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

Optimizing water use in managing deficit irrigation of fruit trees

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: Sep. 30, 2025

Revised: Nov. 01, 2025

Accepted: Feb. 08, 2026

Published online: Mar. 02, 2026

Keywords:
Water Crisis,
Drought,
Water Relations,
Fruit Quality.

ABSTRACT

Water has become the most precious natural resource in many parts of the world, and since agriculture is the main consumer of water, improving water use efficiency has received increasing attention. Irrigation management is an important measure in fruit-producing regions of the world, especially in arid and semi-arid climates. Fruit crops, which have become commercially important in recent years, are an important part of agriculture. Due to low irrigation efficiency and water use, irrigation managers are looking for new and effective approaches to water management of horticultural crops. Given the current water shortage, one of the strategies to reduce water use in irrigated agriculture is to reduce the amount of irrigation water compared to full crop irrigation, or in other words, underirrigation. The goal of underirrigation is to stabilize yield and achieve maximum water efficiency, not maximum yield. A small reduction in irrigation water use or a small improvement in efficiency can significantly increase water savings while simultaneously improving water availability for other purposes. Inadequate water supply leads to reduced tree growth, yield, and fruit quality. On the other hand, over-irrigation increases nutrient leaching, waterlogging problems, pest and disease incidence, and costs associated with frequent irrigation system operation and maintenance. Optimizing water use by scheduling orchard irrigation can increase water efficiency, reduce production costs, and enhance tree growth and fruit yield.

Cite this article: Jabbari, M., Jabbari., (2026) Optimizing water use in deficit irrigation management of fruit trees, *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

بهینه‌سازی مصرف آب در مدیریت کم آبیاری درختان میوه

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: ۱۴۰۴/۰۷/۰۸
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۸/۱۰
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۱/۱۹
تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۱۲/۱۱

واژه‌های کلیدی:
بحران آب،
خشکسالی،
روابط آبی،
کیفیت میوه.

چکیده

آب در بسیاری از مناطق جهان به گران‌بهاترین منبع طبیعی تبدیل شده‌است و از آنجا که کشاورزی مصرف‌کننده اصلی آب است، بهبود بهره‌وری مصرف آب به طور فزاینده‌ای مورد توجه قرار گرفته است. مدیریت آبیاری، یک اقدام مهم در مناطق تولید میوه در جهان، به‌ویژه در آب و هوای خشک و نیمه‌خشک است. محصولات میوه که در سال‌های اخیر جنبه تجاری پیدا کرده‌اند، بخش مهمی از کشاورزی هستند. به‌دلیل راندمان پایین آبیاری و مصرف آب، مدیران آبیاری به‌دنبال رویکردهای جدید و مؤثر در مدیریت آب محصولات باغی هستند. با توجه به کمبود آب فعلی، یکی از استراتژی‌های کاهش مصرف آب در کشاورزی آبی، کاهش میزان آب آبیاری در مقایسه با آبیاری کامل محصول یا به عبارت دیگر کم‌آبیاری است. هدف کم آبیاری تثبیت عملکرد و دستیابی به حداکثر بهره‌وری آب است، نه بیشینه عملکرد. کاهش جزئی در مصرف آب آبیاری یا بهبود جزئی در راندمان می‌تواند به طور قابل‌توجهی صرفه‌جویی در آب را افزایش دهد و همزمان دسترسی به آب را برای سایر اهداف بهبود بخشد. تأمین آب ناکافی منجر به کاهش رشد، عملکرد و کیفیت میوه درخت می‌شود. از سوی دیگر، آبیاری بیش از حد باعث افزایش آبشویی مواد مغذی، مشکلات غرقابی، بروز آفات و بیماری‌ها و هزینه‌های مرتبط با بهره‌برداری و نگهداری مکرر سیستم آبیاری می‌گردد. بهینه‌سازی کاربردهای آب با برنامه‌ریزی آبیاری باغ‌های میوه، می‌تواند بهره‌وری آب را افزایش، هزینه‌های تولید را کاهش و رشد درخت و عملکرد میوه را افزایش دهد.

استناد: جباری؛ مانی، جباری؛ میترا، (۱۴۰۴) بهینه‌سازی مصرف آب در مدیریت کم آبیاری درختان میوه، *نشریه علمی–ترویجی آبخوان*، ۲۰ (۱).

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

مقدمه

خشک‌سالی از جمله عوامل تنش‌زای محیطی است که شدیدترین تأثیر را بر محصولات کشاورزی در سراسر جهان دارد (Wang et al., 2018; Marín-de la Rosa et al., 2019). شدت خشک‌سالی روند رو به افزایشی را نشان می‌دهد، زیرا انتظار می‌رود در سال‌های آینده ۵ درجه سانتیگراد افزایش در میانگین دمای هوا رخ دهد (Gao et al., 2020; Al-Yasi et al., 2020). به گفته کارشناسان، زمین‌های خشک روی زمین ۳۰ درصد افزایش خواهند یافت و انتظار می‌رود تابستان‌های خشک‌تر و کاهش بارندگی، عمدتاً مناطق میان قاره‌ای آسیا، جنوب اروپا، شمال و جنوب آفریقا را تحت تأثیر قرار دهد (IPCC[1], 2014). کاهش منابع آب قابل استفاده و رشد مداوم جمعیت، بهبود بهره‌وری مصرف آب در بخش کشاورزی را برای تضمین امنیت غذایی در سال‌های آینده ضروری می‌سازد.

تأمین مناسب آب برای محصولات کشاورزی، حتی در شرایط بدون خاک (هیدروپونیک[2])، نیازمند نظارت بر پارامترهای مختلفی مانند رطوبت بستر رشد، شرایط آب و هوایی و ریزاقلیمی و از همه مهم‌تر، وضعیت آب گیاهان است (Gu et al., 2020) که تعیین کمیت آن پیچیده‌تر از پارامترهای مربوط به آب و هوا و بستر رشد است (Alvarez and Sanchez-Blanco, 2013). استفاده کارآمد از آب، نکته‌ای حیاتی است که باید به نیازهای مختلفی مانند استفاده متعادل از منابع طبیعی، تغییراقلیم، آلودگی محیط زیست، افزایش هزینه‌های تولید و به حداکثر رساندن سود پاسخ دهند (Flörke et al., 2018; Nackley et al., 2020). بخش کشاورزی برای تأمین نیازهای غذایی جمعیت رو به افزایش با چالش مواجه است. افزایش تقاضا برای غذا، بار سنگینی را بر دوش منابع طبیعی مانند آب می‌گذارد. با وجود اینکه آب فراوان‌ترین ماده روی کره زمین است و حدود ۷۰٪ از سطح زمین را آب پوشانده است، تنها حدود ۲/۵٪ آن آب شیرین است. به‌طور کلی، کشاورزی آبی بزرگ‌ترین مصرف‌کننده آب شیرین است و تقریباً ۷۰ تا ۸۵٪ از کل مصرف آب شیرین را تشکیل می‌دهد (Dalezios et al., 2018; Shu et al., 2021).

یکی از راهکارهای ارائه شده برای مدیریت بهتر آبیاری اجرای برنامه‌های کم آبیاری از طریق کاهش عامدانه مصرف آب به منظور بهبود کارایی مصرف آب و در عین حال، کاهش حداقلی کمیت و کیفیت محصول می باشد (Sun et al., 2023). مدیریت کم آبیاری، یک مدیریت مناسب و کارآمد به منظور ارتقای کارایی مصرف آب در درختان میوه است که می‌تواند باعث کاهش مصرف آب و حفظ کیفیت میوه در شرایط محدودیت آب باشد. در کوتاه مدت، کم آبیاری منجر به صرفه‌جویی در مصرف آب بدون کاهش عملکرد می‌شود (Naor, 2006; Fereres and Soriano, 2007). در حالی که در درازمدت، عملکرد میوه می‌تواند به دلیل اثرات تجمعی بر درختان کاهش یابد (Intrigliolo et al., 2005).

استراتژی‌های آبیاری

مدیریت آبیاری درختان میوه طبق برنامه‌های زمانی برای بهینه‌سازی بهره‌وری آب می‌تواند گزینه‌ای مؤثر برای ایجاد تعادل بین رشد رویشی، عملکرد و کیفیت میوه و در عین حال تضمین صرفه‌جویی در مصرف آب باشد (Moriana et al., 2003; Fernandes-Silva et al., 2010; Fernández et al., 2018). این رژیم‌های آبیاری شامل: استراتژی‌های آبیاری تکمیلی (SI[3]) و کم‌آبیاری (DI[4]) هستند. مورد اول با اعمال آبیاری در مراحل فنولوژیکی منتخب استفاده می‌شود و حتی با وجود منابع آبیاری کم، پاسخ‌های قابل‌توجهی را ایجاد می‌کند. اهداف آن شامل دستیابی به حداکثر عملکرد و از بین بردن نوسانات عملکرد ناشی از کمبود آب است (Debaeke and Aboudrare, 2004; Fernández et al., 2018). مورد دوم به‌طور گسترده در سایر محصولات مقاوم به خشکی نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد، که مرتبط‌ترین نمونه آن انگور است (Loveys et al., 2000; Mccarthy et al., 2000; Flexas et al., 2010)، جایی که معمولاً توسط ابزارهای نظارتی مبتنی بر فیزیولوژیکی و مبتنی بر خاک پشتیبانی می‌شوند (Cifre et al., 2005; Tomaz et al., 2015; 2017; 2021). آبیاری تکمیلی را می‌توان به عنوان استفاده از مقدار محدودی آب برای افزایش و تثبیت عملکرد محصول در زمانی که بارندگی نمی‌تواند آب کافی برای رشد گیاه را فراهم کند، تعریف کرد (Oweis, 1997).

راه دیگر برای افزایش مقاومت در برابر تنش آبی، قرار دادن گیاهان در معرض چرخه‌های آبیاری و تنش آبی است. در این موارد، گیاهان

[1] Intergovernmental panel on climate change
[2] Hydroponics
[3] Supplemental Irrigation
[4] Deficit Irrigation

با بهبودی بهتری پاسخ دادند، به این معنی که آنها با تعدیل فیزیولوژی خود برای بقا، با تنش آبی سازگار شدند، در واقع، گیاهان تبادل گاز را برای کاهش تعرق کاهش دادند و در عین حال فعالیت فتوسنتزی خوبی را حفظ کردند (Toscano et al., 2014).

رشد رویشی درختان میوه، به عنوان حساس‌ترین فرآیند به کمبود آب شناخته شده است. کاهش طول شاخه و سطح مقطع تنه در پاسخ به کمبود آب منجر به کاهش اندازه درخت و کوچک‌تر شدن تاج درخت می‌شود (Intrigliolo and Castel, 2006; Marsal et al., 2008; Pérez-Pastor et al., 2009). حسگرهایی مانند مبدل‌های جابجایی متغیر خطی (LVDTs[1]) قادر به اندازه‌گیری نوسانات روزانه قطر تنه (TDF[2]) با دقت بسیار بالا هستند و پارامترهای حساسی را تولید می‌کنند که به شدت با پارامترهای تعیین‌شده وضعیت آب گیاه همبستگی دارند (Fernandez and Cuevas, 2010; Ortuño et al., 2010). رایج‌ترین و مفیدترین پارامترهای نوسانات روزانه قطر تنه برای برنامه‌ریزی آبیاری درختان میوه، حداکثر انقباض روزانه تنه (MDS[3]) و سرعت رشد تنه (TGR[4]) هستند (Ortuño et al., 2010; Moriana et al., 2013).

کم‌آبیاری

کم‌آبیاری (DI) به عنوان یک روش آبیاری تعریف می‌شود که در آن محصولات با مقدار آبی کمتر از عمق بهینه آبیاری برای رشد و بهره‌وری گیاه یا تبخیر و تعرق (ETc) آبیاری می‌شوند. در کم‌آبیاری، گیاهان عمداً در معرض سطح خاصی از تنش آبی قرار می‌گیرند که ممکن است باعث کاهش تولید محصول شود، اما در درازمدت، می‌توان به صرفه‌جویی قابل توجهی در مصرف آب دست یافت (Kamali et al. 2022; El-Nashar and Elyamany 2023). آب صرفه‌جویی شده توسط کم‌آبیاری ممکن است برای آبیاری زمین‌های اضافی که آب عامل محدودکننده است، استفاده شود. کم‌آبیاری با هدف افزایش کارایی مصرف آب یا با کاهش مقدار آب آبیاری در هر نوبت آبیاری یا با حذف نوبت‌های آبیاری در دوره‌هایی که آبیاری کمتر حاصلخیز است، انجام می‌شود (Mehrazar et al. 2020; Li et al. 2022). استراتژی‌های کم‌آبیاری مبتنی بر تأمین حجم آبیاری کمتر از نیاز آبیاری محصول در شرایط رشد غیرمحدود، یعنی پایین‌تر از ET_c بالقوه، هستند که امکان صرفه‌جویی در آب را در مناطقی با منابع آب محدود فعلی یا آینده بدون به خطر انداختن تولید فراهم می‌کند (Fereres and Soriano, 2006).

کم‌آبیاری به سه دسته اصلی طبقه‌بندی شده است: (۱) کم آبیاری مرسوم یا پایدار (SDI[5]): کاهش حجم آبیاری در طول فصل رشد به جای آبیاری کامل درختان، (۲) کم آبیاری تنظیم شده (RDI[6]): کاهش یا حذف آبیاری در مراحل رشد و نموی غیرحساس به تنش خشکی، به منظور ذخیره آب برای مراحل حساس به تنش و (۳) خشک کردن موضعی ریشه (PRD[7]): مدیریت مصرف آب در نواحی مختلف ریشه (Sobreiro et al., 2023).

کم‌آبیاری پایدار

در کم‌آبیاری مرسوم یا پایدار، آب در تمام مراحل رشد به طور یکنواخت و زیر نیاز آبی گیاه کامل تأمین می‌شود. کم‌آبیاری به طور پیوسته در طول فصل رشد اعمال می‌شود، زیرا ناحیه ریشه در آبیاری‌ها به طور کامل با آب پر نمی‌شود (Li et al., 2022). در نتیجه، کمبود آب با پیشرفت فصل به دلیل ترکیبی از کاربرد یکنواخت مقدار کاهش‌یافته آب و کاهش آب موجود در خاک، به تدریج افزایش می‌یابد. این امر به گیاهان اجازه می‌دهد تا تنش آبی به آرامی توسعه یابد و هنگامی که خاک ظرفیت ذخیره‌سازی آب قابل توجهی دارد، با کمبود آب سازگار شوند (Fereres and Soriano, 2006). مزایای کم‌آبیاری شامل: (۱) به حداکثر رساندن راندمان مصرف آب، (۲) کاهش خطر شیوع بیماری‌های گیاهی به دلیل رطوبت کمتر و (۳) کاهش هدر رفت مواد مغذی و آبشویی از ناحیه ریشه، که منجر به کیفیت بهتر آب‌های زیرزمینی و نیاز کمتر به کود در مقایسه با آبیاری کامل می‌شود (Zahraei et al., 2017).

محدودیت‌ها کم‌آبیاری شامل: (۱) کاهش عملکرد محصول: یکی از معایب اصلی کم‌آبیاری، احتمال کاهش عملکرد محصول در مقایسه با آبیاری کامل است. با ارائه عمدی آب کمتر از نیاز آبی گیاه (ET_c)، خطر محدود کردن رشد و توسعه وجود دارد که منجر به کاهش تولید

[1] Linear Variable Displacement Transducers (Lvdts)
[2] Trunk Diameter Fluctuations (TDF)
[3] Maximum Daily Trunk Shrinkage (MDS)
[4] Trunk Growth Rate (TGR)
[5] Sustained (Or Continuous) Deficit Irrigation
[6] Regulated Deficit Irrigation
[7] Partial Root-Zone Drying

محصول می‌شود. (۲) آبشویی نمک‌ها: در خاک تحت تأثیر نمک، راندمان آبشویی نمک‌ها از ناحیه ریشه ممکن است در شرایط کم‌آبیاری در مقایسه با آبیاری کامل کمتر باشد. طبق گفته لیتی و همکاران (۲۰۱۵)، بارندگی بین آبیاری‌ها توانست نمک‌های ناشی از آب آبیاری را آبشویی کند. (۳) مکانیسم‌های دفاعی ضعیف: گیاهان تحت تنش آبی، اغلب مکانیسم‌های دفاعی ضعیفی دارند که آنها را در برابر عوامل بیماری‌زا و آفات مختلف حساس‌تر می‌کند (Nguyen et al., 2021).

علاوه‌براین، محصولات مختلف در مراحل مختلف رشد حساسیت‌های متفاوتی به تنش آبی دارند، برنامه آبیاری بدون آب باید برای مدیریت تنش آبی برنامه‌ریزی شود تا کاهش عملکرد به حداقل برسد. اطلاعات مربوط به پاسخ محصول به آبیاری بدون آب برای دستیابی به چنین اهدافی در مناطق کم‌آب بسیار مهم است. توجه به این نکته ضروری است که آبیاری بدون آب نیاز به نظارت و مدیریت دقیق وضعیت آب خاک/گیاه دارد تا از تنش بیش از حد که می‌تواند منجر به آسیب جبران‌ناپذیر به محصول شود، جلوگیری شود. نوع محصول، مرحله رشد، نوع خاک، شرایط آب و هوایی محلی و آب موجود باید هنگام اجرای تکنیک‌های کم‌آبیاری در نظر گرفته شود (Moldero et al., 2021). کم آبیاری علاوه بر حفاظت آب، که بخش مهمی از کشاورزی پایدار است، می‌تواند بر کل چرخه رشد گیاه تاثیر بگذارد و جنبه‌های مختلف مانند عملکرد میوه، کیفیت درونی، اندازه میوه و زمان برداشت آن را تحت تاثیر قرار دهد (Gao et al., 2014). یکی از اولین و شناخته‌شده‌ترین مطالعات در مورد اثرات کم‌آبیاری پایدار در درختان زیتون توسط گلدهامر و همکاران (۱۹۹۴) گزارش شد که نشان می‌دهد مقادیر بالاتر آب آبیاری با افزایش بهره‌وری اقتصادی آب در هنگام عبور از یک مقدار آستانه مطابقت ندارد. فرناندز–سیلوا و همکاران (۲۰۱۰) گزارش دادند که عملکرد روغن با کم‌آبیاری پایدار در مقایسه با شرایط دیم بیش از دو برابر افزایش یافته است. اوله و همکاران (۲۰۲۱) تأثیر کم‌آبیاری و کاهش کوددهی نیتروژن را بر گوجه‌فرنگی‌های کشت شده در کشت گلخانه‌ای بدون خاک بررسی کردند. نتایج نشان داد که بیشترین میزان آبیاری و مصرف نیتروژن منجر به بالاترین عملکرد گوجه‌فرنگی شد. کاهش سطح آبیاری یا میزان کود نیتروژن منجر به تفاوت معنی‌داری در عملکرد نشد، اما کمبود همزمان آبیاری و نیتروژن به طور قابل توجهی عملکرد را کاهش داد. تاثیر کم آبیاری در بهبود کیفیت میوه با افزایش در میزان قند، به اثبات رسیده است (Dasberg et al., 1992; Ginestar and Castel, 1996; Treeby et al., 2007; Ivan Garcia et al., 2011).

کم‌آبیاری تنظیم‌شده

استراتژی کم‌آبیاری تنظیم‌شده، شامل کاهش یا قطع آب آبیاری در دوره‌های خاص برای دستکاری رشد رویشی و زایشی گیاهان است (Dry et al., 2001; Martín-Gimeno et al., 2022). کم آبیاری تنظیم‌شده، معمولاً در دوره رشد آهسته میوه، زمانی که رشد شاخه‌ها سریع است، اعمال می‌شود. با این حال، می‌توان آن را پس از برداشت در گونه‌های زودرس نیز اعمال کرد. علاوه بر این، کم‌آبیاری تنظیم‌شده، می‌تواند باعث صرفه‌جویی قابل توجهی در آب شود. بنابراین، برای کاهش قدرت رویشی بیش از حد و همچنین برای به حداقل رساندن آبیاری و هدر رفت مواد مغذی از طریق آبشویی مفید است (Fernández et al., 2013). مک‌کارتی[1] و همکاران (۲۰۰۲)، کم آبیاری تنظیم شده در ابتدا برای باغ‌های میوه‌های هسته‌دار به منظور کاهش رشد رویشی و افزایش رشد و کیفیت میوه توسعه داده شد. رشد رویشی نسبت به رشد میوه به تنش آبی حساس‌تر است، بنابراین کاهش آبیاری در دوره‌های از پیش تعیین‌شده رشد میوه، حداقل رقابت بین رسیدن میوه و رشد رویشی را تضمین می‌کند.

دوره کم‌حساس‌تر برای درختان زیتون به کمبود آب، اواسط تابستان است، زمانی که می‌توان بدون کاهش قابل‌توجه عملکرد یا کاهش کیفیت روغن، آبیاری را کاهش داد یا قطع کرد (Iniesta et al., 2009; Palese et al., 2010; Lightle and Connel, 2018). با این حال، در مراحل خاصی از چرخه رشد، منابع آبیاری باید با نیاز آبی محصولات متعادل یا نزدیک به آن باشند. طبق گفته فرناندز و همکاران (۲۰۱۳) این دوره‌ها (زیتون) عبارتند از: ۱- از آخرین مراحل رشد گل تا شکوفه کامل، معمولاً در اواسط آوریل، زمانی که تنش آبی می‌تواند بر لقاح گل تأثیر بگذارد. ۲- در پایان مرحله اول رشد میوه، معمولاً در ژوئن، زمانی که تنش آبی باعث کاهش اندازه میوه می‌شود. ۳- پس از دوره نیمه تابستان، به طور معمول از اواخر مرداد تا اواسط شهریور، زمانی که افزایش قابل‌توجهی در تجمع روغن رخ می‌دهد (Fernández et al., 2013).

مطالعات مربوط به استراتژی‌های کم‌آبیاری تنظیم‌شده معمولاً بر اساس زمان‌بندی قطع یا کاهش آبیاری در اواسط تابستان و/یا بلافاصله قبل و بعد از این دوره است (Moriana et al., 2003; Iniesta et al., 2009; Gómez-del-Campo, 2013; Fernández et al.,

[1] McCarthy

2013). پارامترهای فیزیولوژیکی که اغلب مورد استفاده قرار می‌گیرند عبارتند از پتانسیل آب برگ (Y) یا ساقه (Y_{Stem})، که در زمان‌های مختلف روز، معمولاً قبل از طلوع یا ظهر (Fernández et al., 2013; Ahumada-Orellana et al., 2017; Marino et al., 2018; Ben-Gal et al., 2021; Trentacoste et al., 2021) اندازه‌گیری می‌شوند، رسانایی روزنه‌ای، فتوسنتز خالص (AN) و میزان تبخیر و تعرق (E) در سطح برگ (Fernández et al., 2006; Fernandes-Silva et al., 2010; Marino et al., 2018).

اکثر مطالعات نشان داده‌اند که کم‌آبیاری تنظیم‌شده اعمال‌شده در طول دوره رشد آهسته میوه، رشد رویشی بیش از حد را کنترل می‌کند و در عین حال عملکرد را حفظ یا حتی افزایش می‌دهد. این مطالعات شامل مطالعات روی هلو (Li et al., 1989; Williamson and Coston, 1990)، گلابی اروپایی (Brun et al., 1985a, 1985b; Chalmers et al., 1986; Mitchell et al., 1984, 1986, 1989)، گلابی آسیایی (Caspari et al., 1994) و سیب (Irving and Drost, 1987) می‌شود. علاوه‌براین، تنش آبی اعمال شده پس از برداشت، رشد رویشی درختان هلوی زودرس را کاهش داد (Larson et al., 1988; Johnson et al., 1992). کم‌آبیاری تنظیم‌شده اعمال شده بر زیتون در یک دوره ده هفته‌ای پس از سخت شدن هسته، هیچ تأثیر نامطلوبی بر تولید روغن نداشت (Alegra et al., 1999). سطوح متوسط تنش آبی اعمال شده بر آلو، با قطع آبیاری در خاک عمیق در مرحله دوم رشد میوه، باعث افزایش شکوفه‌دهی، بار محصول و عملکرد کل ماده خشک میوه شد (Lampinen et al., 1995).

کاربرد کم‌آبیاری تنظیم‌شده راندمان مصرف آب (WUE[1]) را بهبود می‌بخشد. میچل و چالمرز[2] (۱۹۸۲) دریافتند که راندمان مصرف آب، که به صورت عملکرد در واحد آبیاری بیان می‌شود، تحت کم‌آبیاری تنظیم‌شده در هلوهای کنسروی که ۴۸ تن در هکتار تولید می‌کردند، از ۴/۹ به ۸ تن در میلی‌لیتر افزایش یافت. به‌طور مشابه، میچل[3] و همکاران (۱۹۸۹) دریافتند که راندمان مصرف آب در گلابی‌های که تقریباً ۹۰ تن در هکتار تولید می‌کردند، تحت کم‌آبیاری تنظیم‌شده از ۱۲/۵ به ۲۲ تن در میلی‌لیتر افزایش یافت. گلدهامر[4] (۱۹۹۹) صرفه‌جویی ۲۵ درصدی در مصرف آب را برای کم‌آبیاری تنظیم‌شده اعمال شده بر زیتون، بدون کاهش عملکرد گزارش کرد.

افزایش کارایی مصرف آب، تحت کم‌آبیاری تنظیم‌شده عمدتاً به‌دلیل کاهش تعرق است که ممکن است تا ۵۰ درصد باشد (Boland et al., 1993b). کاهش تعرق به نظر می‌رسد به دلیل بسته شدن جزئی روزنه‌ها باشد. با وجود کاهش تعرق، افزایش اندازه‌گیری شده در پتانسیل اسمزی میوه (Jerie et al., 1989) نشان می‌دهد که تجمع وزن خشک میوه مختل نشده است. این امر همچنین در مورد گلابی آسیایی (Behboudian et al., 1994)، گریپ فروت (Cohen and Goell, 1988) و سیب (Failla et al., 1992) صادق است و تصور می‌شود که این مکانیسمی برای سازگاری با تنش آبی است (Mitchell et al., 1994).

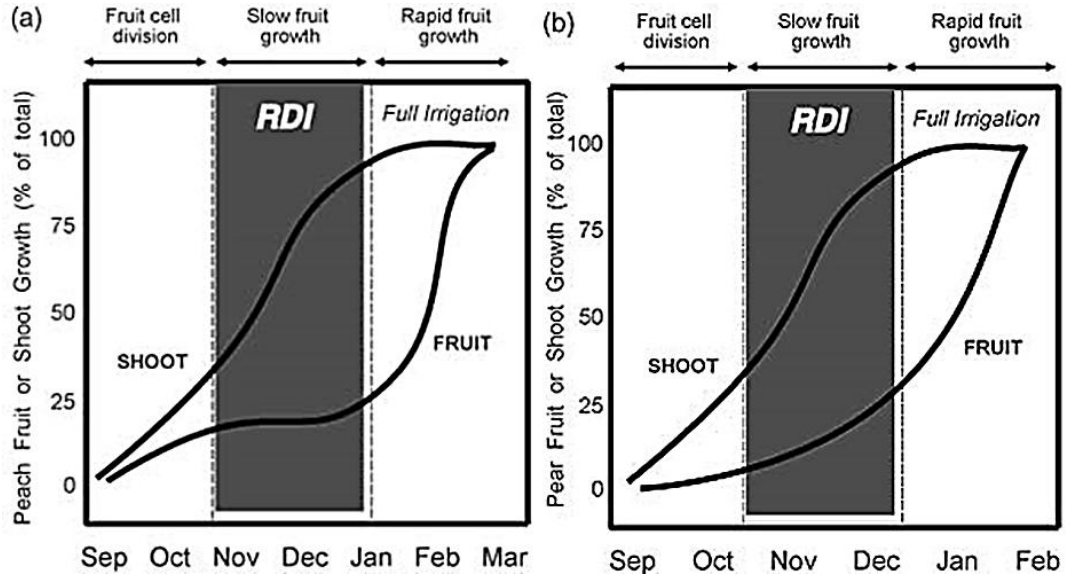
زمان‌بندی کم‌آبیاری تنظیم‌شده

توسعه کم‌آبیاری تنظیم‌شده بدون درک اولیه الگوهای رشد درخت و میوه امکان‌پذیر نمی‌باشد. در ابتدا، آزمایش‌های کم‌آبیاری تنظیم‌شده بر روی هلو و گلابی متمرکز بود و مقایسه رشد این میوه‌ها اهمیت زمان‌بندی کاربرد کم‌آبیاری تنظیم‌شده را نشان می‌دهد. اگرچه الگوهای رشد و نمو ممکن است در سایر محصولات باغی متفاوت باشد، اما اصل اساسی استفاده از کم‌آبیاری تنظیم‌شده در زمانی که رشد میوه حداقل است، یکسان باقی می‌ماند. منحنی رشد هلو سیگموئید دوگانه (مضاعف) با دو دوره افزایش سرعت رشد است. معمولاً سه مرحله به رشد میوه نسبت داده می‌شود. مراحل I و III با یک مرحله کاهش سرعت رشد (مرحله II) که به عنوان مرحله تأخیر شناخته می‌شود، از هم جدا می‌شوند (Chalmers and van den Ende, 1975; 1977). تنها ۲۵ درصد از کل رشد میوه زمانی رخ می‌دهد که بخش‌های رویشی به سرعت در حال رشد هستند. بخش عمده رشد میوه در ۶ تا ۸ هفته پایانی قبل از برداشت، زمانی که رشد رویشی تقریباً کامل شده است، رخ می‌دهد (Chalmers et al., 1975; 1984). (شکل ۱a). این رشد ناهمزمان میوه و شاخه‌ها، رقابت برای منابع را در مراحل بحرانی کاهش می‌دهد و مبنای مناسبی برای اعمال کم‌آبیاری تنظیم‌شده فراهم می‌کند، که بر تنش آبی در طول مرحله دوم متکی است و تأثیر کمی بر رشد میوه دارد اما تأثیر قابل‌توجهی بر رشد رویشی دارد.

تجمع آب میوه در تمام مراحل رشد میوه به میزان کمبود آب بسیار حساس است، در حالی که تجمع ماده خشک نسبتاً غیر حساس است (Girona et al., 2004). بهره‌وری درخت میوه، نتیجه چندین مؤلفه تعاملی (اندازه و شکل درخت، گلدهی و تشکیل میوه و رشد میوه)

[1] Water Use Efficiency
[2] Mitchell and Chalmers
[3] Mitchell
[4] Goldhamer

است که می‌تواند تا حد زیادی تحت تأثیر وضعیت آب درخت قرار گیرد (Naor, 2004). رشد میوه گلابی منحنی (سیگموئید ساده) است و کمتر از ۲۰ درصد آن در اواسط شکوفه‌دهی تا برداشت رخ می‌دهد (Mitchell, 1986). بخش عمده رشد شاخه‌ها، در دوره رشد آهسته میوه رخ می‌دهد (Mitchell et al., 1986). بنابراین، کم‌آبیاری تنظیم‌شده برای ۷۰ تا ۸۰ روز اول پس از شکوفه‌دهی اعمال می‌شود و بخش عمده رشد میوه در شش تا هشت هفته باقی‌مانده تا برداشت رخ می‌دهد (شکل b۱). مراحل رشد میوه برای گونه‌های مختلف میوه را می‌توان به‌راحتی با علامت‌گذاری چندین میوه و شاخه روی درخت و تعیین هفتگی محیط (یا قطر) و طول آنها تعیین کرد. محیط میوه را می‌توان با مکعب کردن به حجم نسبی تبدیل کرد (Goodwin and Boland, 2002).



شکل ۱: الگوی معمول رشد شاخه و میوه برای (A) هلو و (B) گلابی اروپایی (Goodwin and Boland, 2002)

خشک کردن موضعی ناحیه ریشه (PRD)

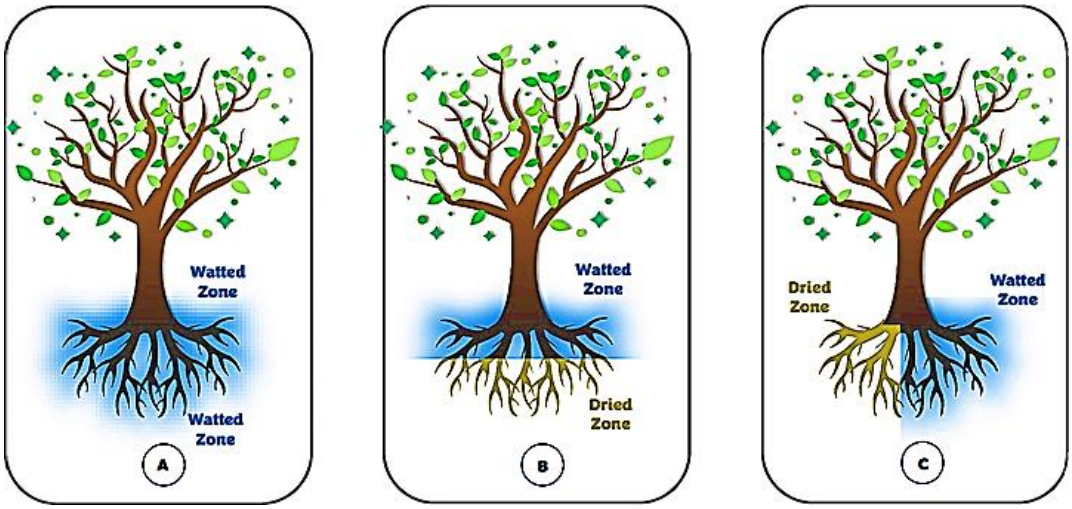
این روش آبیاری، برای اولین بار در کشور استرالیا مطرح شد و هدف اصلی آن در شروع کار، کنترل رشد اضافی ساقه درخت انگور بوده است (Dry and Loveys, 1998). تکنیک خشک کردن موضعی ناحیه ریشه مستلزم آن است که تقریباً نیمی از سیستم ریشه در حالت خشک نگه داشته شود در حالی که بقیه سیستم ریشه آبیاری می‌شود (Loveys et al., 2000; Dry et al., 2001; Davies et al., 2002; Collins et al., 2010). پیشینه نظری خشک کردن جزئی ناحیه ریشه این است که آبیاری بخشی از سیستم ریشه، قسمت بالایی محصولات را در شرایط مطلوب آب نگه می‌دارد، در حالی که خشک‌سالی در قسمت دیگر ریشه‌ها باعث تشکیل سیگنال‌های شیمیایی ریشه، عمدتاً اسید آبسیزیک، می‌شود که به قسمت‌های بالایی گیاهان منتقل می‌شوند تا باعث کاهش هدایت روزنه‌ای و رشد ساقه شوند (Chaves et al., 2002; Dodd et al., 2006; Jovanovic and Stikic, 2018). هدف خشک کردن جزئی ناحیه ریشه کاهش تلفات آب از طریق تعرق بدون تأثیر بر عملکرد است.

روش‌های خشک کردن موضعی ناحیه ریشه دو نوع است :۱-ثابت و ۲-متناوب. اگر آب فقط به یک طرف ریشه اعمال شود بدون اینکه در طول فصل رشد به طور متناوب استفاده شود، به آن خشک کردن موضعی ناحیه ریشه ثابت گفته می‌شود. از سوی دیگر، اگر طرف‌های مرطوب و خشک سیستم ریشه در نوبت‌های آبیاری بعدی به طور متناوب عوض شوند، به آن خشک کردن موضعی ناحیه ریشه متناوب گفته می‌شود. در خشک کردن موضعی ناحیه ریشه متناوب، آبیاری هر دو طرف گیاه به صورت متناوب یا متوالی انجام می‌شود و اجازه می‌دهد طرف مرطوب ریشه خشک و طرف خشک به‌طور کامل آبیاری شود. در حالی که کم آبیاری آب کمتری نسبت به مقدار از دست رفته توسط تبخیر و تعرق به کل ناحیه ریشه می‌رساند، خشک کردن موضعی ناحیه ریشه شامل آبیاری نیمی از ناحیه ریشه در هر نوبت آبیاری است، در حالی که بقیه قسمت‌ها تا یک رطوبت مشخص خاک خشک نگه داشته می‌شوند (Slamini et al., 2022) (شکل ۲). خشک کردن موضعی ناحیه ریشه می‌تواند آب را ذخیره کند، کارایی مصرف آب را افزایش و کیفیت محصول را بهبود بخشد.

در آبیاری خشک کردن جزئی ریشه، بخشی از سیستم ریشه در سمت خاک خشک، از طریق ارسال علایمی با منشأ ریشه به شاخه‌هایی که روزنه‌ها ممکن است بسته باشند، به خشکسالی پاسخ می‌دهد تا اتلاف آب یا میزان تعرق را کاهش دهد (Duan et al., 2024). بسته

شدن روزنه‌ها می‌تواند از طریق تعرق، اتلاف قابل توجه آب را کاهش دهد. بسته شدن روزنه‌ها، اولین پاسخ به تنش خشکی در اکثر گیاهان محسوب می‌شود و از اتلاف آب از مسیرهای تعرق جلوگیری می‌کند. بسته شدن روزنه‌ها ارتباط مستقیم‌تری با میزان رطوبت خاک نسبت به وضعیت آب برگ دارد و توسط علایمی شیمیایی تولید شده در ریشه‌های در حال خشک شدن کنترل می‌شود (Fernandes-Silva et al. 2020).

وو[1] و همکاران (۲۰۲۰) تأثیرات کم آبیاری تنظیم شده، خشک کردن موضعی ناحیه ریشه و کم آبیاری را بر رشد و بهره‌وری درختان گلابی در شرایط خشک مقایسه کردند. نتایج نشان داد که رشد رویشی و عملکرد درختان گلابی در درختان خشک کردن موضعی ناحیه ریشه و کم آبیاری تنظیم شده تفاوت معنی‌داری نداشت. مقادیر بالاتر مواد جامد محلول کل و محتوای قند در تیمارهای خشک کردن موضعی ناحیه ریشه و کم آبیاری تنظیم شده در مقایسه با کم آبیاری به دست آمد. آنها نتیجه گرفتند که تغییر در رشد و بهره‌وری درختان گلابی، عمدتاً به‌دلیل سطح کم آبیاری است تا روش کم آبیاری. تکنیک کم آبیاری تنظیم شده، به دلیل هزینه نیروی کار کمتر، مناسب‌تر از خشک کردن موضعی ناحیه ریشه بود. از جمله نتایج اعمال آبیاری موضعی ریشه می‌توان به افزایش غلظت شیره آوندی و کاهش هدایت روزنه‌ای، افزایش کارایی مصرف آب (Einhorn and Caspari, 2004) و عدم کاهش در کمیت و کیفیت محصول (Goldhammer et al., 2002) اشاره نمود.



شکل ۲: رژیم‌های مختلف آبیاری: A) آبیاری کامل، B) کم آبیاری (DI) و (ج) آبیاری خشک کردن موضعی ناحیه ریشه (PRD)

مدیریت آب

راندمان مصرف آب (WUE[2]) (معادله ۱) که به عنوان بهره‌وری آب نیز شناخته می‌شود، به عنوان نسبت بین تولید ماده خشک و مقدار آب مصرف شده توسط گیاهان در تبخیر و تعرق (ET_c[3]) تعریف می‌شود، یا به عبارت دیگر راندمان مصرف آب زیست توده یا دانه تولید شده به ازای واحد آب مورد استفاده توسط محصول است. این معیاری است که نشان می‌دهد یک گیاه چقدر کارآمد از آب استفاده می‌کند.

$$WUE = \frac{Y}{ETc}$$ رابطهٔ ۱)

که در آن Y عملکرد (کیلوگرم) و ET_c میزان مصرف آب فصلی محصول یا تبخیر و تعرق (مترمکعب) است. اگرچه آبیاری به ویژه در غلبه بر خشک‌سالی مؤثر است، اما خود آبیاری ممکن است به بالاترین راندمان مصرف آب دست نیابد. هنگامی که سطح زیر آبیاری به‌دلیل محدودیت دسترسی به آب محدود می‌شود، بازده اقتصادی آب با کاهش عمق آب اعمال شده و افزایش مساحت زمین تحت آبیاری به حداکثر می‌رسد (Alotaibi et al. 2023). چندین شیوه حفاظت از آب با کاهش مقدار آب مورد استفاده در تبخیر و تعرق (ET_c)، نفوذ عمقی و رواناب، به طور قابل‌توجهی در بهبود راندمان مصرف آب نقش داشته‌اند. کم‌آبیاری، با اعمال آب کم‌تر از تبخیر و تعرق محصول، می‌تواند راندمان مصرف آب را با به حداکثر رساندن عملکرد محصول به ازای هر مقدار آب مصرفی بهبود بخشد (Abdelfattah and

[1] Wu
[2] Water use efficiency
[3] Evapotranspiration (ETc)

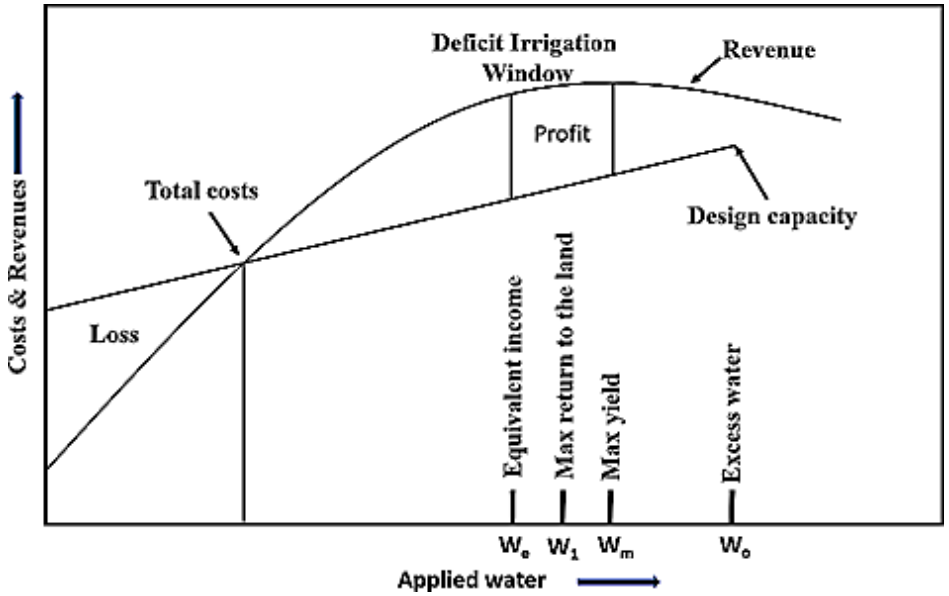
.(Mostafa, 2024

تابع تولید آب محصول

رابطه پاسخ عملکرد محصول (Y) به سطوح مختلف آب آبیاری توسط توابع تولید آب محصول توصیف می‌شود. با افزایش مقدار آب آبیاری، درآمد (بهره‌وری محصول) به‌تدریج به صورت تابع خطی افزایش می‌یابد تا زمانی که به نقطه خاصی برسد و منحنی به شکل تابع درجه دوم درآید. این بدان معناست که افزایش آب آبیاری، لزوماً با افزایش تولید همراه نیست. در عوض، آبیاری بیش از حد ممکن است منجر به غرقاب شدن، تهویه ضعیف و در نتیجه کاهش تولید شود (Cao et al., 2021).

سود هر واحد زمین با تفاوت بین منحنی‌های هزینه و درآمد نشان داده می‌شود (شکل ۱). کل هزینه‌های تولید به صورت تابع خطی نشان داده می‌شوند و از نقطه تقاطع با محور عمودی شروع می‌شوند. نقطه تقاطع با تمام هزینه‌های ثابت تولید مرتبط است. شیب نشان‌دهنده هزینه‌های متغیر تولید (انرژی، نیروی کار و هزینه‌های مرتبط با آبیاری) است و با افزایش مقدار آب اعمال شده افزایش می‌یابد. حد بالای تابع هزینه، نقطه ظرفیت طراحی W_o است که نشان دهنده حداکثر ظرفیت تحویل آب سیستم است. W_m نشان‌دهنده سطح آب اعمال شده است که در آن عملکرد به حداکثر می‌رسد. اگر آب بیشتری استفاده شود، با همگرایی منحنی‌های هزینه و درآمد، سود کاهش می‌یابد. در آبیاری مرسوم، آب همیشه به عنوان نیاز کامل آبیاری به W_m اعمال می‌شود. کاهش آب آبیاری به زیر W_m در ابتدا منجر به سود بیشتر می‌شود، زیرا هزینه‌های متغیر سریع‌تر از درآمدها کاهش می‌یابند. حداکثر بهره‌وری اقتصادی در نقطه‌ای رخ می‌دهد که شیب تابع هزینه برابر با شیب منحنی درآمد باشد (که در شکل ۳ با نقطه W_1 نشان داده شده است). آن نقطه همیشه در سمت چپ حداکثر عملکرد خواهد بود (Abdelfattah and Mostafa, 2024).

با کاهش بیش‌تر مصرف آب، به نقطه‌ای (We) خواهیم رسید که درآمد خالص دقیقاً برابر با درآمد خالص در حداکثر عملکرد (Wm) خواهد بود. در محدوده بین Wm و We، کم‌آبیاری سودآورتر از آبیاری کامل خواهد بود (Sapino et al., 2022). هنگامی که آب محدود است، می‌توان از کم‌آبیاری برای صرفه‌جویی در آب برای آبیاری زمین‌های اضافی استفاده کرد. همچنین می‌توان در مقادیر کمتر آبیاری کرد تا هزینه‌ها کاهش و کارایی مصرف آب افزایش یابد (Abdelfattah and Mostafa, 2024).



شکل ۳: منحنی‌های درآمد و هزینه متناسب با آب آبیاری (Abdelfattah and Mostafa, 2024)

مصرف آب و نیازهای آبیاری

نیاز آبی محصول (CWR[1]) به عنوان مقدار آب مورد نیاز برای جایگزینی آب از دست رفته از طریق تبخیر و تعرق توسط یک محصول عاری از بیماری که در مزارع بزرگ و بدون هیچ محدودیتی در مورد شرایط خاک، از جمله آب و حاصلخیزی خاک، رشد می‌کند و به پتانسیل کامل تولید در محیط کشت داده شده دست می‌یابد، تعریف می‌شود (Jiang and He, 2021). این اتلاف آب به عنوان تبخیر و

[1] Crop Water Requirements

تعرق محصول (ET_c[1]) در شرایط استاندارد تعریف می‌شود که توسط معادله (۲) ارائه شده است:

$$ET_c = ET_0 \times K_c$$ رابطهٔ ۲)

که در آن ET_0 تبخیر و تعرق مرجع یک محصول و K_c ضریب گیاهی است (Doorenbos and Pruitt, 1977: Allen et al., 1998). در واقع، ET_0 نشان دهنده شاخص تقاضای اقلیمی و K_c نشان دهنده تأثیر ویژگی‌های خاص محصول است (Pereira and Alves, 2005).

پاسخ محصول به کم‌آبیاری

برای اعمال آبیاری با حداکثر راندمان، شاخص‌های مختلفی از میزان تحمل/مقاومت در برابر تنش آبی درختان میوه مورد نیاز است. شاخص تنش آبی محصول (CWSI[2]) شاخصی از میزان تعرق نسبی یک گیاه است که به تفاوت دمای برگ و هوا و کمبود فشار بخار آب در جو بستگی دارد. با کاهش سطح آب در گیاه، روزنه‌ها بسته می‌شوند و شدت تعریق کاهش می‌یابد (Paltineanu et al., 2013; Osroosh et al., 2016). وقتی گیاه به خوبی با آب تغذیه شود، با شدت زیادی تعرق می‌کند، سطح دمای برگ پایین‌تر از دمای متوسط است و هرچه کمبود اشباع بخار آب در جو (۱۲-۱ درجه سانتی‌گراد) بیشتر باشد، در این حالت مقدار شاخص تنش آبی محصول به صفر نزدیک می‌شود. هنگامی که شدت تعریق کاهش می‌یابد، دمای برگ‌های در معرض تابش مستقیم خورشید افزایش می‌یابد و می‌تواند ۶-۴ درجه سانتیگراد از دمای هوا بیشتر شود. هنگامی که گیاه تعریق خود را کاهش می‌دهد، شاخص تنش آبی محصول به مقدار یک تمایل پیدا می‌کند (Osroosh et al., 2016). تعریق با کمبود اشباع بخار آب جو تشدید می‌شود. استفاده از شاخص تنش آبی محصول، یکی از بهترین شاخص‌ها برای برنامه‌ریزی و مدیریت آبیاری است. تنش آبی که گیاه در معرض آن قرار دارد، با کاهش تبخیر و تعرق در مقایسه با شرایط بهینه تبخیر و تعرق بیان می‌شود و می‌تواند به صورت زیر (معادله ۳) بیان شود:

$$CWSI=1-\frac{ETa}{ETm}$$ رابطهٔ ۳)

که در آن CWSI شاخص تنش آبی محصول است، ET_a و ET_m تبخیر و تعرق واقعی و حداکثر هستند. برای کمی‌سازی واکنش عملکرد محصول به کمبود آب، از معادله ۴ استفاده می‌شود. این رویکرد پیشنهاد می‌کند که کاهش نسبی در تبخیر و تعرق (تنش آبی) منجر به کاهش متناظر در عملکرد محصول خواهد شد. علاوه‌براین، فرض می‌شود عوامل تولید غیر از آب مانند نور خورشید، مواد مغذی و غیره در سطح بهینه هستند. تابع تولید آب را می‌توان برای همه محصولات کشاورزی، یعنی درختان، انگور و گیاهان دارویی اعمال کرد و اعتبار قابل‌توجهی را نشان داده است (Smith and Steduto, 2012). واکنش گیاه به آب را از مدل زیر که عملکرد نسبی را به تبخیر-تعرق نسبی (معادله ۴) به صورت زیر بیان می‌شود:

$$1-\frac{Y_a}{Y_m}=K_y\left\{1-\frac{ET_c}{ET_m}\right\}$$ رابطهٔ ۳)

که در آن Y_a و Y_m عملکرد واقعی و حداکثر محصول هستند و K_y[3] ضریب واکنش عملکرد است. با جایگزینی در معادله ۴، K_y نسبت کاهش نسبی عملکرد به کمبود نسبی تبخیر و تعرق است و نشان دهنده کاهش عملکرد محصول ناشی از کاهش تبخیر و تعرق است. مقادیر $ky > 1$ به این معنی است که محصول به کمبود آب بسیار حساس است و در شرایط تنش آبی با کاهش قابل‌توجه عملکرد مواجه می‌شود. مقادیر $ky < 1$ نشان‌دهنده تحمل محصول به تنش آبی است و با کاهش آب، کاهش عملکرد کمتری را نشان می‌دهد. وقتی $Ky = 1$ باشد، کاهش عملکرد مستقیماً با کاهش کاربرد آب متناسب است. مقادیر K_y مختص محصول هستند و با مرحله رشد در طول فصل رشد متفاوت هستند. سطوح یکسان کمبود آب در طول فصل رشد، محصولات را به طور متفاوتی تحت تأثیر قرار دادند (Doorenbos and Kassam 1979).

[1] Crop Evapotranspiration
[2] Crop Water Stress Index (CWSI)
[3] Yield Response Factor

شیوه‌های کشاورزی–اکولوژیکی کاهش تنش آبی

محرک‌های زیستی

یک روش پایدار برای مقابله با تنش آبی، با کاربرد گسترده در کشاورزی، استفاده از محرک‌های زیستی است. آن‌ها موادی با منشأ طبیعی و میکروارگانیسم‌هایی مانند قارچ‌ها و باکتری‌ها هستند که برای گیاهان مفید هستند. مطالعات اخیر نشان داده است که آن‌ها می‌توانند آسیب اکسیداتیو ناشی از تنش‌های زیستی و غیرزیستی بر روی محصولات گیاهی را کاهش یا از بین ببرند. علاوه‌براین، استفاده از محرک‌های زیستی در کشاورزی می‌تواند به کاهش استفاده بیش از حد از کودها و آفت‌کش‌ها کمک کند (Rouphael and Colla, 2018). قارچ‌های میکوریزا، مقاومت گیاهان را در برابر تنش آبی افزایش می‌دهند، آن‌ها آب را از طریق هیف‌های خود جذب و آن را به گیاه منتقل می‌کنند. همچنین می‌توانند از طریق سیگنال‌های هورمونی، باز شدن روزنه‌ها را تنظیم کنند. علاوه بر این، در تنظیم اسمزی نقش دارند و همچنین وضعیت تغذیه‌ای گیاهان را بهبود می‌بخشند (Toscano et al., 2019). اثرات مثبت محرک‌های زیستی مختلف، تجمع بیشتر زیست توده و در نهایت تولید هورمون‌هایی مانند جیبرلین‌ها و سیتوکینین‌ها است که رشد را در شرایط تنش‌زا تحریک می‌کنند (Calvo et al., 2014).

عدم شخم

مناطق نیمه‌خشک از جمله حاصلخیزترین مناطق جهان هستند (Rundel et al., 2011). با این حال، خاک دارای محتوای کربن پایینی است و مستعد تخریب است (Freibauer et al., 2004; Chiti et al., 2012; Rodríguez Martín et al., 2016). خاک‌های نیمه‌خشک در معرض فرسایش ناشی از بارندگی‌های سنگین، عدم وجود پوشش گیاهی علفی و میزان بالای معدنی شدن کربن مربوط به دمای بالا و pH بالای خاک قرار دارند (Tombesi et al., 2007; Pleguezuelo et al., 2018; Petersson et al., 2022). شخم شدید، باعث تخریب مواد آلی خاک و از بین رفتن کلی مواد مغذی می‌شود (Sánchez-Moreno et al., 2015). بنابراین، شخم زدن باعث افزایش انتشار CO_2 به قیمت از بین رفتن مواد آلی می‌شود و به تغییرات آب و هوایی جهانی کمک می‌کند. به طور معمول، ماده آلی در باغ‌های بدون شخم حدود ۰/۸ درصد یا بیشتر از باغ‌های شخم زده است (Parras-Alcántara and Lozano-García, 2014). سهم ترسیب کربن، در سیستم بدون شخم با گیاهان پوششی در مقایسه با خاک لخت، ۱/۲۳ تن کربن در هکتار در سال است (Márquez-García et al., 2013). سیستم بدون شخم از انتشار بیماری‌های خاک‌زاد جلوگیری می‌کند که جلوگیری از به هم خوردن خاک و به حداقل رساندن تماس میزان انتشار را کاهش می‌دهد (Calderón et al., 2015; Montes Osuna and Mercado-Blanco, 2020).

گیاهان پوششی

پوشش گیاهی علفی می‌تواند تأثیر مثبتی بر کاهش فرسایش، به ویژه در باغ‌هایی که در دامنه‌ها کاشته شده‌اند داشته باشد و به ترسیب کربن و نیتروژن کمک کند و به عنوان یک بافر مغذی عمل کند. پوشش گیاهی همچنین پناهگاه و غذا را برای بسیاری از حشرات مفید و گرده افشان فراهم می‌کند (Guzmán et al., 2018).

کاهش علف‌کش‌ها

استفاده عمومی از علف‌کش‌ها به‌طور چشمگیری تعداد گونه‌ها، گیاهان، حیوانات و سایر موجودات زنده موجود در اکوسیستم باغ را کاهش می‌دهد. به‌عنوان مثال، فراوانی و تنوع نماتدها در خاک‌های لخت تیمار شده با علف‌کش‌ها کمتر و در مناطق بدون علف‌کش در حد متوسط است (Parras-Alcántara and Lozano-García, 2014). به‌طور معمول، شخم زدن تعداد گونه‌های بندپایان را کاهش می‌دهد (Vignozzi et al., 2019; Simoni et al., 2021). استفاده از علف‌کش‌ها در کل مساحت یک باغ، رواناب آب باران را افزایش می‌دهد و به فرسایش سریع‌تر خاک و کاهش دسترسی به مواد مغذی کمک می‌کند (Marañón-Jiménez et al., 2022). حذف نهایی علف‌کش منجر به اجرای سایر راه‌حل‌های غیر علف‌کشی برای مدیریت کف باغ خواهد شد (Assirelli et al., 2022).

بازیافت زیست توده حاصل از هرس

چوب هرس، معمولاً همراه با علف‌های هرز پوششی خرد می‌شود و مواد مغذی آن به آرامی در طول زمان آزاد می‌شود. این راهی برای بازیافت مواد مغذی و مواد آلی است (Repullo et al., 2012). وجود قطعات چوب خرد شده و بقایای علف‌های هرز در کف باغ چهار

مزیت اصلی دارد. اول، سرعت رواناب آب باران را کاهش داده و به جلوگیری از فرسایش کمک می‌کند (Moreno-García et al., 2018). دوم، سرعت نفوذ آب باران را افزایش می‌دهد که در صورت وقوع بارندگی‌های شدید بسیار مهم است (Repullo et al., 2012). سوم، کشش ماشین‌ها را بهبود می‌بخشد و از سر خوردن چرخ‌های تراکتور یا دروگر جلوگیری می‌کند. چهارم، قطعات چوب خرد شده متقاطع به‌عنوان یک مانع فیزیکی روی کف عمل می‌کنند و از فشردگی خاک جلوگیری می‌کنند (Flamand, 2020).

بحث

با توجه به بحران‌های آبی، بهینه‌سازی مصرف آب در کشاورزی، به‌ویژه در کشت درختان میوه، ضروری است. درختان میوه به دلیل نیاز آبی بالا و حساسیت به شرایط محیطی، نیاز به مدیریت دقیق‌تر منابع آب دارند. ۱- آبیاری قطره‌ای: استفاده از سیستم آبیاری قطره‌ای به‌دلیل دقت در توزیع آب و کاهش هدررفت، یکی از روش‌های مؤثر در بهینه‌سازی مصرف آب است. ۲-کاهش تبخیر: استفاده از مالچ‌ها و بهبود تهویه خاک می‌تواند تبخیر آب را کاهش و نیاز به آبیاری را کمتر کند. ۳-حسگرهای رطوبت خاک: استفاده از ابزارهایی مانند حسگرهای رطوبت، کشاورزان را قادر می‌سازد تا زمان آبیاری را دقیقاً تنظیم و از هدررفت آب جلوگیری کنند ۴- انتخاب ارقام مقاوم به خشکی: کاشت درختان میوه‌ای که به خشکی مقاوم‌ترند، می‌تواند به کاهش مصرف آب کمک کند و بهره‌وری را حفظ کند. ۵-فناوری‌های نوین: استفاده از سیستم‌های هوشمند آبیاری و داده‌های اقلیمی برای پیش‌بینی نیاز آبی درختان می‌تواند به کاهش مصرف آب و بهبود عملکرد درختان کمک کند. در نهایت، بهینه‌سازی مصرف آب در کشاورزی نه تنها به حفظ منابع آبی کمک می‌کند، بلکه می‌تواند به افزایش بهره‌وری و کیفیت محصولات نیز منجر شود.

نتیجه‌گیری

تغییرات اقلیمی و کمبود جهانی آب، کشاورزان و باغداران را مجبور به اتخاذ استراتژی‌های مؤثر در صرفه‌جویی در مصرف آب می‌کند. با توجه به کاهش بارندگی در سال‌های اخیر و محدودیت آب آبیاری، نیاز به تغییر مدیریت آبیاری در باغ‌های میوه و استفاده از راهکارهای مناسب با کارایی بالا برای مقابله با خشک‌سالی ضروری به نظر می‌رسد. افزایش راندمان مصرف آب در مناطقی که کمبود آب یک مشکل است، به یک مسئله حیاتی تبدیل شده است. کم‌آبیاری یک راه حل منطقی برای حفاظت از آب است. استراتژی‌های کم‌آبیاری از نظر صرفه‌جویی در مصرف آب بسیار سودمند هستند و می‌توانند کارایی مصرف آب را افزایش دهند. از این رو هر گونه اقدامات اصلاحی در مدیریت آبیاری، نقش مهمی در پایداری کشاورزی و دسترسی به آب خواهد داشت. از نکات مثبت کم آبیاری می‌توان به افزایش کارایی مصرف آب به علت مصرف کمتر آب، کاهش هزینه‌های جاری آبیاری و آب‌بها و افزایش سطح زیر کشت آبی با آب مازاد اشاره نمود. کم‌آبیاری یک روش مدیریتی حیاتی در مناطق تولید میوه در جهان، به ویژه در آب و هوای خشک و نیمه خشک است. رشد رویشی و میوه در طول فصل بسته به مرحله رشد میوه، به طور متفاوتی به کمبود آب حساس هستند. کم آبیاری ترکیب میوه را بهبود می‌بخشد و در کوتاه مدت، راندمان مصرف آب درخت را افزایش می‌دهد زیرا تنش آبی اعمال شده امکان بهینه‌سازی تعادل بین رشد رویشی و تولیدی را فراهم می‌کند. تامین آب ناکافی در درازمدت ممکن است منجر به کاهش رشد درخت، عملکرد و کیفیت میوه به دلیل تنش آبی شود. برای کاربرد موفقیت‌آمیز کم‌آبیاری در درختان میوه، دوره‌های اصلی رشد رویشی و میوه‌ای باید به وضوح از هم متمایز شوند. برای کمک به صرفه‌جویی در مصرف آب، کشت باغات میوه باید به سمت استفاده از ارقامی که نیاز آبی کمتری دارند یا قادر به تحمل کم‌آبیاری هستند، هدایت شود. تغییر در واکنش درختان میوه به کم‌آبیاری احتمالاً به دلیل تعامل محدودیت آب با سایر عوامل خارجی (عوامل خاک و آب و هوا) و داخلی (وضعیت تغذیه‌ای درخت، سطح محصول و سیستم تربیت) است که میزان تنش آبی واقعی متحمل شده توسط درخت را تعیین می‌کنند. درک بهتر مکانیسم‌های دفاعی گیاهان در برابر تنش آبی، به‌منظور اعمال شیوه‌های هدفمند که تحمل را افزایش داده و امکان بقای محصولات را در شرایط نامطلوب فراهم می‌کنند، از اهمیت بالایی برخوردار است. با توجه به بحران کم آبی، اعمال روش‌هایی نظیر کم‌آبیاری برای مدیریت بهینه مصرف آب در بخش کشاورزی امری ضروری می‌نماید.

REFERENCE

Abdelfattah, A., & Mostafa, H. (2024). Potential of Soil Conditioners to Mitigate Deficit Irrigation Impacts on Agricultural Crops: A Review. *Water Resources Management*, 38, 2961–2976.

Ahumada-Orellana, L.E., Ortega-Farías, S., Searles, P.S. & Retamales, J.B. (2017). Yield and Water Productivity Responses to Irrigation Cut-off Strategies after Fruit Set Using Stem Water Potential

Thresholds in a Super-High Density Olive Orchard. *Frontiers in Plant Science*, 8, 1280.
Alegra, S., Girona, J., Marsal, J., Arbones, A., Mata, M., Montagut, D., Teixido, F., Motilva, M.J. & Romero, M.P. (1999). Regulated deficit irrigation in olive trees. *Acta Horticulturae*, 474, 373-375.
Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. & Smith, M. (1998). Crop Evapotranspiration—Guidelines for Computing Crop Water Requirements; Irrigation and Drainage Paper; Food and Agriculture Organization of the United Nations: Rome, Italy.
Alotaibi, M., Alhajeri, N.S., Al-Fadhli, F.M., Al Jabri, S., & Gabr, M. (2023). Impact of Climate Change on Crop Irrigation Requirements in Arid Regions. *Water Resources Management*, 37, 1965-1984.
Alvarez, S. & Sanchez-Blanco, M.J. (2013). Changes in growth rate, root morphology and water use efficiency of potted Callistemon citrinus plants in response to different levels of water deficit. *Scientia Horticulturae*, 156, 54–62.
Al-Yasi, H., Attia, H., Alamera, K., Hassana, F., Alia, E., Elshazlya, S., Siddiqued, K.H.M. & Hessini, K. (2020). Impact of drought on growth, photosynthesis, osmotic adjustment, and cell wall elasticity in Damask rose. *Plant Physiology and Biochemistry*, 150, 133–139.
Assirelli, A., Ciaccia, C., Giorgi, V., Zucchini, M., Neri, D. & Lodolini, E.M. (2022). An Alternative Tool for Intra-Row Weed Control in a High-Density Olive Orchard. *Agronomy*, 12, 605.
Behboudian, M.H., Lawes, G.S. & Griffiths, K.M. (1994). The influence of water deficit on water relations, photosynthesis and fruit growth in Asian pear (*Pyrus serotina* Rehd.). *Scientia Horticulturae*, 60, 89-99.
Ben-Gal, A., Ron, Y., Yermiyahu, U., Zipori, I., Naoum, S. & Dag, A. (2021). Evaluation of Regulated Deficit Irrigation Strategies for Oil Olives: A Case Study for Two Modern Israeli Cultivars. *Agricultural Water Management*, 245, 106577.
Boland, A.M., Mitchell, P.D., Jerie, P.H. & Goodwin, I. (1993b). The effect of regulated deficit irrigation on tree water use and growth of peach. *Journal of Horticultural Science*, 68, 261-274.
Brun, C., Raese, J.T. & Stahly, E.A. (1985a). Seasonal responses of `Anjou' pear trees to different irrigation regimes. I. Soil moisture, water relations, and tree and fruit growth. *Journal of the American Society of Horticultural Science*, 110, 830-834.
Brun, C., Raese, J.T. & Stahly, E.A. (1985b). Seasonal responses of `Anjou' pear trees to different irrigation regimes. I. Mineral composition of fruit and leaves, fruit disorders and fruit set. *Journal of the American Society of Horticultural Science*, 110, 835-840.
Calvo, P., Nelson, L. & Kloepper, J.W. (2014). Agricultural uses of plant biostimulants. *Plant Soil*, 383, 3–41.
Cao, X., Xiao, J., Wu, M., Zeng, W. & Huang, X. (2021). Agricultural water use efficiency and driving force assessment to improve regional productivity and effectiveness. *Water Resources Management*, 35, 2519–2535.
Caspari, H.W., Behboudian M.H. & Chalmers, D.J. (1994). Water use, growth and fruit yield of `Hosui' Asian pears under deficit irrigation. *Journal of the American Society of Horticultural Science*, 119, 383-388.
Chalmers, D.J. & van den Ende, B. (1975). A reappraisal of the growth and development of peach fruit. *Australian Journal of Plant Physiology*, 2, 623-634.
Chalmers, D.J. & van den Ende, B. (1977). The relationship between seed and fruit development in peach. *Annals of Botany*, 41, 707-714.
Chalmers, D.J., Burge, G., Jerie, P.H. & Mitchell, P.D. (1986). The mechanism of regulation of `Bartlett' pear fruit and vegetative growth by irrigation withholding and regulated deficit irrigation. *Journal of the American Society of Horticultural Science*, 111, 904-907.
Chalmers, D.J., Canterford, R.L., Jerie, P.H., Jones, T.R. & Ugalde, T.D. (1975). Photosynthesis in relation to growth and distribution of fruit in peach trees. *Australian Journal of Plant Physiology*, 2, 635-645.
Chalmers, D.J., Mitchell, P.D. & Jerie, P.H. (1984). The physiology of growth control of peach and pear trees using reduced irrigation. *Acta Horticulturae*, 146, 143-149.
Chaves, M.M., Pereira, J.S., Maroco, J., Rodrigues, M.L., Ricardo, C.P.P., Osório, M.L., Carvalho, I., Faria, T. & Pinheiro, C. (2002). How Plants Cope with Water Stress in the Field? Photosynthesis and Growth. *Annals of Botany*, 89, 907–916.
Cifre, J., Bota, J., Escalona, J.M., Medrano, H. & Flexas, J. (2005). Physiological Tools for Irrigation Scheduling in Grapevine (*Vitis vinifera* L.): An Open Gate to Improve Water-Use Efficiency? *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 106, 159–170.
Cohen, A. & Goell, A. (1988). Fruit growth and dry matter accumulation in grapefruit during periods of water with holding and after reirrigation. *Australian Journal of Plant. Physiology*, 15, 633-639.
Collins, M., Fuentes, S. & Barlow, E. (2010). Partial Rootzone Drying and Deficit Irrigation Increase Stomatal Sensitivity to Vapour Pressure Deficit in Anisohydric Grapevines. *Functional Plant Biology*, 37, 128–138.

Dalezios, N.R., Angelakis, A.N. & Eslamian, S. (2018). Water scarcity management: part 1: methodological framework. *International Journal of Global Environmental Issues*, 17, 1–40.

Dasberg, S., Tribulato, E., Gentilo, A. & Reforgiato, G. (1992). Irrigation management and citrus production. International Citrus Congress - Acireale, Italy, P1307-1310.

Davies, W.J., Wilkinson, S. & Loveys, B. (2002). Stomatal Control by Chemical Signalling and the Exploitation of This Mechanism to Increase Water Use Efficiency in Agriculture. *New Phytologist*, 153, 449–460.

Debaeke, P. & Aboudrare, A. (2004). Adaptation of Crop Management to Water-Limited Environments. *European Journal of Agronomy*, 21, 433–446.

Dichio, B., Montanaro, G. & Xiloyannis, C. (2011). Integration of the regulated deficit irrigation strategy in a sustainable orchard management system. *Acta Horticulturae*, 889, 221-226.

Dodd, I.C., Theobald, J.C., Bacon, M.A. & Davies, W.J. (2006). Alternation of Wet and Dry Sides during Partial Rootzone Drying Irrigation Alters Root-to-Shoot Signalling of Abscisic Acid. Functional Plant Biology, 33, 1081–1089.

Doorenbos, J. & Kassam, A.H. (1979). Yield response to water. FAO Irrigation and Drainage, Paper 33, Rome.

Doorenbos, J. & Pruitt, W.O. (1977). Guidelines for Predicting Crop Water Requirements; Irrigation and Drainage Paper; Food and Agriculture Organization of the United Nations: Rome, Italy, 1977.

Dry, P.R. & Loveys B.R. (1998). Factors influencing grapevine vigour and the potential for control with partial root zone drying. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 4, 140n148.

Dry, P.R., Loveys, B.R., Mccarthy, M.G. & Stoll, M. (2001). Strategic Irrigation Management in Australian Vineyards. *OENO One*, 35, 129–139.

Duan, Y.Y., Zhang, J., Jiang, Z., Xing Wei, X., Gang Guo, Z. & Xia Liu, H. (2024). Partial root-zone drying (PRD) leads to lower carbon retention in the soil-plant systems of alfalfa. Irrigation Science, 42, 45–56.

Einhorn, T. & Caspari, H.W. (2004). Partial rootzone drying and deficit irrigation of 'gala' apples in a semi-arid climate. *Acta Horticulturae*, 664, 197-204.

El-Nashar, W. & Elyamany, A. (2023). Adapting irrigation strategies to mitigate climate change impacts: a value engineering approach. *Water Resources Management*, 37, 2369–2386.

Eltarabily, M.G. (2022). Reuse of Agriculture Drainage Water–Case studies: Central Valley of California and the Nile Delta in Egypt. Cost-efficient Wastewater Treatment technologies: Natural systems. Springer, pp 325–344.

Failla, O., Zocchi, G., Treccani, C. & Cocucci, S. (1992). Growth, development and mineral content of apple fruit in different water status conditions. *Journal of Horticultural Science*, 67, 265-271.

Fereres, E. & Soriano, M.A. (2007). Deficit irrigation for reducing agricultural water use. *Journal of Experimental Botany*, 58, 147-159.

Fernandes-Silva, A.A., Esteves, A., Correia, M. & Santos, F.L. (2021). Partial Rootzone Drying Irrigation modulates transpiration of Olive Trees. *Biology and Life Sciences Forum*, 4, 78.

Fernandes-Silva, A.A., Ferreira, T.C., Correia, C.M., Malheiro, A.C. & Villalobos, F.J. (2010). Influence of Different Irrigation Regimes on Crop Yield and Water Use Efficiency of Olive. *Plant Soil*, 333, 35–47.

Fernandes-Silva, A.A., Ferreira, T.C., Correia, C.M., Malheiro, A.C. & Villalobos, F.J. (2010). Influence of Different Irrigation Regimes on Crop Yield and Water Use Efficiency of Olive. *Plant Soil*, 333, 35–47.

Fernandez, J.E. & Cuevas, M.V. (2010). Irrigation scheduling from stem diameter variations: a review. *Agricultural and Forest Meteorology*, 150, 135-151.

Fernández, J.E., Díaz-Espejo, A., Infante, J.M., Durán, P., Palomo, M.J., Chamorro, V., Girón, I.F. & Villagarcía, L. (2006). Water Relations and Gas Exchange in Olive Trees under Regulated Deficit Irrigation and Partial Rootzone Drying. *Plant Soil*, 284, 273–291.

Fernández, J.E., Diaz-Espejo, A., Romero, R., Hernandez-Santana, V., García, J.M., Padilla-Díaz, C.M. & Cuevas, M.V. (2018). Chapter 9—Precision Irrigation in Olive (*Olea europaea* L.) Tree Orchards. In Water Scarcity and Sustainable Agriculture in Semiarid Environment; García Tejero, I.F., Durán Zuazo, V.H., Eds.; Academic Press: Cambridge, MA, USA, pp. 179–217.

Fernández, J.E., Perez-Martin, A., Torres-Ruiz, J.M., Cuevas, M.V., Rodriguez-Dominguez, C.M., Elsayed-Farag, S., Morales- Sillero, A., García, J.M., Hernandez-Santana, V. & Diaz-Espejo, A. (2013). A Regulated Deficit Irrigation Strategy for Hedgerow Olive Orchards with High Plant Density. *Plant Soil*, 372, 279–295.

Flamand, I. (2020). Olive Farmers' Compliance to Soil-Erosion control Policies in the Protected Designation of Origin Estepa; Wageningen University: Wageningen, The Netherlands.

Flexas, J., Galmés, J., Gallé, A., Gulías, J., Pou, A., Ribas-Carbo, M., Tomàs, M. & Medrano, H. (2010).

Improving Water Use Efficiency in Grapevines: Potential Physiological Targets for Biotechnological Improvement. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 16, 106–121.

Flörke, M., Schneider, C. & McDonald, R.I. (2018). Water competition between cities and agriculture driven by climate change and urban growth. *Nature Sustainability*, 1, 51–58.

Galindo, A., Collado-González, J., Griñán, I., Corell, M., Centeno, A., Martín-Palomo, M.J., Girón, I.F., Rodríguez, P., Cruz, Z.N. & Memmi, H. (2018). Deficit Irrigation and Emerging Fruit Crops as a Strategy to Save Water in Mediterranean Semiarid Agrosystems. *Agricultural Water Management*, 2018, 202, 311–324.

Gao, Q.H., Yu, J.G., Wu, C.S., Wang, Z.S., Wang, Y.K., Zhu, D.L., & Wang, M. (2014). Comparison of drip, pipe and surge spring root irrigation for jujube (*Ziziphus jujuba* Mill.) fruit quality in the Loess Plateau of China. *Plos One*, 9(2), 88912.

Gao, S., Wanga, Y., Yua, S., Huanga, Y., Liua, H., Chena, W. & He, X. (2020). Effects of drought stress on growth, physiology and secondary metabolites of two Adonis species in Northeast China. *Scientia Horticulturae*, 259, 108795.

Ginestar C. & Castel J.R. (1996). Responses of young Clementine citrus trees to water stress during different phonological periods. *Journal of Horticultural Sciences*. 71, 4, 551-559.

Girona, J., Marsal, J., Mata, M., Arbonés, A. & De Jong, T. (2004). A comparison of the combined effect of water stress and crop load on fruit growth during different phenological stages in young peach trees. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 79, 308-315.

Goldhamer, D.A. (1999). Regulated deficit irrigation for California canning olives. *Acta Horticulturae*, 474: 373-375.

Goldhamer, D.A., Dunai, J. & Ferguson, L.F. (1994). Irrigation Requirements of Olive Trees and Responses to Sustained Deficit Irrigation. *Acta Horticulturae*, 356, 172–175.

Goldhammer, D.A., Salinas, M., Crisosto, C., Day, K.R., Soler, M. & Moriana, A. (2002). Effects of regulated deficit irrigation and partial root zone drying on late harvest peach tree performance. *Acta Horticulturae*, 592, 343-350.

Gómez-del-Campo, M. (2013). Summer Deficit-Irrigation Strategies in a Hedgerow Olive Orchard Cv. 'Arbequina': Effect on Fruit Characteristics and Yield. *Irrigation Science*, 31, 259–269.

Goodwin, I. & Boland, A.M. (2002). Scheduling deficit irrigation of fruit trees for optimizingwater use efficiency. In Deficit Irrigation Practices FAO Water Reports 22 (Rome), 67-78.

Gu, Z., Qi, Z., Burghate, R., Yuan, S., Jiao, X. & Xu, J. (2020). Irrigation scheduling approaches and applications: A review. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 146, 04020007.

Guzmán, G., Montes-Borrego, M., Gramaje, D., Benítez, E., Gómez, J.A. & Landa, B.B. (2018). Cover Crops as Bio-Tools to Keep Soil Biodiversity and Quality in Slopping Olive Orchards. In Proceedings of the 20th EGU General Assembly, Procceedings from the Conference, Viena, Austria, 4–13 April, p. 9957.

Iniesta, F., Testi, L., Orgaz, F. & Villalobos, F.J. (2009). The Effects of Regulated and Continuous Deficit Irrigation on the Water Use, Growth and Yield of Olive Trees. European Journal of Agronomy, 30, 258–265.

Intrigliolo, D.S. & Castel, J.R. (2006). Performance of various water strees indicators for prediction of fruit size response to deficit irrigation in plum. *Agricultural Water Management*, 83, 173-180.

Intrigliolo, D.S., Castel, J.R. & Perez, D. (2005). Water relation of field grown drip irrigated Tempranillo grapevines. *Acta Horticulturae*, 689, 317-324.

IPCC. (2014). Intergovernmental panel on climate change. In Proceeding of the 5th Assessment Report, WGII, Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability; Cambridge University Press: Cambridge, UK.

Irving, D.E. & Drost, J.H. (1987). Effects of water deficit on vegetative growth, fruit growth and fruit quality in Cox's Orange Pippin Apple. *Journal of Horticultural Science*, 62, 427-432.

Ivan Garcia, T., Victor Hugo, D.Z. & Jose Luis, M.F. (2011). Long-term impact of sustained-deficit irrigation on yield and fruit quality in sweet orange cv. salustiana (SW Spain). *Comunicata Scientiae*, 2(2), 76-84.

Jerie, P.H., Mitchell, P.D. & Goodwin, I. (1989). Growth of William Bon Chretien pear fruit under Regulated Deficit Irrigation. *Acta Horticulturae*, 240, 271-274.

Jiang, X. & He, L. (2021). Investigation of Effective Irrigation Strategies for High-Density Apple Orchards in Pennsylvania. *Agronomy*, 11, 732.

Johnson, R.S., Handley, D.F. & DeJong, T.M. (1992). Long-term response of early maturing peach trees to postharvest water deficits. *Journal of the American Society of Horticultural Science*, 117, 881-886.

Jovanovic, Z. & Stikic, R. (2018). Partial Root-Zone Drying Technique: From Water Saving to the

Improvement of a Fruit Quality. Frontiers in Sustainable Food Systems, 1, 3.
Kaboli, S., Hekmatzadeh, A.A., Darabi, H. & Torabi Haghighi, A. (2021). Variation in physical characteristics of rainfall in Iran, determined using daily rainfall concentration index and monthly rainfall percentage index. *Theoretical and Applied Climatology*, 144, 507-520.
Kamali, M.I., Ansari, H. & Nazari, R. (2022). Optimization of applied water depth under water limiting conditions. *Water Resources Management*, 36:4081–4098.
Kumar, D., Al Hassan, M., Naranjo, M.A., Agrawal, V., Boscaiu, M. & Vicente, O. (2017). Effects of salinity and drought on growth, ionic relations, compatible solutes and activation of antioxidant systems in oleander (*Nerium oleander* L.). PLoS ONE, 12, e0185017.
Lampinen, B.D., Shackel, K.A., Southwick, S.M., Olson, B., Yeager, J.T. & Goldhamer, D. (1995). Sensitivity of yield and fruit quality of French prune to water deprivation at different fruit growth stages. *Journal of the American Society of Horticultural Science*, 120, 139-147.
Larson, K.D., DeJong, T.M. & Johnson, R.S. (1988). Physiological and growth responses of mature peach trees to postharvest water stress. *Journal of the American Society of Horticultural Science*, 113, 296-300.
Leite, K.N., Cabello, M.J., Valnir Júnior, M., Tarjuelo, J.M. & Domínguez, A. (2015). Modelling sustainable salt water management under deficit irrigation conditions for melon in Spain and Brazil. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 95(11), 2307-18.
Li, Q., Chen, Y., Sun, S., Zhu, M., Xue, J., Gao, Z., Zhao, J., & Tang, Y. (2022). Research on Crop Irrigation Schedules under Deficit Irrigation—A Meta-analysis. Water Resources Management, 36(12), 4799-4817.
Li, SH., Huguet, JG., Schoch, P.G. & Orlando, P. (1989). Response of peach tree growth and cropping to soil water deficit at various phenological stages of fruit development. *Journal of Horticultural Science*, 64, 541-552.
Lightle, D. & Connel, J. (2018). Drought Tip: Drought Strategies for Table and Oil Olive Production; ANR Public: Delhi, India, Volume 5.
Lombardini, L. & Rossi, L. (2019). Ecophysiology of plants in dry environments. In Dryland Ecohydrology; Springer: Cham, Switzerland, 71–100.
Lovarelli, D., Bacenetti, J., & Fiala, M. (2016). Water footprint of crop productions: a review. *Science of the Total Environment*, 236-251.
Loveys, B.R., Dry, P.R., Stoll, M. & Mccarthy, M. (2000). Using Plant Physiology to Improve the Water Efficiency of Horticultural Crops. *Acta Horticulturae*, 537, 187–197.
Marañón-Jiménez, S., Serrano-Ortíz, P., Peñuelas, J., Meijide, A., Chamizo, S., López-Ballesteros, A., Vicente-Vicente, J.L. & Fernández-Ondoño, E. (2022). Effects of Herbaceous Covers and Mineral Fertilizers on the Nutrient Stocks and Fluxes in a Mediterranean Olive Grove. *European Journal of Agronomy*, 140, 126597.
Marín-de la Rosa, N., Lin, C.W., Kang, Y.J., Dhondt, S., Gonzalez, N., Inzé, D. & Falter-Braun, P. (2019). Drought resistance is mediated by divergent strategies in closely related Brassicaceae. *New Phytologist*, 223, 783–797.
Marino, G., Caruso, T., Ferguson, L. & Marra, F.P. (2018). Gas Exchanges and Stem Water Potential Define Stress Thresholds for Efficient Irrigation Management in Olive (*Olea europea* L.). *Water*, 10, 342.
Marsal, J., Lopez, G. & Girona, J. (2008). Recent advances in regulated deficit irrigation (RDI) in woody perennials and future perspectives. *Acta Horticulturae*, 792, 429-439.
Martín-Gimeno, M.A., Zahaf, A., Badal, E., Paz, S., Bonet, L. & Pérez-Pérez, J.G. (2022). Effect of Progressive Irrigation Water Reductions on Super-High-Density Olive Orchards According to Different Scarcity Scenarios. *Agricultural Water Management*, 262, 107399.
Mccarthy, M., Loveys, B.R., Dry, P.R. & Stoll, M. (2000). Regulated Deficit Irrigation and Partial Rootzone Drying as Irrigation Management Techniques for Grapevines. Deficit Irrigation Practices, 22, 79–87.
McCarthy, M.G., Loveys, B.R., Dry, P.R. & Stoll, M. (2002). Regulated deficit irrigation and partial rootzone drying as irrigation management techniques for grapevines. *Deficit irrigation practices* FAO Water Rep, 22, 79–87.
Mehrazar, A., Massah Bavani, A.R., Gohari, A., & Mashal, M., & Rahimikhoob, H. (2020). Adaptation of water resources system to water scarcity and climate change in the suburb area of megacities. Water Resources Management, 34, 3855–3877.
Mitchell, P.D. & Chalmers, D.J. (1982). The effect of reduced water supply on peach tree growth and yields. *Journal of the American Society of Horticultural Science*, 107, 853-56.
Mitchell, P.D. (1986). Pear fruit growth and the use of diameter to estimate fruit volume and weight. *Hortscience*, 21, 1003-1005.

Mitchell, P.D., Chalmers, D.J., Jerie, P.H. & Burge, G. (1986). The use of initial withholding of irrigation and tree spacing to enhance the effect of regulated deficit irrigation on pear trees. *Journal of the American Society of Horticultural Science*, 111, 858-861.

Mitchell, P.D., Goodwin, I. & Jerie, P.H. (1994). Pear and quince. In: B. Schaffer and P. C. Anderson eds. Handbook of environmental physiology of fruit crops Volume 1 Temperate crops. Boca Raton, Florida, United States of America, CRC Press, Inc.

Mitchell, P.D., Jerie, P.H. & Chalmers, D.J. (1984). The effect of regulated water deficits on pear tree growth, flowering, fruit growth and yield. *Journal of the American Society of Horticultural Science*, 109, 15-19.

Mitchell, P.D., van den Ende, B., Jerie, P.H. & Chalmers, D.J. (1989). Response of "Bartlett" pear to withholding irrigation, regulated deficit irrigation, and tree spacing. *Journal of the American Society of Horticultural Science*, 114, 15-19.

Moldero, D., López-Bernal, Á., Testi, L., Lorite, I.J., Fereres, E. & Orgaz, F. (2021). Long-term almond yield response to deficit irrigation. *Irrigation Science*, 39:409–420.

Moreno-García, M., Repullo-Ruibérriz de Torres, M.A., Carbonell-Bojollo, R.M. & Ordóñez-Fernández, R. (2018). Management of Pruning Residues for Soil Protection in Olive Orchards. *Land Degradation & Development*. 29, 2975–2984.

Moriana, A., Corell, M., Girón, I.F., Conejero, W., Morales, D., Torrecillas, A. & Moreno, F. (2013). Regulated deficit irrigation based on threshold values of trunk diameter fluctuation indicators in table olive trees. *Scientia Horticulturae*, 164, 102-111.

Moriana, A., Orgaz, F., Pastor, M. & Fereres, E. (2003). Yield Responses of a Mature Olive Orchard to Water Deficits. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 128, 425–431.

Mousavi, A., Ardalan, A., Takian, A., Ostadtaghizadeh, A., Naddafi, K., & Massah Bavani, A. (2020). Climate change and health in Iran: a narrative review. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 18(9676), 1-12.

Nackley, L.L., de Sousa, E.F., Pitton, B.J.L., Sisneroz, J. & Oki, L.R. (2020). Developing a water-stress index for potted Poinsettia production. *HortScience*, 55, 1295–1302.

Naor, A. (2004). The interaction of soil and stem-water potential withcrop level, fruit size and stomatal conductance of field-grown‘Black-Amber’ Japanese plum. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 79, 273–280.

Naor, A. (2006). Irrigation scheduling and evaluation of tree water status in deciduous orchards. Acta Horticulturae, 32, 111-165.

Nguyen, C., Sagan, V., Maimaitiyiming, M., Maimaitijiang, M., Bhadra, S. & Kwasniewski, M.T. (2021). Early Detection of Plant Viral Disease Using Hyperspectral Imaging and Deep Learning. *Sensors* (Basel), 21(3):742.

Okunlola, G.O., Olatunji, O.A., Akinwale, R.O., Tariq, A. & Adelusi, A.A. (2017). Physiological response of the three most cultivated pepper species (*Capsicum* spp.) in Africa to drought stress imposed at three stages of growth and development. Scientia Horticulturae, 224, 198–205.

Ortuño, M. F., Conejero, W., Moreno, F., Moriana, A., Intrigliolo, D.S., Biel, C., Mellisho, C.D., Pérez-Pastor, A., Domingo, R., Ruiz-Sánchez, M.C., Casadesus, J., Bonany, J. & Torrecillas, A. (2010). Could trunk diameter sensors be used in woody crops for irrigation scheduling? A review of current knowledge and future perspectives. Agricultural Water Management, 97, 1-11.

Osroosh, Y., Peters, R.T. & Campbell, C.S. (2016). Daylight crop water stress index for continuous monitoring of water status in apple trees. *Irrigation Science*, 34(3), 209–219.

Ouda, S., Zohry, A.E.H., Ouda, S. & Zohry, A.E.H. (2022). Water-smart practices to manage water scarcity. Climate-Smart Agriculture, 3–26.

Oweis, T. (1997). Supplemental Irrigation: A Highly Efficient Water-Use Practice; International Center for Agricultural Research in the Dry Areas (ICARDA): Aleppo, Syria.

Palese, A.M., Nuzzo, V., Favati, F., Pietrafesa, A., Celano, G. & Xiloyannis, C. (2010). Effects of Water Deficit on the Vegetative Response, Yield and Oil Quality of Olive Trees (*Olea europaea* L., Cv Coratina) Grown under Intensive Cultivation. *Scientia Horticulturae*, 125, 222–229.

Paltineanu, C., Septar, L., Moale, C., Nicolae, S. & Nicola, C. (2013). Peach response to water deficit in a semi-arid region. *International Agrophysics*, 27, 305-311.

Pereira, L.S. & Alves, I. (2005). Crop Water Requirements. In Encyclopedia of Soils in the Environment; Hillel, D., Ed.; Elsevier: Oxford, UK, 322–334.

Perez-Pastor, A., Domingo, R., Torrecillas, A. & Ruiz-Sanchez, M.C. (2009). Response of apricot trees to deficit irrigation strategies. *Irrigation Science*, 27, 231-242.

Repullo, M., Carbonell- Bojollo, R., Hidalgo, J., Rodríguez-Lizana, A. & Ordóñez-Fernández, R. (2012). Using Olive Pruning Residues to Cover Soil and Improve Fertility. Soil and Tillage Research, 124, 36–46.

Rouphael, Y. & Colla, G. (2018). Synergistic biostimulatory action: Designing the next generation of plant biostimulants for sustainable agriculture. Frontiers in Plant Science, 9, 1655.

Sapino, F., Pérez-Blanco, C.D., Gutiérrez-Martín, C., et al (2022) Influence of crop-water production functions on the expected performance of water pricing policies in irrigated agriculture. *Agricultural Water Management*, 259: 107248

Shu, R., Cao, X. & Wu, M. (2021). Clarifying regional water scarcity in agriculture based on the theory of blue, green and grey water footprints. Water Resources Management, 35, 1101–1118.

Simoni, S., Caruso, G., Vignozzi, N., Gucci, R., Valboa, G., Pellegrini, S., Palai, G., Goggioli, D. & Gagnarli, E. (2021). Effect of Long-Term Soil Management Practices on Tree Growth, Yield and Soil Biodiversity in a High-Density Olive Agro-Ecosystem. *Agronomy*, 11, 1036.

Slamini, M., Sbaa, M., Arabi, M. & Darmous, A. (2022). Review on partial Root-Zone Drying irrigation: impact on crop yield, soil and water pollution. *Agricultural Water Management*, 271, 107807.

Smith, M. & Steduto, P. (2012). Yield response to water: the original FAO water production function. FAO Irrig Drain Pap 6–13.

Sobreiro, J., Patanita, M.I., Patanita, M. & Tomaz, A. (2023). Sustainability of High-Density Olive Orchards: Hints for Irrigation Management and Agroecological Approaches. *Water*, 15, 2486.

Sun, R., Ma, J., Sun, X., Zheng, L. & Guo, J. (2023). Responses of the leaf water physiology and yield of grapevine via different irrigation strategies in extremely arid areas. *Sustainability*, 15(2887), 1-15.

Testi, L., Goldhamer, D.A., Iniesta, F. & Salinas, M. (2008). Crop water stress index is a sensitive water stress indicator in pistachio trees. *Irrigation Science*, 26(5), 395-405.

Tomaz, A., Coleto Martínez, J. & Arruda Pacheco, C. (2021). Effects of Cover Crops and Irrigation on 'Tempranillo' Grapevine and Berry Physiology: An Experiment under the Mediterranean Conditions of Southern Portugal. *OENO One*, 55, 191–208.

Tomaz, A., Coleto Martinez, J.M. & Arruda Pacheco, C. (2015). Yield and Qualit Responses of 'Aragonez' Grapevines under Deficit Irrigation and Different So Management Practices in a Mediterranean Climate. *Ciência e Técnica Vitivinícola*, 30, 9–20.

Tomaz, A., Pacheco, C.A. & Coleto Martinez, J.M. (2017). Influence of Cover Cropping on Water Uptake Dynamics in an Irrigated Mediterranean Vineyard. *Irrigation and Drainage*, 66, 387–395.

Toscano, S., Ferrante, A., Tribulato, A. & Romano, D. (2019). Response of Mediterranean ornamental plants to drought stress. *Horticulturae*, 5, 6.

Toscano, S., Scuderi, D., Giuffrida, F. & Romano, D. (2014). Responses of Mediterranean ornamental shrubs to drought stress and recovery. *Scientia Horticulturae*, 178, 145–153.

Treeby, M.T., Henriod, R.E., Bevington, K.B., Milne, D.J. & Storey, R. (2007). Irrigation management and rootstock effects on navel orange [*Citrus sinensis* (L.) Osbeck] fruit quality. *Agricultural Water Management*, 91 (1-3), 24-32.

Trentacoste, E.R., Connor, D.J. & Gómez-del-Campo, M. (2021). Response of Oil Production and Quality to Hedgerow Design in Super- High-Density Olive Cv. Arbequina Orchards. *Agronomy*, 11, 1632.

Ullah, I., Mao, H., Rasool, G., Gao, H., Javed, Q., Sarwar, A. & Khan, M.I. (2021). Effect of Deficit Irrigation and Reduced N Fertilization on Plant Growth, Root Morphology andWater Use Efficiency of Tomato Grown in Soilless Culture. *Agronomy*, 11, 228.

Vignozzi, N., Agnelli, A. E., Brandi, G., Gagnarli, E., Goggioli, D., Lagomarsino, A., Pellegrini, S., Simoncini, S., Simoni, S., Valboa, G., Caruso, G. & Gucci, R. (2018). Soil ecosystem functions in a high-density olive orchard managed by different soil conservation practices. *Applied Soil Ecology*, 134, 64–76.

Wang, Z., Li, J., Lai, C., Wang, R.Y., Chen, X. & Lian, Y. (2018). Drying tendency dominating the global grain production area. Global Food Security, 16, 138–149.

Williamson, J.G. & Coston, D.C. (1990). Planting method and irrigation rate influence vegetative and reproductive growth of peach planted at high density. *Journal of the American Society of Horticultural Science*, 115, 207-212.

Wu, Y., Zhao, Z., Liu, S., Huang, X. & Wang, W. (2020). Does partial root-zone drying have advantages over regulated deficit irrigation in pear orchard under desert climates? *Scientia Horticulturae*, 262,

Zahraei, A., Saadati, S. & Eslamian, S. (2017). Deficit irrigation: farmlands. Handbook of Drought and Water Scarcity. Management of Drought and Water Scarcity.