اکوفیزیولوژی و فیتوشیمی گیاهان دارویی و معطر

بررسی اثرات آبیاری بخشی ریشه بر گیاهان زراعی و دارویی

مهدی ملک پور [1*]، مسعود پارسی نژاد [1]

۱- گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران (نویسنده مسئول: m.malekpour61@yahoo.com)

شناسه مقاله

تاریخ دریافت مقاله: دی ۱۴۰۱

تاریخ پذیرش مقاله: اسفند ۱۴۰۱

نوع مقاله: مروری

موضوع: به باغی

چکیده

منابع آب به دلیل افزایش تقاضا برای غذا، خوراک و فیبر برای تولید محصولات کشاورزی بسیار مهم است. نیاز روزافزونی برای استفاده بیشتر از منابع طبیعی زمین، خاک و آب وجود دارد که موجب استفاده گسترده از منابع آبی در تولیدات کشاورزی شده است. برای توسعه بهتر مدیریت آبیاری کشاورزی باید راه حل‌های نوآورانه‌ای برای تکنیک‌های آبیاری کارآمدتر وجود داشته باشد. این مقاله، پیامدهای آبیاری بخشی ریشه (PRD) را روی گونه‌های مختلف گیاهی، مزایا و معایب آن و همچنین تولید هورمون تحت خشک شدن بخشی از ناحیه ریشه را نشان می‌دهد. در این روش آبیاری، در هر دور آبیاری به تناوب فقط نیمی از ریشه آبیاری می‌شود. این روش، یک تکنیک در صرفه جویی آب آبیاری است که در اقلیم‌های خشک و نیمه خشک برای افزایش راندمان مصرف آب آبیاری و بهره وری آب در مقایسه با گیاهان زراعی تحت آبیاری کامل (۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه) استفاده می‌شود. همچنین، به کارگیری این روش سبب افزایش اسانس و مواد موثره گیاهان داروئی می‌شود.

واژگان کلیدی: آبیاری بخشی ریشه، بهره‌وری آب آبیاری، راندمان کاربرد آب و کم-آبیاری.

۱. مقدمه

یکی از بزرگترین چالش‌هایی که امروزه جوامع بشری با آن مواجه هستند نقصان شدید منابع آبی جهت تامین نیاز آبی محصولات است (Tawfik and El-Mouhamady, 2019). در گذشته آبیاری محصولات کشاورزی بدون هیچگونه محدودیتی از نظر تامین منابع آبی صورت می‌گرفت. اما با رشد جمعیت و صنعتی شدن جوامع، تقاضا برای مصرف آب افزایش یافت. لذا بخش کشاورزی جهت تامین منابع آبی مورد نیاز برای کشت محصولات کشاورزی با مشکلات متعددی مواجه می‌باشد (Wilhite and Smith, 2005). از طرفی تمام جنبه‌های فیزیولوژیکی و مرتبط با عملکرد محصول از مراحل اولیه کشت تا برداشت به شدت تحت تأثیر خشکسالی قرار دارد (Chaves and Olieira, 2004; Golipour et al., 2013). در چنین شرایطی زارعین و متخصصین روش‌های گوناگونی را برای جلوگیری از اتلاف منابع محدود آب از قبیل خاک‌ورزی، مالچ پاشی(Kader et al., 2019; Igbal et al., 2020)

و استفاده از مواد ضد تعریق برای محصولات کشاورزی را برای کاهش و بهینه‌سازی مصرف آب بدون تاثیر منفی در عملکرد محصول به کار گرفتند (Schahbazian and Iran Nejad, 2006). اگرچه این تکنیک‌ها می‌توانند اثرات مخرب خشکسالی را به حداقل برسانند، اما بیشتر آن‌ها گران، زمان‌بر یا نیازمند ماشین‌آلات خاصی هستند که توسط تعداد محدودی از کشاورزان امکان فراهم شدن دارد. علاوه بر این، بحران آب، بحران انرژی و نرخ بالای نهاده‌ها، موانع اصلی برای اتخاذ این استراتژی‌های ضد خشکسالی توسط کشاورزان می‌باشد. بنابراین، نیاز به توسعه یک تکنیک مدیریتی وجود دارد که نه تنها مصرف آب را بدون کاهش عمده در عملکرد محصول به حداقل برساند، بلکه برای کشاورزان هم مقرون به صرفه و به راحتی قابل دسترسی باشد.

تحقیقات زیادی به منظور بهبود سیستم‌های آبیاری، راندمان مصرف آب آبیاری و بهره‌وری در سنوات گذشته انجام شده است. ولی، تحقیقات در زمینه مصرف آب کمتر و کارآمد به خوبی مورد توجه قرار نگرفته است (Shao et al., 2008). برخی از کشاورزان، اگر آب فراوان در اختیار داشته باشند، همچنان از سیستم آبیاری غرقابی استفاده می‌کنند.این روش نیاز آبی گیاه را فراهم می‌کند و موجب بالاترین رشد و توسعه کشاورزی و در نهایت حداکثر عملکرد می‌شود. این روزها، سیستم آبیاری کامل به عنوان یک استفاده بی‌رویه از آب تلقی می‌شود، زیرا آبیاری بیش از اندازه[۱] سبب کاهش عملکرد گیاهان می‌شود (Kang and Zhang, 2004).

کشاورزی بزرگترین مصرف کننده آب شیرین در جهان می‌باشد و می‌تواند نسبت به هر مصرف کننده دیگری (صنعت و شرب) از حجم آب زیادی استفاده کند. افزایش دما و غلظت دی اکسید کربن و تغییرات آب و هوایی سبب افزایش نیاز آبی گیاه می‌شود (Kundzewicz et al., 2007). از سوی دیگر، تقاضای غذا در جهان روز به روز به طور پیوسته در حال افزایش است و در عین حال منابع آب در حال کاهش است، که بایستی این تعارض را حل کرد. به طور قطع، نیاز اساسی به افزایش مناطق آبی و عملکرد محصول به دلیل افزایش جمعیت جهان تا سال ۲۰۲۵ وجود دارد که به دلیل عدم وجود منابع آبی کافی عملاً افزایش سطح زیر کشت توجیه فنی و اقتصادی ندارد، لذا باید با حداقل آب مورد نیاز حداکثر عملکرد در واحد سطح را به دست آورد. یکی از این تکنیک ها کم آبیاری می‌باشد که در واقع نوعی مدیریت آبیاری است که اجرای آن در مناطقی که محدودیت منابع آبی وجود دارد توصیه می‌شود. در این روش نیاز آبی گیاه به طور کامل تکمیل نشده بلکه بخشی از نیاز آبی با روش‌های مختلف در اختیار گیاه قرار می‌گیرد. هدف اصلی از کم آبیاری افزایش بهره‌وری مصرف آب است. این هدف یا با کاهش کفایت آبیاری و یا با حذف آبیاری‌های با تاثیر کمتر (آبیاری در مراحل غیر حساس گیاه به تنش آبی) حاصل می‌شود. روش‌های کم آبیاری به سه دسته کلی تقسیم می‌شوند:

- ✓ کم آبیاری سنتی[۲]: روش با افزایش فاصله بین آبیاری‌ها و یا تغییر عمق آب آبیاری اعمال می‌شود.
- ✓ کم آبیاری تنظیم شده[۳]: کاربرد کم آبیاری در مراحل غیر حساس رشد محصول
- ✓ آبیاری بخشی منطقه ریشه[۴]

هدف از این تحقیق معرفی و آشنایی بیشتر با آبیاری بخشی ریشه (PRD) به عنوان ابزاری در جهت کاهش آب مصرفی گیاه (با حفظ حداکثر عملکرد) می‌باشد.

[۱] Over irrigation
[۲] Conventional Deficit Irrigation
[۳] Regulated Deficit Irrigation
[۴] Partial Root Drying technique

۲. مطالعات پیشین

نتایج عملی نشان می‌دهد، زمانی که مقدار آب یکسانی اعمال شود،گیاهان در سیستم PRD عملکرد بهتری نسبت به سیستم کم آبیاری سنتی (DI) دارند که این مسئله منجر به بهره‌وری آب[۵] (WP) بالاتر و حتی کیفیت بهتر میوه می‌شود (Kriedmann and Goodwin, 2003; Kirda et al., 2004; Kang and Zhang, 2004; Shahnazari et al., 2007). با این حال، Wakrim و همکاران (۲۰۰۵) تفاوت معنی‌داری بین راندمان مصرف آب آبیاری[۶] (WUE) در سیستم‌های آبیاری PRD و DI مشاهده نکردند، ولی افزایش قابل توجهی در راندمان مصرف آب در این روش‌ها در مقایسه با آبیاری کامل[۷] (FI) مشاهده شد.

در مطالعه‌ای اثر روش PRD با اجرای سیستم آبیاری قطره‌ای روی گیاه فلفل تند مورد ارزیابی قرار گرفت. تیمارهای آبیاری شامل آبیاری قطره‌ای یک در میان[۸] (ADI)، آبیاری قطره‌ای ثابت[۹] (FDI) و آبیاری قطره‌ای یکنواخت[۱۰] (EDI) بود. نتایج نشان داد سیستم آبیاری قطره‌ای یک در میان در مقایسه با سیستم آبیاری یکنواخت سبب ٤٠ درصد صرفه جویی در مصرف آب بدون کاهش عملکرد شده است (Kang et al., 2001). در تحقیق دیگر، روی فلفل قرمز در شرایط گلخانه‌ای، استفاده از روش PRD، ٢٤ درصد عملکرد محصول را کاهش داد. از طرفی در مقایسه با سیستم آبیاری کامل مقدار بهره وری آب آبیاری ٥٢ درصد در روش PRD بیشتر بود (Guang-Cheng et al., 2008). مطالعه‌ای به منظور بررسی اثر روش کم‌آبیاری و آبیاری بخشی ریشه با سیستم آبیاری بارانی میکرو روی عملکرد، کیفیت و اندازه میوه سیب طی سه سال در یک اقلیم نیمه خشک ایالات متحده انجام شد. در تیمار شاهد (CI) رطوبت خاک در حدود ٨٠ درصد ظرفیت زراعی نگهداری شد. نتایج تفاوت معنی داری بین تیمارهای مختلف در سال اول و سوم را نشان نداد؛ ولی در سال دوم سیستم کم آبیاری، به طور معنی داری عملکرد کمتری نسبت به تیمار شاهد نشان داد (Leib et al., 2006). در تحقیق دیگری، روش PRD نه تنها سبب کاهش عملکرد محصول نشد بلکه با صرفه جویی ٠/١٤ مگالیتر بر هکتار (١٤٠٠ مترمکعب بر هکتار) سبب افزایش بهره‌وری آب شد (Zegbe and Behboudian, 2008).

در مطالعه‌ای روی گیاه گوجه فرنگی در شرایط گلخانه مشخص شد که روش PRD در حدود ٥٠ درصد آب مصرفی گیاه را بدون کاهش عملکرد معنی داری کاهش می‌دهد. همچنین شاخص سطح برگ و رشد رویشی در سیستم PRD کاهش یافت. بنابراین جذب فتوسنتزی سبب رشد محصول گردید (Krida et al., 2004). نتایج تحقیق دیگری روی گوجه فرنگی با استفاده از سیستم آبیاری کامل و روش PRD (٥٠ درصد نیاز آبی) نشان داد عملکرد گوجه فرنگی برای تیمارها یکسان ولی راندمان مصرف آب در تیمار PRD ٧٠ درصد از تیمار آبیاری کامل بیشتر بود (Zegbe et al., 2004).

اثرات روش آبیاری بخشی ریشه روی واکنش فیزیولوژیکی سیب زمینی در شرایط گلخانه و مزرعه مورد مطالعه قرار گرفت (Liu et al., 2006). در گلخانه تیمارها آبیاری کامل و آبیاری بخشی ریشه بودند؛ و در آبیاری مزرعه تیمارها به صورت سیستم آبیاری قطره‌ای نزدیک به ظرفیت ظرفیت زراعی یا استفاده از ٧٠ درصد آبیاری کامل به طور متناوب بودند. نتایج نشان داد در مطالعه مزرعه‌ای روش آبیاری بخشی ریشه دارای راندمان مصرف آب بالاتری نسبت به روش آبیاری کامل می‌باشد. همچنین، تیمار آبیاری بخشی ریشه، آب مصرفی را تا ٣٠ درصد کاهش و راندمان مصرف آب را تا ٦٠ درصد بدون کاهش معنی‌داری در

[۵] Water Productivity
[۶] Water Use Efficiency
[۷] Full Irrigation
[۸] Alternative Drip irrigation
[۹] Fixed Drip irrigation
[۱۰] Even Drip Irrigation

عملکرد غده افزایش داد. در مطالعه‌ای دیگر، اثرات روش‌های آبیاری کامل، آبیاری بخشی ریشه (۵۰ درصد نیاز آبی) و کم آبیاری (۵۰ درصد نیاز آبی) را روی عملکرد و کارایی مصرف آب سیب زمینی در مرحله آغاز غده ای مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد برخلاف نتایج مطالعات پیشین، روش کم آبیاری و آبیاری بخشی ریشه به طور معنی‌داری عملکرد غده سیب زمینی را در مقایسه با روش آبیاری کامل کاهش داده است (Liu et al., 2006). همچنین، روش آبیاری بخشی ریشه و آبیاری کامل سبب صرفه جویی ۳۷ درصدی آب آبیاری در مقایسه با آبیاری کامل شدن، اما راندمان مصرف آب آبیاری در روش‌های آبیاری بخشی ریشه و آبیاری کامل مشابه بود و به طور معنی داری در روش کم آبیاری کاهش یافت. بنابراین با مقادیر یکسان آبیاری، تیمار آبیاری بخشی ریشه مزیتی در مقایسه با تیمار کم آبیاری برای راندمان مصرف آب نداشت. این نتیجه می‌تواند به دلیل اعمال تنش آبی شدید در اثر کاهش مصرف آب در تیمار آبیاری بخشی ریشه (۵۰ درصد نیاز آبی گیاه) باشد. از طرف دیگر، نتایج محققین دیگری نشان داد بررسی‌های بیشتر بر روی روش‌های آبیاری بخشی ریشه و کم آبیاری برای تعیین عامل‌های ناشناخته که به روی روابط پیچیده آب تاثیر می گذارد ضروری است (Wakrim et al., 2005).

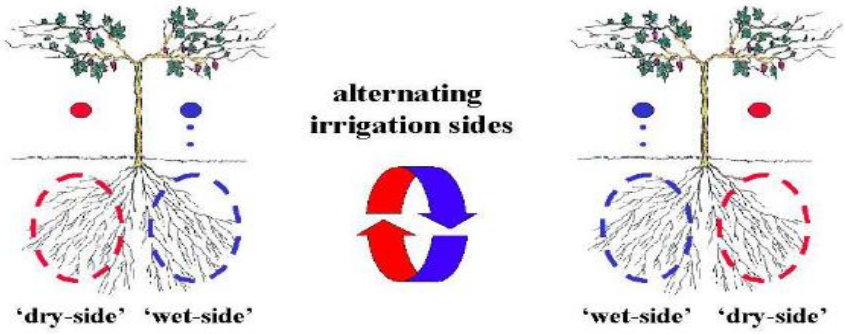
مطالعه دیگر روی سیب زمینی در شرایط مزرعه به مدت دو سال جهت بررسی اثرات روش‌های آبیاری کامل (FI) و آبیاری بخشی ریشه (۷۰ درصد نیاز آبی) روی اندازه غده، عملکرد غده و بهره وری آب انجام شد. نتایج نشان داد که اختلاف معنی‌داری در شاخص سطح برگ (LAI) بین تیمارهای آبیاری بخشی ریشه و آبیاری کامل وجود ندارد. اما ماده خشک اندام هوایی و عملکرد غده در تیمار آبیاری بخشی ریشه از تیمار آبیاری کامل مقداری کمتر بود. عملکرد غده قابل عرضه به بازار (اندازه بین ٤٠ تا ۵۰ میلی‌متر) در روش آبیاری بخشی ریشه ۲۰ درصد از تیمار آبیاری کامل بالاتر بود. در نهایت مشخص شد، اعمال مدیریت آبیاری بخشی ریشه سبب صرفه جویی ۳۰ درصدی در مصرف آب آبیاری شده و افزایش ٦١ درصد بهره‌وری آب می‌شود (Shahnazari et al., 2007). در تحقیق دیگر مشخص شد روش آبیاری بخشی ریشه سبب ۳۳ درصد صرفه جویی در آب آبیاری می‌شود و در دو سال متوالی در مقایسه با روش آبیاری کامل عملکرد محصول مشابه بود. نتایج نشان داد بهره‌وری آب آبیاری به میزان ۳۸ و ٦١ درصد برای دو فصل رشد متوالی در مقایسه با آبیاری کامل بیشتر بود (Jovanovic et al., 2010). در تحقیقی تاثیر پذیری مدیریت آبیاری بخشی ریشه با نوع خاک مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که تاثیر پذیری آبیاری بخشی ریشه به طور معنی داری به بافت خاک زمین‌های تحت کشت بستگی دارد. روش آبیاری بخشی ریشه در اراضی با بافت شن درشت تا ۱۱ درصد و در اراضی با بافت خاک لوم شنی ٣٦ درصد نسبت به روش آبیاری کامل بهره وری آب آبیاری را افزایش می‌دهد. از سوی دیگر بهره‌وری آب در روش آبیاری بخشی ریشه در یک خاک شنی لومی تا ۱۵ درصد بهره‌وری آب را نسبت به آبیاری کامل کاهش می‌دهد. بنابراین، ارتباط معنی‌داری بین روش آبیاری بخشی ریشه و بافت خاک در افزایش بهره وری آب آبیاری وجود دارد و نتایج نشان می‌دهد موفقیت روش آبیاری بخشی ریشه به نوع گیاه، بافت خاک و ویژگی‌های محل مورد مطالعه بستگی زیادی دارد (Ahmadi et al., 2010).

ارزیابی آبیاری بخشی ریشه روی درختان زیتون نشان داد که این روش می‌تواند میزان مصرف آب آبیاری را در مقایسه با آبیاری کامل به نصف کاهش دهد. همچنین، اعمال روش آبیاری بخشی ریشه سبب کاهش ناچیز در عملکرد محصول (۱۵ تا ۲۰ درصد) و افزایش کارایی مصرف آب آبیاری به میزان ٦٠ تا ۷۰ درصد در سیستم آبیاری بخشی ریشه در مقایسه با سیستم آبیاری کامل شد (wahbi et al., 2005). در مطالعه دیگر دو روش کم‌آبیاری و آبیاری بخشی ریشه روی پارامترهای فیزیولوژی گیاه زیتون مقایسه شد و هیچ مزیتی در پارامترهای فیزیولوژیکی اندازه‌گیری شده درختان زیتون بالغ در روش آبیاری بخشی ریشه نسبت به روش کم‌آبیاری مشاهده نشد. با وجود اینکه تاثیر روش آبیاری بخشی ریشه روی رشد و عملکرد محصول ارزیابی نشد،

مشخص شد که نتایج مشابهی در باغات زیتون تحت روش‌های آبیاری ناقص ریشه و کم‌آبیاری می‌تواند حاصل شود. سرانجام این مطالعه نشان داد، با در نظر گرفتن اینکه اعمال روش آبیاری بخشی ریشه مستلزم به کار گیری سیستم آبیاری مناسب است که گران بوده و نیاز به مدیریت صحیح دارد، دلیلی در به کارگیری روش آبیاری بخشی ریشه وجود ندارد (Fernandez et al., 2006).

۳. روش آبیاری بخشی ریشه (PRD)

این روش یک فرم اصلاح شده کم‌آبیاری است (English et al., 1990). در این روش، در هر بار آبیاری فقط نیمی از ریشه گیاه را آبیاری می‌کنیم و به این ترتیب یک قسمت از ریشه آب را جذب و قسمت دیگر خشک می‌ماند. در آبیاری بعدی آن قسمتی که قبلاً تر بود خشک و طرف دیگر آبیاری می‌گردد (شکل ۱). شکل ۲ تفاوت بین انواع سیستم های کم آبیاری را نشان می‌دهد.



شکل ۱. کم آبیاری به روش آبیاری بخشی ریشه

ج) آبیاری بخشی ریشه ب) کم‌آبیاری رایج الف) آبیاری کامل

شکل ۲. تفاوت آبیاری کامل و انواع روش های کم آبیاری

در اصل، مفهوم PRD برای اولین بار توسط Grimes و همکاران (۱۹٦۸) در ایالات متحده روی گیاه پنبه با سیستم آبیاری جوی پشته‌ای متناوب و سپس توسط Sepaskhah و Sichani (۱۹۷٦) روی لوبیا با سیستم آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی در ایران مورد مطالعه قرار گرفت. در ادامه مطالعات گسترده‌ای در استرالیا روی PRD انجام و اصطلاح PRD برای درختان انگور استفاده شد (Kriedmann and Goodwin, 2003). شدت و تناوب خیس و خشک شدن هر طرف ریشه به نوع گیاه، مرحله رشد، نیاز تبخیر، بافت خاک و بیلان آب خاک بستگی دارد (Saeed et al., 2008). با این حال، مکانیسم اثر PRD

بر رشد محصول به طور کامل مشخص نیست، بنابراین، روش ثابت مشخصی برای تعیین زمان بهینه آبیاری برای هر طرف ریشه وجود ندارد. Kriedmann و Goodwin (۲۰۰۳) نشان دادند که وقتی جذب آب خاک از ناحیه خشک ناچیز است، آبیاری بایستی به ناحیه آبیاری نشده (خشک) منتقل شود. علاوه بر این، Liu و همکاران (۲۰۰۸) بیان کردند که تغییر آبیاری به آستانه رطوبتی آب خاک بستگی دارد که در آن، حداکثر غلظت آوند چوبی آبسیزیک اسید[11] (ABA) تولید می‌شود. اسید آبسیزیک یک هورمون گیاهی است که در ریشه گیاه و در خاک‌های خشک شده تولید و با جریان آب به آوندهای چوبی و برای تنظیم فیزیولوژی گیاه به اندام هوایی منتقل می‌شود (Kang and Zhang, 2004). بنابراین، ریشه‌های گیاه در سیستم PRD خشک شدن خاک را تشخیص و در ادامه اسید آبسیزیک را تولید می‌کنند که سبب کاهش توسعه برگ و هدایت روزنه‌ای می‌شود و به طور همزمان ریشه‌ها در خاک مرطوب آب مورد نیاز را جهت تامین نیاز آبی گیاه جذب می‌کنند (Zegbe et al., 2006).

به طور کلی، روش آبیاری بخشی ریشه را می‌توان به شکل‌های مختلف بسته به نوع گیاه، شرایط خاک، شرایط محیطی و روش آبیاری مورد استفاده قرار داد. در سیستم آبیاری جویچه‌ای یک در میان (شکل ۳)، آبیاری بخشی ریشه به عنوان یک روش صرفه جویی در مصرف آب آبیاری مورد استفاده قرار گرفت (Grimes et al., 1968). بعداً، سیستم آبیاری بخشی ریشه برای محصولات مختلف با استفاده از سیستم آبیاری جویچه ای متناوب که سبب افزایش بهره‌وری آب کشاورزی می‌شود، به کار برده شد (Kirda et al., 2005; Sepaskhah and Ghasemi, 2008). PRD در روش‌های آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی برای محصولاتی مانند لوبیا (Sepaskhah and Sichani, 1976)، فلفل تند (Kang et al., 2001)، سیب (Leib et al., 2006)، سیب زمینی (Shahnazari et al., 2007)، گوجه فرنگی (Kirda et al., 2004)، پنبه (Du et al., 2008a) و انگور (Duetal., 2008b) مورد استفاده شده است. در تحقیقی از روش آبیاری بارانی کم فشار دقیق (LEPA) برای اعمال PRD برای آبیاری گیاه ذرت، سورگوم و گندم زمستانه با موفقیت استفاده شد (Schneider and Howell, 1999).

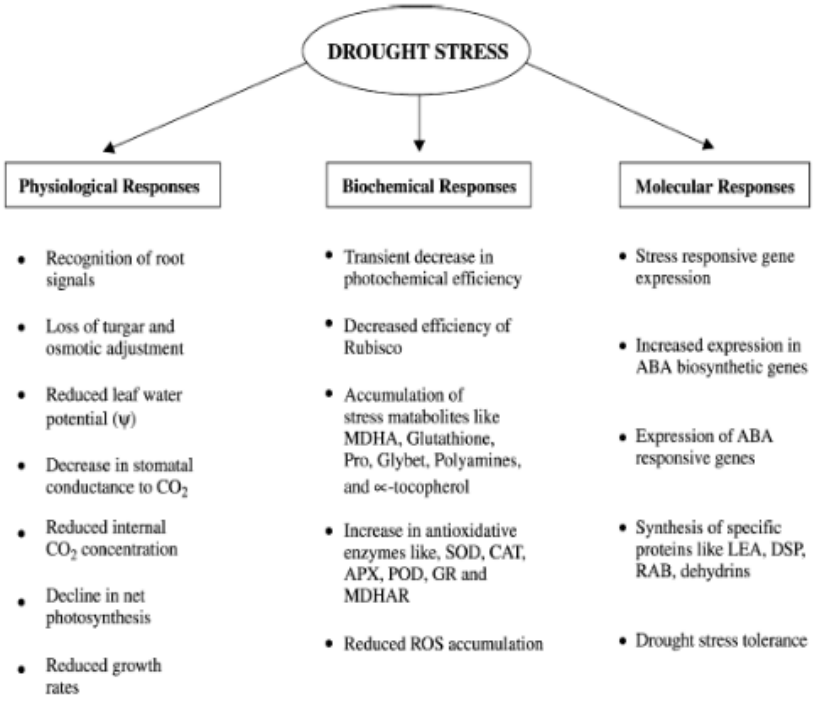
شکل ۳. سیستم آبیاری جویچه ای یک در میان به روش PRD

- تئوری روش آبیاری PRD

اثر تنش آبی بر روی گیاهان در سطوح فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و مولکولی در شکل ٤ نشان داده شده است. محصولی که برای صرفه‌جویی در مصرف آب با روش PRD آبیاری می‌شود، ممکن است با توجه به شدت و زمان تنش آبی، واکنش‌های مختلفی به

[11] Absisic acid

تنش آبی از نظر این سه سطح نشان دهد. با این حال، این تحقیق بیشتر بر روی اثرات تنش آبی در سطوح فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی متمرکز شده است که نقش مهمی در تنظیم رشد گیاه دارد که مستقیماً با ویژگی‌های کمی و کیفی عملکرد گیاه ارتباط دارد.



شکل ۴. مبانی فیزیولوژیکی و مولکولی تحمل به تنش خشکی (Shao et al., 2008)

- سیگنال شیمیایی و هیدرولیکی در روش PRD

ریشه‌هایی که در شرایط خشکی قرار دارند، ABA بیشتری نسبت به شرایط عادی تولید می‌کنند، این مسئله سبب ارسال سیگنالی به برگ‌ها می‌شود که سبب کاهش هدایت روزنه‌ای می‌شود (Zhang, 2004; Bauerle et al., 2006). این یک واکنش ضد تنش شیمیایی از طرف ریشه گیاه می‌باشد که با جریان تعرق به سمت اندام هوایی حرکت می‌کند و هدایت روزنه‌ای گیاه را کاهش می‌دهد (Kang and Zhang, 2004). این واکنش سبب کنترل رشد برگ در گندم (Ali et al., 1998)، ذرت (Bahrun et al., 2002)، سیب زمینی (Liu et al., 2006) و گوجه فرنگی (Topcu et al., 2007) می‌شود. کاهش رشد برگ سبب کاهش مصرف کربن و انرژی می‌شود و نسبت بیشتری از جذب گیاه به سیستم ریشه واگذار می‌شود و سبب رشد و توسعه بیشتر ریشه می‌شود (Taiz and Zeiger, 2006).

در تنش آبی خفیف، ABA به عنوان یک واکنش شیمیایی اصلی[12] (CS) زودتر از تغییر وضعیت آب گیاه (واکنش هیدرولیکی) عمل می‌کند. اما، در تنش آبی شدید، ممکن است هر دو واکنش شیمیایی وهیدرولیکی در تنظیم فرآیندهای فیزیولوژیکی گیاه نقش داشته باشند (Liu et al., 2003). در بعضی از گیاهان، واکنش‌های شیمیایی وهیدرولیکی مستقل از یکدیگر عمل می‌کنند، و در برخی از گیاهان به هم وابسته می باشند (Tardieu and Davies, 1993; Comstock, 2002; Wakrim et al.,

[12] Chemical signal

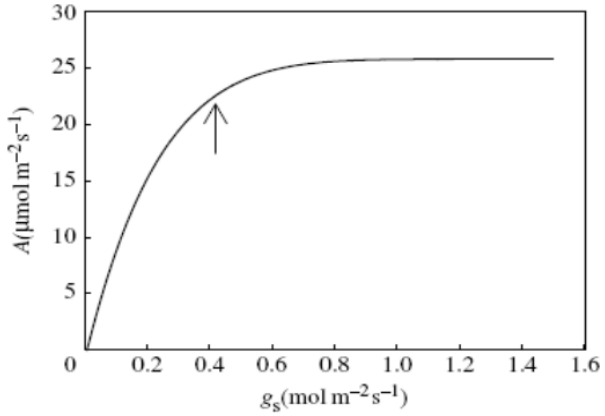
2005). در سیستم PRD تعادلی بین CS و HS برقرار است. در اثر این تعادل، ریشه‌های قسمتی که آبیاری می‌شود، آب کافی برای حفظ پتانسیل آبی گیاه جذب کرده، و ریشه‌های قسمتی که آبیاری نمی‌شود، جهت کاهش هدایت روزنه‌ای، ABA تولید می‌کنند. این فرایند، سبب بهبود مصرف آب و افزایش بهره‌وری آب (WP) می‌شود (Kang et al., 2000; sobeith et al., 2004; Zegbe et al., 2004; Zegbe et al., 2006; Saeed et al., 2008; Ahmadi et al., 2010). سایر واکنش‌های شیمیایی مانند pH ، غلظت یون‌های معدنی و هورمون‌های گیاهی هم سبب کاهش هدایت روزنه‌ای می‌شود (Wiilkinson, 1999).

تنش آبی ملایم سبب کاهش جذب مواد مغذی و افزایش pH شیره آوند چوبی می‌شود. این فرایند سبب می‌شود تا مقادیر بیشتری از ABA در برگ از طریق جریان تعرق به روزنه منتقل شود (Taiz and Zeiger, 2006). pH بالاتر در شیره آوند چوبی به عنوان یک واکنشی می‌باشد که گیاه در برابر خشکسالی از خود نشان می‌دهد که در اثر آن طول برگ از طریق مکانیسمی وابسته به ABA کاهش می‌یابد (Liu et al., 2003). همچنین نتایج تحقیقات نشان می‌دهد pH شیره آوند چوبی در جو (Bacon et al., 1998)، ذرت (Bahrun et al., 2002)، گوجه فرنگی(Halbrook et al., 2002; Mingo et al., 2004) و سویا (Liu et al., 2003) با خشک شدن خاک افزایش یافت که با افزایش غلظت ABA در شیره آوند چوبی همبستگی دارد.

- تبادل گاز در سیستم آبیاری PRD

آب در اثر تعرق از روزنه‌ها خارج و CO_2 برای عمل فتوسنتز از طریق روزنه‌ها جذب می‌شود. بنابراین، هر گونه تغییر در باز شدن روزنه بر هدایت روزنه[13] (g_s) و شدت فتوسنتز[14] (A_n) تأثیر می‌گذارد. شدت فتوسنتز گیاه در تنش‌های کم تغییرات زیادی ندارد، زیرا شدت فتوسنتز نسبت به کاهش فشار آماس در مقایسه با توسعه برگ حساسیت خیلی کمی دارد (Taiz and Zeiger, 2006). اما، تنش آبی شدید معمولاً بر هر هدایت روزنه‌ای و شدت فتوسنتز تأثیر می‌گذارد.

هدایت روزنه‌ای کاهش یافته در مراحل اولیه تنش آبی، بیشتر از کاهش غلظت CO_2 بین سلولی که عامل محرک فتوسنتز است، سرعت تعرق را مهار می‌کند. به عبارت دیگر، به دلیل رابطه غیر خطی بین شدت فتوسنتز و هدایت روزنه‌ای (شکل ۵)، و حساسیت کمتر شدت فتوسنتز نسبت به هدایت روزنه‌ای به تنش آبی، بهره‌وری آب در تنش آبی ملایم افزایش می‌یابد.



شکل ۵- رابطه معمولی بین شدت فتوسنتز و هدایت روزنه‌ای

(فلش نقطه‌ای نشان می‌دهد که An به دلیل تنش آبی شدید به شدت کاهش می یابد)(Morison et al., 2008)

[13] Stomatal conductance
[14] Photosynthesis rate

مزیت آبیاری بخشی ریشه (PRD) نسبت به کم آبیاری (DI) این است که جذب آب از سمت مرطوب سیستم ریشه وضعیت گیاه را به لحاظ آب در وضعیت مطلوبی نگه می‌دارد، در حالی که ریشه‌ها در سمت خشک باعث افزایش تولید ABA می‌شوند که سبب کاهش هدایت روزنه‌ای (Tang et al., 2005; Shahnazari et al., 2007; Du et al., 2008b; Saeed et al., 2008) و افزایش کارائی مصرف آب می‌شود (Davies et al., 2002). چندین مطالعه در شرایط مختلف محیطی نشان داده می‌دهد که در حالی که هدایت روزنه‌ای ممکن است در PRD کاهش یابد (میزان کاهش، بستگی به حساسیت به خشکی محصول و یا شدت تنش آبی دارد)، اما شدت فتوسنتز به طور قابل توجهی در مقایسه با آبیاری کامل تحت تاثیر قرار نمی‌گیرد. مطالعات روی گیاه پنبه (Tang et al., 2005; Du et al., 2008a)، فلفل تند (Kang et al., 2001)، ذرت (Kang et al., 2000)، انگور (Du et al., 2008b)، سیب زمینی (Liu et al., 2008)، گوجه فرنگی (Zegbe et al., 2004) و سیب (Zegbe and Behoboudian; 2008) نشان می‌دهد که شدت فتوسنتز در سیستم PRD در مقایسه با آبیاری کامل کاهش نمی‌یابد. با این حال، مطالعاتی در مورد سیب زمینی (Liu et al., 2006) و ذرت (Kirda et al., 2005) وجود دارد که گزارش کرده‌اند شدت فتوسنتز به طور قابل توجهی در سیستم PRD کاهش یافته است. چنین اختلافاتی ممکن است به خاطر شرایط خاص منطقه مورد مطالعه باشد، به طوریکه گویی شرایط سیستم PRD در خاک رخ نداده است (Ahmadi et al., 2010).

- مدل سازی تبادل گاز در سیستم آبیاری PRD

مدل‌های ریاضی بسیاری (فیزیکی یا تجربی) برای نشان دادن رابطه بین تبادل گاز و پارامترهای محیطی (شدت فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای، غلظت ABA آوند چوبی، رطوبت نسبی و غلظت CO_2) در شرایط مختلف تنش آبی ارائه شده است (Ball et al., 1987; Tardiue, 1993). Tenhunen و همکاران (۱۹۹٤) پیشنهاد کردند که رابطه Ball و همکاران (۱۹۸۷) با یک ضریب تصحیح برای در نظر گرفتن تنش آبی و ABS آوند چوبی که تاثیر تنظیمی کاهشی بر قابلیت هدایت روزنه‌ای دارد اصلاح شود. این ضرائب اصلاحی به صورت تابع نمائی نزولی یا مدل‌های نمایی مضاعف به کار گرفته شدند (Tardieu, 1993). با این حال، Dodd و همکاران (۲۰۰۸) گزارش کردند که کمبود اطلاعات کمی در مورد چنین رابطه‌ای برای PRD وجود دارد. برای پرداختن به موضوع مطرح شده و رفع این مشکل در مدل‌سازی تبادل گاز، Ahmadi و همکاران (۲۰۰۹) یک مدل تبادل گازمبتنی بر نظریه های مکانیستیکی[15] ارائه کرده که امکان شبیه سازی بهتر تبادل گاز در سناریوهای مختلف PRD و بافت‌های مختلف خاک را فراهم می‌کند.

- توسعه ریشه و جذب آب در سیستم آبیاری PRD

توسعه و توزیع ریشه تحت تأثیر تغییرات مکانی و زمانی رطوبت خاک است (Wang et al., 2009). علاوه بر این، تغییرات مکانی و زمانی، برای جذب آب و مواد مغذی از خاک (که برای حفظ فعالیت‌های فیزیولوژیکی اندام هوایی گیاه لازم است) می‌بایست وجود داشته باشد. تنش آبی کم در خاک منجر به رشد ترجیحی ریشه در ناحیه مرطوب خاک و جذب آب از طریق گسترش سیستم ریشه و افزایش تراکم طول ریشه[16] (دارای واحد سانتی‌متر ریشه بر سانتی‌متر خاک) می‌شود (Songsri et al., 2008). مطالعات قبلی نشان داد که PRD سبب افزایش رشد ریشه‌های اولیه و ثانویه (Kang et al., 2000)، افزایش رشد ریشه (Dry et

[15] Mechanistic gas exchangeable model
[16] Root length density

al., 2000) و جرم ریشه (Mingo et al., 2004)، افزایش هدایت هیدرولیکی ریشه ناشی از ترشح هورمون ABA (Taiz and Zeiger, 2006; Thompson et al., 2007) و افزایشجذب مواد مغذی (Wang et al., 2009) می‌شود. میزان جذب آب توسط گیاه پس از آبیاری مجدد در شرایط تنش آبی در مقایسه با آبیاری کامل افزایش می‌یابد. این مسئله به دلیل بهبود هدایت هیدرولیکی سیستم های ریشه گیاهان است که تحت تنش آبی قرار دارند (Kang and zhang, 2004). این افزایش در هدایت هیدرولیکی ریشه ممکن است به وسیله ریشه‌های ثانویه جدید و تغییرات در ریشه های قدیمی در هنگام قرار گرفتن در معرض مرطوب شدن مجدد بیان شود (Kang and zhang, 2004). علاوه بر این، هدایت هیدرولیکی ریشه درختان سیب، انگور، هلو و گلابی تحت آبیاری محدود افزایش یافت (Poni et al., 1992). همچنین ثابت شده است که جذب مواد مغذی در PRD بیشتر از FIبرای محصولات زراعی مختلف است (Kirda et al., 2005; Li et al., 2007; Wang et al., 2009)؛ زیرا، ریشه‌های تازه تشکیل شده در PRD به دلیل دسترسی بیشتر به رطوبت خاک، جذب مواد مغذی بیشتری از خاک دارند (Kang and zhang, 2004).

رطوبت خاک در قسمت آبیاری شده PRD به طور موثرتری در مقایسه با روش آبیاری کامل (FI) تخلیه می‌شود (Kang et al., 2000; Rodrigues et al., 2008). این امر نشان می‌دهد که سیستم ریشه می‌تواند تا حدی افزایش دسترسی به آب محدود در بخش آبیاری نشده PRD را به دلیل افزایش هدایت هیدرولیکی ریشه جبران کند. در آبیاری بخشی ریشه شیب هیدرولیکی بیشتری بین فصل مشترک ریشه و خاک نسبت به آبیاری کامل مشاهده شده است (Liu et al., 2006). این موضوع برداشت آب بیشتر از خاک را در روش PRD توجیه می‌کند. روش کم آبیاری در مقایسه با روش PRD دارای معایب بیشتری می‌باشد، زیرا کم آبیاری می‌تواند باعث گسترش ریشه‌ها در خاک خشک شده و ممکن است سبب تغییرات آناتومی در ریشه گیاه از قبیل ایجاد بافت چوب پنبه‌ای بر روی پوست ریشه، در هم شکسته شدن پوسته بیرونی و کاهش ریشه های ثانویه شاداب شود (North and Nobel, 1991).

- مزایای سیستم آبیاری PRD

- ✓ افزایش راندمان مصرف آب آبیاری: راندمان مصرف آب تیمارهای آبیاری کامل (FI) در مقایسه با راندمان مصرف آب سیستم PRD کاهش می‌یابد (Ahmad et al., 2020; Rashid et al., 2019; Ezzo et al., 2020). در محصول ذرت، روش آبیاری PRD مصرف آب را به میزان ۳۵ درصد کاهش داد ولیکن عملکرد گیاه در مقایسه با آبیاری کامل ٦ تا ۱۱ درصد کاهش پیدا کرد (Kang and Zhang, 2004). در یک مطالعه تحقیقاتی دیگر روی فلفل تند با سیستم آبیاری قطره‌ای، گزارش شد که PRD مصرف آب آبیاری را تا ٤۰ درصد کاهش داد و کاهش عملکردی در مقایسه با آبیاری کامل مشاهده نشد (Kang et al., 2001). سیستم آبیاری قطره‌ای PRD در مناطق مختلف جهان مانند چین، یانگلینگ و شانشی در باغ‌های هلو و سیب (Gong et al., 2001)، و سیستم آبیاری غرقابی در باغ گلابی در ویکتوریا و استرالیا استفاده شد (Kang et al., 2001). نتایج نشان داد در باغ هلو آب مصرفی ۵۲ درصد و در باغ سیب ۲۳ درصد کاهش یافت (Kang and Zhang, 2004).
- ✓ بهبود کیفیت میوه: استراتژی PRD سبب تولید میوه های با کیفیت بهتر در بسیاری از گونه های گیاهی مانند انگور (Dry et al., 2000)، محصول پنبه (Tang et al., 2005; Iqbal et al., 2019)، طالبی (Ezzo et al., 2020)، گندم (Ahmad

et al., 2020; Rashid et al., 2019)، محصول گوجه فرنگی (Kirda et al., 2004) و فلفل تند (Dorji et al., 2005) در بسیاری از مناطق جهان شده است.

- ✓ جذب آب و مواد غذایی: به دلیل رشد ریشه‌های جدید در سیستم آبیاری PRD ممکن است سبب جذب بیشتر رطوبت خاک، مواد مغذی و عناصر ضروری گیاه شود. (Kang et al., 2001)
- ✓ تولید قند، پرولین و آنتی اکسیدان ها (مکانیزم دفاعی گیاه): در شرایط تنش آبی، آنزیم های آنتی اکسیدانی مانند SOD، POD، CAT و APX در گیاه تولید و به عنوان یک مکانیسم دفاعی برای جذب گونه‌های فعال اکسیژن[17] (ROS) عمل می‌کنند (Sadak et al., 2019; Sadak et al., 2020) که در شرایط تنش غیرزیستی تولید می‌شوند. این آنزیم‌ها ابزار قدرتمندی برای مکانیسم دفاعی گیاهان در برابر شرایط نامساعد آب و هوایی می‌باشند (Sadak et al. 2020). علاوه بر این، میزان قند کل و پرولین نیز در سیستم آبیاری PRD بیشتر از آبیاری کامل (FI) می‌باشد (Abdollah et al., 2019; Iqbal et al., 2020; Raza et al., 2017).

- معایب سیستم آبیاری PRD

- ✓ تولید ABA در سیستم آبیاری PRD منجر به بسته شدن نسبی روزنه‌ها برای کاهش تلفات تعرق می‌شود، اما در عین حال سبب کاهش جذب دی اکسید کربن توسط گیاهان می‌شود. کاهش CO_2 باعث کاهش تولید زیست توده در گیاهان تحت PRD می‌شود. در درختان میوه، مشاهده‌ای مبنی بر کاهش عملکرد ثبت نشده است، اما در غلات حدود ۱۰ درصد کاهش عملکرد به دلیل جذب کمتر دی اکسید کربن گزارش شده است (Shahnazari et al., 2007).
- ✓ برنامه ریزی مناسبی برای اجرای تکنیک PRD لازم است. در غیر این صورت، اگر دور آبیاری از حد مشخصی بیشتر شود، ممکن است مشکلاتی به لحاظ شوری در ناحیه خشک ریشه به وجود آید.

۴. نتیجه‌گیری

روش آبیاری PRD یک استراتژی ضروری برای حفظ آب است و از دهه گذشته بیشتر برای گونه‌های باغی، زراعی و درختی جهت افزایش بهره‌وری آب در مناطق دارای منابع آبی محدود استفاده شده است. سیستم PRD روش کارآمدتری نسبت به روش کم‌آبیاری است و می‌تواند با کاهش عملکردی در حدود ۱۰ درصد، به میزان ۵۰ درصد در مصرف آب کشاورزی صرفه‌جویی کند، علاوه بر این کیفیت میوه را در مقایسه با سیستم‌های آبیاری رایج و کم‌آبیاری بهبود بخشد. نوع کشت و رقم محصول، عوامل محیطی و عوامل ادافیکی، نتایج سیستم PRD را تحت تاثیر قرار می‌دهد. برخی از محصولات ممکن است به کم آبی حساس باشند، بنابراین برای چنین محصولاتی باید یک یا دو آبیاری اضافی در مراحل بحرانی رشد انجام گردد. امروزه کمبود آب شیرین برای تولید محصولات کشاورزی وجود دارد. شکی نیست که سیستم PRD یک تکنیک جدید آبیاری است، اما استفاده از مالچ‌ها (مالچ پلاستیکی سیاه، کاه گندم و چوب پنبه) علاوه بر این برای سیستم PRD مفید خواهد بود (Iqbal et al., 2019; Ahmad et al., 2020) در حالی که همچنان کاهش تلفات آب، افزایش راندمان مصرف آب، افزایش بهره وری آب و کیفیت بهتر محصول را فراهم می‌کند.

[17] Reactive Species Oxygen

۵. پیشنهادات

- ✓ نیاز آبی گیاهان از یک اقلیم به اقلیم دیگر و با در نظر گرفتن حساسیت آن‌ها به تنش آبی متفاوت است. بنابراین، باید تعیین نمود که چه مقدار آب باید به عنوان سیستم PRD ، یعنیPRD_{100} ، PRD_{70} و PRD_{50} در محصولات مختلف تحت شرایط آب و هوایی مختلف استفاده نمود.
- ✓ ریشه‌های جدید زمانی که برای مدت طولانی در معرض دوره‌های خشک قرار می‌گیرند ممکن است حساسیت و تماس خود را با خاک از دست بدهند. لازم است بدانیم که این ریشه‌ها چه مدت می‌توانند تحت سیستم PRD زنده بمانند.
- ✓ برخی از مراحل رشد محصولات حساس به تنش آبی می‌باشد. بنابراین، نیاز به بررسی دارد که در کدام مراحل رشد سیستم PRD باید اعمال شود یا از آن اجتناب نمود.
- ✓ ضرایب گیاهی درسیستم PRD باید ارزیابی گردد تا بتوان از آن در مدیریت آب آبیاری استفاده کرد.
- ✓ کارائی سیستم PRD در انواع مختلف خاک‌ها باید مورد بررسی و ارزیابی قرار گیرد.
- ✓ روش و مقادیر مصرف کود در سیستم PRD به منظور افزایش کارایی سیستم می‌بایست ارزیابی گردد.

۶. منابع

Abdollah, M.M.S., El-Bassiouny, H.M.S. and AbouSeeda, M.A. 2019. Potential role of kaolin or potassium sulfate as anti-transpirant on improving physiological, biochemical aspects and yield of wheat plants under different watering regimes. *Bulletin of the National Research Centre*, 43: 134.

Ahmad, S., Raza, M.A.S., Saleem, M.F., Zaheer, M.S., Iqbal, R., Haider, I., Aslam, M.U., Ali, M. and Khan, I.H. 2020. Significance of partial root zone drying and mulches for water saving and weed suppression in wheat. *Journal of Animal and Plant Sciences*, 30(1): 154-162.

Ahmadi, S.H., Andersen, M.N., Plauborg, F., Poulsen, R.T. and Hansen, S. 2009. A quantitative approach to developing more mechanistic gas exchange models for field grown potato: A new insight into chemical and hydraulic signalling. *Agricultural and Forest Meteorology*, 149: 1541-1551.

Ahmadi, S.H., Andersen, M.N., Plauborg, F., Poulsen, R.T., Jensen, C.R., Sepaskhah, A.R. and Hansen, S. 2010. Effects of irrigation strategies and soils on field grown potatoes: Yield and water productivity. *Agricultural Water Management*. 97(11): 1923-1930. DOI 10.1`016/j.agwat.2010.07.007.

Ali, M., Jensen, C.R. and Mogensen, V.O. 1998. Early signals in field grown wheat in response to shallow soil drying. *Australian Journal of Plant Physiology*, 25: 871-882.

Bahrun, A., Jensen, C.R., Asch, F. and Mogensen, V.O. 2002. Drought-induced changes in xylem pH, ionic composition, and ABA concentration act as early signals in field-grown maize (*Zea mays* L.). *Journal of Experimental Botany*, 53: 251-263.

Ball, J.T., Woodrow, I.E. and Berry, J.A. 1987. A model predicting stomatal conductance and its contribution to the control of photosynthesis under different environmental conditions. *In Progress in Photosynthesis Research*, (ed. J. Biggins), 4: 5. 221-224.

Comstock, J.P., 2002. Hydraulic and chemical signaling in the control of stomatal conductance and transpiration. Journal of Experimental Botany, 53: 195-200.

Davies, W.J., Wilkinson, S. and Loveys, B.R. 2002. Stomatal control by chemical signaling and the exploitation of this mechanism to increase water use efficiency in agriculture. *New phytologist*, 153: 449-460.

Dodd, I.C., Egea, G. and Davies, W.J. 2008. Abscisic acid signalling when soil moisture is heterogeneous: decreased photoperioed sap flow from drying roots limits abscisic acid export to the shoots. *Plant, Cell and Environment*, 31: 1263-1274.

Dorji, K., Behboudian, M.H. and Zegbe-Dominguez, J.A. 2005. Water relations, growth, yield, and fruit quality of hot pepper under deficit irrigation and partial rootzone drying. *Scientia Horticulturae*, 104(2): 137-149.

Dry, P.R., Loveys, B.R. and During, H. 2000. Partial drying of the rootzone of grape. II. Changes in the pattern of root development. *Vitis*, 39(1): 9-12.

Du, T., Kang, S., Zhang, J. and Li, F. 2008a. Water use and yield responses of cotton to alternate partial root zone drip irrigation in the arid area of north-west China. *Irrigation Science*, 26: 147-159.

Du, T., Kang, S., Zhang, J., Li, F. and Yan, B. 2008b. Water use efficiency and fruit quality of table grape under alternate partial root-zone drip irrigation. *Agricultural Water Management*, 95: 659-668.

English, M.J, Musick, J.T. and Murty, V.V.N. 1990. Deficit irrigation. In: Management of farm irrigation systems (Hoffman, G.J., Howell, T.A., and Solomon, K.H., Editors). ASAE Monograph no. 9. American Society of Agricultural Engineers publisher, 1020p.

Ezzo, M.I., Mohamed, A.S. and Glala, A.A. 2020. Utilization of grafting technique for sustaining cantaloupe productivity and quality under deficit irrigation water. *Bulletin of the National Research Centre*, 44: 1-11.

Fernandez, J.E., Diaz-Espejo, A., Infante, J.M., Duran, P., Palomo, M.J., Chamorro, V., Giron, I.F. and Villagarica, L. 2006. Water relations and gas exchange in olive trees under regulated deficit irrigation and partial root-zone drying. *Plant and Soil*, 284: 273-291.

Gholipoor, M., Sinclair, T.R., Raza, M.A.S., Löffler, C., Cooper, M. and Messina, C.D. 2013. Maize hybrid variability for transpiration decrease with progressive soil drying. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 199(1): 23-29.

Grimes, D.W., Walhood, V.T. and Dickens, W.L. 1968. Alternate-furrow irrigation for San Joaquin valley cotton. *California Agriculture*, 22: 4-6.

Guang-Cheng, S., Zhan-Yua, Z., Nac, L., Shuang-Ena, Y. and Weng-Ganga, X. 2008. Comparative effects of deficit irrigation (DI) and partial rootzone drying (PRD) on soil water distribution, water use, growth and yield in greenhouse grown hot pepper. *Scientia Horticulturae*, 119: 11-16.

Iqbal, R., Raza, M.A., Saleem, M.F., Khan, I.H., Ahmad, S., Zaheer, M.S., Aslam, M.U. and Haider, I. 2019. Physiological and biochemical appraisal for mulching and partial rhizosphere drying of cotton. *Journal of Arid Land*, 11: 785-794.

Iqbal, R., Raza, M.A.S., Valipour, M., Saleem, M.F., Zaheer, M.S., Ahmad, S., Toleikiene, M., Haider, I., Aslam, M.U. and Nazar, M.A. 2020. Potential agricultural and environmental benefits of mulches-a review. *Bulletin of the National Research Centre*, 44(1): 1-16.

Jovanovic, Z., Stikic, R., Vucelic-Radovic, B., Paukovic, M., Brocic, Z., Matovic, G., Rovcanin, S. and Mojevic, M. 2010. Partial root-zone drying increases WUE, N and antioxidant content in field potatoes. *European Journal of Agronomy*, 33: 124-131.

Kader, M.A., Singha, A., Begum, M.A., Jewel, A., Khan, F.H. and Khan, N.I. 2019. Mulching as water-saving technique in dryland agriculture. *Bulletin of the National Research Centre*, 43(1): 1-6.

Kang, S.Z., Shi, P., Pan, Y.H., Liang, Z.S., Hu, X.T. and Zhang, J. 2000. Soil water distribution, uniformity and water-use efficiency under alternate furrow irrigation in arid areas. *Irrigation Science*, 19: 181-190.

Kang, S., Zhang, L., Hu, X., Li, Z. and Jerie, P. 2001. An improved water use efficiency for hot pepper grown under controlled alternate drip irrigation on partial roots. *Scientia Horticulturae*, 89: 257-267.

Kang, S.Z. and Zhang, J.H. 2004. Controlled alternate partial root-zone irrigation: its physiological consequences and impact on water use efficiency. *Journal of Experimental Botany*, 55: 2437-2446.

Kirda, C., Çetin, M., Dasgan, Y., Topçu, S., Kaman, H., Ekici, B., Derici, M.R. and Ozguven, A.I. 2004. Yield response of greenhouse grown tomato to partial root drying and conventional deficit irrigation. *Agricultural water management*, 69(3): 191-201.

Kirda, C., Topcu, S., Kaman, H., Ulger, A.C., Yazici, A., Cetin, M. and Derici, M.R. 2005. Grain yield response and N-fertiliser recovery of maize under deficit irrigation. *Field Crops Research*, 93: 132-141.

Kriedmann, P.E. and Goodwin, I. 2003. Regulated deficit irrigation and partial rootzone drying. *Irrigation insights* no.4, Land and Water Australia, Canberra, 102p.

Kundzewicz, Z.W., Mata, L.J., Arnell, N.W., Doll, P., Kabat, P., Jimenez, B., Miller, K., Oki, T., Zekai, S. and Shiklomanov, I. 2007. Fresh water resources and their management. In: Parry, M.L., Palutikof, J.P., vander Linden, P.J., Hanson, C.E. (Eds.), Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability Contribution of Working Group II to AR4, IPCC. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 173-210.

Leib, B.G., Caspari, H.W., Redulla, C.A., Andrews, P.K. and Jabro, J. 2006. Partial rootzone drying and deficit irrigation of 'Fuji' apples in a semi-arid climate. *Irrigation Science*, 24: 85-99.

Li, F., Liang, J., Kang, Sh. and Zhang, J. 2007. Benefits of alternate partial root-zone irrigation on growth, water and nitrogen use efficiencies modified by fertilization and soil water status in maize. *Plant and Soil*, 295: 279-291.

Liu, F., Jensen, C.R. and Andersen, M.N. 2003. Hydraulic and chemical signals in the control of leaf expansion and stomatal conductance in soybean exposed to drought stress. *Functional Plant Biology*, 30: 65-73.

Liu, F., Shahnazari, A., Andersen, M.N., Jacobsen, S.E. and Jensen, C.R. 2006. Effects of deficit irrigation (DI) and partial root drying (PRD) on gas exchange, biomass partitioning, and water use efficiency in potato. *Scientia Horticulturae*, 109: 113-117.

Liu, F., Song, R., Zhang, X., Shahnazari, A., Andersen, M.N., Plauborg, F., Jacobsen, S.E. and Jensen, C.R. 2008. Measurement and modeling of ABA signaling in potato (*Solanum tuberosum* L.) during partial root-zone drying. *Environmental and Experimental Botany*, 63: 385-391.

Mingo, D.M., Theobald, J., Bacon, M.A., Davies, W.J. and Dodd, I.C. 2004. Biomass allocation in tomato (*Lycopersicon esculentum*) plants grown under partial rootzone drying: enhancement of root growth. *Functional Plant Biology*, 31: 971-978.

North, G.B. and Nobel, P.S. 1991. Changes in hydraulic conductivity and anatomy caused by drying and rewetting roots of Agave-Deserti (Agavaceae). *American Journal of Botany*, 78: 906-915.

Rashid, M.A., Zhang, X., Andersen, M.N. and Olesen, J.E. 2019. Can mulching of maize straw complement deficit irrigation to improve water use efficiency and productivity of winter wheat in North China Plain? *Agricultural Water Management*, 213: 1-11.

Raza, M.A.S., Ahmad, S., Saleem, M.F., Khan, I.H., Iqbal, R., Zaheer, M.S., Haider, I. and Ali, M. 2017. Physiological and biochemical assisted screening of wheat varieties under partial rhizosphere drying. *Plant Physiology and Biochemistry*, 116 150-166.

Saeed, H., Grove, I.G., Kettlewell, P.S. and Hall, N.W. 2008. Potential of partial root zone drying as an alternative irrigation technique for potatoes (*Solanum tuberosum*). *Annals of Applied Botany*, 152: 71-80

Sadak, M.S., Abdalla, A.M., Abd Elhamid, E.M. and Ezzo, M.I. 2020. Role of melatonin in improving growth, yield quantity and quality of *Moringa oleifera* L. plant under drought stress. *Bulletin of the National Research Centre*, 44(1): 1-13.

Sadak, M.S., El-Bassiouny, H.M.S. and Dawood, M.G. 2019. Role of trehalose on antioxidant defense system and some osmolytes of quinoa plants under water deficit. *Bulletin of the National Research Centre*, 43(1): 1-11.

Schahbazian, N. and Iran-Nejad, H. 2006. The effects of different mulch types and irrigation intervals on cotton yield. *Die Bodenkultur*, 57: 765-766.

Schneider, A.D. and Howell, T.A. 1999. LEPA and spray irrigation for grain crops. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 125: 167-172.

Sepaskhah, A.R. and Ghasemi, M.M. 2008. Every-other furrow irrigation with different irrigation intervals for sorghum. *Pakistan Journal of Biological Science*, 11: 1234-1239.

Sepaskhah, A.R. and Sichani, S.A. 1976. Evaluation of subsurface irrigation spacings for bean production. *Canadian Agricultural Engineering*, 18: 23-26.

Shahnazari, A., Liu, F., Andersen, M.N., Jacobsen, S.E. and Jensen, C.R. 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.

Shao, H.B., Chu, L.Y., Abdul Jaleel, Ch. and Zhao, C.X. 2008. Water-deficit stress-induced anatomical changes in higher plants. *Comptes Rendus Biologies*, 331: 215-225.

Songsri, P., Jogloy, S., Vorasoot, N., Akkasaeng, C., Patanothai, A. and Holbrook, C.C. 2008. Root distribution of drought-resistant peanut genotypes in response to drought. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 194: 92-103.

Taiz, L. and Zeiger, E. 2006. Plant physiology. SinauerAssociates, Inc., Publishers, 764p.

Tang, L.S., Li, Y. and Zhang, J. 2005. Physiological and yield responses of cotton under partial rootzone irrigation. *Field Crops Research*, 94: 214-223.

Tardieu, F. and Davies, W.J. 1993. Integration of hydraulic and chemical signalling in the control of stomatal conductance and water status of droughted plants. *Plant, Cell and Environment*, 16: 341-349.

Tawfik, R.S. and El-Mouhamady, A.B.A. 2019. Molecular genetic studies on abiotic stress resistance in sorghum entries through using half diallel analysis and inter-simple sequence repeat (ISSR) markers. *Bulletin of the National Research Centre*, 43(1): 1-17.

Tenhunen, J.D., Hanano, R., Abril, M., Wieler, E.W. and Hartung, W. 1994. Above-and below-ground environmental influences on leaf conductance of Ceanthus thyrsiflorus growing in a chaparral environment: drought response and the role of abscisic acid. *Oecologia*, 99: 306-314.

Thompson, A.J., Andrews, J., Mulholland, B.J., McKee, J.M.T., Hilton, H.W., Horridge, J.S., Farquhar, G.D., Smeeton, R.C., Smillie, I.R.A., Black, C.R. and Taylor, I.B. 2007. Overproduction of Abscisic acid in tomato increases transpiration efficicency and root hydraulic conductivity and influences leaf expansion. *Plant Physiology*, 143: 1905-1917.

Topcu, S., Kirda, C., Dasgan, Y., Kaman, H., Cetin, M., Yazici, A. and Bacon, M.A. 2007. Yield response and N fertilizer recovery of tomato grown under deficit irrigation. *European Journal of Agronomy*, 26: 64-70.

Wahbi, S., Wakrim, R., Aganchich, B., Tahi, H. and Serraj, R. 2005. Effects of partial root-zone drying (PRD) on adult olive tree (*Olea europaea*) in field conditions under arid climate I. Physiological and agronomic responses. *Agriculture, Ecosystems & Environment*,106: 289-301.

Wakrim, R., Wahbi, S., Tahi, H., Aganchich, B. and Serraj, R. 2005. Comparative effects of partial root drying (PRD) and regulated deficit irrigation (RDI) on water relations and water use efficiency in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 106: 275-287.

Wang, H., Liu, F., Andersen, M.N. and Jensen, C.R. 2009. Comparative effects of partial root-zone drying and deficit irrigation on nitrogen uptake in potatoes (*Solanum tuberosum* L.). *Irrigation Science*, 27: 443-447.

Zegbe, J.A., Behboudian, M.H. and Clothier, B.E. 2004. Partial rootzone drying is a feasible option for irrigating processing tomatoes. *Agricultural Water Management*, 68: 195-206.

Zegbe, J.A., Behboudian, M.H. and Clothier, B.E. 2006. Responses of 'Petopride' processing tomato to partial rootzone drying at different phenological stages. *Irrigation Science*, 24: 203-210.

Zegbe, J.A. and Behboudian, M.H. 2008. Plant water status, CO_2 assimilation, yield, and fruit quality of 'Pacific RoseTM' apple under partial rootzone drying. *Advances in Horticultural Science*, 22: 27-32.