10.22092/rafhc.2012.100122

مجله علمی- ترویجی یافته‌های تحقیقاتی در گیاهان زراعی و باغی
جلد ۱، شماره ۲، سال ۱۳۹۱

کم-آبیاری در آبیاری سطحی: چالش‌ها، راهکارها و چشم‌انداز

نادر حیدری

عضو هیأت علمی مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، کرج

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۱۱/۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۱۱/۲۴

چکیده

حیدری ن (۱۳۹۱) کم-آبیاری در آبیاری سطحی: چالش‌ها، راهکارها و چشم‌انداز. **مجله یافته‌های تحقیقاتی در گیاهان زراعی و باغی ۱ (۲):** ۱۰۶ – ۸۳.

در منابع علمی به کم-آبیاری به عنوان یکی از راه‌های صرفه‌جویی و استفاده بهینه از آب به خصوص در آبیاری سطحی اشاره شده است. یکی از چالش‌های موجود کاربردی بودن و عملیاتی شدن نتایج تحقیقات کم-آبیاری توسط کشاورزان و مشهود نبودن آن و تردیدها در این زمینه می‌باشد. مقاله حاضر به مرور و جمع‌بندی تعدادی منابع تحقیقاتی کشور در زمینه کم-آبیاری پرداخته و همچنین نتایج و دستاوردهای حاصله از نشست هم‌اندیشی با صاحبنظران و محققین دست اندرکار تحقیقات کم-آبیاری را ارائه و تفسیر و تجزیه و تحلیل می‌نماید. همچنین در این مقاله تفاوت بین تکنیک کم-آبیاری (Deficit irrigation) و کم آبیاری (کمتر آبیاری نمودن به معنی عام) (Lesser irrigation) بیان شده است. تحقیقات کم-آبیاری انجام شده اکثراً در شرایط کرت‌های آزمایشی کوچک و با راندمان آبیاری ۱۰۰ درصد انجام شده و ممکن است نتایج آنها با شرایط مزرعه واقعی همخوانی نداشته باشد. همچنین این پروژه به مسئله بهینه‌سازی خیلی نپرداخته و بیشتر بر مسائل تنش آب وکاهش محصول و افزایش کارایی مصرف آب، در واقع به مفهوم کم آبیاری، توجه نموده‌اند. از طرف دیگر کاربرد کم-آبیاری با رویکرد بهینه‌سازی ممکن است برای اراضی خرد وکشاورزان خرده پا عملی نباشد. بنابراین کم-آبیاری یک فناوری بهینه‌سازی است که کشاورزان ما در حال حاضر دانش لازم در این زمینه را ندارند. به عنوان راهکار با توجه به جمع‌بندی تحقیقات انجام شده و همچنین پایین بودن راندمان آبیاری در مزارع کشاورزان، به جز مراحل رشدی حساس به تنش آبی (نظیر مرحله گلدهی)، ۲۰ تا ۲۵ درصد کم آبیاری را برای گیاهان زراعی توصیه نمود. برای دورنما و چشم‌انداز تحقیقات آینده، نتایج حاصله بیانگر آن هستند که پروژه‌های جامع کم- آبیاری، کم و یا محدود می‌باشند و اکثراً یک سو (فنی) نگر بوده و شرایط اقتصادی-اجتماعی کشاورزان را برای چگونگی کاربرد نتایج در نظر نمی‌گیرند. لذا تحقیقات و مطالعات جامع‌تری برای رفع این مسائل مورد نیاز است.

واژه‌های کلیدی: آبیاری، تنش آبی، راهکار، کم آبیاری و مصرف آب.

آدرس پست الکترونیکی نگارنده مسئول: nrheydari@yahoo.com

مقدمه

کم-آبیاری (Deficit irrigation) یکی از راه‌های صرفه‌جویی و استفاده بهینه از آب به خصوص در آبیاری سطحی می‌باشد. هدف اصلی در کم-آبیاری افزایش کارایی مصرف آب با کاهش نیاز آبیاری گیاه و حذف آن قسمت از آب آبیاری است که تأثیر معنی‌داری در افزایش عملکرد ندارد. کم-آبیاری متفاوت بوده و زارع ممکن است در برهه خاصی از دوره رشد محصول از مقدار آب آبیاری کاسته و در سایر مراحل رشد، آبیاری کامل را اعمال نماید. یا ممکن است مقدار آب کمتری را در هر تناوب به کار برده تا استفاده بهینه از آب موجود صورت گیرد. روش‌های عملی اعمال کم-آبیاری نیز متفاوت است. کم-آبیاری می‌تواند از طریق کاهش حجم آب کاربردی در هر آبیاری، حذف بعضی از نوبت‌های آبیاری، افزایش دور آبیاری، آبیاری یک در میان (ثابت و متغیر)، روش کاشت و تراکم کاشت و غیره باشد.

آبیاری سطحی یکی از روش‌های متداول آبیاری در جهان و کشور می‌باشد. امروزه با توجه به کاهش منابع آب برای آبیاری و با توجه به پایین بودن بازده آبیاری به خصوص در روش‌های آبیاری سطحی، کم-آبیاری محصولات کشاورزی به موضوع چالشی مورد توجه‌ای تبدیل شده و تحقیقات زیادی در مورد آن به انجام رسیده است. با این‌حال شواهد کمی از کاربرد عملی این نوع تحقیقات توسط بهره‌برداران مشاهده می‌گردد.

هدف از ارائه این مقاله شناخت مفهوم کم-آبیاری و چالش‌ها و راهکارهای مرتبط با کاربرد نتایج تحقیقاتی آن در عمل و همچنین چشم‌انداز ادامه کار تحقیقات و خلأهای موجود و کاربرد نتایج حاصله در شرایط عملی در کشور می‌باشد. مقاله ضمن مرور و جمع‌بندی منابع تحقیقاتی، راهکارهای ارائه شده توسط این منابع را به صورت خلاصه جمع‌بندی و ارائه می‌نماید. پس از آن نتایج و دستاوردهای حاصله از نشست هم‌اندیشی با صاحبنظران و محققین دست اندرکار تحقیقات کم آبیاری را ارائه و آنها را تفسیر و تجزیه و تحلیل می‌نماید. به عنوان نوآوری مقاله همچنین تفاوت بین تکنیک کم-آبیاری (Deficit irrigation) و کم آبیاری (کمتر آبیاری نمودن به معنی عام) (Lesser irrigation) را معرفی و تشریح می‌نماید.

شناسایی و اهمیت کم-آبیاری

کم-آبیاری راهکاری بهینه برای تولید محصولات زراعی تحت شرایط کمبود آب است. این تکنیک با کاهش محصول در واحد سطح و افزایش آن با گسترش سطح همراه می‌باشد. این برخلاف نظر زارعین است زیرا از نظر زارعین راهکار بهینه، کاربرد حجمی از آب آبیاری است که درآمد خالص آنها را به حداکثر می‌رساند، نه مقدار آبی که بیشترین محصول را تولید می‌نماید.

کـم- آبیـاری بـه طـور علمـی، از اوایـل قـرن نوزدهم به عنوان یـک فـن آبیـاری بـه کـار رفتـه است. این کار در ابتدا به صـورت تـنش رطـوبتی نمـود پیـدا کـرد و هـدف از آن بهبـود کیفیـت برخی از محصولات از جملـه انگـور، چغندرقنـد و نیشکر برای تجمع و ذخیره‌سـازی میـزان قنـد و کیفیت استحکام برخی از محصولات مثل الیـاف کتان بود. البته وقوع تنش رطوبتی گاهی با توجـه بـه مقتضـیات طبیعـی و کمبـود آب صـورت می‌گرفت و هدف از آن بهبود مصـرف آب و یـا صرفه‌جویی در مصـرف آب نبـود، چـون اصـولاً محدودیت منابع آب و زمین مثل امروزه فراگیـر، بحرانی و مهم نبوده است (۱۰ و ۱۶).

هنگـامی کـه منـابع آب محـدود بـوده و یـا هزینـه‌های آب و آبیـاری زیـاد باشـد، کـارایی مصرف آب بـرای تولیـد محصـول حـداکثر بـالا نخواهد بود. هنگامی که مشکلاتی از نظـر تـأمین سرمایه، انـرژی، نیـروی کـارگر و یـا سـایر منـابع اساسی وجود داشته باشد، یا زمانی که هزینـه‌های این‌گونه منـابع زیـاد باشـد، اعمـال کـم- آبیـاری می‌تواند در افـزایش عملکـرد و سـود مفیـد واقـع شود (۱۶).کم-آبیاری برای گسترش سـطح زیـر کشت و به حداکثر رسانیدن و یـا بهبـود و تثبیـت تولیـد محصـولات یـک منطقـه نیـز می‌توانـد استفاده شود.

کم -آبیاری راهکار بهینه‌سازی اسـت کـه در آن آگاهانه به گیاهان زراعی اجازه داده می‌شـود با دریافـت آب کمتـر از نیـاز، محصـول خـود را کـاهش دهنـد (۱۶). هـدف اصـلی از اجـرای کم-آبیاری، همانا افزایش کـارایی مصـرف آب اسـت. ایـن مهـم می‌توانـد هـم از طریـق کـاهش میـزان آب آبیـاری در هـر نوبـت و یـا حـذف آبیاری‌هایی که کمترین بازدهی را دارنـد عملـی شود.

کم- آبیاری سبب بهتر شـدن کیفیـت برخـی از محصـولات می‌شـود. ازجملـه سـبب افـزایش پـروتئین و کیفیـت بـذر گنـدم و میـزان پـروتئین دیگـر محصـولات مـی گـردد. در ضـمن، سـبب افزایش طـول الیـاف کتـان، افـزایش درصـد قنـد چغندرقنـد، شـیره انگـور و بهبـود کیفـی دیگـر محصولات، به ویـژه بهبـود انبـارداری و حمـل و نقـل می‌شـود (۱۱، ۱۹، ۲۱). هرچنـد دسـتیابی بـه برخـی از ایـن نتـایج بـا اعمـال مـدیریت تـنش رطوبتی در آخر فصل حاصل می‌شود کـه همـراه با محدود شدن رشد رویشی است. کـم- آبیـاری در آماده‌سـازی گیـاه بـرای خـواب زمسـتانه نیـز مؤثر است (۱۰ و ۱۶).

به هر حال کم- آبیاری مستمر در طـول دوره رشـد ممکـن اسـت رانـدمان آبیـاری را کـاهش دهد، زیرا راندمان آبیاری رابطه مسـتقیم بـا عمـق آب آبیـاری دارد. در آبیـاری شـیاری دو عامـل طول شیار و دبی ورودی بـه شـیار دارای اهمیـت خاصی است و در شـرایط کـم- آبیـاری بایـد بـه این دو عامـل توجـه شـود. همچنـین بـا توجـه بـه الگوی پیاز رطوبتی در بافت‌های مختلف خـاک، توجه شود و اعمال کم-آبیاری ممکـن اسـت در همـه بافت‌هـای خـاک امکان‌پـذیر نباشـد (۲۳ و۲۴).

برای شناخت و شرح اهمیت تکنیک کم- آبیاری، به خلاصه نتایج برخی از تحقیقات کم- آبیاری که در جهان و ایران اجرا و گزارش شده اشاره می‌شود. طی تحقیقی در مرکز تحقیقات کشاورزی در مناطق خشک (ایکاردا[1]) در کشور سوریه، گزارش کردند که تیمار دو سوم آبیاری کامل همراه با ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص دارای بالاترین میزان کارایی مصرف آب درگیاه گندم می‌باشد. ژانک (۳۰)گزارش نمود که بهره‌وری آب در تولید گندم در شمال سوریه برای چهار تیمار آبیاری کامل، ۶۶ درصد آبیاری کامل، ۳۳ درصد آبیاری کامل و شرایط دیم به ترتیب ۹/۳، ۱۱/۹، ۹/۹ و۹/۳ کیلوگرم بر میلی‌متر است. نتایج نشان‌دهنده برتری تیمار ۳۴ درصد کاهش آب مصرفی نسبت به آبیاری کامل است. با ۲۵ درصد کاهش آب مصرفی (سطح کم-آبیاری ۲۵ درصد) کارایی مصرف آب ۱/۲ برابر آنچه که تحت آبیاری نرمال (آبیاری کامل) به دست آمده بود افزایش یافت (۱۸).

طی تحقیقی در شمال عراق، بالاترین میزان کارایی مصرف آب در تیمارهای مختلف آبیاری گندم، از تیمار ۵۰ درصد آبیاری کامل به دست آمد (۱۳). ژانک و اویس (۲۹) طی تحقیقی روی گندم گزارش نمودند که کاهش ۷۰-۴۰ درصد آب مصرفی نسبت به آبیاری کامل، فقط ۱۳ درصد کاهش عملکرد به همراه دارد. طی مطالعاتی در سودان با بررسی دور آبیاری و اثر آن بر عملکرد یونجه گزارش گردید که چنانچه دور آبیاری از ۷ روز به ۱۴ روز برسد، میزان محصول فقط ۲۵ درصد کاهش می‌یابد (۲۵). در تحقیقی در اورگان روی گندم، گزارش گردیدکه با ۳۹ درصد آب مصرفی گندم، علاوه بر اینکه بیشترین میزان سود خالص به ازای واحد آب مصرفی را به همراه داشته، سود خالص به میزان ۴۹ درصد بیش از آبیاری کامل بوده است (۱۵). انگلیش و راجا (۱۵) طی تحقیقی در کالیفرنیا روی پنبه گزارش کردند که با ۲۸ درصد آب مصرفی، سود خالص به ازای واحد آب مصرفی ۴۴ درصد بیش از آبیاری کامل بوده است. اشنایدر و هاول (۲۶) طی تحقیقی در تگزاس آمریکا نشان دادند که بهره‌وری آب در تولید دانه گندم برای چهار تیمار آبیاری کامل، ۶۶ درصد آبیاری کامل، ۳۳ درصد آبیاری کامل و شرایط دیم به ترتیب ۶/۴، ۷/۶، ۸ و ۶/۱ کیلوگرم بر میلی‌متر است. در زیمبابوه روی ذرت، نشان داده شد که با ۵۹ درصد کاهش آب مصرفی ذرت، کل تولید در حالت افزایش سطح زیر کشت ۶۸ درصد بیش از آبیاری کامل است (۱۵). استون و نفزیگر نشان دادند که آبیاری دو ردیف پنبه روی یک پشته پهن می‌تواند محصول قابل قبولی تولید کند و مقدار آب کمتری نسبت به آبیاری معمولی مصرف نماید(۲۷). همچنین بیوماس و تعداد غوزه پنبه، به طور خطی با میزان کاهش آب مصرفی،

۱- International Center for Agricultural Research in the Dry Areas (ICARDA)

کاهش می‌یابد(۲۲). میزان بهینه کم-آبیاری برای پنبه وابسته به طول فصل رشد و میزان آب موجود می باشد. طی مطالعه‌ای نشان داده شدکه وجود سطح ایستابی بالا به جذب آب توسط ریشه کمک می‌نماید و باعث بالا رفتن کارایی آبیاری و هم چنین افزایش عملکرد می گردد، به نحوی که با تغییر سطح ایستابی در خاک شن لومی از یک متر به ۰/۸ متر، عملکرد سویا به میزان ۲۰ درصد افزایش پیدا کرد (۲۰). طی تحقیقی در دانشگاه کالیفرنیا روی گوجه‌فرنگی به این نتیجه رسیدند که کم-آبیاری، عملکرد و آب ذخیره شده گوجه‌فرنگی را کاهش داد اما در مقابل میزان مواد جامد، درصد قند، میزان اسید سیتریک و پتاسیم را افزایش داد (۱۰). در پاکستان به طور گسترده‌ای از کم-آبیاری استفاده می گردد، به نحوی که کل آب مصرفی حدود ۳۵ درصد کمتر از نیاز آبی آبیاری کامل محصولات است (۲۸). در حوضه آبریز کلمبیای ایالات متحده آمریکا، مزارع گندم که به مدت نه سال با سیستم دوار مرکزی (عقربه‌ای) آبیاری می‌شدند مورد بررسی کم-آبیاری قرار گرفته و نتیجه گرفته شد که در کم-آبیاری (در مقایسه با آبیاری کامل)، سود خالص در واحد سطح ۲۵ درصد کمتر و سود خالص به ازای واحد آب مصرفی ۱۴/۵ درصد بیشتر بوده است (۱۷).

ضرورت و جایگاه کم- آبیاری

در مناطقی که کشاورزان آب کمی برای آبیاری در اختیار دارند، می‌توانند یکی از راه‌های زیر را انتخاب نمایند: ۱) سطح زیر کشت را کاهش دهند و آب را تا حد کافی و نیاز در اختیار گیاهان باقی مانده قرار دهند و یا ۲) تمام سطح را زیر کشت ببرند ولی بخشی از نیاز آبی گیاهان را برآورده کنند. راهکار دوم مرتبط با کم- آبیاری است. گرچه کم -آبیاری قرن‌هاست که در کشور ایران به صورت سنتی توسط کشاورزان عمل می گردد و شاید در سایر کشورهای خشک و نیمه خشک نیز با آن به نحوی آشنا هستند، اما این روش چنان تحولی را در اقتصاد آب در بخش کشاورزی به همراه داشته و خواهد داشت که نیازمند تبیین مفاهیم و تحقیق پیرامون جنبه‌های علمی، عملی و کاربردی آن است. ضرورت اعمال کم -آبیاری به نحوی احساس شده است که پیشنهاد طراحی آبیاری بر مبنای اطمینان ۵۰ درصد آب موجود مورد تأیید و تصدیق قرار می گیرد. این موج و تب کم-آبیاری تا آنجا پیش رفته است که در برخی از سامانه‌های نوین آبیاری (نظیر آبیاری‌های میکرو و قطره‌ای)، که نیازمند تخصیص هزینه‌های سرمایه‌گذاری اولیه زیادی هستند، بعضاً شاهد کم-آبیاری هستیم (۱۶). البته نقدی که در اینجا توسط متخصصین مطرح می گردد آن است که سیستم‌های نوین آبیاری با هدف افزایش راندمان و کارایی مصرف آب و افزایش زیاد عملکرد مورد استفاده قرار می گیرند و لذا کم-آبیاری ضرورت نداشته و ممکن است کاهش محصول توجیه اقتصادی

نداشته باشد. علاوه بر این، با توجه به اینکه تلفات به صورت نفوذ عمقی در این سیستم‌ها قاعدتاً باید صفر باشد لذا در دراز مدت کم-آبیاری با این سامانه‌ها منجر به افزایش شوری نیمرخ خاک و ایجاد تنش گیاهی و افت محصول بیشتر خواهد گردید.

نگاهی به منابع و مراجع گذشته و حال طراحی سیستم‌های آبیاری توسط مهندسین مشاور و دفاتر فنی نشان می‌دهد که در اکثر موارد آبیاری کامل توصیه شده است و برخی از این منابع صریحاً تأکید می‌نمایند که بایستی آب کافی را با توجه به کل نیاز آبی گیاه تأمین نماید. در برخی از منابع نیز طراحی بر پایه حداکثر تخلیه مجاز رطوبت تا عمق ریشه گیاه بنا نهاده است. حداکثر سطح تخلیه توسط طراح انتخاب می‌شود اما تخلیه پیشنهادی و تجدید آبیاری، در کتاب‌های مرجع اشاره به آبیاری کامل دارند (۱۵).

از "آبیاری ناقص و یا جزئی"[1] به جای کم-آبیاری نام برده شده و اظهار شده است که تحت برخی شرایط، طراح ممکن است تخلیه آب بیشتر را از نیمرخ خاک، به عنوان یک بهره اقتصادی در مقابل هزینه‌های زیاد آب، جایز بداند، اگر چه منجر به کاهش عملکرد می‌شود (۱۵). یعنی با توجه به طراحی و بسته به حساسیت گیاه زراعی تحت کشت، "تخلیه مجاز رطوبت خاک" (MAD)[2] بیش از حد لازم و تعیین شده اجازه داده شود. سپس در ادامه آن به وجود ریسک اشاره کرده و چنین هشدار می‌دهند که "کاهش جدی عملکرد در صورت نقص غیر مترقبه تجهیزات و یا به وجود آمدن ناگهانی شرایط بد و خشک جوی" اتفاق خواهد افتاد.

افزایش درآمد و سود خالص با کم-آبیاری بر این اساس اتفاق می‌افتد: ۱- افزایش راندمان آبیاری، ۲- کاهش هزینه‌های آبیاری و ۳- کاهش هزینه‌های آب با توجه به صرفه‌جویی و کاهش مصرف آب. این کاهش هزینه‌ها شامل کاهش مصرف آب در واحد سطح، کاهش زمان کار موتور پمپ، کاهش نیروی کارگری، افزایش سرعت تکمیل آبیاری در واحد سطح و بهینه‌سازی هیدرومدول آبیاری می‌باشد. اگر چه با اعمال کم-آبیاری آب مصرفی کاهش می‌یابد ولی کاهش عملکرد را نیز در پی خواهد داشت و همراه با کاهش هزینه‌های آبیاری، هزینه‌های بذر، کود و برداشت محصول نیز کاهش می‌یابد. هم چنین در کاهش هزینه‌های سرمایه‌گذاری برای انتقال آب (با بهینه‌سازی هیدرومدول آبیاری) و سیستم‌های کاربرد آب نقش دارد.

در سه مورد مطالعه کم-آبیاری، بیان شده است که در آنها کاهش هزینه‌های آبیاری ناشی از صرفه‌جویی آب بیش از کاهش درآمد ناشی از کاهش عملکرد محصول بوده است (۱۵). به عنوان نمونه، در یک بررسی نشان داده شده است که صرفه‌جویی‌هایی که می‌توان با طراحی

۱- Partial irrigation

۲- Management Allowed Deficit (MAD)

یک سیستم آبیاری بر اساس مفاهیم کم- آبیاری در یک مزرعه گندم زمستانه در ایالت اورگان ایالات متحده آمریکا ایجاد کرد عبارت است از: ۱) کاهش هزینه‌های آبیاری (انرژی، نیروی کارگری، تعمیرات و نگهداری) برابر ۳۷ درصد کل صرفه‌جویی، ۲) کاهش هزینه‌های ثابت (سرمایه‌گذاری اولیه) برابر ۳۶ درصد کل صرفه‌جویی و ۳) کاهش دیگر هزینه‌های تولید (عملیات زراعی، کاربرد کود و مواد شیمیایی، برداشت و غیره) برابر با ۲۷ درصد کل صرفه‌جویی (۱۴).

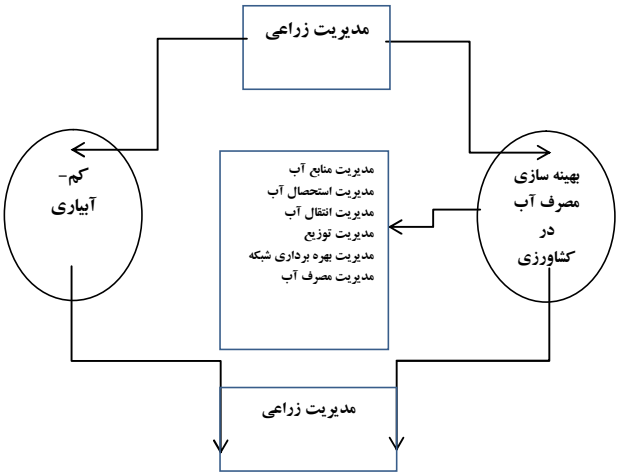
اصولاً، کم-آبیاری، یک روش اضطراری آبیاری در شرایط کم‌آبی نیست. بلکه یک نوع مدیریت کارا و پویای بهره‌برداری به شمار می‌رود و اثرات ویژه‌ای در مدیریت استحصال، انتقال و مصرف آب و نهایتاً در مدیریت اقتصادی دارد و در آن توصیه میزان آب بر اساس نوع سیستم آبیاری، روش آبیاری، الگوی کشت، تنوع خاک، پارامترهای اقلیمی و اهداف اقتصادی صورت می‌پذیرد (شکل ۱).

شناسایی عوامل مؤثر و متأثر از کم-آبیاری بسیار حائز اهمیت است. در شکل ۲ این عوامل ارائه گردیده‌اند و گویای بیشتر مسائل مرتبط با کم آبیاری است. عوامل به مدیریت زراعی با سه عامل الگوی کشت، خاک و آب و عوامل مؤثر در آنها و به مدیریت اقتصادی شامل تحلیل ریاضی و تحلیل اقتصادی و هم چنین به موضوع مشرک این دو مدیریت، یعنی تحلیل آماری، تقسیم‌بندی شده‌اند (شکل ۲).

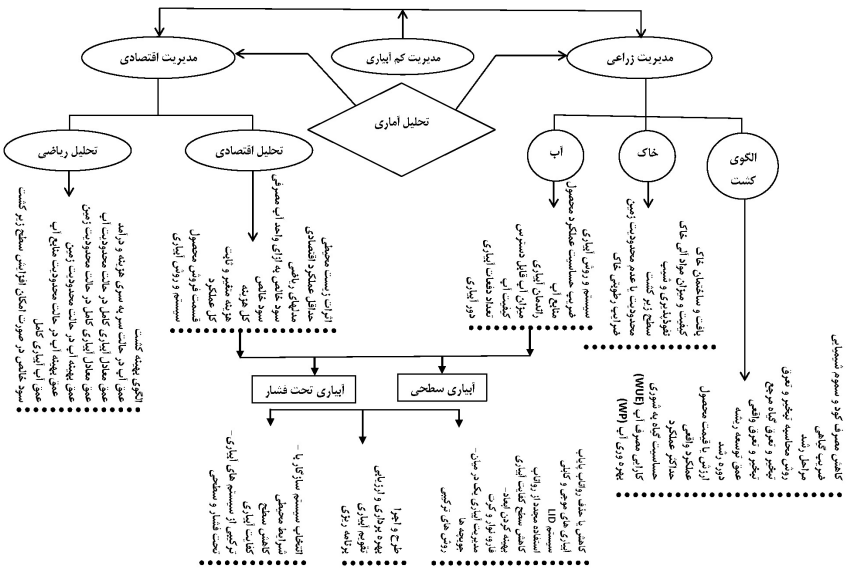
یکی از نتایج و فواید اعمال مدیریت کم- آبیاری، تدوین الگوی کشت به همراه تعیین و تبیین عمق بهینه آب مصرفی می‌باشد. با توجه به اینکه کسب حداکثر سود خالص یکی از نگرش‌ها در مدیریت کم- آبیاری است، کم-آبیاری نیازمند مدیریتی منسجم، دقیق و کارآمد است که با مدیریت آبیاری کلاسیک کاملاً فرق دارد. مدیریت آبیاری بایستی تعیین نماید که چه درجه‌ای از کم -آبیاری و چه نوعی از آن را اعمال نماید و همچنین الگوی بهینه کشت، ارزش اقتصادی، زمان کم-آبیاری و فیزیولوژی گیاه و مورفولوژی خاک را کاملاً بررسی و مطالعه کرده باشد. به طور کلی می‌توان گفت که محاسن و مزیت‌های نسبی کم-آبیاری از سه عامل کاهش هزینه‌های تولید، افزایش راندمان آبیاری و کاهش هزینه‌های مربوط به آب آبیاری نشأت می‌گیرد.

برخی از شیوه‌های اعمال کم-آبیاری در مدیریت آبیاری و در قالب الگوی کشت به صور زیر است (۱۲): کاربرد آبیاری‌های موجی[۱] و کابلی[۲]، سیستم دیم با آبیاری محدود[۳] استفاده مجدد از رواناب، کاهش سطح کفایت آبیاری، کوتاه کردن طول فارو، نوار و کرت و بهینه‌سازی آن، آبیاری یک در میان جویچه‌ها و به صورت گردشی، کاهش عمق آب مصرفی از ابتدا تا انتهای دوره آبیاری، کاهش عمق آب مصرفی از ابتدای دوره آبیاری به استثنای مراحل

۱-Surge flow irrigation
۲- Cable irrigation (Cablegation)
۳- Limited irrigation dryland (LID)



شکل ۱- روند بهینه‌سازی مصرف آب (۱۲)



شکل ۲- روند تعیین عمق بهینه آب مصرفی برای حصول حداکثر سود (۱۲)

حساس رشد، تلفیق سیستم‌های آبیاری سطحی و تحت فشار، و کاهش یا حذف رواناب پایاب. در بخش فنی کم-آبیاری و در اصلاح ساختار نیاز آبی گیاهان، می‌توان به برنامه‌ریزی آبیاری بر اساس عمق واقعی توسعه ریشه، تعیین ضرایب رطوبتی خاک (FC، PWP، pb) در اعماق مختلف توسعه ریشه و دخالت دادن آنها، انتخاب ارقامی از گیاهان مورد نظر با

خصوصیت پایداری عملکرد که با حداقل آب قابل تأمین، عملکرد قابل قبولی را داشته باشند و همچنین به خصوصیاتی چون مقاومت به خشکی، زودرسی (طول دوره رشد کوتاه‌تر) و گیاهان با عمق توسعه ریشه بیشتر، توجه داشت.

عملکرد گیاهان تحت تأثیر زمان اعمال کم- آبیاری قرار می‌گیرد، به خصوص برای محصولاتی که مجاز به کاهش آب مصرفی از ابتدا تا انتهای دوره آبیاری نباشد. اعمال به موقع و مناسب کم-آبیاری و صرفه‌جویی در مصرف آب سبب کاهش امراض و آفات گیاهی، به حداقل رسیدن آب‌شویی کودها و مواد مغذی خاک از منطقه توسعه ریشه و هم‌چنین بهبود تهویه خاک می‌گردد. بعضی از گیاهان ارزشمند و حساس، نسبت به کم- آبیاری حساسیت زیادی از خود نشان می‌دهند که در آن صورت بایستی با در نظر گرفتن الگوی زراعی کشت، نیاز واقعی گیاهان (نه نیاز طرح) را در زمان حداکثر مصرف، و یا دوره‌های بحرانی رشد، تأمین نمود، و یا حداقل کمی محتاط عمل کرد (۲ و۳).

تعیین دقیق حد بهینه کاهش آب مصرفی (حد بهینه کم-آبیاری) نیاز به تحقیقات محلی دارد. اما نتایج به دست آمده گویای این واقعیت است که کاهش ۳۰-۲۰ درصد آب مصرفی نسبت به آبیاری کامل (آبیاری طرح) برای اکثر محصولات، بیشتر خاک‌ها و اقلیم ها، بدون بروز هیچ گونه مشکل یا محدودیتی قابل اجرا است (۱، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷، ۹ و ۱۱).

نحوه کاربردی شدن نتایج تحقیقات کم-آبیاری در عمل و به خصوص در شرایط آبیاری سطحی و مقررات حاکم بر جریان آب از لحاظ دبی مناسب و امکان اعمال حجم‌های کم آب در هر آبیاری با توجه به بافت، شیب، و نفوذپذیری آب در خاک در این روش آبیاری چالش اساسی می‌باشد. در حال حاضر نتایج تحقیقات معمول کم-آبیاری در کشور به طور عمومی به نتیجه‌گیری‌های شبیه نتایج زیر منتهی می‌گردد که به عنوان نمونه بعضی از نتایج تحقیقات بدون ذکر منبع در زیر ارائه شده‌اند:

با مدیریت صحیح تنش آبی در مزارع ذرت می‌توان در مقادیر بسیار قابل توجهی آب صرفه‌جویی نمود و با اختصاص این مقدار آب به محصولاتی از قبیل گندم در اواخر دوره رشدی آن از دو جهت سود برد... پیشنهاد می‌شود که زمان وقوع تنش آبی حداکثر فاصله را با زمان گلدهی ذرت داشته و در مرحله گلدهی آب به مقدار کافی در اختیار گیاه قرار گیرد... و یا در تحقیقی دیگر نتیجه‌گیری شده است: در تعیین حد مجاز کاهش مقدار آب آبیاری در مراحل مختلف رشد چغندر قند در استان خراسان... نتایج حاصل از اجرای این طرح تحقیقاتی حاکی از آن است که اعمال تیمارهایی با حدود تخلیه رطوبتی متفاوت در واقع منجر به افزایش دور آبیاری در تیمارها نسبت به شاهد گردید. تیمار آبیاری هنگامی که رطوبت خاک به اندازه ۹۰-۸۵ درصد کاهش یافت باعث شد که مقدار آب مصرفی نسبت به

تیمار شاهد و حتی تیمار ۷۰-۶۵ درصد تخلیه نیز کمتر باشد و از این جهت باعث صرفه‌جویی در مصرف آب گردید...

نتایج و جملات مشابه بسیار زیادی در گزارشات پژوهشی پروژه‌های تحقیقاتی مرتبط با کم-آبیاری مشاهده می‌گردد. تحقیقات مشابه متنابهی در کشور از سالیان قبل انجام شده و در حال انجام می‌باشد. به هر حال کاربردی بودن و عملیاتی شدن نتایج این نوع تحقیقات کم-آبیاری توسط کشاورزان مشهود نبوده و جای تردید دارد. لذا مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی با توجه به انجام تعداد زیادی پروژه‌های تحقیقاتی مستقل و مشترک با مؤسسات تحقیقاتی دیگر (نظیر مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندر قند، مؤسسه تحقیقات خاک و آب و ...) در زمینه کم-آبیاری در ستاد و مناطق مختلف کشور و به منظور بررسی و شناخت چالش‌های عملیاتی و کاربردی شدن نتایج تحقیقات کم-آبیاری و تصمیم‌سازی برای آینده، نشست تخصصی با عنوان "کم آبیاری در آبیاری سطحی: دستاوردها، چالش‌ها، و چشم‌اندازها"، در تاریخ ۱۳۹۰/۸/۴ در محل ستاد این مؤسسه برگزار نمود. در این نشست تخصصی محققین آب و گیاه از ستاد مؤسسه و از مراکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی مختلف در کشور و همچنین کارشناسان با تجربه از معاونت‌های اجرایی مرتبط وزارت جهاد کشاورزی (از جمله معاونت آب و خاک و صنایع و معاونت تولیدات گیاهی)، شرکت مدیریت منابع آب ایران و سازمان آب و برق خوزستان دعوت بعمل آمد. پس از بحث‌های کارشناسی و ایجاد طوفان‌های فکری و تسهیل‌گری‌های لازم در بحث‌ها، نتایج سه سئوال یا چالش مطرح شده، جمع‌بندی و در قسمت نتایج ارائه شده‌اند.

نتایج و بحث

نتایج بررسی **۲۹** فقره گزارش پژوهشی نهایی پروژه‌های تحقیقاتی خاتمه یافته در زمینه کم-آبیاری (شامل کم-آبیاری از طریق تنش‌های آبی و یا مدیریت آبیاری نظیر آبیاری یک در میان و غیره) جمع‌بندی که نتایج آن به صورت خلاصه در قالب جدول ۱ ارائه گردید (۸). لازم به ذکر است که نتایج ارائه شده در جدول ۱ خلاصه نتایج تحقیقات موردی بوده که بین دو الی سه سال زراعی انجام شده‌اند که در ادامه جدول جمع‌بندی لازم نیز انجام شده است.

به دنبال جمع‌بندی نتایج تحقیقات مزرعه‌ای و میدانی کم-آبیاری بر روی محصولات مختلف و ارائه شده در جدول ۱ ، نتایج، مسائل و چالش‌های زیر برای کاربردی شدن نتایج تحقیقات کم-آبیاری در عمل ارائه می‌شود:

- در کم-آبیاری مراحل فنولوژیکی بایستی مدنظر قرار گیرد و از اعمال تنش در مراحل حساس و بحرانی رشد اجتناب نمود، لذا در پروژه‌های تحقیقاتی آینده اعمال سطوح

جدول ۱- نتایج تحقیقات کم-آبیاری انجام شده (۸)

منطقه	خاک، محصول، رقم زراعی مورد استفاده	نتیجه اصلی	سایر نتایج
خوی	خاک لومی، آفتابگردان، رقم آذر گل و آرماویرسکی	به جز مرحله حساس گلدهی در بقیه مراحل رشدی گیاه حدود ۲۰ درصد از میزان نیاز آبی گیاه را می‌توان در هر مرحله حذف نمود.	- مرحله گلدهی یکی از حساس‌ترین مراحل رشد گیاه است. - در مرحله گلدهی نباید گیاه در معرض تنش آبی قرار گیرد. - در مواقع کمبود شدید در منابع آب حتی می‌توان در تمام مراحل رشدی گیاه ۲۰ درصد از نیاز گیاه کمتر آبیاری نمود.
خوزستان	خاک رسی سیلتی، برنج، رقم‌های LD183، عنبوری قرمز دانه متوسط و عنبوری قرمز دانه کوتاه	- غرقاب دائم برنج یک ضرورت نیست. - آبیاری یک روز در میان را می‌توان برای مناطقی که شرایط عمومی آنها مشابه منطقه مورد آزمایش است انجام داد.	- مقرون به صرفه‌تر آن است که با پذیرش هزینه‌های مدیریتی، با کاهش زمان یا مقدار آبیاری از مصرف آب بکاهیم. - رقم LD183 با میانگین عملکرد دانه ۵/۳ تن در هکتار که به مقدار ۱/۱ تن نسبت به ارقام محلی برتری داشته توصیه می‌شود.
لنجان اصفهان	خاک رسی نرم، برنج، رقم‌های گرده محلی، زاینده رود، سازندگی، حسنی شمال، لاینهای۹۷-۶۷،۱۱۳-۶۷ ۶۷-۴۷، و ۷۲-۶۷	- در مناطق کم باران که از لحاظ کمیت و کیفیت منابع آب دارای محدودیت می‌باشند علیرغم کاهش میانگین عملکرد شلتوک از تیمار آبیاری با عمق آب در حدود ۱-۰/۵ سانتی‌متر استفاده شود. - در شرایط بحران منابع آب و کیفیت نامناسب آب (حدود ۴ دسی‌زیمنس بر متر) ارقام زاینده‌رود، ۱۱۳-۶۷ و سازندگی در اولویت کشت قرار گیرند.	- کمبود ازت در آبیاری با عمق ۱-۰/۵ سانتی‌متر بیشتر از سایر تیمارها بود. لذا بایستی میزان کود و تعداد دفعات تقسیط ازت افزایش یابد. - در مورد استفاده از تیمار توصیه شده جهت جلوگیری از ایجاد ترک‌های موئین در خاک نباید اجازه داد رطوبت خاک از حد اشباع کمتر شود و عملیات تخت آب (شله‌زنی) بایستی با دقت انجام شود.
خراسان	جو، ارقام ماکویی، والفجر، ریحان، CB-74-2، CB-74-10، MB-73-6	- عملکرد دانه به ازای واحد آب مصرفی در تیمار قطع دو مدار آخر آبیاری (مصادف با مرحله پس از گرده‌افشانی و خمیری نرم دانه) نسبت به سایر تیمارها بالاتر بود.	- در بین ارقام و لاین‌های جو لاین CB-74-2 در سال اول و رقم جو ریحان در سال دوم بالاترین کارایی مصرف آب را در تیمار مذکور داشتند.

ادامه جدول ۱

منطقه	خاک، محصول، رقم زراعی مورد استفاده	نتیجه اصلی	سایر نتایج
کرج، اصفهان، ارومیه، همدان و مشهد	چغندر قند	- در مجموع برترین تیمار فاصله ۶۰ سانتی‌متر با آبیاری یک در میان جویچه‌ها بود.	- استفاده از آرایش کاشت رایج با فاصله خطوط ۵۰ و ۶۰ سانتی‌متر با روش آبیاری یک در میان متغیر جویچه‌ها کاربردی است. - در مناطقی که مشکل تخریب پشته‌ها وجود دارد اعمال تیمار آرایش کاشت ۵۰×۴۰ توصیه می‌شود که روی هر پشته عریض دو ردیف کشت با فاصله ۴۰ سانتی‌متر قرار گرفته و فاصله دو ردیفی که بین آنها جویچه آبیاری قرار گرفته ۵۰ سانتی‌متر است.
کاشمر	خاک سیلتی لوم، پنبه	- آبیاری یک در میان جویچه‌ها با فاصله ۷۰ سانتی‌متر (پشته پهن ۱۴۰ سانتی‌متر) تا پایان فصل رشد علاوه بر تولیدی قابل قبول، حداکثر کاهش آب آبیاری را ایجاد نمود و دارای بالاترین کارایی مصرف آب آبیاری بود. - مقایسه مجموع آب مصرفی در آبیاری اول و دوم در تیمارهای مختلف نشان داد که در روش موجی ۱۱ درصد کمتر از روش پیوسته است. - بهتر است در آبیاری اول محصولات ردیفی از روش آبیاری موجی استفاده گردد.	- چنانچه آبیاری یک در میان به صورتی اجرا شود که جویچه‌ها نیز به صورت یک در میان ایجاد شوند (پشته پهن) عملیات آبیاری به ویژه در خاک‌های سنگین با سهولت بیشتری انجام گردد. - قطع موج اول پس از پیش‌روی به اندازه نصف طول جویچه در آبیاری اول دارای بیشترین کارایی مصرف آب می‌باشد.
خوی	خاک رسی سیلتی، چغندرقند	- بطور کلی تنش‌های وارده موجب افزایش عیار و درصد شکر نسبت به شاهد شده‌اند. - قطع آبیاری در مرحله اولیه رشد و قطع آبیاری آخر منجر به بیشترین عیار شده و عیار محصول از ۱۶/۷۶ درصد در تیمار شاهد به ۱۸/۲۸ افزایش یافته است که بدین ترتیب کاهش عملکرد ریشه به علت تنش آبی را جبران نموده است.	- درصد شکر در کلیه تیمارهای تنش یافته نسبت به شاهد افزایش داشته است.

ادامه جدول ۱

منطقه	خاک، محصول، رقم زراعی مورد استفاده	نتیجه اصلی	سایر نتایج
میاندوآب	خاک لوم سیلتی، چغندر قند	- دور آبیاری ۱۰ روزه و سطح آبیاری ۷۵ درصد به منظور افزایش کارایی مصرف آب در زراعت چغندرقند منطقه توصیه می‌گردد.	- میزان منافع خالص به ازای مصرف ۱۰۰۰۰ متر مکعب آب در قالب بودجه فعالیتی نشانگر فزونی منافع خالص این تیمار نسبت به سایر تیمارها می‌باشد.
ماهیدشت	چغندر قند	- میزان‌های مختلف آب بر روی عملکرد ریشه، عملکرد شکر خالص و ناخالص اثر بسیار معنی‌داری داشته است. - از نظر اقتصادی مصرف ۸۰ درصد نیاز آبی بیشترین سود خالص را داشته است. - در مجموع دور آبیاری ۱۲ روز توصیه می‌شود.	- دور آبیاری ۸ و ۱۲ روز تفاوت معنی‌داری بر روی صفات مورد بررسی نداشته است.
سیرجان	پسته	- استفاده از پوشش پلاستیک گرچه باعث افزایش ذخیره رطوبتی می‌گردد لیکن از لحاظ اقتصادی و کاربردی توصیه نمی‌شود. - توصیه عملی و اقتصادی، استفاده از پوشش یک لایه شن (ماسه بادی) در سطح خاک می‌باشد که از نظر ذخیره رطوبت در خاک بعد از پوشش پلاستیک می‌باشد. چنانچه عمل استفاده از شن برای دو الی سه سال متوالی صورت گیرد بافت لایه سطحی خاک درشت‌تر شده و از تبخیر سطحی جلوگیری می‌نماید. - در صورت امکان با استفاده از کاه و کلش و پوشاندن سطح خاک تا حدودی می‌توان از تبخیر سطحی جلوگیری نمود.	- با شخم می‌توان از صعود شعریه در اثر نیروی کاپیلاری جلوگیری نمود و تبخیر از سطح خاک را کاهش داد.
کبوترآباد اصفهان	خاک سیلتی کلی لوم، ذرت	- علیرغم کاهش میانگین عملکرد دانه به میزان ۱۰۷۳ کیلوگرم در هکتار در تیمار ۶۰ درصد آبیاری کامل، از این تیمار آبیاری بایستی استفاده نمود ولی در شرایط عدم محدودیت منابع آب تیمار ۸۰ درصد آبیاری کامل بهتر است. - بایستی از اعمال تنش در یک دوره ۲۰ روز گلدهی اجتناب نمود.	- در مناطق خشک و نیمه خشک جهت جلوگیری از شوری خاک مسئله بیلان آب و نمک در پروفیل خاک بخصوص در مورد گیاهان ردیفی لحاظ گردد.

ادامه جدول ۱

منطقه	خاک، محصول، رقم زراعی مورد استفاده	نتیجه اصلی	سایر نتایج
شاهرود	خاک لومی، سیب زمینی	- آبیاری جویچه‌ها به صورت یک در میان تا انتهای مرحله تشکیل غده‌ها چه به صورت ثابت و چه به صورت متغیر بدون آنکه کاهش معنی‌داری در عملکرد داشته باشد باعث صرفه‌جویی در مصرف آب می‌شود به طوریکه مصرف آب از ۸۶۳۲ متر مکعب در تیمار آبیاری کامل به ۷۲۵۰ متر مکعب در هکتار کاهش یافته و سبب صرفه‌جویی حدود ۱۳۸۴/۷ متر مکعب آب در هکتار می‌شود.	- افزایش مصرف آب، درصد غده‌های درشت را افزایش و غده‌های متوسط و ریز را کاهش داد. - بیشترین ازت نیتراته غده‌ها از تیمار آبیاری ۵۰ درصد حاصل شد.
صفی آباد دزفول	خاک سیلتی کلی لوم، ذرت	- نتایج حاکی از آن است که آبیاری جویچه‌ای یک در میان تا زمان گلدهی و سپس آبیاری تمام جویچه‌ها علاوه بر صرفه‌جویی در آب مصرفی به میزان ۳۰ درصد، هیچ گونه تأثیری روی کاهش عملکرد دانه ندارد لذا به عنوان مناسبترین روش توصیه می‌شود.	
کرج	خاک لومی، ذرت، دو هیبرید ذرت دانه‌ای کرج ۷۰۰ و KSC704	- اعمال تنش در مراحل مناسب رشدی (به صورتی که حداقل تنش در مرحله رشد زایشی و بعد از آن صورت گیرد) باعث کاهش قابل توجه عملکرد دانه نسبت به آبیاری کامل نگردید و به علت مصرف آب کمتر، در دو سطح از تیمار تنش آبی کارایی مصرف آب نسبت به آبیاری کامل افزایش داشت.	- در موارد کاهش عملکرد دانه، این افت ناشی از کاهش تعداد دانه در بلال بود.
کرج	خاک لوم رسی، ذرت، هیبرید تجاری KSC704	- میزان کاهش عملکرد در تیمارهای تحت تنش به ۵۰ درصد نیز بالغ گردید. به نظر می‌رسد در مراحل حساس به تنش آبی اگر از آبیاری کامل استفاده شود کاهش عملکرد کمتر شده یا حتی اختلاف عملکرد از نظر آماری معنی‌دار نباشد. - سطح آبیاری ۷۵ درصد تبخیر از تشتک کلاس A و سطح کودی ۷۵ درصد ازت مورد نیاز گیاه بر اساس آزمون خاک (۳۰۰ کیلوگرم در هکتار) با کارایی مصرف آب ۳/۹۷ کیلوگرم بر متر مکعب تیمار برتر شناخته شد.	- اعمال هر گونه تنش رطوبتی در مراحل نمو اندام‌های زایشی در گیاهانی که تولید مثل جنسی دارند باعث کاهش شدید عملکرد می‌شود.

ادامه جدول ۱

منطقه	خاک، محصول، رقم زراعی مورد استفاده	نتیجه اصلی	سایر نتایج
همدان	خاک لومی، چغندرقند	- به منظور افزایش کارایی مصرف آب، عملکرد قند قابل استحصال و صرفه‌جویی آب مصرفی، قطع آبیاری در مرحله اول رشد و مرحله رشد برگی (مرحله ۱۰-۸ برگی یا تقریبا شش هفته پس از کشت) توصیه می‌گردد.	- قطع آبیاری بیش از یک بار در هر مرحله رشد انجام نگردد. - به منظور صرفه‌جویی در مصرف آب ۳ بار قطع آب در ۳ مرحله مختلف رشد چغندرقند عملی می‌باشد.
آذربایجان غربی	ذرت	- در منطقه مورد آزمایش دور آبیاری را بجای ۱۱ روز می‌توان ۱۵ روز انتخاب کرد. - می‌توان پیشنهاد نمود جهت صرفه‌جویی در آب آبیاری به جای ۱۰۰درصد نیاز آبی از ۷۵ درصد نیاز آبی برای آبیاری ذرت استفاده نمود.	
مغان	خاک لوم رسی، گندم، ارقام تجن و شیرودی	آبیاری در مرحله خمیری سخت گندم باعث تغییر معنی‌داری در میانگین عملکرد نشد، لذا آبیاری در این مرحله ضروری نمی‌باشد. - حساس‌ترین مرحله رشد ارقام تجن و شیرودی به تنش کمبود آب از مرحله ساقه روی تا گلدهی می‌باشد.	- رقم شیرودی در شرایط تنش آبی از عملکرد بهتری برخوردار است.
خراسان، فارس، اردبیل آذربایجان غربی و تهران	کلزا	- بهترین گزینه روش آبیاری سطحی و آرایش کاشت کلزا برای رسیدن به حداکثر عملکرد و کارایی مصرف آب، کاشت کلزا با آرایش دو ردیفه روی پشته و آبیاری بصورت شیاری یک در میان معرفی می‌گردد.	- کارایی مصرف آب در آرایش کاشت دو ردیفه نسبت به چهار ردیفه برتری دارد لذا توصیه می‌شود به هنگام کاشت کلزا با خطی کار همدانی با عرض پشته ۳ متر دو لوله سقوط میانی در هر واحد کاشت مسدود شده و بدین ترتیب روی هر پشته دو ردیف با فاصله ۳۵ سانتی‌متر کشت گردد.
کبوتر آباد اصفهان	خاک لوم رسی، گرمک	- خاکپوش پلی اتیلن علاوه بر افزایش محصول و تولید میوه پیش‌رس در حفظ رطوبت خاک، کاهش دفعات آبیاری به ویژه در اول فصل، کاهش مصرف شن و کنترل علف‌های هرز به نحو مطلوبی مؤثر بودند. - با توجه به مزایای کاهش مصرف آب و راندمان بالای سیستم آبیاری قطره‌ای، توأم نمودن آن با مدیریت کم-آبیاری و مالچ پلی اتیلن در استفاده بهینه از آب مؤثر می‌باشد.	- عملکرد حاصله از دو روش سطحی و قطره‌ای تفاوت معنی‌داری نداشت لکن روش قطره‌ای باعث افزایش تولید محصول پیش‌رس گردید. - روش آبیاری تراوا در این طرح کارایی مناسبی نداشت.

ادامه جدول ۱

منطقه	خاک، محصول، رقم زراعی مورد استفاده	نتیجه اصلی	سایر نتایج
گرگان	خاک سیلتی لوم، گندم	- امکان کاربرد آب با شوری ۱۲ dS/m که بیش از آستانه تحمل به شوری گندم است، وجود دارد. - اثر کمبود رطوبت بر کاهش محصول بیش از اثر شوری است و اثر تجمعی شوری و کم آبی کمتر از مجموع اثرات هر یک از تنش‌های فوق می‌باشد.	- آبیاری در سطح ۷۵ درصد فقط باعث ۱۰درصد افت عملکرد می‌شود.
کرج	خاک لومی رسی، گندم ۶ لاین امید بخش گندم نان شامل: M-75-15، M-75-18، M-75-10، M-75-3، M-75-8 و M-75-12	- بطور کلی رفتار ارقام نسبت به تنش مشابه بود. - در صورت ضرورت کم-آبیاری، بهتر است تنش ناشی از آن تا حد ممکن در اواخر دوره رشد گیاه اعمال شود.	
شاهرود	خاک لومی، گوجه‌فرنگی، ارقام کال جی و موبیل	- در مرحله گلدهی تا میوه‌دهی می‌توان میزان آب مصرفی را تا ۵۰ درصد بدون کاهش قابل ملاحظه عملکرد کاهش داد. - تنش آبی می‌تواند خصوصیات کیفی محصول مانند pH، درصد گوشت، BRX و خاصیت حمل و نقل میوه را افزایش داده و کیفیت میوه را بهبود بخشد.	- حداکثر کارایی مصرف آب ۹/۶ و ۹/۵ کیلوگرم بر مترمکعب در هکتار به ترتیب مربوط به تیمارهای سطح آبیاری ۷۵ درصد در مراحل رشد پس از برداشت اول تا انتهای فصل و ۵۰ درصد در مرحله رشد نشاء تا گلدهی بود. - آبیاری مازاد بر نیاز باعث کاهش کلیه پارامترهای کیفی میوه می‌شود.
کهریز ارومیه	خاک لومی، گوجه‌فرنگی، رقم کورال	- در روش آبیاری شیاری هم می‌توان کارایی مصرف آب را تا حد روش‌های قطره‌ای بالا برد. - به منظور دستیابی به حداکثر تولید و حداکثر عمر انبارداری با کم-آبیاری به میزان ۲۰ درصد می‌توان ضمن دستیابی به عملکرد مناسب موجب افزایش طول انبارداری میوه شد.	

مختلف آبیاری با توجه به مراحل مختلف رشد بایستی صورت گیرد.

- جهت مقایسه بین مدیریت آبیاری در شرایط زارعین با مدیریت‌های مبتنی بر نیاز آبی

و اصول علمی بخصوص در مناطقی که در زمینه کم-آبیاری تحقیق می‌شود، ضروری است در مورد شناخت میانگین مصرف آب در مزارع زارعین و وضعیت بازده آبیاری در این شرایط نیز تحقیقات بعمل آید.

- گیاهانی که برای برنامه‌ریزی کم-آبیاری انتخاب می‌شوند بایستی دوره رشد کوتاه و قابلیت تولید محصول بالایی را دارا بوده و مقاوم به خشکی نیز باشند، چنین ارقامی باید انتخاب و رفتار آنها در مقابل تنش آبی بررسی و بهترین آنها شناسایی شود.
- در کم-آبیاری بایستی گیاهان دارای تراکم بوته کمتری در واحد سطح باشند تا از میزان آب محدود استفاده بهینه بعمل آمده و رقابت گیاهان برای مصرف آب کاهش یابد. در صورت تراکم کمتر از مقدار مصرف کود و آفت‌کش‌های شیمیایی به میزان قابل توجهی کاسته خواهد شد لذا در مورد تراکم‌های مختلف بوته نیز در کم-آبیاری بایستی تحقیق و مقدار بهینه مصرف آب به همراه تراکم مناسب تعیین شود.
- آبیاری‌های پیش از موعد (هیرم‌کاری) که جهت تسریع در جوانه زدن بذر، گسترش ریشه و کنترل شوری خاک در ابتدای فصل رشد انجام می‌شود بایستی مورد تحقیق قرار گرفته و مشخص شود انجام این کار در طرح‌های کم-آبیاری چه میزان باعث افزایش کارایی مصرف آب می‌گردد.
- با توجه به اینکه در تحقیقات انجام شده درصد کم- آبیاری ۲۰ تا ۲۵ درصد توصیه شده است، لذا بهتر است در مورد دور آبیاری مناسب در این سطح نیز تحقیق شده و بهترین دور آبیاری نیز مشخص شود.
- لازم است کم-آبیاری با استفاده از آب‌های نامتعارف مورد ارزیابی واقع شود.
- در زمینه استفاده از مالچ و نقش آن در افزایش کارایی مصرف آب و سایر فواید اقتصادی آن مانند پیش رسی محصول و جلوگیری از رشد علف‌های هرز و غیره بایستی تحقیق شود.
- در مورد آبیاری موجی و نقش آن در افزایش راندمان آبیاری و کارایی مصرف آب در محصولات مختلف بایستی تحقیقات بیشتری صورت گیرد و تأثیر آن در صرفه‌جویی آب در آبیاری اول (خاک- آب) مورد توجه قرار گیرد.
- سطح بهینه مصرف کود نیز در تیمارهای برتر کم-آبیاری بایستی مشخص شود.

همچنین بر اساس نتایج کارگاه هم‌اندیشی چالش‌ها، راهکارها و چشم‌اندازهای زیر در خصوص کم-آبیاری ارائه می‌گردد:

چالش‌های کاربرد نتایج کم-آبیاری در عمل

- کمبود و یا عدم وجود پروژه‌های جامع کم- آبیاری، و یک سو (فنی) نگری و در نظر نگرفتن شرایط کشاورزان برای کاربرد این نتایج. به عبارت دیگر نتایج تحقیقات کم-آبیاری فقط از جنبه فنی است و یک

جانبه‌گرا است و غالباً ابعاد اقتصادی/ اجتماعی مسئله دیده نشده است. از اینرو باید پروژه‌های کم-آبیاری در مقیاس وسیع و واقعی اجرا شوند. کمبود مزارع الگویی و زیر ساخت‌های لازم، عدم تطبیق موضوعات تحقیقاتی با شرایط کشاورزان، و کمبود انجام طرح‌های تحقیقاتی مشارکتی در زمینه کم-آبیاری از سایر مسائل و چالش‌های مرتبط می‌باشد.

- نیاز / عدم نیاز به تحقیقات/کاربرد کم-آبیاری برای بعضی از گیاهان زراعی/ باغی جای سئوال داشته و نیاز به بررسی بیشتر دارد. یعنی کم-آبیاری برای کدام گیاهان؟ آیا کم-آبیاری در اراضی درجه یک ضرورت دارد؟ همچنین در زمینه ارقام پرمحصول زراعی برای شرایط کم-آبیاری کمبود وجود دارد.
- نیاز به ارائه الگوی کشت مناسب به کشاورزان برای اعمال کم-آبیاری.
- کم-آبیاری در شرایط آبیاری سطحی طراحی شده (شیب، طول، عرض، دبی و ...) و با راندمان مناسب انجام شود.
- تحقیقات کم-آبیاری انجام شده اکثراً در شرایط کرت‌های آزمایشی کوچک و با راندمان آبیاری ۱۰۰ درصد انجام شده و ممکن است نتایج آنها با شرایط مزرعه واقعی همخوانی نداشته باشد. لذا در زمینه پروژه‌های جامع کم-آبیاری و اجرای آنها در شرایط مزرعه‌ای کشاورزان با کمک نیروهای آموزش دیده کمبود وجود داشته و همچنین باید بودجه‌های لازم نیز اختصاص داده شود.
- تحقیقات کم- آبیاری باید براساس منابع آب (از لحاظ مناطق پر آب و کم آب)، سیستم شبکه آبیاری مزرعه و غیره متفاوت باشد.
- عدم تحویل حجمی آب به کشاورزان و نبود برنامه برای خرید/ مبادله آب‌های مازاد ناشی از حقابه‌ها و یا حاصل از صرفه‌جویی‌ها. به عبارت دیگر دستگاه‌ها و برنامه‌ریزان، برنامه مدونی برای آب صرفه‌جویی شده حاصل از کم-آبیاری ندارند. در این راستا چالش‌هایی در زمینه‌های مسائل حقابه‌ها مبتنی بر قانون/ نظام آبیاری، دور آبیاری، مالکیت آب و زمین وجود دارد و این امر انگیزه‌های لازم برای کاهش آب مصرفی را ایجاد ننموده و لذا کاربردی شدن نتایج تحقیقات کم- آبیاری را با چالش مواجه نموده است.
- انگیزه‌های پذیرش و مسائل اقتصادی مالی بسیاری در زمینه کاربردی شدن نتایج تحقیقات کم-آبیاری وجود دارد.
- کمبود کارشناسان ترویجی و مسائل آموزش کشاورزی و نظام مهندسی مرتبط در کم-آبیاری.
- عدم آشنایی کشاورزان از اطلاعات تخصصی مراحل مختلف کم-آبیاری.
- عدم جامع‌نگری و ارتباط با سایر سیستم‌های تهیه زمین و عملیات مرتبط برای شرایط کم-آبیاری (نظیر سیستم کوبیدن فارو و غیره). مناسب نبودن روش‌های تهیه زمین در اراضی با آبیاری سطحی (طول، عرض، مساحت، و شیب و غیره) و عدم امکان اجرای

آبیاری سطحی علمی.

- کمبود اجرای طرح‌های کم-آبیاری در قالب پایلوت و با مشارکت کشاورزان.
- عدم استفاده از اقدامات و نوآوری‌ها و تجربه‌های کشاورزان که کم-آبیاری را به صورت تجربی عمل می‌کنند و ضرورت استفاده از تجارب کشاورزان و دانش بومی در زمینه کم-آبیاری.

روش‌های مناسب کاربردی و توصیه‌ای برای اعمال کم- آبیاری

- روش کاهش مقدار آب کاربردی در هر آبیاری (به عنوان نمونه کاربرد ۶۰ درصد نیاز آبی) در روش‌های آبیاری سطحی اجرایی نیست. کم-آبیاری با سیستم آبیاری، از لحاظ مسائل راندمان آبیاری، ارتباط دارد. کم-آبیاری باید ضریبی از دور آبیاری باشد. از لحاظ روش‌های اعمال کم-آبیاری، روش قطع نوبت‌های آبیاری کاربردی‌تر است.
- روش دور آبیاری در روش‌های آبیاری سطحی (بسته به نظام بهره‌برداری) در آب‌های زیرزمینی قابل اجرا است. روش تغییر فاصله آبیاری، افزایش فاصله در مراحل غیر حساس و غیره احتمالاً روش کاربردی‌تر بوده و روش و قطع آبیاری را هم در بر می‌گیرد. در مناطقی که آب مطمئن ندارند بر اساس تعداد آب در اختیار باید اولویت‌های ۱، ۲ بیان گردد. مثلاً اگر یک بار آبیاری امکان‌پذیر باشد بهتر است در مرحله ۱ و اگر دو بار آبیاری در مراحل ۱ و ۲ و الی آخر. به عبارت دیگر حذف آبیاری‌ها در مراحل غیرحساس رشد قابل اجرا می‌باشد.
- کم-آبیاری نیاز به تمهیدات فنی خاصی ندارد و می‌تواند مستقل از سایر راهکارهای کاهش مصرف آب اعمال شود.
- برنامه‌ریزی آبیاری اهمیت زیادی داشته و در قدم اول آن باید اجرا شده و سپس کم-آبیاری اعمال شود.
- ضرورت برنامه‌ریزی مناسب برای آبیاری و تجهیز مزارع به وسایل اندازه‌گیری رطوبت و تبخیر و تعرق. پیشنهاد می‌شود برای برنامه‌ریزی آبیاری، استفاده از تشت تبخیر که با دریافت‌های کشاورزان سازگارتر است در اولویت برنامه‌های آینده قرار گیرد.
- در شبکه‌های آبیاری به منظور اعمال کم-آبیاری، تمرکز بر اعمال کم-آبیاری از طریق هیدرومدول شبکه باشد.

ادامه تحقیقات و چشم‌انداز آینده برای کم-آبیاری

- ادامه کار تحقیقات کم-آبیاری در پایلوت‌های تحقیقاتی و در حضور و با مشارکت بیشتر کشاورزان.
- ایجاد ارتباط بیشتر تحقیقات با بخش اجرا و همکاری فیمابین برای اجرایی نمودن نتایج تحقیقات کم-آبیاری.
- تدوین نشریه‌های فنی در زمینه مسائل،

نتایج، و چالش‌های کاربرد نتایج کم-آبیاری در استان‌های مختلف (به عنوان نمونه برنامه‌ریزی آبیاری برای گندم در منطقه گلستان).

- تدوین تک نگاشت و کتاب از نتایج کارهای تحقیقاتی انجام شده قبلی.
- تعریف پروژه‌های منطقه‌ای یا ملی در زمینه کم-آبیاری و به منظور پر نمودن خلأهای تحقیقاتی.
- اجرای تعدادی پایلوت‌های تحقیقاتی ترویجی و کاربردی از کارهای قبلی با همکاری بخش‌های اجرایی در مناطق مختلف کشور.
- مشخص شدن برنامه‌ها در بخش‌های ستادی و مراکز استان‌ها.
- تحقیقات بیشتر در زمینه بهینه‌سازی آب‌شویی املاح و ارتباطات متقابل آن با کم-آبیاری.
- از آنجایی‌که در شناسنامه محصولات زراعی معرفی شده، به میزان، زمان و مقدار کاربرد آب اشاره نمی‌شود، لذا لازم است توجه بیشتری به بحث تنش آبی و کم-آبیاری در معرفی ارقام شود.
- بهتر است تحقیقات کم-آبیاری متمرکز بر گیاهان پر مصرف شود.
- کم-آبیاری باغات بیشتر مد نظر قرار گیرد.
- در تعاریف و ادراک مفاهیم واژه‌های "کم-آبیاری"، "کم آبیاری"، "نیاز آبیاری"، و "نیاز آبی" بین ذینفعان، پیچیدگی‌ها و ابهامات و دیدگاه‌های مختلف وجود دارد که باید طی نشست‌های آتی تشریح و تفسیرمناسبی از آنها به عمل آید.
- به نشست‌های هم‌اندیشی بیشتری و با طیف وسیع‌تری از ذینفعان و ذیمدخلان، به خصوص با همکاری بخش‌های اجرایی کشور، در این زمینه نیاز می‌باشد.

در مجموع کم-آبیاری راهکاری بهینه برای تولید محصولات زراعی و باغی تحت شرایط کمبود آب است. با اعمال این راهکار عملکرد محصول در واحد سطح نسبتاً کاهش یافته ولی تولید یا سود حاصل از فروش محصول می‌تواند با گسترش سطح کشت و یا اختصاص آب صرفه جوئی شده به محصولات تحت کشت دیگر افزایش یابد. همچنین در این روش کارایی مصرف آب محصول نیز به صورت بالقوه می‌تواند تا حد زیادی افزایش یابد. در واقع این راهکار تا حد زیادی مرتبط با تکنیک‌های بهینه سازی زمین و آب و میزان تولید و سود خالص یا ناخالص از آن می‌باشد که می‌تواند صرفنظر از سایر راهکارهای کاهش مصرف آب آبیاری و اقدامات و روش‌های صرفه‌جویی و کاهش آب آبیاری کاربردی (کم/کمتر آبیاری) مورد استفاده واقع شود. در واقع کم-آبیاری راهکار بهینه‌سازی است که در آن آگاهانه به گیاهان زراعی اجازه داده می‌شود با دریافت آب کمتر از نیاز، محصول خود را کاهش دهند. این مهم می‌تواند هم از طریق کاهش میزان آب آبیاری در هر نوبت و یا حذف آبیاری‌هایی که کمترین بازدهی را دارند

عملی شود.

همانگونه که اشاره شد کم-آبیاری یک فناوری بهینه سازی است که کشاورزان ما در حال حاضر دانش لازم در این زمینه را ندارند. حتی پروژه‌های تحقیقاتی انجام شده، با توجه به اینکه در مقیاس خیلی کوچک انجام شده‌اند، به مسئله بهینه‌سازی زیاد نپرداخته و بیشتر بر مسائل تنش آب و کاهش محصول و افزایش کارایی مصرف آب توجه نموده‌اند. از طرفی دیگر کاربرد کم-آبیاری با رویکرد بهینه‌سازی ممکن است برای اراضی خرد و کشاورزان خرده پا عملی نباشد. همچنین بحث ارزش و قیمت واقعی آب در کشور، تخصیص حجمی آب، مسائل حقابه‌ها، منبع آب آبیاری و بسیاری دیگر از عوامل مرتبط، پیچیدگی‌های زیادی را در خصوص کاربرد کم-آبیاری با رویکرد بهینه سازی ایجاد می‌نماید.

نگارنده این مقاله بر این عقیده است که بین "کم-آبیاری" و "کم/کمتر آبیاری" تفاوت وجود دارد. آنچه که کشاورزان در مزارع و حتی در بعضی از پروژه‌های تحقیقاتی انجام می‌شود "کم آبیاری" و اعمال تنش آبی است بدون آنکه میزان کاهش محصول و منافع اقتصادی حاصل از کاهش مصرف آب و افزایش کارایی مصرف آب مرتبط دقیقاً محاسبه و تجزیه و تحلیل اقتصادی شده باشد. "کم-آبیاری" و"کم آبیاری" راهکارهای خاص خود را نیاز دارند. کلیه اقدامات فنی و زیر بنایی و مدیریتی و اعمال تنش به گیاه برای کاهش و صرفه‌جویی در مصرف آب، می‌تواند منجر به "کم آبیاری" شود. همچنین در حال حاضر با توجه به کمبود منابع آب "کم آبیاری" غیر علمی و غیر کنترل شده از طریق کشاورزان به طور طبیعی اعمال می‌شود و با تسری نتایج تحقیقاتی به کشاورزان و عملیات به زراعی و زیر بنایی در خصوص شیوه‌های کاهش مصرف آب (تسطیح اراضی، کاهش دبی جریان، پوشش انهار، افزایش سرعت پیشروی آب در نوار یا جویچه، آبیاری شیاری یک در میان، آبیاری تناوبی، آبیاری موجی، قطع آبیاری‌های مختلف، آبیاری تکمیلی و غیره) این "کم آبیاری" علمی‌تر و کنترل شده خواهد گردید. ولی تکنیک "کم-آبیاری" نیاز به تمهیدات و دانش خاص خود را دارد و شاید در شرایط دانش فنی و سواد و مهارت کشاورزان قابل عمل نباشد. از طرفی دیگر با توجه به نوسانات قیمت آب و محصول شاید بازگشت اقتصادی لازم را نداشته باشد. لذا در شرایط فعلی تمرکز بیشتر بر کاهش آب آبیاری از طریق روش‌های "کم آبیاری" عملی‌تر می‌باشد.

توصیه‌های ترویجی

با توجه به جمع‌بندی تحقیقات انجام شده و در نظر گرفتن پایین بودن راندمان آبیاری مزارع کشاورزان، می‌توان به عنوان یک قاعده کلی، به جزء مراحل رشدی حساس به تنش آبی(نظیر مرحله گلدهی)، ۲۰ تا ۲۵ درصد کم- آبیاری را برای گیاهان زراعی توصیه نمود. همچنین در

بین محصولات زراعی تحقیقات کم-آبیاری بیشتر روی محصولات چغندرقند، ذرت، و سیب‌زمینی معطوف بوده و لذا نیاز می‌باشد تحقیقات بر روی سایر محصولات استراتژیک و پر مصرف از نظر آب نظیر برنج، پنبه، یونجه، و محصولات سبزی و صیفی نیز انجام شود. در کم-آبیاری مراحل فنولوژیکی بایستی مدنظر قرار گیرد و از اعمال تنش در مراحل حساس و بحرانی رشد اجتناب نمود. گیاهانی که برای برنامه ریزی کم-آبیاری انتخاب می‌شوند بایستی دوره رشد کوتاه و قابلیت تولید محصول بالایی را دارا بوده و مقاوم به خشکی نیز باشند. در کم-آبیاری بایستی گیاهان دارای تراکم بوته کمتری در واحد سطح باشند تا از میزان آب محدود استفاده بهینه بعمل آمده و رقابت گیاهان برای مصرف آب کاهش یابد. سطح بهینه مصرف کود نیز در تیمارهای برتر کم-آبیاری نیز بایستی مشخص شود.

سپاسگزاری

بدینوسیله نگارنده مقاله از همکاری‌های علمی شرکت‌کنندگان در نشست تخصصی هم‌اندیشی کم آبیاری در آبیاری سطحی: دستاوردها، چالش‌ها و چشم‌اندازها و همچنین همکاری‌های مؤسسات تحقیقاتی مختلف وزارت جهاد کشاورزی برای در اختیار گذاردن منابع علمی و گزارشات پژوهشی نهایی پروژه‌های مرتبط با موضوع تحقیق،که ذکر نام تمامی افراد و مؤسسات مرتبط به دلیل کثرت در اینجا مقدور نمی‌باشد، تشکر و قدردانی می‌نماید.

منابع

۱- **اکبری م (۱۳۷۷)** تأثیر کم آبیاری بر عملکرد چغندرقند. ۱۸۹-۱۷۷. نهمین همایش کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، تهران، ایران

۲- **توشیح و (۱۳۷۳)** بررسی اثر زمان و میزان مصرف کود اوره معمولی و اوره با پوشش گوگردی بر روی عملکرد گندم آبی. مرکز تحقیقات کشاورزی کردستان، شماره ۴۹/۷۴

۳- **توکلی ع ر- الف (۱۳۷۵)** بررسی اثرات کم آبیاری روی چغندرقند و تعیین تابع تولید. پایان‌نامه کارشناسی ارشد گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران، ۱۰۸ صفحه

۴- **توکلی ع ر- ب (۱۳۷۵)** بهینه‌سازی کم آبیاری بر اساس توابع تولید و هزینه با هدف بهره‌برداری پایدار از منابع آب کشاورزی. ۲۶۵-۲۵۳. کنفرانس منابع آب، تبریز، ایران

۵- **توکلی ع ر (۱۳۷۸)** ارائه برخی توصیه‌های تحقیقاتی- کاربردی پیرامون کم آبیاری. ۱۹۶-۱۸۹. هفتمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر، کرمان، ایران

۶- **توکلی ع ر (۱۳۷۹)** کم آبیاری. نشریه ترویجی، معاونت ترویج، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی

۷- **توکلی ع ر، فرداد ح (۱۳۷۸)** ارزیابی اقتصادی کم آبیاری روی محصول چغندرقند جهت بهینه‌سازی مصرف آب. مجله علوم کشاورزی ایران. ۳۰ (۳): ۵۸۴-۵۷۵

۸- **حیدری ن، نادری ن (۱۳۸۵)**کتاب یک دهه تلاش مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، بخش اول: یک دهه تلاش تحقیقات آبیاری و زهکشی (الف- بخش تحقیقات آبیاری سطحی و مدیریت آب در مزرعه)، سازمان تحقیقات، آموزش، و ترویج کشاورزی، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، ۵۴۳ صفحه

۹- **خیرابی ج، توکلی ع ر (۱۳۷۶)** بحث نظری و کاربردی درباره مدل‌های بهینه سازی کم آبیاری. مجله آب، خاک و ماشین، ۲۷: ۵۰-۴۰

۱۰- **خیرابی ج، توکلی ع ر، انتصاری م ر، سلامت ع ر(۱۳۷۵)** دستورالعمل‌های کم آبیاری. کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، ۲۱۸ صفحه

۱۱- **سپاسخواه ع ر (۱۳۷۵)** کم آبیاری به روش جویچه‌ای یک در میان. ۳۰۶-۲۹۱. هشتمین سمینار کمیته ملی آبیاری و زهکشی، تهران، ایران

۱۲- **سپاسخواه ع ر، توکلی ع ر، موسوی س ف (۱۳۸۴)** کتاب اصول و کاربرد کم آبیاری. انتشارات کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران. ۱۹۰ صفحه

13. **Adary A, Hachum A, Oweis T, Pala M (2002)** Wheat productivity under supplemental irrigation in northern Iraq. ICARDA, Aleppo, Syria
14. **English MJ, Nuss GS (1982)** Designing for deficit irrigation. ASCE, J. Irrig. Drain. Eng. 108(2): 91-106
15. **English MJ, Raja SN (1996)** Review perspectives on deficit irrigation. Agric. Water Mange, 32: 1-14
16. **English MJ, Musick JT, Murty VN (1990)** Deficit irrigation. In: Hoffman GJ, Howell TA, Solomon KH (eds.), Management of Farm Irrigation Systems, ASAE, St. Joseph, Michigan, Pp. 631-663
17. **English MJ (1990)** Deficit irrigation: analytic framework. ASCE, J. Irrig. Drain. Eng. 116(3): 399-412
18. **Kirda C (2002)** Deficit irrigation scheduling based on plant growth stages showing water stress tolerance. In: FAO, Water Report No. 22, Deficit Irrigation Practices, pp. 3-10

19. **Krieg DR (1986)** Cotton growth and development. In: Proceedings of Drip Irrigation Cotton. Symposium, Texas Agricultural Ertension Service, Midland, TX
20. **Madramootoo CA, Dodds GT, Papadopoulos A (1992)** Agronomic and environmental benefits of water table management. J. Irrig. Drain. Eng. 119: 1052-1065
21. **Musick JT, Walker JD (1987)** Irrigation practices for reduced water application, Texas High Plains, APP. Engin. Agri. 3 (2): 190-195
22. **Orgaz F, Mateos L, Fereres E (1992)** Season length and cultivar determine the optimum evapotranspiration deficit in cotton. Agron. 84: 700-706
23. **Oweis T, Hachum A (2003)** Improving water productivity in the dry areas of West Asia and North Africa, In: Kijne JW, Barker R, Molden D (eds.), Water Productivity in Agriculture, Limits and Opportunities for Improvement, International Water Management Institute (IWMI), Colombo, Sri Lanka, pp. 179-198
24. **Oweis T, Hachum A (2004)** Water harvesting and supplemental irrigation for improved water productivity of dry farming systems in West Asia and North Africa. In: Proceeding of 4th International Crop Science Congress, 26th September to 1st October 2004, Queensland, Australia
25. **Saeed LA, Nadi MA (1997)** Irrigation effects on the growth yield and water use efficiency of alfalfa. Irrig. Sci. 17: 63-68
26. **Schneider AD, Howell TA (1996)** Methods, amounts and timing of sprinkler irrigation for winter wheat. Trans. ASAE 40: 137-142
27. **Stone JF, Nofzigar D L (1993)** Water use and yield of cotton grown under wide-spaced furrow irrigation. Agric. Water Manage. 24: 27-38
28. **Trimmer WL (1990)** Partial irrigation in Pakistan. J. Irrig. Drain. Eng, ASCE, 116(3): 342-353
29. **Zhang H, Oweis T (1999)** Water- yield relations and optimal irrigation scheduling of wheat in the Mediterranean region. Agric. Water Manage. 38: 195-211
30. **Zhang H (2003)** Improving water productivity through deficit irrigation: Examples from Syria, the north China plain and Oregon, USA. In: Kijne JW, Barker R, and Molden D (eds.), Water Productivity in Agriculture, Limits and Opportunities for Improvement, International Water Management Institute (IWMI), Colombo, Sri Lanka, Pp. 301-309