Scientific-Promotional (Professional) Journal of Aquifer
Homepage: https://abkhansj.ut.ac.ir

Irrigation of agricultural crops with treated wastewater (Potentials and Limitations)

Mani Jabbari [1]✉ | **Mitra Jabbari** [2]

1. Corresponding Author, Department of Horticultural Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Birjand University, Iran . E-mail: mani.jabbari.mp@gmail.com

2. Department of Horticultural Science and Engineering, Faculty of Plant Production, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources. E-mail: mitrajabbari2014@gmail.com

Article Info

Article type: Promotional

Article history:

Received: Oct. 06, 2025

Revised: Oct. 04, 2025

Accepted: Feb. 08, 2026

Published online: Mar. 02, 2026

Keywords:
Irrigation Systems,
Sustainable Agriculture,
Water Scarcity,
Unconventional Water Resources.

ABSTRACT

Due to climate change, it is estimated that at least a quarter of the world's population will be affected by water scarcity in the coming years and if urgent action is not taken, the global water deficit will be 40% by 2030. To overcome water scarcity, 15 million cubic meters of untreated wastewater are used daily globally to irrigate agricultural crops, contaminating the soil with pathogens, heavy metals and excess salts. It is estimated that to meet food demand by 2050, the water available for agricultural irrigation must increase by 70%. In this context, wastewater can become a suitable water source to meet this growing demand. Since 10% of the world's population consumes food from crops irrigated with wastewater, the reuse and recycling of treated wastewater is a sustainable approach to meet the growing demand for clean water and ensure its availability for current and future generations. Treated wastewater is both a resource and a challenge. Although it may be rich in nutrients and can increase agricultural production while simultaneously reusing resources and protecting the environment, high treatment costs, public acceptance, and pollution risks limit its use. If properly managed, the reuse of treated wastewater has enormous potential to alleviate water scarcity and promote sustainable agriculture as well as global food security. The aim of this paper is to shed light on the importance of using treated wastewater in irrigation as an alternative freshwater source. The impacts of treated wastewater irrigation on soil properties, fertility status, plants, and public health are also examined.

Cite this article: Jabbari, M., Jabbari., (2026) Irrigation of agricultural crops with treated wastewater (Potentials and Limitations), *Scientific-Promotional Journal of Aquifer*, 20 (1).

Publisher: The University of Tehran Press.

نشریه علمی–ترویجی آبخوان، دوره ۲۰، شماره ۱
Homepage: https://abkhansj.ut.ac.ir

آبیاری محصولات کشاورزی با فاضلاب تصفیه‌شده (پتانسیل‌ها و محدودیت‌ها)

مانی جباری[۱] ✉ | میترا جباری[۲]

۱. نویسنده مسئول، کارشناس ارشد، گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، ایران. رایانامه: mani.jabbari.mp@gmail.com
۲. کارشناس ارشد، گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان. رایانامه: mitrajabbari2014@gmail.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: ترویجی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۷/۱۴
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۸/۱۳
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۱/۱۹
تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۱۲/۱۱

واژه‌های کلیدی:
سیستم‌های آبیاری،
کشاورزی پایدار،
کمبود آب،
منابع آب غیرمتعارف.

چکیده

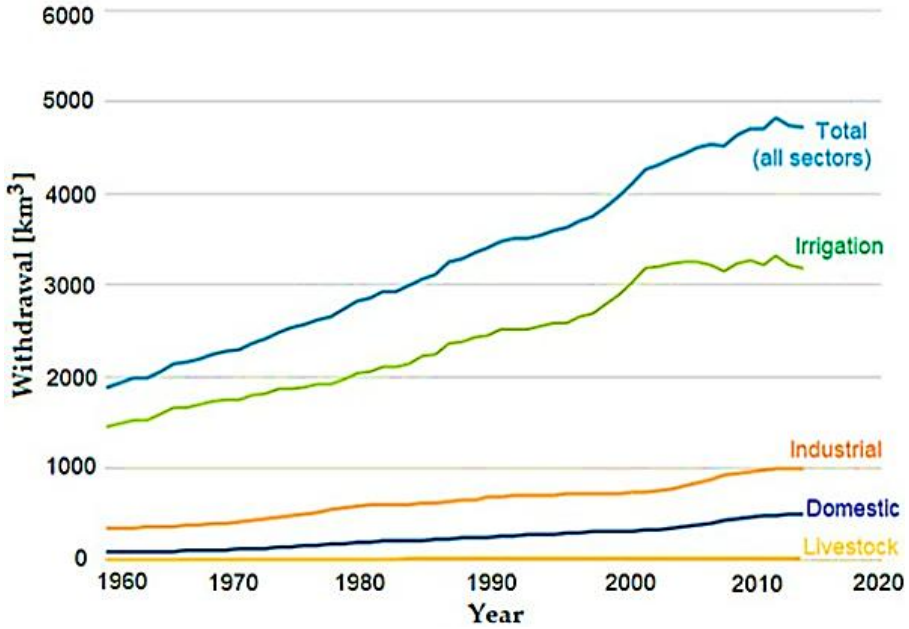
به‌دلیل تغییرات اقلیمی، تخمین زده می‌شود که حداقل یک چهارم جمعیت جهان در سال‌های آینده تحت تأثیر کمبود آب قرار خواهند گرفت و اگر اقدام فوری انجام نشود، تا سال ۲۰۳۰ کسری آب جهانی ۴۰ درصد خواهد بود. برای غلبه بر کمبود آب، روزانه ۱۵ میلیون مترمکعب فاضلاب تصفیه‌نشده در سطح جهان برای آبیاری محصولات کشاورزی استفاده می‌شود که خاک را با عوامل بیماری‌زا، فلزات سنگین و نمک‌های اضافی آلوده می‌کند. تخمین زده شده است که برای تأمین تقاضای غذا تا سال ۲۰۵۰، آب موجود برای آبیاری کشاورزی باید ۷۰ درصد افزایش یابد. در این زمینه، فاضلاب می‌تواند به یک منبع آب مناسب برای تأمین این تقاضای رو به رشد تبدیل شود. از آنجایی که ۱۰ درصد از جمعیت جهان از محصولات آبیاری شده با فاضلاب، غذا مصرف می‌کنند، استفاده مجدد و بازیافت فاضلاب تصفیه‌شده، رویکردی پایدار برای پاسخگویی به تقاضای رو به رشد برای آب پاک است و در دسترس بودن آن را برای نسل‌های فعلی و آینده تضمین می‌کند. فاضلاب تصفیه‌شده هم یک منبع و هم یک چالش است. اگرچه ممکن است غنی از مواد مغذی باشد و بتواند تولیدات کشاورزی را افزایش دهد و در عین حال استفاده مجدد از منابع و حفاظت از محیط‌زیست را نشان دهد، هزینه‌های بالای تصفیه، پذیرش عمومی و خطرات آلودگی، استفاده از آن را محدود می‌کند. در صورت مدیریت صحیح، استفاده مجدد از فاضلاب تصفیه‌شده پتانسیل عظیمی برای کاهش کمبود آب و گسترش کشاورزی پایدار و همچنین امنیت غذایی جهانی دارد. هدف از این مقاله، روشن کردن اهمیت استفاده از فاضلاب تصفیه‌شده در آبیاری به‌عنوان یک منبع آب شیرین جایگزین است. همچنین تأثیرات آبیاری فاضلاب تصفیه‌شده بر خواص خاک، وضعیت حاصلخیزی، گیاهان و سلامت عمومی بررسی می‌شود.

استناد: جباری؛ مانی، جباری؛ میترا، (۱۴۰۴) آبیاری محصولات کشاورزی با فاضلاب تصفیه‌شده (پتانسیل‌ها و محدودیت‌ها)، *نشریه علمی–ترویجی آبخوان*، ۲۰ (۱).

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

مقدمه

منابع آب به‌دلیل عوامل متعددی مانند رشد سریع جمعیت جهان، تغییرات در کاربری زمین، گسترش فعالیت‌های تولیدی و توسعه شهری با فشار و تخریب زیادی روبرو هستند (Zhang et al., 2017). در طول چند دهه گذشته، تقاضای آب به صورت تصاعدی افزایش یافته است، به طوری که از سال ۱۹۸۰ تاکنون، میانگین افزایش سالانه مصرف آب در سطح جهان یک درصد بوده است (Velasco-Muñoz et al., 2018). علاوه‌براین، انتظار می‌رود این روند تقاضا تا سال ۲۰۵۰ ادامه یابد و پیش‌بینی می‌شود که ظرف چند سال ۲۰ تا ۳۰ درصد از سطح فعلی افزایش یابد (Bouwer, 2002). چشم‌اندازهای آینده به وخامت این وضعیت به دلیل پیامدهای تغییرات اقلیمی جهانی، مانند بارندگی کم، نرخ بالای تبخیر آب و گسترش خشکی و بی آبی به دلیل افزایش دما و موارد دیگر اشاره دارد (Kihila, 2017). تخمین زده می‌شود که حداقل یک چهارم جمعیت جهان در سال‌های آینده تحت تأثیر کمبود آب قرار خواهند گرفت و اگر اقدام فوری انجام نشود، تا سال ۲۰۳۰ کسری آب جهانی ۴۰ درصد خواهد بود (Straatsma et al., 2020).

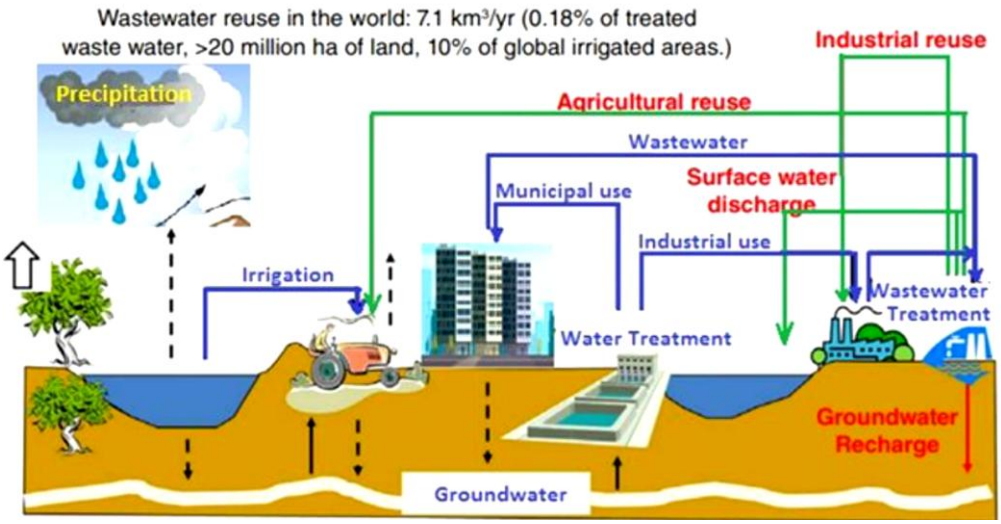


شکل ۱: برداشت جهانی آب بر اساس بخش‌های مختلف، بین سال‌های ۱۹۶۰ تا ۲۰۱٤ (WRI, 2020)

بر اساس نتیجه‌گیری‌های گزارش سازمان ملل متحد در مورد راه‌حل‌های مبتنی بر طبیعت برای آب، مشکل پیش روی جامعه امروز، کمبود آب برای تأمین نیازهای رو به رشد جهان نیست، بلکه تغییر اساسی در نحوه استفاده، مدیریت و اشتراک‌گذاری آب است (Bouwer, 2002). در این راستا، یکی از گزینه‌های ممکن، استفاده مجدد از فاضلاب است که شامل تبدیل آب به یک منبع به جای تصفیه آن به عنوان زباله می‌شود. در واقع، فاضلاب، می‌تواند به یک منبع آب مرتبط برای تأمین تقاضای رو به رشد جهانی برای آب تبدیل شود. فاضلاب به هر آبی با کیفیت پایین که تحت تأثیر منفی تأثیرات انسانی قرار گرفته است، اشاره دارد (Benavides et al., 2019). استفاده مجدد از فاضلاب تصفیه شده، امیدوارکننده‌ترین راه حل برای کاهش تخریب خاک و افزایش بهره‌وری کشاورزی است. مطالعات متعدد نشان می‌دهد که فاضلاب تصفیه شده، مواد مغذی مورد نیاز محصولات را تأمین و حاصلخیزی خاک را بهبود و استفاده از کود شیمیایی را کاهش دهد (Renai et al., 2021). اگرچه فاضلاب تصفیه شده برای به حداقل رساندن خطرات آلاینده‌ها تصفیه می‌شود (Salem, 2023)، اما اطمینان از مطابقت آب با استانداردهای ایمنی بهداشتی بسیار مهم است.

ترکیب و ویژگی‌های فاضلاب، بسته به منابع آن بسیار متفاوت است. برای مثال، فاضلاب خانگی سرشار از مواد مغذی و مواد آلی است، در حالی که برخی از فاضلاب‌های صنعتی حاوی مواد مضر و فلزات سنگین هستند (Jiang, 2022). پیشرفت‌های اخیر در فناوری‌های

تصفیه فاضلاب شامل: انعقاد الکتریکی[1]، فیلتراسیون غشایی[2] و اشعه ماوراء بنفش[3] است (Yakamercan et al., 2023). از جنبه مثبت، فاضلاب تصفیه‌شده یک جایگزین بلندمدت برای کودهای شیمیایی معمولی است که حاصلخیزی خاک را بهبود، فعالیت میکروبی را افزایش و مواد مغذی لازم را برای محصولات فراهم می‌کند که این امر در مناطقی با منابع آب شیرین محدود مفید است زیرا می‌تواند بهره‌وری کشاورزی را افزایش و در عین حال کمبود آب شیرین را کاهش دهد (Al Hamedi et al., 2023). با این حال، نگرانی‌هایی وجود دارد که فاضلاب تصفیه‌شده ممکن است به عوامل بیماری‌زا، فلزات سنگین و ..... آلوده باشد (Shamsizadeh et al., 2021). کاهش این خطرات نیازمند فناوری‌های مؤثر و قوانین مناسب است. ارزیابی‌های منظم نیز برای اطمینان از استفاده ایمن از فاضلاب تصفیه شده ضروری است (Salem, 2023).



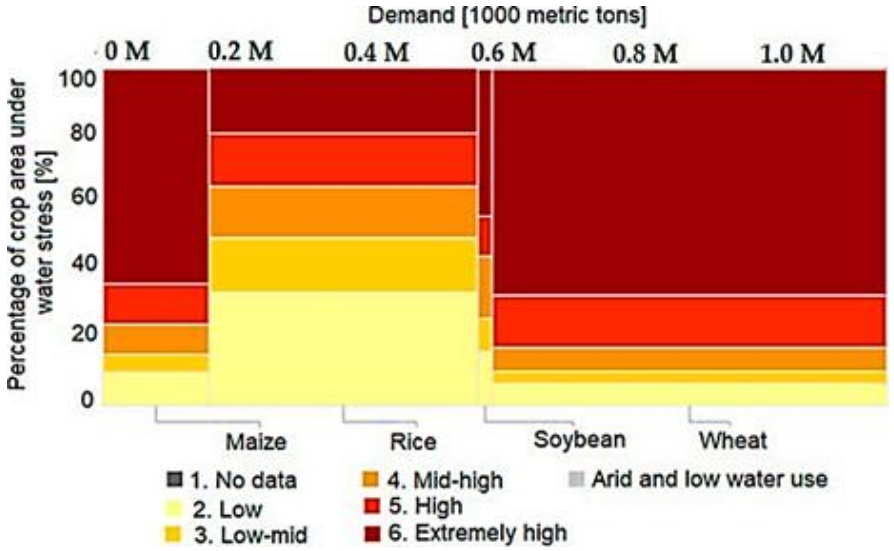
شکل ۲: استفاده مجدد از فاضلاب و چرخه هیدرولوژیکی (Zhang and Shen, 2017)

فاضلاب تصفیه‌شده در آبیاری کشاورزی

حجم فاضلاب ۵۰ تا ۸۰ درصد از مصرف آب خانگی را تشکیل می‌دهد (Hussain et al., 2019) و تخلیه فاضلاب جهانی ۴۰۰ میلیارد مترمکعب در سال تخمین زده شده است که تقریباً ۵۵۰۰ میلیارد مترمکعب آب در سال را آلوده می‌کند (Zhang and Shen, 2017). فاضلاب معمولاً از ۹۹٪ آب و ۱٪ جامدات معلق، کلوئیدی و محلول تشکیل شده است (Hanjra et al., 2012). فاضلاب تصفیه‌شده، منبع عالی مواد آلی و طیف وسیعی از مواد مغذی مانند منگنز، کبالت، آهن، مس، روی و مولیبدن است (Koné et al., 2004). به‌عنوان مثال، فاضلاب تصفیه‌شده مقادیر زیادی از عناصر ضروری (نیتروژن کل ۵/۸۴–۱۲ میلی‌گرم در لیتر، فسفر کل ۰/۰۳–۰/۳۵ میلی‌گرم در لیتر، کلرید ۱۴۴ تا ۱۷۷۰ میلی‌گرم در لیتر) را فراهم می‌کند (Li et al., 2025). این مواد مغذی برای رشد محصول حیاتی هستند و می‌توانند وابستگی کشاورزان به کودهای شیمیایی پرهزینه را کاهش و هزینه‌های تولید کشاورز را از طریق استفاده از فاضلاب تصفیه شده کم کنند (Obijianya et al., 2025).

فاضلاب تصفیه شده می‌تواند برای تغذیه سفره آب زیرزمینی و ذخایر آب به چاه‌های عمیق تزریق شود (Bierkens and Wada, 2019). علاوه‌براین، اجزای آلی موجود در فاضلاب تصفیه‌شده به عنوان منابع آبیاری و مواد مغذی و به عنوان عاملی در حفاظت از خاک و توسعه ساختاری نقش دارند. این امر سلامت خاک را بهبود و فرسایش خاک را کاهش می‌دهد (Khan et al., 2022). با وجود این مزایا، برخی از آستانه‌های فاضلاب تصفیه‌شده، مانند سطوح بیش از حد سدیم و کلرید، ممکن است در شوری خاک نقش داشته باشند (Santos et al., 2023). به‌عنوان مثال، آب آبیاری حاوی بیش از ۱۸۰ میلی‌گرم در لیتر کلر می‌تواند عملکرد محصول را کاهش دهد (Cao et al., 2022).

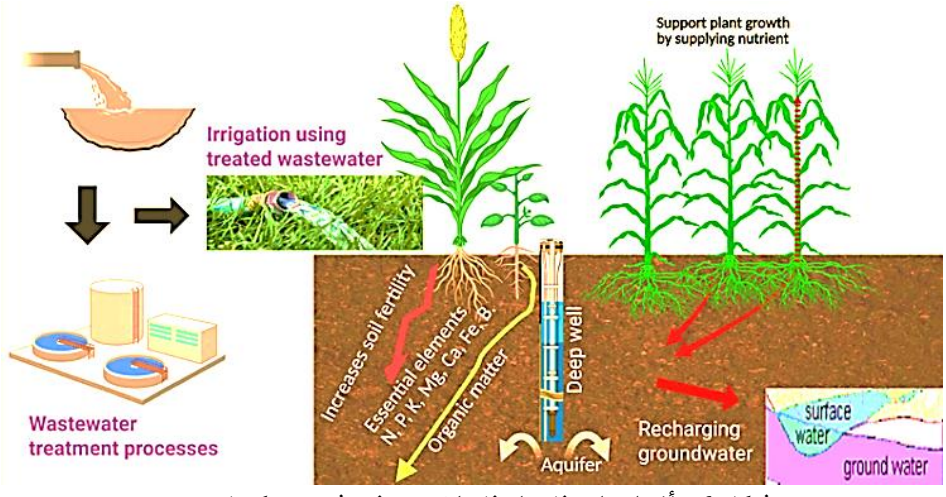
[1] Electrocoagulation
[2] Membrane Filtration
[3] Ultraviolet Treatment



شکل ۳: درصد پیش‌بینی‌شده‌ی سطح زیر کشت محصولات آبی بر اساس سطح تنش آبی و حجم تقاضا در سال ۲۰۴۰، در سراسر جهان (WRI, 2020)

استفاده مجدد از فاضلاب تصفیه شده

استفاده مجدد از فاضلاب تصفیه‌شده بیشتر در کشورهای خشک با منابع آب شیرین کمیاب نسبت به کشورهایی با منابع نسبتاً فراوان آب پذیرفته شده است (Jones et al., 2021; Fito and Van Hulle, 2021). سنگاپور تقریباً ۴۰٪ از فاضلاب تصفیه شده خود را برای اهداف مختلف، عمدتاً غیر آبیاری، به کار می‌گیرد (Helmecke et al., 2020). در اسپانیا، تقریباً ۷۱٪ از فاضلاب تصفیه شده برای آبیاری استفاده می‌شود و این نسبت برای استرالیا ۱۱/۵٪ و برای اردن ۱۷٪ بوده است (Angelakis and Snyder, 2015; Ait-Mouheb et al., 2018; Savchenko et al., 2019). به‌طورکلی، کشورهایی با سطح درآمد بالاتر تمایل به تولید فاضلاب بیشتری دارند. برعکس، کشورهای مناطق خشک با بارندگی کم، تمایل بیشتری به جمع‌آوری و تصفیه فاضلاب برای استفاده مجدد نسبت به سایر کشورها دارند. به‌عنوان مثال، تنها ۱۶٪ از جمعیت جهان که در کشورهای ثروتمند ساکن هستند، ۴۱٪ از تولید فاضلاب جهان را تشکیل می‌دهند. به‌طور قابل‌توجهی، مناطقی که با آب و هوای خشک و بارندگی کم مشخص می‌شوند، مانند خاورمیانه و شمال آفریقا، میزان بالایی از استفاده مجدد از فاضلاب تصفیه شده را نشان می‌دهند، به‌طوری که تقریباً ۱۵٪ از کل فاضلاب در این مناطق تصفیه و دوباره استفاده می‌شود. نکته قابل‌توجه این است که جمعیت این مناطق تنها حدود ۸/۵٪ از جمعیت جهان را تشکیل می‌دهد (Jones et al., 2021). در کشورهای در حال توسعه، چالش اساسی در استفاده مجدد از فاضلاب تصفیه شده ممکن است فقدان تصفیه‌خانه‌های پیشرفته باشد. با این حال، مشکلات ریشه‌ای عبارتند از فقر، ظرفیت فنی محدود، شکاف‌های نظارتی و مسائل اولویت‌بندی در برنامه‌ریزی ملی و محلی است (Lema, 2025).



شکل ٤: تأثیرات استفاده از فاضلاب تصفیه شده در کشاورزی

در حالی که فاضلاب تصفیه شده یک راه حل جذاب برای استفاده مستقیم در کشاورزی ارائه می‌دهد، استفاده موثر از روش‌های مناسب تصفیه برای رفع نگرانی‌های زیست محیطی و بهداشتی بسیار مهم است (Ungureanu et al., 2020). بسیاری از تکنیک‌های پیشرفته تصفیه، از جمله بیوراکتورهای غشایی[1] و تالاب‌های مصنوعی[2]، برای بازیابی مواد مغذی مهم و از دست رفته مانند نیتروژن و فسفر توسعه یافته‌اند. با تبدیل این مواد مغذی به کود، این مقادیر می‌توانند یک حلقه بسته یا اقتصاد چرخشی ایجاد کنند که نیاز به کودهای مصنوعی در کشاورزی را از بین می‌برد (Rout et al., 2021). این فناوری‌ها با استفاده پایدار از منابع آب، یعنی فناوری تصفیه و بازیافت فاضلاب، سازگار هستند. آن‌ها به کاهش اثرات زیست‌محیطی مرتبط با دفع فاضلاب و حفظ منابع آب شیرین، به ویژه در مناطق بیابانی که آب کمیاب است، کمک می‌کنند (Garcia and Pargament, 2015).

تأثیر آبیاری با فاضلاب بر گیاه

در یک مطالعه سه ساله، نتایج نشان داد که پارامترهای کیفی شلیل، ترکیبات آنتی‌اکسیدانی و فنول کل در میوه‌های تحت تیمار فاضلاب تصفیه شده نسبت به میوه‌های تحت تیمار آب شیرین به دلیل مقدار زیاد مواد مغذی در فاضلاب تصفیه شده بیشتر بود. با این حال، تعداد میوه در تیمار فاضلاب کمتر، اما این کاهش با وزن زیاد برای میوه‌های منفرد جبران شد (Pedrero et al., 2018). در چین، محصول غلات آبیاری شده با فاضلاب تصفیه شده از سال ۲۰۰۲ به سرعت افزایش یافته است تا مشکل کمبود آب را حل کند (Wang et al., 2017). افزایش عملکرد گندم، جو، جو دوسر و خردل به دلیل کاربرد فاضلاب تصفیه شده گزارش شده است (Tabassum et al., 2007; Akhtar et al., 2008; 2012). علاوه‌براین، رشد نیشکر تحت تیمار آبیاری فاضلاب تصفیه شده بهتر از تیمار شاهد بود (Ahmad et al., 2003). در پکن، با استفاده از آزمایش‌های گلدانی، تأثیرات استفاده از فاضلاب تصفیه شده و آب شیرین را بر رشد سویا و ذرت ارزیابی کرد. نتایج نشان داد که عملکرد سویا و ذرت تحت تیمار فاضلاب تصفیه شده به‌وضوح بهبود یافته است (Huang et al., 2007). محققان بررسی تأثیر آب شیرین و آبیاری فاضلاب تصفیه شده تحت آبیاری قطره‌ای سطحی (SDI[3]) و آبیاری قطره‌ای زیرسطحی (SSDI[4]) بر پارامترهای رشد و تولید بامیه[5] انجام دادند، نتایج نشان داد که فاضلاب تصفیه شده تأثیر مثبتی بر ویژگی‌های عملکرد و پارامترهای رشد بامیه دارد (Mahmoudi et al., 2020).

محققین اظهار داشتند که عملکرد گوجه‌فرنگی، لوبیا قرمز، خیار و بادمجان آبیاری شده با فاضلاب تصفیه شده به ترتیب ۱۵، ۷، ۲۴ و ۶۱ درصد بیشتر از گیاهان آبیاری شده با آب شیرین بود (Wu et al., 2010). تحقیقات نشان داد که تأثیر مثبتی بر عملکرد و رشد گوجه‌فرنگی، بادمجان و خیار آبیاری شده با فاضلاب تصفیه شده در مقایسه با آبیاری آب زیرزمینی وجود دارد (Li et al., 2019). تحقیقات تأیید می‌کند که ذرت می‌تواند بدون تأثیر بر بهره‌وری محصول هنگام آبیاری با فاضلاب تصفیه شده در مصرف آب صرفه‌جویی کند (Afzal et al., 2016). گوجه‌فرنگی‌هایی که تحت آبیاری با فاضلاب تصفیه شده قرار داشتند، میوه بیشتری تولید و عملکرد بالاتری نسبت به گیاهانی که با آب لوله‌کشی آبیاری می‌شدند، داشتند (Emongor et al., 2008). تحقیقات متعددی نشان داد که آبیاری با فاضلاب تصفیه شده هیچ تأثیر نامطلوبی بر سبزیجات، آب‌های زیرزمینی یا زنجیره غذایی ندارد (Xu et al., 2009; Gharbi et al., 2010; Xue et al., 2011; Chen et al., 2013).

در یک آزمایش هشت ساله که برای بررسی تأثیر استفاده طولانی مدت از آبیاری و کوددهی فاضلاب تصفیه شده بر خواص گیاه و خاک انجام شد، گزارش شد که درختانی که با فاضلاب تصفیه شده بدون کوددهی آبیاری شده بودند، تحت تأثیر منفی قرار نگرفتند، به این معنی که فاضلاب تصفیه شده مواد مغذی کافی را برای گیاهان فراهم می‌کند. علاوه‌براین، عملکرد در تیمارهای فاضلاب تصفیه شده در مقایسه با تیمار آب شیرین بیشتر بود (Erel et al., 2019). آبیاری با فاضلاب تصفیه شده و تأثیر آن بر گیاهان در مطالعات مختلف بیان شده است (Benelhadj et al., 2024; Aliste et al., 2024; Casale et al., 2024; Romero-Trigueros et al., 2024; Mansilla et al., 2024; García-Valverde et al., 2024; Palumbo et al., 2024; Mazahrih et al., 2024; Souza Filho et al., 2024; Mendoza-Grimón et al., 2024; Hu et al., 2024; Chen et al., 2024; Mola et al., 2024).

---

[1] Membrane Bioreactors
[2] Artificial Wetlands
[3] Subsurface Drip Irrigation
[4] Surface and Subsurface Drip Irrigation
[5] okra (*Abelmoschus esculentus*)

موانع/چالش‌ها

استفاده مجدد از فاضلاب تصفیه‌شده از اوایل قرن بیستم، زمانی که تصفیه‌خانه‌های فاضلاب مدرن توسعه یافتند، به عنوان یک منبع آب پایدار و ایمن برای آبیاری سبزیجات شناخته شده است (Partyka and Bond, 2022). کیفیت فاضلاب تصفیه‌شده می‌تواند بسته به میزان تصفیه، تغییرات قابل‌توجهی را نشان دهد. به‌طورکلی، در مقایسه با آب شیرین، حاوی نسبت‌های بالاتری از اجزای آلی و معدنی است. مدیریت ناکافی این اجزا ممکن است منجر به عواقب ناخواسته زیست‌محیطی و زراعی شود (Yalin et al., 2023). در برخی مناطق، فاضلابی که به درستی مطابق با مقررات تصفیه می‌شود، حتی ممکن است از منابع آب سنتی کیفیت بالاتری داشته باشد (Leonel and Tonetti, 2021). هزینه تصفیه فاضلاب واحد به فرآیند تصفیه بستگی دارد، اما به‌طورکلی گزارش شده است که در محدوده ۰/۰۸ تا ۰/۲۳ یورو بر مترمکعب است (Pistocchi et al., 2018). با این حال، این هزینه با کاهش مصرف کود با استفاده از آب تصفیه شده جبران می‌شود (Mishra et al., 2023). علاوه بر این، اندازه تصفیه خانه، عاملی است که بر هزینه تأثیر می‌گذارد، به طوری که تصفیه خانه‌های کوچکتر هزینه‌های بالاتری نسبت به تصفیه خانه‌های بزرگتر دارند (Arborea et al., 2017). از سوی دیگر، در بسیاری از کشورها، فاضلاب تصفیه شده به صورت رایگان یا با یارانه به کشاورزان ارائه می‌شود (Expósito et al., 2024). با این حال، برای رعایت مقررات بهداشت و ایمنی، این روش باید تضمین کند که فاضلاب با استفاده از رویه‌های سختگیرانه و اغلب گران قیمت به طور کافی تصفیه می‌شود (Partyka and Bond, 2022).

بحث

بهبود مدیریت منابع آب استفاده از فاضلاب تصفیه‌شده به‌عنوان یک منبع آب جایگزین، به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک، می‌تواند فشار بر منابع آب شیرین را کاهش دهد. در بسیاری از کشورها، فاضلاب تصفیه‌شده به‌عنوان یک راهکار جایگزین برای تأمین آب کشاورزی در دسترس است. این امر می‌تواند به ویژه در مناطق با کمبود آب، اهمیت ویژه‌ای داشته باشد و به پایدارتر شدن کشاورزی کمک کند. افزایش بهره‌وری خاک آبیاری با فاضلاب تصفیه‌شده می‌تواند به بهبود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک کمک کند. این فاضلاب حاوی مواد مغذی مانند نیتروژن، فسفر و پتاسیم است که می‌تواند به عنوان کود طبیعی عمل کند و نیاز به استفاده از کودهای شیمیایی را کاهش دهد. همچنین، مواد آلی موجود در فاضلاب می‌توانند به افزایش حیات میکروبی خاک و بهبود ساختار خاک کمک کنند، که در نهایت موجب افزایش ظرفیت نگهداری آب و تهویه بهتر خاک می‌شود.کاهش هزینه‌های کشاورزی استفاده از فاضلاب تصفیه‌شده می‌تواند هزینه‌های کشاورزان را به دلیل کاهش نیاز به آب‌های شیرین و کودهای شیمیایی کاهش دهد. این موضوع به‌ویژه در کشورهایی با هزینه‌های بالای تأمین آب و مواد مغذی اهمیت دارد.

راهکارها و پیشنهادات

الف) بهبود فرآیندهای تصفیه برای کاهش خطرات بهداشتی و زیست‌محیطی: استفاده از فاضلاب تصفیه‌شده باید با استانداردهای بالای تصفیه همراه باشد. تصفیه‌خانه‌های پیشرفته‌ای که فاضلاب را از نظر میکروبی، شیمیایی و فیزیکی تصفیه کنند، می‌توانند میزان آلودگی را کاهش دهند و آن را برای استفاده در کشاورزی ایمن‌تر سازند. استفاده از تکنولوژی‌های نوین مانند اسمز معکوس (RO) یا فیلترهای نانوفیلتراسیون می‌تواند به کاهش میزان آلودگی کمک کند.

ب) آموزش و آگاهی‌بخشی به کشاورزان و مصرف‌کنندگان برای کاهش نگرانی‌های اجتماعی: لازم است که کشاورزان و مصرف‌کنندگان در خصوص فواید و ایمنی استفاده از فاضلاب تصفیه‌شده آموزش ببینند. ارائه تحقیقات علمی و تجربه‌های موفق از مناطق مختلف می‌تواند به تغییر نگرش‌ها کمک کند و استفاده از این روش را به عنوان یک تکنیک پایدار معرفی نماید.

ج) توسعه سیاست‌های حمایتی دولت‌ها و نهادهای سیاست‌گذار: می‌توانند با ارائه مشوق‌های مالی و حمایت‌های فنی، کشاورزان را به استفاده از فاضلاب تصفیه‌شده تشویق کنند. این حمایت‌ها می‌تواند شامل تأمین تجهیزات تصفیه، برگزاری دوره‌های آموزشی و اعطای وام‌های کم‌بهره برای توسعه این تکنیک باشد.

د) نظارت دقیق و پایش مستمر برای جلوگیری از آلودگی‌های احتمالی و تأثیرات منفی بر سلامت محیط زیست و انسان‌ها: لازم است نظارت مستمر بر کیفیت فاضلاب تصفیه‌شده و محصولات کشاورزی انجام شود. ایجاد شبکه‌های پایش به‌منظور ارزیابی میزان آلودگی میکروبی و شیمیایی فاضلاب و محصولات می‌تواند به حفظ سلامت عمومی کمک کند.

چشم‌انداز آینده

استفاده از فاضلاب تصفیه‌شده در آبیاری کشاورزی پتانسیل زیادی برای ارتقاء کشاورزی پایدار دارد. با پیشرفت فناوری‌های تصفیه و افزایش آگاهی عمومی، این روش می‌تواند به یکی از اصول اصلی مدیریت منابع آب در کشورهای مختلف تبدیل شود. به‌ویژه در مناطقی که با کمبود منابع آبی مواجه هستند، استفاده از فاضلاب تصفیه‌شده می‌تواند نقش مهمی در تأمین امنیت غذایی و حفظ محیط زیست ایفا کند.

نتیجه‌گیری

استفاده از فاضلاب تصفیه‌شده برای آبیاری کشاورزی فرصت‌ها و چالش‌های قابل‌توجهی دارد که آن را به یک اولویت مهم فناوری و نظارتی تبدیل می‌کند. در مناطق کم‌آب، فاضلاب تصفیه‌شده یک منبع آب مطمئن است که باعث افزایش بهره‌وری کشاورزی و افزایش عملکرد محصول می‌شود. امروزه، ۸۰ درصد از فاضلاب جهان بدون هیچ نوع تصفیه قبلی تخلیه می‌شود. این امر اثرات جانبی منفی قابل‌توجهی از نظر اجتماعی-اقتصادی و زیست‌محیطی ایجاد می‌کند. با این حال، مطالعات متعددی مناسب بودن فاضلاب برای استفاده در کشاورزی را نشان داده‌اند. از جمله مزایای شناسایی شده از استفاده از فاضلاب برای آبیاری، می‌توان به افزایش قابلیت اطمینان تامین آب، پایداری محصول، بازیابی مواد مغذی مفید برای خاک، کاهش استفاده از کودها و به حداقل رساندن آلودگی ناشی از تخلیه اشاره کرد. با این حال، اثربخشی آن به رعایت دقیق الزامات ایمنی برای کیفیت فیزیکوشیمیایی و میکروبیولوژیکی آن برای کاهش خطرات برای سلامت انسان و محیط زیست بستگی دارد. استفاده از فناوری‌های تصفیه برای اطمینان از استفاده ایمن و پایدار از فاضلاب تصفیه‌شده ضروری است. با وجود این محدودیت‌ها، فاضلاب تصفیه‌شده یک راه‌حل اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی برای کمبود آب است. این فاضلاب منابع آب شیرین را حفظ می‌کند، باعث صرفه‌جویی در مصرف آب می‌شود و یک روش آبیاری کم‌هزینه، به‌ویژه در مناطق خشک است. حمایت از کشورهای توسعه نیافته که بیشتر در معرض قحطی و بیماری‌های جدی هستند، در ساخت سیستم‌های فاضلاب، تصفیه‌خانه‌ها برای اطمینان از کیفیت مناسب پساب از نظر میکروبیولوژیکی و فیزیکوشیمیایی و نمونه‌های گسترده از شیوه‌های خوب برای بازیابی فاضلاب در آبیاری که در حال حاضر در کشورهای توسعه یافته اجرا می‌شوند، به پایداری منابع آب و محیط زیست، کشاورزی و زندگی انسان در سراسر جهان کمک خواهد کرد. پتانسیل فاضلاب تصفیه‌شده به عنوان یک منبع قابل اعتماد و به راحتی در دسترس برای تولید محصولات کشاورزی در مناطق کم آب، نیاز به مطالعه بیشتر دارد.

REFERENCE

Afzal, M., Battilani, A., Solimando, D. & Ragab, R. (2016). Improving water resources management using different irrigation strategies and water qualities: Field and modelling study. *Agricultural Water Management*, 176, 40–54.

Ahmad, A., Inam, A., Ahmad, I., Hayat, S. & Azam, Z.M. (2003). Response of sugarcane to treated wastewater of oil refinery. *Journal of Environmental Biology*, 24, 141–146.

Ait-Mouheb, N., Bahri, A., Thayer, B.B., Benyahia, B., Bourrié, G., Cherki, B., Condom, N., Declercq, R., Gunes, A., Héran, M. & et al. (2018). The Reuse of Reclaimed Water for Irrigation around the Mediterranean Rim: A Step towards a More Virtuous Cycle? *Regional Environmental Change*, 18, 693–705.

Akhtar, A., Inam, A. & Inam, A. (2008). Response of mustard and linseed to thermal power plant wastewater supplemented with nitrogen and phosphorus. *African Journal of Plant Science*, 2, 67–71.

Akhtar, N., Inam, A., Inam, A. & Khan, N.A. (2012). Effects of city wastewater on the characteristics of wheat with varying doses of nitrogen, phosphorus, and potassium. *Recent Research in Science and Technology*, 4, 18–29.

Al Hamedi, F.H., Kandhan, K., Liu, Y., Ren, M., Jaleel, A. & Alyafei, M.A.M. (2023). Wastewater Irrigation: A Promising Way for Future Sustainable Agriculture and Food Security in the United Arab Emirates. *Water*, 15, 2284.

Aliste, M., Hernández, V., El Aatik, A., Pérez-Lucas, G., Fenoll, J. & Navarro, S. (2024). Coupled Bio-Solar Photocatalytic Treatment for Reclamation of Water Polluted with Pharmaceutical and Pesticide Residues: Impact on Tomato Irrigation. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 287, 117291.

Angelakis, A. & Snyder, S. (2015). Wastewater Treatment and Reuse: Past, Present, and Future. *Water*, 7, 4887–4895.

Arborea, S., Giannoccaro, G., de Gennaro, B.C., Iacobellis, V. & Piccinni, A.F. (2017). Cost-Benefit Analysis of Wastewater Reuse in Puglia, Southern Italy. *Water*, 9, 175.

Benavides, L., Avellán, T., Caucci, S., Hahn, A., Kirschke, S. & Müller, A.B. (2019). Assessing Sustainability of Wastewater Management Systems in a Multi-Scalar, Transdisciplinary Manner in Latin America. *Water*, 11, 249.

Benelhadj, L., Nortes-Tortosa, P.A., Alarcón, J.J. & Ponce-Robles, L. (2024). Impact of the Use of Different Types of Quaternary Treated Wastewater Effluents in Carrot Crops Growing: Uptake and Accumulation of Contaminants of Emerging Concern in Soil-Plant System and Human Health Implications. *Chemosphere*, 368, 143697.

Bierkens, M.F.P. & Wada, Y. (2019). Non-Renewable Groundwater Use and Groundwater Depletion: A Review. *Environmental Research Letters*, 14, 063002.

Bouwer, H. (2002). Integrated Water Management for the 21st Century: Problems and Solutions. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 128, 193–202.

Cao, K.F., Chen, Z., Wu, Y.H., Mao, Y., Shi, Q., Chen, X.W., Bai, Y., Li, K. & Hu, H.Y. (2022). The Noteworthy Chloride Ions in Reclaimed Water: Harmful Effects, Concentration Levels and Control Strategies. *Water Research*, 215, 118271.

Casale, B., Libutti, A., Salerno, C., Berardi, G. & Vergine, P. (2024). Protecting Groundwater in Intensive Agricultural Areas through Irrigation with Treated Wastewater: Focus on Nitrate, Salt, and *Escherichia Coli*. Clean. *Water*, 1, 100006.

Chen, G., Zhang, H., Shen, J., Yan, Q. & Feng, G. (2024). Municipal-Treated Wastewater as a Practical Alternative to Conventional Rice Irrigation: Effects on Antibiotic Resistance Genes, Virulence Factors and Human Bacterial Pathogens in Soil, and Responses of Rice Grain Quality. *Chemosphere*, 366, 143458.

Chen, W., Lu, S., Peng, C., Jiao, W. & Wang, M. (2013). Accumulation of Cd in agricultural soil under long-term reclaimed water irrigation. *Environmental Pollution*, 178, 294–299.

Emongor, V., Macheng, B. & Kefilwe, S. (2008). Effects of secondary sewage effluent on the growth, development, fruit yield and quality of tomatoes (*Lycopersicon Lycopersicum* (L.) Karten). In Proceedings of the International Symposium on Vegetable Production, Quality and Process Standardization in Chain: A Worldwide Perspective 944, Beijing, China, 14–17 October 2008; pp. 29–40.

Erel, R., Eppel, A., Yermiyahu, U., Ben-Gal, A., Levy, G., Zipori, I., Schaumann, G.E., Mayer, O. & Dag, A. (2019). Long-term irrigation with reclaimed wastewater: Implications on nutrient management, soil chemistry and olive (*Olea europaea* L.) performance. *Agricultural Water Management*, 213, 324–335.

Expósito, A., Lorenzo Lopez, A.M. & Berbel, J. (2024). How Much Does Reclaimed Wastewater Cost? A Comprehensive Analysis for Irrigation Uses in the European Mediterranean Context. *Water Reuse*, 14, 434–447.

Fito, J. & Van Hulle, S.W.H. (2021). Wastewater Reclamation and Reuse Potentials in Agriculture: Towards Environmental Sustainability. *Environment, Development and Sustainability*, 23, 2949–2972.

García-Valverde, M., Cortes-Corrales, L., Gómez-Ramos, M.M., Martínez-Bueno, M.J. & Fernández-Alba, A.R. (2024). Evaluation of Chemical Contamination of Crops Produced in Greenhouse by Irrigation with Reclaimed Water. *Science of the Total Environment*, 912, 169454.

Gharbi, L.T., Merdy, P. & Lucas, Y. (2010). Effects of long-term irrigation with treated wastewater. Part II: Role of organic carbon on Cu, Pb and Cr behaviour. *Applied Geochemistry*, 25, 1711–1721.

Hanjra, M.A., Blackwell, J., Carr, G., Zhang, F. & Jackson, T.M. (2012). Wastewater irrigation and environmental health: Implications for water governance and public policy. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 215, 255–269.

Helmecke, M., Fries, E. & Schulte, C. (2020). Regulating Water Reuse for Agricultural Irrigation: Risks Related to Organic Micro-Contaminants. *Environmental Sciences Europe*, 32, 4.

Hu, Y., Ma, M., Gao, L., Wu, W. & Xu, D. (2024). Uptake, Translocation and Health Risk Assessment of Nonylphenol in Vegetables under Reclaimed Water Irrigation. *Irrigation and Drainage*, 74, 627–640.

Huang, Z., Miao, Z., Hou, L., Jiao, Z. & Ma, M. (2007). Effect of irrigation time and mode with reclaimed water on growth and quality of crops. *Journal of Agro-Environment Science*, 26, 2257–2261.

Hussain, A., Priyadarshi, M. & Dubey, S. (2019). Experimental study on accumulation of heavy metals in vegetables irrigated with treated wastewater. *Applied Water Science*, 9, 122–132.

Jiang, X. (2022). Wastewater Treatment and Recycling of Western Sydney Airport. *Architecture Engineering and Science*, 3, 255.

Jones, E.R., Van Vliet, M.T.H., Qadir, M. & Bierkens, M.F.P. (2021). Country-Level and Gridded Estimates of Wastewater Production, Collection, Treatment and Reuse. *Earth System Science Data*, 13, 237–254.

Khan, M.M., Siddiqi, S.A., Farooque, A.A., Iqbal, Q., Shahid, S.A., Akram, M.T., Rahman, S., Al-Busaidi, W. & Khan, I. (2022).Towards Sustainable Application of Wastewater in Agriculture: A Review on Reusability and Risk Assessment. *Agronomy*, 12, 1397.

Kihila, J.M. (2017). Indigenous coping and adaptation strategies to climate change of local communities in

Tanzania: A review. *Climate for Development in Africa*, 10, 406–416.

Koné, W.M., Atindehou, K.K., Terreaux, C., Hostettmann, K., Traoré, D. & Dosso, M. (2004). Traditional Medicine in North Côte-d'Ivoire: Screening of 50 Medicinal Plants for Antibacterial Activity. *Journal of Ethnopharmacology*, 93, 43–49.

Lema, M.W. (2025). Wastewater Crisis in East African Cities: Challenges and Emerging Opportunities. *Discover Environment*, 3, 18.

Leonel, L.P. & Tonetti, A.L. (2021). Wastewater Reuse for Crop Irrigation: Crop Yield, Soil and Human Health Implications Based on Giardiasis Epidemiology. *Science of the Total Environment*, 775, 145833.

Li, B., Cao, Y., Guan, X., Li, Y., Hao, Z., Hu, W. & Chen, L. (2019). Microbial assessments of soil with a 40-year history of reclaimed wastewater irrigation. *Science of the Total Environment*, 651, 696–705.

Li, Y., Xiao, J., Lei, Y., Qin, D., Cai, W., Chen, X., Ma, C., Zhu, X., Zhang, S. & Sun, Q. (2025). Impacts of Reclaimed Water Irrigation on Soil Salinity, Nutrient Cycling, and Landscape Plant Growth in a Coastal Monsoon Environment. *Water*, 17, 337.

Mahmoudi, M., Khelil, M.N., Ghrib, R., Douh, B. & Boujelben, A. (2020). Assessement of growth and yield of okra (*Abelmoschus esculentus*) under surface and subsurface drip irrigation using treated waste water. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 9, 349–356.

Mansilla, S., Escolà, M., Piña, B., Portugal, J., Iakovides, I.C., Beretsou, V.G., Christou, A., Fatta-Kassinos, D., Bayona, J.M. & Matamoros, V. (2024). Linking the Use of Reclaimed Water to Indicators of Crop Stress by Metabolomic and Transcriptomic Analyses. A Tool to Compare Water Irrigation Quality. *Science of the Total Environment*, 908, 168182.

Mazahrih, N.T., Albalawneh, A., Bani Hani, N., Khadra, R., Abo Dalo, A., Al-Omari, Y., Alomari, B., Abu Hammad, M., Martin, I., Fahd, K., Carletti, A., Alessandra Paulotto, A. & Haddad, N. (2024). Impact of Reclaimed Wastewater on Alfalfa Production under Different Irrigation Methods. *Water Practice & Technology*, 19, 2226–2236.

Mendoza-Grimón, V., Amorós, R., Fernández-Vera, J.R., Lopes da Veiga, E. & Palacios-Díaz, M.d.P. (2024). Utilising Reclaimed Water for Papaya (*Carica papaya* L.) Cultivation in Cape Verde: A Detailed Case Study. *Agronomy*, 14, 2726.

Mishra, S., Kumar, R. & Kumar, M. (2023). Use of Treated Sewage or Wastewater as an Irrigation Water for Agricultural Purposes- Environmental, Health, and Economic Impacts. *Total Environment Research Themes*, 6, 100051.

Mola, M., Kougias, P.G., Statiris, E., Papadopoulou, P., Malamis, S. & Monokrousos, N. (2024). Short-Term Effect of Reclaimed Water Irrigation on Soil Health, Plant Growth and the Composition of Soil Microbial Communities. *Science of the Total Environment*, 949, 175107.

Obijianya, C.C., Yakamercan, E., Karimi, M., Veluru, S., Simko, I., Eshkabilov, S. & Simsek, H. (2025). Agricultural Irrigation Using Treated Wastewater: Challenges and Opportunities. *Water*, 17, 2083.

Palumbo, M., Carbone, V., Ricci, I., Pace, B., Cefola, M., Minasi, P., Garofalo, S.P., Camposeo, S., Tallou, A. & Vivaldi, G.A. (2024). Qualitative and Biochemical Characteristics of Pomegranate Fruit Grown Using Reclaimed Water and Low Input Fertigation Treatments at Harvest and during Storage. *Heliyon*, 10, e34430.

Partyka, M.L. & Bond, R.F. (2022). Wastewater Reuse for Irrigation of Produce: A Review of Research, Regulations, and Risks. *Science of the Total Environment*, 828, 154385.

Pedrero, F., Camposeo, S., Pace, B., Cefola, M. & Vivaldi, G.A. (2018). Use of reclaimed wastewater on fruit quality of nectarine in Southern Italy. *Agricultural Water Management*, 203, 186–192.

Renai, L., Tozzi, F., Scordo, C.V., Giordani, E., Bruzzoniti, M.C., Fibbi, D., Mandi, L., Ouazzani, N. & Del Bubba, M. (2021). Productivity and Nutritional and Nutraceutical Value of Strawberry Fruits (*Fragariax ananassa* Duch.) Cultivated under Irrigation with Treated Wastewaters. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 101, 1239–1246.

Romero-Trigueros, C., Mirás-Avalos, J.M., Bayona, J.M., Nortes, P.A., Alarcón, J.J. & Nicolás, E. (2024). Long-Term Effects of Combining Reclaimed and Freshwater on Mandarin Tree Performance. *Agricultural Water Management*, 305, 109113.

Rout, P.R., Shahid, M.K., Dash, R.R., Bhunia, P., Liu, D., Varjani, S., Zhang, T.C. & Surampalli, R.Y. (2021). Nutrient Removal from Domestic Wastewater: A Comprehensive Review on Conventional and Advanced Technologies. *Journal of Environmental Management*, 296, 113246.

Salem, H.S. (2023). Socioeconomic, Environmental, and Health Impacts of Reusing Treated Wastewater in Agriculture in Some Arab Countries, Including Occupied Palestine, in View of Climate Change. NRCR, 6, 2229.

Santos, A.F., Alvarenga, P., Gando-Ferreira, L.M. & Quina, M.J. (2023). Urban Wastewater as a Source of Reclaimed Water for Irrigation: Barriers and Future Possibilities. *Environments*, 10, 17.

Savchenko, O.M., Kecinski, M., Li, T. & Messer, K.D. (2019). Reclaimed Water and Food Production: Cautionary Tales from Consumer Research. *Environmental Research*, 170, 320–331.

Shamsizadeh, Z., Ehrampoush, M.H., Nikaeen, M., Mokhtari, M., Rahimi, M., Khanahmad, H. & Mohammadi, F. (2021). Tracking Antibiotic Resistance Genes and Class 1 Integrons in Escherichia coli Isolates from Wastewater and Agricultural Fields. *Water Science & Technology*, 84, 1182–1189.

Souza Filho, E.J., Barros, K.K., Bezerra Neto, E., Gavazza, S., Florencio, L. & Kato, M.T. (2024). Effect of Reclaimed Water and Dehydrated Sludge on the Morpho-Physiology and Yield of Sorghum. *Environmental Technology*, 45, 3479–3495.

Straatsma, M., Droogers, P., Hunink, J., Berendrecht, W., Buitink, J., Buytaert, W., Karssenberg, D., Schmitz, O., Sutanudjaja, E.H.; Van Beek, L.P.H., Vitolo, C. & Bierkens, M.F.P. (2020). Global to regional scale evaluation of adaptation measures to reduce the future water gap. *Environmental Modelling and Software*, 124, 104578.

Tabassum, D., Azad, S. & Inam, A. (2007). Utility of city wastewater as a source of irrigation water for mustard. *Journal of Industrial Pollution Control*, 23, 391–396.

Ungureanu, N., Vlădut, V. & Voicu, G. (2020). Water Scarcity and Wastewater Reuse in Crop Irrigation. *Sustainability*, 12, 9055.

Velasco-Muñoz, J.F., Aznar-Sánchez, J.A., Belmonte-Ureña, L.J. & López-Serrano, M.J. (2018). Advances in Water Use Efficiency in Agriculture: A Bibliometric Analysis. *Water*, 10, 377.

Wang, Z., Li, J. & Li, Y. (2017). Using reclaimed water for agricultural and landscape irrigation in China: A review. *Irrigation and Drainage*, 66, 672–686.

World Research Institute. Aqueduct Food. 2020. Available online: https://www.wri.org/applications/ Aqueduct/food/#/ (accessed on 10 September 2020).

World Resources Institute. Aqueduct Country Rankings. 2020. Available online: https://www.wri.org/ applications/aqueduct/country-rankings/ (accessed on 3 September 2020).

Wu, W., Xu, C., Liu, H., Hao, Z., Ma, F. & Ma, Z. (2010). Effect of Reclaimed Water Irrigation on Yield and Quality of Fruity Vegetables. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 26, 36–40.

Xu, Y.M., Zhou, Q.W., Sun, G.H., Wei, Y.H., Sun, Y. & Qin, X. (2009). Effects of reclaimed wastewater irrigation on the quality and heavy metal contents of cabbage. *Irrigation and Drainage*, 28, 13–16.

Xue, Y.D., Yang, P.L., Ren, S.M., Liu, H., Wu, W.Y. & Fang, Y.X. (2011). Effects of irrigation with treated wastewater on nutrient distribution in cucumber and tomato plants and their fruit quality. *Ying Yong Sheng Tai Xue Bao*, 22, 395–401.

Yakamercan, E., Bhatt, P., Aygun, A., Adesope, A.W. & Simsek, H. (2023). Comprehensive Understanding of Electrochemical Treatment Systems Combined with Biological Processes for Wastewater Remediation. *Environmental Pollution*, 330, 121680.

Yalin, D., Craddock, H.A., Assouline, S., Ben Mordechay, E., Ben-Gal, A., Bernstein, N., Chaudhry, R.M., Chefetz, B., Fatta-Kassinos, D., Gawlik, B.M., Hamilton, K.A., Khalifa, L., Kisekka, I., Klapp, I., Korach-Rechtman, H., Kurtzman, D., Levy, G.J., Maffettone, R., Malato, S., Manaia, C.M., Manoli, K., Moshe, O.F., Rimelman, A., Rizzo, L., Sedlak, D.L., Shnit-Orland, M., Shtull-Trauring, E., Tarchitzky, J., Welch-White, V., Williams, C., McLain, J. & Cytryn E. (2023). Mitigating risks and maximizing sustainability of treated wastewater reuse for irrigation. *Water Research X*, 21, 100203.

Zhang, Y. & Shen, Y. (2017). Wastewater irrigation: Past, present, and future. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, 6, e1234.

Zhang, Y., Zhang, Y., Shi, K. & Yao, X. (2017). Research development, current hotspots, and future directions of water research based on MODIS images: A critical review with a bibliometric analysis. *Environmental Science and Pollution Research*, 24, 15226–15239.