نشریه دانش آب و خاک / جلد ۲۶ شماره ۴/۲ صفحه‌های ۲۱۵ تا ۲۲۸ / سال ۱۳۹۵

تاثیر آبیاری با فاضلاب خام و تصفیه‌شده شهری بر عملکرد گندم و ویژگی‌های میکروبی خاک و گیاه

آرزو بدیعی[۱]، فاطمه کاراندیش[۲*]، سیدمحمود طباطبائی[۳]

تاریخ دریافت: ۹٤/۰٦/۰٦ تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۸/۰٤

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آب، دانشگاه زابل

۲و۳- استادیار، گروه مهندسی آب، دانشگاه زابل

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: F.Karandish@uoz.ac.ir

چکیده

در این پژوهش، تأثیر آبیاری با فاضلاب خام (RWI) و تصفیه‌شده (TWI) بر عملکرد گندم و خصوصیات میکروبی خاک و گیاه در مقایسه با استفاده از آب سالم برای آبیاری (SWI) در قالب طرح بلوک کامل تصادفی بررسی شد. کیفیت آب آبیاری تیمارهای آبیاری در طول فصل رشد در هر ١٤ روز مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. در انتهای فصل رشد، میزان عملکرد و اجزای عملکرد گیاه گندم تعیین شد. همچنین، تعداد *اشریشیاکلی* و نماتد انگلی در نمونه‌های خاک برداشت شده از محدوده عمقی ۳۰-۰ سانتی‌متر و در نمونه‌های گیاهی تعیین شد. نتایج نشان داد علی‌رغم کیفیت مناسب آب چاه برای آبیاری، میزان پارامترهای هدایت الکتریکی، اسیدیته، BOD5، COD، کلی‌فرم کل و کلی‌فرم‌های گوارشی در فاضلاب خام و تصفیه‌شده فراتر از حد استانداردهای موجود بود. استفاده از فاضلاب خام باعث افزایش معنی‌دار شاخصه‌های تعداد دانه در سنبله، طول سنبله، تعداد پنجه‌های بارور، تعداد کل دانه، میزان عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت در محدوده‌های ۳۰-۰/۸٦ و ۸۸/۱-٤/٤ درصد به ترتیب در مقایسه با تیمارهای SWI و TWI شد. ولی، عدم کفایت عناصر مغذی در تیمار TWI و همچنین تخریب خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در نتیجه استعمال بدون مدیریت فاضلاب تصفیه‌شده، کاهش معنی‌دار عملکرد محصول به میزان ۸۲۷/۳ کیلوگرم در هکتار را به‌همراه داشت. با این وجود، شرایط میکروبی خاک و گیاه در تیمار TWI در حد مطلوب بود. حضور نماتدهای انگلی و *اشریشیاکلی* فراتر از مقادیر استاندارد در خاک و گیاه تحت تیمار RWI، لزوم توقف آبیاری با این منبع آب در منطقه را مشهود می‌سازد. از منظر آلاینده‌های میکروبی، وجود کیفیت مناسب خاک و گیاه، امکان جایگزینی آب شیرین با پساب تصفیه‌شده را در صورت اعمال مدیریت صحیح کاربرد نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: *اشریشیاکلی*، عملکرد دانه، کیفیت آب آبیاری، نماتد انگلی

The Influence of Irrigation with Raw and Treated Municipal Wastewater on Wheat Yield and Microbial Characteristics of Soil and Plant

A Badiei[1], F Karandish[2*], SM Tabatabaei[3]

Received: 28 August 2015 Accepted: 25 October 2016
[1-]MSc. Student of Irrigation and Drainage, Water Engin., Dept., Univ., of Zabol, Zabol, Iran
[2-]Assist. Prof., Water Engineering Dept., Univ., of Zabol, Zabol, Iran
[2-]Assist. Prof., Water Engineering Dept., Univ., of Zabol, Zabol, Iran
[*]Corresponding Author, Email: F.Karandish@uoz.ac.ir

Abstract

In this study, the influence of Irrigation with raw (RWI) and treated (TWI) wastewater on the quantitative and microbial properties of wheat in comparison with using safe water for Irrigation (SWI) was investigated under a completely randomized block design. Irrigation water quality was analyzed every two weeks during the growing season. At the end of the growing season, the yield and yield components were determined. Also, the Escherichia coli and Parasitic Nematode were determined in soil samples, taken from 0-30 cm depth, and plant samples. Results showed that despite favorable water quality of SWI, the values of EC, pH, BOD5, COD, total coliform and fecal coliform in raw and treated wastewater exceeded the available standard values. Using raw wastewater caused significant increase in the number of grain per spike, spike length, fertile spike number, total grain number, grain yield, biological yield and harvest index, in the ranges of 0.86-30 and 4.4-88.1 percentages compared with those for SWI and TWI treatments, respectively. However, insufficiency of nutrients in TWI as well as the degradation of soil physicochemical properties under unmanaged usage of treated wastewater led to a significant reduction of 827.3 Kg ha^{-1} in grain yield. Nevertheless, the soil and plant microbial conditions were favorable under TWI treatment. The existence of E. coli and Parasitic Nematode beyond the standard values in soil and plant under RWI treatment indicated the necessity for stopping irrigation with this water resource in the study area. The favorable conditions of soil and plant regarding the microbial contaminants, showed the possibility of substituting the fresh water with the treated wastewater through suitable application management.

Keywords: Escherichia coli, Grain yield, Irrigation water quality, Parasitic Nematode

مقدمه

محدودیت منابع آب و روند رو به رشد جمعیت و به تبع آن افزایش تقاضای آب از یک‌سو و کمبود منابع آب شیرین قابل دسترس از سوی دیگر، استفاده از منابع آب نامتعارف را اجتناب‌ناپذیر نموده است. از جمله این منابع می‌توان آب‌های شور، لب‌شور و پساب‌های تولیدی در بخش‌های مختلف صنعت، کشاورزی و شهری را نام برد. مصرف این منابع در بخش‌هایی که کیفیت آب پایین‌تری در مقایسه با آب شرب می‌پذیرند، می‌تواند راهکار مناسبی برای مقابله با معضل بحران آب محسوب شود. بخش کشاورزی، با مصرف بیش‌از ۷۰ درصد از منابع آب شیرین در کشورهای توسعه-یافته و ۹۰ درصد در کشورهای در حال توسعه، بزرگ‌ترین مصرف‌کننده آب شیرین بوده و لذا یکی از

مناسب‌ترین گزینه‌ها برای مصرف منابع آب نامتعارف محسوب می‌شود (جاناسوآ و همکاران ۲۰۰۶). از این-رو،کاربرد فاضلاب‌های تصفیه‌شده در بخش کشاورزی در کشورهای مختلف جهان از دیرباز رواج یافته است. از آن‌جمله می‌توان به مصرف ۶۰ درصد از کل فاضلاب تولیدی در ایالات متحده (مسعودی‌نژاد و همکاران ۲۰۰۸)، ۲۶۰ میلیون‌مترمکعب از کل ۴۳۲ میلیون-مترمکعب فاضلاب تولیدی در کالیفرنیا (پسکاد ۱۹۹۲)، ۱۳ میلیون‌مترمکعب فاضلاب تصفیه‌شده در ژاپن (تانیاما و همکاران ۱۹۹۹) و ۲۵ میلیون‌مترمکعب فاضلاب تصفیه‌شده در کشور قبرس (پاپاداپولاس، ۱۹۹۱) در بخش کشاورزی اشاره نمود. در کشورهای مدیترانه‌ای نیز به‌دلیل رشد جمعیت و خشکسالی‌های پیاپی، استفاده از فاضلاب به یک ضرورت تبدیل شده است (آنگلاکیس و همکاران ۱۹۹۹).

استفاده مجدد از فاضلاب در بخش کشاورزی به عنوان یک منبع عظیم و با ارزش در مناطق خشک و نیمه‌خشک که با محدودیت شدید منابع آبی مواجه می-باشند، از اهمیت بیش‌تری برخوردار است. کشور ایران با داشتن میانگین بارش سالانه کمتر از ۲۵۰ میلی‌متر (حدود ۳۳ درصد کمتر از میانگین جهانی) در زمره چنین مناطقی قرار دارد. میزان منابع آبی تجدید شونده در ایران در سال ۱۹۹۶ برابر با ۱۸۳۰ متر مکعب بوده که پیش‌بینی می‌شود این میزان تا سال ۲۰۲۰ به میزان ۱۲۰۰ متر مکعب در سال کاهش یابد (محمودیان ۲۰۰۱). علی‌رغم اهمیت استفاده از منابع آب نامتعارف در بخش کشاورزی با هدف مقابله با بحران آب، نظر به رشد روزافزون جمعیت و افزایش نیاز به تولید محصول بیش‌تر، نیل به امنیت غذایی مستلزم توجه به تاثیر چنین منابعی بر کمیت و کیفیت محصول تولیدی می‌باشد. به همین منظور، در سال‌های اخیر پژوهش‌های بسیاری با هدف مذکور، به‌ویژه روی گیاهانی همچون گندم که رتبه اول در مصرف سرانه مردم جهان را به خود اختصاص داده، صورت گرفته است. طی پژوهشی معلوم شد استعمال پساب تصفیه‌شده باعث افزایش معنی‌دار عملکرد گندم در مقایسه با آب چاه می‌شود (نظری و همکاران ۱۳۸۵). بررسی تاثیر آبیاری با فاضلاب تصفیه‌خانه شمال اصفهان بر عملکرد کمی و کیفی محصول گندم نشان داد که میانگین عملکرد کاه، طول ساقه، نسبت کاه به دانه در تیمار آبیاری‌شده با فاضلاب تصفیه‌شده در حد معنی‌داری بیش‌تر از تیمار شاهد می‌باشد (زادهوش و همکاران ۱۳۸۹). این در حالی است که نتایج پژوهشی دیگر عدم تأثیر معنی‌دار آبیاری با فاضلاب بر عملکرد دانه گندم را نشان می‌دهد (دی و همکاران ۱۹۷۵).

استفاده پایدار از فاضلاب در بخش کشاورزی نیازمند اعمال مدیریت صحیح مصرف و پایش کیفی و میکروبی اراضی آبیاری شده با فاضلاب می‌باشد. استعمال بدون مدیریت این منابع می‌تواند باعث تجمع بیش‌از حد فلزات سنگین و آلاینده‌های میکروبی در خاک و گیاه شود. ورود آلاینده‌های میکروبی همچون کلی-فرم‌های مدفوعی و نماتدهای انگلی و تجمع آن‌ها در لایه‌های سطحی خاک و بدنه گیاه، ضمن به خطر انداختن سلامت افرادی که در تماس مستقیم با آن هستند، با انتقال به منابع آب سطحی و زیرزمینی، زمینه شیوع بیمارهای مختلف را فراهم می‌آورد. نتایج پژوهش‌های پیشین، شیوع دست‌کم ۲۱ نوع بیماری در نتیجه مصرف جهانی سبزیجات آلوده به این آلاینده‌ها را نشان می‌دهد. همچنین تجمع کلی‌فرم‌های مدفوعی در خاک و بخش‌های مختلف گیاهان در نتیجه‌ی آبیاری با فاضلاب تصفیه‌شده در برخی مطالعات گزارش شده است (پدررو و همکاران ۲۰۱۲). خطر آلودگی میکروبی در اراضی‌ای که با فاضلاب خام آبیاری می‌شوند از اهمیت بیش‌تری در مقایسه با آبیاری با فاضلاب تصفیه‌شده برخوردار است. اگرچه برداشت بدون مدیریت فاضلاب خام توسط زارعان در بسیاری از مناطق ایران مشهود است، لکن در اغلب پژوهش‌های پیشین به بررسی تاثیر فاضلاب تصفیه‌شده بر ویژگی-

های کیفی و کمی خاک و گیاه پرداخته شده است. این در حالی است که نیل به کشاورزی پایدار و انجام توصیه‌های بهداشتی به ویژه در مناطق گرم و خشک که بخش اعظم نیاز آبی گیاهان در آن از طریق آبیاری تامین می‌شود، نیازمند انجام پژوهش‌های دقیق علمی می‌باشد. به همین منظور، در این پژوهش، به بررسی اثرات آبیاری با فاضلاب خام و تصفیه‌شده بر ویژگی-های کمی گندم و خصوصیات میکروبی خاک در مزارع اطراف تصفیه‌خانه شهری زابل پرداخته شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در اراضی تحت کشت گندم در مجاورت تصفیه‌خانه شهری زابل که در وسعتی فراتر از ۱۹۰ هکتار کشت شده و با قدمتی بالغ بر ۱۰ سال با فاضلاب خام و تصفیه‌شده آبیاری می‌شوند، در فصل زراعی ۹۳-۹۲ در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تیمار و سه تکرار انجام شد. تصفیه‌خانه شهری زابل در سال ۱۳۷۵ به منظور جمع‌آوری و تصفیه فاضلاب ۱۳۰ هزار مشترک آب و فاضلاب احداث و تا سال ۱۳۸۷ با اجرای ۱۶۰ کیلومتر شبکه جمع‌آوری و ۹ ایستگاه پمپاژ مورد بهره‌برداری قرار گرفت. پس از آن، به دلیل افزایش جمعیت و توسعه شهری، در سال ۱۳۸۷ افزایش ظرفیت آن جهت تحت پوشش قرار دادن ۲۰۰ هزار مشترک مورد توجه قرار گرفت. روش تصفیه از نوع برکه‌های تثبیت می‌باشد (کاراندیش ۱۳۹۳). وجود منابع آب محدود در شهرستان زابل به‌دلیل خشک‌سالی‌های اخیر از یک‌سو و وابستگی معیشت بخش اعظم ساکنان منطقه به درآمدهای حاصل از بخش کشاورزی از سویی دیگر، باعث اختصاص دادن پساب تصفیه‌شده شهری به آبیاری گندم‌زارهای اطراف شده است. با این وجود، عدم کفایت این منبع، باعث شده تا کشاورزان به صورت غیرکنترل شده، حتی از فاضلاب خام در مسیر تصفیه‌خانه نیز برای آبیاری استفاده کنند. میانگین بلندمدت بارش سالانه، دمای کمینه و بیشینه در منطقه به‌ترتیب برابر با ۵۹/۶ میلی‌متر، ۹/۵- و ۴۹ درجه سیلسیوس بوده و از نظر طبقه‌بندی کوپن دارای اقلیم خشک و بیابانی با تابستان‌های گرم و خشک می‌باشد. خصوصیات خاک تا عمق ۱۰۰ سانتی‌متر در جدول ۱ ارایه شده است.

جدول ۱- خصوصیات خاک در منطقه مطالعاتی.

محدوده عمقی (cm)	درصد شن (٪)	درصد سیلت (٪)	درصد رس (٪)	بافت خاک
۰-۲۰	۱۹/۵۸	۲۵/۱۶	۵۵/۲۶	sandy loam
۲۰-۴۰	۲۳/۰۸	۱۱/۳۴	۶۵/۵۸	sandy clay loam
۴۰-۱۰۰	۲۱/۱۶	۲۵/۲۲	۵۳/۶۲	sandy clay loam

گندم رقم هامون در ۱۵ مهر ۱۳۹۲ با تراکم ۱۶۰ کیلوگرم بذر در هکتار کشت شد. تیمارهای آبیاری شامل آبیاری با آب چاه (SWI)[1]، فاضلاب خام (فاضلاب ورودی به تصفیه‌خانه، RWI)[2] و فاضلاب تصفیه‌شده (فاضلاب خروجی از آخرین مرحله تصفیه-شده، TWI)[3] بود. بدین منظور، از هر یک از اراضی تحت آبیاری با منابع آبی مختلف (در هر یک از تیمارها)، سه کرت هر یک به ابعاد ۱۰×۱۰ متر در نظر گرفته شد. نظر به وجود مواد مغذی در پساب خام و تصفیه‌شده و به منظور ارزیابی تاثیر آن‌ها در کاهش حجم کود مورد نیاز، و همچنین نظر به عرف منطقه، کوددهی فقط در تیمار SWI صورت گرفت. کودهای نیتروژن و فسفر به‌ترتیب با مقدار ۱۶۰ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار به زمین داده شد. کیفیت آب آبیاری از نظر

[1] . Safe Water Irrigation (SWI)
[2] . Row Waste Water Irrigation (RWI)
[3] . Treated Waste water Irrigation (TWI)

خصوصیات فیزیکی و میکروبی در هر سه تیمار در بازه‌های دو هفته‌ای تعیین شد.

برداشت گیاه در تاریخ ۱۵ اردیبهشت ۱۳۹۳ انجام شد. در زمان برداشت، در هریک از تکرارهای یک تیمار، نمونه‌های گیاهی از محدوده‌ای به مساحت یک مترمربع برداشت و جهت تعیین خصوصیات کیفی و کمی آن به آزمایشگاه منتقل شد (کاراندیش و همکاران ۱۳۹۱). در آزمایشگاه، ابتدا طول سنبله، تعداد خوشه‌های بارور، تعداد دانه در سنبله و تعداد کل دانه تعیین شد (قنبری و همکاران ۱۳۸۵). همچنین با تعیین مساحت برگ‌ها، شاخص سطح برگ به صورت نسبت مساحت برگ به سطح خاک تحت پوشش محاسبه شد. در ادامه، با قرار دادن نمونه‌های گیاهی در آون با درجه حرارت ۷۰ درجه سلسیوس به مدت ٤٨ ساعت، وزن خشک هزاردانه، وزن خشک کل اندام هوایی (عملکرد بیولوژیک)، نسبت وزن خشک اندام هوایی به ریشه و عملکرد دانه در رطوبت ١٤ درصد بدست آمد (قنبری و همکاران ۱۳۸۵). شاخص برداشت (HI) به صورت نسبت عملکرد دانه به عملکرد بیولوژیک و کارآیی مصرف آب آبیاری (IWUE) به‌صورت نسبت حجم آب آبیاری به عملکرد دانه محاسبه شد. تمام شاخص‌های اندازه‌گیری شده به سطح یک هکتار تعمیم داده شد. علاوه بر موارد فوق، تعداد نماتدهای انگلی و کلی‌فرم-های مدفوعی (*اشریشیاکلی*) درلایه‌ی سطحی خاک و همچنین در اندام هوایی گیاه تعیین شد (پدررو و همکاران ۲۰۱۲). وجود این آلاینده‌ها در لایه‌های سطحی خاک (محدوده ۳۰-۰ سانتی‌متری) در انتهای فصل رشد نیز مورد بررسی قرار گرفت. داده‌های به‌دست آمده از این پژوهش بر اساس آزمون دانکن در محیط نرم‌افزار SAS در دو سطح یک و پنج درصد مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت. همچنین ماتریس کوورایانس برای اجزای عملکرد گیاه گندم در محیط نرم‌افزار SPSS استخراج شد.

نتایج و بحث

کیفیت آب آبیاری

میانگین برخی خصوصیات کیفی آب آبیاری در طول فصل رشد در تیمارهای مختلف در جدول ۲ ارایه شده است. بر اساس این جدول، کیفیت آب چاه در محدوده استانداردهای موجود برای آبیاری قرار دارد. لکن بسیاری از شاخص‌های مورد ارزیابی در پساب تصفیه‌شده و فاضلاب خام بالاتر از محدوده استاندارد بودند. بر اساس جدول ۲، علاوه بر فراتر بودن میزان هدایت الکتریکی و SAR از مقادیر استاندارد، میزان آن-ها در پساب تصفیه‌شده بیش‌تر از فاضلاب خام بود که می‌تواند زمینه شور و سدیمی شدن خاک و در نهایت مسموم شدن گیاه را فراهم آورد. حد آستانه شوری قابل تحمل به‌وسیله گیاه گندم به‌منظور جلوگیری از کاهش عملکرد، ٤/٥ $dS\ m^{-1}$ می‌باشد (افیونی و همکاران ۱۳۷٦).

اکسیژن مورد نیاز بیولوژیکی[4] یکی از مهم‌ترین شاخصه‌های آلودگی آب است. این شاخص نشان‌دهنده میزان اکسیژن مورد نیاز باکتری‌ها برای تجزیه مواد آلی قابل تجزیه تحت شرایط هوازی می‌باشد. میزان BOD5 در تیمار RWI بسیار بالاتر از استانداردهای موجود بود. اما مقدار آن در تیمار TWI در محدوده مجاز استانداردهای زیست محیطی ایران قرار داشته و در حد کمی بالاتر از مقدار آن از حد استاندارد انجمن محیط زیست آمریکا (EPA) بود. اغلب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب قادرند میزان BOD5 را تا ۹۰ درصد کاهش دهند. علاوه بر این شاخص، میزان COD به عنوان میزان اکسیژن مورد نیاز برای تجزیه مواد و تبدیل آن-ها به CO_2 و H_2O، یکی دیگر از شاخص‌های تعیین قدرت آلایندگی فاضلاب بوده و مقدار آن درتیمارهای RWI و TWI فراتر از مقادیر توصیه شده در استانداردهای مختلف می‌باشد. میزان عناصر مغذی

[4]. BOD5

همچون نیترات، نیتریت و فسفات نیز در فاضلاب خام بسیار بیش‌تر از مقدار آن در پساب تصفیه‌شده بود.

حضور کلی‌فرم‌های بیماری‌زا و نماتدهای انگلی در آب آبیاری بیش از حد مجاز می‌تواند با تجمع در لایه-های سطحی خاک و اندام هوایی گیاه، مخاطرات زیست-محیطی را به‌همراه داشته باشد. جدول ۲ نشان می‌دهد میزان کلی‌فرم‌های گوارشی، کلی‌فرم کل و نماتدهای انگلی در فاضلاب خام فراتر از استانداردهای موجود بوده و مقدار آن در پساب تصفیه‌شده به خوبی در محدوده مقادیر توصیه‌شده قرار دارد. به این ترتیب نتایج تحلیل کیفیت پساب تصفیه‌شده و فاضلاب خام، محدودیت کاربرد آن‌ها در آبیاری و لزوم رعایت ملاحظات زیست‌محیطی به‌منظور کاهش اثرات منفی آن در درازمدت را نشان می‌دهد.

جدول ۲- خصوصیات کیفی آب آبیاری در تیمارهای مختلف.

پارامتر	کمیت			استانداردها*			
	آب چاه	پساب تصفیه‌شده	فاضلاب خام	**IRNDOE	WHO	EPA	FAO
pH	۸-	۸/۶-۸/۷	۸-۸/۵	۶-۸/۵	/۵	۸/٤-	۸/۵-
EC(dS m^{-1})	۲/۵-	۶-۸	٤/۵-۵/۸	-	/۷	۰/۷	۰/۷
SAR	۲/۶	۱۲-۱۵	-	-	۳	-	۳
BOD5 (mg l^{-1})	-	۵۰-۷۰	٤۵۰-۶۸۰	۱۰۰	-	۳۰	-
COD (mg l^{-1})	-	۲۰۰-۲۶۰	۳۳۰-٤۱۰	۲۰۰	-	۱۲۰	-
فسفات (mg l^{-1})	۸/۹	۱۲/۸-۱۵	٤۵-۷۸	-	-	۱۰	۵
نیترات (mg l^{-1})	۱۵	۱۰-۳۰	۶۰-۹۰	-	۵	۳۰	-
نیتریت (mg l^{-1})		۲-۲/۵	۳-۳/۵				
کلی‌فرم کل (MPN 100ml^{-1})	-	۸۵-٤۰۰	۲۷۰۰	۱۰۰۰	۱۰	۲۰۰	-
کلی‌فرم گوارشی (MPN 100ml^{-1})	-	۱۰	۱۱۰۰	٤۰۰	۱۰	-	۱۰۰
نماتد تعداد (عدد در لیتر)	-	-	۵	۱	۱	۱	۱

* برگرفته از مروری بر استانداردها و تجارب استفاده از پساب، کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران

تاثیر آبیاری بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه گندم

جدول ۳ نتایج تجریه واریانس اثر کیفیت آب آبیاری بر اجزای عملکرد گندم و جدول ٤ میانگین این صفات را در تیمارهای مختلف نشان می‌دهد. بر اساس جدول ۳، اختلاف معنی‌داری در سطح یک و پنج درصد بین تکرارها وجود نداشت. در حالی‌که تیمارهای آبیاری تاثیر معنی‌داری بر میزان طول سنبله، تعداد سنبله و تعداد کل دانه داشتند. طول سنبله در تیمار RWI در حدمعنی‌داری بیش‌تر از مقدار آن در تیمار TWI بود. طول سنبله نمایانگر سطح فعال فتوسنتزی گیاه در زمان پر شدن دانه می‌باشد (قنبری و همکاران ۱۳۸۵). بالاتر بودن عناصر غذایی مهم همچون نیتروژن در فاضلاب خام در این پژوهش باعث تغذیه مناسب گیاه در مراحل مختلف رشد و افزایش طول دوره رشد رویشی شده و در نهایت، افزایش سطح فعال فتوسنتزی در مرحله پر شدن دانه و به تبع آن، افزایش طول سنبله را به همراه داشته است. در مطالعات دیگری نیز افزایش سطح فتوسنتزی گیاه، دوام برگ‌ها و محتوی کلروفیل آن‌ها در نتیجه‌ی مواد غذایی موجود در فاضلاب گزارش شده است (مونته و إسوزا ۱۹۹۲).

جدول ۳- تجزیه واریانس تأثیر کیفیت آب آبیاری بر اجزای عملکرد گندم.

		میانگین مربعات							
منابع تغییرات	درجه آزادی	طول سنبله (m)	تعداد پنجه‌های بارور در هکتار	تعداد کل دانه در هکتار	تعداد دانه در سنبله	وزن هزاردانه (gr)	شاخص سطح برگ ($cm^2\ cm^{-2}$)	وزن خشک ریشه ($gr\ p^{-1}$)	نسبت اندام هوایی به ریشه
تما	۲	**	۲۱۸/۸×۱۰^۹**	/۲×۱۰^۱۲**	/۹۸۲ns	ns	**	۲۳٤**	ns
تکرا	۲	ns	۱۷/٦۳۳×۱۰^۹ns	/۳×۱۰^۱۱ns	ns	ns	ns	ns	ns
خطا	٤	/۰٤۰	۱۸۲/۳×۱۰^٦	/۸×۱۰^۱۱	/٤۷۲	/۲۷۵	/۰۱۸	/۸٦۷۸	/۰۷۱
ضریب		/۷٤۰	۰/۸۸	۱۱/٤۳۹	/۳۱٤	/۲۸۵	۳/۰۱	۹/۰۲۵	/۵۹٤
ضریب تبیین		۰/۹۵	۰/۹۹	۰/۹۲	۰/۷٦	۰/۲۲	۰/۹۵	۰/۹۳	۰/٤۸

* معنی‌داری در سطح ۵ درصد، ** معنی‌داری در سطح یک درصد، ns غیر معنی‌دار

سطح برگ، یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر میزان فتوسنتز در گیاه بوده و بهترین شاخص برای سطح فعال فتوسنتزی می‌باشد. ضرایب همبستگی بین اجزای عملکرد گندم در این پژوهش نیز ارتباط معنی‌دار بین طول سنبله و شاخص سطح برگ را نشان می‌دهد (جدول ۵). تعیین شاخص سطح برگ در تیمارهای مختلف نشان داد آبیاری با فاضلاب خام میزان آن در تیمار RWI را در حد معنی‌داری در مقایسه با آبیاری با آب چاه افزایش داد (جدول ۵). با این وجود، ترکیب کود شیمیایی نیتروژن و فسفر با آب چاه باعث افزایش معنی‌دار شاخص سطح برگ در تیمار SWI نسبت به میزان آن در تیمار TWI شد. پاینه و همکاران (۱۹۹۱) با اشاره به نقش فسفر بر سرعت ظهور برگ و افزایش سطح برگ، گزارش نمود که کمبود این عنصر، سرعت ظهور برگ را در گیاه گندم کاهش داده و از طریق ممانعت از توسعه سلول‌ها، سطح برگ را نیز کاهش می‌دهد. افزایش ظهور برگ در ساقه‌ی اصلی گندم در حضور فسفر و نیتروژن کافی در خاک در مطالعات دیگری نیز گزارش شده است. کاهش معنی‌دار میزان شاخص سطح برگ در تیمار TWI را می‌توان به عدم کفایت عناصر مغذی موجود در فاضلاب تصفیه‌شده همچون فسفر و نیتروژن نسبت داد. علیرغم کمیت بالای این عناصر در فاضلاب خام، مقدار آن‌ها در فرایند تصفیه کاهش یافته و نتوانسته نیاز واقعی گیاه در طول فصل رشد را تامین نماید. این نتیجه با یافته‌های زادهوش و فرداد (۱۳۸۰) مطابقت دارد.

جدول ۴- میانگین اجزای عملکرد گندم در تیمارهای مختلف آبیاری.

	اجزای عملکرد گندم							
تیمار	طول سنبله	تعداد پنجه‌های بارور در هکتار	تعداد کل دانه در هکتار	تعداد دانه در سنبله	وزن هزاردانه (gr)	شاخص سطح برگ ($cm^2\ cm^{-2}$)	وزن خشک ریشه ($gr\ p^{-1}$)	نسبت اندام هوایی به ریشه
RWI	۷/۷٤a	۱۸×۱۰^۵a	۵٤۸/۳×۱۰^۵a	۳۰/۵۸۳ab	٤۰/۵۹a	٤/۸۹a	۱۳a	۱۹/۲۹۷a
SWI	۷/۵۸a	۱۵/٤×۱۰^۵b	٤۸٦/۵×۱۰^۵a	۳۱/۷۳۳a	٤۰/^۲٤a	٤/^٤٤b	۱۰b	۱۹/۰٦۳a
TWI	٦/۵۵b	۱۲/٦×۱۰^۵c	۲۹۱/٤×۱۰^۵b	۲۳/۰۹۷b	۳۸/^۷۳a	۳/۹۹c	۹/۷b	۱۸/٤۸۳a

RWI آبیاری با فاضلاب خام، SWI آبیاری با آب سالم، TWI آبیاری با پساب تصفیه‌شده (حروف مشابه نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون دانکن می‌باشد)

جدول ۵- ضرایب همبستگی پیرسون بین اجزای عمکرد گندم.

	(۱)	(۲)	(۳)	(٤)	(٥)	(٦)	(۷)	(۸)	(۹)	(۱۰)
(۱) طول سنبله	۱									
(۲) شاخص سطح برگ	/٤۸	۱								
(۳) تعداد سنبله	/۸۳	٦٤	۱							
(٤) تعداد کل دانه	/۸۹	٦۱	/۷۷	۱						
(٥) تعداد دانه در سنبله	/٥۲	۲۲	/۱۳	/۷۳	۱					
(٦) وزن خشک اندام هوایی	/۸۲	۷۱	/۸۲	/۹٥	/٥۹	۱				
(۷) نسبت اندام هوایی به ریشه	/۰۱	۲۳	/۲۲	/۱۲	/۰٤	/۱٥	۱			
(۸) وزن هزار دانه	/۲۲	۰۹	/۱۳	/۰۷	۰۳۱	۰٦۸	٤۷	۱		
(۹) عملکرد دانه	/۸۳	٦۸	/۸۳	/۸۹	/٤۸	/۹۷	۱۳	/۱۰	۱	
(۱۰) شاخص برداشت	/۸۲	٥٥	/۷۹	/۷٥	/۳۳	/۸۳	۱۱	۰۸	۹٤	۱

کاهش سطح فعال فتوسنتزی تاثیر معنی‌داری بر تعداد دانه در سنبله خواهد داشت. کاهش سطح برگ می‌تواند باعث کاهش فتوسنتز و ناکافی بودن هیدرات-های کربن برای رشد سلول‌های جنینی شود و ضمن سقط جنین و همچنین چروکیدگی دانه‌ها، زمینه کاهش تعداد دانه در سنبله و تعداد کل دانه را فراهم آورد (چونگ و همکاران ۲۰۰۳). افزایش شاخص سطح برگ و در نتیجه، وجود عناصر غذایی کافی در مرحله رشد زایشی گیاه نقش مثبتی در پر کردن دانه‌های گیاه گندم داشته و با آزادسازی تدریجی عناصر غذایی در طی دوره رشد باعث افزایش تعداد دانه در سنبله می‌شود. جدول ٤ نشان می‌دهد که تعداد دانه در سنبله در تیمارهای SWI و RWI در حد معنی‌داری بالاتر از مقدار آن در تیمار TWI بود.

وجود ارتباط معنی‌دار بین میزان تعداد دانه در سنبله با تعداد کل دانه با ضریب همبستگی ۰/۷۳، تأثیر مثبت افزایش میزان تعداد دانه در سنبله بر تعداد کل دانه را مشهود می‌سازد (جدول ٥). بر اساس جدول ٤، تعداد کل دانه در تیمارهای RWI بیش‌ترین و در تیمار TWI کم‌ترین مقدار خود را داشت. همچنین این خصوصیت در تیمارهای RWI و SWI در حد معنی‌داری بالاتر از مقدار آن در تیمار TWI بود. یکی از مهم‌ترین عوامل کنترل کننده تعداد کل دانه را می‌توان تعداد پنجه-های بارور دانست. جدول ٥ وجود یک ارتباط مثبت و معنی‌دار بین تعداد کل دانه با تعداد پنجه‌های بارور با ضریب همبستگی ۰/۷۷ را نشان می‌دهد. مقدم‌نیا و همکاران (۱۳۷۲) نیز تأثیر مثبت تعداد پنجه‌های بارور بر تعداد کل دانه و میزان عملکرد گندم را به اثبات رساندند. لذا علاوه بر تعداد دانه در سنبله، یکی دیگر از دلایل افزایش کل دانه در تیمارهای RWI و SWI در مقایسه با تیمار TWI را می‌توان به افزایش معنی‌دار تعداد پنجه‌های بارور نسبت داد. نتایج این پژوهش حاکی از افزایش ۲۲/۲ و ٤۲/۸ درصدی تعداد پنجه‌های بارور در تیمارهای SWI و RWI نسبت به تیمار TWI می‌باشد. همچنین میزان این پارامتر در تیمار RWI در حد معنی‌داری بیش‌تر از مقدار آن در تیمار TWI بود.

بر اساس جدول ۳، اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای مختلف از نظر خصوصیات وزن هزاردانه و نسبت وزن خشک اندام هوایی به ریشه وجود نداشت. تغییرات ناچیز در میزان وزن هزاردانه می‌تواند به دلیل کنترل اندازه دانه به‌وسیله اندازه پوسته باشد. وزن هزاردانه یکی از شاخص‌های پایدار برای گیاهان زراعی بوده و بسیاری از محققان این پارمتر را یکی از خصوصیات ژنتیکی گیاه (سورخا و همکاران ۲۰۰٦) و تابع شرایط محیطی در زمان پر شدن دانه می‌دانند (کائوسار و همکاران ۱۹۹۳). نتایج این پژوهش نیز ارتباط معنی-داری بین میزان وزن هزاردانه با سایر اجزای عملکرد نشان نداد. بالاتر بودن نسبی وزن هزاردانه در تیمار RWI می‌تواند به‌دلیل افزایش میزان فتوسنتز در نتیجه

بالاتر بودن معنی‌دار شاخص سطح برگ در زمان پر شدن دانه‌ها در مقایسه با تیمار TWI باشد.

یافته‌های این پژوهش نشان داد اگرچه اختلاف معنی‌داری بین میزان نسبت وزن خشک اندام هوایی به ریشه در تیمارهای مختلف وجود نداشت، لکن مقدار آن در تیمار RWI کم‌تر از تیمارهای SWI و TWI بود (جدول ٤). دلیل این امر را می‌توان به رشد سریع‌تر و مطلوب‌تر ریشه در نتیجه ورود تدریجی مواد غذایی موجود در پساب به خاک نسبت داد (پور اسماعیل و همکاران ١٣٨٦). نتایج این پژوهش نشان داد وزن خشک ریشه در تیمار RWI در حد معنی‌داری بالاتر از مقدار آن در تیمارهای دیگر است (جدول ٤). افزایش رشد ریشه در نتیجه آبیاری با فاضلاب در مقایسه با آب چاه در مطالعات شهریاری و همکاران (١٣٨٩) نیز گزارش شده است.

جدول ٦ نتایج تجریه واریانس اثر کیفیت آب آبیاری بر عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه، شاخص برداشت و شاخص بهره‌وری آب آبیاری و جدول ٧، میانگین این شاخص‌ها را در تیمارهای مختلف نشان می‌دهد. نتایج نشان داد اختلاف معنی‌داری بین میزان عملکرد دانه در هر سه تیمار وجود داشت. کم‌ترین و بیش‌ترین میزان عملکرد دانه به‌ترتیب در تیمارهای TWI و RWI مشاهده شد. جدول ٥ نشان می‌دهد ارتباط مثبت و معنی‌داری بین میزان عملکرد دانه با شاخصه‌های طول سنبله، شاخص سطح برگ، تعداد سنبله، تعداد کل دانه و عملکرد بیولوژیک وجود دارد. وجود ارتباط معنی‌دار بین تعداد دانه و عملکرد محصول توسط گلپرور و همکاران (١٣٨١) نیز گزارش شده است. همچنین افزایش پنجه‌زنی و در نتیجه، افزایش تعداد پنجه‌های بارور می‌تواند عملکرد دانه را افزایش دهد (دی و همکاران ١٩٧٥). ارتباط مستقیمی بین میزان شاخص سطح برگ و میزان عملکرد دانه وجود دارد (کاراندیش و همکاران ١٣٩٢). کاهش سطح برگ از یک‌سو با کاهش میزان فتوسنتز و از سویی دیگر با کاهش میزان جذب آب و عناصر غذایی زمینه کاهش معنی‌دار میزان محصول را فراهم می‌آورد (گیانکوئینتو و همکاران ٢٠٠٣، رودریگز و گرادی ٢٠٠٠). شاخص سطح برگ متاثر از میزان جذب عناصر غذایی مهم به‌ویژه نیتروژن می‌باشد. وجود نیتروژن کافی در خاک می‌تواند زمینه جذب کاراتر به‌وسیله گیاه را فراهم آورده و منتج به افزایش شاخص سطح برگ شود. لذا مقادیر بالاتر میزان نیتروژن نیتراتی در فاضلاب خام و قرار گرفتن تدریجی آن در اختیار گیاه و در نتیجه جذب کاراتر آن در مراحل مختلف رشد باعث افزایش معنی‌دار شاخص سطح برگ در تیمار RWI شده و به این ترتیب، زمینه افزایش معنی‌دار عملکرد محصول را فراهم می‌آورد.

نتایج مطلوب‌تر استفاده از فاضلاب به عنوان منبع تغذیه به جای مصرف کود شیمیایی نیتروژن بر عملکرد گیاه در مطالعات دیگری نیز گزارش شده است (پاپاداپولاس ١٩٩١). ورود تدریجی عناصر مغذی در فاضلاب می‌تواند ضمن اصلاح اسیدیته خاک، باعث افزایش مواد آلی و به تبع آن، حاصلخیزی خاک شده و در نهایت موجب افزایش عملکرد محصول شود (آسانو و همکاران ١٩٩٦، بحری ١٩٩٩). علاوه بر فراهمی نیتروژن در خاک، یکی دیگر از عوامل موثر بر جذب نیتروژن را می‌توان به تراکم مطلوب ریشه در خاک نسبت داد (کاراندیش و همکاران ١٣٩١). افزایش معنی‌دار میزان ریشه در تیمار RWI (جدول ٤) امکان جذب موثرتر آب و عناصر غذایی در این تیمار را فراهم آورده و در نهایت باعث افزایش معنی‌دار عملکرد دانه گندم شد. با این وجود، میزان عملکرد دانه در تیمار TWI در حد معنی‌دار کمتر از مقدار آن در تیمار SWI بود.

جدول ۶- نتایج تجزیه واریانس تاثیر کیفیت آب آبیاری بر عملکرد گندم، عملکرد بیولوژیک، و شاخص برداشت.

		میانگین مربعات		
منابع تغییرات	درجه آزادی	عملکرد بیولوژیکی ($kg\ ha^{-1}$)	عملکرد دانه ($kg\ ha^{-1}$)	شاخص برداشت
تیمار	۲	۲۲۱۳۷۷۶/۳**	۱۷۰۶۶۰۵**	۱۴۴/۴۴*
تکرار	۲	۳۰۵۶/۰۲۶ ns	۵۵۷۸۳۱۰۵ ns	۲۵/۶۸ ns
خطا	۴	۲۰۷۹۴/۱۶۷	۱۰۳۶۴/۳۴۹	۹/۰۲۹
ضریب تغییرات		۳/۷۱۸	۴/۷۶۳	۱۰/۴۴۱
ضریب تبیین		۰/۹۸	۰/۹۹	۰/۹۱

جدول ۷- میانگین عملکرد گندم، عملکرد بیولوژیک، و شاخص برداشت در تیمارهای مختلف.

تیمار	عملکرد دانه ($kg\ ha^{-1}$)	عملکرد بیولوژیک ($kg\ ha^{-1}$)	شاخص برداشت
RWI	۴۷۴۷/۹a	۲۹۳۹/۹a	۳۴/۳a
SWI	۳۸۵۷/۶b	۲۰۲۸/۹b	۳۱/۰a
TWI	۳۰۳۰/۳c	۱۴۴۳/۲c	۲۱/۰b

RWI آبیاری با فاضلاب خام، SWI آبیاری با آب سالم، TWI آبیاری با پساب تصفیه‌شده

نتایج بدست آمده برای عملکرد بیولوژیک نیز از روندی مشابه عملکرد دانه پیروی کرد (جدول ۴). مقدار این پارامتر در تیمار RWI به‌ترتیب ۴۹/۹ و ۱۰۳ درصد بیش‌تر از مقدار آن در تیمارهای SWI و TWI و مقدار آن در تیمار SWI در حدود ۴۰/۶ درصد بیش‌تر از مقدار آن در تیمار TWI بود. عملکرد بیولوژیک نشان-دهنده‌ی میزان کل ماده تجمع یافته در اندام هوایی گیاه در زمان برداشت می‌باشد (کاراندیش و همکاران ۱۳۹۲). یکی از دلایل کاهش عملکرد بیولوژیک در تیمار TWI را می‌توان کوتاه شدن دوره رشد رویشی و زایشی دانست (یازار و همکاران ۲۰۰۹). به بیانی دیگر، بالاتر بودن شاخص سطح برگ و افزایش طول دوره سبزینگی باعث حفظ شادابی برگ و به تأخیر انداختن پیری آن شده و زمینه افزایش فعالیت‌های متابولیسمی و در نهایت افزایش وزن خشک کل اندام هوایی را فراهم می‌آورد (گیانکوئینتو و همکاران ۲۰۰۳، رودریگوئز و گرادی ۲۰۰۰). همچنین وجود ارتباط معنی‌دار با ضریب همبستگی ۰/۹۴ بین میزان عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه (جدول ۵) نشان می‌دهد تمام عوامل مؤثر بر میزان عملکرد دانه، مقدار عملکرد بیولوژیک را نیز تحت تأثیر قرار داده و می‌توان از دلایلی مشابه برای نتایج حاصل در این بخش استفاده نمود.

اگرچه در بسیاری از پژوهش‌های پیشین افزایش عملکرد دانه و بیولوژیک و اجزای عملکرد گندم در نتیجه‌ی استعمال فاضلاب تصفیه‌شده گزارش شده است (نظری و همکاران ۱۳۸۵، زادهوش و فرداد ۱۳۸۰)، اما نتایج این پژوهش کاهش معنی‌دار این خصوصیات در تیمار TWI را نشان می‌دهد. علاوه بر عدم کفایت عناصر مغذی موجود در فاضلاب تصفیه‌شده همچون فسفر و نیتروژن، یکی دیگر از دلایل این امر را می‌توان به استعمال طولانی‌مدت و بدون مدیریت فاضلاب تصفیه‌شده در منطقه مطالعاتی و شور شدن خاک نسبت داد. پایش مکانی گندم‌زارهای آبیاری شده با فاضلاب تصفیه‌شده نشان داد در بیش از ۶۶/۸ درصد از منطقه، میزان هدایت الکتریکی در عصاره اشباع خاک بالاتر از ۴ $dS\ m^{-1}$ بوده که در زمره خاک‌های شور محسوب می‌شود. تجمع نمک و به ویژه سدیم در خاک می‌تواند با تخریب و شکستن ساختمان خاک (امداد و همکاران ۲۰۰۳)، پراکندگی کلوئیدها و ذرات رس و تورم آن‌ها و در نتیجه کاهش پایداری ساختمان خاک

(هاداس و فرنکل ۱۹۸۲) و تضعیف شرایط فیزیکی آن (ابراهیمی و نایب‌لویی ۲۰۰۸) موجب کاهش نفوذپذیری شود. کاهش نفوذپذیری باعث تضعیف راندمان آبیاری و در نهایت کاهش محصول خواهد شد. نتایج این پژوهش نیز تأکید بر افزایش میزان تجمع سدیم در لایه‌های سطحی خاک دارد. افزایش میزان هدایت الکتریکی و سدیم تبادلی در نتیجه‌ی استعمال طولانی‌مدت فاضلاب در اراضی کشاورزی در مطالعات دیگری نیز گزارش شد (پینا و همکاران ۲۰۰۹). اگرچه اراضی منتخب در این پژوهش، با قدمتی بالاتر از ۱۰ سال با فاضلاب خام و تصفیه‌شده آبیاری می‌شوند، لکن بررسی‌ها نشان داد در اراضی تحت آبیاری با فاضلاب خام توسط کشاورزان، در صورت وجود آب کافی در چاه‌ها، آبیاری در برخی فصول با آب سالم صورت گرفته است. لذا، این فرآیند، ضمن آبشویی پروفیل خاک و خروج نمک تجمع‌یافته در محدوده ریشه گیاه، شرایط بهتری را برای رشد گیاه در مقایسه با فاضلاب تصفیه‌شده فراهم نموده که در نهایت منتج به افزایش عملکرد محصول در تیمار RWI در مقایسه با تیمار TWI شد. این نتیجه، لزوم اعمال مدیریت حین استفاده از فاضلاب تصفیه‌شده و اصلاح خاک به منظور پایداری کشاورزی آبی در این منطقه را به اثبات می‌رساند.

افزایش معنی‌دار میزان عملکرد دانه در تیمار RWI باعث شد تا میزان شاخص برداشت در این تیمار در حد معنی‌داری بالاتر از مقدار آن در تیمارهای SWI و TWI باشد (جدول ٦). شاخص برداشت نشان‌دهنده چگونگی تسهیم مواد پرورده بین سازه‌های رویشی و دانه است (سینکلیر و همکاران ۱۹۹۰). به عبارت دیگر این شاخص بیانگر میزان مواد فتوسنتزی اختصاص یافته به اندام اقتصادی گیاه نسبت به کل مواد تولیدی ذخیره شده در طول دوره رشد و نمو گیاه می‌باشد. به این ترتیب، بالاتر بودن شاخص سطح برگ در تیمار RWI زمینه لازم برای افزایش فتوسنتز و انتقال مواد قندی به دانه و در نتیجه، افزایش عملکرد دانه و در نهایت شاخص برداشت را فراهم آورده است (آنگادی و انتز ۲۰۰۲). میزان شاخص برداشت در تیمار SWI در حدود ٤٧/٦ درصد بیش‌تر از مقدار آن در تیمار TWI بود. علی‌رغم وجود اختلاف معنی‌دار بین میزان عملکرد دانه در تیمارهای SWI و TWI، افزایش نسبی میزان عملکرد بیولوژیک در تیمار TWI باعث شد تا اختلاف بین میزان شاخص برداشت در این دو تیمار معنی‌دار نباشد.

تأثیر آبیاری بر خصوصیات میکروبی خاک و گیاه

نتایج مثبت استفاده از فاضلاب خام بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم به تنهایی نمی‌تواند معیاری برای مصرف آن در بخش کشاورزی باشد. علیرغم مزایای بسیار استفاده از فاضلاب خام همچون افزایش بهره‌وری آب مصرفی، حفظ منابع آب موجود از طریق برگشت دادن جریان فاضلاب به زمین، صرفه‌جویی در هزینه مصرف کود شیمیایی، توسعه سطح زیر کشت آبی، حفاظت خاک و بهبود کیفیت آن از طریق رشد گیاه و جلوگیری از فرسایش خاک و کاهش آلودگی منابع آب سطحی و زیرسطحی (ذکری و کوو ۱۹۹٤)، استعمال بدون مدیریت آن نیز می‌تواند خطراتی همچون شوری خاک، تجمع عناصر سنگین و بیماری‌زا به ویژه کلی‌فرم‌های مدفوعی و تخم انگل‌ها در خاک و اندام گیاهی را به همراه داشته باشد (پدررو و همکاران ۲۰۱۲). تجمع نماتدهای انگلی و کلی‌فرم‌های مدفوعی به ویژه *اشریشیاکلی* در خاک و اندام گیاهی می‌تواند از جمله مهم‌ترین مخاطرات بهداشتی استعمال فاضلاب در کشاورزی باشد. با این وجود، اندازه‌گیری این عوامل بیماری‌زا در خاک به دلیل هزینه بالا و دشوارای اندازه‌گیری اغلب کم‌تر مورد توجه بوده است. این مساله به ویژه در مورد تعیین *اشریشیاکلی* حایز اهمیت بیش‌تری بوده و در اغلب پژوهش‌های پیشین، میزان کلی‌فرم کل به عنوان نمادی برای حضور این عامل خطرناک در خاک گزارش شده است (پارک و همکاران ۱۹۹۹، سلما و همکاران ۲۰۰۷). به‌همین منظور، در این پژوهش پایش میکروبی خاک و گیاه در تیمارهای مختلف از نظر

آلودگی به حضور *اشریشیاکلی* و نماتدهای انگلی پرداخته شد. نتایج نشان داد میزان *اشریشیاکلی* و نماتد انگلی در خاک در تیمار RWI به ترتیب بیش‌تر از MPN $100ml^{-1}$ ۱۱۰ و ۸ عدد در ۱۰۰ گرم خاک بود. نتایج این پژوهش همچنین حاکی از وجود *اشریشیاکلی* و نماتد انگلی در اندام گیاهی در این تیمار می‌باشد. این در حالی است که میزان *اشریشیاکلی* در خاک در تیمارهای SWI و TWI در حدمعنی‌داری کم‌تر از میزان آن در تیمار RWI بود. همچنین هیچگونه نماتد انگلی در خاک و گیاه آبیاری شده با فاضلاب تصفیه‌شده و آب سالم مشاهده نشد.

جدول ۸- نتایج بررسی خصوصیات میکروبی خاک و گیاه در تیمارهای مختلف.

	تیمار	*اشریشیاکلی* (MPN ($100\ ml^{-1}$))	نماتد انگلی (تعداد در ۱۰۰ گرم خاک)
خاک	SWI	۱/۱	NO
	TWI	۲/۹	NO
	RWI	بیش‌از ۱۱۰	۸
گیاه	SWI	*NO	NO
	TWI	NO	NO
	RWI	۰/۳	۱

* NO چیزی مشاهده نشد

بر اساس استاندارد سازمان حفاظت محیط زیست ایران، تعداد نماتدهای انگلی مجاز در فاضلاب برای استفاده در کشاورزی کم‌تر از یک عدد در لیتر می‌باشد. همچین حضور کل کلی‌فرهای گوارشی مجاز در ۱۰۰ میلی‌لیتر فاضلاب کمتر از ۱۰۰۰ بر اساس استاندارد FAO و WHO و کمتر از ٤۰۰ بر اساس استاندارد سازمان حفاظت محیط زیست ایران می‌باشد. همچنین استاندارد EPA نیز حضور کلی‌فرم‌های گوارشی حتی به میزان ناچیز در آب را نمی‌پذیرد. لذا، تجمع این آلاینده‌ها در لایه‌های سطحی خاک و اندام هوایی به‌دلیل غلظت بالای آن‌ها در آب آبیاری در تیمار RWI خطری جدی برای سلامتی جاندارن محسوب شده و نیازمند اعمال مدیریت‌های جدی در حذف این آلاینده‌ها از محیط‌زیست و توقف آبیاری با فاضلاب خام در منطقه مطالعاتی می‌باشد.

نتیجه‌گیری کلی

این پژوهش با هدف بررسی تأثیر کیفیت آب ورودی در کشاورزی بر خصوصیات کمی گیاه گندم و تغییر وضعیت میکروبی خاک و گیاه با سه تیمار آبیاری با فاضلاب خام (RWI)، پساب تصفیه شده (TWI) و آب سالم (SWI) صورت گرفت. نتایج حاکی از افزایش معنی‌دار شاخصه‌های رشد، میزان عملکرد و اجزای عملکرد گیاه در تیمار RWI در مقایسه با تیمارهای دیگر بود. همچنین، تیمار TWI به دلیل استعمال طولانی‌مدت و بدون مدیریت صحیح کاربرد پساب تصفیه شده، باعث شور شدن خاک و کاهش معنی‌دار عملکرد گندم شد. علی‌رغم تاثیر مثبت فاضلاب خام بر خصوصیات گیاهی، کیفیت نامناسب فاضلاب ورودی باعث تجمع عوامل بیماری‌زا در خاک و گیاه می‌شود. این مساله، اهمیت رعایت ملاحظات زیست‌محیطی در استفاده دراز مدت از این منبع آبی را برای کاهش مخاطرات احتمالی مشهود می‌سازد. قرار گرفتن شاخصه‌های کیفی پساب تصفیه‌شده به‌ویژه خصوصیات میکروبی در محدوده استانداردهای موجود نشان می‌دهد که در صورت اعمال مدیریت صحیح و جلوگیری از تخریب خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، استفاده از فاضلاب تصفیه-شده در آبیاری گندم می‌تواند جایگزینی مناسب برای آب سالم در این منطقه خشک محسوب شود.

منابع مورد استفاده

افیونی م، مجتبی‌پور ر و نوربخش ف، ۱۳۷٦. خاک‌های شور و سدیمی و اصلاح آن‌ها. انتشارات ارکان. اصفهان.

پوراسماعیل پ، حبیبی د و روشن ب، ۱۳۸٦. پلیمر سوپرجاذب. فصلنامه نظام مهندسی کشاورزی و منابع طبیعی. جلد ٤، شماره ۱۵، صفحه‌های ٤٦ تا ۵۳.

زادهوش ع و فرداد ح، ۱۳۸۰. بررسی اثر آبیاری با فاضلاب (پساب) بر عملکرد کمی و کیفی محصول گندم. مجله علوم کشاورزی ایران. جلد ۳۲، شماره ۳، صفحه‌های ٤۷۹ تا ٤۸۵.

شهریاری ع، نوری س، عابدی‌کوپایی ج، آصالح ف، ۱۳۸۹. اثر آبیاری با پساب فاضلاب تصفیه‌شده بر رشد گیاه قره‌داغ تحت شرایط گلخانه. مجله علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای، شماره ٤، صفحه‌های ۱۳ تا ۲۱.

عبدالهی ح، صابری مح و برادران ر، ۱۳۸۵. تاثیر نسبتهای مختلف کود شیمیایی و کود حیوانی بر خصوصیات زراعی عملکرد و اجزای عملکرد گندم. مجله پژوهش در علوم کشاورزی، جلد ۳، شماره ۱، صفحه‌های ۸۹ تا ۱۰۰.

قنبری ا، عابدی کوپایی ج و طایی سمیرمی ج، ۱۳۸۵. اثر آبیاری با پساب فاضلاب تصفیه شده شهری روی عملکرد و کیفیت گندم و برخی ویژگی‌های خاک، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، جلد ۱۰، شماره ٤، صفحه‌های ۵۹ تا ۷٤.

کاراندیش ف، میرلطیفی سم، شاهنظری ع، عباسی ف و قیصری م، ۱۳۹۲. بررسی تأثیر آبیاری ناقص ریشه و کم‌آبیاری معمولی بر بهره‌وری آب و عملکرد و اجزای عملکرد گیاه ذرت. مجله تحقیقات آب و خاک ایران. جلد ٤٤، شماره ۱، صفحه‌های ۳۳ تا ٤٤.

کاراندیش ف، میرلطیفی سم، شاهنظری ع، قیصری م و عباسی ف، ۱۳۹۱. تأثیر کم‌آبیاری ناقص ریشه و کم‌آبیاری معمولی ذرت بر جذب و پتانسیل آبشویی نیترات. مجله مدیریت آب و آبیاری، جلد ۲، شماره ۲، صفحه‌های ۸۵ تا ۹۸.

کاراندیش ف، ۱۳۹۳. تحلیل روش‌های زمین‌آماری در پایش مکانی وضعیت شوری و سدیمی خاک‌های تحت آبیاری با پساب تصفیه‌شده شهری. تحقیقات کاربردی خاک، جلد ۲، شماره ۱، صفحه‌های ۱۱۵ تا ۱۲۵.

گلپرور ا، قنادها مر و زالی ع، ۱۳۸۱. تعیین بهترین صفات گزینش برای بهبود عملکرد ژنوتیپ‌های گندم نان در شرایط تنش خشکی. نهال و بذر، جلد ۱۸، شماره ۲، صفحه‌های ۱٤٤ تا ۱۵۵.

مقدم‌نیا م، بصیرت ف و شکیبا م، ۱۳۷۲. تجزیه علیت دانه و برخی صفات مورفولوژیک در گندم پائیزه. مجله دانش کشاورزی. جلد ۱، شماره ۲، صفحه‌های ۷٤ تا ۷۵.

نظری مع، شریعتمداری ح، افیونی م، مبلی م و رحیلی ش، ۱۳۸۵. اثر کاربرد پساب و لجن فاضلاب صنعتی بر غلظت برخی عناصر و عملکرد گندم، جو و ذرت. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. جلد ۱۰، شماره ۳، صفحه‌های ۹۷ تا ۱۱۰.

Alizadeh A, Bazari ME, Velayati S, Hasheminia M and Yaghmaie A, 2001. Irrigation of corn with wastewater. Pp. 147-154. In: Ragab R, Pearce G, Changkim J, Nairizi S and Hamdy A (Eds.), ICID International Workshop on Wastewater Reuse and Management. Seoul, Korea.

Angadi SV and Entz MH, 2002. Water Relations of standard height and Dwarf sunflower cultivars. Crop Science 42:152-159.

Angelakis AN, Montearecos HF, Bontoux L and Asano T, 1999. The status of wastewater reuse practice in the mediterranean basin. Water Research 33: 2201-2217.

Asano T and Levine AD, 1996. Wastewater reclamation and reuse: Post, present and future. Journal of Water Science and Technology 33(10-11): 1-14.

Bahri A, 1999. Agricultural reuse of wastewater and global water management. Journal of Water Science and Technology 40(4-5): 339-346.

Cheong YH, Kim KN, Pandey GK, Gupta R, Grant JJ and Luan S, 2003. CBL1, a calcium sensor that differentially regulates salt, drought, and cold responses in Arabidopsis. The Plant Cell 15:1833-1845.

Day AD, Taher FA and Katterman FRH, 1975. Influence of treated municipal wastewater on growth fiber, acid soluble nucleotide, protein and amino acid content in wheat grain. Journal of Environmental Quality 4 (2): 167-169.

Ebrahimi K and Nayeblouei F, 2008. Evaluating the neural network models in estimating the soil final infiltration rate. Second national congress on irrigation and drainage network management.

Emdad MR, Fardad H and Siadat H, 2003. The effect of water quality (sodic and salt waters) on final infiltration rate in furrow irrigation. Journal of Soil and Water Sciences 17(2): 1-10.

Gianquinto G, Sambo P and Pimpini F, 2003. The use of SPAD-502 chlorophyllmeter for dynamically optimising the nitrogen supply in potato crop: firstresults. Acta Horticulturae 627: 225-230.

Hadas AH and Frenkel H, 1982. Infiltration as affected by long-term use of sodic-saline water for irrigation. Soil science society of American Journal 46(3): 524-530.

Janosova B, Miklankova J, Hlavinek P and Wintgens T, 2006. Drivers for wastewater reuse regional analysis in the Czech Republic. Desalination 187: 103–114.

Kausar K, Akbar M, Rasul E and Ahmad AN, 1993. Physiological responses of nitrogen, phosphorus and potassium on growth and yield of wheat. Pakistan Journal of Agricultural Research 14: 2–3.

Mahmoudian, S. 2001. Water from Water: A Review of Wastewater Reuse in Iran. Country Paper for the "Joint FAO/WHO Consultation for Launching the Regional Network on Wastewater Reuse". Amman, Jordan.

Massoudinejad MR, Manshouri M and Yazdanbakhsh AR, 2008. Study of the reuse of Zamyad factory wastewater treatment plant in irrigation. Iran Journal of Environmental Health Science and Engineering 3(4): 285-288.

Monte HM, Esousa MS, 1992. Effects on crops of irrigation with effluent water. Science and Technolgy 26 (7-8): 1603-1613.

Papadopoulos I and Stylianon Y, 1991. Trickle irrigation of sunflower with municipal wastewater. Agricultural Water Management. 19: 67-75.

Park S, Worobo RW and Durst RA, 1999. E. coli O157:H7 as an emerging foodborne pathogen: a literature review. Critical Reviews on Food Science and Nutrition Journal 39: 481–502.

Payne WA, Lascano RJ, Hossner LR, Wendt CW and Onken AB, 1991. Pearl millet growth as affected by phosphorus and water. Agronomy Journal 83: 942-948.

Pedrero F, Allende A, Gil M, Juan I and Alarcón J, 2012. Soil chemical properties, leaf mineral status and crop production in a lemon tree orchard irrigated with two types of wastewater. Agricultural Water Management 109: 59-60.

Pescod MD, 1992. Wastewater treatment and use in agriculture, Food and Agricultural Organization (FAO). Irrigation and Drainage 47: 978 – 989.

Pedrero F, Allende A, Gil M, Juan I and Alarcón J, 2012. Soil chemical properties, leaf mineral status and crop production in a lemon tree orchard irrigated with two types of wastewater. Agricultural Water Management 109: 59-60.

Pina S, Garcia-Orenes F, Mataix H, Jordan MM and Mataix-Solera J, 2009. Effect of the irrigation with waste water on two different Mediterranean soils under greenhouse conditions. Geophysical Research Abstracts 11: 2009-12564.

Rodriguez IR and Grady LM, 2000. Using a chlorophyll meter to determine the chlorophyll concentration nitrogen concentration and visual quality of St. Austinne grass. Horticultural Science 35: 751-754.

Selma MV, Allende A, López-Gálvez F, Elizaquivel R, Aznar R, Gil MI, 2007. Potential microbial risk factors related to soil amendments and irrigation water of potato crops. Journal of Applied Microbiology 103: 2542–2549.

Sinclair TR, Bennett JM and Muchow RC, 1990. Relative sensitivity of grain yield and biomass accumulation to drought in field grown maize. Crop Science 30: 690-693.

Surekha K, Pavan CRK, Padma KAP, Stacruz PC, 2006. Effect of straw on yield components of rice (Oryza sativa L.) under rice-rice cropping systems. Journal of Agronomy and Crop Science 192: 92-101.

Taniyama S and Adachi O, 1999. Utilization of treated sewage water for irrigation in paddy field areas in Japan, Int. seventeenth congress on irrigation and drainage. International Commission on Irrigation and Drainage 109: 59-60.

Yazar A, Gokcel F and Sezen MS, 2009. Corn yield response to partial rootzone drying and deficit irrigation strategies applied with drip system. Plant Soil Environment 55(11): 494–503.

Zekri M and Koo RCJ, 1994. Treated municipal wastewater for citrus irrigation. Journal of Plant Physiology 17: 693–708.