

مدیریت پایدار آب در بخش باغبانی

مانی جباری (نویسنده مسئول)^{۱*}، میترا جباری^۲ و مینا جباری^۳^{۱*} - کارشناس ارشد، گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران،

mani.jabbari.mp@gmail.com

^۲ - کارشناس ارشد، گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران،

mitrajabbari2014@gmail.com

^۳ - کارشناس ارشد، گروه شیلات، دانشکده علوم دامی شیلات، دانشکده علوم کشاورزی منابع طبیعی ساری، ایران، Mina.jabbari@gmail.com

تاریخ دریافت: مهر ۱۴۰۳ تاریخ پذیرش: دی ۱۴۰۳

Sustainable Water Management in the Horticulture Sector

Mani Jabari (Corresponding author)^{1*}, Mitra Jabari² and Mina jabbari³^{1*}- M.Sc, Department of Horticultural Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Birjand University, Birjand, Iran, mani.jabbari.mp@gmail.com²- M.Sc, Department of Horticultural Science and Engineering, Faculty of Plant Production, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran, mitrajabbari2014@gmail.com³- M.Sc, Department of Fisheries, Faculty of Animal Science and Fisheries, Sari University of Natural Resources Agricultural Sciences, Iran, mitrajabbari2014@gmail.com

Received: October 2024

Accepted: January 2025

Abstract

Water is crucial for the sustainability and productivity of the horticulture sector, but high water consumption demands, decreasing water resources, and climate change are challenging economic and environmental sustainability. The water requirements of horticultural crops vary greatly depending on the crop type, stage, and region. Inefficient irrigation practices are also a major challenge for water management in the horticulture sector. The expansion of the horticulture sector has strained water resources through over-extraction and chemical pollution. Innovative management practices and irrigation technologies can improve sustainable water management and reduce environmental impacts. Nature-based solutions such as mulching, organic matter, hydrogels, and others reduce irrigation needs. New and recycled water sources (treated wastewater, desalination) appear to be promising ways to reduce dependence on natural water sources, but such sources, if not well managed, have detrimental effects on the environment and human health. Irrigation practices including partial root zone drying and regulated deficit irrigation provide significant improvements in water use efficiency. More advanced applications, including the Internet of Things and artificial intelligence, have demonstrable potential to support smart and precise irrigation. Given the important role that water plays in the plant cycle, understanding and addressing the specific water needs of different crops is essential for sustainable horticulture.

Keywords: Agriculture, Drought Stress, Irrigation, Medicinal Plants

Iranian Journal of Plant & Biotechnology
Winter 2024, Vol 19, No 4, Pp 1-23

چکیده

آب برای پایداری و بهره‌وری بخش باغبانی حیاتی است، اما نیازهای بالای مصرف آب و کاهش منابع آب و تغییرات اقلیمی، پایداری اقتصادی و زیست‌محیطی را به چالش می‌کشد. نیاز آبی محصولات باغی بسته به نوع محصول، مرحله و منطقه، بسیار متفاوت است. شیوه‌های آبیاری ناکارآمد نیز چالش بزرگی برای مدیریت آب در بخش باغبانی است. گسترش بخش باغبانی، منابع آب را از طریق استخراج بیش از حد و آلودگی‌های شیمیایی نامساعد کرده است. شیوه‌های مدیریت نوآورانه و فناوری‌های آبیاری می‌توانند مدیریت پایدار آب را بهبود و اثرات زیست‌محیطی را کاهش دهند. راه‌حل‌های مبتنی بر طبیعت مانند مالچ پاشی، مواد ارگانیک، هیدروژل‌ها و سایر، نیازهای آبیاری را کاهش می‌دهند. منابع آب جدید و بازیافتی (فاضلاب تصفیه شده، نمک‌زدایی) راه‌های امیدوارکننده‌ای برای کاهش وابستگی به منابع آب طبیعی به نظر می‌رسند، اما چنین منابعی اگر به خوبی مدیریت نشوند، اثرات مخربی برای محیط زیست و سلامت انسان دارند. شیوه‌های آبیاری از جمله خشک کردن جزئی در ناحیه ریشه و کم آبیاری تنظیم شده، بهبودهای قابل توجهی را در بهره‌وری مصرف آب ایجاد می‌کند. برنامه‌های پیشرفته‌تر، از جمله اینترنت اشیا و هوش مصنوعی پتانسیل قابل اثباتی در پشتیبانی از آبیاری هوشمند و دقیق دارند. با توجه به نقش مهمی که آب در چرخه گیاه ایفا می‌کند، درک و پرداختن به نیازهای آبی خاص محصولات مختلف، برای باغبانی پایدار ضروری است.

کلمات کلیدی: آبیاری، تنش خشکی، کشاورزی، گیاهان دارویی

فصلنامه گیاه و زیست فناوری ایران

زمستان ۱۴۰۳، دوره ۱۹، شماره ۴، صص ۱-۲۳

مقدمه و کلیات

محصولات باغی شامل میوه‌ها، سبزیجات و گیاهان زینتی، معطر و دارویی است (Kaldate et al., 2021). محصولات باغی در بیشتر عرض‌های جغرافیایی جهان، از جمله مناطق معتدل، گرمسیری، نیمه گرمسیری و مدیترانه‌ای رشد می‌کنند (Webb et al., 2014). باغبانی، بخش مهمی از کشاورزی است که به دلیل بازدهی بالا (Staritz and Reis, 2013) و اشتغال (دو برابر بیشتر از تعداد مشاغل ایجاد شده با تولید غلات) (USAID, 2005)، کاربردهای گسترده (نقش حیاتی در اقتصاد دارو) و کمک به امنیت غذایی جهانی ایفا می‌کند (Touil et al., 2022). افزایش تقاضا برای محصولات باغی، ناشی از رشد جمعیت و تغییر در شیوه، زندگی مصرف‌کنندگان است که با افزایش مصرف میوه و سبزیجات و با توجه به سطوح پایین چربی و سطوح بالای ترکیبات غذایی مانند ویتامین‌ها، مواد معدنی، فیبرها، آنتی اکسیدان‌ها که با افزایش آگاهی از رابطه بین رژیم غذایی و سلامتی مورد علاقه است (USAID; ISHS, 2005). متوسط مصرف روزانه سرانه میوه و سبزیجات باید، به ترتیب بالاتر از ۲۰۰ و ۲۵۰ گرم باشد (Kaldate et al., 2021). از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۱، تولید جهانی میوه و سبزیجات به ترتیب ۵۹ و ۶۴ درصد افزایش یافته است (FAO, 2022). در سال ۲۰۲۱، از ۹/۵ میلیارد تن محصول اولیه جهانی، ۱۲ درصد شامل سبزیجات و محصولات روغنی و ۱۰ درصد شامل میوه بود (FAO, 2023). موز، هندوانه، سیب، پرتقال و انگور بیشترین میوه‌های تولیدی در حالی که گوجه‌فرنگی، پیاز، خیار، کلم و بادمجان بیشترین سبزیجات تولید

شده را تشکیل می‌دهند (FAO, 2022). در سال ۲۰۲۱، سبزیجات و میوه‌ها به ترتیب ۱۹ و ۱۷ درصد از ارزش کل تولید محصولات اولیه را تشکیل می‌دادند (FAO, 2023). محصولات باغی، با چالش‌های فزاینده‌ای مواجه هستند که ناشی از تغییرات آب و هوایی (خشکسالی و سیل)، تخریب زمین و آب‌های زیرزمینی (شوری، آلودگی) و گسترش بیماری‌های جدید است که تأثیرات مخربی روی زمین دارد (Hayat et al., 2023). آب یک نیاز اساسی برای تولید محصولات باغی است، با توجه به تأثیر آن بر مراحل حیاتی رشد محصول مانند گلدهی، تولید مثل، رشد و رسیدن میوه و بلوغ (Webb et al., 2014; Kaldate et al., 2021). بیشتر محصولات باغی در مقایسه با سایر محصولات زراعی مانند غلات به سطوح بالایی از آب نیاز دارند (USDAID; ISHS, 2005). با این حال، افزایش کمبود آب، یک نگرانی جهانی است (Guo et al., 2023). شرایط کمبود آب در تمام قاره‌های جهان وجود دارد (Kour et al., 2022) در بسیاری از مناطق، به ویژه مناطق خشک و نیمه خشک، نیاز آبی محصولات باغی به مراتب بیشتر است که توسط بارندگی تامین می‌شود. به‌ویژه در این مناطق، آبیاری به‌طور گسترده‌ای برای به حداکثر رساندن عملکرد و کیفیت محصول استفاده می‌شود (Webb et al., 2014). در حال حاضر، کشاورزی حدود ۷۰ درصد از برداشت‌های آب شیرین جهانی را تشکیل می‌دهد (FAO, 2017) و با پیش‌بینی افزایش ۷۰ درصدی تقاضای غذا تا سال ۲۰۵۰، برآورد می‌شود که مصرف آب کشاورزی در جهان در سال ۲۰۵۰ نزدیک به ۲۰ درصد افزایش یابد (WWAP, 2012) و این امر

(2014). اطمینان از استفاده بهینه از آب برای جلوگیری از کمبود آب، به‌ویژه در مناطق خشک و مستعد خشکسالی و جلوگیری از برداشت بیش از حد و آلودگی آب شیرین مهم است. این برای اطمینان از در دسترس بودن منابع آب، حفاظت از اکوسیستم‌ها و حمایت از رفاه انسان ضروری است. اهمیت آن هم اکنون و هم در آینده ابعاد زیست محیطی، اقتصادی و اجتماعی را در بر می‌گیرد. استفاده کشاورزان از شیوه‌ها و فناوری‌های بهبود یافته مدیریت آب، می‌تواند به حمایت از سازگاری با تغییرات آب و هوایی، کمک به امنیت غذایی و حمایت از دستیابی به چندین هدف توسعه پایدار کمک کند (Webb et al., 2014; Kaldate et al., 2021; Hayat et al., 2023; Guo et al., 2023).

آب مورد نیاز محصولات باغی

آب یک منبع اساسی برای زندگی گیاهان است که نقش مهمی در چندین فرآیند بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی ضروری برای رشد و سلامت گیاه دارد. آب در تحریک جوانه‌زنی بذر، تسهیل جذب مواد معدنی از خاک، و متعاقباً انتقال آنها به اندام‌های مختلف گیاه نقش دارد (Sevik and Cetin, 2015; Scharwies and Dinneny, 2019). همچنین، آب نقش حیاتی در حفظ فشار اسمزی، ایجاد سفتی برای سلول‌های گیاهی و جلوگیری از پژمردگی (Sevik and Cetin, 2015) و به باز شدن روزنه‌ها (Ali et al., 2023) کمک و تبادل گازهای مورد نیاز برای فرآیندهای فیزیولوژیکی مانند تعرق، فتوسنتز و تنفس (Jones, 1998) را فراهم می‌کند. هر محصول باغی نیاز به دسترسی کافی به آب در طول چرخه زندگی

فشار بیشتری را بر منابع آب وارد می‌کند (Ferreira et al., 2024). به حداقل رساندن مصرف آب در باغبانی با حفظ تولید (شامل کمیت و کیفیت) به یک مسئله حیاتی تبدیل شده است (Stefanelli et al., 2010). روش‌های آبیاری سستی (به عنوان مثال، آبیاری غرقابی) با تلفات آب غیرقابل قبول همراه است (Huang et al., 2019). علاوه بر این، کشاورزان معمولاً براساس تجربه خود، مشاهدات ظاهری گیاه (Mwinuka et al., 2022)، در دسترس بودن آب و/یا جداول تبخیر و تعرق منطقه‌ای تعمیم یافته در مورد آبیاری تصمیم می‌گیرند، که منجر به آبیاری بیش از حد برای به حداقل رساندن عملکرد و بازده اقتصادی می‌شود (Bierer, 2023). با این حال، در دهه‌های اخیر، رویکردهای مختلفی برای صرفه‌جویی در مصرف آب آبیاری و بهبود کارایی مصرف آب ایجاد شده است. استراتژی‌های مبتنی بر افزایش حفظ آب خاک، فن‌آوری‌های آبیاری کارآمدتر (مانند آبیاری قطره‌ای، آبیاری زیرسطحی) و سیستم‌های پشتیبانی تصمیم نوظهور با استفاده از فناوری‌های حسگر برای بهبود و خودکارسازی جمع‌آوری داده‌ها از وضعیت آب خاک و تنش فیزیولوژیکی و ذکر رویکردهای حفاظت از آب و افزایش بهره‌وری در هر منطقه در پیاده‌سازی مفید بوده‌اند (Guo et al., 2023). پیشرفت‌های اخیر در فناوری، منجر به توسعه هوش مصنوعی و آبیاری مبتنی بر داده و حسگر شده است که فرصتی را برای مقابله با چالش‌های فعلی در بخش باغبانی ارائه می‌دهد (Singh et al., 2022). مدیریت پایدار آب در باغبانی شامل استفاده بهینه از آب برای به حداقل رساندن هدر رفت است (Russo et al.,

خود دارد تا از محدودیت‌های رشد و کاهش عملکرد جلوگیری شود. جدول ۱ نیازهای بهینه آب را برای محصولات مختلف باغبانی مختلف نشان می‌دهد که بسته به سیستم آب و هوایی غالب، نوع خاک، شیوه‌های مدیریت مزرعه و رقم محصول متفاوت است (Kour et al., 2022). محصولات باغی در فضای باز و سرپوشیده (گلخانه، هیدروپونیک)، با تراکم و ارتفاع گیاه متغیر کشت می‌شود. این تفاوت‌های کشت بر ویژگی‌های آبرودینامیکی منطقه

به‌عنوان مثال، تبخیر و تعرق و در نتیجه، نیاز به آب تأثیر می‌گذارد (Orgaz et al., 2005). باغبانی گلخانه‌ای، با کنترل مصنوعی دما و رطوبت هوا محیط مطلوب‌تری را برای رشد گیاهان نسبت به فضای باز ایجاد می‌کند و در نتیجه فصل رشد را طولانی و عملکرد را افزایش می‌دهد (Shen et al., 2021). در شمال اروپا، باغبانی بدون خاک در گلخانه‌ها حداقل تلفات تبخیری را نشان داده است (Orgaz et al., 2005).

جدول ۱- آب مورد نیاز بهینه برای محصولات باغی و گیاهان دارویی (FAO, 2000)

Table 1- Optimal water requirements for horticultural crops and medicinal plants (FAO, 2000)

آب مورد نیاز بهینه (میلی متر)	نوع محصول	آب مورد نیاز بهینه (میلی متر)	نوع محصول
۱۵۰۰-۶۰۰	انبه	۱۲۰۰-۸۰۰	اسفناج
۷۰۰-۵۰۰	هندوانه	۸۰۰-۶۰۰	چغندر
۲۰۰۰-۵۰۰	آواکادو	۶۰۰-۳۵۰	پیاز
۲۵۰۰-۷۰۰	سیب	۱۶۰۰-۷۵۰	سیر
۹۰۰-۶۰۰	گل‌ابی	۱۲۰۰-۶۰۰	هویج
۲۰۰۰-۱۲۰۰	پرتقال	۱۴۰۰-۱۱۰۰	کاهو
۱۵۰۰-۹۰۰	جعفری	۱۱۰۰-۶۰۰	کلم بروکلی
۱۰۰۰-۸۰۰	بادرنجبویه	۱۰۰۰-۵۰۰	کلم برگ
۱۰۰۰-۵۰۰	مریم‌گلی	۱۵۰۰-۶۰۰	کدو تنبل
۱۴۰۰-۶۰۰	رزماری	۲۰۰۰-۵۰۰	لویا
۱۳۰۰-۷۰۰	مرزنگوش	۱۲۵۰-۶۰۰	فلفل
۱۲۰۰-۹۰۰	نعناع	۱۶۰۰-۱۲۰۰	بادمجان
۱۶۰۰-۱۰۰۰	ریحان	۱۳۰۰-۶۰۰	گوچه فرنگی

تنش آبی با فیزیولوژی گیاه و فعالیت‌های متابولیک طبیعی، مانند بسته شدن روزنه‌ها در اندام‌های هوایی برای جلوگیری از تلفات آب از طریق تعرق تداخل می‌کند (Gupta et al., 2020). با این حال، این سازگاری‌ها می‌تواند منجر به کاهش فعالیت

فتوسنتزی، به دلیل بسته شدن روزنه، آسیب غشاء، اختلال در فعالیت آنزیم، بویژه مواردی که در تثبیت دی اکسید کربن و سنتز ATP و کاهش تقسیم سلولی و کاهش رشد شود، دخیل هستند (Farooq et al., 2012; Gupta et al., 2020). تنش آبی، تأثیرات منفی

بر مورفولوژی گیاه دارد، به عنوان مثال، ساقه‌های باریک، کاهش طول ریشه و مساحت سطح که بر جذب مواد مغذی و انتقال به شاخساره، برگ‌های کوچکتر، کاهش اندازه میوه، کاهش عملکرد محصول تأثیر می‌گذارد (Kour et al., 2022) و کیفیت پایین میوه (به عنوان مثال، رنگ ضعیف در گوجه فرنگی، کاهش قندهای محلول کل در خربزه) که یک شاخص مرتبط در محصولات باغی است (Touil et al., 2022). در دهه گذشته، شدت فزاینده خشکسالی به دلیل تغییرات آب و هوایی بر مراحل مختلف رشد مانند گلدهی، تولید مثل، رشد و رسیدن میوه و بلوغ فیزیولوژیکی تأثیر گذاشته که منجر به کاهش ۱۰ تا ۸۷ درصدی عملکرد محصولات باغی شده است (Kaldate et al., 2021).

تأثیر بخش باغبانی بر منابع آب

آبیاری یک عمل رایج در محصولات باغی به‌ویژه برای محصولات با ارزش بالا، مانند سبزیجات و میوه‌ها است (Bogdan and Kulshreshtha, 2021). گسترش فعالیت‌های باغبانی و نیازهای آبی مرتبط، می‌تواند فشار قابل توجهی بر منابع آب، از جمله کمیت و کیفیت، وارد کند (Guo et al., 2023). کشاورزی آبی، ۸۵ تا ۹۰ درصد مصرف جهانی آب را تشکیل می‌دهد (Qin et al., 2019). منابع آب سطحی، ۶۲ درصد از زمین‌های آبیاری شده جهانی را تامین، در حالی که آب‌های زیرزمینی ۳۸ درصد باقی‌مانده را تامین می‌کنند (Frimpong et al., 2023). برداشت بیش از حد، از آب‌های زیرزمینی می‌تواند منجر به تخلیه سفره‌های زیرزمینی، کاهش سطح آب و تأثیر بر دسترسی به آب برای سایر مصارف شود (Thomas

and Famiglietti, 2019). علاوه بر این، آبیاری می‌تواند جریان آب‌های سطحی (رودخانه‌ها) را با تأثیراتی بر دسترسی به آب پایین دست برای اکوسیستم‌ها و سایر کاربردهای انسانی کاهش دهد (Eekhout et al., 2024). تشدید فعالیت‌های باغبانی، اغلب با افزایش استفاده از نهاده‌های کشاورزی (مانند کودها، آفت‌کش‌ها و علف‌کش‌ها) و اتخاذ برخی شیوه‌های مدیریت غیرمحافظة کارانه خاک (مانند خاک‌ورزی فشرده) همراه بوده است که بر منابع آب سطحی و زیرزمینی تأثیر می‌گذارد (Wilson et al., 2021). بسیاری از مواد مغذی مانند فسفر و نیتروژن (Shrivastava and Kumar, 2015)، فلزات سنگین (کادمیوم و روی) ناشی از استفاده از کودهای فسفاته و مواد شیمیایی مبتنی بر مس (Garcia-Caparrós et al., 2017; Ferreira et al., 2018; Wilson et al., 2021) و باقیمانده‌های علف‌کش (Muriithi and Yu, 2015) را گزارش کرده‌اند، که خطر قابل توجهی از آلودگی، برای منابع آب را به همراه دارد (Ferreira et al., 2023; Guo et al., 2018). علاوه بر این، کاهش کیفیت آب‌های سطحی می‌تواند ناشی از فرسایش خاک ناشی از شیوه‌های مدیریت فشرده خاک باشد. به عنوان مثال، باغات جدید مرکبات در اسپانیا (Harrison et al., 2016)، رسوبات منتقل شده در رواناب سطحی، می‌توانند به آب رودخانه‌ها و دریاچه‌ها برسند و کدورت را افزایش دهند، در نتیجه نفوذ نور خورشید را کاهش داده و تأثیرات مخربی بر رشد گیاهان آبی ایجاد و بر اکوسیستم آبی تأثیر می‌گذارند (Verheijen et al., 2009). همچنین کدورت آب، می‌تواند مقاومت ماهی را به بیماری

راهکارهای مبتنی بر طبیعت برای بهبود مدیریت آب در باغبانی

راه‌حل‌های مبتنی بر طبیعت، اغلب شامل استفاده از مالچ‌های آلی و معدنی و همچنین سایر تکنیک‌های برای افزایش خواص خاک و آب جهت رشد گیاه می‌باشد. مالچ پاشی، به عنوان لایه‌ای از مواد روی سطح خاک، تکنیکی است که برای حفظ رطوبت خاک از طریق بهبود مقدار آب قابل دسترس گیاهان و کاهش تبخیر مستقیم آب خاک استفاده می‌شود (Alharbi *et al.*, 2024). مالچ‌های آلی مانند کاه، خرده‌های چوب و کمپوست، خواص فیزیکی خاک (کاهش چگالی ظاهری خاک و افزایش تخلخل) را بهبود می‌بخشند (Gholami *et al.*, 2023). مالچ‌های آلی، به تنظیم دمای خاک کمک و در نتیجه تبخیر را کاهش می‌دهند (Liao *et al.*, 2021). استفاده از مالچ، می‌تواند ۲۰ تا ۵۰ درصد تبخیر و تعرق از خاک را در مقایسه با خاک‌های مالچ نشده کاهش دهد (Chai *et al.*, 2016; Bai *et al.*, 2018). مالچ‌های ارگانیک مختلف، در گیاهان زینتی (Berrios and Nielsen, 2006)، میوه‌ها (توت‌فرنگی، سیب) (Wavhal and Giri, 2014)، سبزیجات (فلفل) (Hossain and Ryu, 2009) و گیاهان دارویی و معطر (زردچوبه، ریحان) (Agyarko *et al.*, 2006; Wang *et al.*, 2009) استفاده شده‌اند. مالچ‌های معدنی، ساخته شده از موادی مانند پلاستیک، شن و سنگ، که به اندازه مالچ‌های آلی نیازی به تعویض ندارند (Khan, 2018). مالچ‌های پلاستیکی غیرقابل نفوذ عمر کوتاهی دارند (دو سال) و می‌توانند منجر به آلودگی خاک شوند (Kader *et al.*, 2019). در بخش باغبانی، مالچ‌های پلاستیکی

کاهش و رشد تخم و لارو را تغییر دهد (Straffellini *et al.*, 2022). همچنین رسوبات، چندین آلاینده مانند فسفر (Häder *et al.*, 2007)، فلزات سنگین (Sharpley and Wang, 2014)، آلاینده‌های آلی و عوامل بیماری‌زا مانند باکتری‌ها، ویروس‌ها و انگل‌های ناشی از کاربرد کود را انتقال می‌دهند (Rügner *et al.*, 2019; Han *et al.*, 2023). استفاده بیش از حد از کودها، همراه با شیوه‌های آبیاری فشرده و زهکشی ضعیف در باغات، نیز می‌تواند منجر به شور شدن، یعنی تجمع نمک‌های محلول در خاک شود که بر کیفیت آب و بهره‌وری کشاورزی تأثیر منفی می‌گذارد (Harrison *et al.*, 2016). شور شدن، ناشی از شیوه‌های نادرست باغبانی، یک مشکل عمده در کشورهایی مانند استرالیا (Williams, 1999)، پاکستان و هند است (Qureshi *et al.*, 2008). باغبانی فشرده، منجر به آلودگی قابل توجه آب‌های زیرزمینی توسط شستشوی باقی‌مانده نیتрат و آفت‌کش‌ها شده است (Melo *et al.*, 2012; Bradford *et al.*, 2013). در باغ‌های زیتون متراکم در جنوب پرتغال، حدود ۷۰ درصد از نیتروژن مورد استفاده از طریق کوددهی از طریق شستشو از بین می‌رود و در نتیجه خطر آلودگی آب‌های زیرزمینی را بالا می‌برد (Marchi *et al.*, 2016). در لاریوجا (La Rioja) اسپانیا، ۳۰ ترکیب مرتبط با باقیمانده آفت‌کش‌ها در آلودگی آب‌های زیرزمینی ناشی از تاکستان‌ها یافت شد (Cameira *et al.*, 2014). در آلمریا، اسپانیا، ۸۰ درصد از چاه‌های آب به دلیل آلودگی ناشی از شسته شدن مواد شیمیایی مورد استفاده در کشاورزی رها شدند (Ferreira *et al.*, 2018).

بیشترین استفاده را دارند، از جمله در میوه‌ها (توت‌فرنگی) (Teuten *et al.*, 2009)، سبزیجات (فلفل) (Lamont, 2005)، گیاهان دارویی (Díaz-Pérez *et al.*, 2005) و زیتنی (Materechera and Mkhabela, 2001). سایر شیوه‌های مدیریت مانند مواد ارگانیک، کاهش خاکورزی و گیاهان پوششی در باغبانی استفاده شده است، به عنوان مثال، برای بهبود ظرفیت نگهداری آب در باغبانی، میزان مصرف سالانه کمپوست معمولاً از ۲۰ تا ۴۰ تن در هکتار در محصولات سبزیجات (Alharbi *et al.*, 2024)، ۱۰ تا ۳۰ تن در هکتار در باغات و تاکستان‌ها (Ronga *et al.*, 2016) و ۱۰ تا ۲۰ تن در هکتار در گیاهان دارویی و زیتنی متغیر است (Glover *et al.*, 2000; Corato, 2020). با این حال، گیاهان باغی، به‌طور فزاینده‌ای در محیط‌های بدون خاک رشد می‌کنند و کمپوست به‌عنوان جایگزینی برای خاک در محصولات گلخانه‌ای استفاده می‌شود (Singh and Sharma, 2003). سیستم‌های بدون خاک، یعنی کشت روی بسترهایی مانند پیت‌ماس، پرلیت و ورمیکولیت، با توجه به‌خواص نگهداری آب بهتر، در مقایسه با خاک، محیطی مناسبی برای ریشه‌های گیاه فراهم می‌کنند و راندمان مصرف آب بالاتری نسبت به کشت خاکی دارند (Herrero-Hernández *et al.*, 2020). بسترهای بدون خاک به‌طور گسترده در باغبانی، به‌ویژه در محیط‌های کنترل شده مانند گلخانه‌ها و سیستم‌های هیدروپونیک استفاده می‌شوند، در سیستم‌های هیدروپونیک، چرخش آب، کارایی مصرف آب را افزایش می‌دهد (Carotti *et al.*, 2023). بیوچار (Biochar) یک محصول جانبی جامد غنی از کربن با ساختار متخلخل حاصل از تجزیه در اثر حرارت (Corato, 2020)، اصلاح‌کننده خاک با پتانسیل بالا برای افزایش ذخیره آب و بهبود ساختار خاک (کاهش چگالی ظاهری خاک) است و همچنین می‌تواند اثرات منفی بخش باغبانی بر کیفیت آب را با بی‌حرکت کردن آلاینده‌ها کاهش دهد (Kavitha *et al.*, 2018; Gökalp and Bulut, 2022). بیوچار در میوه‌ها (توت‌فرنگی، مرکبات، سیب) (Akhtar, 2015; Alvarez *et al.*, 2018; Ortiz-Liébana *et al.*, 2023)، سبزیجات (گوجه‌فرنگی و فلفل) (Genesio *et al.*, 2015)، گیاهان دارویی (ریحان، نعناع و پونه‌کوهی) (Graber *et al.*, 2010) و زیتنی (گل همیشه بهار، گل اطلسی و شمعدانی) (Rowland *et al.*, 2018) استفاده شده است. گیاهان پوششی، که در بین چرخه‌های رشد محصولات اصلی یا در دوره‌های آیش کاشته می‌شوند، می‌توانند نفوذ و حفظ آب را با افزایش ساختار خاک و افزایش محتوای آلی بهبود بخشند (Arif *et al.*, 2017). اگرچه آنها عمدتاً برای کاهش فرسایش خاک، کنترل علف‌های هرز (Webb and Darbyshire, 2014) و تثبیت نیتروژن اتمسفر در نتیجه کاهش نیازهای کوددهی استفاده می‌شوند (Barão *et al.*, 2019). گیاهان پوششی در باغ‌ها و تاکستان‌ها (Boulet *et al.*, 2021)، گیاهان زینتی (Steenwerth and Belina, 2008) و گیاهان دارویی (Hartwig and Ammon, 2002) استفاده شده‌اند، کشت مخلوط، باعث افزایش کارایی مصرف آب در محصولات باغبانی می‌شود (Alharbi *et al.*, 2024). خاک‌ورزی کاهشی، با حفظ پوشش خاک و نفوذ بهتر آب، حفظ آب خاک را بهبود می‌بخشد (Mohammed

نمک‌زدایی، راه‌حل‌های امیدوارکننده‌ای برای تضمین امنیت غذایی جهانی در مناطق کم‌آب در نظر گرفته می‌شوند (Keilmann-Gondhalekar et al., 2021). فاضلاب تصفیه شده، به‌طور کلی حاوی محتوای مواد مغذی بالاتری در مقایسه با منابع آب طبیعی است، به این معنی که این مواد مغذی می‌توانند، مستقیماً توسط محصولات جذب و عملکرد محصول را افزایش داده و نیاز به کودهای شیمیایی را کاهش دهند (Ofori et al., 2021; Christou et al., 2024). کیفیت فاضلاب تصفیه شده، برای آبیاری کشاورزی از اهمیت بالایی برخوردار است (Amori et al., 2022). استفاده از فاضلاب تصفیه شده، خطرات زیست محیطی مانند شوری در ناحیه ریشه، کاهش تخلخل خاک به دلیل تغییرات در تبادل کاتیونی خاک ناشی از جذب سدیم و شستشوی مواد مغذی (Emongor and Ramolemana, 2004) را به همراه دارد. استفاده مجدد از فاضلاب تصفیه شده، برای آبیاری کشاورزی در کشورهای مانند مصر (۷۰٪)، کالیفرنیا (۴۶٪) و سایر کشورها انجام می‌شود (Minhas et al., 2020; Rizzo et al., 2020; Abou-Shady et al., 2023). به عنوان مثال، پساب تصفیه شده صنعتی و خانگی برای رشد کاهو و چغندر (Ofori et al., 2021) و پساب کشت و صنعت مورد تصفیه برای آبیاری کلم بروکلی و گوجه‌فرنگی (Hosney et al., 2023) و کاهو و تربچه (Libutti et al., 2018) استفاده شده است. استفاده مجدد از آب سیستم‌های آبی‌پروری، در باغبانی نیز به دلیل محتوای بالای مواد مغذی مورد توجه قرار گرفته است (Abdelraouf, 2017; Schoor et al., 2024). نمک‌زدایی آب دریا، نشان دهنده یک منبع

(et al., 2020) که در محصولات مختلف باغی (گوجه فرنگی، توت فرنگی) استفاده شده است (Wang et al., 2004; Ferreira et al., 2020). هیدروژل‌ها (Hydrogel)، شبکه‌های پلیمری آبدوست که مقادیر زیادی آب را جذب و حفظ می‌کنند و یک ماده ژل مانند را تشکیل و برای بهبود حفظ آب خاک در بخش باغبانی استفاده شده‌اند (Steinmaus et al., 2008). هیدروژل‌ها، ظرفیت نگهداری آب را در خاک‌های شنی بهبود می‌بخشد (Narjary et al., 2012). هیدروژل‌های بر پایه کیتوزان با اوره می‌توانند محتوای آب خاک را تا ۱۵۴ درصد حفظ و آب‌شویی نیتروژن را کاهش و رشد گیاه را تا ۷۰ درصد افزایش دهند (Chen and Chen, 2019). پلیمرهای سوپرجاذب (Superabsorbent Polymers (SAP)، نوعی هیدروژل هستند که برای جذب و نگهداری مقادیر بسیار زیاد آب طراحی شده‌اند، به دلیل ساختار سه بعدی خود می‌توانند تا ۶۰۰ برابر وزن خشک خود را جذب و به عنوان مخازن آبی عمل می‌کنند (Gava et al., 2023). به عنوان مثال هیدروژل‌ها در گوجه فرنگی (Iftime et al., 2019)، کاهو (Naderi et al., 2016) و درختان هلو دیم (Zhanga et al., 2007) استفاده شده است.

استفاده از منابع آب غیر متعارف

تقاضای فزاینده برای آب در کشاورزی و سایر بخش‌های اقتصادی و افزایش کمبود آب، که در حال حاضر ۴۵ کشور در سراسر جهان را تحت تأثیر قرار داده است، باعث تغییر به سمت استفاده از منابع آب غیر متعارف برای آبیاری شده است (Christou et al., 2024). استفاده مجدد از فاضلاب تصفیه شده و

مصرفی را استفاده می‌کنند (Frimpong *et al.*, 2023). به‌طورکلی، آبیاری قطره‌ای دارای راندمان مصرف آب ۶۵ تا ۹۵ درصد است، در حالی که روش‌های آبیاری بارانی و شپاری به ترتیب ۵۰ تا ۷۰ درصد راندمان دارند (Lakhia *et al.*, 2024). آبیاری غرقابی، در مناطقی با منابع آبی فراوان برای کشت سبزی‌های برگ‌دار (اسفناج و کاهو) و درختان مرکبات استفاده می‌شود (Singh and Singh, 1992; Ferreira *et al.*, 2024). آبیاری جویچه‌ای (جوی و پشته) در محصولات باغی مختلف از جمله سبزیجات (گوجه‌فرنگی، خیار و کاهو)، میوه (خریزه، توت‌فرنگی)، زینتی (درختچه‌ها) و گیاهان دارویی و معطر (نعناع، آویشن) استفاده شده است (Singh and Singh, 1992; Ferreira *et al.*, 2024). هر دو آبیاری غرقابی و جویچه‌ای به راحتی اجرا و نیاز به سرمایه‌گذاری اولیه نسبتاً کمی دارند و در مصرف آب در مقایسه با سایر سیستم‌های آبیاری کارایی کمتری دارند، بنابراین منجر به کاهش منابع آب می‌شوند و همچنین آبیاری بیش از حد می‌تواند منجر به شستشوی نیتروژن و آلودگی منابع آب، راندمان پایین مصرف کود و افزایش هزینه‌های تولید شود (Mwinuka *et al.*, 2022). محرک‌های زیست محیطی، اقتصادی و اجتماعی فشار زیادی بر سیستم‌های باغبانی برای بهبود کارایی مصرف آب وارد کرده‌اند (Devitt and Morris, 2007) که منجر به کاربرد طیف وسیعی از فن‌آوری‌ها و روش‌های آبیاری، مانند سیستم‌های آبیاری قطره‌ای، سیستم‌های آبیاری زیرسطحی و زهکشی کنترل شده (Bogdan and Kulshreshtha, 2021) گردیده است. سیستم‌های

آب فراوان برای غلبه بر محدودیت‌های کمبود آب است. اگرچه، می‌تواند یک منبع آب بادوام فراهم کند، طبیعت پر انرژی این فرآیند، مانع مهمی برای پذیرش گسترده این فناوری در آبیاری محصولات می‌شود (Cordeiro *et al.*, 2023). هزینه نمک‌زدایی بسیار بالاست و از ۰/۷ یورو تا ۳/۵ یورو برای تولید ۱ متر مکعب آب در کارخانه‌های بزرگ و کوچک متغیر است (Zolghadr-Asli *et al.*, 2023). علاوه بر این، دفع پسماند غلیظ آب نمک، محصول جانبی نمک‌زدایی، چالش‌های زیست‌محیطی ایجاد می‌کند که باید مورد توجه قرار گیرد (Cordeiro *et al.*, 2023). آب شیرین شده عمدتاً برای آبیاری محصولات با ارزش بالا مانند میوه‌ها، سبزیجات و گیاهان زینتی و گلخانه‌ای (آکواپونیک و هیدروپونیک) استفاده شده است (Gikas and Angelakis, 2009). کیفیت آب، یک نگرانی عمده برای آبیاری است، زیرا آب شیرین شده با ترکیب شیمیایی متمایز از منابع آب طبیعی، به دلیل غلبه یون‌های سدیم و کلرید و غلظت بسیار کم سایر مواد معدنی مانند کلسیم، منیزیم و سولفات با در نظر گرفتن نیازهای غذایی برای محصولات باغی مشخص می‌شود (Martínez-Alvarez *et al.*, 2016).

مدیریت آب با فن‌آوری و روش‌های آبیاری

آبیاری، یک اقدام فنی است که برای نیاز آب لازم برای رشد محصول انجام می‌شود (Guo *et al.*, 2023). هزاران سال است که از آن برای به حداکثر رساندن عملکرد، کارایی و سودآوری محصولات استفاده می‌شود و علمی است که دائماً در حال توسعه است (Gil *et al.*, 2023). راندمان آبیاری جهانی، کم است و محصولات کشاورزی کمتر از ۶۵ درصد آب

ناحیه ریشه شامل خیس کردن و خشک کردن متناوب قسمت‌های مختلف ناحیه ریشه است که به‌طور موثر فقط نیمی از سیستم ریشه را در هر زمان معین در معرض تنش آبی قرار می‌دهد (Chen et al., 2023). درکم آبیاری تنظیم شده، آبیاری به یک طرف سیستم ریشه گیاه اعمال می‌شود در حالی که طرف دیگر اجازه خشک شدن دارد. پس از یک دوره معین، معمولاً یک تا دو هفته، آبیاری به سمت خشک قبلی تغییر می‌کند. این تناوب به تحریک پاسخ‌های فیزیولوژیکی در گیاه کمک می‌کند که کارایی مصرف آب را بهبود می‌بخشد و می‌تواند به مزایایی مانند بهبود مکانیسم‌های تحمل به خشکی و کاهش میزان تعرق منجر شود (Kaldate et al., 2021). خشک کردن جزئی در ناحیه ریشه، به‌طور موفقیت آمیزی در بخش‌های مختلف باغبانی استفاده شده است که منجر به کاهش ۳۰ تا ۵۰ درصدی آبیاری، به عنوان مثال، گوجه فرنگی (Shahnazari et al., 2007)، سیب زمینی (Giuliani et al., 2017) و مرکبات (Yactayo et al., 2013) شده است. کم آبیاری تنظیم شده، روشی است که عمداً مقدار آب مصرفی به محصولات را در طی مراحل رشد خاص کاهش می‌دهد. با اعمال کمبود آب در مراحل رشد غیربحرانی، می‌توان گیاهان را برای استفاده کارآمدتر از آب شرطی کرد، که منجر به کاهش قابل توجه مصرف آب با حداقل تأثیر بر عملکرد و کیفیت می‌شود (Consoli et al., 2017). کم آبیاری تنظیم شده، منجر به صرفه‌جویی در مصرف آب تا ۲۰ الی ۳۰ درصد در محصولات باغی مانند گوجه فرنگی (Loveys et al., 2004)، انگور (Savic et al., 2011) و لوبیا (Faci et al., 2014) شده است. زهکشی کنترل

آبیاری بارانی در باغبانی استفاده شده است، به عنوان مثال، در سیب (Hamilton et al., 2005)، زغال اخته (Fereres and Evans, 2006)، کاهو (Strik and Buller, 2005) و ریحان (Simonne et al., 2005). فناوری آبیاری بارانی، از آبیاش‌های ثابت، متحرک یا سیستم‌های مرکز محور، برای پاشیدن آب روی محصولات استفاده می‌کند. با این حال، بخشی از آب توسط تاج پوشش حفظ و به‌دلیل خیس شدن شاخ و برگ می‌تواند باعث بیماری شود که محیط مساعدی برای رشد و گسترش عوامل بیماری‌زا ایجاد می‌کند (Simonne and Hochmuth, 2011). استفاده از سیستم‌های مانند آبیاری قطره‌ای، یک عامل کلیدی در دستیابی به عملکرد بالاتر و محصول با کیفیت بهتر در کشت سبزی در فضای باز (McDonald and Linde, 2022) و گلخانه (Senapati et al., 2021) است. آبیاری قطره‌ای، آب را در نزدیکی ناحیه ریشه از طریق شبکه‌ای از لوله‌ها و قطره چکان‌ها پخش می‌کند، زیرا می‌تواند به‌طور قابل توجهی بازده و کارایی مصرف آب را به‌دلیل کاهش اتلاف آب از طریق نشت و تبخیر افزایش دهد (Sebastian et al., 2021; Zhang et al., 2024). چندین شکل از سیستم‌های آبیاری، از جمله آبیاری قطره‌ای، در روش‌های مدیریت آب مانند کم آبیاری مورد استفاده قرار گرفته‌اند (Seema Dahiya et al., 2022). براساس این اصل، تکنیک‌های مدیریت آب مانند خشک کردن جزئی در ناحیه ریشه (Partial Root-Zone Drying) (PRD) و کم آبیاری تنظیم شده (Regulated Deficit Irrigation) (RDI) با موفقیت برای بهبود عملکرد و کیفیت در بخش باغبانی استفاده شده‌اند (Wen et al., 2024). خشک کردن جزئی در

شده (Controlled Drainage)، یک روش مدیریت آب است که شامل تنظیم سطح ایستابی برای افزایش دسترسی به آب در طول دوره‌های خشک و جلوگیری از غرقاب شدن در طول دوره‌های مرطوب، در نتیجه بهینه سازی شرایط رشد برای بهبود عملکرد محصول می‌شود (Lamm et al., 2015). برای جلوگیری از غرقابی در محصولات باغی مانند توت‌فرنگی و گوجه‌فرنگی و برای جلوگیری از غرقابی و تنش خشکی در باغات استفاده شده است (Ayars et al., 2006; Strock et al., 2007). کاربرد کودها از طریق سیستم‌های آبیاری، روشی کارآمد برای بهینه‌سازی مدیریت آب و مواد مغذی در سیستم‌های باغبانی فشرده مانند توت‌فرنگی، کاهو، گل رز و نعنای فراهم می‌کند (García-Ruiz et al., 2017; Koukounaras, 2020). هیدروپونیک (Hydroponics)، یک تکنیک کشاورزی بدون خاک با استفاده از محلول‌های مواد مغذی معدنی در یک حلال آبی با حداقل تلفات تبخیر است، نمونه‌هایی از کاربردهای هیدروپونیک در محصولات باغی شامل توت‌فرنگی (Khan et al., 2020)، خیار (Almaguer-Vargas et al., 2008) و نعنای (Lee and Lee, 2015) است. جدیدترین پیشرفت‌های فن‌آوری در آبیاری شامل آبیاری هوشمند و آبیاری دقیق، مبتنی بر پذیرش نسل جدیدی از فناوری و ابزارهای اطلاعاتی مانند اینترنت اشیا (IoT) (Internet of Things) و هوش مصنوعی (AI) (Artificial Intelligence) است. آبیاری هوشمند بیشتر بر جنبه‌های زمانی (برنامه‌ریزی) متمرکز است شامل اتوماسیون و بهینه‌سازی فرآیندهای آبیاری با استفاده از داده‌های زمان واقعی (Muleke et al., 2023). در حالی که آبیاری دقیق، بیشتر روی توزیع فضایی تامین آب متمرکز است (Lephondo et al., 2024). علاوه بر این، حسگرها یا اینترنت اشیا، می‌توانند برای تشخیص نشت در سیستم‌های آبیاری استفاده شوند (Pomoni et al., 2023). این ابزارها می‌توانند آبیاری دقیق را با استفاده از حسگرهای اینترنت اشیا برای جمع‌آوری داده‌ها در زمان واقعی (به عنوان مثال، میزان رطوبت خاک، شرایط آب و هوایی و نیاز آبی گیاه) و انتقال داده‌های جمع‌آوری‌شده به مراکز داده پشتیبانی کنند (Keates, 2023). اینترنت اشیا شامل محرک‌ها (به عنوان مثال برای کارکرد دریچه‌ها و پمپ‌ها) و دستگاه‌های الکترونیکی متصل برای پشتیبانی از آبیاری هوشمند است (Muleke et al., 2023). کنترل از راه دور سیستم آبیاری، به کشاورزان اجازه می‌دهد تا آبیاری و سایر سیستم‌های مدیریت آب را از هر نقطه کنترل کنند (Kaburuan and Jayadi, 2019). روش تکنیک‌های سنجش از دور در ارتفاع پایین از باندهای طیفی متفاوتی از حسگرهای چند طیفی و فراطیفی استفاده می‌کنند (Mwinuka et al., 2022). دوربین‌های فراطیفی، برای تشخیص تنش آب در گیاهان، به عنوان مثال گوجه‌فرنگی، مرکبات و چای استفاده شده‌اند (Zhang et al., 2023; Mpakairi et al., 2024). سایر شاخص‌های پوشش گیاهی، مانند سبزی‌نگی نرمال شده گیاهی (Green Normalized Difference Vegetation Index) (GNDVI) و شاخص گیاهی بهینه شده با خاک (Optimized Soil Adjusted Vegetation Index) (OSAVI)، برای ارزیابی آب در محصولات باغی مانند کاهو،

شده (Controlled Drainage)، یک روش مدیریت آب است که شامل تنظیم سطح ایستابی برای افزایش دسترسی به آب در طول دوره‌های خشک و جلوگیری از غرقاب شدن در طول دوره‌های مرطوب، در نتیجه بهینه سازی شرایط رشد برای بهبود عملکرد محصول می‌شود (Lamm et al., 2015). برای جلوگیری از غرقابی در محصولات باغی مانند توت‌فرنگی و گوجه‌فرنگی و برای جلوگیری از غرقابی و تنش خشکی در باغات استفاده شده است (Ayars et al., 2006; Strock et al., 2007). کاربرد کودها از طریق سیستم‌های آبیاری، روشی کارآمد برای بهینه‌سازی مدیریت آب و مواد مغذی در سیستم‌های باغبانی فشرده مانند توت‌فرنگی، کاهو، گل رز و نعنای فراهم می‌کند (García-Ruiz et al., 2017; Koukounaras, 2020). هیدروپونیک (Hydroponics)، یک تکنیک کشاورزی بدون خاک با استفاده از محلول‌های مواد مغذی معدنی در یک حلال آبی با حداقل تلفات تبخیر است، نمونه‌هایی از کاربردهای هیدروپونیک در محصولات باغی شامل توت‌فرنگی (Khan et al., 2020)، خیار (Almaguer-Vargas et al., 2008) و نعنای (Lee and Lee, 2015) است. جدیدترین پیشرفت‌های فن‌آوری در آبیاری شامل آبیاری هوشمند و آبیاری دقیق، مبتنی بر پذیرش نسل جدیدی از فناوری و ابزارهای اطلاعاتی مانند اینترنت اشیا (IoT) (Internet of Things) و هوش مصنوعی (AI) (Artificial Intelligence) است. آبیاری هوشمند بیشتر بر جنبه‌های زمانی (برنامه‌ریزی) متمرکز است شامل اتوماسیون و بهینه‌سازی فرآیندهای آبیاری با استفاده از داده‌های زمان واقعی (Muleke et al., 2023). در حالی که آبیاری دقیق، بیشتر روی توزیع فضایی تامین آب متمرکز است (Lephondo et al., 2024). علاوه بر این، حسگرها یا اینترنت اشیا، می‌توانند برای تشخیص نشت در سیستم‌های آبیاری استفاده شوند (Pomoni et al., 2023). این ابزارها می‌توانند آبیاری دقیق را با استفاده از حسگرهای اینترنت اشیا برای جمع‌آوری داده‌ها در زمان واقعی (به عنوان مثال، میزان رطوبت خاک، شرایط آب و هوایی و نیاز آبی گیاه) و انتقال داده‌های جمع‌آوری‌شده به مراکز داده پشتیبانی کنند (Keates, 2023). اینترنت اشیا شامل محرک‌ها (به عنوان مثال برای کارکرد دریچه‌ها و پمپ‌ها) و دستگاه‌های الکترونیکی متصل برای پشتیبانی از آبیاری هوشمند است (Muleke et al., 2023). کنترل از راه دور سیستم آبیاری، به کشاورزان اجازه می‌دهد تا آبیاری و سایر سیستم‌های مدیریت آب را از هر نقطه کنترل کنند (Kaburuan and Jayadi, 2019). روش تکنیک‌های سنجش از دور در ارتفاع پایین از باندهای طیفی متفاوتی از حسگرهای چند طیفی و فراطیفی استفاده می‌کنند (Mwinuka et al., 2022). دوربین‌های فراطیفی، برای تشخیص تنش آب در گیاهان، به عنوان مثال گوجه‌فرنگی، مرکبات و چای استفاده شده‌اند (Zhang et al., 2023; Mpakairi et al., 2024). سایر شاخص‌های پوشش گیاهی، مانند سبزی‌نگی نرمال شده گیاهی (Green Normalized Difference Vegetation Index) (GNDVI) و شاخص گیاهی بهینه شده با خاک (Optimized Soil Adjusted Vegetation Index) (OSAVI)، برای ارزیابی آب در محصولات باغی مانند کاهو،

جلوگیری از آسیب اکسیداتیو است (Hayat et al., 2023). فنوتیپ فیزیولوژیکی، ابزاری است که برای شناسایی و انتخاب صفات گیاهی استفاده می‌شود که کارایی مصرف آب را افزایش می‌دهد و نیاز آبی را در محصولات باغی کاهش می‌دهد. این رویکرد شامل ارزیابی پارامترهای مختلف فیزیولوژیکی گیاهان، مانند توانایی آنها برای حفظ رشد در شرایط محدود آب، مکانیسم‌های جذب و انتقال آب و پاسخ کلی آنها به تنش خشکی است (Dalal et al., 2019). با ادغام این صفات فنوتیپی در برنامه‌های اصلاحی، می‌توان محصولات باغی مقاوم در برابر کمبود آب را توسعه داد. برنامه‌های اصلاحی از فنوتیپ فیزیولوژیکی برای انتخاب صفاتی مانند بهبود کارایی مصرف آب استفاده کرده‌اند که منجر به تولید انواع گوجه‌فرنگی، کاهو و انگور می‌شود که به آب کمتری نیاز دارند (Mir et al., 2019).

فناوری نانو در باغبانی

نانوتکنولوژی راه‌حل‌های نوآورانه‌ای را برای مدیریت تنش آبی در باغبانی ارائه می‌کند، مانند نانوکامپوزیت‌های هیدروژل، موادی که به‌طور قابل توجهی آب در خاک را افزایش می‌دهند و بسته به نیاز گیاه به آرامی آزاد می‌شوند، نانوذرات نقره برای افزایش رشد گیاهان تحت تنش اکسیداتیو مرتبط با خشکی و نانوذرات سیلیکون برای بهبود خشکسالی. تحمل با افزایش جذب آب و کاهش تعرق استفاده می‌شود (Gupta et al., 2023; Hayat et al., 2023; Manzoor et al., 2024).

گوجه‌فرنگی و اسفناج در شرایط آب و هوایی مختلف استفاده شده‌اند (Bhandari et al., 2018; Ge et al., 2019; Khormizi et al., 2024). داده‌های حاصل از حسگرهای اینترنت اشیا و سنجش از راه دور، می‌توانند در الگوریتم‌های هوش مصنوعی برای تجزیه و تحلیل داده‌ها برای تعیین برنامه و مقدار بهینه آبیاری مورد استفاده قرار گیرند و کارایی مصرف آب را افزایش دهند (Singh et al., 2022). استفاده از برنامه‌های کاربردی و فناوری دیجیتال برای نظارت بر محصولات و شرایط محیطی، ورودی‌های مربوطه را برای بهبود مدیریت آبیاری، کاهش تلفات آب و بهبود کارایی مصرف آب فراهم می‌کند (Kang et al., 2021). استفاده از فناوری‌ها و ابزارهای جدید، صرفه‌جویی در مصرف آب در مقایسه با روش‌های آبیاری سنتی بهبود بخشید (Zeng et al., 2023; Lakhari et al., 2024).

ارقام مقاوم به خشکی

برای به حداقل رساندن اثرات مضر تنش آبی، از رویکردهای مختلفی برای افزایش تولید و کیفیت باغداری استفاده شده است. پیشرفت‌هایی در بهبود محصول با توسعه ارقام مقاوم به خشکی در محصولات باغی حاصل شده است که شامل پیشرفت در اصلاح مولکولی و ویرایش ژنوم برای ایجاد تغییرات فیزیولوژیکی، مورفولوژیکی و بیوشیمیایی مختلف است (Kaldate et al., 2021). این پیشرفت‌ها شامل بهبود ژنتیکی از طریق تحریک فعالیت ژن از طریق فناوری نانو (نانوذرات اکسید روی)، تنظیم سطح هورمون‌ها برای تولید تنظیم‌کننده‌های رشد، افزایش جذب آب، بهبود هدایت هیدرولیکی ریشه و

تلقیح میکروبی

این تلقیح‌ها از میکروارگانیسم‌های مفیدی مانند باکتری‌ها، قارچ‌ها یا ترکیبی از هر دو تشکیل شده‌اند که باعث افزایش تحمل گیاه در برابر خشکی می‌شوند. نمونه‌هایی از تلقیح‌های میکروبی عبارتند از قارچ‌های میکوریزی آربوسکولار، که به‌طور گسترده برای افزایش تحمل به خشکی در گوجه‌فرنگی، فلفل و توت‌فرنگی استفاده می‌شود (Wahab et al., 2023). باکترهای محرک رشد گیاه برای تقویت رشد ریشه، افزایش جذب مواد مغذی و القای تحمل سیستمیک به خشکی در محصولاتمانند کاهو، هویج و خیار (Kaldate et al., 2021) و باکتری‌های حل‌کننده فسفات و تلقیح ریزوبیوم، که برای بهبود کارایی مصرف آب استفاده می‌شود (Kour et al., 2022; Alharbi et al., 2024).

مدیریت آب اضافی ناشی از سیل

سیل یک چالش زیست محیطی اساسی است که به‌طور قابل توجهی عملکرد محصول را کاهش می‌دهد و به یک مسئله جهانی تبدیل شده است (Hayat et al., 2023) که انتظار می‌رود با تغییرات آب و هوایی تشدید شود (Ferreira et al., 2022). بیش از یک سوم از زمین‌های آبی جهان، تحت تأثیر سیل قرار می‌گیرد که عوامل متعددی از جمله بارندگی شدید، زمین‌های ناهموار، زهکشی ضعیف و آبیاری بیش از حد می‌توانند در ایجاد این موضوع نقش داشته باشند.

نتیجه‌گیری کلی

باغبانی بخش مهمی برای امنیت غذایی و اقتصاد جهانی است. محصولات باغی، به مقدار قابل توجهی آب نیاز دارند. افزایش کمبود آب به دلیل تغییرات آب

(Hayat et al., 2023). آب اضافی در خاک، تبادل گاز

و انتشار بین ریشه‌های گیاه و هوا را کاهش می‌دهد، که منجر به محدودیت تنفس و کمبود اکسیژن در گیاهان به دلیل پر شدن بیش از حد آب در فضاهای خالی هوا می‌شود (Hayat et al., 2023) و می‌تواند از عملکرد بهینه ریشه جلوگیری و مانع جذب مواد مغذی می‌شود (Webb et al., 2014; Touil et al., 2022). آبیاری بیش از حد منجر به راندمان مصرف کم کود، کاهش بهره‌وری و افزایش هزینه‌های تولید می‌شود و منجر به شستشوی نیتروژن و در نتیجه آلودگی سفرهای آبی شود (Mwinuka et al., 2022). اثرات سیل بر محصولات باغی را می‌توان با استفاده از سیستم‌های زهکشی، سطحی و زیرسطحی کاهش داد (Wang and Xu, 2022). سایر اقدامات شامل کاشت محصولات در پشته‌ها برای بالا بردن ناحیه ریشه بالاتر از خاک اشباع، کاهش خطر کمبود اکسیژن ریشه و بهبود هوادهی است (Antolini et al., 2019). در باغات با شیب ملایم، ایجاد پشته‌ها می‌تواند به دفع آب اضافی از ریشه گیاه کمک کند. این تکنیک به‌ویژه برای محصولاتمانند توت‌فرنگی، گوجه‌فرنگی و فلفل مؤثر است (Antolini et al., 2019). انتخاب یا پرورش، گونه‌های باغی که در برابر غرقابی یا سیل موقت مقاوم‌تر هستند، می‌تواند به کاهش تلفات کمک کند. برخی از پایه‌ها یا ارقام تحمل بهتری نسبت به شرایط کمبود اکسیژن دارند (Ahmed et al., 2012).

و هوایی، رشد جمعیت و تقاضاهای رقابتی سایر بخش‌ها (صنعت، شهرنشینی) یک چالش حیاتی برای بخش باغبانی است. روش‌های آبیاری سنتی مانند آبیاری غرقابی اغلب با آبیاری بیش از حد، شستشوی

- A., Ed.; Springer: Cham, Switzerland, Volume 75.
- 2) Abou-Shady, A., Siddique, M.S. and W, Yu. 2023. A Critical Review of Recent Progress in Global Water Reuse during 2019–2021 and Perspectives to Overcome Future Water Crisis. *Environments*, 10: 159.
 - 3) Agyarko, K., Asiedu, E.K. and J, Tachie-Menson. 2006. Effect of mulching materials on soil temperature, nutrient concentration, growth and yield of turmeric (*Curcuma longa*). *International Journal of Plant Production*, 2: 63–75.
 - 4) Ahmed, F., Raffi, M., Ismail, M., Juraimi, A., Rahim, H., Asfaliza, R. and M, Latif. 2012. Waterlogging Tolerance of Crops: Breeding, Mechanism of Tolerance, Molecular Approaches, and Future Prospects. *BioMed Research International*, 1–10.
 - 5) Akhtar, S.S. 2015. Biochar stimulates plant growth but not fruit yield of processing tomato in a fertile soil. *Scientia Horticulturae*, 264: 109184.
 - 6) Alharbi, S., Felemban, A., Abdelrahim, A. and M, Al-Dakhil. 2024. Agricultural and Technology-Based Strategies to Improve Water-Use Efficiency in Arid and Semiarid Areas. *Water*, 16: 1842.
 - 7) Ali, O., Cheddadi, I., Landrein, B. and Y, Long. 2023. Revisiting the relationship between turgor pressure and plant cell growth. *New Phytologist*, 238: 62–69.
 - 8) Almaguer-Vargas, G., Alcántar-González, G. and M, Osuna-Ceja. 2008. Production of hydroponic strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.) in response to electrical conductivity of the nutrient solution. *Agrociencia*, 42: 641–652.
 - 9) Álvarez, J., Pasian, C., Lal, R., López, R., Díaz, M. and M. Fernández. 2018. Morphophysiological plant quality when biochar and vermicompost are used as growing media replacement in urban horticulture. *Urban Forestry and Urban Greening*, 34: 175–180.
 - 10) Amori, P., Mierzwa, J., Bertelt-Hunt, S., Guo, B. and D, Saroj. 2022. Germination and growth of horticultural crops irrigated with reclaimed water after biological treatment and ozonation. *Journal of Cleaner Production*, 336: 130173.
- مواد مغذی و تخریب خاک (شور شدن) همراه است. برای مقابله با کمبود آب و بهبود کارایی مصرف آب، یک رویکرد کلی نگر ترکیبی از شیوه‌های کشاورزی پایدار و نوآوری‌های تکنولوژیکی برای بهبود مدیریت آب در بخش باغبانی مورد نیاز است. با این حال، یکی از چالش‌های اصلی مدیریت آب در بخش باغبانی، عدم آگاهی کشاورزان در مورد نیاز آبی محصولات کشاورزی است. اجرای راه‌حل‌های مبتنی بر طبیعت براساس بهترین شیوه‌های کشاورزی، مانند مالچ پاشی، مواد ارگانیک و محصولات پوششی، می‌تواند رطوبت خاک را با بهبود ظرفیت نگهداری آب و کاهش تلفات ناشی از تبخیر افزایش داده و در نتیجه نیاز آبیاری را کاهش دهد. رویکردهای مبتنی بر فناوری نانو، توسعه انواع محصولات مقاوم به خشکی، اصلاح نژاد و مهندسی ژنتیک حیاتی است. منابع آب مانند فاضلاب تصفیه شده و نمک زدایی جایگزین پایداری برای منابع آب شیرین به‌ویژه در مناطق کم آب هستند. با این حال، این منابع گرانتر از منابع آب طبیعی هستند و مدیریت نامناسب می‌تواند منجر به تجمع املاح و تخریب خاک و کاهش عملکرد محصول شود. استفاده از فن‌آوری‌های کارآمدتر مانند آبیاری قطره‌ای، می‌تواند با انتقال مستقیم آب به ناحیه ریشه در مقادیر مناسب، مصرف آب را بهینه کند. آبیاری دقیق و هوشمند و حفاظت از منابع آب برای انطباق با تغییرات اقلیمی، تضمین امنیت غذایی و دستیابی به اهداف توسعه پایدار ضروری است.
- منابع
- 1) Abdelraouf, R.E. 2017. Reuse of Fish Farm Drainage Water in Irrigation. In *Unconventional Water Resources and Agriculture in Egypt. The Handbook of Environmental Chemistry*; Negm,

- 20) Boulet, A.K., Alarcão, C., Ferreira, C., Kalantari, Z., Veiga, A., Campos, L., Ferreira, A. and R, Hessel. 2021. Agro-ecological services delivered by legume cover crops grown in succession with grain corn crops in the Mediterranean region. *Open Agriculture*, 6: 609–626.
- 21) Bradford, S.A., Morales, V.L., Zhang, W., Harvey, R.W., Packman, A.I., Mohanram, A. and C, Welty. 2013. Transport and fate of microbial pathogens in agricultural settings. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 43: 775–893.
- 22) Cameira, M., Pereira, A., Ahuja, L. and L, Ma. 2014. Sustainability and environmental assessment of fertigation in an intensive olive grove under Mediterranean conditions. *Agricultural Water Management*, 146: 346–360.
- 23) Carotti, L., Pistillo, A., Zauli, I., Meneghello, D., Martin, M., Pennisi, G., Gianquinto, G. and F, Orsini. 2023. Improving water use efficiency in vertical farming: Effects of growing systems, far-red radiation and planting density on lettuce cultivation. *Agricultural Water Management*, 285: 108365.
- 24) Chai, Q., Gan, Y., Zhao, C., Xu, H.L., Waskom, R.M., Niu, Y. and K.H, Siddique. 2016. Regulated deficit irrigation for crop production under drought stress. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 36: 3.
- 25) Chen, Y., Zhang, J.H., Chen, M.X., Zhu, F.Y. and T, Song. 2023. Optimizing water conservation and utilization with a regulated deficit irrigation strategy in woody crops: A review. *Agricultural Water Management*, 289: 108523.
- 26) Chen, Y.C. and Y.H, Chen. 2019. Thermo and pH-responsive methylcellulose and hydroxypropyl methylcellulose hydrogels containing K₂SO₄ for water retention and a controlled release water-soluble fertilizer. *Science of the Total Environment*, 655: 958–967.
- 27) Christou, A., Beretsou, V.G., Iakovides, I.C., Karaolia, P., Michael, C., Benmarhnia, T., Chefetz, B., Donner, E., Gawlik, B.M. and Y, Lee. 2024. Sustainable wastewater reuse for agriculture. *Nature Reviews Earth & Environment*, 5: 504–521.
- 28) Consoli, S., Stagno, F., Vanella, D., Boaga, J., Cassiani, G. and G, Roccuzzo. 2017. Partial root-zone drying irrigation in orange orchards, effects
- 11) Antolini, F., Tate, E., Dalzell, B., Young, N., Johnson, K. and P, Hawthorne. 2019. Flood Risk Reduction from Agricultural Best Management Practices. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 56: 161–179.
- 12) Arif, M., Jan, M.T., Khan, M.Q., Saeed, M. and N.U, Khan. 2017. Biochar improves growth, physiology, and ornamental quality of *Calendula* (*Calendula officinalis* L.). *Journal of Plant Nutrition*, 40: 272–281.
- 13) Ayars, J.E., Christen, E.W. and J, Hornbuckle. 2006. Controlled drainage for improved water management in arid regions irrigated agriculture. *Agricultural Water Management*, 86, 128–139.
- 14) Bai, Z., Caspari, T., Gonzalez, M.R., Batjes, N.H., Mäder, P., Bünemann, E.K., de Goede, R., Brussaard, L., Xu, M. and C.S.S, Ferreira. 2018. Effects of agricultural management practices on soil quality: A review of long-term experiments for Europe and China. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 265: 1–7.
- 15) Barão, L., Alaoui, A., Ferreira, C., Basch, G., Schwilch, G., Geissen, V., Sukkel, W., Lemesle, J., Garcia-Orenes, F. and A, Morugán-Coronado. 2019. Assessment of promising agricultural management practices. *Science of the Total Environment*, 649: 610–619.
- 16) Berríos, L.R. and K.F, Nielsen. 2006. Crop response to irrigation—Vegetables. *Irrigated Agriculture. Crop*, 33: 791–820.
- 17) Bhandari, S., Raheja, A., Chaichi, M., Green, R., Do, D., Pham, F., Ansari, M., Wolf, J.G., Sherman, T.M. and A, Espinas. 2018. Effectiveness of UAV-based remote sensing techniques in determining lettuce nitrogen and water stresses. In *Proceedings of the 14th International Conference on Precision Agriculture*, Montreal, QC, Canada, 24–27 June; pp. 1066403–1066415.
- 18) Bierer, A.M. 2023. Development of an open source soil water potential management system for horticultural applications, “Open_Irr”. *HardwareX*, 15: e00458.
- 19) Bogdan, A.M. and S.N, Kulshreshtha. 2021. Canadian horticultural growers’ perceptions of beneficial management practices for improved on-farm water management. *Journal of Rural Studies*, 87: 77–87.

- c831-4ee6-ab0a-e47ea66a7e6a/content (accessed on 22 April 2024).
- 38) FAO. 2023. FAO's Global Information System on Water and Agriculture 2024. 2023. Available online: <https://www.fao.org/aquastat/> (accessed on 22 April 2024).
 - 39) FAO. 2000. The Ecocrop Database; Food and Agriculture Organization of the United Nations, Ed.; FAO: Rome, Italy.
 - 40) FAO. 2017. Water for Sustainable Food and Agriculture: A Report Produced for the G20 Presidency of Germany [WWW Document] Food Agric. Organ. 2017. Available online: <http://www.fao.org/3/a-i7959e.pdf> 8.7.18 (accessed on 18 March 2024).
 - 41) Farooq, M., Hussain, M., Wahid, A. and K.H.M, Siddique. 2012. Drought stress in plants: An overview. In *Plant Responses Drought Stress*; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, pp. 1–33.
 - 42) Fereres, E. and R.G, Evans. 2006. Irrigation of fruit trees and vines: Principles and practices. *Irrigation of Agricultural Crops*, 33, 781–808.
 - 43) Ferreira, C., Keizer, J., Santos, L., Serpa, D., Silva, V., Cerqueira, M., Ferreira, A. and N, Abrantes. 2018. Runoff, sediment and nutrient exports from a Mediterranean vineyard under integrated production: An experiment at plot scale. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 256: 184–193.
 - 44) Ferreira, C.S., Seifollahi-Aghmiuni, S., Destouni, G., Ghajarnia, N. and Z, Kalantari. 2022. Soil degradation in the European Mediterranean region: Processes, status and consequences. *Science of the Total Environment*, 805, 150106.
 - 45) Ferreira, C.S.S., Kašanin-Grubin, M., Destouni, G., Soares, P., Harrison, M., Kikuchi, R. and Z, Kalantari. 2024. Freshwater: Management Principles for Sustainability under the Climate Emergency. In *Environmental Sustainability in the Mediterranean Region—Challenges and Solutions*; Ferreira, C.S.S., Destouni, G., Kalantari, Z., Eds.; Springer Nature: Berlin/Heidelberg, Germany.
 - 46) Ferreira, C.S.S., Soares, P.R., Guilherme, R., Vitali, G., Boulet, A., Harrison, M.T., Malamiri, H., Duarte, A.C., Kalantari, Z. and A.J.D, Ferreira. 2024. Sustainable Water Management in Horticulture: Problems, Premises, and Promises. *Horticulturae*, 10: 951.
 - on water use and crop production characteristics. *European Journal of Agronomy*, 82: 190–202.
 - 29) Corato, U.D. 2020. Agricultural waste recycling in horticultural intensive farming systems by on-farm composting and compost-based tea application improves soil quality and plant health: A review under the perspective of a circular econom. *Science of the Total Environment*, 738: 139840.
 - 30) Cordeiro, S., Ferrario, F., Pereira, H.Z., Ferreira, F. and J.S, Matos. 2023. Water Reuse, a Sustainable Alternative in the Context of Water Scarcity and Climate Change in the Lisbon Metropolitan Area. *Sustainability*, 15: 12578.
 - 31) Dalal, A., Bourstein, R., Haish, N., Shenhar, I., Wallach, R. and M, Moshelion. 2019. Dynamic Physiological Phenotyping of Drought Stressed Pepper Plants Treated With “Productivity-Enhancing” and “Survivability-Enhancing” Biostimulants. *Frontiers in Plant Science*, 10: 905.
 - 32) Devitt, D.A. and R.L, Morris. 2007. Water use of landscape plants in an arid environment. *HortScienc*, 42: 68–74.
 - 33) Díaz-Pérez, J.C., Batal, K.D. and D.M, Granberry. 2005. Plastic mulches and row covers on growth and production of bell pepper. *Horticultural Science*, 40: 1315–1320.
 - 34) Eekhout, J., Delsman, I., Baartman, J., Van Eupen, M., Van Haren, C., Contreras, S., Martínez-López, J. and J, De Vente. 2024. How future changes in irrigation water supply and demand affect water security in a Mediterranean catchment. *Agricultural Water Management*, 297: 108818.
 - 35) Emongor, V.E. and G.M, Ramolemana. 2004. Treated sewage effluent (water) potential to be used for horticultural production in Botswana. *Physics and Chemistry of the Earth*, 29: 1101–1108.
 - 36) Faci, J.M., Blanco, O., Medina, E.T. and A, Martínez-Cob. 2014. Effect of post veraison regulated deficit irrigation in production and berry quality of autumn royal and crimson table grape cultivars. *Agricultural Water Management*, 134: 73–83.
 - 37) FAO. 2024. Agricultural Production Statistics 2000–2021. FAOSTAT Analytical Brief 60. 2022. Available online: <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/58971ed8->

- 55) Gikas, P. and A.N, Angelakis. 2009. Water resources management in Crete and in the Aegean Islands, with emphasis on the utilization of non-conventional water sources. *Desalination*, 248: 1049–1064.
- 56) Gil, J., González, R., Sánchez-Molina, J., Berenguel, M. and F, Rodríguez. 2023. Reverse osmosis desalination for greenhouse irrigation: Experimental characterization and economic evaluation based on energy hubs. *Desalination*, 574: 117281.
- 57) Giuliani, M.M., Nardella, E., Gagliardi, A. and G, Gatta. 2017. Deficit irrigation and partial root-zone drying techniques in processing tomato cultivated under Mediterranean climate conditions. *Sustainability*, 9: 2197.
- 58) Glover, J.D., Reganold, J.P. and P.K, Andrews. 2000. Systematic method for rating soil quality of conventional, organic, and integrated apple orchards in Washington State. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 80: 29–45.
- 59) Gökalp, Z. and S, Bulut. 2022. Potential use of biochar in wastewater treatment operations and soil improvement. *Current Trends in Natural Sciences*, 11: 161–169.
- 60) Graber, E.R., MellerHarel, Y., Kolton, M., Cytryn, E., Silber, A., Rav David, D., Tsechansky, L., Borenshtein, M. and Y, Elad. 2010. Biochar impact on development and productivity of pepper and tomato grown in fertigated soilless media. *Plant Soil*, 337: 481–496.
- 61) Guo, J., Zheng, L., Ma, J., Li, X. and R, Chen. 2023. Mata-Analysis of the effect of subsurface irrigation on crop yield and water productivity. *Sustainability*, 15: 15716.
- 62) Gupta, A., Rayeen, F., Mishra, R., Tripathi, M. and N, Pathak. 2023. Nanotechnology applications in sustainable agriculture: An emerging eco-friendly approach. *Plant Nano Biology*, 4: 100033.
- 63) Gupta, A., Rico-Medina, A. and A.I, Caño-Delgado. 2020. The physiology of plant responses to drought. *Science*, 368: 266–269.
- 64) Häder, D.P., Kumar, H., Smith, R. and R, Worrest. 2007. Effects of solar UV radiation on aquatic ecosystems and interactions with climate change. *Photochemical & Photobiological Sciences*, 6: 267–285.
- 47) Ferreira, C.S.S., Veiga, A., Caetano, A., Gonzalez-Pelayo, O., Karine-Boulet, A., Abrantes, N., Keizer, J. and A.J.D, Ferreira. 2020. Assessment of the Impact of Distinct Vineyard Management Practices on Soil Physico-Chemical Properties. *Air, Soil and Water Research*, 13: 1–13.
- 48) Frimpong, F., Asante, M., Peprah, C., Yeboah, P., Danquah, E., Ribeiro, P.F., Aidoo, A.K., Agyeman, K., Asante, M.O.O. and A, Keteku. 2023. Water-smart farming: Review of strategies, technologies, and practices for sustainable agricultural water management in a changing climate in West Africa. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 7: 1110179.
- 49) Garcia-Caparros, P., Contreras, J.I., Baeza, R., Segura, M.L. and M.T, Lao. 2017. Integral Management of Irrigation Water in Intensive Horticultural Systems of Almería. *Sustainability*, 9: 2271.
- 50) García-Ruiz, J.M., López-Bermúdez, F. and A, Jordán. 2017. The effects of soil erosion and sediment transport on soil fertility and plant productivity. *Agriculture*, 7: 110- 119.
- 51) Gava, O., Antón, A., Carmassi, G., Pardossi, A., Incrocci, L. and F, Bartolini. 2023. Reusing drainage water and substrate to improve the environmental and economic performance of Mediterranean greenhouse cropping. *Journal of Cleaner Production*, 413: 137510.
- 52) Ge, Y., Atefi, A., Zhang, H., Miao, C., Ramamurthy, R.K., Sigmon, B., Yang, J. and J.C, Schnable. 2019. High-throughput analysis of leaf physiological and chemical traits with VIS–NIR–SWIR spectroscopy: A case study with a maize diversity panel. *Plant Methods*, 15: 53-66.
- 53) Genesio, L., Miglietta, F., Baronti, S. and F.P, Vaccari. 2015. Biochar increases vineyard productivity without affecting grape quality: Results from a four years field experiment in Tuscany. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 201: 20–25.
- 54) Gholami, R., Hoveizeh, N., Zahedi, S. and I, Arji. 2023. Effect of organic and synthetic mulches on some morpho-physiological and yield parameters of ‘Zard’ olive cultivar subjected to three irrigation levels in field conditions. *South African Journal of Botany*, 162: 749–760.

- with urea controlled release and water retention. *Carbohydrate Polymers*, 223: 115040.
- 75) Islam, M.R., Xue, X., Mao, S., Zhao, X., Eneji, A.E. and Y, Hu. 2011. Superabsorbent polymers (SAP) enhance efficient water use and reduce soil erosion in the Loess Plateau of China. *Agricultural Water Management*, 98: 1297–1306.
 - 76) Jones, H.G. 1998. Stomatal control of photosynthesis and transpiration. *Journal of Experimental Botany*, 49: 387–398.
 - 77) Kaburuan, E.R. and R, Jayadi. 2019. A Design of IoT-based Monitoring System for Intelligence Indoor Micro-Climate Horticulture Farming in Indonesia. *Procedia Computer Science*, 157, 459–464.
 - 78) Kader, M., Singha, A., Begum, M., Jewel, A., Khan, F. and N, Khan. 2019. Mulching as water-saving technique in dryland agriculture: Review article. *Bulletin of the National Research Centre*, 43: 2–6.
 - 79) Kaldate, R., Singh, S., Guleria, G., Soni, A., Aikwad, D., Kumar, N., Meshram, S. and M, Rana. 2021. Current approaches in horticultural crops to mitigate the effect of drought stress. *Stress Tolerance in Horticultural Crops*, 13: 213–240.
 - 80) Kang, J., Hao, X., Zhou, H. and R, Ding. 2021. An integrated strategy for improving water use efficiency by understanding physiological mechanisms of crops responding to water deficit: Present and prospect. *Agricultural Water Management*, 255: 107008.
 - 81) Kavitha, B., Reddy, P.V.L., Kim, B., Lee, S.S., Pandey, S.K. and K.H, Kim. 2018. Benefits and limitations of biochar amendment in agricultural soils: A review. *Journal of Environmental Management*, 227: 146–154.
 - 82) Keates, O. 2023. Actionable insights for horticulture supply chains through advanced IoT analytics. *Procedia Computer Science*, 217: 1631–1640.
 - 83) Keilmann-Gondhalekar, D., Hu, H.Y., Chen, Z. and S. Tayal. 2021. The Emerging Environmental Economic Implications of the Urban Water-Energy-Food (WEF) Nexus: Water Reclamation with Resource Recovery in China, India, and Europe. *Journal of Environmental Sciences*, 12: 56–61.
 - 65) Hamilton, A., Boland, A., Stevens, D., Kelly, J., Radcliffe, J., Ziehl, A., Dillon, P. and B, Paulin. 2005. Position of the Australian horticultural industry with respect to the use of reclaimed water. *Agricultural Water Management*, 71: 181–209.
 - 66) Han, Y., Zhao, W., Ding, J. and C.S.S, Ferreira. 2023. Soil erodibility for water and wind erosion and its relationship to vegetation and soil properties in China's drylands. *Science of the Total Environment*, 903: 166639.
 - 67) Harrison, M., Cullen, B. and R, Rawnsley. 2016. Modelling the sensitivity of agricultural systems to climate change and extreme climatic events. *Agricultural Systems*, 148: 135–148.
 - 68) Hartwig, N.L. and H.U, Ammon. 2002. Cover crops and living mulches. *Weed Science*, 50: 688–699.
 - 69) Hayat, F., Khanum, F., Li, J., Iqbal, S., Khan, U., Javed, H.U., Razzaq, M.K., Altaf, M.A., Peng, Y. and X, Ma. 2023. Nanoparticles and their potential role in plant adaptation to abiotic stress in horticultural crops: A review. *Scientia Horticulturae*, 321: 112285.
 - 70) Herrero-Hernández, E., Simón-Egea, A.B., Sánchez-Martín, M.J., Rodríguez-Cruz, M.S. and M.S, Andrades. 2020. Monitoring and environmental risk assessment of pesticide residues and some of their degradation products in natural waters of the Spanish vineyard region included in the Denomination of Origin Jumilla. *Environmental Pollution*, 264: 114666.
 - 71) Hosney, H., Tawfik, M.H., Duker, A. and P, van der Steen. 2023. Prospects for treated wastewater reuse in agriculture in low and middle income countries: Systematic analysis and decision making trees for diverse management approaches. *Environmental Development*, 46: 100849.
 - 72) Hossain, M.D. and K.N, Ryu. 2009. Effects of mulching on yield, quality and soil properties in strawberry. *Scientia Horticulturae*, 124: 282–286.
 - 73) Huang, X., Zhang, J.A., Liu, R.P., Guo, Y.J. and L, Hanzo. 2019. Airplane aided integrated networking for 6G wireless: Will it work? *IEEE Vehicular Technology Magazine*, 14: 84–91.
 - 74) Iftime, M.M., Ailiesei, G.L., Ungureanu, E. and L, Marin. 2019. Designing chitosan based eco-friendly multifunctional soil conditioner systems

- the soil water environment and apple yield of orchards in semiarid areas. *Agricultural Water Management*, 253: 106936.
- 95) Libutti, A., Gatta, G., Gagliardi, A., Vergine, P., Pollice, A., Beneduce, L., Disciglio, G. and E, Tarantino. 2018. Agro-industrial wastewater reuse for irrigation of a vegetable crop succession under Mediterranean conditions. *Agricultural Water Management*, 196: 1–14.
 - 96) Loveys, B., Stoll, M. and W, Davies. 2004. Physiological approaches to enhance water use efficiency in agriculture: Exploiting plant signalling in novel irrigation practice. In *Water Use Efficiency in Plant Biology*; Wiley: Hoboken, NJ, USA, pp: 113–141.
 - 97) Manzoor, M., Xu, Y., Iv, Z., Xu, J., Shah, I., Sabir, I., Wang, Y., Sun, W., Liu, X. and L, Wang. 2024. Horticulture crop under pressure: Unraveling the impact of climate change on nutrition and fruit cracking. *Journal of Environmental Management*, 357: 120759.
 - 98) Marchi, E., Zotarelli, L., Delgado, J., Rowland, D. and G, Marchi. 2016. Use of the Nitrogen Index to assess nitrate leaching and water drainage from plastic-mulched horticultural cropping systems of Florida. *International Soil and Water Conservation Research*, 4: 237–244.
 - 99) Martínez-Alvarez, V., Martin-Gorriz, B. and M, Soto-García. 2016. Seawater desalination for crop irrigation—A review of current experiences and revealed key issues. *Desalination*, 381: 58–70.
 - 100) Materechera, S.A. and T.S, Mkhabela. 2001. Influence of inorganic mulches on soil moisture retention and temperature, and growth of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.) in a semi-arid environment. *Soil and Tillage Research*, 58: 31–40.
 - 101) McDonald, E.M. and C, Linde. 2022. The impact of sprinkler irrigation on the development of foliar diseases in horticultural crops. *Australasian Plant Pathology*, 31: 117–123.
 - 102) Melo, A., Pinto, E., Aguiar, A., Mansilha, C., Pinho, O. and I.M, Ferreira. 2012. Impact of intensive horticulture practices on groundwater content of nitrates, sodium, potassium, and pesticides. *Environmental Monitoring and Assessment*, 184, 4539–4551.
 - 84) Khan, F.A. 2018. A review on hydroponic greenhouse cultivation for sustainable agriculture. *International Journal of Agriculture Environment and Food Sciences*, 2: 59–66.
 - 85) Khan, S., Purohit, A. and N, Vadsaria. 2020. Hydroponics: Current and future state of the art in farming. *Journal of Plant Nutrition*, 44: 1515–1538.
 - 86) Khormizi, H.Z., Malamiri, H.R.G. and C.S.S, Ferreira. 2024. Estimation of Evaporation and Drought Stress of Pistachio Plant Using UAV Multispectral Images and a Surface Energy Balance Approach. *Horticulturae*, 10: 501-515.
 - 87) Koukounaras, A. 2020. Advanced greenhouse horticulture: New technologies and cultivation practices. *Horticulturae*, 7: 1-12.
 - 88) Kour, D., Khan, S., Kaur, T., Kour, H., Singh, G., Yadav, A. and A, Yadav. 2022. Drought adaptive microbes as bioinoculants for the horticultural crops. *Heliyon*, 8: e09493.
 - 89) Lakhia, I., Yan, H., Zhang, C., Wang, G., He, B., Hao, B., Han, Y., Wang, B., Bao, R. and T, Syed. 2024. A Review of Precision Irrigation Water-Saving Technology under Changing Climate for Enhancing Water Use Efficiency, Crop Yield, and Environmental Footprints. *Agriculture*, 14: 1141.
 - 90) Lamm, F.R., Stone, K., Dukes, M., Howell, T., Robbins, J. and B, Mecham. 2015. Emerging technologies for sustainable irrigation: Selected papers from the 2015 ASABE and IA irrigation symposium. *Transactions of the ASABE*, 59: 155–161.
 - 91) Lamont, W.J. 2005. Plastics: Modifying the microclimate for the production of vegetable and small fruit crops. *HortTechnology*, 15: 477–481.
 - 92) Lee, S.K. and J.H, Lee. 2015. Effect of hydroponic nutrient solution concentration on the growth and yield of cucumber in a plant factory system. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, 56: 33–39.
 - 93) Lephondo, A., Telukdariea, A., Muniena, I., Onkonkwoa, U. and A, Vermeulena. 2024. The Outcomes of Smart Irrigation System using Machine Learning to minimize water usage within the Agriculture Sector Itumeleng. *Procedia Computer Science*, 237: 525–532.
 - 94) Liao, Y., Cao, H.X., Liu, X., Li, H.T., Hu, Q.Y. and W.K, Xue. 2021. By increasing infiltration and reducing evaporation, mulching can improve

- 112) Ofori, S., Puškáčová, A., Ružičková, I. and J, Wanner. 2021. Treated wastewater reuse for irrigation: Pros and cons. *Science of the Total Environment*, 760: 144026.
- 113) Orgaz, F., Fernández, M., Bonachela, S., Gallardo, M. and E, Fereres. 2005. Evapotranspiration of horticultural crops in an unheated plastic greenhouse. *Agricultural Water Management*, 72: 81–96.
- 114) Ortiz-Liébana, N., Zotti, M., Barquero, M. and F, González-Andrés. 2023. Biochar + AD exerts a biostimulant effect in the yield of horticultural crops and improves bacterial biodiversity and species richness in the rhizosphere. *Scientia Horticulturae*, 321: 112277.
- 115) Pomoni, D.I., Koukou, M.K., Vrachopoulos, M.G. and L, Vasiliadis. 2023. A review of hydroponics and conventional agriculture based on energy and water consumption, environmental impact, and land use. *Energies*, 16: 1690.
- 116) Qin, Y., Mueller, N.D., Siebert, S., Jackson, R.B., AghaKouchak, A., Zimmerman, J.B., Tong, D., Hong, C. and S.J, Davis. 2019. Flexibility and intensity of global water use. *Nature Sustainability*, 2: 515–523.
- 117) Qureshi, A.S., McCornick, P.G., Qadir, M. and Z, Aslam. 2008. Managing salinity and waterlogging in the Indus Basin of Pakistan. *Agricultural Water Management*, 95, 1–10.
- 118) Rizzo, L., Gernjak, W., Krzeminski, P., Malato, S., McArdell, C.S., Sanchez Perez, J.A., Schaar, H. and D, Fatta-Kassinos. 2020. Best available technologies and treatment trains to address current challenges in urban wastewater reuse for irrigation of crops in EU countries. *Science of the Total Environment*, 710: 136312.
- 119) Ronga, D., Francia, E., Allesina, G., Pedrazzi, S., Pane, C., Francia, M. and S, Lovelli. 2016. Using compost in horticulture: A tool to increase sustainability. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 40: 1–23.
- 120) Rowland, L., Smith, H. and G, Taylor. 2018. The potential to improve culinary herb crop quality with deficit irrigation. *Scientia Horticulturae*, 242: 44–50.
- 121) Rügner, H., Schwientek, M., Milac'ic, R., Zuliani, T., Vidmar, J., Paunovic, M., Laschou, S., Kalogianni, E., Skoulikidis, N.T. and E, Diamantini. 2019. Particle bound pollutants in
- 103) Minhas, P.S., Ramos, T.B., Ben-Gal, A. and L.S, Pereira. 2020. Coping with salinity in irrigated agriculture: Crop evapotranspiration and water management issues. *Agricultural Water Management*, 227: 105832.
- 104) Mir, R., Reynolds, M., Pinto, F., Khan, M. and M, Bhat. 2019. High-throughput phenotyping for crop improvement in the genomics era. *Plant Science*, 282: 60–72.
- 105) Mohammed, A., Oloyede, F.M. and O.M, Adeniran. 2020. Effect of cover cropping on soil properties and growth performance of basil (*Ocimum basilicum*) in derived savanna ecology. *Acta Horticulturae*, 1273: 341–348.
- 106) Mpakairi, K., Dube, T., Sibanda, M. and O, Mutanga. 2024. Remote sensing crop water productivity and water use for sustainable agriculture during extreme weather events in South Africa. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 129: 103833.
- 107) Muleke, A., Harrison, M.T., Eisner, R., Voil, P., Yanotti, M., Liu, K., Monjardino, M., Yin, X., Wang, W. and J, Nie. 2023. Sustainable intensification with irrigation raises profit despite burgeoning climate emergency. *Plants People Planet*, 5: 368–385.
- 108) Muriithi, F.K. and D, Yu. 2015. Understanding the Impact of Intensive Horticulture Land-Use Practices on Surface Water Quality in Central Kenya. *Environments*, 2: 521–545.
- 109) Mwinuka, P.R., Mourice, S.K., Mbungu, W.B., Mbilinyi, B.P., Tumbo, S.D. and P, Schmitter. 2022. UAV-based multispectral vegetation indices for assessing the interactive effects of water and nitrogen in irrigated horticultural crops production under tropical sub-humid conditions: A case of African eggplant. *Agricultural Water Management*, 266: 107516.
- 110) Naderi, R., Ahmadi, S.H., Zarebanadkouki, M. and F, Meunier. 2016. Hydrogel application to sandy soil reduces the water stress of lettuce under deficit irrigation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 64: 8381–8390.
- 111) Narjary, B., Aggarwal, P., Singh, A., Chakraborty, D. and R, Singh. 2012. Water availability in different soils in relation to hydrogel application. *Geoderma*, 187: 94–101.

- 132) Shen, J., Zhang, P., Chang, Y., Zhang, L., Hao, Y., Tang, S. and X, Xiong. 2021. The environmental performance of greenhouse versus open-field cherry production systems in China. *Sustainable production and consumption*, 28: 736–748.
- 133) Shrivastava, P. and R, Kumar. 2015. Soil salinity: A serious environmental issue and plant growth promoting bacteria as one of the tools for its alleviation. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 22: 123–131.
- 134) Simonne, E.H. and G.J, Hochmuth. 2011. Irrigation Management for Culinary Herbs; University of Florida IFAS Extension: Homestead, FL, USA.
- 135) Simonne, E.H., Hochmuth, G.J., Dukes, M.D. and D.J, Pitts. 2005. Irrigation Management for Vegetable Crops in Florida; University of Florida IFAS Extension: Homestead, FL, USA.
- 136) Singh, R. and R.R, Sharma. 2003. Effects of various organic soil amendments on growth, yield and quality of strawberry. *Biological Agriculture & Horticulture*, 21: 37–48.
- 137) Singh, R. and B, Singh. 1992. Effect of different irrigation methods on growth and yield of mint (*Mentha arvensis* L.). *Journal of Herbs, Spices & Medicinal Plants*, 1: 45–51.
- 138) Singh, R., Singh, R., Gehlot, A., Akram, S., Priyadarshi, N. and B, Twala. 2022. Horticulture 4.0: Adoption of Industry 4.0 Technologies in Horticulture for meeting Sustainable Farming. *Applied Sciences*, 12: 12557.
- 139) Staritz, C. and J.G, Reis. 2013. Global Value Chains, Economic Upgrading, and Gender. Case Studies of the Horticulture, Tourism, and Call Center Industries. The World Bank. 2013. Available online: <https://documents1.worldbank.org/curated/en/9127614683378736>.
- 140) Steenwerth, K. and K, Belina. 2008. Cover crops enhance soil organic matter, carbon dynamics and microbiological function in a vineyard agroecosystem. *Applied Soil Ecology*, 40: 359–369.
- 141) Stefanelli, D., Goodwin, I. and R, Jones. 2010. Minimal nitrogen and water use in horticulture: Effects on quality and content of selected rivers: Results from suspended sediment sampling in Globaqua River Basins. *Science of the Total Environment*, 647: 645–652.
- 122) Russo, T., Alfredo, K. and J, Fisher. 2014. Sustainable Water Management in Urban, Agricultural, and Natural Systems. *Water*, 6: 3934–3956.
- 123) Savic, S., Stikic, R., Zaric, V., Vucelic-Radovic, B., Jovanovic, Z., Marjanovic, M., Djordjevic, S. and D, Petkovic. 2011. Deficit irrigation technique for reducing water use of tomato under polytunnel conditions. *Journal of Central European Agriculture*, 12: 597–607.
- 124) Scharwies, J.D. and J.R, Dinneny. 2019. Water transport, perception, and response in plants. *Journal of Plant Research*, 132: 311–324.
- 125) Schoor, M., Arenas-Salazar, A.P., Parra-Pacheco, B., García-Trejo, J.F., Torres-Pacheco, I., Guevara-González, R.G. and E, Rico-García. 2024. Horticultural Irrigation Systems and Aquacultural Water Usage: A Perspective for the Use of Aquaponics to Generate a Sustainable Water Footprint. *Agriculture*, 14: 925.
- 126) Sebastian, K., Bindu, B. and M, Rafeekher. 2021. Performance of papaya variety 'Surya' under fertigation and foliar nutrition. *Plant Science Today*, 8: 718–726.
- 127) Seema Dahiya, R., Prakash, R. and H.S, RoohiSheoran. 2022. Drip Irrigation as a Potential Alternative to Traditional Irrigation Method for Saline Water Usage in Vegetable Crops-A Review. *International journal of economic plants*, 9: 115–120.
- 128) Senapti, S., Santosh, D. and L, Pholane. 2021. Techno economic feasibility of drip irrigation for vegetable cultivation. *International Journal of Agricultural Science*, 17: 636–643.
- 129) Sevik, H. and M, Cetin. 2015. Effects of Water Stress on Seed Germination for Select Landscape Plants. *Polish Journal of Environmental Studies*, 24: 689–693.
- 130) Shahnazari, A., Liu, F., Andersen, M.N., Jacobsen, S.E. and C.R, Jensen. 2007. Effects of partial root-zone drying on yield, tuber size, and water use efficiency in potato under field conditions. *Field Crops Research*, 100: 117–124.
- 131) Sharpley, A. and X, Wang. 2014. Managing agricultural phosphorus for water quality: Lessons from the USA and China. *Journal of Environmental Sciences*, 26: 1770–1782.

- 152) Wahab, A., Muhammad, M., Munir, A., Abdi, G., Zaman, W., Ayaz, A., Khizar, C. and S.P.P, Reddy. 2023. Role of Arbuscular Mycorrhizal Fungi in Regulating Growth, Enhancing Productivity, and Potentially Influencing Ecosystems under Abiotic and Biotic Stresses. *Plants*, 12: 3102.
- 153) Wang, Q., Klassen, W. and Y, Li. 2004. Cover crops and tillage systems influence tomato growth and yield via influencing soil health. *HortScience*, 39: 1163–1166.
- 154) Wang, Q., Klassen, W. and Y, Li. 2009. Influence of cover crops and organic mulches on soil properties and the growth of bell pepper. *HortTechnology*, 19: 58–64.
- 155) Wang, S. and J, Xu. 2022. Excessive Water and Drainage Management in Agriculture: Disaster, Facilities Operation and Pollution Control. *Water*, 14: 2500.
- 156) Wavhal, E. and M, Giri. 2014. Intelligent Drip irrigation system using linear programming and interpolation methodology. *International Journal of Computer*, 2306: 1–11.
- 157) Webb, L., Darbyshire, R. and I, Goodwin 2014. Climate Change: Horticulture. *Encyclopedia of Agriculture and Food Systems*, 2: 266–283.
- 158) Wen, S., Cui, N., Wang, Y., Gong, D., Xing, L., Wu, Z., Zhang, Y., Zhao, L., Fan, J. and Z, Wang. 2024. Optimizing deficit drip irrigation to improve yield, quality, and water productivity of apple in Loess Plateau of China. *Agricultural Water Management*, 296: 108798.
- 159) Williams, J. 1999. Salinity: A major environmental issue in Australia. *International Journal of Environmental Studies*, 56: 507–521.
- 160) Wilson, M.M., Michieka, R.W. and S.M, Mwendwa. 2021. Assessing the influence of horticultural farming on selected water quality parameters in Maumau stream, a tributary of Nairobi River, Kenya. *Heliyon*, 7, e08593.
- 161) Yactayo, W., Ramírez, D.A., Gutiérrez, R., Mares, V., Posadas, A. and R, Quiroz. 2013. Effect of partial root-zone drying irrigation timing on potato tuber yield and water use efficiency. *Agricultural Water Management*, 123: 65–70.
- 162) Zeng, Y., Chen, C. and G, Lin. 2023. Practical application of an intelligent irrigation system to nutrients. *Food Research International*, 43: 1833–1843.
- 142) Steinmaus, S.J., Elmore, C.L.M. and R.J, Smith. 2008. Reduced tillage and cover cropping impacts on soil conditions and yields in a California strawberry production system. *HortScience*, 43: 2089–2094.
- 143) Straffelini, E., Pijl, A., Otto, S., Marchesini, E., Pitacco, A. and P, Tarolli. 2022. A high-resolution physical modelling approach to assess runoff and soil erosion in vineyards under different soil managements. *Soil and Tillage Research*, 222: 105418.
- 144) Strik, B.C. and G, Buller. 2005. The impact of early cropping on subsequent growth and yield of highbush blueberry. *HortScience*, 40: 1998–2001.
- 145) Strock, J.S., Dell, C.J. and J.P, Schmidt. 2007. Drainage water management for water quality protection. *Journal of Soil and Water Conservation*, 62: 144A–153A.
- 146) Teuten, E.L., Saquing, J.M., Knappe, D.R., Barlaz, M.A., Jonsson, S., Björn, A., Rowland, S.J., Thompson, R.C., Galloway, T.S. and R, Yamashita. 2009. Transport and release of chemicals from plastics to the environment and to wildlife. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, 364: 2027–2045.
- 147) Thomas, B.F. and J.S, Famiglietti. 2019. Identifying climate-induced groundwater depletion in GRACE observations. *Scientific Reports*, 9: 4124.
- 148) Touil, S., Richa, A., Fizir, M., García, K. and A, Gómez. 2022. A review on smart irrigation management strategies and their effect on water savings and crop yield. *Irrigation and Drainage*, 71: 1396–1416.
- 149) USAID. Global Horticulture Assessment. USAID. 2005. Available online: https://pdf.usaid.gov/pdf_docs/pnadh769.pdf (accessed on 18 March 2024).
- 150) USAID; ISHS. Global Horticulture Assessment; International Society for Horticultural Science: Leuven, Belgium, 2005; ISBN 9066053674.
- 151) Verheijen, F.G., Jones, R.J., Rickson, R.J. and C, Smith. 2009. Tolerable versus actual soil erosion rates in Europe. *Earth-Science Reviews*, 94: 23–38.

- rice paddies in Taiwan. *Agricultural Water Management*, 280: 108216.
- 163) Zhang, J., Xiang, L., Liu, Y., Jing, D., Zhang, L., Liu, Y., Li, W., Wang, X., Li, T. and J, Li. 2024. Optimizing irrigation schedules of greenhouse tomato based on a comprehensive evaluation model. *Agricultural Water Management*, 295, 108741.
- 164) Zhang, M., Xu, S., Han, Y., Li, D., Yang, S. and Y, Huang. 2023. High-throughput horticultural phenomics: The history, recent advances and new prospects. *Computers and Electronics in Agriculture*, 213: 108265.
- 165) Zhanga, X., Kangb, S., Lia, F. and L, Zhang. 2007. Effects of soil hydrogels on soil moisture and performance of rain-fed peach trees. *Scientia Horticulturae*, 116: 164–169.
- 166) Zolghadr-Asli, B., McIntyre, N., Djordjevic, S., Farmani, R. and L, Pagliero. 2023. The sustainability of desalination as a remedy to the water crisis in the agriculture sector: An analysis from the climate-water-energy-food nexus perspective. *Agricultural Water Management*, 286, 108407.