بسم الله الرحمن الرحیم

سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی

ارتقای بهره‌وری مصرف آب

نگارندگان (به ترتیب الفبا):
فریبرز عباسی، ابولفضل ناصری، فرحناز سهراب، جواد باغانی، نادر عباسی و مهدی اکبری

مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی
۱۳۹۴

شناسنامه

ارتقای بهره‌وری مصرف آب

تهیه و تنظیم: مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی

ناشر: سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی

سال انتشار: ۱۳۹۴

شمارگان: محدود

آدرس: کرج، بلوار شهید فهمیده، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی

تلفن: ۳۲۷۰۵۳۲۰-۰۲۶

سامانه الکترونیک: www.aeri.ir

پست الکترونیک: info@ aeri.ir

فهرست مطالب

خلاصه دستاورد	۱۰
۱- راندمان آبیاری	۱۰
۲- برآورد آب مصرفی در بخش کشاورزی	۱۱
۳- وضعیت بهره‌وری مصرف آب در کشور	۱۱
۴- وضعیت توسعه روش‌های آبیاری تحت فشار در کشور	۱۲
فصل اول: راندمان‌های آبیاری	
۱-۱- مقدمه	۱۴
۱-۲- اجزای مختلف راندمان آبیاری	۱۵
راندمان انتقال (Ec)	۱۵
راندمان توزیع (Ed)	۱۶
راندمان کاربرد آبیاری (Ea)	۱۶
یکنواختی توزیع آب (DU)	۱۸
ضریب یکنواختی کریستین‌سن (CU)	۱۸
راندمان کاربرد چارک پایین (AELQ)	۱۹
راندمان پتانسیل چارک پایین (PELQ)	۱۹
راندمان کل آبیاری (EP)	۱۹
۱-۳- اقدام انجام شده	۲۰
۱-۴- یافته‌ها و دستاوردها	۲۱
ارزیابی راندمان کاربرد در سامانه‌های آبیاری	۲۱

فهرست مطالب

ارزیابی یکنواختی توزیع آب در سامانه های آبیاری	۲۳
ارزیابی راندمان کاربرد بر اساس منابع تأمین آب	۲۴
وضعیت راندمان کاربرد آبیاری برای محصولات مختلف	۲۴
ارزیابی راندمان کاربرد در استانهای مختلف کشور به تفکیک سامانه‌های آبیاری	۲۵
ارزیابی راندمان‌های آبیاری در سه دهه اخیر	۲۸
۱-۵- جمع‌بندی دستاوردها	۲۹
فصل دوم: برآورد آب مصرفی در بخش کشاورزی	
۲-۱- مقدمه	۳۲
۲-۲- روش انجام کار	۳۴
ویژگی‌های پیکره جغرافیایی اجرای پژوهش	۳۴
نحوه برآورد مصرف آب در بخش کشاورزی بر مبنای بیلان آب	۳۵
۲-۳- ارایه دستاورد	۳۶
تحلیل تغییرات بارش در سطح کشور	۳۶
مقایسه تغییرات بارش در دوره‌های بلند مدت و کوتاه مدت	۳۹
تحلیل تغییرات حجم آب تبخیر شده از سطح کشور	۴۰
تحلیل تغییرات حجم جریان‌های سطحی در سطح کشور	۴۱
تحلیل تغییرات حجم آب نفوذ یافته در سطح کشور	۴۳
مقایسه حجم تغذیه و تخلیه آب زیرزمینی در سطح کشور	۴۳
تحلیل تغییرات حجم آب تجدیدپذیر در سطح کشور	۴۷

فهرست مطالب

تحلیل حجم آب مورد نیاز محیط‌زیست و ماهیان گرمابی در سطح کشور	۴۸
تحلیل حجم آب مصرفی در بخش کشاورزی در سطح کشور	۴۸
مقایسه تغییرات مصرف آب در بخش کشاورزی در دوره‌های بلند مدت و کوتاه مدت	۴۹
بررسی ارتباط حجم آب مصرفی در بخش کشاورزی با حجم آب تجدیدپذیر	۴۹
محدودیت‌های برآورد حجم مصرف آب در بخش کشاورزی	۵۰
۲-۴- جمع‌بندی دستاورد	۵۱
فصل سوم: بهره‌وری مصرف آب در کشور	
۳-۱- مقدمه	۵۴
۳-۲- شاخصهای بهره‌وری مصرف آب	۵۴
شاخص بهره‌وری فیزیکی آب	۵۴
شاخص بهره‌وری اقتصادی آب	۵۵
۳-۳- ارزیابی وضع موجود	۵۵
۳-۴- ارایه دستاورد	۵۷
فصل چهارم: تحلیلی بر توسعه سامانه‌های نوین آبیاری در ایران	
۴-۱- مقدمه	۶۰
۴-۲- ارایه دستاورد	۶۰
شناخت وضع موجود	۶۰
مقایسه اجمالی سامانه‌های نوین آبیاری	۶۱
نتیجه‌گیری کلی	۶۲

فهرست مطالب

راه‌کارهای ارتقاء اثربخشی	۶۲
پیشنهادهای فنی	۶۳
پیشنهادهای اجرایی و سیاستگذاری	۶۳
۴-۴- جمع‌بندی و توصیه‌ها	۶۴
منابع	۶۵

مقدمه

خلاصه دستاورد

خشکسالی و کم آبی در ایران یک واقعیت اقلیمی است و با توجه به روند روزافزون نیاز بخش‌های مختلف به آب، مشکل خشکسالی در سال‌های آینده حادتر نیز خواهد شد. به طوری‌که بر اساس گزارش موسسه بین المللی مدیریت آب (*IWMI*)، کشور ایران برای حفظ وضع فعلی خود تا سال ۲۰۲۵ باید بتواند ۱۱۲درصد به منابع آب قابل استحصال خود بیفزاید. این امر با توجه به پتانسیل‌ها و نیازهای روزافزون بخش‌های کشاورزی، شرب، صنعت و حفاظت از سایر منابع زیستی بسیار مشکل و حتی ناممکن است. لذا، در چنین شرایطی یکی از راهکارهای موثر و عملی استفاده بهینه و صرفه‌جویی در مصرف آب است. در این میان، مدیریت مصرف آب در بخش کشاورزی که بخش عمده‌ای از مصارف آب در ایران و جهان را نیز شامل می‌شود، می‌تواند بسیار موثر و راهگشا باشد. بسیار روشن است که برای دستیابی به این مهم، شناسایی شاخص‌های اصلی مدیریت مصرف اب و تعیین این شاخص به روش‌های مناسب است. *راندمان‌های آبیاری* ، *بهره‌وری مصرف آب کشاورزی* ، *مقدار آب مصرفی* در بخش کشاورزی و توسعه پایدار روش‌های نوین آبیاری از مهم‌ترین شاخص‌های کلیدی و رویکردهای اساسی در برنامه‌ریزی‌های کلان مربوط به تامین، تخصیص و مصرف اصولی از آب در بخش‌های مختلف از جمله کشاورزی است. در این راستا، **موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی** برنامه‌ریزی جامعی برای ارزیابی و تحلیل شاخص‌ها و رویکردهای یاد شده کرده است که دستاوردهای حاصل در این خصوص به تفکیک و به شرح زیر ارائه می‌شود.

۱- راندمان آبیاری

اولین و مهم‌ترین گام، تعیین راندمان سامانه‌های آبیاری موجود و ارزیابی نحوه کار آنها برای تصمیم‌گیری و تصمیم‌سازی‌های مرتبط با مصرف بهینه آب، الگوی کشت و کاهش تلفات آب آبیاری است. در این راستا، موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی به منظور تهیه بانک اطلاعات راندمان‌های آبیاری و تهیه نقشه جامع راندمان آبیاری درکشور، اقدام به جمع‌بندی نتایج مطالعات انجام شده درخصوص راندمان‌های آبیاری در سطح کشور کرده است. در این بررسی، نتایج حاصل از مطالعات مزرعه‌ای در سامانه‌ها و شبکه‌های مختلف آبیاری (سنتی و پایین‌دست سدها) در سطح کشور جمع‌آوری و مورد تحلیل قرار گرفت. بر این اساس، روند تغییرات راندمان‌های آب آبیاری در طول دهه‌های مختلف تعیین شد. نتایج نشان داد راندمان کاربرد در کشور از ۲۲/۵ تا ۸۵/۵ درصد متغیر و میانگین آن ۵۶/۰ درصد است. به طوری که متوسط این راندمان در سامانه‌های کرتی، نواری و جویچه‌ای به ترتیب ۵۵/۳، ۵۲/۹ و ۵۲/۵ درصد است. همچنین از بین روش‌های بارانی، روش رول‌لاین (آبفشان غلطان) و کلاسیک ثابت به ترتیب بیش‌ترین (۶۶/۹ درصد) و کم‌ترین (۵۲/۱ درصد) راندمان کاربرد را داشته و در آبیاری قطره‌ای این کمیت در حدود ۷۱/۱ بوده است. متوسط راندمان کاربرد آب آبیاری در سامانه‌های آبیاری تحت فشار و سطحی به ترتیب حدود ۶۶/۶ و ۵۳/۶ درصد است. همچنین با مقایسه روش‌های مختلف آبیاری تحت فشار نیز ملاحظه می‌شود که میانگین راندمان کاربرد آب آبیاری در روش‌های آبیاری بارانی حدود ۶۲/۱ و در روش های آبیاری قطره‌ای ۷۱/۱ درصد است.

بررسی روند تغییرات راندمان طی سال‌های مختلف نشان داد که راندمان کاربرد آبیاری در دو دهه ۸۰-۷۱ و ۹۰-۸۱ و نیم دهه ۹۴-۹۱ به ترتیب ۵۲، ۵۸/۴ و ۵۸/۸ درصد است. همچنین بررسی‌ها نشان داد راندمان انتقال و توزیع (به معنی تلفات آب در کانال‌های انتقال و توزیع) نیز در دهه‌های مذکور به

ترتیب ۵۷/۱، ۶۱/۷ و ۷۴/۶ درصد است. بدین ترتیب راندمان کل در دهه‌های یاد شده به ترتیب ۲۹/۷، ۳۶/۱ و ۴۳/۸ درصد برآورد می‌شود. به عبارتی از سال ۱۳۷۵ (وسط دهه ۸۰-۷۱) تا سال ۱۳۹۲ (وسط نیم دهه ۹۴-۹۱) راندمان کل آبیاری، سالانه حدود یک درصد رشد داشته است. به عبارتی در سال ۱۳۷۵ به بعد روند افزایشی راندمان آبیاری مطابق مقادیر پیش‌بینی شده در برنامه‌های توسعه‌ای کشور (حدود ۱ درصد) بوده است. از علل مهم افزایش راندمان در این دهه‌ها می‌توان به تجهیز و نوسازی اراضی، افزایش میزان آگاهی و دانش بهره‌برداران به مسائل آب و خاک، گسترش شبکه‌های آبیاری، توسعه سامانه‌های نوین آبیاری، ترویج و انتقال یافته‌های تحقیقاتی به بهره‌برداران اشاره نمود.

۲- برآورد آب مصرفی در بخش کشاورزی

تخمین و یا تعیین مقدار آب در دسترس، یکی از ابزارها و شاخص‌های کلیدی در برنامه‌ریزی‌های کلان مربوط به تامین، تخصیص و مصرف اصولی از آب در بخش‌های مختلف از جمله کشاورزی است. بر اساس آمارهای موجود، در حال حاضر بخش قابل توجهی (حدود ۷۰ درصد) از آب شیرین جهان، شامل آب رودخانه‌ها، دریاچه‌ها و آبخوان‌های زیرزمینی، به مصرف کشاورزی می‌رسد. از طرفی کل میزان تبخیر و تعرق از اراضی فاریاب، برابر ۲۲۰۰ میلیارد مترمکعب (معادل ۲ درصد بارش) برآورد می‌شود که ۳۰ درصد آن از طریق آب سبز (باران) و ۷۰ درصد آن از طریق آب آبیاری صورت می‌پذیرد. از نظر میزان مصرف آب در بخش‌های مختلف، در ایران نیز همانند سایر کشورها، بخش قابل توجهی از منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی در بخش کشاورزی استفاده می‌شود. هرچند، تاکنون حجم آب مصرفی در بخش کشاورزی به طور دقیق تعیین یا برآورد نشده و این موضوع همواره از دغدغه‌های اصلی متولیان و برنامه‌ریزان صنعت آب کشور بوده و است. از این‌رو، *موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی* برنامه‌ریزی و اقدامات لازم برای تخمین و برآورد حجم آب مصرفی در بخش کشاورزی را به روش‌های مختلف از جمله روش بیلان آب شروع کرده است. براین‌اساس، داده‌های درازمدت پنجاه ساله و کوتاه‌مدت هفت ساله (اخیر) بارش و مولفه‌های بیلان آب در سطح کشور مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد که میانگین پنجاه ساله و هفت ساله بارش در کشور به‌ترتیب ۵۳±۲۴۹ و ۳۳±۲۰۶ میلی‌متر است. همچنین میانگین حجم آب مصرفی در بخش کشاورزی، برای دوره‌های مذکور به‌ترتیب معادل ۱۸±۶۷ و ۵±۷۲ میلیارد مترمکعب برآورد شده است. بدین‌ترتیب، بررسی‌های اولیه نشان می‌دهد که مصرف آب در بخش کشاورزی کم‌تر از ارقام ذکر شده در کشور بوده و در دوره‌های آماری ۵۰ ساله و ۷ ساله به‌ترتیب حداکثر ۵۲ و ۷۱ درصد آب تجدیدپذیر است. البته این مهم به روش‌های دیگری نیز قابل برآورد است که در دستور کار موسسه است.

۳- وضعیت بهره‌وری مصرف آب در کشور

بهره‌وری مصرف آب یکی از شاخص‌های مصرف بهینهٔ آب آبیاری است. طبق تعریف بهره‌وری مصرف آب عبارت از مقدار محصول تولید شده به ازای واحدحجم آب مصرفی است که بر حسب کیلوگرم بر مترمکعب بیان می‌شود. تعیین مقدار محصول تولیدی معمولاً ساده‌تر و براساس آمارهای رسمی قابل برآورد است ولی در خصوص میزان آب مصرفی آمارها بسیار متفاوت است. در نتیجه کمیت بهره‌وری به شدت وابسته به آمار مربوط به حجم آب مصرفی بوده و تعیین بهره‌وری همواره با تردیدهایی همراه است. همان‌طوری‌که در بخش قبلی هم بیان شد، حجم آب مصرفی به روش بیلان آب توسط موسسه

تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی برآورد شده است که بر اساس این ارقام و آمار مربوط به تولید محصولات زراعی و باغی کشور در سال‌های مختلف، مقادیر بهره‌وری مصرف آب به تفکیک سال‌های مختلف برآورد شده است. مطابق این شکل مقادیر بهره‌وری مصرف آب از ۰/۹۴ تا ۱/۲۹ کیلوگرم بر مترمکعب متغیر و متوسط آن ۱/۰۷ کیلوگرم بر مترمکعب است. خوشبختانه همانند راندمان آبیاری، شاخص بهره‌وری مصرف آب در کشور طی ۱۰ سال گذشته روند صعودی داشته است که این روند به معنای اثربخشی فعالیت‌های انجام شده در کشور است. درمجموع، فعالیت‌های انجام شده در کشور در خصوص افزایش تولید و کاهش حجم آب مصرفی دو دلیل اصلی افزایش بهره‌وری آب در کشور بوده است.

۴- وضعیت توسعه روش‌های آبیاری تحت فشار در کشور

یکی از اقدامات ارزنده‌ای که در سال‌های اخیر در راستای بهبود بهره وری مصرف آب و سازگاری با اقلیم خشک ایران صورت گرفته توجه خاص به توسعه روش‌های آبیاری تحت فشار است. به طوری که تاکنون حدود ۱/۴۵ میلیون هکتار از اراضی کشور به انواع سامانه‌های آبیاری تحت فشار مجهز شده است. گرچه از نظر کمی هنوز راه نرفته زیادی در این زمینه در پیش رو است، اما بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهند در توسعه این روش‌ها در اکثر موارد به جنبه‌های فنی کمتر توجه شده و توسعه فیزیکی در اولویت اصلی بوده است. بطوری‌که این امر موجب شده است در برخی مناطق، اهداف مورد انتظار محقق نشده است. علاوه بر مسائل فنی، مسائل اقتصادی و اجتماعی نیز تاثیر مهمی در انتخاب نوع سیستم آبیاری دارند. البته شایان ذکر است که هریک از سامانه‌های آبیاری خصوصیات ویژه‌ای دارند که کاربردهای عام و یا خاصی بر آنها مترتب بوده و بحث‌های اقتصادی به تنهایی نمی‌تواند تعیین کننده باشد.

هر یک از سامانه‌های آبیاری تحت فشار به طور بالقوه دارای مزایایی هستند که اگر نکات لازم و اختصاصی آنها در طراحی، اجرا و بهره‌برداری رعایت گردد، می‌توانند بسیار مفید و موثر واقع شده و موجبات بهبود کیفی و کمی محصول، افزایش کارآیی مصرف آب و کاهش برداشت از منابع آب زیرزمینی را فراهم آورند. اما متاسفانه حرکت شتاب زده در مسیر گسترش سطح تحت پوشش سامانه‌های آبیاری تحت فشار و فقدان یک سیستم دقیق آموزشی، اجرایی، نظارت و ارزیابی و نیز ارائه اعتبارات رایگان بدون کنترل‌های لازم، و ... منجر به جمع‌آوری این سامانه‌ها در برخی موارد و یا تغییر سامانه آبیاری اجرا شده به سیستم سطحی شده و علیرغم هزینه‌های زیاد کارآیی لازم و قابل قبول را نداشته باشد. لذا ضروری است در ادامه راه با تکیه بر تجربیات سه دهه فعالیت اجرایی و پژوهشی، توجه شایسته‌ای به ارتقاء سطح کیفی اجرای سیستم‌ها در کنار توسعه کمی آنها مبذول داشت. در این گزارش ضمن بررسی روند توسعه روش‌های آبیاری تحت فشار مسائل فنی، بهره‌برداری و اثربخشی نسبی آنها مورد مطالعه و به‌منظور تداوم توسعه پایدار روش‌های آبیاری و ارتقاء اثربخشی آن‌ها، راهبردها و پیشنهادات مورد نظر در سه بخش فنی و اجرایی، سیاست‌گذاری و عملیاتی ارائه شده است.

مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی

راندمان‌های آبیاری

۱-۱- مقدمه

امروزه علی‌رغم پیشرفت‌های به عمل آمده در علم و تکنولوژی و استفاده از شیوه‌های نوین آبیاری، هنوز در ایران و بسیاری از کشورهای جهان حتی کشورهای پیشرفته، بخش عمده‌ای از اراضی کشاورزی با روش‌های سطحی و سنتی آبیاری می‌شوند. به طوری که در ایران نیز بیش از ۸۵ درصد اراضی آبی با روش‌های سطحی آبیاری می‌شوند که از راندمان آبیاری کم‌تری برخوردار هستند. تصور بر این است که با افزایش راندمان آبیاری می‌توان حجم قابل توجهی از منابع آب را به چرخه تولید بازگرداند و بخش بزرگی از نیازهای آب کشاورزی و سایر بخش‌ها را از این طریق برآورده کرد. بسیار روشن است که برای دستیابی به این مهم اولین و مهم‌ترین گام، تعیین راندمان سامانه‌های آبیاری موجود و ارزیابی نحوه کار آنها برای تصمیم‌گیری و تصمیم‌سازی‌های مرتبط با مصرف بهینه آب، الگوی کشت و کاهش تلفات آب آبیاری است.

در کشورهای در حال توسعه و به‌ویژه ایران توجه بیش‌تری به توسعه فیزیکی شبکه‌های آبیاری بوده و مسأله بهره‌برداری از شبکه‌ها و مشارکت کشاورزان در امر مدیریت، نگهداری و بهره‌برداری از شبکه‌ها کم‌تر مد نظر قرار گرفته است. حاصل این نگرش کاهش راندمان کل آب آبیاری تا حدود ۳۰ درصد و تخریب و فرسودگی ساختار فیزیکی شبکه‌ها بوده و نمونه بارز این تجربه شبکه آبیاری دز است. فاطمی و شکرالهی (۱۳۷۳) راندمان آبیاری این شبکه را در یک دوره ۹ ساله (۶۹- ۱۳۶۱) ارزیابی کردند و نتایج آنها نشان داد که در دوره مذکور حداکثر راندمانی کل آبیاری در اراضی مورد نظر ۲۶ درصد، حداقل آن ۱۸ درصد و متوسط آن ۲۱ درصد بوده است که این ارقام در مقایسه با مقدار طراحی شده توسط مشاور (۵۴ درصد) به مراتب کمتر است. علت پایین بودن =راندمان کل عواملی چون عدم آبیاری شبانه، عدم تسطیح اراضی و نبود شبکه فرعی، یکپارچه نبودن اراضی و پایین بودن سواد و آگاهی زارعان گزارش شده است.

دامنه تغییرات راندمان کاربرد آب آبیاری در برخی از استان‌های کشور در سال ۱۳۷۸ نشان داد که با توجه به مدیریت زارعان، روش آبیاری، مراحل مختلف رشد گیاه و نوع محصول، متوسط راندمان کاربرد آب آبیاری از حداقل ۲۴/۷ درصد تا حداکثر ۵۵/۷ درصد با میانگین ۵۰/۹ درصد بود. با احتساب ۶۰ درصد برای راندمان انتقال و توزیع، راندمان کل آبیاری در این شبکه‌ها بین ۳۶ – ۱۵ درصد نوسان می‌کند (دهقانی و همکاران، ۱۹۹۹)، که مقدار آن کمتر از متوسط کشورهای در حال توسعه (۶۰ درصد) است. برخی از صاحب‌نظران نخستین گام در راه جلوگیری از بحران آب را افزایش راندمان آب ذکر کرده‌اند که با افزایش راندمان می‌توان مصرف آب در بخش‌های کشاورزی، صنعت و مصارف شهری را به ترتیب ۱۰ تا ۵۰ درصد، ۴۰ تا ۹۰ درصد و ۳۰ تا ۳۲ درصد کاهش داد بدون اینکه راندمان اقتصادی یا کیفیت زندگی کاهش یابد. بنابراین، اصلاح سامانه‌های آبیاری، اعمال مدیریت صحیح در زمان و مقدار آب آبیاری، تسطیح، تجهیز، نوسازی و یکپارچه‌سازی اراضی از جمله موارد ضروری برای بهبود راندمان آب آبیاری محسوب می‌شوند.

به‌طور کلی راندمان استفاده از آب عبارتست از رابطهٔ بین حجم واقعی آب مورد استفاده برای یک مصرف خاص و حجم آب انتقال داده شده و یا برداشت شده از منبع آب. انتقال آب و یا برداشت آن از منابع مستقل از مدیریت آبیاری بوده و مقدار آن بستگی به مقدار نیاز آبی و یا آبیاری در مزارع تحت آبیاری دارد و در مسیر انتقال، تلفات آب ناشی از نفوذ عمقی و یا تبخیر از سطح آزاد آب است و مقدار تلفات آب در مسیر انتقال می‌تواند با پوشش مناسب کانال‌ها کاهش یافته و با استفاده از لوله برای انتقال آب، مقدار آن را به صفر نزدیک می شود. بنابراین راندمان یک شاخص مناسب برای بررسی عملکرد

مسیرهای انتقال در یک شبکه‌های آبیاری و یا دشت کشاورزی تا محل ورود مزرعه بوده و قابل افزایش تا حدود نزدیک به ۱۰۰ درصد نیز است.

۱-۲- اجزای مختلف راندمان آبیاری

در رابطهٔ با مخازن ذخیره آب یا انتقال آن به نقاط مصرف، توزیع در مزرعه، و واحدهای آبیاری، تأمین آب مورد نیاز محصولات، کارایی «آب و آبیاری» برای نیل به اهداف مختلف (مانند تلفات آب، عملکرد محصول، سود خالص، و غیره)، راندمان‌های انتقال، توزیع، کاربرد در مزرعه، و کل آبیاری تعریف شده‌اند.

راندمان انتقال (E_c)[1]

انتقال آب آبیاری، فرایند حرکت آب از منابع آبیاری (مخزن، رودخانه یا چاه) به وسیله کانال‌های اصلی، درجه یک و دو یا مجاری روبسته تا آبگیر کانال‌های درجه سه یا مجاری روبسته، توزیع تعریف می‌شود. ایزرایلسن (۱۹۳۲)، راندمان انتقال را به صورت نسبت آب تحویل شده به واحدهای زراعی در یک دوره مشخص به آب منحرف شده از رودخانه یا سایر منابع طبیعی آب برای همان واحدهای زراعی در همان دوره تعریف کرد. راندمان انتقال توسط دورنباس و پروت (۱۹۷۷)، به صورت نسبت آب دریافتی در آبگیر یک واحد زراعی به آب تأمین شده در ابتدای طرح تعریف شده است. باس و همکاران (۱۹۹۴)، راندمان انتقال را به صورت نسبت کل جریان خروجی از سامانه کانال (تحویلی به سامانه توزیع) به کل جریان ورودی به آن تعریف می‌نمایند. انجمن مهندسان عمران ایالات متحده آمریکا (ASCE) (۱۹۸۷)، با تلفیق فرایند انتقال و توزیع، راندمان انتقال را به صورت نسبت آب تحویلی در نقطه مصرف به آب تأمین شده در سامانه انتقال تعریف کرده است. جنسن (۱۹۶۷) نیز با ترکیب فرایندهای انتقال و توزیع، راندمان انتقال را به صورت نسبت حجم آب تحویل شده به قطعه زراعی[2] در محل مصرف آب به حجم آب وارد شده به سامانه انتقال (روباز یا بسته) از منبع یا منابع تأمین آب تعریف کردند.

به‌طورکلی، راندمان انتقال بر اساس بیلان جریان ورودی و خروجی به سامانه انتقال به صورت رابطهٔ زیر محاسبه می‌شود.

$$E_c = \frac{v_d + v_2}{v_c + v_1} \times 100 \qquad (۱-۱)$$

که در آن،

E_c = راندمان انتقال (درصد)؛

v_c = حجم آب منحرف و یا پمپ شده از رودخانه و یا مخازن (متر مکعب)؛

v_d = حجم آب تحویل داده شده به شبکه توزیع (متر مکعب)؛

v_1 = حجم آب ورودی از منابع دیگر به شبکه انتقال (متر مکعب)؛

v_2 = حجم آب تحویل داده شده از سیستم انتقال به منظور استفاده غیر آبیاری (متر مکعب)

1. Conveyance Efficiency

2. Field

راندمان توزیع (E_d)[3]

توزیع فرایند حرکت آب در مجاری روبسته یا کانال‌های درجه سه و چهار و هدایت آن به قطعات زراعی و مزارع جداگانه است. راندمان توزیع توسط دورنباس و پروت (۱۹۷۷) در نشریه فنی شماره ۲۴ آبیاری و زهکشی FAO تحت عنوان *راندمان کانال قطعه زراعی*[4] یا *راندمان هدایت آب*[5] به صورت نسبت آب آبیاری دریافتی در آبگیر قطعه زراعی به آب دریافتی در آبگیر واحدهای زراعی[6] بیان شده است. واژه *هدایت* برای بسط مفهوم فرایند توزیع آب به روش استفاده از خطوط لوله، به مفاهیم اولیه FAO اضافه شد. دورنباس و پروت حاصل‌ضرب راندمان انتقال و راندمان هدایت آب (کانال قطعه زراعی) را راندمان توزیع نامیده‌اند. باس و همکاران (۱۹۹۴) راندمان توزیع را به صورت نسبت جریان تحویل شده در قطعه زراعی به کل جریان ورودی به سامانه کانال توزیع تعریف کرده‌اند. انجمن آبیاری استرالیا (IAA) (۱۹۹۸)، راندمان توزیع را به صورت نسبت آب تحویلی برای آبیاری قطعه زراعی به کل جریان ورودی به سامانه تأمین برای توزیع آب بیان کرده است. همچنین در استرالیا گروه کار BPA (۱۹۹۹)، پیشنهاد کردند که راندمان توزیع به صورت نسبت آب دریافت شده در آبگیرهای قطعه زراعی به کل جریان خروجی از سامانه انتقال، بیان و تعیین شود. به‌طورکلی، بر اساس بیلان جریان ورودی و خروجی، راندمان توزیع به صورت رابطهٔ زیر محاسبه می‌شود.

$$E_d = \frac{v_f + v_3}{v_d + v_4} \times 100 \qquad (۲-۱)$$

که در آن،

E_d = راندمان توزیع (درصد)؛

v_f = حجم آب تحویلی به واحدهای زراعی یا مزارع (متر مکعب)؛

v_d = حجم آب ورودی به شبکه توزیع از سامانه انتقال (متر مکعب)؛

$v_۳$ = حجم آب تحویلی برای مصارف غیر آبیاری از طریق شبکه توزیع (متر مکعب)؛

$v_۴$ = حجم جریان ورودی از منابع دیگر به شبکه توزیع (متر مکعب).

راندمان کاربرد آبیاری (E_a)[7]

هنگامی که ارزیابی راندمان یک نوبت آبیاری مورد نظر باشد، مفهوم راندمان کاربرد آبیاری یا راندمان کاربرد مزرعه[8]، درصدی از آب آبیاری تحویل شده به قطعه زراعی است که توسط گیاه مصرف شود. راندمان کاربرد آب توسط دورنباس و پروت (۱۹۷۷) در نشریه فنی شماره ۲۴ آبیاری و زهکشی FAO به صورت نسبت آبی که به‌طور مستقیم قابل استفاده گیاه است، به آب دریافتی در آبگیر قطعه زراعی تعریف شده است. باس و همکاران (۱۹۹۴)، راندمان کاربرد آب را به صورت نسبت نیاز آبی گیاه[9] به آب تحویلی قطعه زراعی تعریف کرده‌اند. آنان حاصل‌ضرب راندمان کانال مزرعه (توزیع) و راندمان کاربرد

---

3. Distribution Efficiency
4. Field Canal Efficiency
5. Conduct Efficiency
6. Block of Fields
7. Irrigation Application Efficiency
8. Field Application Efficiency
9. Crop Water Requirement

آبیاری را *راندمان مزرعه* نامیده‌اند.

انجمن مهندسان عمران ایالات متحده آمریکا (ASCE)(۱۹۷۸)، راندمان کاربرد آبیاری در مزرعه را به صورت نسبت آب آبیاری مورد نیاز گیاه به آب تحویلی به قطعه زراعی تعریف کرده‌اند. در ادامه، این انجمن راندمان آبیاری در مزرعه را با مقدار آب آبیاری که به‌طور مفید برای تولید محصول استفاده می‌شود مرتبط کرده و آن را به صورت نسبت حجم آب آبیاری به‌طور مفید استفاده شده به حجم آب آبیاری تحویل شده به قطعه زراعی تعریف می‌نماید. در این تعریف علاوه بر آب مورد نیاز تبخیر و تعرق گیاهان برای پرهیز از تنش آبی، نیاز آبشویی، آب مورد نیاز کنترل اقلیم (کنترل سرما یا گرما)، تهیه بستر کشت، و مبارزه با آفات در نظر گرفته می‌شود. در بسط مفاهیم و تعاریف راندمان آبیاری، برت و همکاران (۱۹۹۷) در کمیته کاری ASCE برای توصیف راندمان و یکنواختی آبیاری، راندمان آبیاری را به صورت نسبت حجم آب آبیاری به‌طور مفید استفاده شده به تفاضل حجم آب آبیاری کاربردی و تغییر ذخیره آب در خاک تعریف می‌نمایند. آنان برای در نظر گرفتن ذخیره آب خاک، پیشنهاد می‌نمایند کاهش ذخیره آب خاک به حجم آب آبیاری کاربردی اضافه شده و افزایش ذخیره آب ، که در خاک باقیمانده و قابل استفاده است از آن کم شود.

انجمن آبیاری استرالیا (IAA) (۱۹۹۸)، راندمان کاربرد مزرعه را به صورت نسبت آب مصرفی گیاه به آب دریافتی در آبگیر قطعه زراعی بیان کرده است. بر اساس نظرات گروه کار BPA (۱۹۹۹) پیشنهاد شده است که در محاسبه راندمان کاربرد مزرعه، از عبارت مقدار آب آبیاری قابل استفاده گیاه به‌جای نیاز آبی استفاده شود.

راندمان کاربرد آب در مزرعه مطابق مفاهیم ارائه شده توسط جنسن و همکاران (۱۹۸۳) به صورت نسبت میانگین عمق آب آبیاری نفوذ یافته و ذخیره شده در محدوده توسعه ریشه گیاه به میانگین عمق آب آبیاری کاربردی در مزرعه تعریف شده است. در این تحقیق راندمان کاربرد با رابطهٔ زیر تعریف می‌شود:

$$E_a = \frac{v_m}{v_f} \times 100 \qquad (۳-۱)$$

که در آن،

E_a = راندمان کاربرد (درصد)؛

v_m = حجم آب مورد نیاز برای تأمین رطوبت خاک در محدوده توسعه ریشه گیاه (متر مکعب)

v_f = حجم آب ورودی به واحدهای زراعی یا مزارع (متر مکعب)؛

صورت رابطهٔ (۳) مقدار آب قابل استفاده برای گیاه را نشان می‌دهد. هرچند بالا بودن راندمان کاربرد در این رابطهٔ به معنای تأمین آب مورد نیاز گیاه در مزرعه ناست، اما اندازه‌گیری مقدار آب ذخیره شده در محدوده ریشه گیاهان روش عملی برای ارزیابی راندمان کاربرد آب با روش‌های مختلف آبیاری در شرایط واقعی است. ایزرایلسن و همکاران (۱۹۸۰) راندمان کاربرد آب را به‌صورت زیر، نسبت آب ذخیره شده در منطقه توسعه ریشه به آب اضافه شده به مزرعه تعریف کردند.

$$E_a = \frac{(\theta_f - \theta_i)\rho_b \times R_z}{\forall} \times 100 \qquad (۴-۱)$$

$$\forall = \overline{Q}t / A \qquad (۵-۱)$$

که در آنها:

E_a = راندمان کاربرد (درصد)؛
R_z = عمق توسعه ریشه (سانتی‌متر)؛
θ_{fc}وθ_i= به ترتیب رطوبت‌های وزنی در ظرفیت زراعی خاک و قبل از آبیاری (درصد)؛
ρ_b = جرم مخصوص ظاهری (گرم بر سانتی‌متر مکعب)؛
$\forall$ = کل عمق آب تحویلی به قطعه تحت آبیاری در مزرعه (سانتی‌متر)؛
$\overline{Q}$ = متوسط دبی ورودی در حین آبیاری (متر مکعب در ثانیه)؛
t = مدت زمان آبیاری (ثانیه)؛
A= سطح آبیاری شده (متر مربع).

یکنواختی کاربرد، معیار مناسبی برای ارزیابی روش‌های مختلف آبیاری در مزرعه است. زیرا عمق آب ذخیره شده در خاک همان آب قابل استفاده گیاه است. همچنین، مفهوم کامل‌تر آبیاری مؤثر باید شامل کفایت و یکنواختی کاربرد آب باشد. به‌طور عمده، برای ارزیابی یکنواختی توزیع آب در روش‌های مختلف آبیاری، از تعاریف و روابط زیر استفاده می‌شود.

یکنواختی توزیع آب (DU)[10]

یکنواختی توزیع آب، شاخصی است که مشکلات توزیع آب در مزرعه را نشان می‌دهد. در صورتی‌که آبیاری کافی انجام شده باشد، مقدار کم DU نشانه تلفات آب به‌صورت فرونشت عمقی است. اگر چه مقدار کم DU نسبی است اما مقدار کمتر از ۶۷ درصد عموماً "قابل قبول" ناست. مریام و کلر (۱۹۷۸)، رابطهٔ زیر را برای محاسبه یکنواختی توزیع آب در مزرعه ارائه داده‌اند.

$$DU = \frac{D_q}{\overline{D}} \times 100 \qquad (۶-۱)$$

که در آن؛
D_q= میانگین عمق نفوذ کرده در چارک پایین مزرعه (میلی‌متر)
$\overline{D}$ =میانگین عمق آب نفوذ کرده (میلی‌متر)

ضریب یکنواختی کریستین‌سن (CU)[11]

کریستین‌سن (۱۹۴۲) ضریب یکنواختی را برای ارزیابی یکنواختی پخش آب آبیاری به روش بارانی پیشنهاد و استفاده نمود. کمیته بین‌المللی آبیاری و زهکشی (ICID) (۱۹۷۸)، استفاده از ضریب فوق را با اندازه‌گیری عمق نفوذ آب به روش‌های آبیاری سطحی بسط داد. ضریب یکنواختی کریستین‌سن که مبنای آماری دارد، به صورت رابطهٔ زیر برای ارزیابی یکنواختی کاربرد آب با روش‌های مختلف آبیاری استفاده می‌شود:

$$CU = \left(1 - \sum_{i=1}^{n} \frac{\left|\overline{X} - X_i\right|}{n\overline{X}}\right) \times 10 \qquad (۷-۱)$$

که در آن،
CU= ضریب یکنواختی کریستین‌سن (درصد)؛
X_i= عمق آب کاربردی در نقطه i (میلی‌متر)؛

10. Distribution Uniformity

11. Christiansen

$\overline{X}$ = میانگین عمق آب کاربردی در سطح آبیاری شده (میلی‌متر)؛
n= تعداد نمونه‌ها.

راندمان کاربرد چارک پایین (AE_{LQ})[12]

این شاخص که مبین یکنواختی و کفایت آبیاری است، نشان‌دهنده این است که سامانه آبیاری در مزرعه تا چه اندازه خوب کار کرده است. سازمان حفاظت خاک وزارت کشاورزی ایالات متحده امریکا (SCS) (۱۹۷۹)، برای ارزیابی یکنواختی کاربرد آب با روش‌های آبیاری سطحی از شاخص راندمان کاربرد چارک پایین به‌صورت رابطهٔ زیر استفاده می‌نماید:

$$AE_{LQ} = \frac{\overline{Z}_{LQ}}{\overline{Z}} \times 100 \qquad (۸-۱)$$

که در آن،
AE_{LQ} = راندمان کاربرد کمترین ربع (درصد)؛
$\overline{Z}_{LQ}$ = میانگین چارک پایین عمق آب ذخیره شده در ناحیه ریشه نمونه‌ها با کمترین عمق آب (میلی‌متر)؛
$\overline{Z}$ = میانگین عمق آب آبیاری کاربردی (میلی‌متر)؛
در روش‌های آبیاری سطحی، $\overline{Z}_{LQ}$ برابر میانگین عمق نفوذ اندازه‌گیری شده در چارک پایین اراضی تحت آبیاری که کمترین مقدار آب را دریافت کرده‌اند، است. البته شبکه نمونه‌گیری باید به سطوح مساوی تقسیم شوند. رابطهٔ (۸) برای ارزیابی یکنواختی پخش آب در روش‌های آبیاری بارانی نیز استفاده می‌شود که در آن میانگین چارک پایین عمق آب جمع‌آوری شده در قوطی‌های اندازه‌گیری، در صورت رابطهٔ فوق استفاده می‌شود.

راندمان پتانسیل چارک پایین (PE_{LQ})[13]

چنانچه میانگین چارک پایین عمق آب ذخیره شده در ناحیه ریشه نمونه‌ها درست به اندازه کمبود رطوبت خاک[14] در منطقه ریشه‌ها[15] باشد، راندمان به دست آمده را راندمان پتانسیل چارک پایین (PE_{LQ}) می‌نامند که از رابطهٔ زیر محاسبه می‌شود:

$$PE_{LQ} = \frac{\overline{Z}_{reqd}}{\overline{Z}} \times 100 \qquad (۹-۱)$$

که در آن، $\overline{Z}_{reqd}$ = میانگین چارک پایین عمق آب ذخیره شده در ناحیه ریشه نمونه‌ها بر حسب میلی‌متر است.

راندمان کل آبیاری (E_P)[16]

راندمان کل آبیاری که راندمان کل سامانه‌آبیاری[17] و راندمان کلی طرح[18] نیز نامیده می‌شود، راندمان

12. Application Efficiency Low Quarter
13. Potential Efficiency Low Quarter
14. SMD
15. Zreqd
16. Overall Irrigation Efficiency
17. Overall Irrigation System Efficiency
18. Overall Project Efficiency

عملیات کامل بهره‌برداری آب آبیاری از محل انحراف (رودخانه یا منابع دیگر) تا محل مصرف را نشان می‌دهد. راندمان کل طرح توسط دورنابس و پروت (۱۹۷۷) در نشریه فائو ۲۴ آبیاری و زهکشی FAO به صورت نسبت آب قابل استفاده برای گیاه به آب تأمین شده در ابتدای طرح آبیاری تعریف شده است. باس و همکاران (۱۹۹۴) راندمان کل طرح را به صورت نسبت نیاز آبی (آب مصرفی) گیاه به کل جریان ورودی به سامانه کانال تعریف کرده‌اند. انجمن آبیاری استرالیا (IAA) (۱۹۹۸)، راندمان کلی طرح را به صورت نسبت آب مصرفی گیاه به کل جریان ورودی به سامانه تأمین آب بیان کرده است. کمیته نیاز آبی انجمن مهندسان کشاورزی ایالات متحده آمریکا (ASAE) با درنظر گرفتن راندمان ذخیره مخزن[19] (نسبت آب تحویل شده از مخزن به آب منحرف شده به آن) راندمان کل سامانه آبیاری را به صورت حاصل‌ضرب راندمان‌های ذخیره مخزن، انتقال (تلفیق شده با توزیع) و کاربرد مزرعه تعریف کردند. بر اساس تعریف فوق در شرایطی که از منابع آب زیرزمینی استفاده شود، راندمان ذخیره مخزن ۱۰۰ درصد است (جنسن، ۱۹۸۰). بر اساس تفکیک عملیات آبیاری به سه فرایند انتقال، توزیع و کاربرد در مزرعه، راندمان کلی طرح با استفاده از راندمان‌های انتقال (E_c)، توزیع (E_d) و کاربرد آب در مزرعه (E_a) به‌صورت زیر محاسبه می‌شود.

$$E_p = E_c \times E_d \times E_a \qquad (۱۰-۱)$$

که در آن،

E_p = راندمان کل آبیاری (درصد)؛

در رابطهٔ (۱-۱۰) فرض می‌شود که بارندگی و جریان ورودی پیش‌بینی نشده به سامانه آبیاری وجود ندارد.

با توجه به اطلاعات ارائه شده درخصوص راندمان در مناطق مختلف کشور، تعیین آن برای ارزیابی سیاست‌های اجرا شده در راستای ارتقا بهره‌وری آب و همچنین برنامه‌ریزی‌های آتی دارای اهمیت زیادی است.

۱-۳- اقدام انجام شده

از آنجایی‌که شناخت وضع موجود از اساسی‌ترین گام‌های برنامه‌ریزی برای ارتقاء هر سیستمی محسوب می‌شود، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی با هدف بررسی و برآورد وضعیت موجود مدیریت و راندمان آب آبیاری، اقدام به تهیه بانک اطلاعات راندمان‌های آبیاری و تهیه نقشه جامع راندمان آبیاری در کشور، بر اساس جمع‌بندی نتایج بیش از ۱۳۵ مورد مطالعه منتشر شده در خصوص راندمان‌های آبیاری در سطح کشور (حدود ۱۹۰۰ نوبت آبیاری اندازه‌گیری شده در مزرعه طی سال‌های ۹۴-۱۳۷۰) کرده است. در این پژوهش نتایج حاصل از مطالعات مزرعه‌ای در خصوص ارزیابی راندمان آبیاری در سامانه‌ها و شبکه‌های مختلف آبیاری (سنتی و پائین دست سدها) که توسط دستگاه‌های مختلف پژوهشی و اجرایی اندازه‌گیری و گزارش شده بود، در سطح کشور جمع‌آوری و تجزیه و تحلیل شدند. کلیه داده‌های ارائه شده آنهایی هستند که در مزارع زارعان

19. Reservoir Storage Efficiency

و با مدیریت کشاورزان اندازه‌گیری شده‌اند. داده‌های جمع‌آوری شده نتایج حاصل از پژوهش‌های انجام شده در سطح کشور در موسسات تحقیقاتی، دانشگاه‌ها، وزارت نیرو، شرکت‌های مشاور و ... بود. پژوهش‌های انجام شده در مقیاس پلات در ایستگاه‌های تحقیقاتی لحاظ نشده است. از آنجایی که داده‌های گزارش شده در خصوص راندمان‌های آبیاری در سال‌های ۱۳۵۱ تا ۱۳۶۹ خیلی اندک است، امکان تحلیل آنها وجود نداشت و لذا این بازه زمانی در دوره مطالعه حذف شد. همچنین در این بررسی، طی ارزیابی نتایج حاصل از مطالعات مزرعه‌ای در سامانه‌ها و شبکه‌های مختلف آبیاری در سطح کشور، روند تغییرات راندمان آب آبیاری در طول دهه‌های مختلف و به تفکیک استان‌ها نیز تعیین شد. بر این اساس، روند تغییرات راندمان‌های آب آبیاری در طول دهه‌های مختلف تعیین، وضعیت راندمان آب آبیاری در استان‌های مختلف ارزیابی و خلاءها درخصوص راندمان آب آبیاری شناسایی شدند.

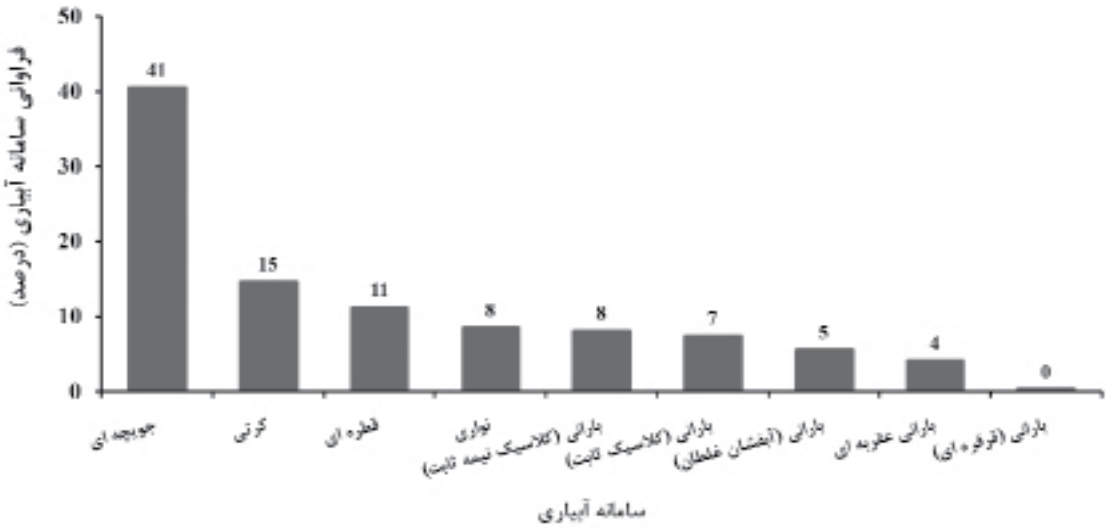
۱-۴- یافته‌ها و دستاوردها

بررسی وضعیت اجرای سامانه‌های آبیاری نشان دهنده آن است که بیش از ۸۵ درصد اراضی به روش آبیاری سطحی و ۱۵ درصد اراضی به روش آبیاری تحت فشار (شامل آبیاری بارانی و قطره‌ای) آبیاری می‌شود. در روش آبیاری سطحی راندمان قابل حصول یا پتانسیل حدود ۶۵ درصد و در سامانه‌های آبیاری تحت فشار برای آبیاری بارانی حدود ۸۵ درصد و برای آبیاری قطره‌ای حدود ۹۰ درصد است. سوالی که مطرح است آن است که وضعیت راندمان طراحی و پتانسیل با وضعیت فعلی راندمان آبیاری در کشور چگونه است؟ پاسخ به این سوال با جمع‌بندی داده‌های اندازه‌گیری شده راندمان در بانک اطلاعات ۴۰ ساله موسسه تحقیقات فنی و مهندسی میسر است. نتایج این بانک اطلاعاتی نشان دهنده آن است که در اغلب مناطقی که شبکه‌های بزرگ آبیاری وجود دارد، داده اندازه‌گیری شده راندمان نیز موجود است. در برخی از مناطق علی‌الخصوص مناطق مرزی کشور داده راندمان کم یا موجود نیست. فراوانی داده‌ها نشان دهنده آن است که بیشتر داده‌های اندازه‌گیری شده در مناطقی است که در آنجا شبکه‌های مهم آبیاری وجود دارد. از جمله این مناطق شامل استان‌های گیلان، خوزستان، قزوین، همدان، تهران، اصفهان، کرمان و اردبیل است.

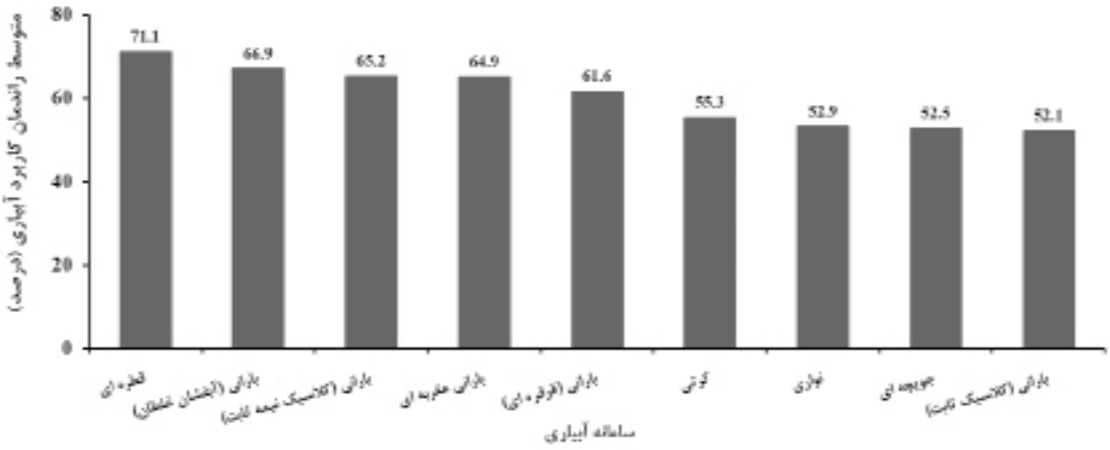
ارزیابی راندمان کاربرد در سامانه‌های آبیاری

جمع‌بندی مطالعات انجام شده روی سامانه‌های مختلف آبیاری نشان می‌دهد که روش آبیاری مزرعه تأثیر مهمی روی راندمان کاربرد آب آبیاری (که بیانگر مدیریت آب در داخل مزرعه است) دارد. از آنجا که بیش از ۸۵ درصد از اراضی آبی به روش‌های سطحی آبیاری می‌شوند، بیشترین ارزیابی‌ها در سامانه‌های آبیاری سطحی جویچه‌ای و کرتی با فراوانی به ترتیب ۴۱ و ۱۵ درصد انجام شده بود (شکل ۱-۱). با توجه به نتایج این مطالعه ۸۴ درصد داده‌ها در اراضی زراعی و ۱۶ درصد داده‌ها در اراضی باغی اندازه‌گیری شده‌اند. متوسط راندمان کاربرد آب آبیاری در سامانه‌هایکرتی، نواری و جویچه‌ای به ترتیب ۵۵/۳، ۵۲/۹ و ۵۲/۵ درصد است (شکل ۱-۲). در میان روش‌های آبیاری تحت فشار، آبیاری بارانی رول لاین (آبفشان غلطان) و کلاسیک ثابت به ترتیب بیشترین (۶۶/۹ درصد) و کمترین (۵۲/۱ درصد) متوسط راندمان کاربرد را داشتند. متوسط راندمان کاربرد آبیاری قطره‌ای ۷۱/۱ درصد بود (شکل ۱-۲). بر اساس نتایج حاصل از این مطالعه میانگین راندمان کاربرد آب آبیاری روش‌های آبیاری بارانی و موضعی به ترتیب ۶۲/۱ و ۷۱/۱ درصد (شکل ۱-۴) و متوسط راندمان کاربرد آب آبیاری سامانه‌های آبیاری تحت فشار و سطحی به ترتیب حدود ۶۶/۶ و ۵۳/۶ درصد است (شکل ۱-۴).

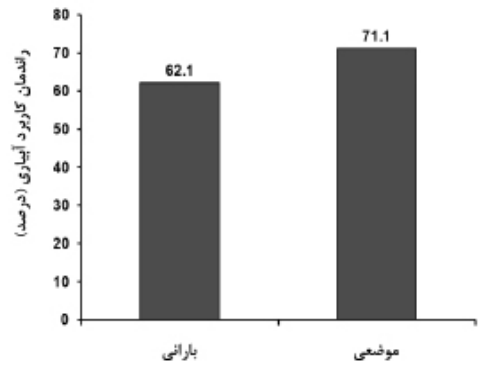
به طور کلی، آبیاری تحت فشار از روش‌های مؤثر در کاربرد آب است. هر چند که میانگین راندمان کاربرد آن کمتر از حد انتظار است. تاکنون حدود ۱/۴۵میلیون هکتار از اراضی آبی مجهز به سامانه‌های آبیاری تحت فشار هستند. گرچه اغلب سیستم‌های اجرا شده با درجات مختلفی با مشکلات مواجه بوده‌اند. عدم توجه کافی به مسائل فنی در طراحی، اجرا و بهره‌برداری از سیستم‌ها از دلایل عمده مشکلات موجود است (ناصری، ۱۳۹۴). این نشان دهنده آن است که آن همه هزینه و انرژی برای توسعهٔ روش‌های آبیاری تحت فشار موجب افزایش حدود ۱۲ درصدی در راندمان آبیاری شده است که می‌توان آن‌را با سرمایه‌گذاری کم‌تر و توجه بیش‌تر به سامانه‌های آبیاری سطحی جبران کرد.



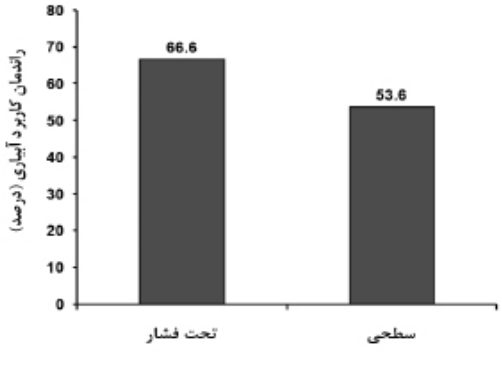
شکل ۱- ۱- درصد فراوانی داده‌ها در سامانه‌های مختلف آبیاری در سال‌های ۹۴-۱۳۷۰ در کشور



شکل ۱-۲- مقایسه متوسط راندمان کاربرد آب آبیاری در سامانه‌های مختلف آبیاری در سال‌های ۹۴-۱۳۷۰ در کشور



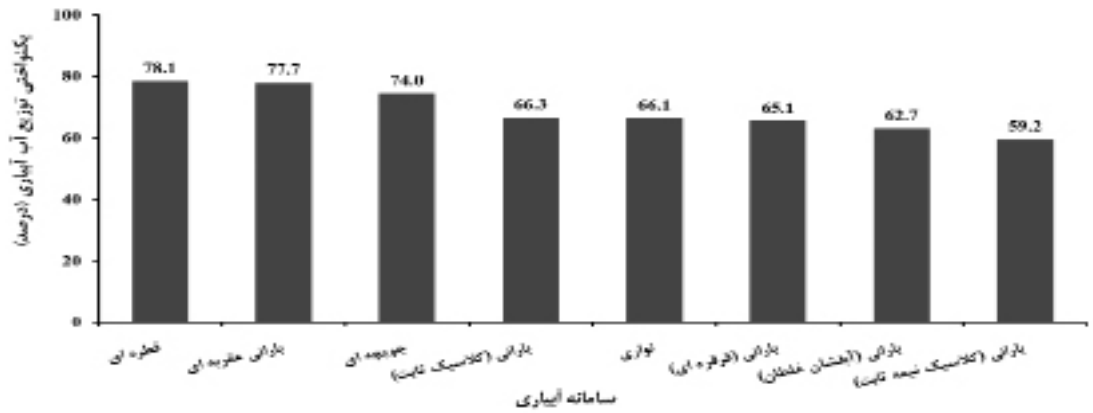
شکل ۱-۳- مقایسه متوسط راندمان کاربرد در روش‌های آبیاری بارانی و موضعی



شکل ۱-٤- مقایسه متوسط راندمان کاربرد در سامانه‌های آبیاری تحت فشار و سطحی

ارزیابی یکنواختی توزیع آب در سامانه‌های آبیاری

مقادیر یکنواختی توزیع آب در سامانه‌های مختلف در شکل ۵ نشان داده شده است. یکنواختی توزیع آب، شاخصی است که وضعیت توزیع آب در مزرعه را نشان می‌دهد. در صورتی که آبیاری کافی انجام شده باشد، مقدار کم DU نشانه تلفات آب به صورت فرونشت عمقی است. اگرچه مقدار کم DU نسبی است ولی مقادیر کمتر از ۶۷ درصد عموما "قابل قبول" نیست (هارت و هرمن، ۱۹۷۶). جمع‌بندی مطالعات انجام شده در سامانه‌های مختلف آبیاری نشان می‌دهد که روش آبیاری مزرعه تأثیر مهمی روی یکنواختی توزیع آب دارد. در حدود ۳۴ درصد اندازه‌گیری‌ها، یکنواختی توزیع آب کمتر از ۶۷ درصد است. از میان سامانه‌های آبیاری سطحی، روش جویچه‌ای بیشترین یکنواختی توزیع آب را دارد. متوسط یکنواختی توزیع آب در روش‌های جویچه‌ای و نواری به ترتیب ۷۴ و ۶۶/۱ درصد است. در میان روش‌های آبیاری تحت فشار، آبیاری بارانی (عقربه‌ای و خطی) با یکنواختی توزیع ۷۷/۷ درصد بیشترین و روش کلاسیک نیمه ثابت با متوسط ۵۹/۲ درصد کمترین مقدار یکنواختی را دارد (شکل ۱-۵).



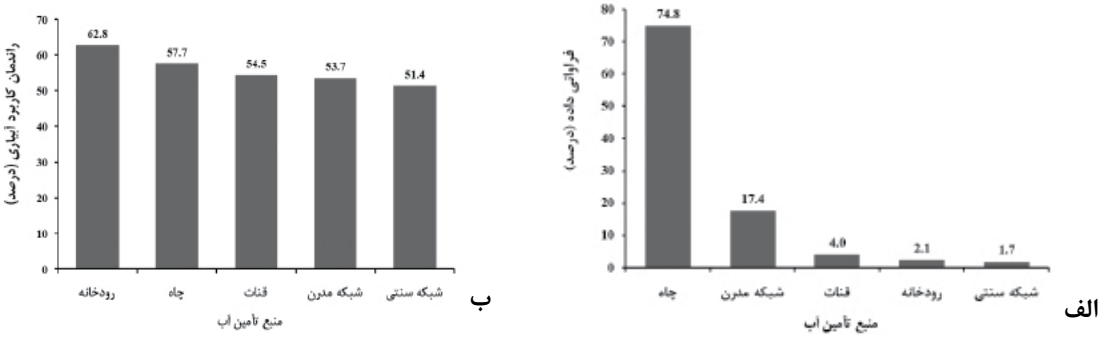
شکل ۱-۵- مقایسهٔ متوسط یکنواختی توزیع آب در سامانه‌های مختلف آبیاری در سال‌های ۹۴ - ۱۳۷۰ در کشور

همچنین، بر اساس نتایج حاصل از این مطالعه میانگین یکنواختی توزیع آب سامانه‌های آبیاری

تحت فشار و سطحی به ترتیب حدود ۷۲/۹ و ۷۰/۱ درصد است. مقایسه دو روش آبیاری سطحی و تحت فشار نشان می‌دهد که اختلاف یکنواختی توزیع آب دو سامانه ناچیز است. به نظر می‌رسد با توجه به انتظاراتی که از سامانه‌های آبیاری تحت فشار وجود دارد، این اختلاف باید بیشتر باشد. در روش‌های آبیاری بارانی و قطره‌ای کم بودن یکنواختی توزیع آب به دلیل طراحی، مدیریت و نگهداری نامناسب گزارش شده است.

ارزیابی راندمان کاربرد بر اساس منابع تأمین آب

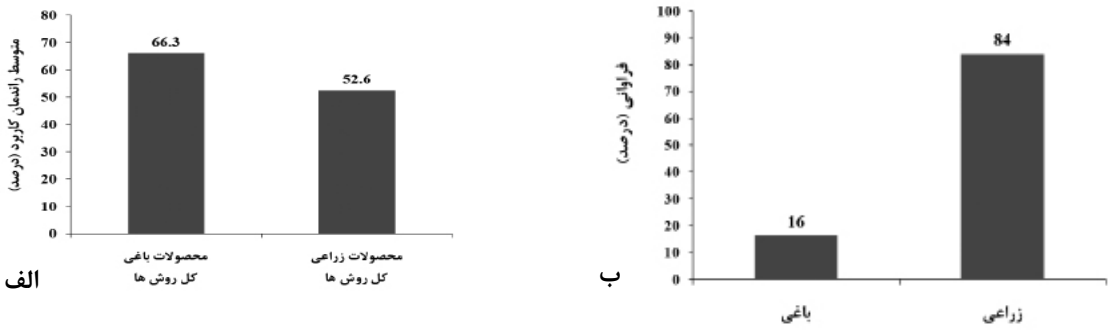
نتایج راندمان کاربرد آب آبیاری به صورت تابعی از منبع تأمین آب آبیاری در شکل ۱-۶ ارائه شده است. جمع‌بندی مطالعات نشان می‌دهد که منبع تأمین آب آبیاری تأثیر مهمی بر راندمان کاربرد آب آبیاری دارد. فراوانی داده‌ها در منابع سطحی (شبکه مدرن، سنتی و رودخانه) و منابع زیرزمینی (قنات و چاه) به ترتیب ۲۱/۲ و ۷۸/۸ درصد بوده است. منابع تأمین آب آبیاری شامل چاه، شبکه مدرن، قنات، رودخانه و شبکه سنتی به ترتیب دارای فراوانی ۷۴/۸، ۱۷/۴، ۴، ۲/۱ و ۱/۷درصد هستند (شکل ۱-۶- الف). متوسط راندمان کاربرد آب آبیاری بر اساس منابع زیرزمینی و سطحی آبیاری به ترتیب ۵۶/۱ و ۵۶ درصد است. این امر نشان دهنده آن است که از منابع آب زیرزمینی استفاده بهتری می‌شود. بیشترین راندمان کاربرد آبیاری مربوط به منبع سطحی رودخانه ۶۲/۸ درصد و کمترین آن مربوط به شبکه سنتی ۵۱/۴ درصد است. متوسط راندمان کاربرد در اراضی زیر شبکه‌های مدرن، قنات و چاه به ترتیب ۵۳/۷، ۵۴/۵ و ۵۷/۷ درصد است (شکل ۱-۶- ب).



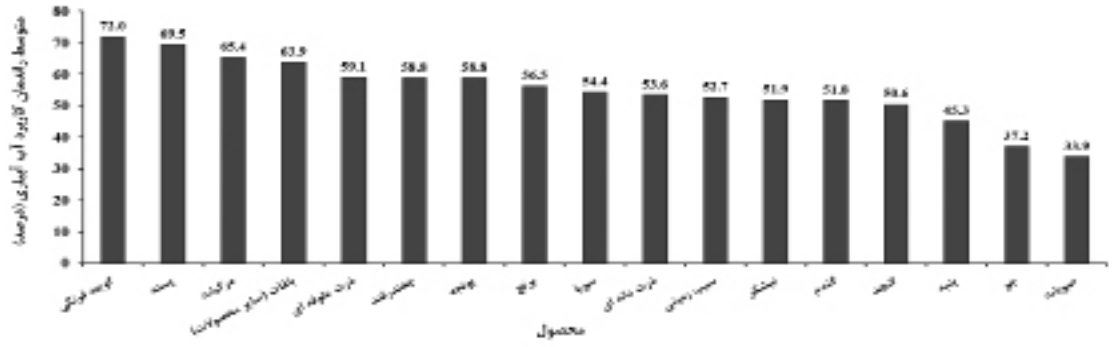
شکل ٦- الف) فراوانی منبع تأمین آب آبیاری و ب) راندمان کاربرد آب آبیاری به صورت تابعی از منبع تأمین آب آبیاری

وضعیت راندمان کاربرد آبیاری برای محصولات مختلف

راندمان کاربرد آبیاری برای محصولات باغی و زراعی در شکل ۱-۷ نشان داده شده است. با توجه به نتایج این مطالعه ۸۴ درصد داده‌ها در اراضی زراعی و ۱۶ درصد داده‌ها در اراضی باغی اندازه‌گیری شده‌اند (شکل ۱-۷- الف). راندمان کاربرد محصولات زراعی و باغی با در نظر گرفتن کل روش‌های آبیاری به‌ترتیب ۵۶/۲ و ۶۶/۳ درصد است (شکل ۱-۷-ب). از طرفی از آنجا که بیشتر اراضی باغی تحت پوشش سامانه‌های آبیاری قطره‌ای آبیاری می‌شوند، راندمان کاربرد آبیاری در این اراضی تحت پوشش این سامانه ۷۲/۳ درصد و سایر روش‌ها ۵۴/۱ درصد بود. بر اساس نتایج این تحقیق، متوسط راندمان کاربرد آبیاری محصولات گندم، یونجه، ذرت دانه‌ای، چغندرقند، جو، نیشکر، برنج، ذرت علوفه‌ای، پنبه، گوجه‌فرنگی، سویا، سیب‌زمینی، کنجد، پسته، مرکبات، باغات و حبوبات به ترتیب برابر ۵۱/۸، ۵۸/۸، ۵۳/۶، ۵۸/۸، ۳۷/۲، ۵۱/۹، ۵۶/۵، ۵۹/۱، ۴۵/۳، ۷۲، ۵۴/۴، ۵۲/۷، ۵۰/۶، ۶۹/۵، ۶۵/۴، ۶۳/۹ و ۳۳/۹ درصد است (شکل ۱-۸).



شکل ۱-۷- الف) فراوانی داده و ب) راندمان کاربردآب آبیاری محصولات باغی و زراعی



شکل ۱-۸- مقایسهٔ راندمان کاربرد آبیاری برای محصولات مختلف در سال‌های ۹۴ - ۱۳۷۰ در کشور

ارزیابی راندمان کاربرد در استان‌های مختلف کشور به تفکیک سامانه‌های آبیاری

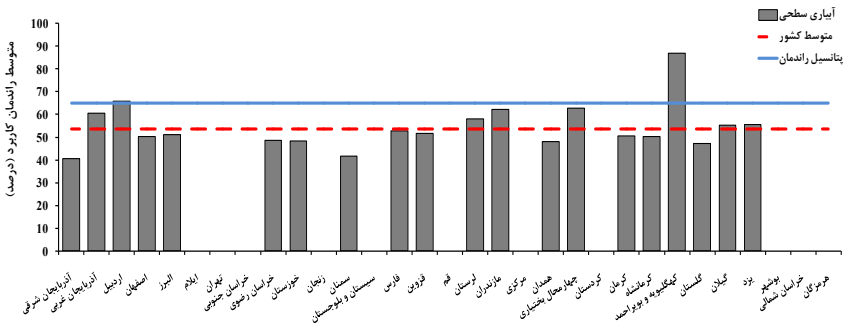
ارزیابی راندمان کاربرد به تفکیک سامانه‌های آبیاری سطحی، بارانی و موضعی در استان‌های مختلف کشور در شکل ۱-۹ ارائه شده است. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که با توجه به متوسط راندمان کاربرد آب آبیاری در سامانه‌های آبیاری سطحی، بارانی و موضعی به ترتیب ۵۳/۶، ۶۲/۱ و ۷۱/۱ درصد و همچنین با در نظر گرفتن پتانسیل راندمان کاربرد در هر کدام از این سامانه‌ها در سطح کشور (آبیاری سطحی، بارانی و موضعی به ترتیب برابر با ۶۵، ۸۵ و ۹۰ درصد)، متوسط راندمان کاربرد آب آبیاری سامانه‌های فوق از پتانسیل موجود کمتر است. فاصله وضعیت موجود تا پتانسیل در سامانه‌های سطحی حدود ۱۰ درصد و در سامانه‌های بارانی و موضعی حدود ۲۰ درصد است.

نتایج ارزیابی راندمان کاربرد آبیاری در استان‌های مختلف کشور در جدول ۱-۱ نیز ارائه شده است. راندمان کاربرد آب آبیاری در استان‌های آذربایجان غربی، اردبیل، ایلام، سیستان و بلوچستان، فارس، قزوین، قم، لرستان، مازندران، مرکزی، کهگیلویه و بویراحمد، گیلان و یزد بیشتر از ۵۵ درصد است و در مقایسه با استان‌های دیگر از مقادیر بیشتری برخوردار هستند. کمبود داده‌های گزارش شده در برخی از استان‌های کشور از جمله استان سیستان و بلوچستان، قم، لرستان، مازندران، مرکزی، کهگیلویه و بویراحمد و یزد موجب شده که راندمان کاربرد آب بیش از مقدار واقعی آن باشد. جمع‌آوری اطلاعات بیش‌تر در آینده تصویر واقعی‌تری از راندمان کاربرد آب آبیاری را در آن استان‌ها ارائه خواهد نمود. از طرفی در تعدادی از استان‌های کشور نظیر بوشهر، خراسان شمالی و هرمزگان به دلیل کمبود اطلاعات گزارش شده، امکان ارزیابی وضعیت راندمان آب آبیاری میسر نشد. در این استان‌ها باید برنامه‌ریزی لازم برای ارزیابی وضعیت موجود راندمان آب آبیاری صورت گیرد.

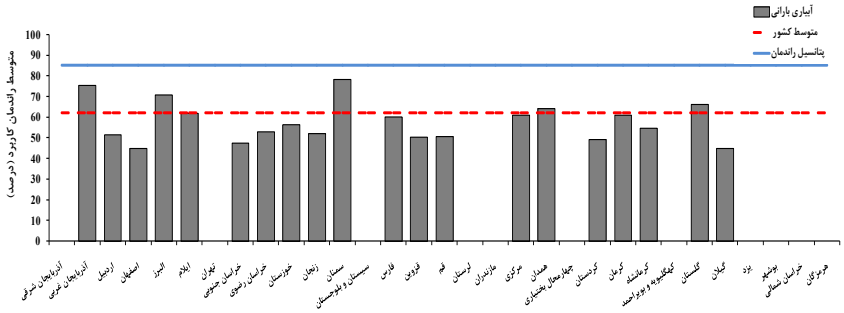
به‌طور کلی راندمان کاربرد آب آبیاری از ۲۲/۷ تا ۸۵/۵ درصد متغیر و میانگین آن ۵۶ درصد است (جدول ۱-۱). بر اساس نتایج این مطالعه متوسط راندمان انتقال و توزیع آب در شبکه‌های مدرن ۸۲/۵ درصد و در شبکه‌های سنتی ۶۵ درصد

بود. بنابراین، راندمان کل آب آبیاری نیز بین ۳۶ تا ۴۶ درصد به ترتیب با در نظر گرفتن ۶۵ درصد برای راندمان انتقال و توزیع در شبکه سنتی و ۸۲/۵ درصد برای راندمان شبکه مدرن متغیر بود. البته این راندمان در مقیاس مزرعه است. اگر به مقیاس بزرگ (دشت و حوزه) تعمیم داده شود به حدود ۷۰ درصد خواهد رسید. به عبارت دیگر، حدود ۱۰ تا ۱۵ درصد تلفات رواناب سطحی و به همین مقدار تلفات نفوذ عمقی وجود دارد که مجموعه این تلفات حدود ۲۵ تا ۳۰ درصد خواهد بود. با اضافه کردن این مقدار تلفات، راندمان کل به حدود ۷۰ درصد در مقیاس بزرگ خواهد رسید. نتایج ارزیابی راندمان کل نشان می‌دهد که این مقدار راندمان در مقایسه با کشورهای در حال توسعه، فاصله کم‌تری دارد. اگر هم فاصله‌ای است با توجه به روند رو به رشد، در آینده نزدیک به آن کشورها خواهیم رسید. اما در مقایسه با کشورهای توسعه یافته (حدود ۶۰ درصد) مقدار راندمان کل فاصله بیش‌تری دارد. راندمان انتقال و توزیع شبکه مدرن توسط شرکت مدیریت منابع آب ایران برای سال آبی ۹۴-۱۳۹۳ مقدار ۸۵ درصد گزارش شده است (بی‌نام، ۱۳۹۴). متوسط راندمان کاربرد با در نظر گرفتن این مقدار برای راندمان شبکه برابر با ۴۸ درصد است. مقادیر راندمان کاربرد در برخی استان‌ها از جمله تهران، قم، یزد، لرستان، خراسان جنوبی و سیستان و بلوچستان به دلیل کمبود داده خیلی قابل استناد نیست. تاکید می‌شود که مقادیر ارایه شده در جدول (۱-۱) ، میانگین راندمان‌های کاربرد، انتقال و توزیع و راندمان کل آبیاری برای کل داده‌های موجود در بانک داده‌ها است. مقادیر این راندمان‌ها به تفکیک دهه‌های مختلف در ادامه ارایه شده است.

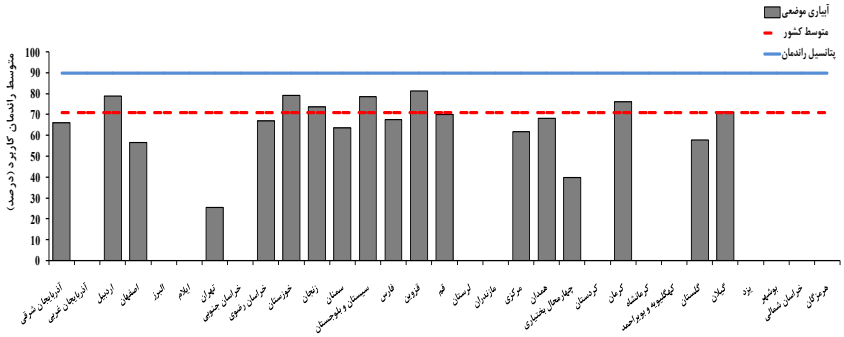
الف



ب



ج



شکل ۱-۹- راندمان کاربرد به تفکیک سامانه‌های الف) آبیاری سطحی، ب) آبیاری بارانی و ج) آبیاری موضعی در سال‌های ۹۴-۱۳۷۰ در استان‌های مختلف کشور

جدول ۱-۱ – مقایسه راندمان کاربرد و راندمان کل آب آبیاری در استان‌های مختلف

استان	حداقل راندمان کاربرد (درصد)	حداکثر راندمان کاربرد (درصد)	تعداد اندازه‌گیری	متوسط راندمان کاربرد (درصد)	راندمان کل*	راندمان کل**	راندمان کل***
آذربایجان شرقی	۲۱	۸۷	۱۲	۵۱/۲	۳۳/۳	۴۲/۲	۴۳/۵
آذربایجان غربی	۲۹/۱	۹۶/۷	۲۸۱	۶۴/۱	۴۱/۶	۵۲/۹	۵۴/۵
اردبیل	۱۵/۳	۹۵	۶۲	۶۸	۴۴/۲	۵۶/۱	۵۷/۸
اصفهان	۳/۷	۹۹	۹۴	۴۹/۶	۳۲/۲	۴۰/۹	۴۲/۱
البرز	۲۷/۳	۸۸/۲	۴۳	۵۳	۳۴/۴	۴۳/۷	۴۵
ایلام	۳۹/۸	۹۶/۵	۱۷	۷۵/۴	۴۹	۶۲/۲	۶۴
تهران	۱۱	۲۵/۷	۲	۱۸/۴	۱۱/۹	۱۵/۱	۱۵/۶
خراسان جنوبی	۳۸	۵۹	۸	۴۷/۴	۳۰/۸	۳۹/۱	۴۰/۳
خراسان رضوی	۱۴	۸۸/۳	۶۴	۵۱/۴	۳۳/۴	۴۲/۴	۴۳/۷
خوزستان	۳/۳	۱۰۰	۱۵۳	۴۶/۹	۳۰/۵	۳۸/۷	۳۹/۹
زنجان	۱۰/۸	۹۲/۲	۳۰	۵۲/۵	۳۴/۱	۴۳/۳	۴۴/۶
سمنان	۷/۸	۸۲/۵	۱۱۶	۳۹/۶	۲۵/۷	۳۲/۷	۳۳/۷
سیستان و بلوچستان	۶۴	۸۹	۸	۷۸/۶	۵۱/۱	۶۴/۸	۶۶/۸
فارس	۲۳/۵	۹۵	۷۳	۶۳	۴۰/۹	۵۱/۹	۵۳/۵
قزوین	۸/۸	۱۰۰	۱۴۸	۵۹/۳	۳۸/۶	۴۸/۹	۵۰/۴
قم	۳۴/۶	۷۰/۱	۳	۵۷	۳۷/۱	۴۷/۱	۴۸/۵
لرستان	۱۵/۶	۹۲	۵	۵۸/۱	۳۷/۸	۴۷/۹	۴۹/۴
مازندران	۹/۴	۸۹	۱۱	۵۷/۵	۳۷/۴	۴۷/۴	۴۸/۹
مرکزی	۳۳	۷۶/۶	۱۸	۶۱	۳۹/۷	۵۰/۳	۵۱/۹
همدان	۱۱/۳	۹۸	۱۴۷	۶۳/۸	۴۱/۴	۵۲/۶	۵۴/۲
چهارمحال بختیاری	۷/۹	۹۸/۹	۲۹	۴۶/۱	۳۰	۳۸	۳۹/۲
کردستان	۲۲/۳	۵۶/۴	۱۷	۴۲/۶	۲۷/۷	۳۵/۲	۳۶/۲
کرمان	۲۳	۹۳/۸	۸۳	۵۴/۴	۳۵/۳	۴۴/۹	۴۶/۲
کرمانشاه	۳۶/۴	۸۵/۴	۱۷	۵۲/۱	۳۳/۹	۴۳	۴۴/۳
کهگلیویه و بویراحمد	۴۰/۸	۱۰۰	۱۸	۸۷	۵۶/۶	۷۱/۸	۷۴
گلستان	۱۷/۸	۸۱	۷۴	۵۳/۵	۳۴/۸	۴۴/۱	۴۵/۵
گیلان	۲۳/۸	۸۳/۹	۱۲۱	۵۹/۱	۳۸/۴	۴۸/۸	۵۰/۳
یزد	۴۳	۷۴	۴	۵۵/۵	۳۶/۱	۴۵/۸	۴۷/۲
میانگین	۲۲/۷	۸۵/۵	۱۶۵۸	۵۶	۳۶	۴۶	۴۸

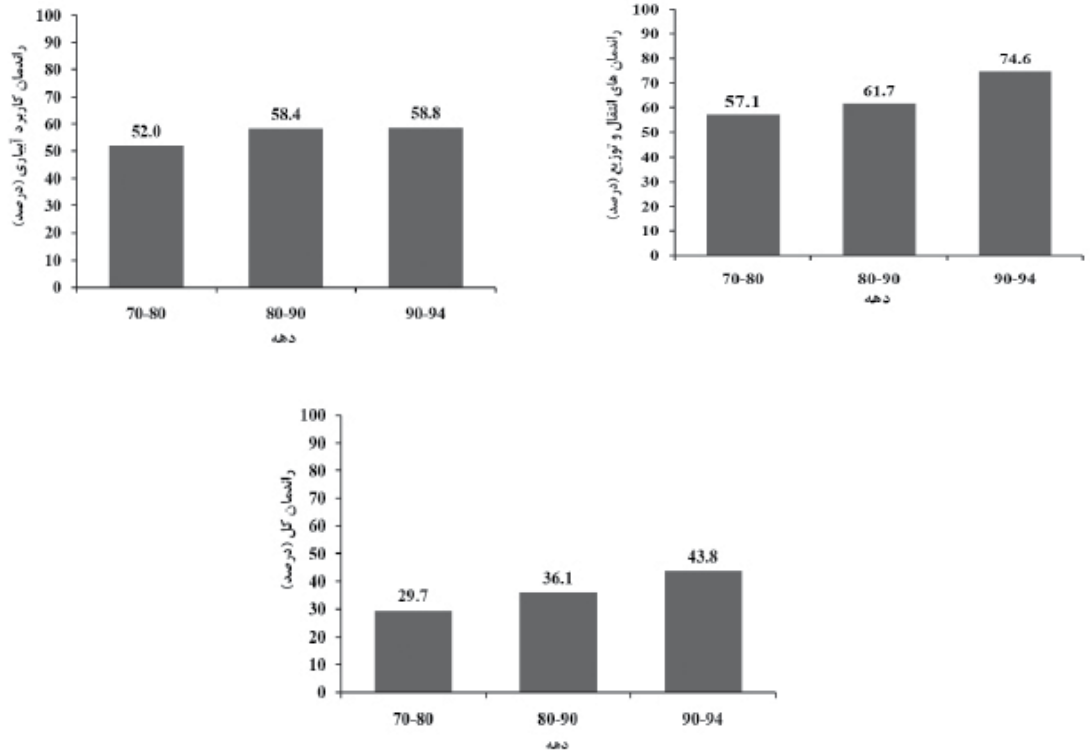
*بازده کل آب آبیاری با فرض ۶۵ درصد برای بازده انتقال و توزیع (شبکه سنتی) بر اساس جمع‌بندی داده‌های موجود.

** بازده کل آب آبیاری با فرض ۸۲/۵ درصد برای بازده انتقال و توزیع (شبکه مدرن) بر اساس جمع‌بندی داده‌های موجود.

*** بازده کل آب آبیاری با فرض ۸۵ درصد بازده انتقال و توزیع (بازده شبکه مدرن، مدیریت منابع آب ایران).

ارزیابی راندمان‌های آبیاری در سه دهۀ اخیر

بررسی روند تغییرات راندمان طی سال‌های مختلف نشان داد که راندمان کاربرد آبیاری در دو دهۀ ۸۰-۷۱ و ۹۰-۸۱ و نیم دهۀ ۹۴-۹۱ به ترتیب ۵۲، ۵۸/۴ و ۵۸/۸ درصد است (شکل ۱-۱۰). همچنین بررسی‌ها نشان داد راندمان انتقال و توزیع (به معنی تلفات آب در کانال‌های انتقال و توزیع) نیز در دهه‌های مذکور به ترتیب ۵۷/۱، ۶۱/۷ و ۷۴/۶ درصد است (شکل ۱-۱۰). بدین ترتیب **راندمان کل** در دهه‌های یاد شده به ترتیب ۲۹/۷، ۳۶/۱ و ۴۳/۸ درصد برآورد می‌شود (شکل ۱-۱۰). به عبارتی از سال ۱۳۷۵ (وسط دهۀ ۸۰-۷۱) تا سال ۱۳۸۵ (وسط دهۀ ۹۰-۸۱) راندمان کل آبیاری، سالانه حدود ۰/۸ درصد رشد داشته است. در حالی که میزان افزایش راندمان کل از سال ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۴ سالانه حدود یک درصد است. به عبارتی در سال ۱۳۷۵ به بعد روند افزایشی راندمان آبیاری مطابق مقادیر پیش‌بینی شده در برنامه‌های توسعه‌ای کشور حدود ۱ درصد محقق شده است. از علل مهم افزایش راندمان در این دهه‌ها می‌توان به تجهیز و نوسازی اراضی، افزایش میزان آگاهی و دانش بهره‌برداران به مسائل آب و خاک، گسترش شبکه‌های آبیاری، توسعه سامانه‌های نوین آبیاری و انتقال یافته‌های تحقیقاتی به بهره‌برداران اشاره نمود. متوسط راندمان آبیاری در کشور، با راندمان آبیاری در کشورهای در حال توسعه (۴۵ درصد) قابل مقایسه ولی کم‌تر از راندمان آبیاری در کشورهای پیشرفته (حدود ۶۰ درصد) است. هرچند شرایط اقلیمی کشور ما از نظر بارندگی و پتانسیل تبخیر، با خیلی از کشورهای دیگر متفاوت است.



شکل ۱-۱۰- مقایسۀ راندمان کاربرد، راندمان انتقال و توزیع و راندمان کل به تفکیک سه دهۀ اخیر

۱-۵- جمع‌بندی دستاورد

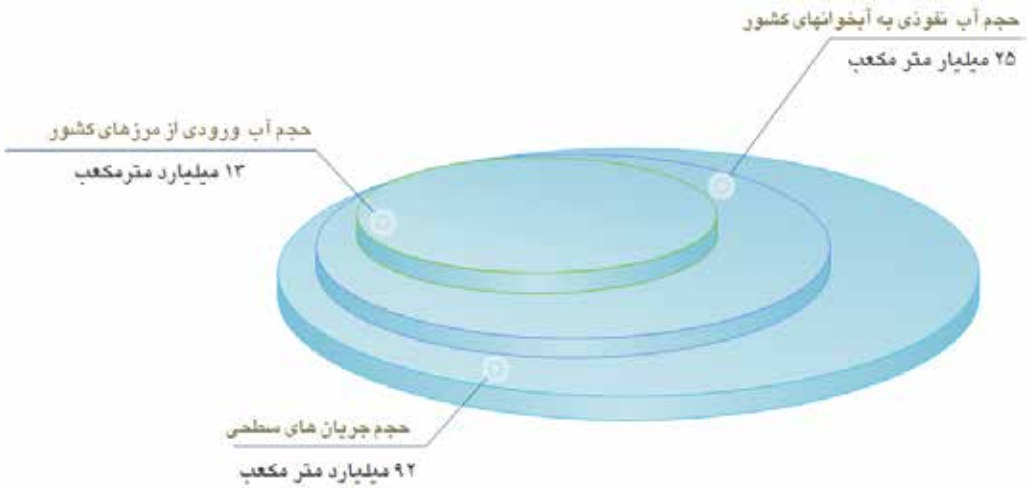
به طورکلی، بررسی‌های انجام شده نشان دادند که روند کلی تغییرات راندمان آبیاری در کشور مثبت و افزایشی است. درعین‌حال، با توجه به مقادیر راندمان روش‌های مختلف آبیاری تحت‌فشار، پیشنهاد می‌شود که توسعه سامانه‌های آبیاری بارانی به ویژه کلاسیک ثابت در آینده با بررسی و دقت بیش‌تری انجام شود. همچنین، با عنایت به سطح وسیع اراضی تحت آبیاری سنتی، ضروری است که در برنامه‌ریزی‌های کلان کشور اصلاح و بهبود سامانه‌های آبیاری سطحی نیز مورد توجه و حمایت کافی قرار گیرد. علی‌رغم موارد عنوان شده، برای تدقیق و تکمیل اطلاعات مربوط به راندمان آبیاری نیاز به انجام بررسی‌های بیش‌تر است. در برخی استان‌های کشور از جمله تهران، بوشهر، خراسان شمالی و جنوبی، لرستان، هرمزگان، قم، یزد و سیستان و بلوچستان اطلاعات کافی برای ارزیابی وضعیت موجود راندمان آب آبیاری موجود نیست. در این استان‌ها، لازم است برای ارزیابی وضعیت موجود راندمان آب آبیاری، برنامه‌ریزی لازم صورت گیرد. همچنین عمده داده‌های موجود در زمینه راندمان آب آبیاری در کشور در مزارع و روی محصولات زراعی است، لازم است در مطالعات آتی به ارزیابی راندمان آب آبیاری در باغات کشور توجه بیش‌تری شود. ارزیابی راندمان‌های انتقال و توزیع در شبکه‌های سنتی و مدرن نیز بیش‌تر شود.

مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی

برآورد آب مصرفی در بخش کشاورزی

۲-۱- مقدمه

آبیاری و بارش دو طریق عمده تامین نیازمندی گیاه به آب با توجه به شرایط اقلیمی، اگرونومیک و اقتصادی محیط‌های کشاورزی است. در حال حاضر بخش قابل توجهی از آب رودخانه‌ها، دریاچه‌ها و آبخوان‌های زیرزمینی در جهان به مصرف کشاورزی می‌رسد (ناصری، ۱۳۷۶) و منشاء اصلی آب مصرفی کشاورزی در جهان، بارش نزولات جوی در دشت‌ها و ارتفاعات با میانگین ۸۶۰ میلی‌متر در سال است. نظر به این که کشورمان به علت کمی نزولات جوی با مقدار کمتر از یک سوم میانگین ارتفاع بارش سالانه در جهان و با توزیع نامناسب مکانی و زمانی آن، در منطقه خشک و نیمه‌خشک واقع شده است. بررسی منابع نشان می‌دهد از کل حجم بارش با احتساب حجم جریان ورودی از رودخانه های مرزی حدود ۱۳۰ میلیارد مترمکعب آب تجدید شونده برآورد می‌شود که ۹۲ و ۲۵ میلیارد مترمکعب آن به ترتیب جریان‌های سطحی و نفوذ به آبخوان‌ها را شامل می‌شود (شکل ۲-۱).



شکل ۲-۱- مولفه‌های حجم آب تجدید شونده در کشور

بررسی‌ها نشان می دهد میزان آب مصرفی در کشور در سال ۱۳۲۸ توسط مهندسین مشاور ماوراء بحار حدود ۵۰۰ میلیارد مترمکعب برآورد شده است. این برآورد بیشتر از حتی حجم بارش سالانه در دشت و ارتفاعات این کشور است. پس از آن، در سال ۱۳۳۰ گزارش ناقصی توسط مهندسین مشاور پارسونزجانسون براش در مورد برآورد آب زیرزمینی منتشر شد. اولین بررسی مدون در مورد میزان آب مصرفی در کشور، پنجاه سال پیش (۱۳۴۲) توسط وزارت آب و برق سابق در گزارش " توسعه منابع آب ایران: مشکلات و راه حل‌ها" منتشر شده است (قدرت نما، ۱۳۷۷). در سال ۱۳۴۵ سازمان برنامه گزارشی از وضعیت منابع و مصارف آب کشور منتشر کرده که با گزارش منتشر در سال ۱۳۴۲ تفاوت اساسی در حجم منابع و مصارف آب در کشور داشت (قدرت نما، ۱۳۷۷). پس از آن، نشریه‌های شماره دو، هشت و شانزده کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، در تمام یا بخشی از این نشریه‌ها به مبحث منابع و مصارف آب در کشور پرداخته‌اند. در نشریه شماره هشت کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، میانگین حجم آب حاصل از بارش در سطح کشور حدود ۳۸۰ میلیارد مترمکعب گزارش شده و نوسانات سالانه آن بین ۲۸۰ تا ۵۲۰ میلیارد مترمکعب و آب مصرفی هرهکتار از زمین‌های کشاورزی فاریاب حدود ۹۵۲۴ متر مکعب

در هکتار بود. حدود ۸۶ میلیارد مترمکعب از حجم آب با منشاء بارش به‌صورت مستقیم و غیرمستقیم برای زراعت آبی، دیم، مراتع و جنگل‌ها استفاده می‌شده است. در سال ۱۳۵۶، گزارش طرح جامع (تحقیق و توسعه) مجموعه بررسی‌های نسبتا جدی در مورد جمع‌آوری و تحلیل آمار منابع و مصارف آب در کشور را دنبال کرد که مقادیر مطمئنی برای حجم آب مصرفی در کشور به دست نیامد. در سال ۱۳۵۷ گزارشی توسط سازمان برنامه و بودجه در مورد بیلان منابع آب تا اوایل سال ۱۳۵۲ منتشر شد. یکی از مشاوران حوزه معاونت وزارت نیرو،معصومی الموتی منابع و مصارف آب کشاورزی را استخراج کرده است (به نقل از قدرت نما، ۱۳۷۷). قدرت‌نما در سال ۱۳۷۷ منابع و مصارف و نیازهای آبی در کشور را از سال ۱۳۴۲ تا ۱۳۷۲ بررسی کرده و تغییرات مصرف آب در سال‌های گذشته را به صورت جدول ۲-۱ گزارش نمود. برای اولین (۱۳۴۲) و آخرین (۱۳۷۲) سال بررسی درصد مصرف آب کشاورزی از کل مصرف آب به ترتیب برابر ۹۹ و ۹۴ درصد در نظر گرفته شده است. مقدار مصرف آب کشاورزی از کسر نیازهای شرب و صنعت از کل مصرف آب، حاصل شده است. اغلب مقادیر مصرف در جدول ۲-۱ به ویژه در بخش کشاورزی، داده‌های اندازه‌گیری شده، نبوده و از طریق برازش بر مبنای برخی مقادیر تخمینی حاصل شده‌اند. بدیهی است که صحت این داده‌ها جای بحث و بررسی دارد.

جدول ۲-۱- تغییرات مصرف آب بر حسب نوع مصارف (قدرت نما، ۱۳۷۷)

سال	کشاورزی	شرب و صنایع	کل
۱۳۴۲	۴۴	۰/۴۲	۴۴/۴۲
۱۳۴۵	۴۵	۰/۵۴	۴۵/۵۴
۱۳۵۰	۴۹	۰/۷۵	۴۹/۷۵
۱۳۵۵	۵۳/۶	۱/۲۷	۵۴/۸۷
۱۳۵۷	۵۵/۶	۱/۵۱	۵۷/۱۰
۱۳۶۰	۵۸/۹	۱/۹۵	۶۰/۸۵
۱۳۶۲	۶۰/۵	۲/۸۹	۶۳/۴
۱۳۶۵	۶۵/۳	۲/۹۷	۶۸/۳۰
۱۳۷۰	۷۳/۳	۴/۵۵	۷۷/۸۵
۱۳۷۲	۷۸/۲	۴/۷۷	۸۲/۹۷

در خصوص مقدار حجم آب حاصل از بارندگی در پهنه کشور نیز آمارهای موجود بسیار متفاوت می باشد. مقادیر حجم آب حاصل از بارش در سطح کشور بر اساس منابع مختلف به شرح جدول ۲-۲ ارائه شده است. موحددانش (۱۳۷۳) حجم آب حاصل از بارش در سطح کشور را حدود ۴۰۰ میلیارد مترمکعب و مصرف آب در بخش کشاورزی را ۷۰ میلیارد مترمکعب گزارش کرده است (موحددانش، ۱۳۷۳). محمد ولی سامانی (۱۳۸۴) مصرف آب در کشور را در سال‌های ۱۳۷۵ و ۱۳۸۰ به ترتیب برابر ۸۶/۸ و ۹۳/۱ میلیارد مترمکعب و مصرف آب در بخش کشاورزی را ۸۱/۴ و ۸۶ میلیارد مترمکعب گزارش کرده و برای سال ۱۴۰۰ مصرف آب در کشور و بخش کشاورزی را به ترتیب برابر ۱۱۳/۲ و ۱۰۳ میلیارد مترمکعب پیش‌بینی کرده است. در گزارشی که وزارت نیرو به هیات دولت تقدیم کرده حجم مصرف آب در کشور ۸۸/۵ میلیارد مترمکعب و مصرف آب در بخش کشاورزی ۸۳ میلیارد مترمکعب قید شده است. حیدری (۱۳۸۸) مصرف آب در بخش کشاورزی را ۸۶ میلیارد مترمکعب ذکر کرده است. برای برآورد مقدار مصرف آب در بخش کشاورزی در سطح کشور، با توجه به قابلیت کلان تحلیلی، می‌توان از روش بیلان آب در چرخه هیدرولوژی استفاده نمود.

جدول ۲-۲- مقدار حجم آب حاصل از بارش در سطح کشور به استناد منابع مختلف

ردیف	حجم آب (میلیارد مترمکعب)	منبع
۱	۵۰۰	مهندسین مشاور ماوراء بحار (۱۳۲۸)
۲	۲۸۰ تا ۵۲۰	نشریه شماره ۸ کمیته ملی آبیاری و زهکشی (۱۳۵۱)
۳	۴۹۰	گنجی (۱۳۵۳.)
۴	۳۶۹	وزارت نیرو (۱۳۵۵)
۵	۳۶۵	وزارت نیرو (۱۳۵۶)
۶	۴۴۰	Bureau of Water Planning and Development and Resources Corporation (1357)
۷	۴۰۰	کوچک پور (۱۳۵۹)
۸	۴۰۰	عطرچین (۱۳۵۹)
۹	۴۰۰	ایقانیان (۱۳۶۰)
۱۰	۳۶۵	قطبی (۱۳۶۰)
۱۱	۴۰۰	وزارت نیرو (۱۳۶۰)
۱۲	۴۰۰	موحددانش (۱۳۷۳) به نقل از گزارش‌های وزارت نیرو
۱۳	۴۱۶	قدرت‌نما (۱۳۷۷)
۱۴	۴۱۳	کشاورز و صادق زاده (۱۳۷۸) به نقل از طرح جامع آب
۱۵	۴۰۰	محمد ولی سامانی (۱۳۸۴)

بدین ترتیب ملاحظه می‌شود درخصوص حجم آب حاصل از بارش و حجم آب مصرفی در بخش‌های مختلف به‌ویژه در بخش کشاورزی اعداد و ارقام ارائه شده بسیار متفاوت بوده و درخصوص صحت و سقم آنها نیز تردیدهای جدی وجود دارد. موسسه تحقیقات فنی و مهندسی در سال‌های اخیر با توجه به اهمیت موضوع یاد شده برنامه‌ریزی گسترده‌ای برای تعیین حجم آب مصرفی در بخش کشاورزی انجام داده است. در این راستا ابتدا اقدام به برآورد مولفه‌های بیلان آب در چرخه هیدرولوژی کشور و تعیین حجم مصرف آب در بخش کشاورزی بر اساس آن نمود. سپس با بررسی محدودیت‌های روش بیلان آب در تخمین حجم مصرف آب در بخش کشاورزی، روش‌های دیگر انجام این مهم در دستور کار موسسه قرار گرفته است. در این بخش بررسی‌ها و تحلیل‌های صورت گرفته بر اساس روش بیلان آب ارائه می‌شود.

۲-۲- روش انجام کار

ویژگی‌های پیکره جغرافیایی اجرای پژوهش

پیکره جغرافیایی اجرای این پژوهش، کشور اسلامی ایران است. این کشور بخشی از سرزمین کوهستانی و بلند فلات ایران است. این فلات از شمال به دریای مازندران و استپ‌های ترکمن، از جنوب به خلیج فارس و دریای عمان، از غرب به جلگه بین‌النهرین و دامنه‌های غربی رشته کوه‌های زاگرس، و از شرق به جلگه رود سند و کوه‌های پامیر، محدود است. حدود جغرافیایی این کشور از ۲۵ تا ۴۰ درجه عرض‌شمالی و ۴۴ تا ۶۳ درجه طول‌شرقی گسترش دارد (ولایتی، ۱۳۷۴).

محدوده جغرافیایی ایران حدود ۱۶۴۸۰۰۰ کیلومتر مربع (۱۶۳۶۰۰۰ کیلومتر مربع آن خشکی و ۱۲۰۰۰ کیلومتر مربع آن آبی) وسعت دارد (ولایتی، ۱۳۷۴ و آل یاسین ۱۳۸۴).سطح اراضی کوهستانی ۸۹۰۴۸۶ کیلومتر مربع و سطح اراضی دشت‌ها ۷۳۰۲۱۶/۲ کیلومتر مربع وسعت دارد (آل یاسین، ۱۳۸۴).

بیش از ۸۰ درصد از اراضی کشور را کوه‌ها، دره‌ها، کویرهای خشک، دامنه کوه‌ها و تپه‌ها از جمله اراضی کشاورزی و باغات پراکنده است. حدود ۵۵ درصد از سطح کشور را مراتع، ۱۱/۳ درصد را کشت‌های آبی، دیم و آیش، ۸/۲ درصد را جنگل‌ها، ۱۹/۱ درصد را اراضی قابل کشت و ۶/۴ درصد را سایر اراضی از جمله کوه‌ها تشکیل می‌دهند (آل یاسین، ۱۳۸۴).

کشور ایران جزو مناطق خشک جهان بوده و از نظر اقلیمی به دو اقلیم خشک و معتدل تقسیم‌بندی شده است (آل یاسین، ۱۳۸۴). توزیع مکانی بارش در این کشور غیر یکنواخت است. ارتفاع بارش از ۲۰۰۰ میلی‌متر در حاشیه غربی دریای خزر تا کمتر از ۱۰۰ میلی‌متر در نواحی خشک مرکزی و جنوبی و ۲۵ میلی‌متر در کویر لوت متفاوت بوده و میانگین بارش در سطح کشور از یک سوم میانگین جهانی بارش کمتر است (آل یاسین، ۱۳۸۴). بارش‌های جوی در کشور از جریان‌های مرطوب مراکز کم فشار قطاع غربی ناشی می‌شود. رطوبت این بارش به‌ترتیب اهمیت از اقیانوس اطلس، دریای مدیترانه، دریای سیاه، دریای سرخ و خلیج فارس تامین می‌شود (آل یاسین، ۱۳۸۴). دو منشاء دیگر بارش، پدیده ادوکسیون توده‌های هوا بر بستر دریای خزر و نفوذ متناوب جریان‌های مرطوب فصلی اقیانوس هند هستند (آل یاسین، ۱۳۸۴). توپوگرافی و گستره‌های بزرگ آبی دور یا نزدیک از مهم‌ترین عوامل موثر بر بارش‌های ایران هستند. ارتفاع بارش در کشور ۳۰ درصد میانگین بارش‌های کره زمین بوده و تبخیر از پهنه‌های دشت و ارتفاعات کشور ۱۰ درصد از میانگین تبخیر کره زمین بیشتر است. اغلب بارش‌های جوی در این کشور در فصل پاییز و زمستان صورت می‌گیرد که دوران حداقل نیاز آبی محصولات است. فصل تابستان که هنگام مصرف آب گیاهان است، اقلیم ایران فاقد بارش موثر است. با توجه به شرایط خاص اقلیمی در ایران، تولید محصولات زراعی و باغی در کشور برخلاف کشورهای اروپایی، آمریکای شمالی، آسیای جنوب شرقی از طریق استفاده از روش‌های آبیاری و با احداث سامانه‌های انتقال آب صورت گرفته و می‌گیرد.

نحوه برآورد مصرف آب در بخش کشاورزی بر مبنای بیلان آب

در این پژوهش برای تحلیل بارش، طول دوره آماری پنجاه سال آبی از ۴۳-۱۳۴۲ تا ۹۳-۱۳۹۲ مورد استفاده قرار گرفت. نظر به تغییراحتمالی اقلیم در سال‌های اخیر، محاسبات برای طول دوره هفت سال اخیر از ۸۷-۱۳۸۶ تا ۹۳-۱۳۹۲ نیز تکرار شد. برای برآورد مصرف آب در بخش کشاورزی بر مبنای بیلان آب در چرخه هیدرولوژی در کشور، مراحل و مقادیر ذیل بر مبنای دستورالعمل طرح جامع آب کشور (بررسی‌های شرکت مهندسین مشاور جاماب)، اعمال شد.

الف) حجم بارش در گستره دشت‌ها و ارتفاعات به ترتیب ۳۰ و ۷۰ درصد حجم کل بارش در سطح کشور در نظر گرفته شد.

ب) حجم آب تبخیر شده از گستره دشت‌ها و ارتفاعات به ترتیب ۸۶ و ۶۲/۵ درصد حجم کل بارش در گستره دشت‌ها و ارتفاعات کشور در نظر گرفته شد.

ج) حجم جریان‌های سطحی در دشت‌ها و ارتفاعات به ترتیب برابر ۶/۵ و ۲۹ درصد بارش‌های جوی بر این دو پهنه بود.

د) حجم آب نفوذ یافته در سطح کشور شامل سه مولفه نفوذ از بارش در دشت‌ها، نفوذ از بارش در ارتفاعات و نفوذ از جریان‌های سطحی در سطح کشور است.

حجم آب نفوذ یافته در دشت‌ها و ارتفاعات به ترتیب برابر ۷/۵ و ۸/۵ درصد بارش‌های جوی بر این دو پهنه و حدود ۱۲/۸ درصد حجم جریان‌های سطحی به عنوان نفوذ از جریان‌های سطحی در سطح کشور در نظر گرفته شد.

ه) حجم آب تجدیدپذیر کشور از مجموع تغذیه آب‌های زیرزمینی و جریان‌های سطحی منهای حجم

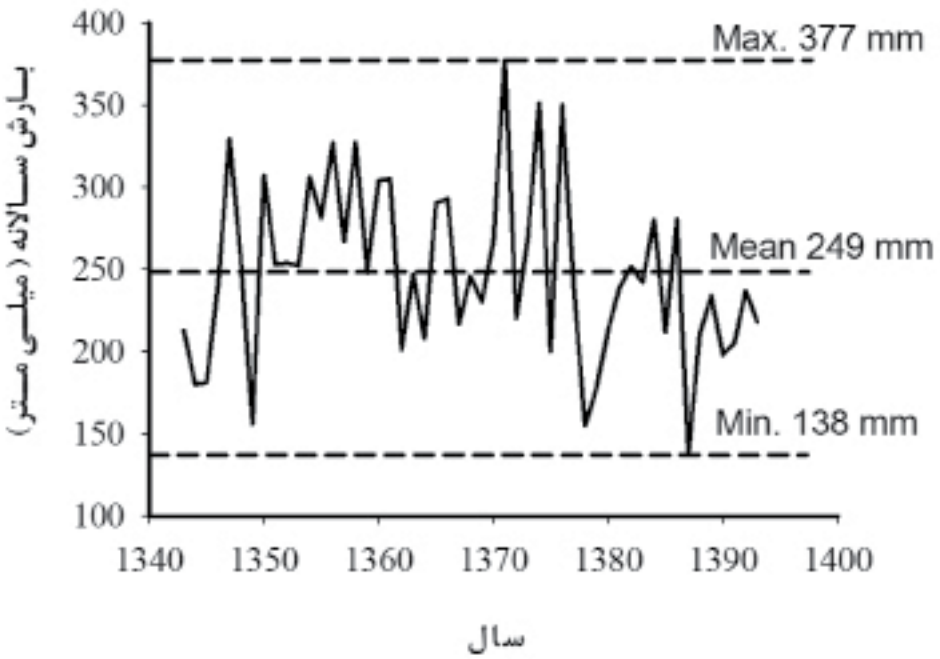
آب نفوذیافته از جریان‌های سطحی به‌دست آمد.

و) حجم آب مصرفی در بخش کشاورزی شامل حجم مصرف آب از منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی برای تولید محصولات زراعی و باغی به صورت فاریاب و دیم، جنگل و مرتع،گیاهان دارویی، گلخانه‌ها، دام، طیور و آبزیان (غیر از ماهیان گرمابی) در کشور است.

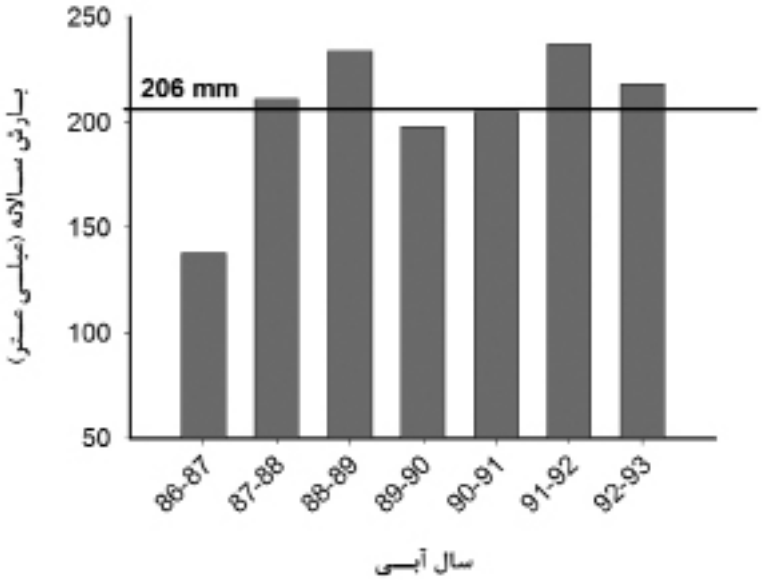
۲-۳- ارائه دستاورد

تحلیل تغییرات بارش در سطح کشور

تغییرات بارش پنجاه ساله از سال آبی ۴۳-۱۳۴۲ تا ۹۳-۱۳۹۲ در شکل ۲ ارائه شده است. حداقل و حداکثر مقدار بارش در طول این دوره به ترتیب برابر ۱۳۸ و ۳۷۷ میلی‌متر در سال بود. میانگین بارش برابر ۵۳±۲۴۹ میلی‌متر در سال بود. نتایج نشان داد در طول دوره پنجاه سال اخیر، اقلیم کشور در شش سال آبی ۴۴-۱۳۴۳، ۴۵-۱۳۴۴،۴۹-۱۳۴۸، ۷۸-۱۳۷۷، ۷۹-۱۳۷۸ و ۸۷-۱۳۸۶ شرایط کمبود بارش با مقادیر ۱۸۰، ۱۸۱، ۱۵۶، ۱۵۵، ۱۷۸ و ۱۳۸ میلی‌متر در سال را تجربه کرده است.

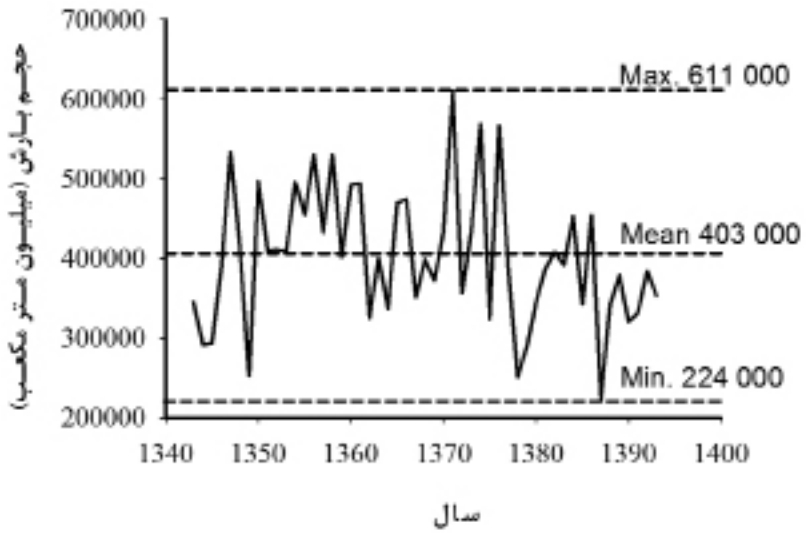


نظر به تغییرات فعلی الگوی بارش نسبت به گذشته، وقوع بارش‌های کوتاه‌مدت و کاهش مقدار و تعداد بارش‌های موثر در کشور و وجود تغییرات احتمالی اقلیم در سطح کشور، در این پژوهش، تغییرات بارش برای دوره کوتاه هفت سال اخیر نیز تحلیل شد. تغییرات بارش از سال آبی ۸۷-۱۳۸۶ تا ۹۳-۱۳۹۲ در شکل ۲-۳ ارائه شده است. حداقل و حداکثر مقدار بارش در طول این دوره به ترتیب برابر ۱۳۸ و ۲۳۷ میلی‌متر در سال بود. میانگین بارش برابر ۳۳±۲۰۶ میلی‌متر در سال به دست آمد.



شکل۲-۳- تغییرات ارتفاع بارش در دوره کوتاه‌مدت (هفت ساله) سطح کشور

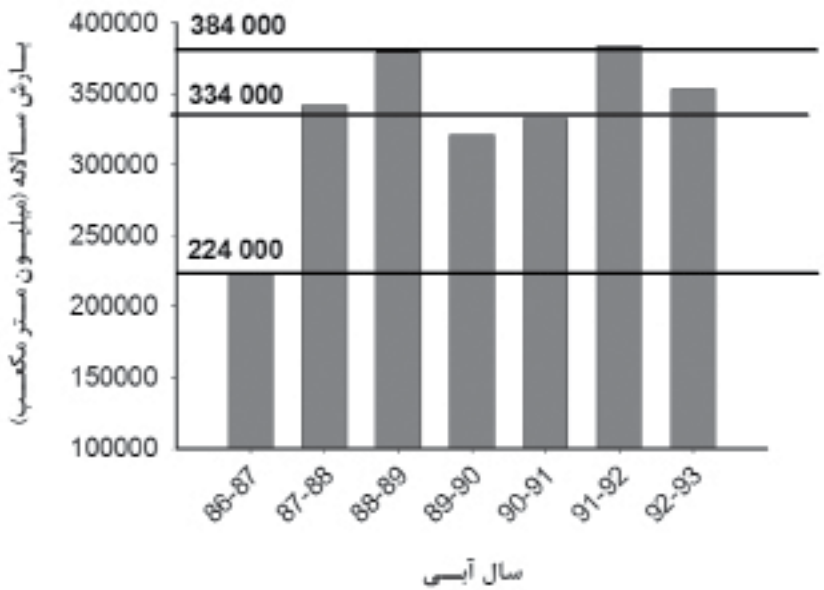
متناسب با ارتفاع بارش‌های جوی، حجم بارش در گستره دشت‌ها و ارتفاعات کشور- که برمبنای آمار پنجاه ساله بارش و از حاصل‌ضرب ارتفاع بارش در مساحت اراضی کشور (۱۶۲۰۱۶۹ کیلومترمربع) به دست آمد - در شکل ۲-۴ نشان داده شده است. حداقل و حداکثر حجم بارش در پهنه دشت‌ها و ارتفاعات کشوردر طول دوره آماری پنجاه ساله به ترتیب برابر ۲۲۴ و ۶۱۱ میلیارد مترمکعب و میانگین آن ۸۶±۴۰۳ میلیارد مترمکعب بود (شکل ۴). نتایج نشان داد میانگین حجم بارش با مقادیر گزارش شده کوچک‌پور (۱۳۵۹)، عطرچین (۱۳۵۹)، ایقانیان (۱۳۶۰)، وزارت نیرو (۱۳۶۰)، موحددانش (۱۳۷۳) و محمد ولی سامانی (۱۳۸۴) سازگار بوده، ولی با حجم گزارش شده توسط مهندسین مشاور ماوراء بحار (۱۳۲۸)، کمیته ملی آبیاری و زهکشی (۱۳۵۱)، گنجی (۱۳۵۳)، (Bureau of Water Planning and Development and Resources Corporation ۱۳۵۷)، قدرت‌نما (۱۳۷۷) و کشاورز و صادق‌زاده (۱۳۷۸) متفاوت بود.



شکل۲-٤- تغییرات حجم بارش در دوره پنجاه ساله در سطح کشور

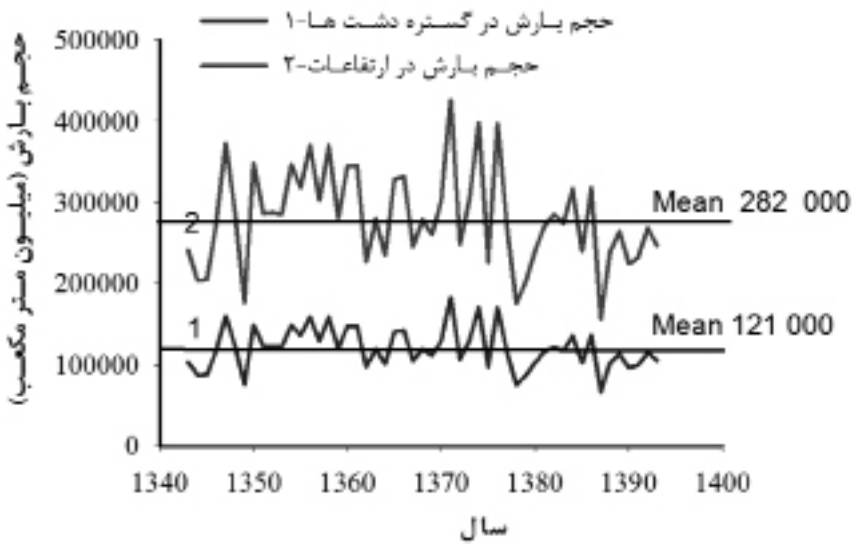
برای دوره آماری هفت ساله، متناسب با ارتفاع بارش‌های جوی، حجم بارش در سطح کشور در

شکل ۲-۵ نشان داده شده است. حداقل و حداکثر حجم بارش در پهنه دشت‌ها و ارتفاعات کشور در طول دوره آماری یاد شده به ترتیب برابر ۲۲۴ و ۳۸۴ میلیارد مترمکعب و میانگین آن ۵۴±۳۳۴ میلیارد مترمکعب بود (شکل ۵). نتایج نشان داد میانگین حجم بارش با حجم بارش گزارش شده وزارت نیرو (۱۳۵۵ و ۱۳۵۶) و قطبی (۱۳۶۰) سازگار بوده ولی با حجم گزارش شده توسط مهندسین مشاور ماوراء بحار (۱۳۲۸)، کمیته ملی آبیاری و زهکشی (۱۳۵۱)، گنجی (۱۳۵۳)، Bureau of Water Planning and Development and Resources Corporation (۱۳۵۷)، کوچک‌پور (۱۳۵۹)، عطرچین (۱۳۵۹)، ایقانیان (۱۳۶۰)، وزارت نیرو (۱۳۶۰)، موحددانش (۱۳۷۳) ، قدرتنما (۱۳۷۷)، کشاورز و صادق زاده (۱۳۷۸)، محمد ولی سامانی (۱۳۸۴) متفاوت بود. منشاء تفاوت حجم بارش در سال‌های مختلف بررسی، به متغیر بودن سالانه ارتفاع بارش در سطح کشور مربوط بود. نتایج نشان داد میانگین حجم بارش در دوره کوتاه مدت اخیر (۵۴±۳۳۴ میلیارد مترمکعب) نسبت به دوره پنجاه ساله (۸۶±۴۰۳ میلیارد مترمکعب) کاهش یافته است.

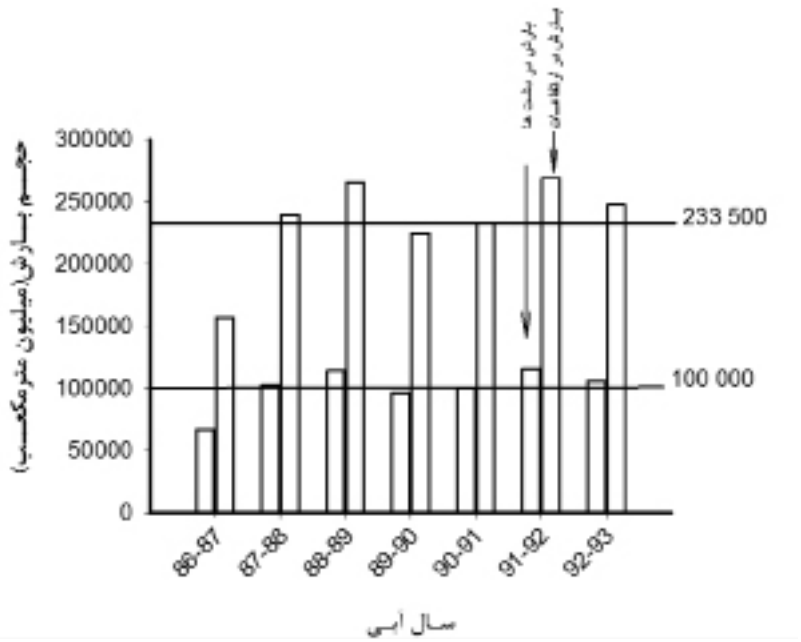


برابر دستورالعمل طرح جامع آب کشور، حجم بارش در گستره دشت‌ها و ارتفاعات به ترتیب ۳۰ و ۷۰ درصد حجم کل بارش در سطح کشور لحاظ شد. نتایج محاسبات در این دو محیط در شکل ۲-۶ ارائه شده است. برای دوره پنجاه ساله، بیشترین حجم بارش در گستره دشت‌ها و ارتفاعات به ترتیب ۱۸۳ و ۴۲۸ میلیارد مترمکعب و کمترین حجم در دشت‌ها و ارتفاعات به ترتیب برابر ۶۷ و ۱۵۷ میلیارد مترمکعب بود. میانگین حجم بارش در گستره دشت‌ها و ارتفاعات به ترتیب برابر ۲۶±۱۲۱ و ۶۰±۲۸۲ میلیارد مترمکعب به‌دست آمد.

نتایج برآورد حجم بارش در گستره دشت‌ها و ارتفاعات در سطح کشور برای دوره کوتاه مدت در شکل ۲-۷ ارائه شده است. بیشترین حجم بارش در گستره دشت‌ها و ارتفاعات به ترتیب ۱۱۵ و ۲۶۹ میلیارد مترمکعب و کمترین حجم در دشت‌ها و ارتفاعات به ترتیب برابر ۶۷ و ۱۵۷ میلیارد مترمکعب بود. میانگین حجم بارش در گستره دشت‌ها و ارتفاعات به ترتیب برابر ۱۶±۱۰۰ و ۳۸±۲۳۳/۵ میلیارد مترمکعب به‌دست آمد.



شکل ۲-٦ - حجم بارش در گستره دشت‌ها و ارتفاعات برای دوره پنجاه ساله کشور



شکل ۲-۷ - حجم بارش در گستره دشت‌ها و ارتفاعات برای دوره هفت ساله کشور

مقایسه تغییرات بارش در دوره‌های بلند مدت و کوتاه مدت

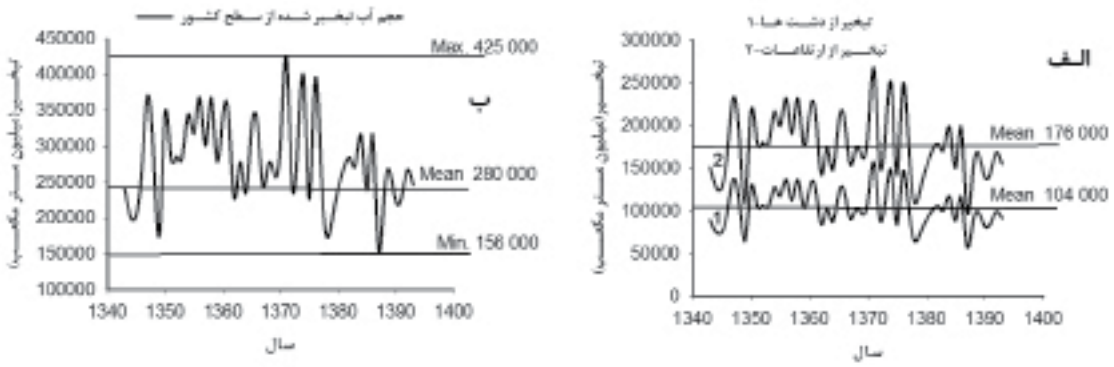
تجزیه واریانس بارش در دوره‌های بلند مدت و کوتاه مدت در جدول ۲-۳ ارائه شده است. نتایج نشان داد تفاوت مقادیر بارش در دوره‌های پنجاه ساله و هفت ساله در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود. مقایسه میانگین مقادیر بارش نشان داد میانگین پنجاه ساله و هفت ساله این متغیر به ترتیب برابر ۵۳±۲۴۹ و ۳۳±۲۰۶ میلی‌متر در سال بود. بدیهی است علیرغم تغییرات مقادیر سالانه بارش، میانگین کوتاه مدت بارش بیش از ۱۷ درصد کمتر از میانگین درازمدت بارش بود.

جدول ۲-۳- تجزیه واریانس بارش در دوره‌های بلند مدت و کوتاه مدت در سطح کشور

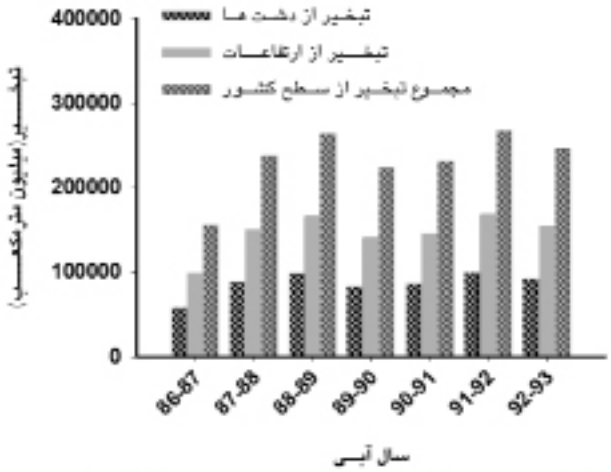
منبع تغییرات	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	Fنسبت	Pمقدار
بین دوره‌های بلند مدت و کوتاه مدت	۱۱۳۱۱	۱	۱۱۳۱۱	۴/۳	۰/۰۴
درون دوره‌های بلند مدت و کوتاه مدت	۱۴۷۱۲۳	۵۶	۲۶۲۷		
کل	۱۵۸۴۳۴	۵۷			

تحلیل تغییرات حجم آب تبخیر شده از سطح کشور

حجم آب تبخیر شده از گستره دشت‌ها و ارتفاعات برابر دستورالعمل طرح جامع آب کشور، به ترتیب ۸۶ و ۶۲/۵ درصد حجم کل بارش در گستره دشت‌ها و ارتفاعات کشور لحاظ شد (شکل ۲-۸). برای دوره پنجاه ساله، بیشترین حجم آب تبخیر شده در گستره دشت‌ها و ارتفاعات به ترتیب ۱۵۸ و ۲۶۷ میلیارد مترمکعب و کمترین حجم در دشت‌ها و ارتفاعات به ترتیب برابر ۵۸ و ۹۹ میلیارد مترمکعب بود. میانگین حجم آب تبخیر شده در دو محیط دشت‌ها و ارتفاعات به ترتیب برابر ۲۲±۱۰۴ و ۳۸±۱۷۶ میلیارد مترمکعب حاصل شد. حجم آب تبخیر شده از سطح کشور از مجموع آب تبخیر شده از دو محیط دشت‌ها و ارتفاعات حاصل شد (شکل ۲-۸). حداکثر، میانگین و حداقل حجم آب تبخیر شده از سطح کشور به ترتیب برابر ۴۲۵، ۶۰±۲۸۰ و ۱۵۶ میلیارد مترمکعب بود. در دوره کوتاه مدت، بیشترین حجم آب تبخیر شده در گستره دشت‌ها و ارتفاعات به ترتیب ۹۹ و ۱۶۸ میلیارد مترمکعب و کمترین حجم در دشت‌ها و ارتفاعات به ترتیب برابر ۵۸ و ۹۹ میلیارد مترمکعب بود. میانگین حجم آب تبخیر شده در دو محیط دشت‌ها و ارتفاعات به ترتیب برابر ۱۴±۸۶ و ۲۳±۱۴۶ میلیارد مترمکعب حاصل شد. حجم آب تبخیر شده از سطح کشور از مجموع آب تبخیر شده از دو محیط دشت‌ها و ارتفاعات حاصل شد (شکل۲-۹). حداکثر، میانگین و حداقل حجم آب تبخیر شده از سطح کشور به ترتیب برابر ۲۶۷، ۳۷±۲۳۲ و ۱۵۶ میلیارد مترمکعب بود.



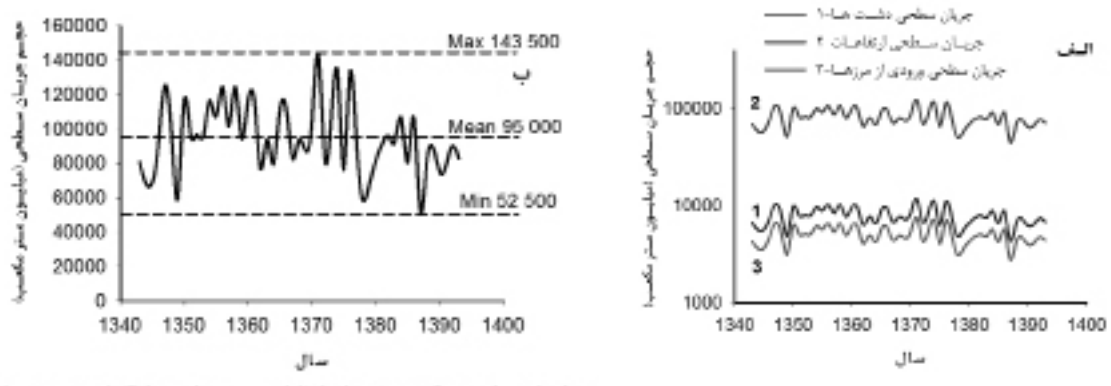
شکل ۲-۸ - حجم آب تبخیر شده از گستره دشت‌ها و ارتفاعات (الف) و در سطح کشور (ب) برای دوره پنجاه ساله



شکل ۲-۹ -حجم آب تبخیر شده از گستره دشت‌ها و ارتفاعات کشور

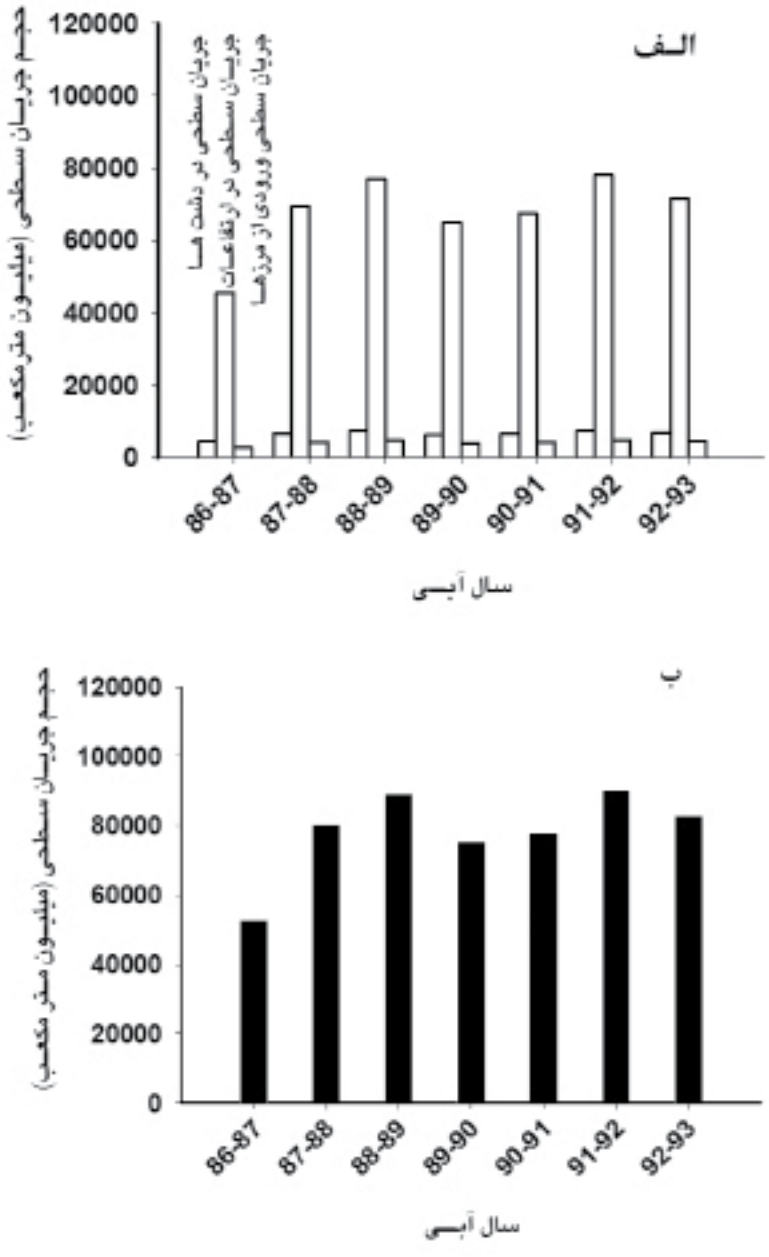
تحلیل تغییرات حجم جریان‌های سطحی در سطح کشور

برابر دستورالعمل طرح جامع آب کشور، حجم جریان‌های سطحی در دشت‌ها و ارتفاعات به ترتیب برابر ۶/۵ و ۲۹ درصد بارش‌های جوی بر این دو پهنه بود (شکل ۲-۱۰). حدود ۱/۲۵ درصد حجم بارش سالانه به عنوان حجم جریان سطحی ورودی از مرزهای کشور لحاظ شد (شکل۲-۱۰). حجم جریان سطحی در سطح کشور از مجموع حجم جریان‌های سطحی در دشت‌ها، ارتفاعات و ورودی از مرزهای کشور به‌دست آمد. برای دوره پنجاه ساله، بیشترین حجم جریان‌های سطحی در گستره دشت‌ها و ارتفاعات به ترتیب ۱۲ و ۱۲۴ میلیارد مترمکعب و کمترین حجم در دشت‌ها و ارتفاعات به ترتیب برابر ۴/۴ و ۴۵ میلیارد مترمکعب بود. میانگین حجم جریان‌های سطحی در دو محیط دشت‌ها و ارتفاعات به ترتیب برابر ۱/۷±۸ و ۱۷±۸۲ میلیارد مترمکعب برآورد شد (شکل۲-۱۰). بیشترین، میانگین و کمترین جریان سطحی ورودی از مرزهای کشور به ترتیب برابر ۷/۶ و ۱±۵ و ۲/۸ میلیارد مترمکعب به دست آمد (شکل۲-۱۰). بیشترین، میانگین و کم‌ترین مجموع جریان سطحی در سطح کشور به ترتیب برابر ۱۴۳/۵، ۲۰±۹۵ و ۵۲/۵ میلیارد مترمکعب برآورد شد (شکل۲-۱۰).



شکل۲-۱۰- حجم جریان‌های سطحی در گستره دشت‌ها و ارتفاعات و ورودی از مرزها (الف) و مجموع جریان‌های سطحی در کشور (ب) برای دوره پنجاله ساله

در دوره کوتاه مدت، بیشترین حجم جریان‌های سطحی در گستره دشت‌ها و ارتفاعات به ترتیب ۷/۵ و ۷۸ میلیارد مترمکعب و کمترین حجم در دشت‌ها و ارتفاعات به ترتیب برابر ۴ و ۴۵ میلیارد مترمکعب بود. میانگین حجم جریان‌های سطحی در دو محیط دشت‌ها و ارتفاعات به ترتیب برابر ۱±۶/۵ و ۱۱±۶۸ میلیارد مترمکعب برآورد شد (شکل۲-۱۱). بیشترین، میانگین و کمترین جریان سطحی ورودی از مرزهای کشور به ترتیب برابر ۴/۸ و ۰/۷±۴/۲ و ۲/۸ میلیارد مترمکعب به‌دست آمد (شکل۲-۱۱). بیشترین، میانگین و کمترین مجموع جریان سطحی در سطح کشور به ترتیب برابر ۹۰، ۱۳±۷۸ و ۵۲/۵ میلیارد مترمکعب برآورد شد (شکل۲-۱۱).



شکل ۲-۱۱- حجم جریان‌های سطحی در گستره دشت‌ها و ارتفاعات و ورودی از مرزها (الف) و مجموع جریان‌های سطحی در کشور(ب) برای دوره هفت ساله

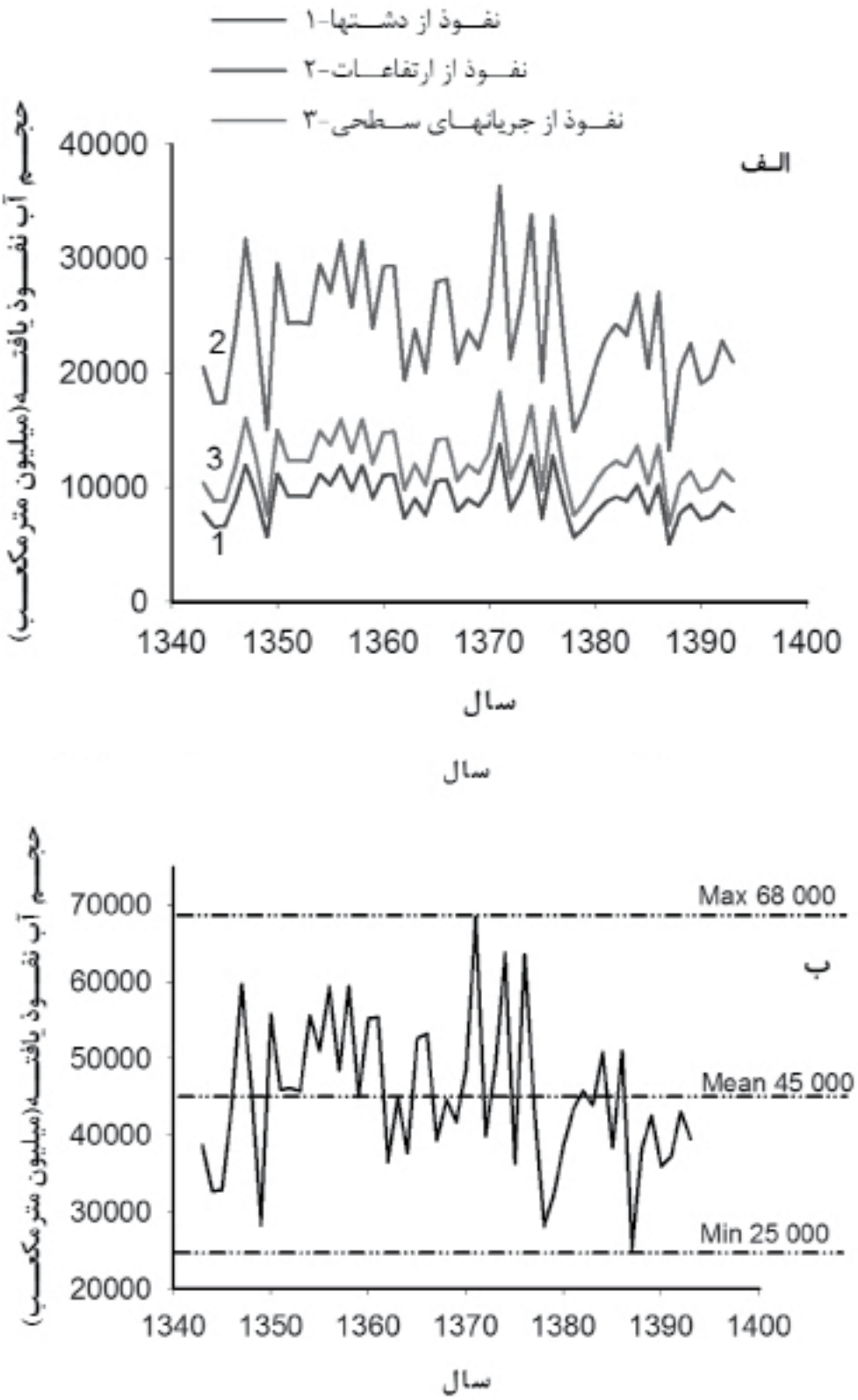
تحلیل تغییرات حجم آب نفوذ یافته در سطح کشور

حجم آب نفوذ یافته در سطح کشور شامل سه مولفه نفوذ از بارش در دشت‌ها، نفوذ از بارش در ارتفاعات و نفوذ از جریان‌های سطحی در سطح کشور است. حجم آب نفوذ یافته در دشت‌ها و ارتفاعات برابر دستورالعمل طرح جامع آب کشور، به ترتیب برابر ۷/۵ و ۸/۵ درصد بارش‌های جوی بر این دو پهنه و حدود ۱۲/۸ درصد حجم جریان‌های سطحی به عنوان نفوذ از جریان‌های سطحی در سطح کشور لحاظ شد (شکل ۲-۱۲). حجم آب نفوذ یافته در سطح کشور از مجموع حجم آب نفوذ یافته در دشت‌ها و ارتفاعات و نفوذ از جریان‌های سطحی در سطح کشور به دست آمد (شکل ۲-۱۲). برای دوره پنجاه ساله، بیشترین حجم آب نفوذ یافته در گستره دشت‌ها و ارتفاعات و نفوذ از جریان‌های سطحی به ترتیب برابر ۱۴، ۳۶ و ۱۸ میلیارد مترمکعب و کمترین حجم در دشت‌ها و ارتفاعات و نفوذ از جریان‌های سطحی به ترتیب برابر ۵ ، ۱۳ و ۷ میلیارد مترمکعب بود. میانگین حجم آب نفوذ یافته در سه محیط دشت‌ها و ارتفاعات و بستر جریان‌های سطحی به ترتیب برابر ۲±۹ ، ۵±۲۴ و ۳±۱۲ میلیارد مترمکعب برآورد شد (شکل ۲-۱۲). بیش‌ترین، میانگین و کم‌ترین حجم آب نفوذ یافته در سطح کشور به ترتیب برابر ۶۸ و ۱۰±۴۵ و ۲۵ میلیارد مترمکعب به دست آمد (شکل ۲-۱۲).

در دوره کوتاه مدت، بیش‌ترین حجم حجم آب نفوذ یافته در گستره دشت‌ها و ارتفاعات و نفوذ از جریان‌های سطحی به ترتیب برابر ۸/۶، ۲۳ و ۱۲ میلیارد مترمکعب و کمترین حجم در دشت‌ها و ارتفاعات و نفوذ از جریان‌های سطحی به ترتیب برابر ۵، ۱۳ و ۷ میلیارد مترمکعب بود. میانگین حجم آب نفوذ یافته در سه محیط دشت‌ها و ارتفاعات و بستر جریان‌های سطحی به ترتیب برابر ۱/۲±۷/۵ ، ۳/۲±۱۹/۸ و ۱/۶±۱۰ میلیارد مترمکعب برآورد شد (شکل ۲-۱۳). بیش‌ترین، میانگین و کم‌ترین حجم آب نفوذ یافته در سطح کشور به ترتیب برابر ۴۳ و ۶±۳۷/۴ و ۲۵ میلیارد مترمکعب به دست آمد (شکل ۲-۱۳).

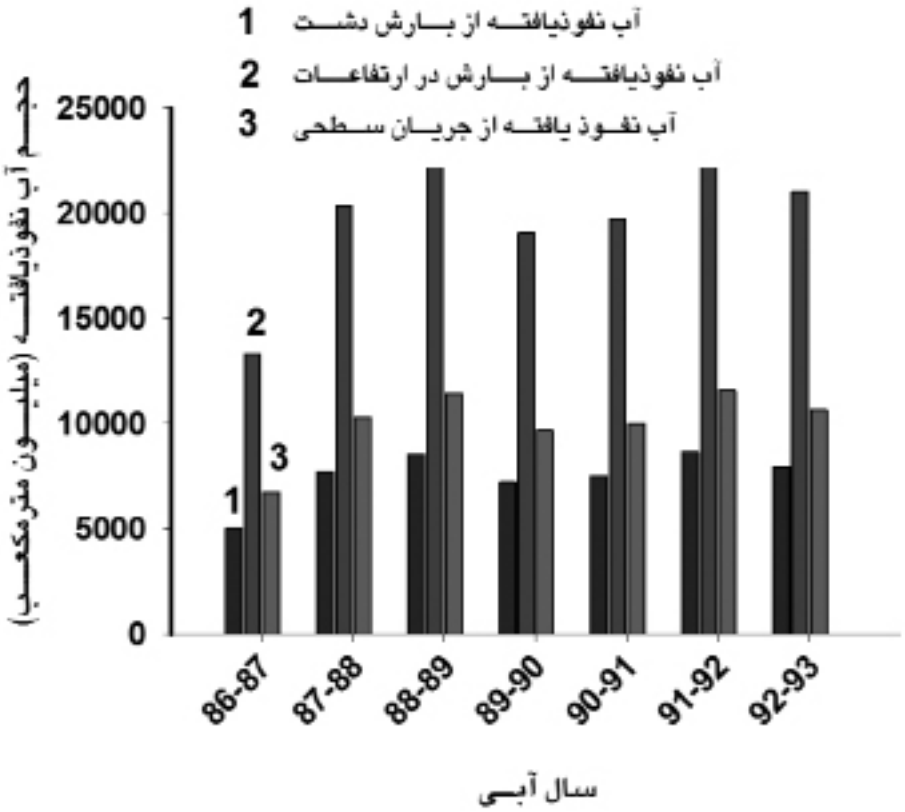
مقایسه حجم تغذیه و تخلیه آب زیرزمینی در سطح کشور

حجم تغذیه سفره‌های زیرزمینی در واقع برابر حجم آب نفوذ یافته از بسترها و پهنه‌های مختلف در سطح کشور است. برای دوره پنجاه ساله، بیشترین، میانگین و کمترین حجم تغذیه سفره‌های زیرزمینی به ترتیب برابر ۶۸ و ۱۰±۴۵ و ۲۵ میلیارد مترمکعب به دست آمد (شکل ۱۴). بیشترین، میانگین و کمترین حجم تخلیه سفره‌های زیرزمینی به ترتیب برابر ۵۷ و ۱۷±۳۵ و ۱۰ میلیارد مترمکعب به دست آمد (شکل ۲-۱۴).

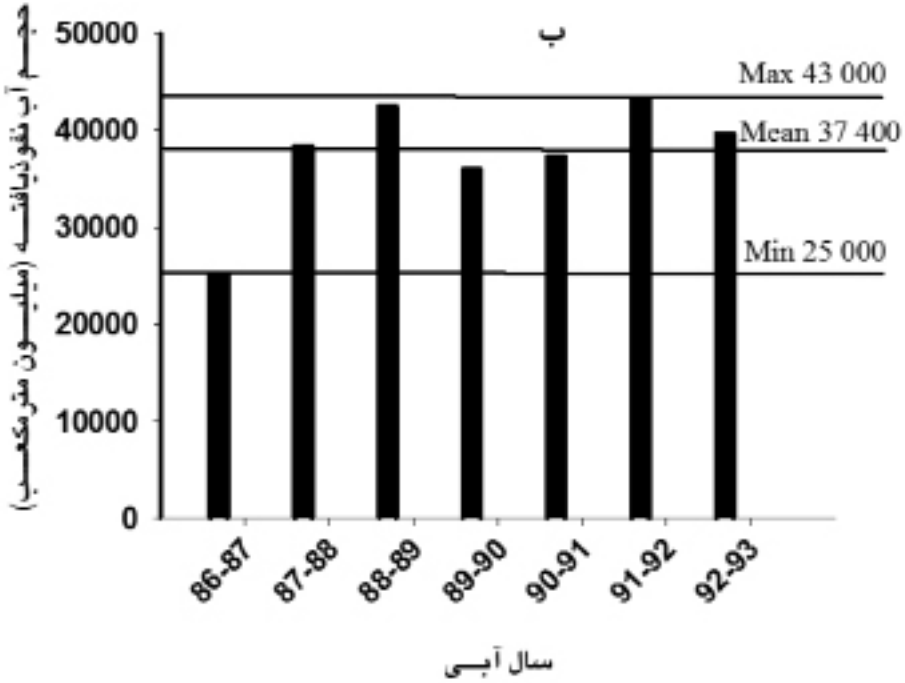


شکل ۲-۱۲ - مولفه‌های نفوذ از بارش در دشت‌ها، ارتفاعات و جریان های سطحی(الف) و مجموع حجم آب نفوذ یافته در سطح کشور (ب) برای دوره پنجاله ساله

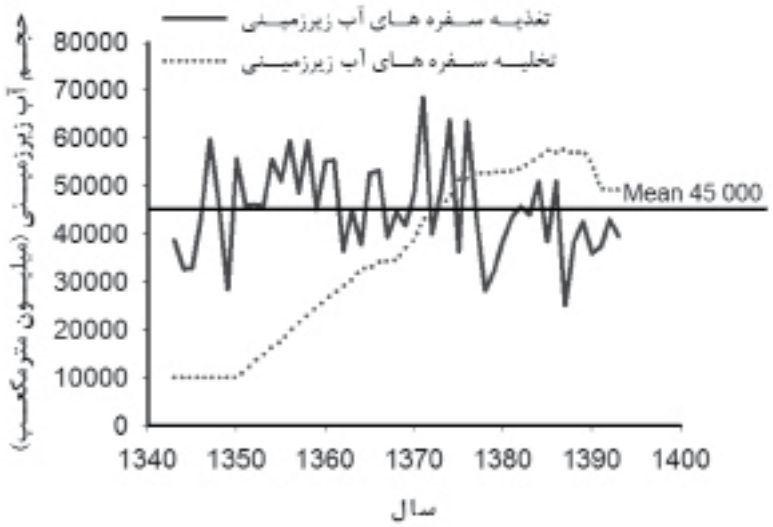
الف



ب

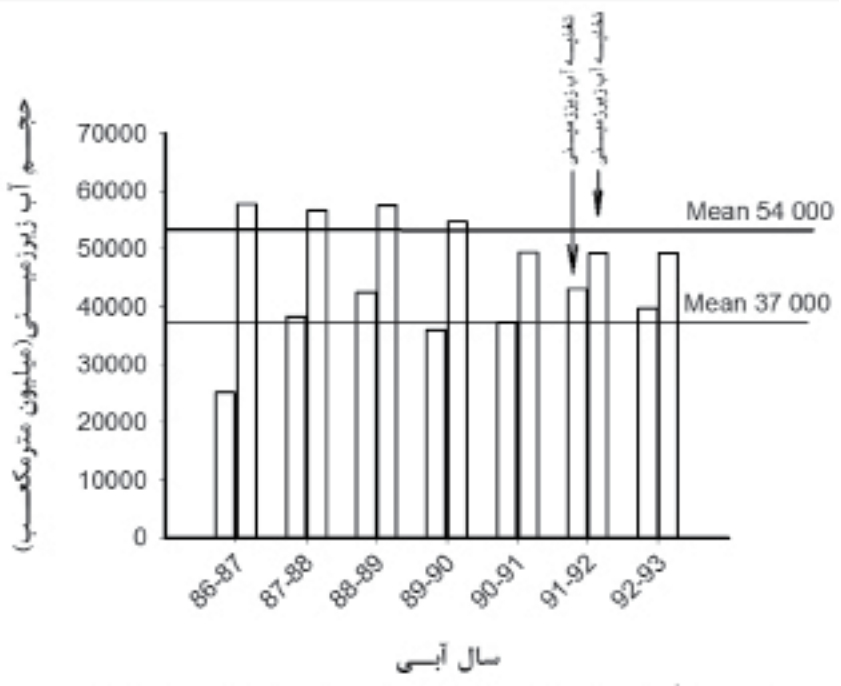


شکل ۲-۱۳- مولفه‌های نفوذ از بارش در دشت‌ها، ارتفاعات و جریان های سطحی(الف) و مجموع حجم آب نفوذ یافته در سطح کشور (ب) برای دوره هفت ساله



شکل۲-۱٤- حجم تغذیه و تخلیه آب زیرزمینی برای دوره پنجاله ساله در سطح کشور

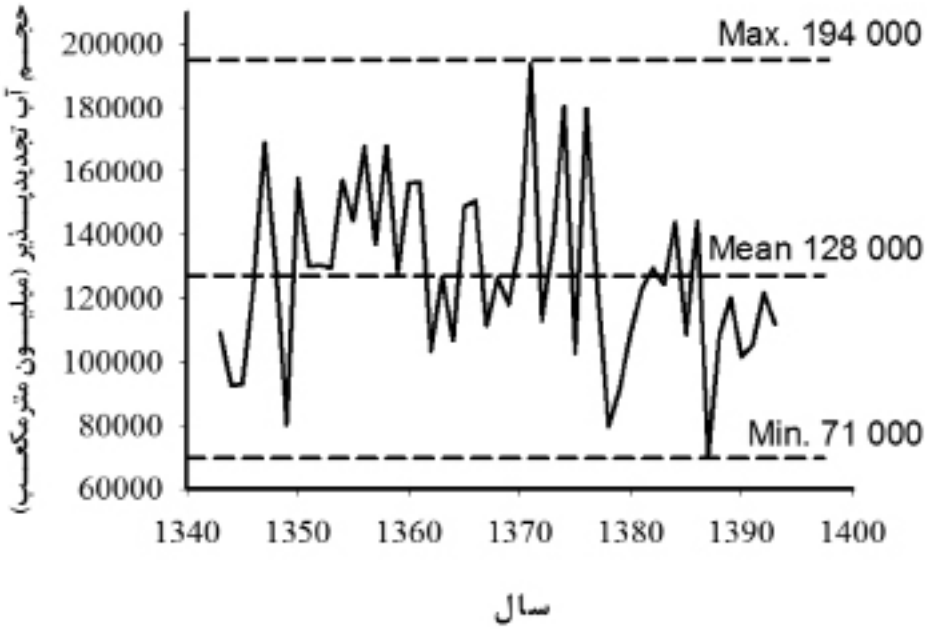
در دوره هفت ساله، بیشترین، میانگین و کمترین حجم تغذیه سفره‌های زیرزمینی به‌ترتیب برابر ۴۳ و ۳۷±۶ و ۲۵ میلیارد مترمکعب به دست آمد (شکل۲-۱۵). بیشترین، میانگین و کمترین حجم تخلیه سفره‌های زیرزمینی به‌ترتیب برابر ۵۸ و ۵۴±۴ و ۴۹ میلیارد مترمکعب به دست آمد (شکل۲- ۱۵). نتایج نشان داد در سال آبی ۹۳-۱۳۹۲ میزان تغذیه و تخلیه از سفره های زیرزمینی به‌ترتیب برابر ۳۹/۶و ۴۹/۳ میلیارد مترمکعب بود. به عبارت دیگر حدود ۱۰ میلیارد مترمکعب از منابع آب زیرزمینی برای مصرف در بخش کشاورزی اضافه برداشت صورت گرفته است. بیلان آب زیرزمینی در هفت سال گذشته حدود ۱۱۳ میلیارد مترمکعب منفی بوده است. بنابراین لازم است برنامه‌ریزی مناسب برای تثبیت بیلان آب و یا جبران کسری مخازن آب زیرزمینی با راهکارهای مناسب کارشناسی و مهندسی صورت گیرد.



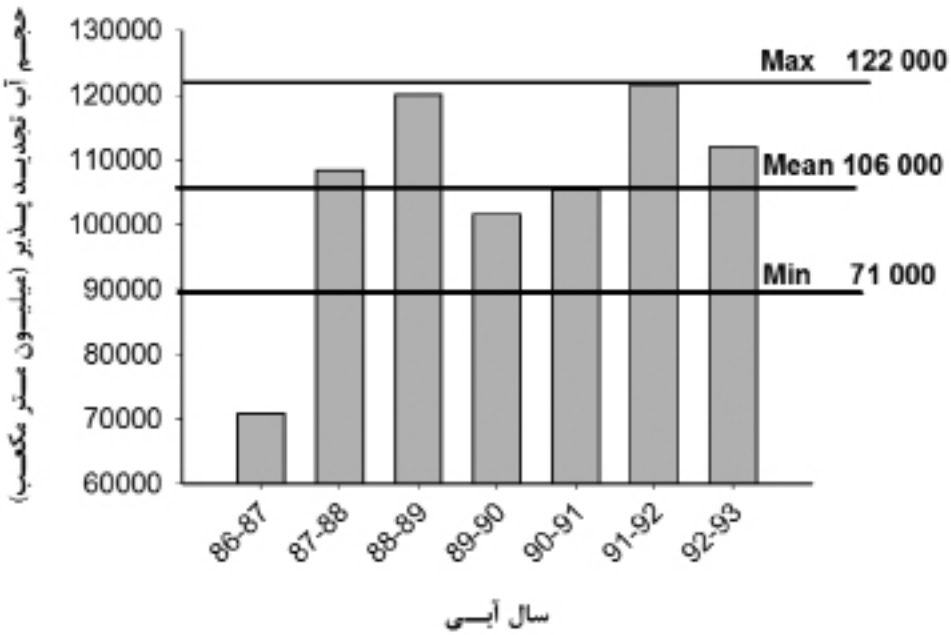
شکل ۲-۱۵- حجم تغذیه و تخلیه آب زیرزمینی برای دوره هفت ساله در سطح کشور

تحلیل تغییرات حجم آب تجدیدپذیر در سطح کشور

حجم آب تجدیدپذیر کشور از مجموع تغذیه آب‌های زیرزمینی و جریان‌های سطحی منهای حجم آب نفوذیافته از جریان‌های سطحی به‌دست آمد (شکل ۲-۱۶). برای دوره پنجاله ساله، بیش‌ترین، میانگین و کم‌ترین مقدارآن به ترتیب برابر ۱۹۴، ۱۲۸±۲۷ و ۷۱ میلیاردمترمکعب به دست آمد. برای دوره هفت‌ساله، بیش‌ترین، میانگین و کم‌ترین مقدارآن به ترتیب برابر ۱۲۲، ۱۰۶±۱۷ و ۷۱ میلیارد مترمکعب به دست آمد (شکل ۲-۱۷).



شکل ۲-۱۶- حجم آب تجدیدپذیر برای دوره پنجاله ساله در سطح کشور



شکل۲-۱۷- حجم آب تجدیدپذیر در سطح کشور برای دوره هفت ساله

تحلیل حجم آب مورد نیاز محیطزیست و ماهیان گرمابی در سطح کشور

بر اساس پیشنهاد قدرت نما (۱۳۷۷)، ده درصد کل جریان‌های سطحی به عنوان میانگین نیاز آبی محیطزیست و یک درصد کل مصرف آب در کشور برای مصرف در توسعه پرورش ماهیان گرمابی لحاظ شد.

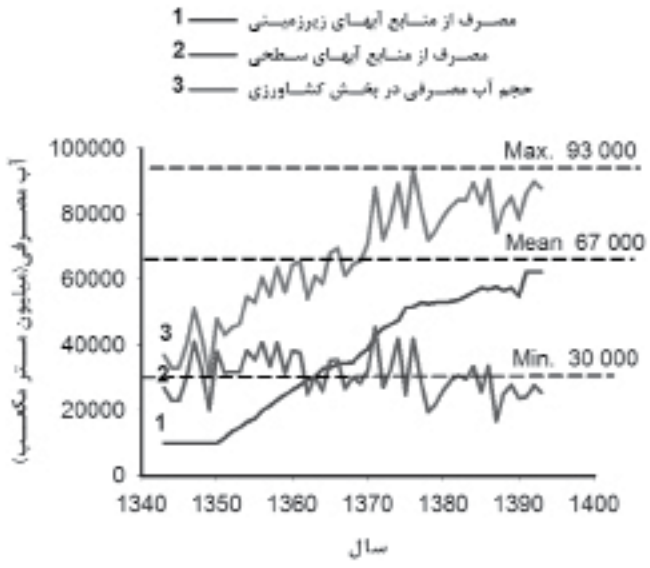
تحلیل حجم آب مصرفی در بخش کشاورزی در سطح کشور

حجم آب مصرفی در بخش کشاورزی شامل حجم مصرف آب از منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی برای تولید محصولات زراعی و باغی به صورت فاریاب و دیم، جنگل و مرتع،گیاهان دارویی، گلخانه‌ها، دام، طیور و آبزیان (غیر از ماهیان گرمابی) در کشور است.

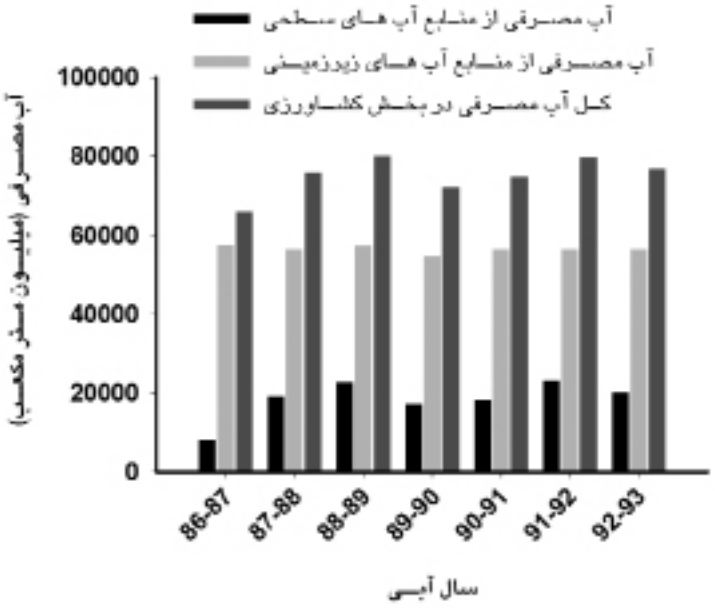
برای دوره پنجاه ساله، بیشترین حجم مصرف آب برابر ۹۳ میلیارد مترمکعب که سهم مصرف آب از منابع سطحی و زیرزمینی به‌ترتیب ۴۱ و ۵۲ میلیارد مترمکعب بود (شکل ۱۸). کمترین حجم مصرف آب برابر ۳۰ میلیارد مترمکعب که سهم مصرف آب از منابع سطحی و زیرزمینی به‌ترتیب ۲۰ و ۱۰ میلیارد مترمکعب برآورد شد (شکل ۲-۱۸). میانگین حجم مصرف آب در بخش کشاورزی برابر ۱۸±۶۷ میلیارد مترمکعب بود (شکل۲-۱۸).

برای دوره هفت ساله، بیشترین حجم مصرف آب برابر ۸۰ میلیارد مترمکعب که سهم مصرف آب از منابع سطحی و زیرزمینی به ترتیب ۲۲/۶ و ۵۷/۴ میلیارد مترمکعب بود(شکل۲-۱۹). کمترین حجم مصرف آب برابر ۶۶ میلیارد مترمکعب که سهم مصرف آب از منابع سطحی و زیرزمینی به ترتیب ۸/۳ و ۵۷/۷ میلیارد مترمکعب برآورد شد (شکل۲-۱۹). میانگین حجم مصرف آب در بخش کشاورزی برابر ۷۵±۵ میلیارد مترمکعب که سهم مصرف آب از منابع سطحی و زیرزمینی به ترتیب ۱۸/۵±۵ و ۵۷±۰/۹ میلیارد مترمکعب بود (شکل۲- ۱۹).

نتایج نشان داد سهم مصرف آب کشاورزی از ۲۳ تا ۸۰ درصد از منابع آب‌های سطحی و از ۲۰ تا ۷۷ درصد از منابع آب‌های زیرزمینی متغیر بود. در طول دوره آماری پنجاه ساله، سهم مصرف آب کشاورزی به طور میانگین ۱۷±۴۹ و ۱۷ ±۵۱ درصد متعلق به منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی بود. در طول دوره آماری هفت ساله، سهم مصرف آب کشاورزی به‌طور میانگین ۶±۲۴/۳ و ۶±۷۶ درصد متعلق به منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی بود. در سال آبی۹۳-۱۳۹۲ سهم منابع آب سطحی و زیرزمینی از کل مصرف آب در بخش کشاورزی (۸۸ میلیارد مترمکعب) به‌ترتیب برابر ۲۹ و ۷۱ درصد بود.



شکل ۲-۱۸- مولفه‌های اب مصرفی برای دوره پنجاله ساله در بخش کشاورزی



مقایسه تغییرات مصرف آب در بخش کشاورزی در دوره‌های بلند مدت و کوتاه مدت

تجزیه واریانس مصرف آب در بخش کشاورزی در دوره‌های بلند مدت و کوتاه مدت در جدول ۲-۴ ارائه شده است. نتایج نشان داد تفاوت حجم مصرف آب در بخش کشاورزی در دوره‌های پنجاه ساله و هفت ساله در سطح احتمال کمتر از دو درصد معنی‌دار بود. مقایسه میانگین حجم مصرف آب در بخش کشاورزی نشان داد میانگین پنجاه ساله و هفت ساله این متغیر به ترتیب برابر ۱۸±۶۷ و ۵±۷۵ میلیارد مترمکعب در سال بود.

جدول ۲-٤- تجزیه واریانس مصرف آب در بخش کشاورزی در دوره‌های بلندمدت و کوتاه‌مدت در کشور

منبع تغییرات	مجموع مربعات (10^9)	درجه آزادی	میانگین مربعات (10^8)	نسبت F	مقدار P
بین دوره‌های بلند مدت و کوتاه مدت	۱/۷۳	۱	۱۷/۳	۶/۱	۰/۰۲
درون دوره‌های بلند مدت و کوتاه مدت	۱۵/۸	۵۶	۲/۸۲		
کل	۱۷/۵	۵۷			

بررسی ارتباط حجم آب مصرفی در بخش کشاورزی با حجم آب تجدیدپذیر

با استفاده از تحلیل رگرسیون ارتباط بین حجم آب تجدیدپذیر و میزان مصرف آب کشاورزی بر مبنای دوره پنجاه ساله آمار بارش بررسی شد. نتایج نشان داد رابطه بین حجم آب مصرفی در بخش کشاورزی و حجم آب تجدیدپذیر به صورت زیر بود.

$$AWC=0.50\ RW \qquad r=0.95 \qquad (۲)$$

که در آن، AWC حجم مصرف آب در بخش کشاورزی در سطح کشور (میلیارد مترمکعب) و RW حجم آب تجدیدپذیر در سطح کشور (میلیارد مترمکعب) بود. به عنوان مثال به ازای حجم آب تجدیدپذیر

برابـر بـا ۱۰۵ میلیـارد مترمکعـب، حجـم آب مصرفی در بخش کشـاورزی برابر ۵۲/۵ میلیـارد مترمکعب خواهد بـود. در سـال آبـی ۹۳-۱۳۹۲ درصـد مصـرف آب کشـاورزی نسـبت به حجـم آب تجدیدپذیر برابـر ۷۸ درصد بـود. بـه عبـارت دیگـر از ۱۱۲ میلیارد مترمکعـب حجم آب تجدیدپذیـر، حدود ۸۷/۸ میلیـارد مترمکعب آن در بخش کشـاورزی مصرف شـده اسـت.

جدول ۲-۵- حجم مصرف آب در بخش کشاورزی به صورت بخشی از حجم آب تجدیدپذیر

حجم آب تجدیدپذیر (میلیارد مترمکعب)	حجم مصرف آب در بخش کشاورزی (میلیارد مترمکعب)
۱۰۰	۵۰/۰
۱۰۵	۵۲/۵
۱۱۰	۵۵/۰
۱۱۵	۵۷/۵
۱۲۰	۶۰/۰
۱۲۵	۶۲/۵
۱۳۰	۶۵/۰

محدودیت‌های برآورد حجم مصرف آب در بخش کشاورزی

بـه روز نمـودن بـرآورد حجـم مصـرف آب در بخـش کشـاورزی در کشـور و تحلیـل تغییـرات زمانـی آن، برجسـتگی اساسـی ایـن پژوهـش اسـت. بـا این‌همـه، اسـتفاده از روش بیـلان آب برای بـرآورد مصـرف آب در بخـش کشـاورزی دارای محدودیت‌هـا و ساده‌سـازی‌های غیـر قابـل اعتمـاد اسـت کـه در ذیل به برخـی از آنها اشـاره می‌شـود. بنـا بـه نظر اعضـاء کمیته فنی آب موسسـه تحقیقـات فنی و مهندسـی کشـاورزی این گزارش یـک مـدرک مسـتند علمـی اسـت که بـرای اولین بار در سـطح کشـور، مقـدار آب مصرفی در بخش کشـاورزی را بـا روش بیـلان آب در چرخـه هیدرولـوژی کشـور ارزیابـی کـرده و محدودیت‌هـای ایـن روش را ذکـر کـرده اسـت. لازم بـه ذکـر اسـت بخشـی از محدودیت‌های روش بیـلان آب در برآورد آب مصرفی کشـاورزی به شـرح زیر اسـت.

– فرضیاتـی در روش بیـلان آب بـرای بـرآورد تبخیـر، نفـوذ و جریـان سـطحی به‌صورت درصـدی از بارش لحـاظ مـی گـردد کـه نیازمند مهندسـی مجـدد، تجدید نظـر اساسـی و پژوهش میدانی اسـت.

– لازم اسـت مقادیر جریان سـطحی و زیرسـطحی ورودی و خروجی از مرزهای کشـور به دقت اندازه‌گیری شـود و یا با روش‌های مسـتند و معتبر علمی بـرآورد گردند.

– نحوه اندازه‌گیری و مقدار مصرف آب کشاورزی از منابع آب زیرزمینی نیازمند شفافیت بیشتری است.

– اسـتفاده از سـایر رویکردهـای بـرآورد مصـرف آب در بخش کشـاورزی از جمله اسـتفاده از شـاخص‌های کارآیـی مصـرف آب، نیازمنـدی محصـول بـه آب و... می‌توانـد ضمـن تدقیـق حجـم آب مصرفـی در بخـش کشـاورزی، مفیـد بـوده و قابـل مقایسـه بـا نتایـج پژوهـش حاضر باشـد.

– بـرآورد حجـم آب مصرفـی در بخـش کشـاورزی بـا تفکیـک مولفه‌های بیـلان آب در چرخـه هیدرولوژی کشـور برابـر دسـتورالعمل طـرح جامـع آب کشـور صـورت گرفتـه و نتایـج دارای تقریب‌سـازی‌هایی اسـت کـه تدقیـق نتایـج و یافته‌هـا، مسـتلزم آزمایش(هـای) دقیـق بـرای تعییـن مولفه‌هـای بیـلان آب در ۶۳۰ واحـد هیدرولـوژی کشـور اسـت و لازم اسـت مقادیـر برخـی از متغیرهـا به‌صـورت ماهانـه یا سـالانه نیز پایـش گردد.

۲-۴- جمع‌بندی دستاورد

در این پژوهش حجم مصرف آب در بخش کشاورزی در سطح کشور بر مبنای روش بیلان آب در چرخه هیدرولوژی برآورد و تحلیل شد. نظر به تغییرات الگوی فعلی بارش نسبت به گذشته، وقوع بارش‌های کوتاه‌مدت و کاهش مقدار و تعداد بارش‌های موثر در کشور و وجود تغییرات احتمالی اقلیم در سطح کشور، در این پژوهش، علاوه بر تحلیل پنجاه ساله تغییرات بارش در سطح کشور، تغییرات بارش برای دوره کوتاه هفت سال اخیر نیز تحلیل شد.

۱) میانگین پنجاه ساله بارش برابر ۲۴۹±۵۳ میلی‌متر و میانگین هفت ساله بارش برابر ۲۰۶±۳۳ میلی‌متر به‌دست آمد.

۲) میانگین حجم مصرف آب در بخش کشاورزی برای دوره‌های پنجاه و هفت ساله به ترتیب برابر ۶۷±۱۸ و ۷۵±۵ میلیارد مترمکعب به دست آمد.

۳) مقادیر مولفه‌های بیلان آب در چرخه هیدرولوژی کشور بر مبنای دوره‌های آماری بلندمدت (پنجاه ساله) و کوتاه مدت (هفت ساله) در جدول ۲-۶ ارائه شده است.

جدول۲-٦ - مقادیر مولفه‌های بیلان آب در چرخه هیدرولوژی کشور بر مبنای دوره‌های آماری بلندمدت (پنجاه ساله) و کوتاه مدت(هفت ساله)

ردیف	مولفه‌ها	برمبنای دوره آماری پنجاه ساله			برمبنای دوره آماری هفت ساله		
		حداکثر	میلگین	حداقل	حداکثر	میلگین	حداقل
۱	بارش (میلی‌متر)	۳۷۷	۲۴۹±۵۳	۱۳۸	۲۳۷	۲۰۶±۳۳	۱۳۸
۲	حجم کل بارش	۶۱۱	۴۰۳±۸۶	۲۲۴	۳۸۴	۳۳۴±۵۴	۲۲۴
۳	حجم بارش در دشت‌ها	۱۸۳	۱۲۱±۲۶	۶۷	۱۱۵	۱۰۰±۱۶	۶۷
۴	حجم بارش در ارتفاعات	۴۲۸	۲۸۲±۶۰	۱۵۷	۲۶۹	۲۳۳/۵±۳۸	۱۵۷
۵	حجم آب تبخیر شده از دشت‌ها	۱۵۸	۱۰۴±۲۲	۵۸	۹۹	۸۶±۱۴	۵۸
۶	حجم آب تبخیر شده از ارتفاعات	۲۶۷	۱۷۶±۳۸	۹۹	۱۶۸	۱۴۶±۲۳	۹۹
۷	مجموع حجم آب تبخیر شده	۴۲۵	۲۸۰±۶۰	۱۵۶	۲۶۷	۲۳۲±۳۷	۱۵۶
۸	حجم جریانهای سطحی در دشت‌ها	۱۲	۸±۱/۷	۴/۴	۷/۵	۶/۵±۱	۴
۹	حجم جریان های سطحی در ارتفاعات	۱۲۴	۸۲±۱۷	۴۵	۷۸	۶۸±۱۱	۴۵
۱۰	جریان های سطحی ورودی از مرزها	۷/۶	۵±۱	۲/۸	۴/۸	۴/۲±۰/۷	۲/۸
۱۱	مجموع حجم جریان‌های سطحی	۱۴۳/۵	۹۵±۲۰	۵۲/۵	۹۰	۷۸±۱۳	۵۲/۵
۱۲	حجم آب نفوذ یافته در دشت‌ها	۱۴	۹±۲	۵	۸/۶	۷/۵±۱/۲	۵
۱۳	حجم آب نفوذ یافته در ارتفاعات	۳۶	۲۴±۵	۱۳	۲۳	۱۹/۸±۳/۲	۱۳
۱۴	آب نفوذ یافته از جریان‌های سطحی	۱۸	۱۲±۳	۷	۱۲	۱۰±۱/۶	۷
۱۵	مجموع حجم آب نفوذ یافته	۶۸	۴۵±۱۰	۲۵	۴۳	۳۷/۴±۶	۲۵
۱۶	حجم تخلیه سفره‌های زیرزمینی	۵۷	۳۵±۱۷	۱۰	۴۳	۳۷±۶	۲۵
۱۷	حجم آب تجدیدپذیر	۱۹۴	۱۲۸±۲۷	۷۱	۱۲۲	۱۰۶±۱۷	۷۱
۱۸	**حجم آب مصرفی کشاورزی**	۹۳	**٦۷±۱۸**	۳۰	۸۰	**۷۵±۵**	۶۶
۱۹	**درصد حجم آب مصرفی کشاورزی** به حجم آب تجدیدپذیر	۰/۴۸	**۰/۵۲**	۰/۴۲	۰/۶۶	**۰/۷۱**	۰/۹۳

توضیح: در این جدول، حجم آب بر حسب میلیارد مترمکعب (کیلومترمکعب) است.

۴) در سال ۱۳۹۲ حدود ۱۰ میلیارد مترمکعب از منابع آب زیرزمینی برای مصرف در بخش کشاورزی اضافه برداشت صورت گرفته است.

۵) در سال ۱۳۹۲، میانگین سهم منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی در تامین حجم آب کشاورزی ۲۹ و ۷۱ درصد بود. در حالی‌که سهم آب زیرزمینی و سطحی در آب مصرفی کشاورزی به‌طور معمول، به صورت ۶۰ و ۴۰ درصد در نظر گرفته می‌شود. تغییر مقادیر این سهم به صورت ۷۱ و ۲۹ درصد، نشان دهنده تغییر رویه مصرف آب در بخش کشاورزی است.

۶) مصرف آب در سطح کشور، هم در بخش کشاورزی و هم در سایر بخش‌های مصرفی آب، به احتمال دارای روند افزایشی بوده و نباید مانند یک مسئله یا پدیده تصادفی یا آماری صرف (محض) ارزیابی گردد. تحلیل احتمالاتی یا میانگین‌گیری از برخی کمیت‌ها، نیازمند توجه بیش‌تری است.

براساس یافته‌های این پژوهش، چهار مورد پژوهشی و ترویجی ذیل، پیشنهاد می‌شود:

الف) نظر به متغیر بودن بارش سالانه و مولفه‌های بیلان آب در سطح کشور، حجم آب مصرفی در بخش کشاورزی در انتهای هر سال آبی برآورد و از طریق انتشار گزارش، بولتن و یا وب سایت در اختیار برنامه‌ریزان و مدیران مراکز تحقیقاتی و یا دستگاه‌های اجرایی برای استفاده در تصمیم‌گیری‌های مدیریتی قرار داده شود.

ب) نظر به حجم بخش قابل توجه تبخیر آب از گستره دشت‌ها و ارتفاعات که چهار برابر حجم آب مصرفی در بخش کشاورزی است، انجام پژوهش‌های میدانی و ارائه راهکارهای مناسب برای کاهش تبخیر از محیط‌های یادشده می تواند در مصرف بهینه آب بسیار موثر و مفید باشد.

ج) با توجه به روند افزایشی و غیرقابل تجدید مصرف آب از منابع آب زیرزمینی، لازم است پژوهش‌های میدانی و راهکارهای مناسب برای استفاده بهینه و پایدار از این منابع صورت گیرد.

د) با عنایت به این که بخش قابل توجهی از منابع آب زیرزمینی و سطحی در بخش کشاورزی استفاده می گردد، لازم است بیش از پیش به ترویج راهکارهای مناسب برای استفاده موثر و کارا از این منابع آب، اقدام گردد.

مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی

بهره‌وری مصرف آب در کشور

۳-۱- مقدمه

امروزه دستیابی به کشاورزی پایدار، امنیت غذایی و تولید اقتصادی عمدتاً با بهره‌گیری از دانش مهندسی کشاورزی امکان‌پذیر بوده و انجام تحقیقات مهندسی کشاورزی فراهم کننده بستر مناسب به‌منظور استفاده بهینه از نهاده‌ها برای نیل به اهداف خود اتکایی در تولید محصولات اساسی در بخش کشاورزی است. بدیهی است در کشور ما با توجه به محدود بودن نهاده‌های کشاورزی (آب، خاک و ...)، برای استفاده بهینه از این نهاده‌ها و تحقق اهداف بخش، نقش فن‌آوری بسیار پر اهمیت است. بخش کشاورزی در ایران یکی از مهم‌ترین بخش‌های اقتصادی است و این در حالی است که آب اصلی‌ترین نهاده محدود کننده تولید محصولات کشاورزی است.

کارایی و بهره‌وری آب از شاخص‌های مصرف بهینهٔ آب آبیاری هستند. طبق تعریف بهره‌وری مصرف آب (WP) عبارت از مقدار محصول تولید شده به ازای واحد حجم آب مصرفی است که بر حسب کیلوگرم بر مترمکعب بیان می‌شود. اصطلاح کارایی مصرف آب (WUE)، که همان نسبت تولید محصول به تبخیر و تعرق است، برای اولین بار توسط ویتس در سال ۱۹۶۶ مطرح شد (کیجنه و همکاران، ۲۰۰۳). این اصطلاح از آن زمان به صورت گسترده‌ای مورد استفاده قرار گرفته است تا نسبت عملکرد (به صورت عملکرد فتوسنتز، عملکرد بیولوژیک، یا عملکرد اقتصادی) بر واحد حجم آب مصرفی (به صورت حجم آب تعرق شده، تبخیر و تعرق، و یا حجم آب کاربردی) را تعیین و ارائه نماید. امروزه بیش‌تر از واژه و شاخص بهره‌وری به‌ویژه در مقیاس‌های بزرگ و کشوری استفاده می‌شود. در اسناد بالادستی کشور از جمله قانون افزایش بهره‌وری بخش کشاورزی و منابع طبیعی نیز از این شاخص استفاده شده است. در ادامه شاخص‌های بهره‌وری آب ارایه شده است.

۳-۲- شاخص‌های بهره‌وری مصرف آب

تعریف خلاصه شدهٔ بهره‌وری آب، نسبت عملکرد محصول به مقدار آب بکار برده شده برای گیاه است. در واقع بهره‌وری آب مشخص می‌کند که به ازای کاربرد مقدار مشخصی از آب چه مقدار ماده تولید می‌شود و این واژه دارای واحد کیلوگرم بر مترمکعب است. البته در بررسی و ارزیابی اثربخشی آب در تولید گیاه علاوه بر مقدار ماده تولید شده باید به ارزش ماده تولیدی هم توجه شود. مثلا درآمد حاصل از مصرف هر مترمکعب آب و یا مقدار پروتئین و کالری تولید شده به ازای مقدار مشخصی از آب نیز می‌توانند در ارزیابی‌ها مورد توجه قرار گیرند.

شاخص بهره‌وری فیزیکی آب

ساده‌ترین روشی که در مزارع کشاورزان برای برآورد بهره‌وری فیزیکی آب یک گیاه می‌توان یکار برد، اندازه‌گیری سه عامل: عملکرد، مقدار آب آبیاری و مقدار بارش در طول فصل زراعی است.

$$WP_p = \frac{Y}{I+P} \qquad (۱-۳)$$

WP بهره‌وری آب بر حسب کیلوگرم در متر مکعب، Y عملکرد دانه بر حسب کیلوگرم در هکتار، I و P به ترتیب عمق آب آبیاری و باران بر حسب مترمکعب در هکتار است.

شاخص بهره‌وری اقتصادی آب

مفهوم بهره‌وری اقتصادی آب بصورت خیلی ساده این است که بهره‌بردار به ازای مقدار آبی که مصرف می‌کند، چقدر درآمد کسب می‌نماید. به عبارت دیگر تنها مقدار تولید نباید معیار ارزش آب مصرفی قرار گیرد، بلکه باید به ارزش گیاه علاوه بر مقدار فیزیکی آن نیز توجه نمود. مثلاً با مصرف مقدار مشخصی از آب تولید زعفران (ارزش خیلی زیاد) یقینا بسیار کم‌تر از تولید مثلا سیب‌زمینی خواهد بود، یعنی بهره‌وری فیزیکی آب در زعفران بطور طبیعی کم‌تر از سیب زمینی است ولی نباید این عدد معیار تصمیم‌گیری شود چون ارزش زعفران بسیار بالاتر از سیب‌زمینی است. برای تعیین شاخص بهره‌وری فیزیکی آب، در صورت کسر رابطهٔ (۳-۱) به جای تولید، سود خالص دریافتی (تفاوت ناشی از درآمد محصول و هزینه‌ها) جایگزین می‌شود.

$$WP_e = \frac{I_N}{I+P} \qquad (۳-۲)$$

که در آن، WP_e و I_N به ترتیب بهره‌وری اقتصادی آب (ریال بر مترمکعب) و درآمد خالص که از تفاوت هزینه‌های انجام شده در طی فصل و درآمد ناشی از تولید به دست می‌آید (ریال).

۳-۳- ارزیابی وضع موجود

کاوه و حسینی ابری (۱۳۸۸) بهره‌وری آب بر اساس (WPET) را برای محصولات مختلف بر اساس عملکرد سال زراعی ۸۱-۱۳۸۰ و بر حسب کیلوگرم در یک مترمکعب آب را برای استان‌های مختلف کشور تخمین زدند. آنها همچنین بهره‌وری آب آبیاری را در زیر حوضه‌های کشور برآورد و نشان دادند که مقایسه بهره‌وری آب بر اساس تبخیر و تعرق واقعی باید از طرف وزارت‌خانه‌های نیرو و جهاد کشاورزی به نحوی در تهیه الگوی کشت منطقه‌ای استفاده شود که گیاهان با راندمان مصرف آب پایین از الگوهای کشت حذف شوند. اکبری (۱۳۸۳) مدیریت آبیاری و کارایی مصرف آب در شبکه آبیاری سمت راست آبشار را با استفاده از اطلاعات ماهواره‌ای، اندازه‌گیری‌های مزرعه‌ای و مدل شبیه‌سازی SWAP ارزیابی کرد. بر اساس نتایج وی شاخص کارایی مصرف آب برآورد شده از اطلاعات ماهواره‌ای برابر ۰/۸کیلوگرم بر متر مکعب محاسبه شد. کارایی مصرف آب محاسبه شده از روش عرضه و تقاضای آب در دهۀ ۱۳۷۰ بین ۱/۴-۰/۸ کیلوگرم بر متر مکعب و به طور متوسط ۱/۲ کیلوگرم بر متر مکعب بود.

روزگرانت و کای (۲۰۰۶) کارایی مصرف آب و تولید غلات را در سطوح منطقه‌ای و جهانی با استفاده از مدل Impact-Water تجزیه و تحلیل کردند. مدل مذکور مدل جامعی در زمینه آب و غذا است که در مؤسسه بین‌المللی تحقیقات سیاست غذا (IFPRI) تهیه شده است. سناریوهای مختلفی توسط مدل به منظور شناخت تأثیر بهبود تکنولوژی و مدیریت در بهبود کارایی مصرف آب و ارزیابی قابلیت‌ها به منظور افزایش تولید غلات از طریق بهبود شاخص کارایی مصرف آب اجرا شده است. دروگرز (۲۰۰۱) مدل‌هایWSBM و SWAP و مدل‌هایSWAP و SLURPرا به‌ترتیب برای تعیین کارایی مصرف آب در حوضه‌های آبریز ایران (حوضه زاینده‌رود) و منطقه Gediz کشور ترکیه به‌کار برد. کارایی مصرف آب (WUE) در مقیاس حوضه آبریز برای حوضه‌های مذکور در ایران و ترکیه به ترتیب ۰/۴۵ و ۰/۱۷ کیلوگرم بر مترمکعب محاسبه شد. وی دلیل این تفاوت زیاد را در مقادیر کارایی مصرف آب بین دو حوضه را به‌دلیل آن دانست که در ایران از آب عمدتاً برای کشاورزی استفاده می‌شود. در حالی که در ترکیه مقادیر زیادی از آب برای درختان و پوشش سبز که غیر مثمر هستند؛ استفاده می‌شود.

زارت و باستیانسن (۲۰۰۴) بر اساس یک تحلیل جامع از نتایج تحقیقات و آزمایشات ۲۵ ساله دریافتند

کـه دامنـه مقادیـر کارایـی مصرف آب گنـدم، برنج، پنبه، و ذرت در تمامی موارد از مقادیر گزارش شـده توسـط سـازمان فائـو تجـاوز می‌کنـد. دامنـه تغییـرات کارایـی مصـرف آب محصـولات مذکور بسـیار گسـترده گزارش شـد. دامنـه تغییـرات بـه ترتیـب بـرای گنـدم، برنج، پنبـه (دانـه)، پنبـه (الیـاف)، و ذرت برابـر بـود ۱/۷-۰/۶، ۱/۶-۰/۶، ۰/۹۵-۰/۴۱، ۰/۳۳-۰/۱۴، ۲/۷-۱/۱کیلوگـرم بـر مترمکعـب اعـلام شـد. آنها نتیجه‌گیـری کردند که پتانسـیل و فرصـت بـرای حفـظ و یـا افزایـش کارایـی مصـرف آب یعنـی تولیـد بیش‌تـر بـا مصـرف آب کم‌تـر (۴۰-۲۰ درصـد مصـرف آب کم‌تـر) زیاد اسـت.

حیـدری و همـکاران (۱۳۸۴) تحقیقـی بـا هـدف تعییـن مقـدار کارایـی مصـرف آب محصولات کشـاورزی عمـده مناطـق کشـور (کرمـان، همدان، مغـان، گلسـتان و خوزسـتان) و در شـرایط مدیریت زراعی کشـاورزان را اجـرا کردنـد. بر اسـاس نتایج آنها متوسـط شـاخص کارایـی مصرف آب محصـولات زراعی گنـدم، چغندرقند (شـکر تولیـدی)، سـیب زمینـی، ذرت علوفـه‌ای، پنبـه، یونجه (وزن خشـک)، جو، و نیشـکر (شـکر تولیدی) به ترتیـب برابـر ۰/۷۵، ۰/۶۴، ۲/۰۶، ۵/۵۸، ۰/۷۱، ۱/۴۶، ۰/۵۶، و ۰/۲۹کیلوگـرم بـر مترمکعـب اندازه‌گیـری شـد.

کیجنـه و همـکاران (۲۰۰۳) فعالیت‌هـای مرتبـط بـا WP از زمـان معرفـی ایـن مفهـوم را مـورد بررسـی و بازبینـی و راهکارهایـی را بـرای افزایـش WP از طریـق بهبـود مدیریـت منابـع آب در سـطوح گیـاه، مزرعـه، و حوضـه آبریـز ارائـه کردنـد. برخـی از شـیوه‌ها و گزینه‌هایـی کـه می‌توانـد در ایـن زمینـه بـه کار گرفته شـوند عبارتند از:

۱- در سـطح گیـاه؛ افزایـش تحمـل گیاهـان بـه تنـش خشـکی و شـوری از طریـق به‌کارگیری شـیوه‌های اصـلاح نـژاد گیاهان.

۲- در سـطح مزرعـه؛ افزایـش تابـع تولیـد، کاربـرد کم‌آبیـاری، تصحیـح تاریـخ کاشـت و شـخم به‌منظـور کاهـش تبخیر-تعـرق و افزایـش نفـوذ آب در خـاک.

۳- در سـطح حوضـه؛ اسـتفاده مجـدد از آب و بهبـود الگـوی کشـت بـه منظـور حداکثر کـردن محصول و حداقـل نمـودن تبخیر-تعـرق گیاهی.

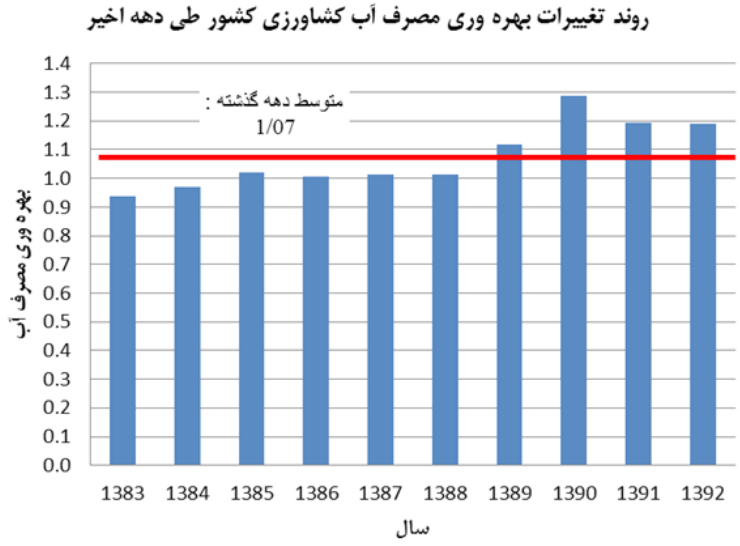
در سـال‌های اخیـر نیـز تحقیقـات مفیـدی بـا هـدف بازبینـی و بررسـی مقادیـر WP در نقاط مختلـف دنیا بـه انجام رسـیده اسـت (اسـتوارت و همـکاران،۱۹۹۷؛ زارت و باستیانسـن، ۲۰۰۴). نتایج این بررسـی‌ها نشـان می‌دهـد کـه بهبـود شـیوه‌های مدیریتی آب و خـاک در سـال‌های اخیر باعث افزایش مقادیر WP شـده اسـت. کاربـرد روش‌هـای جدیـد آبیـاری از جملـه آبیـاری بارانـی و قطـره‌ای، بـا توجه بـه بهبـود مدیریت آبیـاری در مزرعـه، WP را به‌میـزان قابـل توجهـی افزایش داده اسـت.

بررسـی ارقام بهره‌وری آب در کشـورهای همسـایه ایران و یا کشـورهای با اقلیم مشـابه حاکی از آن اسـت کـه در ایـن کشـورها نیـز بهره‌وری آب از سـطح مطلوبی برخوردار نیسـت. بـرای مثال، بهـره‌وری آب در حوضه آبریـز رودخانـه زرد در چیـن بـرای ذرت و گنـدم به‌ترتیـب ۱/۴ و ۰/۵۹ کیلوگـرم بـر مترمکعـب گزارش شـده اسـت. بررسـی بهـره‌وری آب در هندوسـتان نشـان داد کـه بیـن حوضه‌هـای آبریـز مختلف آن کشـور بهره‌وری آب به‌ترتیـب بـرای گنـدم و برنـج بطـور بیـن ۱/۴۹ – ۰/۲۷ و ۱/۴۶ – ۰/۴۶ کیلوگـرم بـر مترمکعـب آب متغیر اسـت (تانـگ و بومـن، ۲۰۰۳). در منطقـه پنجـاب کـه از مناطـق مهـم و وسـیع کشـاورزی پاکسـتان اسـت، بهـره‌وری آب گنـدم در شـرایطی کـه مدیریـت عملیـات زراعی بـدون خاک‌ورزی اسـت، حداکثـر ۱/۶ کیلوگرم بـر متـر مکعـب آب و در شـرایط کشـت روی پشـته ۱/۳۶ – ۱/۲۵ کیلوگـرم بـر مترمکعـب آب گـزارش شـده اسـت. بطـور متوسـط در پاکسـتان بهـره‌وری آب گنـدم ۰/۷۶ کیلوگـرم بـر مترمکعب آب اسـت کـه ۲۴ درصد کمتـر از متوسـط جهانـی (۱/۰~ کیلوگـرم بر متر مکعب آب) اسـت. در منطقه پنجاب بهـره‌وری آب برنج ۰/۴۵ کیلوگـرم بـر متـر مکعـب آب اسـت کـه ۵۵ درصـد پایین‌تـر از مقـدار متوسـط آن در آسـیا (۱/۰~ کیلوگرم بر متـر مکعـب آب) اسـت (واتـر واچ، ۲۰۰۳ الـف). در ترکیـه متوسـط آب مصرفـی در واحـد هکتـار در حدود ۱۰

هـزار مترمکعـب بـوده و متوسـط بهـره‌وری آب ۱/۲ کیلوگـرم بر متر مکعب آب اسـت (بـوراک، ۲۰۰۵). این در حالـی اسـت کـه بهـره‌وری آب گنـدم در مناطق نیمه خشـک ترکیه با توجه بـه مدیریت کاشـت ۰/۲۳ تا ۰/۹۴ کیلوگـرم بـر متـر مکعـب آب متغیـر اسـت. مقادیـر پیشـنهادی فائـو برای بهـره‌وری آب گنـدم در ایـن منطقه ۰/۴ تـا ۰/۶ کیلوگـرم بـر متـر مکعـب آب اسـت (واتـر واچ، ۲۰۰۳ ب). کشـور مصـر شـباهت زیادی بـا مناطق خشـک کشـور ایران دارد. بررسـی مقایسـه‌ای بین کشـور مصر و ایران در خصوص بهره‌وری آب نشـان دهنده آن اسـت کـه مقـدار آن در کشـور مصـر بطـور قابل توجهی بیـش از مقدار آن بـرای محصولات مشـابه در ایران اسـت. بهـره‌وری آب گنـدم، برنـج، پنبـه و ذرت در سـال ۲۰۰۲ در کشـور مصـر بطـور متوسـط برابر بـا ۱/۰۳، ۰/۵۵، ۰/۲۸ و ۰/۶۳ کیلوگـرم بـر مترمکعـب آب بـوده اسـت که مقدار آن در همان سـال در ایـران برابر با ۰/۵، ۰/۳۲، ۰/۱۶ و ۰/۴۹ گـزارش شـده اسـت (فائـو، ۲۰۰۳). در ادامه تحلیلی از وضعیت شـاخص بهره‌وری فیزیکی مصـرف آب در ۱۰ سـال اخیـر ایران ارایه شـده اسـت.

۳-۴- ارائه دستاورد

تعییـن مقـدار محصـول تولیـدی معمـولاً سـاده‌تر و براسـاس آمارهـای رسـمی قابـل بـرآورد اسـت ولـی درخصـوص میـزان آب مصرفـی، آمارهـا بسـیار متفاوت اسـت. در نتیجـه کمیت بهره‌وری به شـدت وابسـته به آمـار مربـوط بـه حجم آب مصرفـی بوده و تعییـن بهره‌وری همـواره با تردیدهایـی همراه اسـت. همان‌طوری‌که در بخـش قبلـی هـم بیـان شـد، حجـم آب مصرفـی بـه روش بیـلان آب توسـط موسسـه تحقیقـات فنـی و مهندسـی کشـاورزی بـرآورد شـده اسـت کـه براسـاس ایـن ارقام و آمـار مربـوط به تولیـد محصـولات زراعی و باغـی آبـی کشـور در سـال‌های مختلف (مسـتخرج از آمارنامه رسـمی کشـور)، مقادیـر بهره‌وری مصـرف آب به تفکیـک سـال‌های مختلف در شـکل (۶-۳) ارائه شـده اسـت. مطابق شـکل مذکور مقادیر بهـره‌وری مصرف آب از ۰/۹۴ تـا ۱/۲۹ کیلوگـرم بـر مترمکعـب متغیر و متوسـط آن ۱/۰۷ کیلوگرم بر مترمکعب اسـت. خوشـبختانه هماننـد راندمـان آبیـاری، شـاخص بهره‌وری مصرف آب در کشـور طی ۱۰ سـال گذشـته روند صعودی داشـته اسـت کـه ایـن رونـد به معنـای اثربخشـی فعالیت‌های انجام شـده در کشـور اسـت. درمجمـوع، افزایـش تولید، کاهـش حجـم آب مصرفـی و افزایش سـطح زیرکشـت دلایـل اصلی افزایش بهره‌وری آب در کشـور بوده اسـت.



شکل ۶-۳- روند تغییرات بهره‌وری مصرف آب کشاورزی کشور طی سال‌های ۹۲-۱۳۸۲

مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی

تحلیلی بر توسعه سامانه‌های نوین آبیاری در ایران

۴-۱- مقدمه

سرزمین ایران علی‌رغم برخورداری از تنوع آب و هوایی و منابع طبیعی سرشار، صدها سال است که خشکی مستمر و خشکسالی‌های متناوب و گسترده را تجربه می‌کند و آثار این پدیده‌ها در سنت‌ها و فرهنگ گذشتگان و سیاست‌گذاری‌ها و تدوین قوانین کاملاً مشهود است. از نخستین سیاست‌گذاری‌های بخش آب ایران در دوران جدید بیش از هفت دهه می‌گذرد و طی این مدت، به‌ویژه در سه دهه گذشته، راهبردها و قوانین متعددی برای پیش‌برد این سیاست‌ها تدوین و اجرا شده‌اند که عمدتاً بر تامین، ذخیره‌سازی، ساماندهی برداشت، انتقال و توزیع آب مبتنی بوده و مدیریت مصرف کمتر توجه بوده است. با این حال، امروزه صرفه‌جویی در مصرف و حفظ ذخایر آب کشور به دغدغه‌ی اصلی سیاست گذاران کشور تبدیل شده و آغاز دوره جدیدی از خشکسالی ، این دغدغه‌ها را به نگرانی جدی تبدیل کرده است.

علیرغم تلاش‌ها و اقدامات ارزنده انجام شده در ساماندهی بهره‌برداری و بهره‌وری از آب کشاورزی و توسعه روش‌های نوین آبیاری، به نظر می‌رسد اثربخشی اقدامات انجام شده کمتر از حد انتظار بوده است. از این رو، ارزیابی و آسیب‌شناسی وضع موجود به منظور بازنگری و اصلاح سیاست‌ها و برنامه‌ها با اتخاذ راه‌کارهای جدید برای تداوم راهبردهای توسعه روش‌های آبیاری امری لازم و اجتناب‌ناپذیر است. در این گزارش سعی بر آن است که تحلیلی کارشناسی بر مبنای نتایج پژوهش‌ها و مطالعات میدانی دو دهه اخیر محققین و کارشناسان بخش آب کشور به ویژه تجربیات **موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی** با تکیه بر بیانیه ارائه شده در نشست تخصصی نقد و بررسی سیاست‌های توسعه روش‌های آبیاری که در آذرماه سال ۱۳۹۳ توسط موسسه و با همکاری متولیان و کارشناسان خبره بخش آب کشور برگزارشده است، در خصوص وضع موجود، مسائل فنی و اقدامات پیشنهادی لازم برای بهبود شرایط و ارتقاء اثربخشی فعالیت‌های انجام شده در خصوص توسعه روش‌های نوین آبیاری ارائه گردد.

۴-۲- ارائه دستاورد

شناخت وضع موجود

یکی از اقدامات ارزنده‌ای که در سال‌های اخیر در راستای بهبود بهره‌وری مصرف آب و سازگاری با اقلیم خشک ایران صورت گرفته توجه خاص به توسعه روش‌های آبیاری تحت فشار است. به‌طوری که تاکنون حدود ۱/۴۵ میلیون هکتار از اراضی کشور به انواع سامانه‌های آبیاری تحت‌فشار مجهز شده است. گرچه از نظر کمی هنوز راه نرفته زیادی در این زمینه در پیش‌رو است، اما بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهند که به لحاظ کیفی در برخی موارد، اهداف اولیه پروژه‌ها، به‌طور کامل محقق نشده است. در اغلب نقاط دنیا و یا کشورهای پیشرو در زمینه آبیاری تحت فشار، نوع سیستم آبیاری و سازگاری آن در یک منطقه، بر اساس شاخص‌های متعددی از قبیل؛ سرعت باد، دما، کیفیت و کمیت آب، پارامترهای هیدرودینامیکی و فیزیکی خاک، توپوگرافی و مشخصات زراعی گیاه و .... تعیین می‌شود. در صورتی‌که در ایران به دلیل عدم توسعه این سامانه‌ها و اهمیت اجرای آن، دقت کافی در توسعه این روش‌ها بعمل نیامده و در اکثر موارد در عمل به این جنبه‌های فنی کمتر توجه شده و توسعه فیزیکی در اولویت اصلی بوده است. این امر موجب شده است در برخی مناطق، اهداف مورد انتظار محقق نگردد. نمونه‌هایی از این موارد به شرح ذیل، مورد اشاره قرار می‌گیرند:

– در طراحی‌ها به سرعت باد کمتر توجه شده و صرفا ممکن است به عنوان مشخصات اقلیمی در دفترچه‌های طراحی قید شده باشد، در حالی‌که در انتخاب سامانه‌های بارانی، باد نقش بسیار تعیین

کننـده‌ای دارد.

– کیفیـت آب، تاثیـر قابـل توجهـی در گرفتگـی قطره‌چـکان هـا در آبیـاری قطـره‌ای، مسـمومیت گیاه در سـامانه بارانـی، افزایـش شـوری در پروفیـل خاک و تجمع املاح در سـطح خـاک دارد. این عامل در بسـیاری از مناطـق کشـور بـرای آبیاری‌هـای تحت فشـار، خـارج از اسـتانداردهای بین‌المللی بـوده و اسـتاندارد خاصی نیز بـرای درجـه تناسـب سیسـتم‌های آبیـاری نوین بـا کیفیت آب تدوین نشـده اسـت.

– از نظـر کمیـت آب نیـز بـه خاطـر برخـورداری از تسـهیلات بلاعـوض بیشـتر، قریب بـه اتفـاق طراحی‌ها عمدتـا بـر اسـاس دبـی پروانـه چاه‌هـا انجام شـده اسـت. در حالی‌که ممکن اسـت امکان برداشـت دبـی معادل پروانـه از چـاه وجـود نداشـته باشـد. ایـن امر نیز باعث شـده اسـت که سـامانه‌های آبیـاری تحت فشـار تاثیری بـر کاهـش برداشـت از منابـع آب زیرزمینـی و کاهـش بحـران آب اکثـر دشـت‌ها نداشـته باشـد. حتـی منجـر بـه افزایـش سـطح زیرکشـت و برداشـت از سـفره آب زیرزمینـی شـده اسـت که هـر دو اتفاق مذکـور بر خلاف اهـداف اولیـه توسـعه سـطح آبیـاری تحـت فشـار و مغایر بـا سیاسـت‌های وزارت متبوع در عدم توسـعه سـطح زیر کشـت اسـت.

– مشـخصات هیدرودینامیکـی و فیزیـک خـاک نیـز در همـه طراحی‌ها بطور کامل رعایت نشـده اسـت. در قریـب بـه اتفـاق طرح‌هـای آبیـاری تحت فشـار، طراحـان صرفـاً دیـدگاه هیدرولیکی داشـته و مسـائل مربوطه رعایـت شـده اسـت. اثـرات ایـن عوامل در شـروع بهره‌بـرداری نمایان می‌شـود. در حالی‌کـه اثرات سـایر عوامل در دراز مـدت ظهـور پیـدا می‌کند.

– عـلاوه بـر مسـائل فوق، در طراحی سیسـتم‌های آبیاری (شـبکه، کانـال، لوله و ...) دیـدگاه حفظ خاک‌ها، محیـط زیسـت و مسـائل مرتبـط بـا حیـات وحش موجـود کمتر مـورد توجه بوده اسـت کـه اثـرات مخرب آن بـر کشـاورزی و محیط زیسـت در آینـده نمایان تر خواهد شـد.

مقایسه اجمالی سامانه‌های نوین آبیاری

عـلاوه بـر مسـائل فنـی که بـه برخی از آنهـا در بخش های قبلی اشـاره شـد، مسـائل اقتصـادی و اجتماعی نیـز تاثیـر مهمـی در انتخـاب نـوع سیسـتم آبیـاری دارنـد. البتـه شـایان ذکر اسـت که هریـک از سـامانه‌های آبیـاری خصوصیـات ویـژه‌ای دارنـد کـه کاربردهای عـام و یا خاصی بـر آنها مترتب بـوده و بحث‌هـای اقتصادی بـه تنهایـی نمی‌توانـد تعیین کننده باشـد.

سـامانه‌های آبیـاری قطـره‌ای: بطورکلی هزینـه سـرمایه‌گذاری اولیه سیسـتم هـای قطـره‌ای بیش‌تر از سـامانه‌های آبیـاری بارانـی و سـطحی اسـت. بهره‌بـرداری از سـامانه‌های آبیاری قطـره‌ای در باغـات (در صورت اسـتاندارد بـودن لـوازم) حداقـل تـا ۲۰ سـال بـدون نیـاز بـه هزینه خاصـی می‌پذیـرد. امـا در آبیـاری قطره‌ای محصـولات زراعـی، بـه دلیـل نیـاز بـه جایگزینـی سـالانه نوارهـای آبیـاری، هزینـه بسـیار زیـادی به کشـاورز تحمیـل کنـد کـه ایـن امـر باعث می‌شـود کشـاورزانی کـه امکانـات و تمکـن مالی کمـی دارنـد، با اسـتفاده از اعتبـارات رایـگان دولتـی، نسـبت بـه احداث سـامانه‌های آبیاری قطـره‌ای در زراعـت اقدام کرده و در سـال‌های بعـدی بـه دلیـل عـدم توانایـی مالـی و یـا تمایـل بـه جایگزینـی نوارهـا، در برخـی مـوارد سیسـتم آبیـاری در زراعت‌هـا متوقـف گردد.

ماشـین های آبیـاری نظیر سـنترپیوت و لینیر: اگرچه هزینـه تجهیزات اولیـه آنهـا در اراضی کوچک زیـاد اسـت ولـی هزینـه بهره‌بـرداری از آنهـا کم بـوده و طول عمـر بهره‌بـرداری از آنهـا می‌تواند طولانی باشـد. ضمـن این‌کـه دارای بالاتریـن راندمـان آبیـاری در بین سـایر سیسـتم هـای بارانی هسـتند. هرچند لازم اسـت حداقـل سـطح بـه لحـاظ داشـتن توجیه اقتصـادی تعریـف گـردد، هزینه‌انـرژی مصرفی ایـن سیسـتم‌ها هم با توجـه بـه پاشـنده‌های جدیـد و ارتفـاع قابـل تنظیم آنها، بر سـایر سیسـتم‌ها رجحـان دارد.

سامانه‌های آبیاری بارانی کلاسیک و رول لاین: هزینه سرمایه‌گذاری اولیه کم‌تری نسبت به برخی از سامانه‌های بارانی دارند ولی هزینه‌های کارگری و بهره‌برداری آنها زیادتر از سایر سامانه‌ها بوده و استهلاک زیادی نیز دارند. همین مشکل باعث شده است که این سامانه‌ها که در دهه قبل با استقبال کشاورزان مواجه بود، به تدریج محبوبیت خود را از دست داده و تعداد قابل توجهی از کشاورزان اقدام به جمع‌آوری آنها نمایند.

آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آبپاش‌های جابجا شونده: به رغم سرمایه‌گذاری اولیه و نیاز به انرژی و فشار بسیار زیاد (بیشتر از سایر سیستم‌های بارانی)، به دلیل سهولت در بهره‌برداری و مصونیت در برابر سرقت لوازم، در سال‌های اخیر خواهان زیادی پیدا کرده است. ولی این سامانه در آینده‌ای نه چندان دور با افزایش و *واقعی شدن هزینه انرژی* محبوبیت خود را از دست خواهد داد و به سرنوشت سیستم‌های آبیاری بارانی کلاسیک متحرک و رول لاین دچار خواهد شد.

آبیاری بارانی قرقره‌ای یا گان: این سامانه در سایر نقاط دنیا بیشتر برای آبیاری‌های تکمیلی استفاده می‌شود و از دو بخش بوم و گان تشکیل شده است. قسمت بوم با استفاده از آبپاش‌های نوع اسپریر برای سبز کردن بذر استفاده می‌شود و پس از سبز شدن بذر و استقرار بوته، آبیاری با استفاده از آبپاش گان (با فشار و دبی زیاد) ادامه پیدا می‌کند. برای کارکرد این سامانه نیاز به یک موتور دیزل و یا تراکتور است و همانند روش کلاسیک ثابت رایزر متحرک نیاز به انرژی بیش‌تری است. این سامانه آبیاری در ابتدای طرح گسترش سطح تحت پوشش آبیاری‌های تحت فشار در کشور، بدون دستگاه بوم وارد کشور شد و شرکت‌های سازنده داخلی نیز همین روش را برای تولید سرلوحه کار خویش قرار دادند. سازمان‌های جهاد کشاورزی نیز در برخی موارد بدون مطالعه این سامانه را با استفاده از یارانه‌های دولتی و بدون توجه به امکانات فنی کشاورز، دبی در اختیار طرح، نوع و مرحله کشت گیاه و آموزش بهره‌بردار (مخصوصا در استان‌های غربی کشور) در اختیار کشاورزان قرار دادند. کشاورزان در اولین مراحل آبیاری متوجه خسارت این سامانه ناقص (بدون بوم) به گیاه، مخصوصاً در مرحله سبز شدن شده و با رها کردن آن به سراغ سیستم‌های آبیاری سطحی روی آورند. البته در سال‌های اخیر، شرکت هایی (واردات یا ساخت داخل کشور) مجدداً برای فروش سیستم‌های آبیاری قرقره‌ای همراه با بوم، اقدام به بازاریابی کرده و آنرا به عنوان یک سامانه آبیاری جدید معرفی می‌کنند.

نتیجه‌گیری کلی

بدین‌ترتیب ملاحظه می‌شود که هر یک از سامانه‌های آبیاری تحت فشار به طور بالقوه دارای مزایایی هستند که اگر نکات لازم و اختصاصی آنها در طراحی، اجرا و بهره‌برداری رعایت گردد، می‌توانند بسیار مفید و موثر واقع شده و موجبات بهبود کیفی و کمی محصول، افزایش کارآیی مصرف آب و کاهش برداشت از منابع آب زیرزمینی را فراهم آورند. اما متاسفانه حرکت شتاب‌زده در مسیر گسترش سطح تحت پوشش سامانه‌های آبیاری تحت فشار و فقدان یک سیستم دقیق آموزشی، اجرایی، نظارت و ارزیابی و نیز ارائه اعتبارات رایگان بدون کنترل‌های لازم، و ... منجر به جمع‌آوری این سامانه‌ها در برخی موارد و یا تغییر سامانه آبیاری اجرا شده به سیستم سطحی شده و علیرغم هزینه‌های زیاد کارآیی لازم و قابل قبول را نداشته باشد.

راهکارهای ارتقاء اثربخشی

با عنایت به بحث کوتاه فوق ملاحظه می‌شود به‌رغم تلاش‌ها و خدمات دلسوزانه سیاستگذاران و کارشناسان کشور در سال‌های اخیر در توسعه روش‌های نوین آبیاری، اثر بخشی این اقدامات کمتر از حد

انتظار بوده است. لذا ضروری است در ادامه راه با تکیه بر تجربیات سه دهه فعالیت اجرایی و پژوهشی، توجه شایسته‌ای به ارتقاء سطح کیفی اجرای سیستم‌ها در کنار توسعه کمی آنها مبذول داشت. در این راستا و به‌منظور تداوم توسعه پایدار روش‌های آبیاری و ارتقاء اثربخشی آن‌ها، راهبردها و پیشنهادات مورد نظر در سه بخش فنی و اجرایی، سیاست‌گذاری و عملیاتی به شرح زیر ارائه می‌گردند:

پیشنهادهای فنی

- با اجتناب از جهت‌گیری‌های یک‌سویه، ضروری است به الزامات طراحی و اجرای صحیح انواع سامانه‌ها و روش‌های آبیاری (اعم از ثقلی، تحت فشار و ...) توجه جدی و کافی صورت گیرد.
- در انتخاب سامانه‌های آبیاری، بر استفاده از سامانه‌های کم انرژی بر، تاکید گردد.
- برای جانمایی سامانه‌ها علاوه بر سلیقه کشاورز، بر مطالعه دقیق امکانات محلی، اثرات باد، دما، انرژی، پایداری خاک، مسائل زیست محیطی و حق آبه حیات وحش تاکید گردد.
- در مقابل اعتبارات رایگان، ترتیبی اتخاذ گردد تا طراحی‌ها بر اساس کسری از دبی موجود (تا سقف پروانه برداشت) و بدون افزایش سطح زیرکشت قبلی انجام شود.
- قانون تحویل حجمی آب اجرایی شود.
- شرکت‌های مجری موظف به آموزش و کمک به راهبری سامانه آبیاری به مدت حداقل دو سال زراعی باشند.
- در طرح‌های بزرگ پایش سیستم‌ها بطور مستمر انجام گردد.

پیشنهادهای اجرایی و سیاست‌گذاری

- مدیریت یکپارچه عرضه و تقاضای آب کشاورزی از ضرورت‌های اجتناب‌ناپذیر در اجرای موفق سیاست‌ها است. در این ارتباط ضرورت ایجاد هماهنگی بیشتر بین وزارتخانه‌های نیرو و جهاد کشاورزی مورد تاکید می‌باشد.
- به‌منظور جلوگیری از خرد شدن بیشتر اراضی، اعتبارات یارانه‌ای سامانه‌های آبیاری، فقط به اراضی تحت پوشش یک منبع آبی (چاه) و به‌صورت یکپارچه داده شود و از دادن این اعتبارات به قسمتی از اراضی تحت پوشش یک منبع آبی خودداری شود تا کشاورزان تشویق به تشکیل تعاونی‌های آب‌بران گردند.
- ترویج روش‌های صحیح بهره‌برداری از این سامانه‌ها در رسانه‌های همگانی، به‌ویژه صدا و سیمای جمهوری اسلامی ایران می‌تواند مفید و موثر واقع شود.
- مدیریت یکپارچه تامین انرژی برای توسعه سامانه‌های آبیاری تحت فشار و هماهنگ‌سازی سیاست‌های بخش‌های آب و برق کشور از ضرورت‌هایی است که باید مورد توجه قرار گیرد.
- بازنگری در قوانین و دستورالعمل‌های استفاده از تسهیلات دولتی ضروری به نظر می‌رسد. چرا که ناپایداری روش‌ها و راه‌کارهای تامین اعتبار سامانه‌های آبیاری در قوانین بودجه کشور و عدم تحلیل کارآمدی یا ناکارآمدی این روش‌ها، به ویژه سرمایه‌گذاری‌ها و یارانه‌های پرداخت شده تاکنون، از مشکلات اساسی در کاهش موفقیت بهره‌برداری از این سامانه‌ها بوده است.
- ضمن تاکید بر کارآمدبودن و ضرورت توجه بیشتر به تحویل حجمی آب به بهره‌برداران، اعتقاد بر این است که تامین زیرساخت‌های لازم در این زمینه نیاز به توجه و اهتمام جدی دارد، هم‌چنین حصول موفقیت در این زمینه مستلزم هماهنگی در سیاست‌گذاری‌های تعیین آب‌بها می‌باشد.
- با تاکید مجدد بر توجه به پی‌آمدهای دوره جدید خشکسالی در ایران، پیشنهاد می‌شود

سیاست‌گذاری‌های برنامه ششم توسعه عمرانی کشور با محوریت مدیریت آب انجام شود.

- توجه به مسایل و مشکلات اجتماعی و ترویج و آموزش روش‌های علمی برای بهره‌برداری از سامانه‌های آبیاری، اعم از ثقلی و تحت فشار و سایر روش‌ها، به عنوان حلقه مفقوده‌ی مدیریت و سیاست‌گذاری‌های انجام شده تاکنون بوده است و انتظار می‌رود در برنامه‌ریزی‌های جدید به صورت جدی و موثرتر مورد توجه و تاکید قرار گیرد.
- ضمن تاکید بر ضرورت افزایش اختیارات و فعالیت‌های شورای عالی آب، انتظار دارد در این فعالیت‌ها راه‌کارهای لازم برای حضور سایر بخش‌های موثر در سیاست‌گذاری‌های آب کشور، به ویژه استفاده مستقیم از نظرات بدنه کارشناسی و بهره‌برداران آب کشاورزی مورد توجه قرار گیرد.

۴-۴- جمع‌بندی و توصیه‌ها

با عنایت به موارد عنوان شده و در راستای ارتقاء و بهبود بهره‌وری مصرف آب آبیاری و بهره‌برداری اصولی از سامانه‌های آبیاری گام‌های عملیاتی زیر با مشارکت دستگاه‌های مختلف علمی و اجرایی کشور توصیه می‌شود.

- بازنگری پارامترهای لازم در طراحی سامانه‌های آبیاری و تدوین دستورالعمل‌های طراحی با توجه به شرایط بحرانی آب و خاک کشور
- تدوین استاندارد پارامترهای کیفی آب در سامانه‌های آبیاری
- ارزیابی مستمر و فنی سیستم‌های اجراء شده به منظور اصلاح آنها و ارائه اطلاعات لازم به مسئولین تصمیم‌گیر کشور
- بررسی اثرات سامانه‌های آبیاری بر پایداری کشاورزی، خاک و محیط زیست
- مطالعه درجه تناسب انواع سامانه‌های آبیاری برای مناطق مختلف کشور در قالب طرح ملی
- آموزش بهره‌برداران قبل و بعد از اجرای سیستم

منابع

اکبری، م. ۱۳۸۳. بهبود مدیریت آبیاری مزارع با استفاده از تلفیق اطلاعاتی، مزرعه‌ای و مدل شبیه‌سازی SWAP. رساله دکتری آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس، تهران.

آل یاسین، ا. ۱۳۸۴.بحران آب. جامعه مهندسان مشاور ایران.۵۲۰ صفحه.

ایقانیان، ر. ۱۳۶۰. اثر مواد تشکیل دهنده زمین در کیفیت منابع آب ایران. سومین سمپوزیوم زمین‌شناسی ایران. انجمن نفت ایران. شرکت نفت ایران. ۲۲ تا ۲۴ اسفند ماه ۱۳۶۰.

بی نام.۱۳۷۰. طرح جامع آب کشور. منابع آب‌های زیرزمینی. شرکت مهندسین مشاور جاماب. تهران. ۱۰۴ صفحه

بی نام، ۱۳۵۱. دومین سمینار آبیاری و زهکشی، کمیته ملی آبیاری و زهکشی، وزارت آب و برق. ۲۲۵ صفحه.

بی نام، ۱۳۵۵. گزارش بارندگی ایران همراه با نقشه هم‌باران، اداره کل آب های سطحی، وزارت نیرو، تهران.

بی نام، ۱۳۵۶. گزارش بارندگی ایران همراه با نقشه هم‌باران، اداره کل آب‌های سطحی، وزارت نیرو، تهران.

بی نام، ۱۳۶۰. شناخت قنات، سمینار بازسازی و احیاء قنوات. مشهد مقدس ۶ تا ۱۱ تیرماه ۱۳۶۰. انتشارات وزارت نیرو. تهران.

بی‌نام. ۱۳۹۴. وضعیت بهره‌برداری از شبکه‌های آبیاری و زهکشی کشور در سال آبی ۹۴-۱۳۹۳. سایت شرکت مدیریت منابع آب ایران. http://www.wrm.ir/#Info

حیدری، ن. ۱۳۸۸. مسائل، چالش‌ها و راهبردهای ارتقای بهره‌وری آب کشاورزی ایران. دوازدهمین همایش کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران. صفحات ۵۷ تا ۷۸.

حیدری، ن. و حقایقی مقدم، س. ا. ۱۳۸۰. کارایی مصرف آب آبیاری محصولات عمده مناطق مختلف کشور. گزارش ارایه شده به معاونت زراعت وزارت جهاد کشاورزی، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، کرج.

حیدری، ن.، ف. عباسی، ش. اشرفی و ف. سهراب، ۱۳۸۸. برنامه راهبردی بهبود بهره‌وری آب کشاورزی. گزارش نهایی مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، کرج. شماره ثبت ۸۸/۶۵. ۲۹۴ صفحه.

حیدری، ن.، کشاورز، ع.، و ح. دهقانی سانیج، ۱۳۸۴. مدیریت مصرف بهینه آب کشاورزی در ایران با در نظر گرفتن وقایع خشکی و خشکسالی. مجموعه مقالات دومین همایش روش‌های پیشگیری از اتلاف منابع ملی ۲۶-۲۵ خرداد ۱۳۸۴، فرهنگستان علوم جمهوری اسلامی ایران، تهران.

زاهدی، ف. ۱۳۴۹. کاربرد روش‌شناسی تجربی و ریاضی در برآورد منابع آبی و نیاز آب به آبیاری، کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، تهران.

سهراب، ف.، ف. عباسی، ق. زارعی و ع. آراستی، ۱۳۸۸. تحلیلی بر راندمان‌های آبیاری در ایران. گزارش پژوهش نهایی مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، شماره۸۸/۹۴۳، ۱۰۶ صفحه.

عباسی، ف.، سهراب، ف. و عباسی، ن، ۱۳۹۳. مدیریت و راندمان آبیاری در روش‌های آبیاری سطحی. نشست تخصصی نقد و بررسی سیاست‌های توسعه روش‌های آبیاری و تحویل آب در ایران. ۱۳-۱۲ آذرماه. تهران. ایران.

عطرچین. م.، ۱۳۵۹. تفسیر سیاست آبی دولت و اولویتهای موجود. سمینار آب کشور. وزارت نیرو. صفحات ۲۰-۲۴. دی ماه ۱۳۵۹. تهران

فاطمی، م. ر . و شکرالهی، ا. ۱۳۷۳. تأثیر یکپارچه بودن اراضی بر راندمانی شبکه آبیاری دز. مجموعه

مقالات هفتمین همایش کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، ۳۱ مردادماه لغایت ۲ شهریور ۱۳۷۳، تهران، صفحات ۲۴ – ۱.

قدرت‌نما، ق. ۱۳۷۷. منابع، مصارف و نیازهای آبی در ایران: حال و آینده. آب و توسعه (فصلنامه امور آب وزارت نیرو). سال ۶، شماره ۲ و ۳.صفحه ۲۰ تا ۴۶.

قطبی، م.ص.۱۳۶۰. نارسایی‌های ملی آب کشور در ارتباط با خودکفایی کشاورزی، وزارت نیرو. امور آب . دفتر بررسی‌های منابع آب، بخش آب‌های سطحی. بهمن ۱۳۶۰.

کشاورز، ع. و ک. صادق‌زاده. ۱۳۷۸. وضعیت موجود، چشم اندازهای آینده و راهکارهایی جهت بهینه‌سازی آن. دهمین همایش کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران. صفحات ۳۷۷-۳۹۸.

کوچک‌پور، آ.۱۳۵۹. گزارش اجمالی امکانات منابع آب کشور. سمینار آب کشور. وزارت نیرو. دی ماه ۱۳۵۹. تهران

کاوه، ف. و حسینی ابری، س. ع. ۱۳۸۸. افزایش بهره‌وری آب در کشاورزی آبی. مجموعه مقالات دوازدهمین همایش کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، مدیریت آبیاری در ایران: چالش‌ها و چشم‌اندازها. ۶-۵ اسفند ۱۳۸۸، تهران.

گزارش وزارت نیرو به هیات دولت.۱۳۷۷. سیمای بخش آب، آب و فاضلاب، برق، انرژی و یارانه آب و برق.، خرداد ۱۳۷۷.

گنجی، م.ح. ۱۳۵۳. سی و دو مقاله جغرافیایی. انتشارات موسسه کارتوگرافی سحاب.

محمد ولی سامانی، ج.۱۳۸۴. مدیریت منابع آب و توسعه پایدار. دفتر مطالعات زیربنایی مجلس شورای اسلامی. شماره گزارش ۷۳۷۴. ۳۵ صفحه

موحددانش، ع. ۱۳۷۳. هیدرولوژی آبهای سطحی ایران، سازمان مطالعه و تدوین کتب علوم انسانی دانشگاه‌ها. ۳۷۹ صفحه.

ناصری، ا. ۱۳۹۴. برآورد آب مصرفی در بخش کشاورزی. گزارش فنی، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، (در دست چاپ).

ناصری، الف. ۱۳۷۶. افزایش راندمان آبیاری شیوه‌ای در بهره‌برداری پایدار از منابع آب. کنفرانس منابع آب: بهره‌برداری و مصرف بهینه. ۱ الی ۳ امرداد ۱۳۷۶. وزارت نیرو. مجتمع آموزشی و پژوهشی آذربایجان. تبریز. ص ۵۰ تا ۵۹.

ولایتی، س. ۱۳۷۴. جغرافیای آبها و مدیریت منابع آب. انتشارات خراسان.۳۶۰ صفحه

ASCE. 1987. ASCE Manual on Selection of Irrigation Methods for Agriculture. In Review. American Society of Civil Engineers, New York. 68 pages.

Bos, M. G., Murray-Rust, D. H., Merrey, D. J., Johnson, H. G. and Snellen, W. B. 1994. Methodologies for assessing performance of irrigation and drainage management. Irrigation and Drainage Systems.7, 231–262.

Burt, C. M., Clemmens, A. J., Strelkoff, T. S., Solomon, K. H, Bliesner, R. D., Hardy, L. A., Howell, T. A. and Eisenhuaer, D. E. 1997. Irrigation performance measures: Efficiency and Uniformity. Journal of Irrigation and Drainage Engineering. 123(6): 423-442.

Christiansen, J. E. 1942. Irrigation by sprinkling. Bulletin 670. Agricultural Experiment

Station. University of California. Berkeley. California.

Dehghanisanij. H., Alizadeh, A. and Keshavarz, A. 1999. Implementation of water use pattern in terms of volumetric supply of water to farmers.

Doorenbos, J. and Pruitt, W. O. 1977. Crop water requirements. Irrigation and Drainage Paper No. 24. FAO. Rome. Italy.

Droogers, P. 2001. Simulation models to assess water productivity at different scales. IWMI, P.O.Box 2075, Colombo, SriLanka.

Hart. W. E. and D. F. Heermann.1976. Evaluating Water Distribution of Sprinkler Irrigation Systems. Colorado State University.

ICID. 1978. Standards for the Calculation of Irrigation Efficiencies. ICID Bulletin 27.

Irrigation Association of Australia (IAA). 1998. The definition of irrigation efficiency as adopted by the Irrigation Association of Australia. Journal of Irrigation and Association of Australia. 13 (1).

Israelsen, O. W. 1932. Irrigation Principles and Practices. John Wiley and Sons. New York. 418 p.

Israelsen, O. W., Hansen, E. V. and Stringham, E. G. 1980. Irrigation Principles and Practices. Hardcover Publisher: John Wiley & Sons Inc: 4th Edition.

Jensen, M. E. 1967. Evaluating irrigation efficiency. J. Irrig. Drain. Eng., 93: 83–98.

Kijne, J. W., Toung, T. P., Bennett, J., Bouman, B., and Oweis, T. 2003. Ensuring food security via improvement in crop water productivity. CGIAR challenge program on water and food (CP), Background paper1.

Lamm F. R., Rogers D. H. and Manges, H. L. 1994. Irrigation scheduling with planned soil water depletion. Transaction of ASAE, 37(5): 1491–1497.

Merriam, J. L. and Keller, J. 1978. Farm irrigation system evaluation: A guide for management. Department of Agricultural Engineering, Utah State University. Logan. Utah. USA.

Molden, D. 1997. Accounting for water use and productivity. SWIM Paper 1. International Irrigation Management Institute, Colombo, Sri Lanka.16 pp.

Rosegrant, M. W. and Cai, X. 2006. Water productivity and cereal production: A global perspective. IFPRI, 2033, K.St. , N.W. Washington DC.

Stewart, J. I., Hagan, R. M., Pruitt, W. O., Hanks, R. J., Riley, J. P., Danielson, R. E., Fraanklin, W. T. and Jackson, E. B. 1977. Optimizing crop production through control of water and salinity levels in the soil. Utah Water Research Laboratory Publication, PRWG151-1.

USDA Furrow irrigation. Soil Conservation Service National. 1979. Engineering Handbook. Chapter 5. Section 15 (Irrigation).

Zwart, S. J. and Bastiaanssen, W. G. M. 2004. Review of measured crop water productivity values for irrigated wheat, rice, cotton, and maize. Journal of Agricultural Water Management. 69:115-133.