

پنج گفتار

پیرامون بهره‌وری آب و اصلاح الگوی مصرف آب در کشاورزی

علیرضا توکلی

عضو هیات علمی موسسه تحقیقات کشاورزی دیم و دانشجوی دکتری دانشگاه تهران

۰۹۱۲۶۱۴۳۴۸۴

art.tavakoli@gmail.com

گفتار اول - شاخص‌های به سنجی در مصرف آب در کشاورزی

لازمه تحلیل و ارزیابی هر فرآیند و رفتاری، ارایه، تعریف و تعیین شاخص‌هایی مناسب است که ضمن جامعیت، بتواند کاستی‌ها و توانمندی‌ها را شناسایی کند. در بسیاری از کشورها و از جمله ایران، یکی از اصلی‌ترین این شاخص‌ها، میزان عملکرد در واحد سطح بوده و هست و حتی به عنوان ملاک و معیاری برای انتخاب کشاورزان و تولید کنندگان نمونه مطرح بوده و هست. اما هیچگاه تلاش نشده که تعیین شود، تولید به چه قیمتی؟ تولید به ازای مصرف چه میزان نهاده‌هایی؟ در کشورهایی مثل ایران که با محدودیت مهم‌ترین و موثرترین نهاده تولید یعنی آب مواجه است، کنکاش در این مسئله و تلاش برای اصلاح شاخص‌های مقایسه‌ای به سنجی، اهمیت فزاینده و ساختاری می‌یابد. شاید در برهه‌ای از سیر تکوین کشاورزی، شاخص عملکرد در واحد سطح می‌توانست به عنوان ابزاری رقابتی و انگیزشی برای افزایش تولید در شرایط عدم محدودیت آب و زمین، محسوب گردد، اما در شرایطی که به شدت با محدودیت آب مواجه است و با ناکارآمدی‌هایی در بخش مدیریت زراعی مواجه است، تدوین راهکارهای اصلاحی برتر که قابلیت عملیاتی شدن را نیز دارا باشند، اهمیت حیاتی و بنیادی یافته است.

یکی از شاخص‌هایی که سعی کرد تا اهمیت نهاده آب را تبیین کند، شاخص کارایی مصرف آب (Water Use Efficiency) بود که بیانگر نسبت عملکرد محصول به تبخیر و تعرق واقعی است. این شاخص سبب شد تا چگونگی تعیین تبخیر و تعرق پتانسیل محصولات، ضرایب گیاهی، راندمان آبیاری، آبشویی، تبخیر و تعرق واقعی و نیز مباحث مربوط به بیلان آب در خاک، به وفور در ادبیات دانشگاهی، تحقیقاتی و تریبون‌های علمی راه یابد. این مفاهیم (خصوصاً تبخیر و تعرق واقعی) هر چند در سطوح پژوهشی و علمی تعریف شده و قابل فهم بود اما در سطح بهره‌برداران و کشاورزان، این واژه‌ها غریب، نامانوس و غیر قابل هضم بوده و هیچگاه نتوانستند در سطح مدیریت زراعی حاکم بر کشاورزی، آن را جاری و تفهیم نمایند. یکی از مهم‌ترین دلایل را علاوه بر سختی و تنوع و تفرق روش‌ها در تعیین تبخیر و تعرق واقعی، می‌توان متاثر از ساختار کشاورزی کشور، یعنی تنوع زراعی، قطعات کوچک، کم‌بها بودن آب و دانست. بدیهی است که تنوع زراعی و قطعات کوچک، به خودی خود معضل محسوب نمی‌شوند و لازمه آن این است که برنامه مدیریتی مناسب و مطلوبی برای واقعیت‌های کشاورزی کشور خویش تعریف و تدوین شود و گرنه صرف مطرح کردن این مسائل، بهانه جویی و شانه خالی کردن از واقعیت‌ها محسوب می‌شود. شاید یکی از بهترین نمونه‌ها، تعداد بهره‌برداران و متوسط سطح اراضی شالیکاری به ازای هر بهره‌بردار در شمال کشور باشد، در این حالت

مطرح کردن کوچک بودن قطعات، فقط بهانه ای است در مقابل ناتوانی بهبود بهره‌وری آب در مزارع برنج. یقیناً یک مهندس و محقق آبیاری بایستی متناسب با شرایط حاکم بر محیط‌های زراعی، کارآمدترین نسخه بهبود را بیابد و نظر کارشناسی خویش را که قابلیت عملیاتی شدن نیز دارد ابراز نماید، به همین منوال در مبحث زراعت دیم و پایین بودن شاخص بهره‌وری بارش.

برای رفع این معضل یعنی نامانوس و غریب بودن کارایی مصرف آب و تبخیر و تعرق، پارامتر مفهومی دیگری با شکلی ساده تر و کاربردی تر تعریف شد که خوشبختانه توانست با سرعتی چشمگیر در بین رده‌های مختلف جامعه توسعه یابد و آن شاخص بهره‌وری بود که نه تنها در کشاورزی بلکه در رشته‌های دیگر چون انرژی، سرمایه، ساختارهای انسانی و اجتماعی، بهداشت، فرهنگ و ... نمود پیدا کرد. آنچه که از این مفهوم در کشاورزی تجلی یافت، بهره‌وری آب (Water Productivity) بود که از نسبت عملکرد محصول به میزان آب کاربردی به دست می‌آمد و بیانگر میزان تولید محصول (ماده خشک، ماده تر، غده و ...) به ازای آب کاربردی است. از جمله مهمترین ویژگی‌های این شاخص ساختار مفهومی مدیریتی آن و مستقل بودن از تخمین و برآورد تبخیر و تعرق و راندمان است. اندک بودن شاخص بهره‌وری آب نشانگر ضعف مدیریتی و ناکارآمدی در مصرف آب است که در آن مرحله باید تلاش شود که شناسایی شود این ناکارآمدی متأثر از کدام یک یا تلفیقی از این پارامترها است: سامانه‌های آبیاری، تلفات عمقی یا رواناب، کیفیت آب، ناکارآمدی‌های زراعی و یا ناهنجاری‌های محیطی.

در زراعت دیم میزان آب کاربردی، مقدار بارش محسوب می‌شود لذا این شاخص در زراعت دیم به صورت بهره‌وری بارش تجلی یافت. در زراعت دیم و تحت مدیریت آبیاری محدود (آبیاری تکمیلی/ تک‌آبیاری)، میزان آب کاربردی شامل مجموع بارش و آب آبیاری است که در این شرایط شاخص‌های بهره‌وری آب آبیاری (Irrigation Water Productivity) و بهره‌وری کل (مجموع بارش و آب آبیاری) (Total Water Productivity) قابل تعریف و تعیین هستند.

همانطور که اشاره شد شاخص بهره‌وری آب نشاندهنده ضعف یا قوت ساختار اعمال مدیریتی است و از زوایای مختلفی چون زراعی، اقتصادی، تولید انرژی و یا پروتئین قابل تعریف و تحلیل است و دارای جامعیت و استواری و پایداری است. اما وقتی در الگوی کشت به کار گرفته می‌شود، بعد زراعی آن ناکارآمدی می‌شود زیرا همانطور که اشاره شد این شاخص بیانگر میزان عملکرد محصول به آب مصرفی است و محصولاتی که دارای تولید ماده خشک/ تر زیادتری هستند (مانند سیب زمینی، چغندر قند، یونجه و ...) به تبع آن دارای شاخص زراعی بهره‌وری آب بزرگتری هستند اما باید توجه داشت که هزینه تولید (اعم از هزینه‌های ثابت، متغیر و هزینه‌های آب و آبیاری) در این محصولات و دیگر محصولات یکسان نیست. به عنوان نمونه شاخص بهره‌وری آب در تولید گندم، چغندر قند، سیب زمینی، ذرت علوفه‌ای، پنبه، جو، نیشکر و یونجه به ترتیب ۰/۷۵، ۵/۵۸، ۰/۷۱، ۰/۵۶، ۰/۲۹ و ۱/۴۶ کیلوگرم بر متر مکعب آب مصرفی گزارش شده است اما نمی‌توان گفت کدام محصول دارای ارجحیت است. این رجحان و برتری زمانی مسلم خواهد شد که از نظر ابعادی یکسان شوند. حتی اگر بخواهیم دقیق‌تر به مسئله بنگریم بایستی اضافه کرد که برابر بودن کمی شاخص بهره‌وری آب در تولید یک محصول در دو منطقه نیز لزوماً به معنای مفاهیمی یکسان نیست و بایستی از ابعاد اقتصادی، تولید انرژی و یا پروتئین بررسی شود. از جنبه اقتصادی، شاخص بهره‌وری به صورت "نسبت سود خالص به ازای آب کاربردی"، از جنبه تولید انرژی، شاخص بهره‌وری به صورت "نسبت تولید کالری انرژی به

ازای آب کاربردی " و از جنبه تولید پروتئین، شاخص بهره‌وری آب به صورت "نسبت میزان پروتئین تولیدی به ازای آب کاربردی" تعریف می‌شود. مفاهیم اخیر خصوصاً برای تحلیل در شرایط الگوی کشت که با انواع متنوعی از محصولات با ویژگی‌های متفاوتی از لحاظ میزان تولید، سطح زیر کشت و مقادیر آب مصرفی مواجه است کاربرد ویژه‌ای دارد و بسته به اهمیت مسئله و جنبه موضوعی (کسب سود بیشتر، کالری انرژی یا پروتئین تولیدی) می‌توان الگوی کشت بهینه را تبیین و تعیین کرد. تمام تلاش‌ها در راستای افزایش میزان تولید به ازای آب مصرفی یا بهبود شاخص بهره‌وری آب هدف‌گذاری می‌شود. وجود جامعیت و ساختار فنی و کارشناسی در تحلیل مجموعه این شاخص‌ها سبب شده که آن را مهندسی بهره‌وری آب بنامیم.

گفتار دوم - نقشه بهره‌وری بارش در زراعت دیم

مشخص نبودن شاخص بهره‌وری بارش ($\text{Rain water productivity index} = \text{RWPI}$) در زراعت دیم سبب شده که تعیین وضعیت و ارزیابی این بخش از کشاورزی فاقد جامعیت و اصالت بوده و محدودیت‌های جدی در برنامه‌ریزی و بهبود وضعیت ایجاد نماید. فارغ از سهم زراعت دیم در تولید برخی محصولات کشاورزی، آنچه که بر اهمیت موضوع و حیاتی بودن آن می‌افزاید، ساختار زراعت دیم، منابع آب، تناسب، فرسایش، حفاظت خاک و مباحث معیشتی مردم در این حوضه‌هاست. پایین بودن عملکرد و به تبع آن شاخص بهره‌وری بارش (بهره‌وری آب سبز، $\text{Green water productivity}$) موجب شده که ثبات و پایداری در اتکا به تولید و درآمد این بخش، دچار نوسانات شدید مکانی - زمانی باشد. تنها در صورت مشخص بودن شاخص بهره‌وری بارش است که می‌توان گزاره‌های بهبود را عملیاتی کرد و تغییراتی بنیادین در الگوی کشت و مدیریت آب در زراعت دیم و به صورت ساختاری ایجاد کرد. هرچند شاخص بهره‌وری بارش و نقشه‌های تهیه شده بر اساس آن، شاخصی جامع از جنبه‌های زراعی، فنی و اقتصادی است اما به دلیل یکسری محدودیت‌ها به ویژه ملحوظ نکردن سطح زیر کشت، اقدام به تعریف شاخصی جامع تر یعنی شاخص بهره‌وری بارش - تولید ($\text{Rain Water Productivity - Production Index} = \text{RWPPi}$) نموده و نقشه‌ها بر اساس آنها تصحیح شد این شاخص به دلیل ماهیت کاربردی آن شاخص مدیریت توجه ($\text{Attention management}$) نامیده می‌شود.

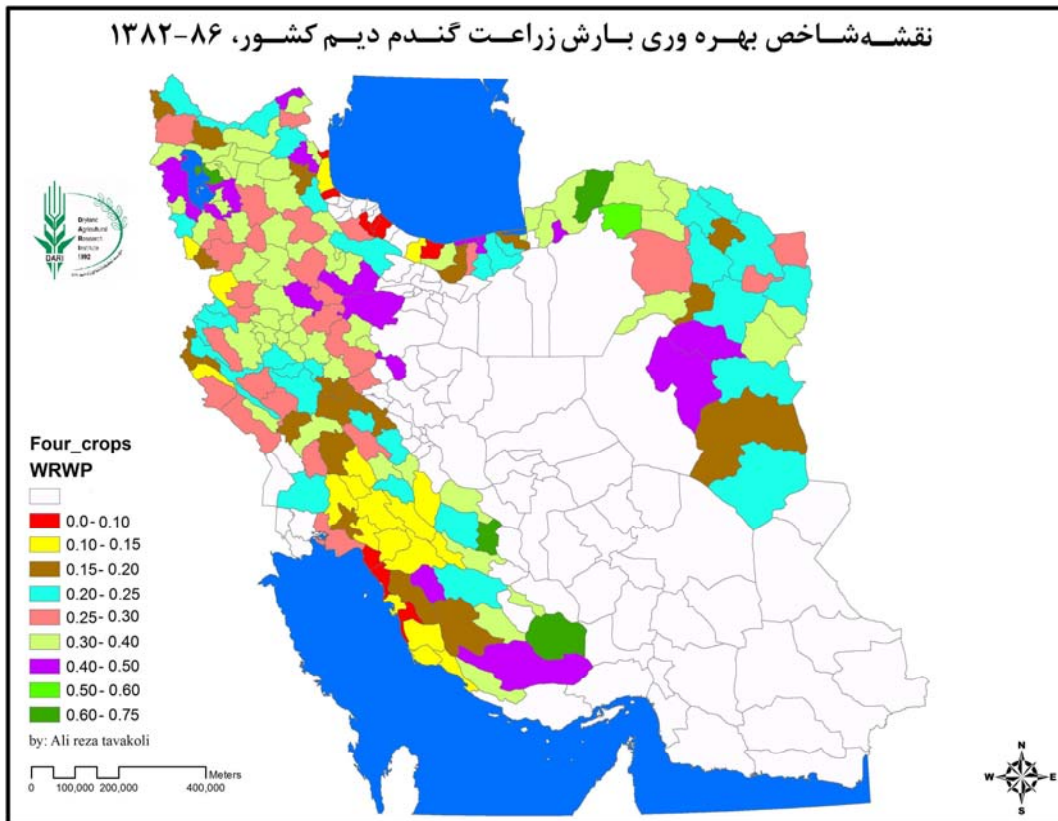
نقشه‌های بهره‌وری بارش و شاخص مدیریت توجه برای محصولات اساسی دیم کشور (گندم، جو، نخود و عدس) شرایط فعلی زراعت دیم کشور را به تصویر می‌کشاند و با توجه عمیق و کارشناسانه به آن می‌توان تصمیمات مدیریتی حکمرانانه و در سه محور اتخاذ کرد:

الف) مناطقی که اصلاً شرایط حداقلی تولید را نداشته و بهره‌وری بارش در آنها بسیار اندک است و لازم است از شمول اراضی دیم خارج شود. این مناطق می‌توانند متأثر از مقدار ناکافی بارش، پراکنش نامتناسب بارش، عدم تناسب بارش و دیگر پارامترهای جوی با تقویم رشد محصول و نیز فقدان عملیاتی شدن جنبه‌های مدیریت برتر زراعی باشد. اگر لازم باشد این اراضی از شمول دیم خارج نشوند اتخاذ تمهیدات خاصی چون اصلاح ساختارها و برنامه ریزی برای اعمال آبیاری تکمیلی محدود توأم با مدیریت برتر زراعی ضرورت دارد. در آن صورت بایستی گزاره‌های بهبود دیگری چون توسعه باغات دیم تحت شرایط سامانه‌های استحصال و جمع‌آوری آب باران و نیز کشت گونه‌های علوفه ای مقاوم به خشکی و دارای شرایط زودرسی مطالعه شود.

ب) مناطقی که دارای مقدار بارش کافی، اما بهره‌وری بارش اندک است. این پراکنش نامتناسب بارش، عدم تناسب بارش و دیگر پارامترهای جوی با تقویم رشد مناطق می‌توانند متأثر از محصول و نیز فقدان عملیاتی شدن جنبه‌های مدیریت برتر زراعی باشد. در این مناطق پراکنش بارش و یا پارامترهای جوی با تقویم فیزیولوژیک گیاه تناسب ندارد، در این شرایط اصلاح تقویم زراعی و برنامه ریزی برای اعمال تلفیقی آبیاری تکمیلی محدود توأم با مدیریت برتر زراعی ضرورت دارد و می‌تواند در بهبود بهره‌وری بارش موثر باشد.

ج) مناطقی که دارای مقدار بارش کافی و پراکنش متناسب با رشد محصول می‌باشد اما همچنان شاخص بهره‌وری بارش اندک است. این مناطق می‌توانند متأثر از عدم تناسب بارش و دیگر پارامترهای جوی با تقویم رشد محصول و فقدان عملیاتی شدن جنبه‌های مدیریت برتر زراعی باشد. برای چنین مناطقی با اصلاح تقویم زراعی و اعمال مدیریت برتر زراعی می‌توان به بهبود بهره‌وری بارش امیدوار شد.

به یک نمونه از نقشه بهره وری بارش در تولید گندم دیم (مرحله مقدماتی) که برای اولین بار و برای چهار محصول گندم، جو، نخود و عدس دیم تهیه شده و در حال تکمیل است، اشاره می شود. ضمن اینکه شاخص های مورد ارزیابی شامل عملکرد، بهره وری بارش و بهره وری بارش - تولید (مدیریت توجه) بوده است. بدلیل اینکه شاخص عملکرد و بهره وری بارش نمی توانستند همه نیازها را پاسخگو باشند اقدام به تعریف شاخص بهره وری بارش - تولید یا شاخص مدیریت توجه شد.



گفتار سوم - مدیریت آب در زراعت دیم

افزایش بهره‌وری از آب و نهاده‌های تولید در تولید محصولات کشاورزی با توجه به محدودیت آب اهمیت روز افزونی یافته است. هر چند زراعت دیم، علیرغم گستردگی آن دارای خصوصیات متمایز و متفاوتی از زراعت آبی می‌باشد اما در مبحث مدیریت آب (بارش) و پیوستگی منابع دارای ویژگی‌های مشترک هستند. بسیاری از پدیده‌ها و عوامل در زراعت دیم، علیرغم تاثیرگذار بودن، غیرقابل کنترل یا تعدیل هستند، تغییرات سال به سال بارش، تغییرات مقدار و پراکنش (توزیع) نزولات جوی، تغییرات درجه حرارت و عدم وقوع بارش در بخشی از سال زراعی سبب می‌شوند که ریسک و خطرپذیری در زراعت دیم بالا بوده و ضریب اعتماد و درجه ثبات و پایداری تولید، اندک باشد. به همین دلیل زراعت دیم در اقتصاد خانواده‌های روستایی دارای جایگاه و پایگاه مستحکمی نیست و به امید و انشالله متکی است. لذا ابزارها و شیوه‌های مختلفی که در کاهش ریسک و ایجاد ثبات و پایداری عملکرد محصولات دیم موثر باشند و بتوانند در برنامه‌ریزی و رشد بنیه اقتصادی و معیشت خانوارهای روستایی در گام نخست و اقتصاد ملی در نگاه کلان نقش آفرین باشند، مورد توجه است. زراعت دیم که سطحی افزون بر ۶ میلیون هکتار را در استان‌های مختلف کشور در بر گرفته و افزون بر ۶/۱۸ میلیون تن تولید چهار محصول گندم، جو، نخود و عدس را بر عهده دارد، نیازمند مدیریت صحیح تر و اساسی تر حدود ۲۵ میلیارد متر مکعب بارشی است که بر این اراضی می‌بارد و متاسفانه در شرایط حاضر به طور متوسط به ازای هر ۴۰۰۰ لیتر بارش فقط ۱ کیلوگرم محصول دیم تولید می‌شود (جدول ۱).

از شیوه‌ها و راهبردهای فنی - زراعی موثر، می‌توان اعمال مدیریت آبیاری تکمیلی و تک‌آبیاری (Supplemental/Single Irrigation) را نام برد که تعیین رقم مناسب، میزان آب مصرفی، زمان کاشت و میزان افزایش عملکرد با آبیاری تکمیلی و تک‌آبیاری، از جمله مسائل مرتبط به آن است.

جدول ۱- خلاصه وضعیت سطح زیر کشت، تولید و بهره‌وری بارش در شرایط حاضر کشور (متوسط ۸۶-۱۳۸۲)

Rainfed crops	avg. Yield (Kg/ha)	sum Area (1000ha)	sum Rain (MM ³)	avg. Rain (mm)	sum production (1000Ton)	RWP (Kg/m ³)	Area %	Yield %
wheat	1114	4266	17152	402	4751.6	0. 292	70. 4	76. 9
Barley	1019	1032	4726	458	1051.7	0. 239	17. 0	17. 0
Lentil	454	204	764	374	92.6	0. 128	3. 4	1. 5
Chickpea	510	561	2541	396	286.2	0. 119	9. 3	4. 6
	1020	6063	25183		6182	0. 245		

اگر چه عملکرد محصول تحت شرایط دیم، بستگی به بارش سالانه (مقدار و پراکنش) دارد اما عملکرد دانه و بهره‌وری از آب مصرفی از طریق مدیریت‌های زراعی و مصرف نیتروژن بطور موثری افزایش می‌یابد. آبیاری تکمیلی، بهینه‌سازی مصرف آب از پایین (کاربرد حداقل آب نسبت به شرایط دیم برای جبران کمبود بارش) است. در شرایط محدودیت آب، بکارگیری یک آبیاری حداقل در زمان مناسب (زمان و مقدار مناسب)، می‌تواند عملکرد دانه و بهره‌وری از آب مصرفی به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش دهد. زمان مناسب بسته به شرایط اقلیمی، زمان کاشت و یا در بهار و عمدتاً در مرحله ظهور سنبله تا گلدهی است.

با بررسی شاخص‌های بهره‌وری آب مصرفی و مقادیر عملکرد دانه در تیمارهای مختلف، گزینه اول برنامه مناسب تک‌آبیاری برای گندم و جو دیم در مناطق سرد، تک‌آبیاری بلافاصله پس از کاشت است که در نتیجه آن عملکرد مناسب و بهره‌وری آب مطلوبی به دست خواهد آمد. گزینه دوم برای این مناطق و برای محصولات دیم، یک آبیاری حداقل بهاره (تأمین ۵۰ درصد کمبود رطوبتی خاک) در طول دوره ظهور سنبله تا گل‌دهی کفایت می‌کند. در مناطق معتدل گزینه‌های آبیاری بر عکس مناطق سرد است (گزینه اول آبیاری بهاره و گزینه دوم آبیاری زمان کاشت). در صورت دسترسی به منابع آب و امکانات آبیاری انجام یک نوبت آبیاری در پاییز و یک نوبت آبیاری در بهار می‌تواند عملکرد بسیار مناسبی را به همراه داشته باشد. با توجه به وجود مراحل بحرانی رشد (ابتدا یا انتهای فصل رشد) اعمال تک‌آبیاری در هر یک از این مراحل به ترتیب با جلو انداختن رشد و استقرار محصول و یا کنترل تنش رطوبتی انتهای فصل، موجبات تثبیت و افزایش چشمگیر عملکرد از ۵۰۰ تا بیش از ۲۵۰۰ کیلوگرم در هکتار می‌گردند. بخشی از این افزایش عملکرد ناشی از افزایش بهره‌وری بارش خواهد بود.

متوسط بهره‌وری بارش در تولید گندم، جو، نخود و عدس دیم به ترتیب ۰/۲۹۲، ۰/۲۳۹، ۰/۱۱۹ و ۰/۱۲۸ کیلوگرم بر متر مکعب بارش است (جدول ۱) و متوسط بهره‌وری بارش در زراعت این چهار محصول دیم ۰/۲۴۵ کیلوگرم بر متر مکعب است (جدول ۱) که اصلاً مطلوب نیست. اندک بودن شاخص بهره‌وری بارش بیانگر ضعف برآیند مدیریت زراعی از یک‌سو و عدم کفایت مقدار بارش و پراکنش نامناسب آن، خصوصاً در مراحل حساس رشد است. استفاده از ارقام با پتانسیل تولید اندک، حساسیت به آفات و بیماری‌ها، حساس بودن به تنش‌های محیطی (سرما، خشکی، گرما) و عدم مراعات عملیات زراعی مناسب (تناوب زراعی مناسب، تاریخ کاشت، تهیه زمین، ماشین‌آلات کاشت، میزان، نوع و نحوه کاربرد کودهای شیمیایی و برداشت) سبب کاهش عملکرد و در نتیجه کاهش بهره‌وری بارش در شرایط دیم می‌شود. در مناطقی که امکان انجام تک‌آبیاری وجود ندارد با اصلاح ساختار مدیریت زراعی سنتی و به کارگیری مدیریت برتر زراعی در قالب بسته پیشنهادی پژوهشی و از طریق افزایش تولیدی بین ۲۵۰ تا ۵۰۰ کیلوگرم در هکتار، موجبات افزایش بهره‌وری بارش و بهبود معیشت کشاورزان فراهم می‌گردد. تعمق بر شاخص بهره‌وری آب باران، نشان دهنده ضعف مدیریت زراعی و ضرورت تلاش جدی و فراگیر پژوهشی، آموزشی و ترویجی مزرعه به مزرعه است. مهمترین اقداماتی که می‌توان در زراعت دیم و برای محصولات زراعی و با اتمام به حفظ تنوع زراعی انجام داد شامل به کارگیری دستورالعمل‌های زراعی تدوین شده توسط موسسه تحقیقات کشاورزی دیم و نیز اعمال آبیاری تکمیلی محدود است.

این توصیه‌ها عبارتست از:

- ۱- جایگزینی مدیریت برتر زراعی و ارقام اصلاح شده به جای مدیریت سنتی و ارقام محلی دیم.
- ۲- اعمال تک‌آبیاری بسته به نوع اقلیم و پراکنش بارش توأم با اعمال مدیریت برتر زراعی و به کارگیری ارقام اصلاح شده.
- ۳- اعمال دو نوبت آبیاری (زمان کاشت و بهاره) توأم با اعمال مدیریت برتر زراعی و به کارگیری ارقام اصلاح شده.
- ۴- به کارگیری جو دیم با پتانسیل تولید بالا و تحت شرایط آبیاری محدود به جای ارقام جو آبی محلی. مدیریت برتر زراعی مبتنی بر بسته پیشنهادی حاصل از پژوهش و تحقیق بوده و شامل: رعایت تناوب زراعی،

رقم مناسب و اصلاح شده، تهیه بستر مناسب، ادوات کاشت، زمان مناسب کاشت، مدیریت مصرف کود (میزان، زمان و منبع و نحوه مصرف کود)، کنترل علف‌های هرز و کنترل آفات و بیماری‌ها است.

▪ مطابق با متوسط آمار چهار ساله ۸۶-۱۳۸۲ متوسط عملکرد گندم و جو دیم کشور به ترتیب ۱۱۱۴ و ۱۰۱۸ کیلوگرم در هکتار است در صورتی که موسسه تحقیقات کشاورزی دیم با اتکا به نتایج تحقیقات خویش عملکرد گندم و جو دیم را بسته به اقلیم سرد، معتدل و گرمسیر ۳۵۰۰ - ۲۱۰۰ کیلوگرم در هکتار معرفی کرده است.

▪ در پیوست قانون برنامه پنجساله اول توسعه اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی (۷۲-۱۳۶۸) قانونگذار اظهار می‌دارد که عملکرد گندم دیم (۷۱۰ کیلوگرم در هکتار) و جو دیم (۷۳۲ کیلوگرم در هکتار) به ۱۱۰۰ کیلوگرم در هکتار افزایش خواهد یافت.

▪ مطابق با متوسط آمار چهار ساله ۸۶-۱۳۸۲ متوسط عملکرد نخود و عدس دیم کشور به ترتیب ۵۱۰ و ۴۵۴ کیلوگرم در هکتار است در صورتی که موسسه تحقیقات کشاورزی دیم با اتکا به نتایج تحقیقات خویش عملکرد نخود دیم را ۲۰۰۰ - ۱۴۰۰ کیلوگرم در هکتار و عملکرد عدس دیم را ۱۳۰۰ - ۹۰۰ کیلوگرم در هکتار معرفی کرده است.

ریشه معضلات اساسی در پایین بودن بهره‌وری بارش در تولید زراعت دیم کشور و عدم تحقق و عملیاتی شدن یافته‌های پژوهشی:

۱- پتانسیل عملکرد و توانمندی ارقام معرفی شده که بعضاً افزون بر ۱۰ سال از معرفی آنها می‌گذرد در شرایط خاص حاصل شده و با واقعیت مزارع سازگار نیست. این پیش فرض با گزارشات و یافته‌های پژوهشی موسسه دیم همخوانی ندارد.

۲- ضرورت کنکاش در عملکرد دستگاه اجرایی که سبب شده ارقام جدید علیرغم پتانسیل بالای تولید و ویژگی‌های برتر زراعی نتوانند وارد سیستم زراعی دیم شده و جایگزین ارقام بومی شوند.

۳- عدم استقبال و تمایل کشاورزان در به کارگیری ارقام جدید، که یقیناً در صورتی که دارای کمترین صرفه اقتصادی برای آنها باشد بروز چنین امری محال است

۴- مطابق با نقشه‌های بهره‌وری بارش و مدیریت توجه، چیدمان پازل دیم نیازمند ارزیابی و اصلاح ساختاری است. هر چند بر اساس این نقشه‌ها برخی مناطق و استان‌ها بایستی از شمول دیم خارج شوند و یا تمهیدات خاصی برای آنها منظور شود، اما در بقیه مناطق و استان‌ها، ریشه مشکلات به ضعف ساختار زراعی برمی‌گردد که از آن جمله به نظر می‌رسد که یا ارقام جدید محصولات دیم نتوانستند جایگزین ارقام بومی شوند و یا اینکه پتانسیل واقعی آنها در مزارع با آنچه از گزارشات به دست می‌آید همخوانی ندارد.

گفتار چهارم - توسعه باغات دیم و سامانه‌های استحصال و جمع‌آوری آب باران

مدیریت سنتی حاکم بر زراعت دیم سبب شده که میزان تولید محصولات این بخش از کشاورزی کشور، اندک و به شدت دچار نوسانات مکانی - زمانی باشد. اگر برای زراعت مرسوم و سنتی بهره‌برداری از اراضی دیم، آلترناتیوها و گزاره‌های دیگری بهینه و تعیین نشود، بهره‌برداری از منابع تولید پایدار نخواهد ماند. در زراعت دیم تمام مدیریت‌ها و مسائل تحت‌الشعاع مقدار و پراکنش بارش قرار دارد، لذا ریسک و خطر پذیری در زراعت دیم بالا است و ضریب اعتماد و درجه ثبات و پایداری تولید، اندک می‌باشد. ابزارها و شیوه‌های مختلفی که به صورت انفرادی یا تلفیقی در کاهش ریسک و ایجاد ثبات و پایداری عملکرد محصولات دیم مؤثر باشند مورد توجه است. یکی از گزینه‌های مناسب برای رقابت و جایگزینی با سیستم کشت محصولات زراعی، توسعه باغات دیم تحت شرایط سامانه‌های استحصال و جمع‌آوری آب باران (Micro Catchments Water Harvesting) همراه با/ بدون آبیاری محدود است که سبب افزایش بهره‌وری زمین (Land Productivity) می‌شود. بادام، انگور، انجیر، فندق و زیتون از درختان با اهمیت و با سابقه سازگاری و تناسب در کشور است که ضمن وجود تنوع محیطی گسترده، قابلیت سازگاری و تطابق را با شرایط دیم، به دلیل قانع بودن (از جهات آب و تغذیه) دارند. هر چند میانگین کل بارش سالانه در بسیاری مناطق متناسب با نیاز این درختان است اما دارای توزیع و پراکنش نامناسب و نامناسب می‌باشد، لذا عملکرد محصول تحت شرایط دیم اندک و ناپایدار است و اساسی‌ترین فاکتور محدود کننده در حصول عملکرد مطلوب نیز میزان آب قابل دسترس و محدودیت آن است. یادآوری می‌شود که ۹۵ درصد از کل حوزه آسیای مرکزی، غرب آسیا و شمال آفریقا (CWANA) را مناطق خشک تشکیل می‌دهد. جمع‌آوری و استحصال آب باران چنین تعریف می‌گردد: "فرآیند جمع‌آوری و تمرکز رواناب ناشی از باران از سطحی بزرگ‌تر (سطح رواناب) و ذخیره آن برای استفاده مفید و مطلوب در سطح هدف کوچک‌تر (سطح نفوذ)". اجزای هر سامانه جمع‌آوری و استحصال آب باران شامل چهار بخش است: حوضه ایجاد رواناب، حوضه جمع‌آوری رواناب، ذخیره رواناب در عمق توسعه ریشه و سطح کشت یا درخت. جمع‌آوری و استحصال آب باران برای گیاهان و درختان مثمر و حتی غیر مثمر دارای اهمیت فراوانی است.

مهم‌ترین فرضیه در این مبحث، ایجاد و احداث باغات دیم جدید و اصلاح باغات دیم موجود از طریق افزایش رواناب، کاهش آستانه رواناب و افزایش ذخیره رطوبتی از طریق سامانه‌های استحصال و جمع‌آوری آب باران، کنترل تبخیر و کاربرد مواد بهبود دهنده ظرفیت آب خاک است.

افزایش بهره‌وری بارش در ایجاد و احداث باغات دیم جدید و نیز اصلاح باغات دیم موجود کم بازده از طریق تلفیق سامانه‌های استحصال و جمع‌آوری آب باران در حوضه‌های کوچک با شیوه‌های کنترل تبخیر و کاربرد مواد بهبود دهنده ظرفیت آب خاک، به عنوان اساس اهداف این گفتمان است که با تامین نیاز آبی محصول، امکان تولید اقتصادی محصول و بهره‌وری بهینه از زمین فراهم می‌شود.

همانطور که بیان شد احداث باغات دیم متاثر از وجوه به هم تنیده است:

۱- سامانه‌های استحصال و جمع‌آوری آب باران که نیازمند طراحی هندسی ابعاد و شکل سامانه‌ها، بسته به شرایط اقلیمی (بافت و عمق خاک، جهت و میزان شیب، میزان کل بارش، حداکثر بارش در یک روز، درجه حرارت) است. عملیات مدیریتی لازم برای کاهش آستانه رواناب و افزایش حجم رواناب و نیز کنترل و هدایت رواناب به سوی هدف در این بخش مورد توجه قرار می‌گیرد. صاف، تمیز کردن و غلطک زدن

سطوح رواناب در راستای کاهش آستانه رواناب و افزایش حجم رواناب به کار می‌رود و حذف علف‌های هرز سطوح رواناب منجر به کاهش تلفات رواناب شده و در راستای هدایت رواناب به کار گرفته می‌شود.

۲- روش‌های کنترل تبخیر در پای درختان، از طریق نایلون گذاری، سنگ چین کردن، مالچ خاکی، گیاهی و سنگی و نیز استفاده از ارقام مناسب.

۳- مواد بهبوددهنده ظرفیت آب خاک، کود دامی، پرلیت، کمپوست، زئولیت، سوپرجاذب‌ها و ...

۴- اعمال آبیاری تکمیلی محدود، حتی با آب‌های با کیفیت پایین مانند پساب شهری، پساب کشاورزی و آب‌های شور و لب شور، البته با رعایت ملاحظات مربوطه.

مهمترین عوامل فنی و باغی که بایستی مدنظر و توجه قرار گیرند عبارتند از:

۱- مشخصات طبیعی شامل ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک، عمق و میزان مواد آلی موجود در خاک، میزان و جهت شیب، میزان و نوع پوشش طبیعی.

۲- مشخصات اقلیمی شامل مقدار و پراکنش بارش، حداکثر شدت بارش، رطوبت نسبی، میزان تبخیر، ارتفاع محل.

۳- مشخصات زراعی و باغی شامل سازگاری و تناسب نهال، بستر مناسب، کشت مستقیم بذر یا انتقال نهال ریشه‌دار پیوندی، مشخصه‌های تحمل انواع تنش‌های زیستی و غیرزیستی (خشکی، سرما، گرما، رطوبتی، آفات و بیماری‌ها).

۴- مشخصات فنی و مهندسی شامل طراحی شکل و ابعاد مناسب سطوح رواناب، نیاز آبی، کنترل تبخیر، آبیاری تکمیلی محدود، آستانه رواناب، حجم رواناب، جریان سطحی و زیرسطحی.

۵- مشخصات اجتماعی - اقتصادی شامل جنبه‌های فرهنگی، نحوه تعامل با بهره‌برداران، شیوه آموزش عملی، توجیه اقتصادی و تامین سرمایه، مسائل مالکیتی و حقوقی.

مهمترین انحرافی که ممکن است در طرح توسعه باغات دیم به وجود آید، سایه انداختن نقش و اثر و کارایی کاذب و فراواقعی مواد سوپر جاذب بر سایر مؤلفه‌ها از جمله سامانه‌های استحصال و جمع‌آوری آب باران و شیوه‌های کنترل تبخیر است. تبعات سنگین و عمیق این انحراف به خاطر آن هست که اعتماد کشاورزان را هدف قرار می‌دهد. بروشورهای تبلیغی این مواد مملو از غلو در نتایج و بزرگنمایی فراواقعی کارایی آنهاست. این مواد که عدم کارایی آنها با توجه به هزینه سنگین اقتصادی و اثرات و تبعات روانی در بسیاری از طرح‌های پژوهشی به اثبات رسیده است، اما همچنان سایه تبلیغی سنگینی را ایجاد کرده است. برخی از موارد که در نفی کارایی این مواد قابل ذکر است عبارتند از:

- ممانعت از چرخه طبیعی آب در محیط خاک، خصوصاً در دراز مدت و استفاده در سطح گسترده.
- این مواد به شدت متاثر از شرایط کیفی آب و خاک قرار گرفته و کیفیت و دوره بقای خود را از دست داده و تجزیه می‌شوند.
- مانعی مصنوعی در تهویه خاک، خصوصاً پس از بارش و آبیاری.
- تاثیر مخرب انقباض و انبساط این ماده بر ریشه‌های موئین گیاهان به ویژه در شرایط تحت تنش.
- ناپیدا بودن سرنوشت نهائی این ماده در محیط خاک و سرانجام تجزیه نهائی و ترکیبات ثانویه آن.
- جلوگیری از شستشوی طبیعی و یا مصنوعی خاک برای دفع املاح متمرکز شده در خاک.
- چگونگی پخش و یا انتشار آن در خاک متناسب با عمق توسعه ریشه.

- استفاده از سوپرجاذب‌ها به شدت توسعه ریشه را متوقف می‌کند به طوری که مجموع طول ریشه‌ها را به کمتر از حالت معمولی (بدون سوپرجاذب) کاهش می‌دهد.
 - چگونگی پایداری و طول عمر مواد سوپرجاذب با اجرای عملیات خاک ورزی در هر فصل زراعی، که برخلاف ادعای تولید کنندگان (۳-۵ سال) طول عمر این مواد در شرایط واقعی مزرعه به شدت تحت تاثیر عوامل محیطی قرار گرفته و به سرعت تجزیه می‌شوند.
 - و نهایتاً هزینه سنگین تهیه و کاربرد مواد سوپرجاذب که مصرف آنها را فاقد توجیه اقتصادی می‌کند.
- اگر تنها حدود ۳۰۰ گرم سوپرجاذب برای هر نهال بادام و با تراکم ۲۵۰ نهال در هکتار مصرف شود، ضمن اینکه با نتایج تحقیقاتی گزارش شده تطابق ندارد و احتمال ناکارآمدی آن وجود دارد، از بعد اقتصادی هزینه ای بالغ بر ده میلیون ریال در هکتار خواهد داشت. در حالی که پیش بینی آبیاری تکمیلی محدود و خریداری و تدارک لوازم مورد نیاز (تانکر و تراکتور) و پیش‌بینی آب مورد نیاز، به مراتب کارآمدی و صرفه عملی بیشتری خواهد بود. سؤال اساسی این جاست که آیا نمی‌توان برای نیل به مقصود یعنی افزایش توان نگهداشت آب در خاک از روش‌های ارزان‌تر و قابل دسترس تر نظیر کاربرد پرلیت یا کودهای حیوانی و گیاهی بهره جست؟

هر چند ممکن است کسی منکر نقش و اثر مواد سوپرجاذب مانند هر ماده اصلاح کننده دیگر در شرایط خاصی چون آبیاری و بهبود گنجایش آب خاک، در خاک‌های با ظرفیت اندک آب خاک نباشد، اما زمانی دارای توجیه مصرف و کاربرد در سطوح وسیع خواهد بود که تعادل و توازن و برتری درآمدها به هزینه‌ها مشهود، برجسته و قابل توجه باشد و جایگزین سهل و ارزان دیگری نداشته باشد. مهمترین مانع در راه فراگیر شدن کاربرد این مواد به ویژه در سطح زراعت‌های وسیع، عدم توجیه اقتصادی استفاده از آنهاست. این در حالی که مواد دیگری مانند پرلیت، هوموس، گاه و گلش و کمپوست و ... وجود دارند که می‌توانند در بهبود ظرفیت آب خاک مفید و موثر باشند. به دلایل مختلف از جمله جنبه‌های روانی، اقتصادی و سویه‌های ناپیدای زیست محیطی ضرورتی برای کاربرد مواد سوپرجاذب دیده نمی‌شود و تلفیق سامانه‌های استحصال و جمع‌آوری آب باران و کنترل تبخیر و نیز رعایت دستورالعمل‌های فنی تهیه بستر، کاشت و داشت می‌تواند تضمین‌کننده موفقیت احداث باغداری دیم باشد.

عمده تحقیقاتی که با سوپرجاذب‌ها انجام و کارایی آن را توجیه کرده اند در شرایط آبیاری بوده که توانسته دور آبیاری را چند روزی افزایش دهد و حداکثر به دو برابر دور آبیاری مرسوم برساند در حالی که هیچ گزارشی در خصوص کارایی سوپرجاذب‌ها تحت شرایط استحصال و جمع‌آوری آب باران وجود ندارد، گزارش توکلی (۱۳۸۶) که در پژوهشی ۶ ساله به مطالعه اثرات تلفیقی سامانه‌های استحصال آب باران، کنترل تبخیر، مدیریت سطوح رواناب و کاربرد سوپرجاذب پرداخته و نیز گزارشات پژوهشی دیگر، نشان دهنده عدم کارایی سوپرجاذب‌ها (با هر نشان و برند تجاری) تحت شرایط سامانه‌های استحصال و جمع‌آوری آب باران، کنترل تبخیر و توسعه باغات دیم روانابی است.

گفتار پنجم - عملیاتی کردن کم آبیاری به منظور بهبود بهره وری آب

در مناطقی که کشاورزان آب کمی در اختیار دارند تا با آن گیاهان را آبیاری کنند، می‌توانند یکی از راه‌های زیر را انتخاب کنند: (۱) سطح زیر کشت را کاهش دهند و آب را تا حد کافی و نیاز در اختیار گیاهان باقی‌مانده 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. کم آبیاری، یک رفتار زراعی و فنی بهینه و مبتنی بر اصول و ساختار شاخص‌های بهره وری آب برای تولید محصول تحت شرایط کمبود آب است. آنچه در بدو امر انتظار می‌رود ناکارآمدی شاخص عملکرد در واحد سطح و اندکی افت محصول است. اما آنچه که اهمیت فزاینده‌ای می‌یابد ایجاد توازن و سطح بهینه‌ای از افت عملکرد در مقابل آب صرفه جویی شده است. ضمن اینکه در صورتی که برای آب صرفه جوی شده برنامه مصرفی تدارک دیده نشده باشد، اعمال کم آبیاری عقیم و ناصواب خواهد بود. برنامه پیش بینی شده برای آب صرفه جوی برای محصولات محصولاتی که مجاز به کاهش آب مصرفی از ابتدا تا انتهای دوره آبیاری نباشیم، عملکرد گیاهان تحت تأثیر زمان اعمال کم آبیاری قرار می‌گیرد. اعمال به موقع و مناسب و صرفه‌جویی در مصرف آب سبب کاهش امراض و آفات گیاهی، به حداقل رسیدن آبتجویی کودها و مواد مغذی خاک از منطقه توسعه ریشه و همچنین بهبود تهویه خاک می‌گردد. آبیاری کامل، اگر چه حداکثر عملکرد در واحد سطح را به دنبال دارد اما نمی‌تواند حداکثر تولید و سود خالص را داشته باشد. با به کارگیری حد بهینه کم آبیاری می‌توان کیفیت محصول را به میزان ۱۵-۵ درصد بهبود بخشید، تولید کل را به میزان ۴۰-۱۵ درصد افزایش داد، سطح زیر کشت را به میزان ۴۰-۲۰ درصد افزایش داد و کارآیی تولید به ازای واحد آب مصرفی را به میزان ۳۰-۱۵ درصد افزایش داد، اگر چه عملکرد در واحد سطح به میزان ۱۶-۳ درصد کاهش می‌یابد. ولی باید توجه داشت که عملکرد در واحد سطح، شاخص مقایسه‌ای کامل و جامعی به شمار نمی‌رود و باید به تولید به ازای واحد آب مصرفی و سود خالص به ازای واحد آب مصرفی و حداکثر استفاده از حجم معین آب توجه بیشتری مبذول کرد.

یکی از فواید و محسنات کم آبیاری، افزایش سطح زیر کشت در پروژه‌های توسعه منابع آب است که سبب ایجاد اشتغال مولد می‌گردد و در شرایط فعلی مملکت حائز اهمیت است. طبیعی است که با به زیر کشت بردن اراضی بیشتر، درآمد خالص نهایی بیشتر خواهد شد

نحوه عملیاتی کردن کم آبیاری:

یکی از نکات اساسی و مهم پیرامون کم آبیاری، نحوه ی کاربردی و عملیاتی کردن آن است. زیرا بسته به نوع محصول، کیفیت آب، سیستم آبیاری، اندازه مزرعه و ... مدیریت های مناسب و مختص خود را طلب خواهد کرد. تفاوت و تمایز تحقیقات آکادمیک با نیازمندی های مزرعه ای این است که همواره همه چیزهایی که در پای تخته و سر کلاس درس به صورت منسجم، پویا و دنباله وار شکل می‌گیرد و دارای نظم خاصی است، در مزرعه با یکسری بی نظمی‌هایی مواجه می‌شود که نیازمند هوشمندی، درایت و قدرت تعمق و اندیشه است. وجه تمایز دیگر این مسئله نوع نگرش به مسائل است که در محیط های آکادمیک، برای سهولت بیان و امکان حل معادلات پیچیده و چند بعدی اقدام به فرضیات و سهل انگاری می‌شود در حالی که طبیعت با تمام متغیرها، عوامل تاثیرگذار و پیچیدگی هایش، فرآیندها را با همه گونه وقایع پیش بینی شده و پیش بینی نشده به پیش می‌برد. آنچه که مهم است و انتظار جامعه بزرگ کشاورزان از بخش پژوهش و تحقیق محسوب می‌شود، قالب ساده شده و کاربردی تحقیقات کم آبیاری است و یک مهندس آبیاری نیازمند شناخت مولفه

های اجتماعی، پیمان نوشته/ نانوخته ها، طومارها، حقاچه ها، حدود، حریم و مسائل حقوقی و تاریخی می باشد. به عنوان کسی که بیش از یک دهه در زمینه مدیریت مصرف آب در مزرعه (اعم از آبی و دیم) مشغول مطالعه و پژوهش هستم چنین استنباط می کنم که با توجه به اینکه در آبیاری سطحی اعمال کاهش آب مصرفی در هر نوبت و طی مدت آبیاری، مشکل و گاه غیر ممکن است، لذا قطع آبیاری های غیر موثر و یا افزایش فاصله آبیاری از شیوه های عملی کم آبیاری در آبیاری سطحی است. در حالی که کاهش عمق آب مصرفی در هر نوبت آبیاری در سامانه های آبیاری تحت فشار (بارانی و قطره ای و دیگر انواع آن) عملی تر و کاربردی تر است.

میزان کاهش آب مصرفی به نحوی که با میزان افت عملکرد در شرایط تعادل و توازنی قرار گرفته و آب صرفه جویی توجیه شده ای داشته باشد، می تواند بر اساس جامعه آماری مستندات تحقیقاتی:

❖ کاهش تا ۳۰ درصد آب مصرفی گندم و جو،

❖ کاهش تا ۲۰ درصد آب مصرفی چغندر قند،

❖ کاهش تا ۳۰ درصد آب مصرفی یونجه،

❖ کاهش تا ۲۰ درصد آب مصرفی پنبه و

❖ کاهش تا ۲۵ درصد آب مصرفی ذرت

پیشنهاد و توصیه شود یا از نگاهی دیگر به استثنای برخی از محصولات حساس به کمبود آب، کاهش ۳۰ - ۲۰ درصد آب مصرفی اکثر محصولات کشاورزی بدون بروز هیچ گونه مشکلی قابل توصیه و کاربرد است.

کم آبیاری به دلیل اینکه مبتنی بر برنامه مهندسی شده هست و برای آب صرفه جویی شده نیز برنامه مصرف دارد لذا قادر است در قالب برنامه های توسعه، الگوی کشت، اصلاح الگوی مصرف آب، تامین آب برای اهداف آبیاری تکمیلی و سامانه های استحصال و جمع آوری آب باران، کاهش تلفات آب، بهبود راندمان مزرعه، بهبود شاخص های بهره وری آب مورد توجه قرار گرفته و مسیر برنامه را جهت دار و نشان دار نماید.

کم آبیاری یک مفهوم انفرادی و صرف نیست بلکه مجموعه رفتارهای مهندسی شده ای است که دارای ساختارهای زراعی، اقتصادی، فنی، اجتماعی و اصلاحی است که شکل گیری کشاورزی پایدار را میسر می سازد. کم آبیاری یک نوشتار کوتاه، یک فرمول ساده و یا یک رفتار فانتزی نیست، بلکه نردبان ترقی، بزرگراه توسعه و کشتی نجات است که زمان، مکان و عمق پازل تولید و توسعه پایدار را در بر می گیرد و به طور متوازن و متناسب با شرایط، برنامه ریزی و هدایت می کند.

منابع

۱. توکلی، ع. ر. ۱۳۸۶. بررسی عکس‌العمل درختان بادام دیم نسبت به شیوه‌های مختلف جمع‌آوری و استحصال آب باران در حوضه‌های کوچک (MCWH) در منطقه آذربایجان شرقی. گزارش نهایی طرح پژوهشی موسسه تحقیقات کشاورزی دیم، شماره ثبت ۸۶/۱۴۲۳.
۲. توکلی، ع. ر. ۱۳۸۴. بررسی و تعیین بهترین میزان تک‌آبیاری و تاریخ کاشت برای پنج رقم گندم در شرایط دیم. گزارش نهایی موسسه تحقیقات کشاورزی دیم، ۱۲۳ ص.
۳. توکلی، ع. ر.، ع. لیاقت، ا. علیزاده، ذ. اویس و م. پارسى نژاد. (در حال تدوین) بهبود بهره‌وری آب با بکارگیری مدیریت تلفیقی آبیاری محدود و عملیات زراعی برتر در زراعت غلات دیم. رساله دکتری گروه مهندسی آبیاری و آبادانی دانشکده آب و خاک پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران.
۴. توکلی، ع. ر. (در حال تدوین) نقشه‌های بهره‌وری بارش در زراعت محصولات اساسی دیم کشور (گندم، جو، نخود و عدس).
۵. سپاسخواه، ع. ر.، توکلی، ع. ر. و موسوی ف. ۱۳۸۵. اصول و کاربرد کم آبیاری. انتشارات کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران. ۲۸۸ ص.
6. Tavakoli, A. R. 2004. Response of Almond trees to Micro Catchments Water Harvesting (MCWH) methods in the northwest of Iran, international workshop on WH and sustainable agriculture - ICID, Moscow, Sep. 2004.
7. Tavakkoli, A. R., and Oweis, T. 2004. The role of supplemental irrigation and nitrogen in producing bread wheat in the highlands of Iran. *Agric. Water Manag.* 65:225-236.
8. Tavakoli, A. R., T., Oweis, S., Ashrafi, H., Asadi, H., Siadat and A., Liaghat. 2009. Improving Rainwater Productivity with Supplemental Irrigation in Upper Karkheh River Basin of Iran. Final International Project report, Improving On-Farm Agricultural Water Productivity in the Karkheh River Basin Project (CPWF PN8). Agricultural Extension, Education and Research Organization (AEERO) and International Center for Agricultural Research in the Dry Areas (ICARDA), ICARDA, Aleppo, Syria, 116p.
9. Tavakoli, A. R. A. Liaghat, Sh. Ashrafi and F. Abbasi. 2008b. Chapter II – Supplemental Irrigation in Iran. In: Oweis, T. H., Farahani, M. Qadir, J. Anthofer, H. Siadat, F. Abbasi and A. Bruggeman (Eds). *Improving On-farm Agricultural Water Productivity in the Karkheh River Basin. Research Report no. 1: A Compendium of Review Papers.* ICARDA, Aleppo, Syria. IV+103 pp.
10. Tavakoli, A. R., Oweis, T., Ferri, F., Haghghati, A., Belson, V., Pala, M., Siadat, H., and Ketata, H. 2005. Supplemental Irrigation in Iran: Increasing and stabilizing wheat yield in rainfed highlands. *On-Farm Water Husbandry Research Report Series No. 5.* 46pp, ICARDA.