

تأثیر کم‌آبیاری در بهره‌برداری پایدار منابع آب زیرزمینی دشت نیشابور

سید ابوالقاسم حقایقی مقدم^{۱*} و مجید علی حوری^۲

چکیده

در دسترس بودن آب زیرزمینی نقش مهمی در تولید پایدار محصولات کشاورزی و تأمین امنیت معیشت بهره‌برداران در دشت نیشابور ایفا می‌نماید. افت سطح آب زیرزمینی و کسری مخزن سالانه از چالش‌های اساسی این دشت است. در دشت نیشابور سالانه بیش از ۹۰٪ منابع آب زیرزمینی برای آبیاری حدود ۸۴ هزار هکتار از اراضی آبی زیرکشت محصولات مختلف زراعی و باغی به مصرف می‌رسد. در این مقاله، مدل شبیه‌سازی حرکت آب و املاح در خاک (SWAP) با استفاده از داده‌های ۶ مزرعه مختلف دشت نیشابور مورد واسنجی و صحت سنجی قرار گرفت. بدین منظور اطلاعات مزرعه‌ای و سایر داده‌های موردنیاز برای اجرای مدل در شرایط منطقه گردآوری شد. اثرات مدیریت رایج آبیاری بر اجزای بیلان آب و شاخص‌های مختلف بهره‌وری آب در مزارع گندم، جو، چغندرقد، پنبه، ذرت علوفه‌ای و گوجه‌فرنگی با استفاده از مدل SWAP بررسی گردید. همچنین تأثیر اعمال ۲ سناریوی اعمال کم‌آبیاری (۱- کاهش ۲۰-۳۰ درصد آب مصرفی در طول دوره رشد، ۲- حذف یک نوبت آبیاری در مرحله غیر حساس رشد گیاه) بر کاهش برداشت از منابع آب زیرزمینی تخمین زده شد. نتایج نشان داد در شرایط مدیریت آبیاری فعلی زارعین، کاهش بهره‌وری آب به دلیل تبخیر از سطح خاک برای مزارع گندم، جو، چغندرقد، پنبه، ذرت علوفه‌ای و گوجه‌فرنگی به ترتیب به اندازه ۲۴، ۲۶، ۲۷، ۲۱، ۸ و ۲۷ درصد بود. کاهش بهره‌وری آب به دلیل نفوذ عمقی، از WPETQ در مقایسه با WPET شدیدتر بود به طوری که مقدار WPETQ به اندازه ۵۰، ۴۴، ۳۳، ۳۷، ۱۴ و ۵۳ درصد به ترتیب برای مزارع گندم، جو، چغندرقد، پنبه، ذرت علوفه‌ای و گوجه‌فرنگی در مقایسه با WPET کاهش نشان داد. مقادیر مختلف بهره‌وری آب نشان از لزوم کنترل و کاهش تلفات تبخیر خاک و نفوذ عمقی با تغییر روش‌های سنتی آبیاری به سامانه‌های با کارایی بالاتر دارد. اعمال مدیریت کم‌آبیاری برای ۶ محصول عمده در دشت نیشابور، موجب ۲۷٪ کاهش در برداشت از سفره آب زیرزمینی با تغییر عملکرد بین +۴ تا -۱۷ درصد گردید. این مقدار برداشت کمتر معادل ۱۰۵ میلیون مترمکعب تخلیه کمتر سفره آب زیرزمینی و جبران ۷۷٪ کسری مخزن دشت نیشابور می‌باشد. حذف یک نوبت آبیاری برای ۶ محصول عمده در دشت نیشابور، موجب ۱۷/۵٪ کاهش در برداشت از سفره آب زیرزمینی با کاهش عملکرد بین ۴ تا ۱۰ درصد می‌گردد. این مقدار برداشت معادل ۶۹ میلیون مترمکعب تخلیه کمتر سفره آب زیرزمینی است که بدین ترتیب حدود ۵۰٪ کسری مخزن جبران می‌شود.

واژه‌های کلیدی: کم‌آبیاری، بهره‌برداری پایدار، آب زیرزمینی، دشت نیشابور.

مقدمه

در مجموع اراضی تحت پوشش^۱ و یا به عبارت ساده‌تر می‌توان گفت کم‌آبیاری عبارت از^۲ استفاده بیشتر و بهتر از واحد حجم آب^۳ می‌باشد (سپاسخواه و دیگران، ۱۳۸۵). با توجه شرایط خطیر وضعیت آب زیرزمینی در استان خراسان رضوی، زیرحوضه نیشابور از حوضه آبریز رودخانه کالشور در این استان برای انجام این تحقیق انتخاب گردید (شکل ۱). دشت نیشابور از جمله دشت‌های وسیع حوضه آبریز کالشور می‌باشد که بیشترین زمین‌های آبی را در خود جای داده است. کل مساحت واحد هیدرولوژیک نیشابور ۷۳۸۸ کیلومتر مربع است که از این مقدار ۳۴۰۴ کیلومتر مربع دشت و مابقی ارتفاعات می‌باشد.

مجموع حجم برداشت از منابع آب زیرزمینی در بخش کشاورزی در دشت نیشابور برابر با ۷۱۹ میلیون مترمکعب

در این مقاله موضوع مدیریت بهره‌برداری پایدار از منابع آب زیرزمینی با انجام شیوه‌های مختلف کم‌آبیاری مورد بررسی قرار گرفته است. کم‌آبیاری عبارت است از^۴ مصرف عامدانه و عالمانه کمتر آب، به منظور افزایش تولید

۱ استادیار پژوهش بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران (* نویسنده مسئول: Sahm51@yahoo.com).

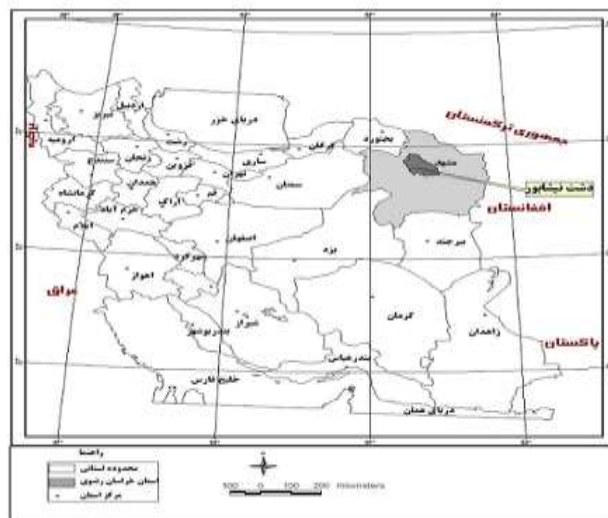
۲ استادیار پژوهش پژوهشکده خرما و میوه‌های گرمسیری، موسسه تحقیقات علوم باغبانی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اهواز، ایران.

تاریخ دریافت: ۹۸/۲/۱۰

تاریخ پذیرش: ۹۸/۵/۲۶

می‌رسد. افت سطح آب زیرزمینی و کسری مخزن (سالانه بیش از ۱۳۷ میلیون مترمکعب معادل حدود ۷۹ سانتیمتر میانگین افت سطح آب زیرزمینی) از چالش‌های اساسی این دشت است (سیمای آب خراسان رضوی، ۱۳۹۷). هدف تحقیق عبارت از ارزیابی اثرات بلندمدت عملیات رایج آبیاری روی تولید محصولات و کیفیت خاک و بررسی تأثیر اعمال کم‌آبیاری بر بهره‌وری آب محصولات تولیدی و ایجاد پایداری در بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی می‌باشد.

بوده است. از این مقدار ۶۲۸/۳ میلیون مترمکعب (۸۷) توسط چاه‌ها، ۶۹/۶ میلیون مترمکعب (۶/۹) توسط قنوات و ۲۱/۱ میلیون مترمکعب (۴/۳) توسط چشمه‌ها برداشت گردیده است. سهم بخش شرب و صنعت از آب زیرزمینی در این دشت به ترتیب ۳۷ و ۸ میلیون مترمکعب می‌باشد (شرکت مدیریت منابع آب ایران، ۱۳۹۴). در این زیر حوضه سالانه حدود ۸۴ هزار هکتار (آمار سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴) برابر با ۸۳۹۵۰ هکتار زیرکشت محصولات مختلف زراعی و باغی آبی قرار می‌گیرد و حجم زیادی از منابع آب زیرزمینی (بیش از ۹۰٪) در بخش کشاورزی به مصرف



شکل ۱- موقعیت دشت نیشابور در کشور و استان خراسان رضوی

طول دوره آماری بلندمدت استفاده گردید. نتایج نشان داد که برنامه بهینه آبیاری با بیشترین کارایی مصرف آب در شرایط کمبود بارش ۷۵٪ عبارت از ۳ نوبت آبیاری گندم و ۲ نوبت آبیاری ذرت و هر نوبت آبیاری به میزان ۷۵ میلی‌متر می‌باشد. در سال با شرایط رطوبتی ۵۰٪، برنامه بهینه آبیاری همانند سال ۷۵٪ است با این تفاوت که یک نوبت آبیاری ذرت در زمان قبل از کاشت کفایت می‌نماید. در سال با کمبود بارش ۲۵٪ برنامه بهینه آبیاری گندم عبارت از دو نوبت آبیاری در زمان خواب و پر شدن دانه خواهد بود و ذرت نیازی به آبیاری ندارد. این نوع برنامه‌ریزی آبیاری در سال‌های ۷۵، ۵۰ و ۲۵ درصد به ترتیب ۵/۱، ۱۹/۸ و ۲۳/۴ میلی‌متر تغذیه سفره آب زیرزمینی را در پی خواهد داشت. سینگ و همکاران (۲۰۰۶) در منطقه سیرسا در هند مدل SWAP را در تجزیه و تحلیل شاخص‌های بهره‌وری آب

سابقه تحقیق

اکبری و همکاران (۱۳۸۸) با استفاده از مدل SWAP تأثیر برنامه‌ریزی آبیاری بر بهره‌وری آب را در شبکه آبشار اصفهان بررسی نمودند. نتایج نشان داد که با اصلاح برنامه آبیاری، عملکرد محصول جو و گندم به مقدار ۱۵ درصد افزایش می‌یابد. با بهبود مدیریت زراعی و کاهش ۲۰ درصدی عمق آب آبیاری، عملکرد محصول تغییر معنی‌داری نشان نداد.

ما و همکاران (۲۰۱۱) از مدل SWAP برای ارزیابی برنامه بهینه آبیاری در الگوی کشت گندم زمستانه-ذرت تابستانه در بیجینگ کشور چین استفاده کردند (Ma et al., 2011). از مدل واسنجی و صحت‌سنجی شده برای برنامه‌ریزی بهینه آبیاری در سه سال معرف منطقه با شرایط هیدرولوژیکی ۷۵، ۵۰ و ۲۵ درصد کمبود بارش نسبت به

کشت برنج بیشترین درآمد در واحد سطح را برای کشاورزان منطقه دربر دارد. بهره‌وری آب برنج برابر ۰/۳۵ دلار بر مترمکعب است و حال آنکه برای چغندر قند، گندم و یونجه به ترتیب ۰/۰۶، ۰/۰۲ و ۰/۰۲ دلار بر مترمکعب برآورد گردید (Droogers and Torabi, 2002).

دروگرز و همکاران (۲۰۰۰)، چهار موضوع مهم بیلان کلی آب، بهره‌وری آب، امنیت غذایی و سطوح مختلف آبیاری در غرب ترکیه را با کاربرد مدل SWAP مورد بررسی قرار دادند. در این ناحیه پنبه و انگور دو محصول عمده تحت کشت هستند. از نقطه نظر میزان آبیاری در منطقه، پنبه بایستی به اندازه ۱۰۰۰ میلی‌متر و انگور به اندازه ۸۰۰ میلی‌متر آبیاری شود. اما از دیدگاه بهره‌وری آب، کارایی مصرف آب انگور در حالت بدون آبیاری حداکثر است و برای پنبه در میزان آبیاری ۶۰۰ میلی‌متر حداکثر می‌باشد (Droogers et al., 2000).

یانگ و همکاران (۲۰۱۵) با توجه به کاهش منابع آب، نیاز به افزایش عملکرد در واحد سطح و حفظ عملکرد محصولات را در شمال کشور چین مورد توجه قرار دادند. در این مطالعه، با استفاده از مدل هیدرولوژیکی کشاورزی (SWAP-EPIC) و سیستم اطلاعات جغرافیایی، آثار ترکیبی از عوامل اقلیم، گیاه، خاک و آبیاری در نظر گرفته شد. حوضه آبیاری Yingke به عنوان مطالعه موردی انتخاب شد و آزمایش در مقیاس مزرعه و منطقه در سال ۲۰۱۳-۲۰۱۲ انجام شد. نتایج نشان داد که بهره‌وری آب از نظر مکانی متفاوت بود. تبخیر و تعرق گیاه به طور میانگین ۵۸۹ میلی‌متر در هکتار و نفوذ عمقی ۱۲۵ میلی‌متر در هکتار برآورد شد. تجزیه و تحلیل شبیه‌سازی سناریوی هدف نشان داد که بهبود راندمان انتقال آب و برنامه‌ریزی آبیاری می‌تواند به کاهش ۳۰ درصد از نفوذ عمقی منجر شود و مصرف آب آبیاری را (بدون اثر منفی بر عملکرد محصولات) تا ۱۵ درصد کاهش دهد (Yang et al., 2015).

جیانگ و همکاران (۲۰۱۱) مدل SWAP را برای شبیه‌سازی حرکت آب و املاح در یک منطقه خشک کشور چین بر اساس داده‌های مزرعه‌ای واسنجی و صحت‌سنجی نمودند. نتایج نشان داد کم آبیاری موجب محتوای رطوبتی کمتر و تجمع نمک بیشتر خواهد شد. مقدار آب و شوری در تیمار تأمین ۸۰٪ نیاز آبی، برای لایه‌های زیر ۹۵ سانتیمتر خاک و در تیمار تأمین ۶۰٪ نیاز آبی، در لایه‌های زیر ۶۵

ارزیابی و واسنجی کردند. نتایج نشان داد تغییرات قابل توجهی در مقدار بهره‌وری آب برای گیاهان گندم، برنج و پنبه مشاهده نشد. دلیل اصلی کاهش مقادیر بهره‌وری آب میزان بالای تبخیر به‌ویژه برای برنج و نفوذ عمقی در مزارع تحت آبیاری عنوان شده است (Singh et al., 2006).

فرج‌زاده و همکاران (۱۳۸۴) در پژوهشی به تحلیل بحران آب در دشت نیشابور پرداختند. در این پژوهش چهار فرضیه برای ایجاد بحران در این دشت عنوان گردیده است. ۱- وقوع خشک‌سالی؛ در بررسی این فرضیه تأثیر بارزی از خشک‌سالی بر منابع آب مشاهده نگردید. ۲- کشت گیاهان با نیاز آبی زیاد؛ تأثیر مسلم و بارز نوع کشت بر منابع آبی دشت معلوم گردید. ۳- اضافه برداشت؛ مهم‌ترین عامل در شکل گرفتن و تشدید بحران آب در دشت نیشابور می‌باشد به طوری که از سال ۱۳۴۷ به بعد میزان بهره‌برداری سه برابر افزایش یافته است. ۴- نارسایی قوانین و مقررات مربوط به آب؛ عدم تدوین به‌موقع آیین‌نامه مصرف بهینه آب کشاورزی، وجود توافقات شخصی در قوانین و مقررات آبی و وجود مشکلات قانونی دیگر را می‌توان از عوامل زمینه‌ساز در بروز بحران آب در دشت نیشابور محسوب نمود.

وضعیت بیلان آب و املاح در اراضی رود دشت اصفهان با استفاده از مدل SWAP توسط دروگرز و همکاران (۲۰۰۰) و مورای‌راست و همکاران (۲۰۰۴) شبیه‌سازی گردید (Droogers et al., 2000; Murray-Rust et al., 2004). نتایج نشان داد که عملیات رایج آبیاری برای گیاه پنبه در منطقه یعنی آبیاری به اندازه ۹۰۰ میلی‌متر در طول فصل رشد با شوری آب ۴ دسی‌زیمنس برمتر می‌تواند عملکردی به میزان ۶۶٪ عملکرد پتانسیل را تولید نماید. چنانچه با کیفیت آب موجود از میزان حجم آب آبیاری کاسته شود، درصد کاهش عملکرد افزایش یافته و توصیه نمی‌گردد. اما چنانچه کیفیت آب به خاطر تغییر در مدیریت آبیاری اراضی بالادست رود دشت ارتقاء یابد و به اندازه ۱-۲ دسی‌زیمنس برمتر برسد، می‌توان انتظار داشت که عملکرد برابر با ۷۳-۷۷ درصد پتانسیل تولید گردد.

دروگرز و ترابی (۲۰۰۲) از مدل SWAP برای پیش‌بینی عملکرد چهار محصول عمده تحت کشت در حوضه آبریز زاینده‌رود اصفهان استفاده نمودند. در این پژوهش تأثیر مقادیر مختلف آب مصرفی، شوری آب آبیاری و بافت خاک بر عملکرد نسبی و کارایی مصرف آب محصولات برنج، یونجه، گندم و چغندر قند بررسی گردید. نتایج نشان داد

ارزیابی گردید. بدین منظور در کل محدوده مطالعاتی اطلاعات راجع به عملیات رایج آبیاری و تأثیر آن روی محصولات و داده‌های موردنیاز برای اجرای مدل SWAP در طی بررسی و پیمایش‌های مزرعه‌ای جمع‌آوری شد. مدل مذکور می‌تواند ترازنامه آب و نمک را در مقیاس مزرعه برای روش‌های مختلف مدیریت آب با در نظر گرفتن کمیت و کیفیت آب محاسبه نماید. داده‌های جمع‌آوری شده برای اجرای مدل SWAP عبارت از پروفیل رطوبتی خاک مزرعه تا عمق توسعه ریشه گیاهان در طی دوره رشد هر گیاه، داده‌های گیاهی (شامل تاریخ کاشت و برداشت، عمق توسعه ریشه گیاه در طول زمان رشد، شاخص سطح برگ برای هر گیاه، ارتفاع گیاه در طی دوره رشد)، داده‌های خاک برای لایه‌های مختلف (شامل بافت، درصد رطوبت در نقطه ظرفیت مزرعه و پژمردگی دائم، وزن مخصوص ظاهری، شدت نفوذپذیری آب در خاک، پارامترهای هیدرولیکی موردنیاز مدل)، داده‌های آبیاری (شامل تاریخ، زمان و مقدار همه نوبت‌های آبیاری، شوری آب آبیاری، تعداد آبیاری برای هر گیاه در طول دوره رشد شامل آبیاری قبل از کاشت) و داده‌های هواشناسی بودند. در سال زراعی ۸۸-۱۳۸۷ تعداد ۶ مزرعه در نقاط مختلف دشت به‌منظور جمع‌آوری اطلاعات موردنیاز برای واسنجی مدل SWAP با مشورت کارشناسان خبره محلی انتخاب گردید. در جدول ۱ نوع کشت، مساحت مزرعه و روش آبیاری در مزارع ذکر شده‌اند.

سانتیمتر خاک به‌شدت تحت تأثیر آبیاری قرار خواهند گرفت. به‌طور کلی عملکرد مدل برای مطالعه حرکت آب و املاح در سناریوهای مختلف و بررسی اثرات طولانی‌مدت عملیات آبیاری خوب ارزیابی شد (Jiang et al., 2011).

حسن‌لی و همکاران (۲۰۱۶) کارکرد سه مدل AquaCrop، SaltMed و SWAP را در شرایط کاربرد متناوب آب شور و شیرین بر میزان عملکرد ذرت علوفه‌ای در منطقه کرج مورد مقایسه قرار دادند. نتایج نشان داد مدل AquaCrop و SaltMed در برآورد میزان عملکرد ذرت در شرایط تنش شوری کارکرد بهتری از مدل AquaCrop داشتند (Hassanli et al., 2016).

از مجموع نتایج سوابق تحقیق این مطلب قابل نتیجه‌گیری است که مدل SWAP قابلیت مناسبی در ارزیابی و شبیه‌سازی مواردی مانند اجزای بیلان آب، رطوبت خاک، برنامه‌ریزی آبیاری، انتقال املاح، رشد محصول و بهره‌وری آب در مقیاس‌های مختلف مانند مزرعه، شبکه آبیاری و حوضه آبریز را در شرایط مختلف اقلیمی دارا می‌باشد.

مواد و روش‌ها

تأثیر بلندمدت عملیات آبیاری با استفاده از مدل شبیه‌سازی حرکت آب و املاح در خاک ۳ (SWAP, 2.07)

جدول ۱- نوع کشت، روش آبیاری و مساحت مزارع منتخب در سطح دشت نیشابور

نام مزرعه	کشت بهاره	کشت پاییزه	سطح زیرکشت (ha)	روش آبیاری	شوری آب (dS/m)
گلستان	ذرت علوفه‌ای	جو	۳۵	سنتریوت	۰/۶۶
فاروب رومان	ذرت علوفه‌ای	گندم	۱۰	جویچه‌ای	۰/۶۰
فیض آباد	ذرت علوفه‌ای	جو	۲۲	جویچه‌ای	۵/۱۳
معمدیه	چغندرقد	جو	۳/۵	جویچه‌ای	۲/۱۵
سلیمانی	پنبه	گندم	۱	کرتی	۳/۸۹
حاجی‌آباد	گوجه‌فرنگی	گندم	۰/۴	جوی و پشته	۰/۹۰

جدول ۲ نشان داده شده است. نتایج جدول ۲ نشان می‌دهد مقدار نفوذ عمقی از ۴۶٪ مربوط به گوجه‌فرنگی تا ۱۳٪ متعلق به ذرت علوفه‌ای متغیر است. مقادیر نفوذ عمقی بالا نشان از مدیریت ضعیف آبیاری در سطح این مزارع دارد. نسبت تبخیر از سطح خاک به تبخیر و تعرق واقعی در مزارع از ۸ تا ۲۷ درصد متغیر بوده است. کمترین مقدار مربوط به مزرعه ذرت علوفه‌ای است که در آن طول دوره رشد کوتاه بوده و به دلیل سرعت رشد بوته‌ها سطح خاک در مدت کوتاهی با پوشش گیاهی سایه‌انداز می‌شود. تبخیر بالا در مزرعه گوجه‌فرنگی به دلیل کشت روی پشته‌ها و جوی‌های عریض یک متری بوده است. در مزرعه پنبه تراکم بوته‌ها در کرت کم بود به طوری که بخش زیادی از سطح خاک در معرض تابش مستقیم آفتاب قرار می‌گرفت و موجب افزایش نسبت تبخیر می‌شد. برای افزایش کارایی مصرف آب گیاهان، بایستی با انجام عملیات مناسب زراعی و آبیاری بتوان مقدار تبخیر را به حداقل رساند.

انواع بهره‌وری آب در مزارع دشت نیشابور

بهره‌وری آب به صورت "مقدار محصول تولیدشده به ازای واحد آب مصرف شده" تعریف شده است (Molden et al., 2001) و با واحد کیلوگرم بر مترمکعب سنجیده می‌شود. چنانچه تعرق واقعی - که نقش اصلی در تولید ماده خشک را دارد - به‌عنوان آب مصرفی در نظر گرفته شود، آنگاه بهره‌وری آب (WPT) از تقسیم عملکرد محصول بر تعرق واقعی محاسبه می‌گردد. چنانچه تبخیر و تعرق واقعی، آب آبیاری یا تبخیر و تعرق به‌اضافه نفوذ عمقی به‌عنوان آب مصرفی در محاسبه بهره‌وری آب در نظر گرفته شوند، به ترتیب مقادیر WP_I ، WP_{ET} و WP_{ETQ} به دست می‌آیند. در جدول ۳ انواع بهره‌وری آب حاصل از شبیه‌سازی مدل SWAP برای ۶ محصول زراعی دشت نیشابور نشان داده شده است.

بهره‌وری آب بر مبنای تعرق واقعی (WP_T) از ۱۳/۲۱ برای گوجه‌فرنگی به ۰/۶۳ برای پنبه کاهش یافت. تبخیر از سطح خاک به دلیل آبیاری غرقابی موجب کاهش بهره‌وری آب از WP_T به WP_{ET} می‌گردد.

وزن مخصوص ظاهری خاک از روش گرفتن نمونه دست‌نخورده از خاک در رینگ‌هایی از جنس فلز برنج بدست آمد. در کلیه مزارع آزمایشی رطوبت خاک با استفاده از دستگاه رطوبت‌سنج از نوع TRIME-FM ساخت کشور آلمان در فاصله زمانی یک تا دو هفته اندازه‌گیری شد. از روش حلقه‌های مضاعف برای به دست آوردن معادله نفوذ آب در خاک استفاده به عمل آمد. از داده‌های روزانه ایستگاه هواشناسی نیشابور به‌عنوان معرف دشت استفاده به عمل آمد. مدل توانایی محاسبه تبخیر و تعرق گیاه مرجع (ETref) با پنج روش مختلف را دارد. در این تحقیق از روش پنمن - مانیتیت (Allen et al., 1994) به دلیل انطباق بیشتر آن با شرایط اقلیمی نیمه‌خشک منطقه استفاده شد. مدل SWAP در تعریف روابط بین پتانسیل فشاری آب خاک، مقدار رطوبت و ضریب هدایت هیدرولیکی غیراشباع از فرمول معلم - ونگنوختن (Maulem-Van, Genuchten) استفاده می‌کند. برای تخمین پارامترهای معادله معلم - ونگنوختن از نسخه ۶ مدل نرم‌افزاری RETC تهیه شده در آزمایشگاه شوری آمریکا استفاده گردید.

برای نگهداری سطح آب زیرزمینی در عمق قابل قبول و مجاز مدیریت‌ها و سناریوهای مختلفی قابل بررسی است. در این تحقیق بعد از واسنجی و صحت‌سنجی مدل، سناریوی اعمال کم آبیاری برای محصولات دشت جایگزین شرایط رایج گردید و اثرات آن توسط مدل شبیه‌سازی و مورد بررسی و تحلیل قرار گرفت.

نتایج و بحث

جزئیات بیان آب محصولات در مزارع دشت نیشابور

داده‌های مربوط به ۶ محصول گندم، جو، چغندر قند، پنبه، ذرت علوفه‌ای و گوجه‌فرنگی در ۶ مزرعه منتخب در سطح دشت نیشابور وارد مدل شبیه‌سازی SWAP گردید. پس از انجام مراحل واسنجی و صحت‌سنجی و کسب اطمینان از کارکرد صحیح مدل در شرایط دشت نیشابور، اجزای بیان آب که توسط مدل برای ۶ محصول شبیه‌سازی گردیده در

جدول ۲- جزئیات بیان آبی شبیه‌سازی شده در شرایط مدیریت آبیاری زارع

گوجه‌فرنگی	ذرت علوفه‌ای	چغندر قند	پنبه	جو	گندم	جزء بیان آبی
۱۹۷	۱	۳۵	۴۶	۲۵۱	۲۵۲	P (mm)، بارندگی
۲۲۸۰	۹۶۰	۱۰۵۰	۹۵۰	۶۸۰	۹۲۰	I (mm)، آبیاری
۶۶۳	۶۵۳	۵۴۱	۴۷۸	۲۸۹	۴۰۲	T _{act} (mm)، تعرق واقعی
۲۴۹	۵۷	۱۴۴	۱۷۷	۱۰۳	۱۲۹	E _{act} (mm)، تبخیر واقعی
۸۷۵۰۰	۵۸۰۰۰	۱۵۰۰۰	۳۰۰۰	۲۸۵۰	۶۰۰۰	Y _{act} (kg/ha)، عملکرد محصول
۱۰۴۲	۱۲۰	۴۱۲	۳۲۱	۳۰۲	۳۲۵	Q _{bot} (mm)، نفوذ عمقی
۹۱۲	۷۱۰	۶۸۵	۶۵۵	۳۹۲	۵۳۱	ET _{act} (mm)، تبخیر و تعرق واقعی
+۹۱	-۶	-۱۲	+۱۹	-۹	-۱۵	ΔW (mm)، ذخیره آب در خاک
-۰/۳۵	+۲/۶	-۱۲	-۷/۲	-۲/۱	-۰/۰۷	ΔS (ton/ha)، ذخیره نمک در خاک
۷۲۹	۸۷۸	۶۱۲	۵۵۶	۳۵۰	۵۵۶	T _{pot} (mm)، تعرق پتانسیل
۵۴۳	۲۶۷	۳۶۸	۶۱۷	۱۸۶	۲۲۹	E _{pot} (mm)، تبخیر پتانسیل
۱۴	۹	۱۱	۹	۴	۸	تعداد دفعات آبیاری

جدول ۳- انواع بهره‌وری آب حاصل از شبیه‌سازی مدل در شرایط مدیریت آبیاری زارع

گوجه‌فرنگی	ذرت علوفه‌ای	چغندر قند	پنبه	جو	گندم	نوع بهره‌وری آب (kg/m ³)
۰/۹۱	۰/۷۴	۰/۸۸	۰/۸۶	۰/۸۳	۰/۷۲	RT = T _{act} / T _{pot}
۱۳/۲۱	۸/۸۸	۲/۷۷	۰/۶۳	۰/۹۹	۱/۴۹	WP _T = Y _{act} / T _{act}
۹/۵۹	۸/۱۷	۲/۱۹	۰/۴۶	۰/۷۳	۱/۱۳	WP _{ET} = Y _{act} / ET _{act}
۳/۸۴	۶/۰۴	۱/۴۳	۰/۳۲	۰/۴۲	۰/۶۵	WP _I = Y _{act} / Irrig.
۴/۴۸	۶/۹۹	۱/۳۷	۰/۳۱	۰/۴۱	۰/۵۷	WP _{PETQ} = Y _{act} / (ET _{act} + Q _{bot})

مدیریت پایدار آب زیرزمینی

با عنایت به اینکه بیان منفی دشت نیشابور به‌طور عمده به دلیل اضافه برداشت از منابع آب زیرزمینی توسط چاه‌ها می‌باشد، لذا برای رسیدن به پایداری در بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی دشت نیشابور بایستی بتوان حجم برداشت آب از چاه‌ها را کاهش داد. از طرفی مصرف‌کننده اصلی منابع آب زیرزمینی (بیش از ۹۰٪) بخش کشاورزی است. لذا بایستی با روش‌های مختلف و به‌طور عمده با افزایش راندمان کاربرد آب در اراضی زراعی و باغات دشت، سالانه حداقل ۱۳۷ میلیون مترمکعب حجم آب مصرفی در این بخش را کاهش داد. برای دستیابی به مدیریت پایدار بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی دشت نیشابور، سناریوهای مختلفی قابل طرح و اعمال با استفاده از مدل شبیه‌سازی SWAP می‌باشند.

سناریوهای کم‌آبیاری

تحقیقات انجام‌شده در کشور حاکی از کارآمد بودن اعمال کم‌آبیاری به‌منظور استفاده صحیح‌تر از آب و کسب

کاهش بهره‌وری آب به دلیل تبخیر برای مزارع گندم، جو، چغندر قند، پنبه، ذرت علوفه‌ای و گوجه‌فرنگی به ترتیب به‌اندازه ۲۴، ۲۶، ۲۷، ۲۱، ۸ و ۲۵ درصد بود. این میزان کاهش در بهره‌وری آب به خاطر تبخیر از سطح خاک، نشان‌دهنده ضرورت استفاده از شیوه‌های کاهش تبخیر برای ارتقای بهره‌وری آب در مقیاس مزرعه دارد. بهره‌وری آب بر مبنای آب آبیاری (WP_I) از ۶/۰۴ کیلوگرم بر مترمکعب برای ذرت علوفه‌ای تا ۰/۳۲ برای پنبه متغیر بود. ملاحظه می‌شود که به دلیل مصرف زیاد آب آبیاری در مزرعه گوجه‌فرنگی، مقدار WP_I در این مزرعه نسبت به مزرعه ذرت علوفه‌ای کاهش یافته است. تأثیر نفوذ عمقی آب آبیاری (Q_{bot}) در کاهش بهره‌وری آب، از کاهش WP_{PETQ} در مقایسه با WP_{ET} مشخص می‌شود. مقدار WP_{PETQ} به‌اندازه ۵۰، ۴۴، ۳۳، ۳۷، ۱۴ و ۵۳ درصد به ترتیب برای مزارع گندم، جو، چغندر قند، پنبه، ذرت علوفه‌ای و گوجه‌فرنگی در مقایسه با WP_{ET} کاهش نشان داده است. این مطلب اثر معنی‌دار مقدار نفوذ عمقی بر بهره‌وری آب را نشان می‌دهد.

شبیه‌سازی مدل برای ۶ محصول عمده دشت نیشابور در جدول ۴ نشان داده شده است. اعمال مدیریت کم آبیاری در اراضی زراعی دشت نیشابور موجب کاهش مقدار آب آبیاری (۲۰ تا ۳۰ درصد)، کاهش نفوذ عمقی (۱۰ تا ۴۷ درصد) و افزایش بهره‌وری آب بر مبنای آب آبیاری، WP_1 (۴ تا ۳۳ درصد) می‌گردد. عملکرد محصولات پنبه، چغندر قند و ذرت علوفه‌ای به دلیل کاهش آب در دسترس گیاهان به ترتیب ۹، ۱۷ و ۸ درصد کاهش می‌یابد. این در حالی است که در مورد گندم، جو و گوجه‌فرنگی به دلیل بهبود شرایط تهویه، عملکرد اندکی افزایش هم داشته است. انجام کم آبیاری باعث افزایش تجمع نمک در عمق توسعه ریشه چغندر قند و پنبه گردید اما در سایر مزارع تغییرات ذخیره نمک تفاوتی با شرایط شاهد نشان نداد. در جدول ۵ تأثیر اعمال برنامه کم آبیاری بر کاهش برداشت آب از مخزن آب زیرزمینی به وسیله چاه‌ها نشان داده شده است. در این جدول حجم آب مصرفی در شرایط کم آبیاری بر اساس توصیه‌های تحقیقاتی بین ۲۰ تا ۳۰ درصد متوسط حجم آب برآورد شده برای محصولات در نقاط مختلف دشت در نظر گرفته شده است. نتایج جدول ۵ نشان می‌دهد که کم آبیاری برای ۶ محصول عمده در دشت نیشابور، موجب ۲۷٪ کاهش در برداشت از سفره آب زیرزمینی با تغییر عملکرد بین +۴ تا -۱۷ درصد می‌گردد. این مقدار برداشت کمتر در مقیاس دشت نیشابور معادل ۱۰۵ میلیون مترمکعب تخلیه کمتر سفره آب زیرزمینی است که حدود ۷۷٪ کسری مخزن را جبران می‌نماید. بدیهی است در صورت تعمیم نتایج به سایر محصولات، انتظار می‌رود که سناریوی کم آبیاری موجب ایجاد تعادل در بهره‌برداری از مخزن آب زیرزمینی دشت نیشابور گردد و تمامی کسری مخزن را جبران نماید.

سود بیشتر است. باید توجه داشت برای استفاده حداکثر از پتانسیل واحد حجم آب لازم است در مرحله اول از «دانش آبیاری» و در مرحله دوم از «عملیات صحیح آبیاری» بهره گرفت.

هدف اصلی از اجرای کم آبیاری، افزایش راندمان (بازده) کاربرد آب، چه از طریق کاهش میزان آب آبیاری در هر نوبت و یا حذف آبیاری‌هایی که کمترین بازدهی را دارند، می‌باشد (English et al, 1990). افزایش درآمد و سود خالص با کم آبیاری از سه عامل نشأت می‌گیرد: افزایش راندمان آبیاری، کاهش هزینه‌های آبیاری و کاهش هزینه‌های آب با صرفه‌جویی در آن. این کاهش هزینه‌ها شامل کاهش مصرف آب در واحد سطح، کاهش زمان کار موتورپمپ، کاهش نیروی کارگری، افزایش سرعت تکمیل آبیاری در واحد سطح و بهینه‌سازی هیدرومدول آبیاری می‌باشد.

بر اساس «جامعه آماری مستندات تحقیقاتی» کاهش تا ۳۰ درصد آب مصرفی گندم و جو، کاهش تا ۲۰ درصد آب مصرفی چغندر قند، کاهش تا ۳۰ درصد آب مصرفی یونجه، کاهش تا ۲۰ درصد آب مصرفی پنبه و کاهش تا ۲۵ درصد آب مصرفی ذرت پیشنهاد و توصیه می‌شود. از نگاهی دیگر، به استثنای برخی از محصولات حساس به کمبود آب، کاهش ۳۰-۲۰ درصد آب مصرفی اکثر محصولات کشاورزی، بدون بروز هیچ‌گونه مشکلی، قابل توصیه و کاربرد است (سپاسخواه و دیگران، ۱۳۸۵).

سناریوی یک: اعمال کم آبیاری در طول دوره رشد
در سناریوی یک، کم آبیاری به شیوه کاهش آب مصرفی برای گیاه در طول دوره رشد انجام شد. نتایج جزئیات بیان آبی و بهره‌وری آب در شرایط اعمال کم آبیاری حاصل از

جدول ۴- جزئیات بیلان آبی شبیه‌سازی شده برای محصولات مختلف- سناریو یک

گوجه‌فرنگی	ذرت علوفه‌ای	چغندر قند	پنبه	جو	گندم	جزء بیلان آبی / بهره‌وری آب
۱۹۷	۱	۳۵	۴۶	۲۵۱	۲۵۲	P (mm)، بارندگی
۱۸۲۵	۷۲۰	۸۳۰	۷۶۰	۴۷۰	۶۸۰	I (mm)، آبیاری
۶۲۷	۵۸۰	۵۰۳	۴۲۶	۳۵۰	۴۰۴	T _{act} (mm)، تعرق واقعی
۲۴۹	۵۷	۱۴۴	۱۷۷	۱۰۳	۱۲۹	E _{act} (mm)، تبخیر واقعی
۸۸۳۵۰	۵۳۲۵۰	۱۲۴۰۰	۲۷۴۰	۲۹۶۰	۶۰۲۰	Y _{sim} (kg/ha)، عملکرد شبیه‌سازی شده
۹۳۹	۶۵	۲۳۴	۱۶۹	۲۷۳	۲۹۱	Q _{bot} (mm)، نفوذ عمقی
۸۷۶	۶۳۷	۶۴۷	۶۱۳	۴۵۳	۵۳۳	ET _{act} (mm)، تبخیر و تعرق واقعی
۹۰	-۷	-۱۶	۲۴	-۱۱	-۱۵	ΔW (mm)، ذخیره آب در خاک
-۰/۵۰	+۲/۲	-۹/۰	-۰/۸۲	-۵/۷۲	-۰/۵	ΔS (ton/ha)، ذخیره نمک در خاک
۷۲۹	۸۷۷	۶۱۲	۵۵۶	۲۹۷	۵۵۶	T _{pot} (mm)، تعرق پتانسیل
۵۴۴	۲۶۷	۳۶۸	۶۱۷	۱۸۶	۲۲۹	E _{pot} (mm)، تبخیر پتانسیل
۱۴	۹	۱۱	۹	۴	۸	تعداد دفعات آبیاری
۱۴/۰۹	۹/۱۸	۲/۴۷	۰/۶۳	۰/۸۵	۱/۴۹	WP _T = Y _{sim} / T _{act}
۱۰/۰۹	۸/۳۶	۱/۹۲	۰/۴۵	۰/۶۵	۱/۱۳	WP _{ET} = Y _{sim} / ET _{act}
۴/۸۴	۷/۴۰	۱/۴۹	۰/۳۶	۰/۶۳	۰/۸۹	WP _I = Y _{sim} / Irrig
۴/۸۷	۷/۵۹	۱/۴۱	۰/۳۵	۰/۴۱	۰/۷۳	WP _{ETQ} = Y _{sim} / (ET _{act} + Q _{bot})

جدول ۵- مقایسه حجم آب مصرف‌شده در شرایط موجود و کم آبیاری (سناریوی یک)

گیاه	مساحت (ha)	آب آبیاری مصرفی (m ³ /ha)		آب زیرزمینی برداشت‌شده (MCM)	
		موجود	سناریو یک	موجود	سناریو یک
گندم	۱۶۵۰۰	۶۹۹۰	۴۹۰۰	۱۱۵,۳	۸۰,۹
جو	۲۳۰۰۰	۵۸۸۰	۴۱۰۰	۱۳۵,۲	۹۴,۳
پنبه	۵۰۰۰	۱۲۲۶۰	۹۸۰۰	۶۰,۷	۴۸,۵
چغندر قند	۱۴۰۰	۱۳۲۵۰	۱۰۶۰۰	۱۸,۶	۱۴,۸
ذرت علوفه‌ای	۲۹۰۰	۱۰۶۰۰	۸۰۰۰	۳۰,۷	۲۳,۲
گوجه‌فرنگی	۱۷۰۰	۱۹۱۲۰	۱۵۳۰۰	۳۲,۵	۲۶,۰
جمع / میانگین	۵۰۵۰۰	۷۷۹۰	۵۷۰۰	۳۹۳	۲۸۸

سناریوی دو: حذف یک نوبت آبیاری

یکی از شیوه‌های اعمال کم آبیاری، حذف نوبت یا نوبت‌های آبیاری است که گیاه در آن به تنش آبی حساسیت چندانی ندارد. گیاهان مختلف هر کدام یک یا چند مرحله بحرانی یا حساس به تنش آبی دارند و در سایر مراحل رشد، نسبت به تنش مقاومت داشته و یا از حساسیت کمتری برخوردارند. مراحل بحرانی و حساس رشد گیاهان زراعی اغلب شامل مراحل جوانه‌زنی، ساقه‌رفتن، ظهور سنبله، گل‌دهی، تشکیل غلاف، خوشه رفتن و پر شدن غلاف

می‌باشند (سپاسخواه و توکلی، ۱۳۸۵).

در شرایط محدودیت منابع آب، مدیر مزرعه یا شبکه آبیاری می‌تواند با آگاهی و اطلاع دقیق از مراحل رشد گیاه، نسبت به حذف یک یا چند نوبت از آبیاری‌هایی که تأثیر چندانی در رشد و عملکرد محصول ندارند، اقدام نماید. در یک برآورد کلی در روش‌های آبیاری سطحی، ارتفاع آب آبیاری مورد کاربرد توسط زارعین کشور به‌طور متوسط حدود ۸۰ تا ۱۰۰ میلی‌متر می‌باشد. لذا حذف حتی یک نوبت آبیاری در طی دوره رشد گیاه، در مقیاس یک شبکه آبیاری

شرایط حذف یک نوبت آبیاری حاصل از شبیه‌سازی مدل برای ۶ محصول عمده در جدول ۶ نشان داده شده است.

یا حوضه آبریز موجب صرفه‌جویی در حجم عظیمی آب خواهد شد. نتایج جزئیات بیلان آبی و بهره‌وری آب در

جدول ۶- جزئیات بیلان آبی شبیه‌سازی شده برای محصولات مختلف- سناریوی دو

جزء بیلان آبی / بهره‌وری آب	گندم	جو	پنبه	چغندر قند	ذرت علوفه‌ای	گوجه‌فرنگی
P (mm) بارندگی،	۲۵۲	۲۶۵	۴۶	۳۵	۱	۱۹۷
I (mm) آبیاری،	۸۱۰	۶۰۰	۸۵۰	۹۶۰	۸۶۵	۲۱۲۰
T _{act} (mm) تعرق واقعی،	۴۰۲	۲۶۷	۴۵۱	۵۳۶	۶۳۸	۶۶۶
E _{act} (mm) تبخیر واقعی،	۱۲۶	۹۸	۱۶۹	۱۴۲	۵۱	۲۴۶
Y _{sim} (kg/ha) عملکرد شبیه‌سازی شده،	۶۰۰۰	۲۵۹۰	۲۸۹۰	۱۴۰۰۰	۵۵۵۰۰	۸۸۳۵۰
Q _{bot} (mm) نفوذ عمقی،	۲۵۷	۲۹۱	۲۵۵	۳۵۵	۸۰	۹۲۰
ET _{act} (mm) تبخیر و تعرق واقعی،	۵۲۸	۳۶۵	۶۲۰	۶۷۸	۶۸۹	۹۱۲
ΔW (mm) ذخیره آب در خاک،	-۱۵	-۳۷	۲۰	-۳۹	-۶	۸۷
ΔS (ton/ha) ذخیره نمک در خاک،	-۰/۶۷	-۳/۷۳	-۶/۲	-۹/۴	+۲/۵۷	-۰/۰۳
T _{pot} (mm) تعرق پتانسیل،	۵۵۶	۳۶۱	۵۵۶	۶۱۲	۸۷۷	۷۲۹
E _{pot} (mm) تبخیر پتانسیل،	۲۲۹	۱۸۶	۶۱۷	۳۶۸	۲۶۷	۵۴۴
تعداد دفعات آبیاری	۷	۳	۸	۱۰	۸	۱۳
WP _T = Y _{sim} / T _{act}	۱/۴۹	۰/۹۷	۰/۶۴	۲/۶۰	۸/۷۰	۱۳/۲۷
WP _{ET} = Y _{sim} / ET _{act}	۱/۱۴	۰/۷۱	۰/۴۷	۲/۰۶	۸/۰۶	۹/۶۹
WP _I = Y _{sim} / Irrig	۰/۷۴	۰/۴۳	۰/۳۴	۱/۴۶	۶/۴۲	۴/۱۷
WP _{ETQ} = Y _{sim} / (ET _{act} + Q _{bot})	۰/۷۶	۰/۳۹	۰/۳۳	۱/۳۶	۷/۲۲	۴/۸۲

از مخزن آب زیرزمینی دشت نیشابور نشان داده شده است. در این جدول حجم آب مصرفی در یک نوبت آبیاری معادل متوسط حجم آب برآورد شده برای هر محصول تقسیم بر تعداد دفعات آبیاری در نظر گرفته شده است.

نتایج جدول ۷ نشان می‌دهد که حذف یک نوبت آبیاری برای ۶ محصول عمده در دشت نیشابور، موجب ۱۷/۵٪ کاهش در برداشت از سفره آب زیرزمینی با کاهش عملکرد بین ۴ تا ۱۰ درصد می‌گردد. این مقدار برداشت کمتر در مقیاس دشت نیشابور معادل ۶۹ میلیون مترمکعب تخلیه کمتر سفره آب زیرزمینی است که بدین ترتیب حدود ۵۰٪ کسری مخزن جبران می‌شود. در صورت تعمیم نتایج به سایر محصولات، انتظار می‌رود که سناریوی حذف یک نوبت آبیاری موجب جبران کسری مخزن آب زیرزمینی دشت نیشابور به میزان ۸۳ درصد گردد.

حذف یک نوبت آبیاری در مزارع مورد بررسی در دشت نیشابور موجب کاهش مقدار آب آبیاری (۷ تا ۱۲ درصد)، کاهش نفوذ عمقی (۴ تا ۳۳ درصد) و افزایش بهره‌وری آب بر مبنای آبیاری، WP_I (۲ تا ۱۲ درصد) می‌گردد. عملکرد محصولات جو، پنبه، چغندر قند و ذرت علوفه‌ای به دلیل کاهش آب مصرفی بین ۴ تا ۱۰ درصد کاهش می‌یابد. عملکرد گندم تغییری نداشته و در مورد گوجه‌فرنگی به دلیل بهبود شرایط تهویه، عملکرد اندکی افزایش هم داشته است. در خصوص تجمع نمک در عمق توسعه ریشه، در مزارع گندم، جو و ذرت علوفه‌ای تغییری مشاهده نمی‌گردد. در مزارع پنبه، چغندر قند و گوجه‌فرنگی به ترتیب ۱۴، ۲۲ و ۹۱ درصد از میزان نمک خارج شده از عمق توسعه ریشه کاسته می‌شود.

در جدول ۷ تأثیر انجام سناریو دو بر کاهش برداشت آب

جدول ۷- مقایسه حجم آب مصرف شده در شرایط موجود و حذف یک نوبت آبیاری (سناریوی دو)

گیاه	مساحت (ha)	آب آبیاری مصرفی (m ³ /ha)	آب زیرزمینی برداشت شده (MCM)
گندم	۱۶۵۰۰	۶۹۹۰	۵۵۹۰
جو	۲۳۰۰۰	۵۸۸۰	۴۴۱۰
پنبه	۵۰۰۰	۱۲۲۶۰	۱۱۲۴۰
چغندر قند	۱۴۰۰	۱۳۲۵۰	۱۲۱۴۰
ذرت علوفه‌ای	۲۹۰۰	۱۰۶۰۰	۹۴۲۰
گوجه‌فرنگی	۱۷۰۰	۱۹۱۲۰	۱۸۱۰۰
جمع / میانگین	۵۰۵۰۰	۷۷۹۰	۶۴۳۰
		موجود	موجود
		سناریو دو	سناریو دو
		۱۱۵,۳	۹۳,۲
		۱۳۵,۲	۱۰۱,۴
		۶۰,۷	۵۵,۶
		۱۸,۶	۱۷,۰
		۳۰,۷	۲۷,۳
		۳۲,۵	۳۰,۸
		۳۹۳	۳۲۴

رهیافت ترویجی

- مقادیر نفوذ عمقی ۴۶، ۳۹، ۳۵، ۳۴ و ۳۴ درصد به ترتیب مربوط به گوجه‌فرنگی، چغندر قند، گندم، پنبه و جو نشان از مدیریت ضعیف آبیاری و تلفات زیاد آب در سطح این مزارع دارد. نسبت تبخیر از سطح خاک به تبخیر و تعرق واقعی در مزارع از ۸ تا ۲۷ درصد متغیر بوده است. در دشت نیشابور که متوسط سطح آب زیرزمینی در عمق بیش از ۶۵ متری از سطح خاک است، نفوذ عمقی آب آبیاری نمی‌تواند در دوره زمانی کوتاه به آب زیرزمینی بپیوندد و موجب تغذیه آن شود. لذا نفوذ عمقی به هر مقدار و هر روشی که کاهش یابد، بر مقدار بهره‌وری آب در مزرعه افزوده می‌گردد.

- نسبت تعرق واقعی به تعرق پتانسیل (Tact / Tpot) نشان‌دهنده میزان تنش وارده به گیاه در طول مراحل رشد می‌باشد. این نسبت در شش مزرعه مورد بررسی بین ۰/۷۲ تا ۰/۹۱ تغییر نشان داد. یعنی در حال حاضر کشاورزان در دشت نیشابور بین ۱۰ تا ۳۰ درصد به صورت ناخواسته و برنامه‌ریزی نشده کم آبیاری انجام می‌دهند. لیکن چنانچه کم آبیاری به شکل برنامه‌ریزی شده و متناسب برای هر گیاه از ابتدا تا انتهای دوره رشد اعمال گردد، تحقیقات انجام شده در کشور حاکی از کارآمد بودن آن به منظور استفاده صحیح‌تر از آب و کسب سود بیشتر است.

- تبخیر از سطح خاک به دلیل آبیاری سطحی و سنتی غالب در منطقه موجب کاهش بهره‌وری آب می‌گردد. مقدار کاهش شاخص بهره‌وری آب به دلیل اثر تبخیر برای مزارع گندم، جو، چغندر قند، پنبه، ذرت علوفه‌ای و گوجه‌فرنگی به ترتیب به اندازه ۲۴، ۲۶، ۲۷، ۲۱، ۸ و ۲۵ درصد برآورد گردیده است. این میزان کاهش در بهره‌وری آب به خاطر تبخیر از سطح خاک، ضرورت استفاده از شیوه‌های کاهش

تبخیر همچون کاربرد انواع مالچ در سطح خاک و آبیاری با

انواع روش‌های زیرسطحی را نمایان تر می‌کند.

- اعمال مدیریت کم آبیاری برای ۶ محصول عمده در دشت نیشابور، موجب ۲۷٪ کاهش در برداشت از سفره آب زیرزمینی با تغییر عملکرد بین ۴+ تا ۱۷- درصد گردید. این مقدار برداشت کمتر معادل ۱۰۵ میلیون مترمکعب تخلیه کمتر سفره آب زیرزمینی و جبران ۷۷٪ کسری مخزن دشت نیشابور می‌باشد. برای اعمال کم آبیاری برنامه‌ریزی شده، زارعین بایستی قادر به کاربرد آب در روش‌های سطحی به میزان ۷۰ تا ۱۰۰ میلی‌متر در هر نوبت آبیاری باشند. لذا ضرورت دارد که امکان اندازه‌گیری حجم آب ورودی به مزرعه با استفاده از کنتور و یا سایر وسایل سنجش دبی آب نظیر انواع فلوم‌ها برای آن‌ها فراهم گردیده و آموزش‌های لازم را طی نمایند.

- حذف یک نوبت آبیاری برای ۶ محصول عمده در دشت نیشابور، موجب ۱۷,۵٪ کاهش در برداشت از سفره آب زیرزمینی با کاهش عملکرد بین ۴ تا ۱۰ درصد می‌گردد. این مقدار برداشت معادل ۶۹ میلیون مترمکعب تخلیه کمتر سفره آب زیرزمینی است که بدین ترتیب حدود ۵۰٪ کسری مخزن جبران می‌شود. در صورت تعمیم نتایج به سایر محصولات، انتظار می‌رود که سناریوی حذف یک نوبت آبیاری موجب جبران ۸۳ درصد کسری مخزن آب زیرزمینی دشت نیشابور گردد.

مراجع

اکبری، م.، دهقانی‌سانج، ح. و میرلطیفی، س. م. ۱۳۸۸. تأثیر برنامه‌ریزی آبیاری بر بهره‌وری آب در کشاورزی (مطالعه موردی در شبکه آبرار اصفهان). مجله آبیاری و

- Hassanli, M., Ebrahimian, H., Mohammadi, E., Rahimi, A.R., Shokouhi, A.H. 2016. Simulating maize yields when irrigating with saline water, using the AquaCrop, SALTMED, and SWAP models. *J. of Agricultural Water Management*, Vol. 176, 91-99.
- Jiang, J., Feng, S., Huo, Z., Zhao, Z., Jia, B. 2011. Application of the SWAP model to simulate water-salt transport under deficit irrigation with saline water. *Mathematical and Computer Modelling*, 54, 902-911.
- Ma, Y., Feng, S., Huo, Z. and Song, X. 2011. Application of the SWAP model to simulate the field water cycle under deficit irrigation in Beijing, China. *Mathematical and Computer Modelling*, 54, 1044-1052.
- Molden, D.J., Satkhtivadival, R. and Habib, Z., 2001. Basin level water use and productivity of water. Report 49. Sri Lanka: International Water Management Institute.
- Murray-Rust, H., Droogers, P., Heydari, N. (Eds). 2004. Water for future: Linking irrigation and water allocation in the Zayandeh Rud Basin, Iran. Sri Lanka: IWMI.
- Singh, R., Van Dam, J.C., Feddes, R.A. 2006. Water Productivity analysis of irrigated crops in Sirsa district. *India. Agricultural Water Management*, 82(253-278)
- Yang, X., Chen, Y., Pacenka, S., Wangsheng, G., Ma, L., Wang, G., Yan, P, Sui, P., Steenhuis, T. 2015. Effect of diversified crop rotations on groundwater levels and crop water productivity in the North China Plain. *Journal of Hydrology* 522 (2015) 428-438.
- زهکشی ایران، ۱ (۳). ص: ۶۹-۷۹
سپاسخواه، ع.، توکلی، ع. و موسوی، س. ف. ۱۳۸۵. اصول و کاربرد کم آبیاری. انتشارات کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران. تهران.
- شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی. ۱۳۹۷. سیمای آب استان خراسان رضوی. مرداد ۹۷ شماره ۲۵.
- فرج‌زاده، م.، ولایتی، س. و حسینی، آ. ۱۳۸۴. تحلیل بحران آب در نیشابور با رویکرد برنامه‌ریزی محیطی. کمیته تحقیقات شرکت سهامی آب منطقه‌ای خراسان. ۱۴۳ صفحه.
- Allen, R.G., M. Smith, A. Perier and L.S. Periera, 1994. An update for the definition of reference evapotranspiration. *ICID Bulletin*, 43(2): 1-34
- Droogers, P., Akbari, M., Torabi, M., Pazira, E. 2000. Exploring field scale salinity using simulation modeling, example for Rudasht area, Esfahan province, Iran. IAERI-IWMI Research Report 2.
- Droogers, P.; Kite, G., Murray-Rust, H. 2000. Use of simulation to evaluate irrigation performance including water productivity, risk and system analyses. *Irrigation Science*. 19:139-145.
- Droogers, P., Torabi, M. 2002. Field scale scenarios for water and salinity management by simulation modeling. IAERI-IWMI Research Report 12.
- English, M.J., Musick, J.T. and Murty, V.N. 1990. Deficit irrigation. PP. 631-663. *Irrigation Systems*, ASAE, st. Joseph, Michigan.

Effect of Dificit Irrigation on Sustainable Utilization of Groundwater Resources

A. Haghayeghi^۱ and M. Alihour^۲

Abstract

The access to fresh groundwater is playing an important role for sustainable crop production and secure livelihood of people living in the Neyshabour plain. Decline in groundwater table and aquifer fractional are the most important challenges in this plain. In the Neyshabour plain about 84 thousand hectares of agricultural land are cultivated annually and more than 90% of groundwater resources are used in the agricultural sector. In this paper, Soil-Water-Atmosphere-Plant (SWAP) model is calibrated and validated using measured field data from six different fields located in the Neyshabour plain. For this purpose, field information and other SWAP requirement data were collected in the six farm conditions. Calibrated and validated SWAP model is then used to quantify the effects of existing irrigation practices on water balance components and different water productivity indicators for wheat, barley, sugar beet, cotton, silage corn and tomato. Also, the effect of applying the two scenarios (1. 20-30% reduction of water consumption during growth period, 2. removal of irrigation intervals in the non-sensitive plant growth stage) was estimated on the reduction of exploiting of groundwater resources. The results showed that under the current irrigation practices, soil evaporation reduced WP_{ET} (Y_{act}/E_{Tact}) over WP_T (Y_{act}/T_{act}) by 24%, 26%, 27%, 21%, 8% and 15% for wheat, barley, sugar beet, cotton, silage corn and tomato, respectively. The reduction in WP_{ETQ} ($Y_{act}/E_{Tact}+q_{bot}$) over WP_{ET} because of deep percolation was even higher and remains 50%, 44%, 33%, 37%, 14% and 53% for wheat, barley, sugar beet, cotton, silage corn and tomato, respectively. The substantial differences in WP values emphasized the need to control non-beneficial soil evaporation and deep percolation losses, and change traditional irrigation system by a more efficient one. Applying deficit irrigation management for the six major crops in the Neyshabour plain resulted in a 27% reduction in the extracting of groundwater aquifer with a change in yield +4 to -17%. This less withdrawal amount is equal 105 million cubic meters of exploiting of groundwater and compensates for 77% of the reservoir fraction in the Neyshabour plain. Removing an irrigation turn for six major crops in the Neyshabour plain causes a 17.5% reduction in exploiting from groundwater aquifer with a decrease in yield from 4 to 10 percent. This amount of discharge is equivalent to saving 69 million cubic meters of groundwater, thus compensating about 50% of the groundwater aquifer fraction.

Key words: Deficit Irrigation, Sustainable Utilization, Groundwater, Neyshabour Plain

¹ Research Assistant Professor of Agricultural Engineering Research Department, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Mashhad, Iran. (*Corresponding Author: Sahn51@yahoo.com.)

² Research Assistant Professor of Irrigation and Nutrition Research Department, Palm and Tropical Fruits Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Ahvaz, Iran.

Received: 30 April 2019

Accepted: 17 Aug 2019