جنوبی با غلظت ۵۵/۱۸ میلی‌گرم نیترات بر کیلوگرم خاک در مساحتی برابر ۲۲/۲۱ درصد و ۰/۲۶ درصد نیتروژن کل خاک در مساحتی برابر ۱۹/۵۴ درصد از محدوده مطالعاتی یافت شدند. علاوه بر این نقشه توزیع مکانی فسفات حکایت از تغییرات مکانی نسبتاً زیاد آن داشت به‌گونه‌ای که بیش‌ترین غلظت فسفات (به‌ترتیب ۲۹/۴۹ و ۲۶/۹۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک) در مساحتی برابر ۲۱/۳۰ و ۲۱/۸۷ درصد از بخش‌های شمالی و مرکزی محدوده مورد بررسی مشاهده شدند.

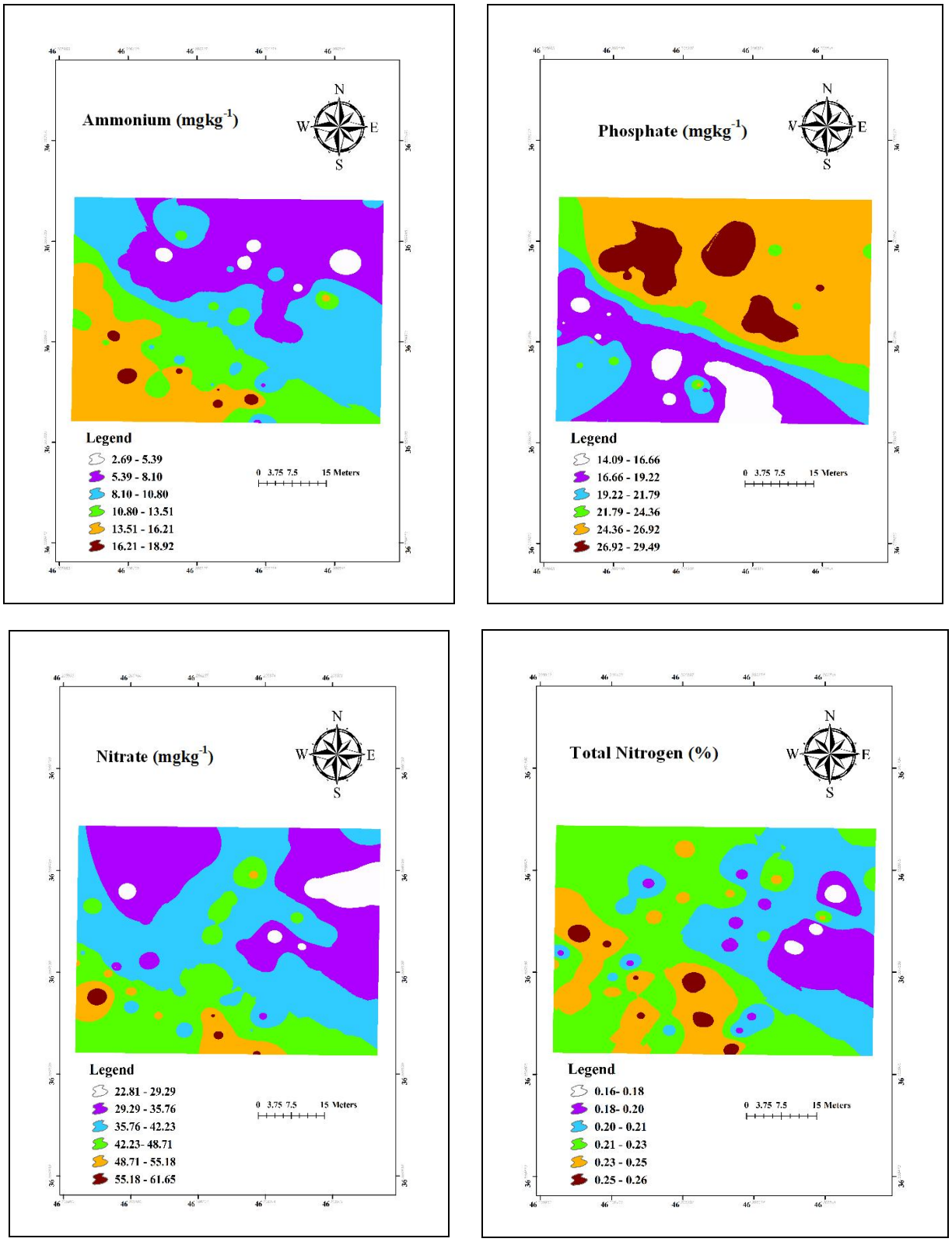
عملکرد محصول

برای ارزیابی مقاومت گیاه به محدودیت‌های مختلف، صفات فیزیولوژیک و بیوشیمیایی مانند تولید زیست‌توده گیاهی معمولاً استفاده می شوند. در واقع این صفات شاخص‌هایی از وضعیت گیاهان و منعکس‌کننده تعادل بین آب آبیاری و کیفیت خاک هستند (۳۷). تعداد سنبله و وزن خشک به‌ترتیب از ۱۹۵ و ۱۸۹ گرم در تیمار آب چاه به ۲۵۳ و ۲۳۰ گرم در تیمار پساب تصفیه‌شده افزایش یافت (شکل ۴). نتایج تجزیه واریانس در پژوهش یزدانی و همکاران (۴۹) نشان داد که در هر دو سال مورد بررسی، اثر برهم‌کنش تیمارهای منبع آب آبیاری پساب تصفیه‌شده و ژنوتیپ جو بر تعداد سنبله در واحد سطح معنی‌دار بود.

با توجه به نتایج به‌دست آمده در پژوهش حاضر، ارتفاع سنبله به‌صورت معنی‌داری تحت تأثیر منابع آب آبیاری قرار گرفت و از ۳/۷ سانتی‌متر در تیمار آب چاه به ۴/۲ سانتی‌متر در تیمار پساب تصفیه‌شده افزایش یافت (شکل 4b). در پژوهش سامره و همکاران (۳۵)، بوته‌های جو که تحت آبیاری با پساب تصفیه‌شده رشد کرده بودند از ارتفاع بیش‌تری در مقایسه با گیاهان رشدکرده در شرایط دیم برخوردار بودند. پژوهشگران دیگری نیز گزارش کردند که آبیاری گیاهان با فاضلاب تصفیه‌شده سبب افزایش وزن تازه و خشک و ارتفاع در جو می‌شود (۲۸). بر اساس پژوهش‌های انجام‌شده، آب فاضلاب تصفیه‌شده از طریق فراهم کردن مغذی‌ها برای تغذیه گیاه و بهبود ویژگی‌های فیزیکی خاک، شرایط مناسبی برای رشد گیاه فراهم کرده و باعث افزایش تولید زیست‌توده آن می‌شود (۱۲).

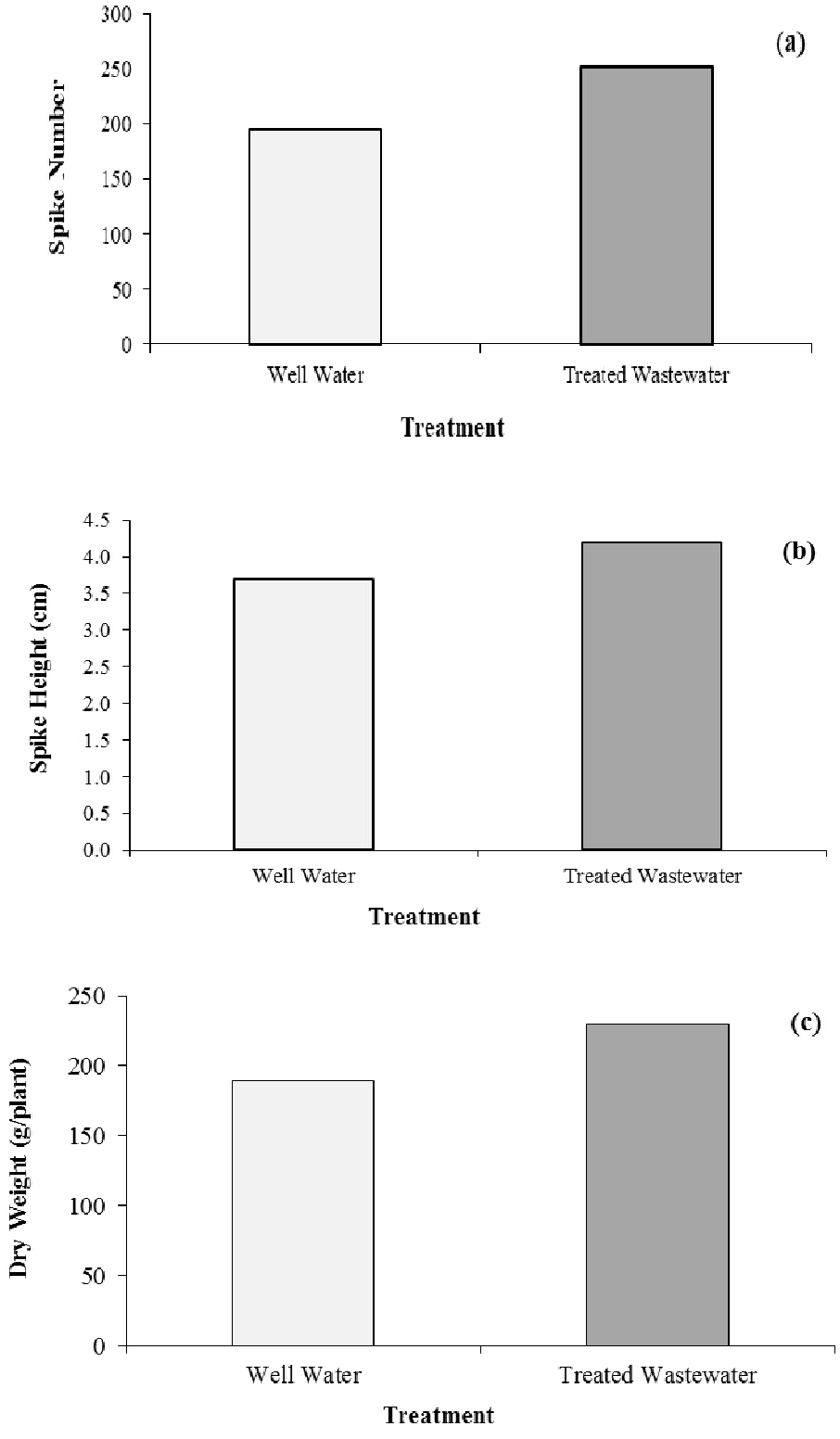
نتیجه‌گیری

از آنجا که ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در ارزیابی کیفیت خاک اهمیت دارند، شناخت دقیق تأثیرپذیری این ویژگی‌ها از پساب تصفیه‌شده اهمیت فراوانی دارد. بر اساس نتایج به‌دست آمده میانگین غلظت فسفات، پتاسیم و سدیم اندازه‌گیری‌شده در پساب تصفیه‌شده بسیار بیش‌تر از آب چاه بود. به‌دلیل عمق کم منابع آب زیرزمینی منطقه اطراف تصفیه‌خانه شهر بوکان، استفاده از پساب تصفیه‌خانه در کشت جو خطر آلوده شدن منابع آب زیرزمینی این محدوده به نیترات و



شکل ۳. توزیع مکانی ویژگی‌های خاک آبیاری‌شده با پساب و آب چاه در پایان دوره کشت.

Fig. 3. Spatial distribution of the measured characteristics in the soil irrigated with wastewater and well water at the end of the cultivation period.



شکل ۴. مقایسه میانگین تعداد سنبله (a)، ارتفاع سنبله (b) و وزن خشک (c) به‌ازای بوته در محصول جو بر اساس منابع آب آبیاری.

Fig. 4. Mean comparison of spike number (a), spike height (b) and dry weight (c) in barley crop per plant based on irrigation water sources.

فسفات در بلند را به‌دنبال دارد. علاوه بر این کاربرد پساب تصفیه‌شده آثار معنی‌داری نیز بر افزایش غلظت فسفات و نیتروژن کل خاک به‌دنبال داشت. همچنین استفاده از پساب تصفیه‌شده شهری برای آبیاری توانست عملکرد محصول جو (تعداد سنبله، ارتفاع سنبله و وزن خشک) را نسبت به تیمار آب چاه بهبود بخشد. از این‌رو آبیاری زمین‌های تحت کشت جو با پساب منطقی به‌نظر می‌رسد. ذکر این نکته نیز ضروری است که مدیریت مناسب در بهره‌گیری از چنین آب‌هایی و انتخاب گیاهانی که بتوانند آثار زیان‌بار استفاده از فاضلاب تصفیه‌شده را بر ویژگی‌های خاک و عملکرد محصول به حداقل برسانند، اهمیت زیادی دارد.

منابع مورد استفاده

1. Abd-Elwahed, M.S., 2018. Influence of long-term wastewater irrigation on soil quality and its spatial distribution. *Annals of Agricultural Sciences* 63: 191–199.
2. AL-Jaboobi, MTijane, M., EL-Ariqi, S., El Housni, A., Zouahri, A., Bouksaim, M., 2014. Assessment of the impact of wastewater use on soil properties. *Journal Material Environment Science* 5(3): 747–752.
3. Ashworth, D.J., Alloway, B.J., 2003. Soil mobility of sewage sludge–derived dissolved organic matter, copper, nickel and zinc. *Environmental Pollution* 127: 137–144.
4. Bayat, J., Hashemi, S.H., Khoshbakht, K., Deihimfard, R., 2015. Interpolation of soil nutrients (nitrate and phosphate), organic carbon, EC and pH in agricultural lands to the South of Tehran City. *Environmental Sciences* 14(14): 1–11. (in Persian with English abstract)
5. Bechmann, M., 2014. Nitrogen losses from agriculture in the Baltic Sea region. Long-term monitoring of nitrogen in surface and subsurface runoff from small agricultural dominated catchments in Norway. *Agriculture, Ecosystem and Environment* 198: 13–24.
6. Bedbabis, S., Ben Rouina, B., Boukhris, M., Ferrara, G., 2014. Effect of irrigation with treated wastewater on soil chemical properties and infiltration rate. *Journal of Environmental Management* 133(1): 45–50.
7. Begum, N., Guppy, C., Herridge, D., Schwenke, G., 2014. Influence of source and quality of plant residues on emissions of N_2O and CO_2 from a fertile, acidic Black Vertisol. *Biology and Fertility of Soils* 50: 499–506.
8. Binaymotlagh, P., 2010. Guidelines and methods for measuring physicochemical factors and toxic inorganic chemical substances in drinking water, Ministry of Health. Medicine and Medical Education. (in Persian)
9. Biswas, A., Rao Mailapalli, D., Singh Raghuwanshi, N., 2021. Treated municipal wastewater to fulfil crop water footprints and irrigation demand–a review. *Water Supply* 21(4): 1398–1409.
10. Bower, C.A., Reitemeier, P.F., Fireman, M., 1952. Exchangeable cation analysis of saline and alkali soils. *Journal of Soil Science* 73(4): 251–61.
11. Choi, W.J., Chang, S.X., Kwak, J.H., Jung, J.W., Lim, S.S., Yoon, K.S., Choi, S.M., 2007. Nitrogen transformations and ammonia volatilization losses from N-urea as affected by the co-application of composted pig manure. *Canadian Journal of Soil Science* 87: 485–493.
12. Daneshvar, M., Fattahi, F., Rahmani, H.R., Modarres Sanavy, S.A.M., Sami, M., 2020. Effect of municipal wastewater irrigation and well water on plant and soil characteristics. *Notulae Scintia Biologicae* 12(2): 409–419.
13. Day, P.R., 1965. Particle fractionation and particle-size analysis. In: Black, C.A. (Ed.), Methods of Soil Analysis: Part 1 Physical and Mineralogical Properties, Including Statistics of Measurement and Sampling, 9.1, American Society of Agronomy, Madison, WI, pp. 545–567.
14. Environmental Protection Inspection (EPI), 2012. Monitoring of Soil Chemistry in Poland in 2010–2012; Environmental Monitoring Library: Warsaw, Poland.
15. Fuentes, E.R., Constantino, C.L., Silva, E.E., Dendooven, L., 2002. Characteristics, and carbon and nitrogen dynamics in soil irrigated with wastewater for different lengths of time. *Bioresource Technology* 85: 179–187.
16. Galavi, M., Mousavi, S.R., Galavi, H., 2010. Effects of treated municipal wastewater on soil chemical properties and heavy metal uptake by sorghum (*Sorghum Bicolor* L.). *Journal of Agricultural Science* 2(3): 235–241.
17. Hassanpour Darvishi, H., Manshouri, M., Aliabadi Farahani, H., 2010. The effect of irrigation by domestic wastewater on soil properties. *Journal of Soil Science and Environmental Management* 1(2): 30–33.
18. Jahany, M., Rezapour, S., 2020. Assessment of the quality indices of soils irrigated with treated wastewater in a calcareous semi-arid environment. *Ecological Indicators* 109: 105800.
19. Kalavrouziotis, I.K., Koukoulakis, P.H., 2012. Soil pollution under the effect of treated municipal wastewater. *Environmental Monitoring Assessment* 184: 6297–6305.

20. Khanpae, M., Karami, E., Maleksaeidi, H., Keshavarz, M., 2020. Farmers attitude towards using treated wastewater for irrigation: The question of sustainability. *Journal Cleaner Production* 243: 118541.
21. Magesan, G.N., Mclay, C.D.A., Lal, V.V., 1998. Nitrate leaching from a freely-draining volcanic soil irrigated with municipal sewage effluent in New Zealand. *Agriculture, Ecosystem and Environment* 70: 181–187.
22. Martines, A.M., Nogueira, A.M., Santos, C.A., Nakatani, S.A., 2010. Ammonia volatilization in soil treated with tannery sludge. *Bioresource Technology* 12(101): 4690–4696.
23. Monnett, G.T., Reneau, R.B., Hagedorn, C., 1996. Evaluation of spray irrigation for on-site wastewater treatment and disposal on marginal soils. *Water Environmental Research* 68: 11–18.
24. Mousavi, S.A., Nouri Imamzadei, S.M., Samadi Borojni, H., 2012. Challenges of using non-conventional water in agriculture. Iran Irrigation and Drainage Association. (in Persian)
25. Musyoki, M.S., 2015. A study on the disposal of hazardous chemicals, domestic waste and waste water in Kenya. University of Nairobi Title.
26. Pandey, R., Saxena, C., 2020. Drip irrigation with marginal quality land and waters. Sustain. *Central Soil Salinity Research Institute, Karnal* 118–132.
27. 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.
28. Podlasek, A., Koda, E., Daria Vaverková, M., 2021. The variability of nitrogen forms in soils due to traditional and precision agriculture: case studies in Poland. *Journal Environmental Public Health* 18(465): 1–28.
29. Poursultan, D., Delawar, M.A., Shaheswari, P., 2011. Trends in organic carbon and calcium carbonate in soil grains of Vertisol soils in the west of the country. National Conference of Soil, Sustainable Agriculture. (in Persian)
30. Rawat, K., Kumar Singh, S., Kumar Gautam, S., 2018. Assessment of groundwater quality for irrigation use: a peninsular case study. *Applied Water Science* 223: 1–24.
31. Reeuwijk, L.P.V., 2002. Procedures for Soil Analysis (6th edition). Wageningen: ISRIC, FAO.
32. Riley, J.P., Sinhaseni, P., 1957. The determination of ammonia and total ionic inorganic nitrogen in sea water. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 36: 161–168.
33. Rusan, M.J.M., Hinnawi, S., Rousan, L., 2007. Long term effect of wastewater irrigation of forage crops on soil and plant quality parameters. *Desalination* 215: 143–152.
34. Salinity Laboratory Staff., 1954. Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils, Handbook No. 60. United States Department of Agriculture.
35. Samarah, N.H., Bashabsheh, K.Y., Mazahrih, N.T., 2020. Treated wastewater outperformed freshwater for barley irrigation in arid lands: Irrigation with treated wastewater improved barley yield. *Italian Journal of Agronomy* 15(3): 1–34.
36. Schimel, D., Stillwell, M.A, Woodmansee, R.G., 1985. Biogeochemistry of C, N and P in a soil catena of short grass steppe. *Ecology* 66: 276–282.
37. Squires, E., 2013. The impact of different nitrogen fertilizer rates on soil characteristics, plant properties, and economic returns in a southeastern Minnesota cornfield. *Field Ecology* 8: 1–18.
38. Soil Survey Staff., 1999. Soil Taxonomy. 2nd Ed., 436. Natural Resources Conservation Service, United States Department of Agriculture Handbook.
39. Souri, B., Beig Mohammadi, F., 2017. The studying of the effect of ammonium phosphate fertilizer on acidity and salinity of calcareous soils and arsenic bioavailability with soils columns (Case Study Qurveh region). *Environmental Researchs* 7(14): 5–14. (in Persian with English abstract)
40. Statistical Center of Iran., 2016. Detailed Results of the General Agricultural Census. West Azarbaijan Province, A Report on Ariculture. Available on: https://www.amar.org.ir/Portals/0/keshavarzi93/results/agri93-04.pdf (in Persian)
41. Tawfighi, H., Shirmardi, M., 2014. The effect of calcium carbonate and pH on phosphorus fixation kinetics in different soils. *Iran Water and Soil Research* 46(4): 739–748. (in Persian with English abstract)
42. United State Department of Agriculture (USDA), 2011. Soil quality indicator: soil electrical conductivity. Natural Resources Conservation Services, United States.
43. Vaverková, M., Adamcová, D., 2014. Can vegetation indicate a municipal solidwaste landfill's impact on the environment? *Polish Journal of Environment* 23: 501–509.
44. Van Reeuwijk, L.P., 1993. Procedures for Soil Analysis. International Soil Reference and Information Centre.
45. Vendrell, P.F., Zupancic, J., 1990. Determination of soil nitrate by transnitration of salicylic acid. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 21: 1705–1713.
46. Walkley, A., Black, I.A., 1934. An examination of the degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science* 37: 29–38.
47. Werfelli, N., Ben Ayed, R., Abassi, M., B´ejaoui, Z., 2021. Contamination assessment of durum wheat and barley irrigated with treated wastewater through physiological and biochemical effects and statistical analyses. *Journal of Food Quality* 2021: 1–10.

48. World Health Organization, 2006. WHO Guidelines for The Safe Use of Wastewater, Excreta and Greywater, Volume 2 of Wastewater Use in Agriculture, Geneva.
49. Yazdani, A.A., Saffari, M., Ranjbar, Gh.H., 2018. Effects of irrigation with treated wastewater on yield and grain heavy metals content of barley (*Hordeum vulgare* L.) genotypes. *Iranian Journal of Crop Sciences* 19(4): 284–296. (in Persian with English abstract)

J. Soil and Plant Interactions, Vol. 13, No. 4, Winter 2023, Isfahan Univ. Technol., Isf., Iran.
https://jspi.iut.ac.ir EISSN: 2783-5286 DOI: 10.47176/jspi.13.4.20362

Changes in Nitrogen and Phosphorus Levels of Agricultural Soil Under Barley Cultivation Irrigated with Treated Wastewater

H. Soltani[1] and B. Souri*

(Received: 22 September 2022; Accepted: 17 January 2023)

Abstract

Direct use of raw urban sewage for agricultural irrigation may result in many harmful consequences. Therefore, wastewater treated through different technologies is preferred for reuse, especially in the water-limited areas. The purpose of this study was to compare the use of treated municipal sewage effluent compared to well water on the nitrate and phosphate concentrations in agricultural soil under barley cultivation. For this purpose, a plot of farmland with an area of 2000 square meters was divided into two equal parts of 1000 square meters, and for one growing season, one part was irrigated with well water and the other part was irrigated with treated waste water, while the quality of these two water sources was also determined in the laboratory. A total of 28 soil samples were also collected from each of the two plots (totally soil 56 samples) from the layer 0–20 cm and analyzed in the laboratory. Inverse Distance Weighting interpolation method was also used to investigate the spatial distribution of the soil properties. The results showed that the average concentrations of soil phosphate, potassium and sodium measured in the treated wastewater were much higher than of well water and the use of treated urban wastewater significantly increased ammonium, phosphate and nitrate concentrations, and total nitrogen of the soil. In addition, the use of treated municipal wastewater for irrigation could improve the yield of barley (*Hordeum vulgare*) compared to wastewater treatment. It is noteworthy that proper management in the use of treated wastewater and the selection of plants are important which can minimize the harmful effects of using treated wastewater on soil characteristics and crop yield.

Keywords: Unconventional waters, Barley product, Wastewater, Well water, Soil properties.

Background and Objective: Wastewater obtained from water consumption in human daily life consists of 99.9% water and 0.1% mixture of suspended mineral, organic and gases (3). Therefore, the use of wastewater and sewage in the cultivation of crops can reduce the need to use chemical fertilizers (1). Considering the importance of food chain health in the development of sustainable agriculture, the aim of this study was to evaluate the changes of nitrogen and phosphorous concentrations in the soil irrigated with treated wastewater compared to well water in a farmland under barley cultivation.

Methods: Soil sampling was conducted in a farmland located in the north of Boukan city and 175 meters away from the treatment plant in an area of 40×50 square meters (2000 square meters) under barley

1- Department of Environment Sciences, Faculty of Natural Resources, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran.
* Corresponding author, Email: bsouri@uok.ac.ir

cultivation irrigated with well water. The farmland was divided into two equal parts each 25×40 square meters during one growing season, one part irrigated with well water and the other part with treated wastewater from Bookan city wastewater treatment plant. Soil samples were obtained from the layer 0–20 cm before crop cultivation and also at the end of the growing season according to grid networks of 5×5 square meters with a distance of five meters from the peripheral border of each of the two lands (totally 56 soil samples including 28 controls and 28 treatments). The quality of irrigation waters was measured based on the standard methods (2). The results of soil physical and chemical properties, irrigation waters and crop yields were processed using SPSS v. 22 statistical software. Pearson's correlation, Duncan's post hoc and unpaired *t* tests were used to investigate the relationships between the initial soil physical and chemical properties, the effect of irrigation water sources on the soil properties, and barley yield. In order to investigate the spatial distribution of final soil properties, distribution maps were prepared using the Inverse Distance Weighting interpolation method by ArcGIS software v. 10.6.

Results: The average soil pH was greater than 7, and the means of electrical conductivity (EC) and calcium carbonate equivalent were 567.64 µS/cm and 4.75%. The soil texture was silt loam with low organic carbon (1.27%). Based on the findings, the average concentrations of phosphate, nitrate, potassium and sodium measured in the well water treated soil were 0.36, 22.10, 2.56, and 0.47 mg/L and for the wastewater treated soil were 5.41, 10.73, 377.66 and 0.74 mg/L, respectively. The ammonium and nitrate concentrations in the wastewater treated soil compared to the well water treated one showed a decreasing trend (from 13.53 to 7.67 mg/kg and from 44.79 to 35.50 mg/kg, respectively). In comparison with the initial soil samples, the phosphate concentration and total nitrogen content significantly increased from 15.87 to 26.49 mg/kg and from 0.18 to 0.21 %, respectively, due to the wastewater application. The use of treated wastewater significantly increased the average number of spikes and the weight of the barley yield. The number of spikes and their dry weight per plant increased from 195 and 189 g in the well water treatment to 253 and 230 g in the treated wastewater, respectively. The height of the spike was significantly affected by the water sources used for irrigation as it increased from 3.7 cm in the well water treatment to 4.2 cm for the treated wastewater.

Conclusions: Since soil physical and chemical properies are very important for characterizing soil quality, it is very vital to accurately understand the influence of irrigation water quality on soil properties. Based on the results of this study, the average concentrations of phosphate, potassium and sodium measured in the wastewater treated soil were much higher than in the well water treated one. Additionally, the use of treated wastewater significantly increased the soil phosphate and nitrogen concentrations. Also, it appeared that the use of treated municipal wastewater for irrigation could improve barley yield compared to use of well water. It is also necessary to mention that proper management in the use of unconventional waters and the selection of plants to minimize the harmful effects of treated wastewater on the soil properties and crop yield are very important.

References:

1- Al-Jaboobi, MTijane, M., EL-Ariqi, S., El Housni, A., Zouahri, A., Bouksaim, M., 2014. Assessment of the impact of wastewater use on soil properties. *Journal Material Environment Science* 5(3): 747–752.
2- Binaymotlagh, p., 2010. Guidelines and methods for measuring physicochemical factors and toxic inorganic chemical substances in drinking water, Ministry of Health. Medicine and Medical Education.
3- Musyoki, M.S., 2015. A study on the disposal of hazardous chemicals, domestic waste and waste water in Kenya. University of Nairobi Title.