نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۷، شماره ۳، مرداد – شهریور ۱۳۹۲، ص. ۵۰۵-۴۹۵

Journal of Water and Soil
Vol. 27, No.3, Jul.-Agu. 2013, p. 495-505

کاربرد مدل WEAP در ارزیابی تأثیر مدیریت مصرف آب آبیاری بر منابع آب دشت نیشابور

سمیه کرمانشاهی[1*]- کامران داوری[2]- سید مجید هاشمی نیا[3]- علیرضا فریدحسینی[4]- حسین انصاری[5]

تاریخ دریافت:۱۳۹۱/۷/۲
تاریخ پذیرش:۱۳۹۱/۱۲/۶

چکیده

لزوم کاهش مصرف آب در بخش کشاورزی به عنوان بزرگ‌ترین مصرف کننده آب در دنیا، به منظور پایداری منابع آب بر کسی پوشیده نیست. با اقداماتی از قبیل اصلاح الگوی کشت و کاهش سطح زیر کشت و ... می‌توان به این هدف دست یافت. در این مطالعه وضعیت منابع آب و تقاضاهای آبیاری دشت نیشابور با استفاده از مدل WEAP مورد بررسی قرار گرفت. برای ارزیابی اثرات راهبردهای مذکور، سناریوهایی با عناوین تغییر الگوی کشت، کاهش سطح زیر کشت و سناریوی ترکیبی (ترکیب این دو راهکار) مطرح شد و سپس برای یک دوره ۲۰ ساله شبیه‌سازی انجام گرفت. نتایج نشان دادند که با اعمال این سناریوها، میانگین سالانه نیاز آبیاری به ترتیب حدود ۹ ، ۱۰ و ۱۸ درصد کمتر خواهد شد، و متعاقباً از رقم میانگین کسری سالانه مخزن به ترتیب ۱۳ ، ۸ و ۱۸ درصد کاسته می‌شود؛ به بیانی دیگر این راهبردها می‌توانند نقش بسزایی در کاهش تقاضای آب کشاورزی، و در نتیجه کاهش برداشت از منابع آب منطقه داشته باشند.

واژه‌های کلیدی: الگوی کشت، کاهش سطح زیر کشت، دشت نیشابور، مدل WEAP

مقدمه

در حوضه‌هایی که مصرف عمده آب آن برای آبیاری است، مدیریت پایدار منابع آب وظیفه دارد هم‌زمان دو هدف را مد نظر قرار دهد: کشاورزی آبی پایدار برای تضمین امنیت غذایی و حفاظت از محیط زیست. لازم است که بین این دو هدف تعاملی پایدار در حال و آینده برقرار گردد، و در عین حال تعارضات بالقوه بین این دو هدف با کمک روش‌هایی مانند به کارگیری شیوه‌های نوین آبیاری، جلوگیری از اتلاف آب در مسیرهای انتقال، تغییر الگوی کشت به سوی محصولات کم مصرف، توسعه کشت گلخانه‌ای و ... تخفیف داده شود (۹).

حوضه آبریز نیشابور یکی از حوضه‌هایی است که با بحران کمبود آب دست به گریبان است. به طور کلی این منطقه از نظر هیدرولوژیکی جزو مناطق نیمه خشک سرد محسوب شده و میزان بارش سالانه و منابع تأمین کننده نیازهای آبی آن محدود می‌باشند. به دلیل کم بودن میزان جریانات سطحی در منطقه، استحصال آب عمدتاً از منابع زیرزمینی صورت می‌گیرد، لذا منابع آب‌های زیرزمینی در این منطقه از اهمیت بیشتری برخوردار است. این منابع اغلب دارای بیلان منفی می‌باشند، به طوری که از سال ۱۳۶۵ به بعد وزارت نیرو این دشت را به عنوان دشت ممنوعه اعلام کرده است. تأثیرپذیری و حساسیت منابع محدود آب منطقه ایجاب می‌نماید که با جامع‌نگری و لحاظ کلیه مؤلفه‌های تأثیرگذار و تأثیرپذیر، توسعه پایدار این سیستم‌ها تأمین گردد (۱).

برای مدیریت مناسب رویدادهای هیدرولوژیکی ابتدا لازم است درک درستی از رفتار طبیعی سیستم‌های هیدرولوژی وجود داشته باشد. در دهه‌های گذشته با رشد قابلیت‌های نرم‌افزاری، امکان توسعه مدل‌های رایانه‌ای فراهم شده است که به نوبه خود نقش مؤثری در شبیه‌سازی سیستم‌های منابع آب و کمک به تصمیم‌گیری مدیران این عرصه داشته است (۶). رسالت این مدل‌ها آگاه ساختن تصمیم گیران از عواقب اجرای سیاست‌های مدیریتی مختلف است. مدل برنامه‌ریزی و ارزیابی منابع آب[6] (WEAP) یکی از قدرتمندترین مدل‌های تصمیم‌یار[7] است که تلاش می‌کند هم‌زمان به هیدرولوژی حوضه آبریز و مدیریت تخصیص آب موجود میان تقاضاهای مختلف بپردازد. به دلیل جامعیت مدل در لحاظ این دو جزء و تحلیل سیاست‌های اجرایی ممکن در سطح حوضه، هر روز به کاربران این مدل اضافه

۱، ۲، ۳، ۴ و ۵- به ترتیب دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشیار، مربی، استادیار و دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
(*- نویسنده مسئول: Email: kermanshahisomayyeh@gmail.com)

6- Water Evaluation and Planning System (WEAP)
7- Decision Support System (DSS)

می‌شود. موتیگا و همکاران (۱۰) طی پژوهشی در حوضه اواسونیرو در کنیا برای به حداقل رساندن تعارضات بر سر مصرف آب در حوضه، هماهنگی بین عرضه و تقاضای منابع آب را توسط مدل WEAP مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها نتیجه گرفتند که بیشترین مقدار تقاضا، و در نتیجه دلیل ایجاد کشمکش‌ها مربوط به بخش کشاورزی بوده و پیشنهاد کردند برای حل این مشکل کشت دیم در منطقه توسعه یابد. در حوضه رودخانه ساکرامنتو در ایالت کالیفرنیا نیز مدل WEAP توسط پورکی و همکاران (۱۱) برای بررسی اثرات مدیریت آب کشاورزی تحت شرایط مختلف تغییر اقلیم در آینده به کار گرفته شد. نتایج نشان دادند که اقدامات مدیریتی اثر مطلوبی بر منابع آب خواهد داشت. الفرا و همکاران (۸) در اردن برای ارزیابی سناریوهایی مانند افزایش استفاده از فاضلاب تصفیه شده برای آبیاری و تغییر اقلیم مدل WEAP را به کار گرفتند.

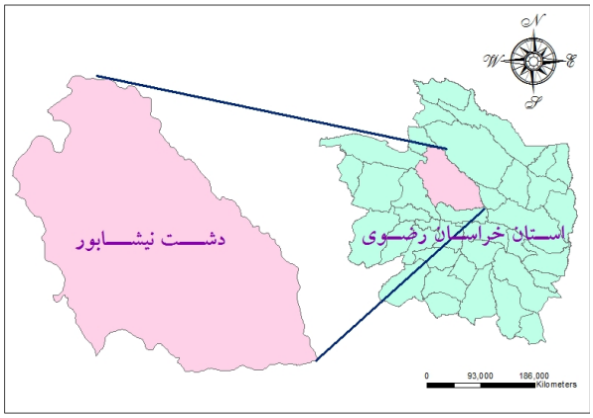
در ایران نیز یزدان پناه و همکاران (۶) در جهت برنامه ریزی و مدیریت منابع آب حوضه ازغند به روش استاندارد در محیط مدل‌سازی WEAP سناریوهای مختلفی را طی یک دوره ۲۰ ساله اعمال کرده و تأثیر آن را بر وضعیت عرضه و تقاضا در منطقه مورد مطالعه قرار دادند. سعیدی نیا و همکاران (۲) نیز با انجام مدل‌سازی ماهانه منابع آب حوضه بهشت آباد با استفاده از WEAP ، اثرات طرح‌های انتقال آب بین حوضه ای بر منابع آب سطحی حوضه را بررسی کردند. در سال ۱۳۸۹ گازرانی (۵) در تحقیقی، قسمتی از بالادست حوضه رودخانه کشف رود را مورد بررسی قرار داده و با در نظر گرفتن پروژه‌ها و اقدامات احتمالی مؤثر بر وضعیت منابع آبی منطقه، پیشنهادات و راهکارهایی را در قالب سناریوهای مختلف برای یک دوره میان مدت ۱۵ ساله ارائه دادند. کرمانشاهی و همکاران (۴) برای ارزیابی تأثیر تغییرات راندمان آبیاری بر منابع آب حوضه آبریز نیشابور از این مدل استفاده کردند و نشان دادند که با افزایش راندمان آبیاری به شرط عدم افزایش سطح زیر کشت، تقاضای بخش کشاورزی کمتر شده و در نتیجه کسری مخزن آبخوان و افت سطح آب زیرزمینی نیز کاهش می‌یابد.

در این مطالعه سعی شده است تا شیوه‌های مختلف کاهش مصرف آب آبیاری، با تکیه بر توجه به معیشت کشاورزان بیان گردیده و تأثیر این اقدامات بر منابع آب دشت نیشابور با استفاده از مدل WEAP مورد ارزیابی قرار گیرد. در تحقیق‌های پیشین تنها به ارائه روشهایی جهت کاهش مصرف آب پرداخته شده بود، ولی پژوهش حاضر این راهکارها را با تأکید بر وضعیت اقتصادی کشاورزان بررسی کرده است. بدیهی است که چنین راهبردهایی در عین حال که واقع بینانه‌تر و عملی‌تر می‌باشند، از شانس اقبال بیشتری در بین کشاورزان و نیز مدیران بخش آب برخوردار هستند.

مواد و روش‌ها

مراحل کاربرد مدل WEAP به این صورت است که ابتدا ابعاد مکانی و زمانی مطالعه مشخص می‌گردد. سپس اطلاعات مورد نیاز را برای سال پایه و سال‌های واسنجی وارد کرده و مدل کالیبره می‌شود. پس از کالیبراسیون نوبت به طرح و ایجاد سناریوهای مختلفی در مورد شرایط آینده در زمینه سیاست‌ها، هزینه‌ها، آب و هوا و مؤلفه-های مؤثر بر تقاضا و ... می‌باشد. در آخر بر اساس این سناریوها شبیه‌سازی انجام می‌شود و هر کدام از آن‌ها مورد تحلیل قرار می‌گیرد.

دشت نیشابور به عنوان منطقه‌ای که از لحاظ منابع آب زیرزمینی دچار بحران است، برای این مطالعه انتخاب شد. این محدوده جزئی از حوضه آبریز کال شور نیشابور می‌باشد که در دامنه جنوبی ارتفاعات بینالود و در شمال شرق کویر مرکزی واقع شده است. وسعت کل حوضه ۷۳۰۰ کیلومتر مربع است که ۳۹۰۰ کیلومتر مربع آن را دشت و بقیه را ارتفاعات تشکیل می‌دهند. آب و هوای این منطقه بری، نیمه خشک و خشک می‌باشد (۳). موقعیت دشت نیشابور در استان خراسان رضوی در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱- موقعیت دشت نیشابور در استان خراسان رضوی

این منطقه دارای ۵ ایستگاه آب‌سنجی می‌باشد که یکی از آن‌ها در انتهای دشت و بقیه در ارتفاعات بینالود واقع شده‌اند. به دلیل این که رواناب سطحی دشت رخ (واقع در جنوب دشت نیشابور) به این محدوده وارد می‌شود و اطلاعاتی از میزان رواناب ورودی در دست نیست، در این مطالعه مجموع دشت‌های نیشابور و رخ مورد مطالعه قرار گرفته و به عنوان حوضه معرفی شدند.

در ابتدا، این حوضه توسط نرم افزارهای SWAT و ARCGIS بر اساس توپوگرافی حوضه به تعداد ۱۹ زیرحوضه تقسیم شده و سپس هر زیرحوضه به سه نوع کاربری کشت آبی، کشت دیم و غیر کشت تفکیک شدند و سپس اطلاعات مختلف مورد نیاز مدل مانند داده‌های اقلیمی و پوشش زمین برای هر کدام از این زیرحوضه‌ها به طور جداگانه تعیین گردید. شکل ۲ این زیرحوضه‌ها و موقعیت ایستگاه‌های آب‌سنجی را در حوضه نشان می‌دهد. برای واسنجی مدل سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۵ و برای اعتبارسنجی آن سال‌های بین ۲۰۰۶ تا ۲۰۰۹ انتخاب شدند و برای شبیه‌سازی مدل یک دوره بلند مدت ۲۰ ساله از سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۹ در نظر گرفته شد.

شرایط موجود[1] (در این تحقیق سال ۲۰۰۰) اولین سال دوره واسنجی می‌باشد که سعی می‌گردد، سالی انتخاب شود که اطلاعات مناسب و دقیقی وجود داشته باشد. این داده‌ها شامل اطلاعات آماری مربوط به هواشناسی، جریان‌های سطحی، آب‌های زیرزمینی، پوشش‌های مختلف زمین، تقاضاهای مربوط به شرب، کشاورزی و صنعت و ... می‌باشد. در مدل WEAP برای شبیه‌سازی فرآیندهای هیدرولوژیکی مانند تبخیر–تعرق، رواناب، نفوذ و تقاضاهای آبیاری روش‌های مختلفی وجود دارد. در این مطالعه از روش شبیه‌سازی هیدرولوژیکی موجود در مدل به نام روش بارش–رواناب فائو[2] استفاده شد. این روش راهی ساده برای محاسبه رواناب به صورت تفاوت میان باران و تبخیر و تعرق گیاه است. قسمتی از بارش در روند تبخیر و تعرق قرار نمی‌گیرد و از طریق تأثیر پارامتر بارش مؤثر تبدیل به رواناب برای تأمین دبی پایه می‌شود. مقدار تبخیر و تعرق ابتدا با وارد کردن تبخیر و تعرق گیاه مرجع (ET_0) برآورد می‌شود، سپس ضریب گیاهی (Kc) برای هر نوع کاربری مشخص شده و وارد مدل می‌گردد تا با ضرب کردن آن در تبخیر و تعرق گیاه مرجع، مقدار آب مصرفی هر نوع پوشش گیاهی محاسبه شود (۱۳). در انتها با توجه به پارامتر درصد نفوذ به آبخوان، از رواناب باقی‌مانده در هر زیرحوضه، درصدی تبدیل به رواناب سطحی شده و در رودخانه‌ها جاری می‌گردد و درصدی نیز به آب‌های زیرزمینی می‌پیوندد.

1- Current Accounts
2- FAO Rainfall-Runoff Method

واسنجی و اعتبارسنجی مدل

واسنجی مدل فرآیندی است که طی آن تعدادی از پارامترهای ورودی آنقدر تغییر داده می‌شوند تا مقادیر شبیه‌سازی شده با مقادیر اندازه گیری شده انطباق پیدا کنند. در این تحقیق پارامترهای درصد نفوذ به آبخوان و ضریب گیاهی کاربری‌های غیر کشت مورد واسنجی قرار گرفتند. در طول این فرآیند تراز شبیه‌سازی شده آبخوان نیشابور با مقادیر مشاهده شده آن و هم‌زمان جریان شبیه‌سازی شده توسط مدل با جریان مشاهده شده در ایستگاه‌های آب‌سنجی مورد مقایسه قرار گرفتند. برای ارزیابی کمّی نتایج حاصل از واسنجی و اعتبارسنجی مدل از سه نمایه ضریب راندمان نش– ساتکلیف[3] (E_f)، ضریب تعیین[4] (R^2) و جذر میانگین مربعات خطا[5] (RMSE) استفاده شد، که روابط مربوط به هر کدام از این نمایه‌ها به صورت زیر می‌باشد:

الف) ضریب راندمان نش– ساتکلیف (E_f):

$$E_f = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(O_i - \overline{O})^2} \qquad (۱)$$

ب) ضریب تعیین (R^2) :

$$R^2 = \frac{[\sum_{i=1}^{n}(O_i - \overline{O}) \times (P_i - \overline{O})]^2}{[\frac{n \times \sum_{i=1}^{n} O_i^2 - [\sum_{i=1}^{n} O_i]^2}{n-1}] \times [\frac{n \times \sum_{i=1}^{n} P_i^2 - [\sum_{i=1}^{n} P_i]^2}{n-1}]} \qquad (۲)$$

ج) جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) :

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(O_i - P_i)^2}{n}} \qquad (۳)$$

در این معادلات O_i و P_i به ترتیب مقادیر مشاهده شده و پیش بینی شده، $\overline{O}$ میانگین مقادیر مشاهداتی و n تعداد داده‌ها می‌باشند (۷).

تدوین سناریوها

برای بررسی تأثیر تغییرات مصارف آبیاری بر منابع آب دشت نیشابور، چهار سناریو تعریف شد: سناریوی مرجع (S1)، سناریوی تغییر الگوی کشت (S2)، سناریوی کاهش سطح زیر کشت اراضی آبی(S3) و سناریوی ترکیبی (S4).

سناریوی مرجع (S1)

سناریوی مرجع[6] که پایه همه سناریوهای دیگر است، بیانگر ادامه اوضاع موجود، بدون تغییر اساسی در سیاست‌های مدیریتی در آینده می‌باشد.

3- Nash-Sutcliffe model efficiency coefficient
4- The Coefficient of Determination
5- Root Mean Square Error
6- Reference Scenario

شکل ۲- موقعیت زیرحوضه‌ها و ایستگاه‌های آب‌سنجی در حوضه

جدول ۱- سطح زیر کشت کنونی و پیشنهادی برای محدوده مطالعاتی نیشابور

نام محصول	سطح زیر کشت کنونی (هکتار)	سطح زیر کشت پیشنهادی (هکتار)	درصد تغییرات (٪)	توضیحات
گندم	۵۳۰۵۰	۵۶۰۰۰	+۶	افزایش سطح به دلیل تناسب فصل کشت با فصل بارندگی منطقه
جو	۲۹۹۵۰	۳۲۶۷۰	+۹	افزایش سطح به دلیل تناسب فصل کشت با فصل بارندگی منطقه
کلزا	۱۰۰	۴۶۰۰	+۴۵۰۰	افزایش سطح به دلیل تناسب فصل کشت با فصل بارندگی منطقه
چغندر	۷۷۵۰	۷۷۵۰	۰	سطح ثابت به دلیل وجود کارخانه قند نیشابور
یونجه	۴۶۰۰	۱۶۵۰	-۶۴	کاهش سطح به دلیل پایین بودن درآمد خالص یک متر مکعب آب
ذرت	۳۶۵۰	۶۰۸۰	+۶۷	افزایش سطح به دلیل بالا بودن درآمد خالص یک متر مکعب آب
پنبه	۵۱۰۰	۰	-۱۰۰	حذف به دلیل پایین بودن درآمد خالص یک متر مکعب آب
هندوانه	۹۳۰۰	۰	-۱۰۰	حذف به دلیل پایین بودن درآمد خالص یک متر مکعب آب
سیب زمینی	۳۵۰	۱۷۰۰	+۳۸۶	افزایش سطح به دلیل بالا بودن درآمد خالص یک متر مکعب آب
پیاز	۲۶۰	۱۹۱۰	+۶۳۵	افزایش سطح به دلیل بالا بودن درآمد خالص یک متر مکعب آب
گوجه فرنگی	۲۴۲۰	۰	-۱۰۰	حذف به دلیل پایین بودن درآمد خالص یک متر مکعب آب
زیره	۶۰۰	۲۴۹۰	+۳۱۵	افزایش سطح به دلیل بالا بودن درآمد خالص یک متر مکعب آب
زعفران	۱۳۶۵	۳۶۴۵	+۱۶۷	افزایش سطح به دلیل بالا بودن درآمد خالص یک متر مکعب آب
جمع	۱۱۸۴۹۵	۱۱۸۴۹۵	-	-

سناریوی تغییر الگوی کشت (S2)

در این سناریو فرض بر این است که در سال‌های آینده بدون افزایش یا کاهش سطح زیر کشت الگوی کشت به سمت محصولات کم مصرف تغییر خواهد کرد. در این تحقیق برای تعیین یک الگوی کشت مناسب ضوابطی چند مد نظر قرار گرفت، از آن جمله می‌توان به تطابق فصل رشد محصول با فصل بارندگی منطقه اشاره کرد که این موضوع باعث می‌شود، گیاه بتواند بخشی از نیاز خود را با استفاده از نزولات آسمانی تأمین کند. این ملاک در مورد گندم و جو، که محصولات غالب منطقه هستند، صدق می‌کند.

معیار دوم تعیین الگوی کشت، میزان درآمد خالص به ازای یک متر مکعب آب مصرفی می‌باشد. بر اساس این ملاک به ترتیب زعفران، ذرت و پیاز بیشترین و جو، پنبه و گندم به ترتیب کم‌ترین مقدار درآمد خالص به ازای هر متر مکعب آب مصرفی را داشتند. سومین معیار، نیاز بخش صنعت منطقه به این محصولات می‌باشد. بر اساس ضوابط بیان شده الگوی کشتی به قرار جدول ۱ تهیه گردید. سطح زیر کشت باغات میوه (که جزء محصولات دائمی هستند) تغییر داده نشد، لذا در این جدول به این محصولات اشاره‌ای نشده است.

سناریوی کاهش سطح زیر کشت فاریاب و در عوض افزایش تعداد صنایع در منطقه (S3)

با توجه به این که بخش کشاورزی بزرگ‌ترین مصرف کننده آب در منطقه است، لذا با کاهش مصرف در این بخش می‌توان تا حد زیادی به تعادل بخشی بین سیستم عرضه و تقاضای آب امیدوار بود. هم‌زمان، افزایش سرمایه‌گذاری در بخش صنعت و انتقال فعالان بخش کشاورزی به این بخش، راهی برای تضمین ثبات اقتصادی خانوارهای این منطقه می‌باشد. در این سناریو فرض می‌شود سالانه یک درصد از سطح زیر کشت اراضی آبی کاهش می‌یابد و در عوض، حجم کاهش یافته تقاضای کشاورزی، در اختیار بخش صنعت قرار داده می‌شود. در این صورت با وجود این که مقدار کل تقاضا تغییر زیادی نمی‌کند، ولی به دلیل این که آب بازگشتی از صنایع نسبت به کشاورزی بیشتر است، می‌توان گفت که به طور کلی در مصرف آب صرفه جویی خواهد شد. میانگین مصرف آب هر هکتار از اراضی کشاورزی در دشت نیشابور سالانه در حدود ۱۲۵۹۰ متر مکعب و میانگین مصرف سالانه هر واحد صنعتی حدود ۱۰۳۵۸ متر مکعب است، این بدین معنی است که مصرف سالانه آب یک واحد صنعتی برابر با مصرف آب ۰/۸۲ هکتار زمین کشاورزی آبی در سال می‌باشد. با یک نسبت ساده می‌توان میزان افزایش مصرف در بخش صنعتی را در هر سال محاسبه نمود.

سناریوی ترکیبی (S4) : ترکیب سناریوهای (S2) و (S3)

این سناریو ترکیبی از سناریوهای تغییر الگوی کشت و کاهش سطح زیر کشت اراضی آبی می‌باشد و به اصطلاح خصوصیات خود را از این دو سناریو وام گرفته است. هدف از طرح این سناریو ارزیابی نتایج به کارگیری هم‌زمان اقدامات مذکور می‌باشد.

نتایج و بحث

همان گونه که قبلاً اشاره شد واسنجی مدل با استفاده از مشاهدات جریان در ایستگاه‌های آب‌سنجی و نیز تراز آب زیرزمینی انجام شد. نمودار تغییرات جریان شبیه‌سازی شده و مشاهداتی در محل ایستگاه‌های آب‌سنجی در شکل ۳ نشان داده شده‌اند.

همان طور که در این نمودارها مشخص است، رفتار حوضه‌ها در واقعیت با ملایمت بیشتری همراه است، یعنی هر جا بارندگی رخ داده است مدل پس از کسر مقدار مربوط به تبخیر و تعرق و نفوذ به آبخوان، مابقی بارش را مستقیماً به رواناب تبدیل کرده است، ولی در واقعیت ممکن است این‌گونه نباشد و مقداری آب قبل از ورود به رودخانه در چالاب‌ها و گودی‌های زمین ذخیره گشته و جریان پیدا نکند. در نتیجه نمودارهای مربوط به جریان مشاهده شده پستی و بلندی ملایم‌تری نسبت به نمودارهای جریان شبیه‌سازی شده دارند. الگوی رواناب در ایستگاه حسین آباد جنگل متفاوت از ایستگاه‌های دیگر است؛ به شکلی که تنها در مواقع سیلاب‌های شدید در این نقطه جریان آب وجود دارد و در بقیه موارد به دلیل برداشت آب در نقاط مختلف رودخانه، تبخیر و نفوذ، عملاً روانابی به این ایستگاه نمی‌رسد.

در شکل ۴ نمودار تراز شبیه‌سازی و مشاهده شده آبخوان نیشابور برای سال‌های واسنجی و اعتبارسنجی به تصویر کشیده شده است. بر اساس این نمودار تراز شبیه‌سازی شده آبخوان در سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۴ انطباق نسبتاً خوبی با مقادیر مشاهده‌ای داشته است، ولی از سال ۲۰۰۴ به بعد سطح آب به شدت بالا رفته است که به دلیل مقادیر زیاد بارش در ماه‌های ژانویه ۲۰۰۴ و ژانویه و مارس ۲۰۰۵ می‌باشد. در سال‌های بعد از ۲۰۰۵ سطح آب با نرخ ملایمی در حال پایین افتادن است تا سال ۲۰۰۸ که تبخیر و تعرق زیاد و بارش کم باعث بالا رفتن تقاضای آب و افت شدید سطح آب زیرزمینی می‌شود.

مقادیر نمایه‌های مربوط به ارزیابی کمی نتایج واسنجی و اعتبارسنجی مدل برای هر زیرحوضه در جدول ۲ آورده شده است. با توجه به این جدول می‌توان گفت انطباق بین مقادیر محاسبه شده و مشاهداتی در حد مطلوبی بوده و استفاده از این مدل جهت شبیه‌سازی و ارزیابی سناریوهای مختلف بلا مانع است.

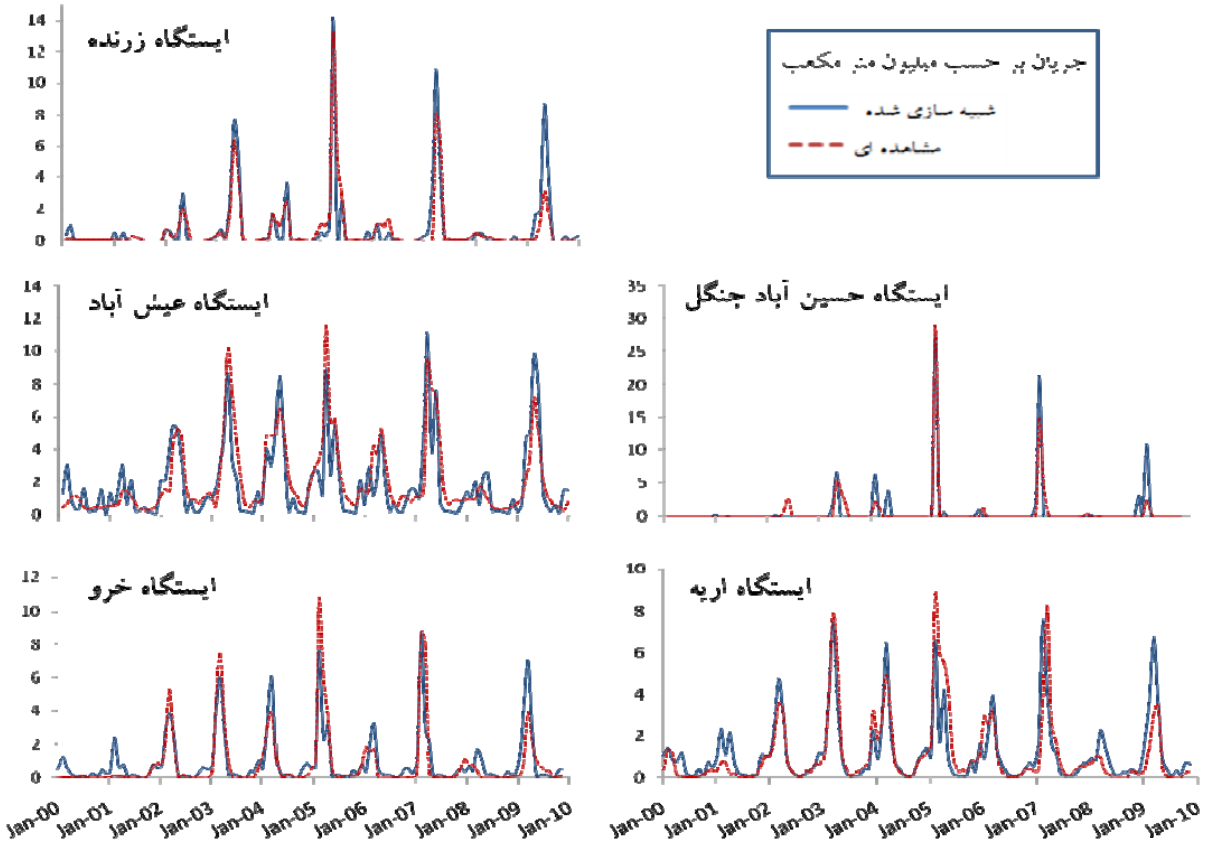
نتایج شبیه‌سازی مدل برای سناریوهای مختلف

پس از اجرای مدل برای هر کدام از سناریوهای مذکور، نتایج مربوط به حجم تقاضای آبیاری و حجم آب زیرزمینی در این سناریوها با سناریوی مرجع مقایسه شد و تأثیر هر کدام از این اقدامات بر منابع آب دشت نیشابور مورد ارزیابی قرار گرفت.

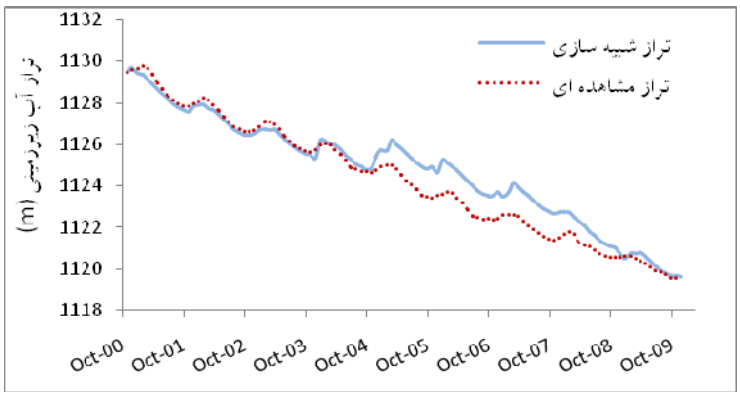
نمودارهای شکل ۵ نتایج مربوط به نیاز ماهانه آبیاری برای سناریوهای مختلف را نشان می‌دهد. نمودار A در این شکل مربوط به نیاز آبیاری در سناریوی اصلاح الگوی کشت است. همان‌گونه که دیده می‌شود نیاز آبی کشاورزی از ماه‌های اکتبر تا می افزایش یافته و در ماه‌های گرم ژوئن تا سپتامبر به میزان قابل توجهی کاهش یافته است. این بدین معنی است که تغییر الگوی کشت باعث شده تقاضای آب به سمت ماه‌های پر بارش سوق داده شود و در ماه‌های خشک

سال تقاضای آبیاری کاهش پیدا کند و این به بخش کشاورزی این فرصت را می‌دهد که در ماه‌های مرطوب از بارش ذخیره شده در خاک برای تأمین بخشی از نیاز خود استفاده کند.

بر اساس جدول ۳ میانگین نیاز آبیاری برای دشت نیشابور برای این سناریو نسبت به سناریوی مرجع حدود ۹ درصد کاهش یافته است. این نشان می‌دهد تغییر در الگوی کشت منطقه علاوه بر این که توانسته تقاضای آبیاری را از ماه‌های کم بارش به ماه‌های مرطوب سال انتقال دهد، میانگین سالانه نیاز آبیاری را نیز کاهش داده است.



شکل ۳- مقایسه جریان‌های مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده در محل ایستگاه‌های آب‌سنجی



شکل ٤- مقایسه تراز مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده آبخوان دشت نیشابور

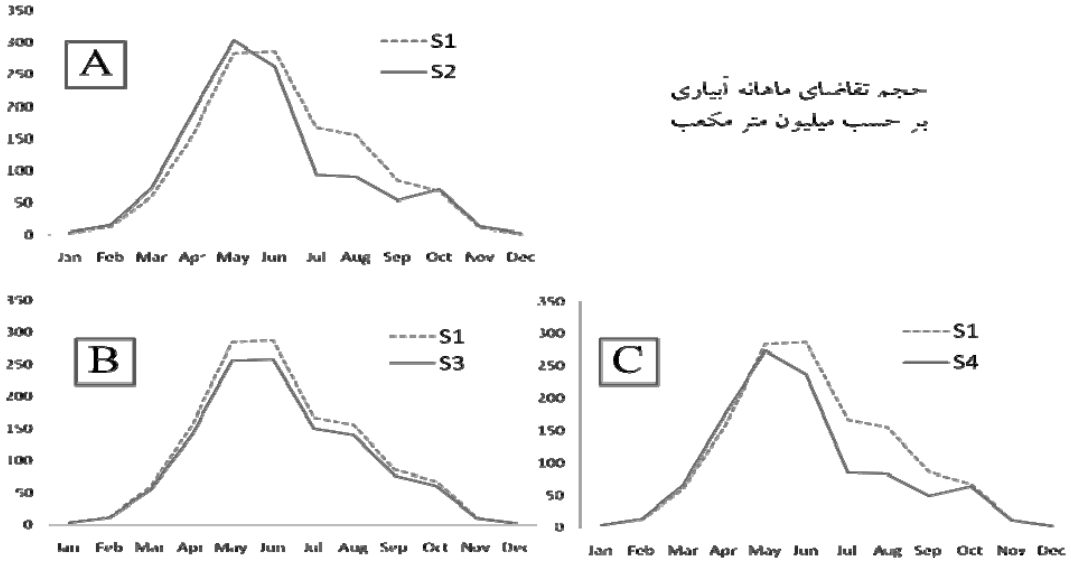
جدول ۲- مقادیر نمایه‌های ارزیابی نتایج مدل برای مراحل واسنجی و اعتبارسنجی

نام ایستگاه هیدرومتری/ آب زیرزمینی	واسنجی			اعتبارسنجی		
	E_f	R^2	RMSE[1]	E_f	R^2	RMSE
خرو	۰/۸۲	۰/۸۱	۰/۸۲	۰/۵۶	۰/۵۹	۱/۱۵
عیش آباد	۰/۷۲	۰/۷۲	۱/۲۳	۰/۵۴	۰/۶۴	۱/۴۷
اریه	۰/۷۶	۰/۷۵	۰/۹۱	۰/۳۵	۰/۵۱	۱/۱۸
زرنده	۰/۹۳	۰/۹۲	۰/۴۸	۰/۲۲	۰/۶۷	۱/۳۳
حسین آباد جنگل	۰/۹۲	۰/۹۰	۰/۹۶	۰/۳۴	۰/۷۶	۱/۷۹
آب زیرزمینی	۰/۸۹	۰/۹۰	۰/۵۸	۰/۲۳	۰/۹۴	۱/۰۲

۱- مقادیر RMSE برای ایستگاه‌های آب‌سنجی بر حسب میلیون متر مکعب و برای تراز آب زیرزمینی بر حسب متر می‌باشند.

بر طبق همین جدول این نتیجه حاصل خواهد شد که با اصلاح الگوی کشت، از میزان نیاز تأمین نشده محصولات منطقه به اندازه ۱۲/۹ درصد کاسته خواهد شد. این نتایج در توافق با نتایج پژوهش‌های سانچز و اسکودا (۱۲) می‌باشد. الفرا و همکاران (۸) نیز در تحقیقی برای دره اردن به این نتیجه رسیدند که با اعمال اصلاح الگوی کشت و تغییر آن به محصولات کم مصرف، تقاضای کشاورزی به میزان ۱۸۵ میلیون متر مکعب کم می‌شود.

در نمودار B شکل ۵ نتایج نیاز ماهانه آبیاری برای سناریوی کاهش سطح اراضی فاریاب نشان داده شده است. همان طور که در این شکل دیده می‌شود با کاهش سطح زیر کشت، تقاضای آبیاری برای همه ماه‌های سال تقریباً به یک نسبت کاهش یافته است. میانگین تقاضای سالانه آبیاری در این سناریو نسبت به سناریوی مرجع حدود ۱۰ درصد کمتر شده و این در حالی است که میانگین تقاضای سالانه مربوط به مجموع نیازهای کشاورزی و صنعت حدود ۰/۶ درصد افزایش یافته است (جدول ۳). از این ارقام چنین برمی‌آید که کاهش تقاضای آبیاری تا حد زیادی توانسته افزایش نیاز بخش صنعت را جبران کند، علاوه بر این همان‌گونه که در جدول ۳ دیده می‌شود، با افزایش نیاز بخش صنعت میزان آب بازگشتی از این بخش نیز افزایش یافته است؛ بنابراین میزان کل آب مصرف شده در این سناریو نسبت به سناریوی مرجع کاهش خواهد یافت. نیاز تأمین نشده کشاورزی در این سناریو نسبت به سناریوی مرجع نیز در حدود ۸/۶ درصد کمتر شده است که مؤید نتایج تحقیق سانچز و اسکودا (۱۲) برای ناحیه آبیاری زیکوتنکاتل مکزیک می‌باشد که با کاهش سطح زیر کشت اراضی آبی حدود ۲۰ درصد به تأمین نیاز کشاورزی افزوده شد.



شکل ۵- نتایج مربوط به تقاضای ماهانه بخش کشاورزی. نمودارهای A، B و C مربوط به مقایسه سناریوی مرجع (S1) به ترتیب با سناریوهای تغییر الگوی کشت (S2)، کاهش سطح اراضی آبی (S3) و سناریوی ترکیبی (S4) می‌باشند.

نمودار مربوط به نتایج نیاز آبیاری برای سناریوی ترکیبی (شکل ۵، نمودار C) از لحاظ الگوی تقاضای آب شبیه به نمودار مربوط به سناریوی S2 می‌باشد، با این تفاوت که مانند سناریوی S3 نیاز آبی در همه ماه‌ها کاهش یافته است. در این سناریو علاوه بر این که مانند سناریوی S2 تقاضای آب از ماه‌های خشک به ماه‌های مرطوب سال منتقل شده، همانند سناریوی S3 نیاز آبی برای همه ماه‌ها کاهش پیدا کرده است و این باعث کاهش ۱۸ درصدی تقاضای کشاورزی نسبت به سناریوی مرجع شده است. با وجود افزایش نیاز بخش صنعت نسبت به سناریوی مرجع، مجموع تقاضای بخش‌های کشاورزی و صنعت در این سناریو کاهش یافته است که نشان‌دهنده این موضوع است که کاهش تقاضای کشاورزی به خوبی توانسته افزایش تقاضای صنعت را جبران کند. در این سناریو نیاز تأمین نشده آبیاری به اندازه ۲۱ درصد نسبت به سناریوی مرجع کمتر شده است (جدول ۳).

در نمودار شکل ۶ نیز میانگین ماهانه درصد تأمین آب مورد نیاز کشاورزی به تصویر کشیده شده است. چنان که در شکل دیده می‌شود در اکثر سناریوها تمام نیاز آبی ماه‌های سپتامبر تا فوریه تأمین شده است، ولی در ماه‌های خشک سال درصد تأمین نیاز به کمتر از ۱۰۰ درصد می‌رسد. نکته جالب توجه در این نمودار این است که برای سناریوهای S2 و S4 که اصلاح الگوی کشت اعمال شده است، در ماه‌های مارس تا می که نیاز آبی بیشتر است، درصد تأمین نیاز کمتر از سناریوی مرجع بوده است در حالی که در ماه ژوئن بیشتر شده و برای ماه‌های جولای تا آگوست به ۱۰۰ درصد رسیده است که بیانگر نیاز آبی کمتر محصولات در این ماه‌ها می‌باشد.

مقایسه حجم ذخیره آب زیرزمینی برای سناریوهای مختلف نیز مؤید نتایج نیاز آبیاری می‌باشد. همان طور که در نمودار شکل ۷ مشخص است، ذخیره آب زیرزمینی برای همه سناریوها نسبت به سناریوی مرجع افزایش پیدا کرده است و همان‌گونه که انتظار می‌رفت بیشترین حجم ذخیره آبخوان در انتهای سال‌های شبیه‌سازی مربوط به سناریوی ترکیبی (S4) می‌باشد.

بر اساس جدول ۳ کسری سالانه آبخوان در همه سناریوها به طور قابل ملاحظه‌ای نسبت به سناریوی مرجع کاهش یافته است. این موضوع در مورد کاهش ذخیره آبخوان از سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۹ نیز صدق می‌کند، به گونه‌ای که در سناریوی مرجع ذخیره مخزن در طول ۲۰ سال به اندازه ۶۴۵۸/۲ میلیون متر مکعب کاهش می‌یابد، در حالی که این رقم برای سناریوهای S2 تا S4 به ترتیب ۵۶۴۷/۸ ، ۵۹۴۵/۹ و ۵۲۹۳/۳ میلیون متر مکعب می‌باشد. با محاسبه تراز شبیه‌سازی شده سطح آب زیرزمینی دشت نیشابور نیز این نتیجه تأیید می‌شود که اقدامات مذکور در این سناریوها می‌تواند باعث صرفه‌جویی در مصرف آب آبیاری گردد، زیرا مطابق این سناریوها افت سطح آب زیرزمینی نسبت به سناریوی مرجع کمتر شده است.

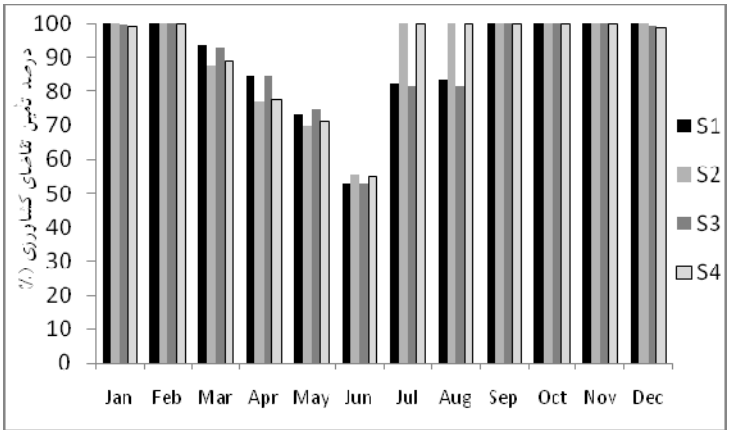
نتیجه‌گیری

در این مطالعه با به کارگیری مدل شبیه‌سازی WEAP مصارف و هم‌چنین منابع آب دشت نیشابور مورد ارزیابی قرار گرفت. بدین منظور سناریوهای مختلفی در زمینه کاهش تقاضای آب کشاورزی مطرح و اثرات آن‌ها بر منابع آب این منطقه بررسی شد. نتایج حاصل از سناریوی تغییر الگوی کشت نشان دادند که این اقدام علاوه بر کاهش نیاز آبی کشاورزی، می‌تواند باعث جابه‌جایی تقاضای آبیاری از فصول گرم سال به فصول پربارش شود و در نتیجه محصول این امکان را خواهد داشت تا از نزولات آسمانی برای تأمین بخشی از نیاز آبی خود بهره بگیرد. ارزیابی نتایج سناریوی کاهش سطح زیر کشت و در عوض افزایش تقاضای بخش صنعت نیز ما را به نتیجه‌ای مشابه نتایج سناریوی قبل می‌رساند.

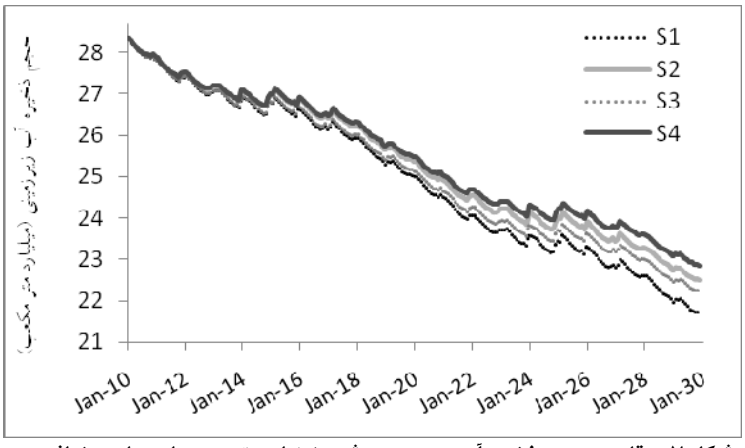
جدول ۳- میانگین سالانه مربوط به حجم‌های تقاضا و آب زیرزمینی برای سناریوهای مختلف (میلیون متر مکعب) و درصد تغییرات آنها نسبت به سناریوی مرجع (ارقام داخل پرانتز)

سناریوها	S1	S2	S3	S4
تقاضای کشاورزی	۱۲۹۲/۲	۱۱۷۵/۶ (-٪۹)	۱۱۶۴/۹ (-٪۱۰)	۱۰۶۰/۱ (-٪۱۸)
تقاضای صنعت	۴/۰	۴/۰ (٪۰)	۱۳۸/۷ (+٪۳۳۶۸)	۱۳۸/۷ (+٪۳۳۶۸)
مجموع تقاضای کشاورزی و صنعت	۱۲۹۶/۲	۱۱۷۹/۶ (-٪۹)	۱۳۰۳/۶ (+٪۱)	۱۱۹۸/۸ (-٪۸)
آب بازگشتی از بخش صنعت	۳/۲	۳/۲ (٪۰)	۱۱۰/۹ (+٪۳۳۶۶)	۱۱۰/۹ (+٪۳۳۶۶)
نیاز تأمین نشده کشاورزی	۳۱۰/۹	۲۷۰/۷ (-٪۱۳)	۲۸۴/۱ (-٪۹)	۲۴۵/۵ (-٪۲۱)
کسری سالانه مخزن	۳۲۲/۹	۲۸۲/۴ (-٪۱۳)	۲۹۷/۳ (-٪۸)	۲۶۴/۷ (-٪۱۸)
کاهش ذخیره آبخوان*	۶۴۵۸/۲	۵۶۴۷/۸ (-٪۱۳)	۵۹۴۵/۹ (-٪۸)	۵۲۹۳/۳ (-٪۱۸)
افت سطح آب زیرزمینی* (متر)	۲۲/۷	۱۹/۸ (-٪۱۳)	۲۰/۹ (-٪۸)	۱۸/۶ (-٪۱۸)

*- مقادیر از سال ۲۰۱۰ تا انتهای سال‌های شبیه‌سازی (سال ۲۰۲۹) در نظر گرفته شده‌اند.



شکل ٦- مقایسه میانگین ماهانه درصد تأمین تقاضای کشاورزی تحت سناریوهای مختلف



شکل ۷- مقایسه حجم ذخیره آب زیرزمینی دشت نیشابور تحت سناریوهای مختلف

در این سناریو اگر چه تقاضای بخش صنعت افزایش می‌یابد، ولی هم‌زمان کاهش نیاز آبی بخش کشاورزی آن را جبران خواهد کرد، علاوه بر این برگشت آب از بخش صنعت می‌تواند بخش بزرگی از آب برداشت شده را به منابع آب بازگرداند. افزایش تقاضای بخش صنعت به معنی افزایش تعداد صنایع منطقه است که با هدف ایجاد اشتغال و انتقال فعالان بخش کشاورزی به بخش صنعت انجام می‌گیرد.

سناریوی ترکیبی که در آن هم‌زمان هم الگوی کشت تغییر یافته و هم سطح زیر کشت اراضی فاریاب کاهش می‌یابد نیز به خوبی توانست باعث کاهش تقاضای آب و برداشت از منابع آب شود. در مجموع می‌توان بیان کرد که با وجود بحران آب در این منطقه لزوم انجام اقداماتی از این دست در آینده‌ای هر چه نزدیک‌تر ضروری- و حتی حیاتی- بوده و می‌تواند گام مؤثری در حفاظت از منابع آب منطقه باشد.

منابع

۱- بی‌نام. ۱۳۸۸. مدیریت به هم پیوسته منابع آب منطقه نیشابور، گزارش بررسی پروژه‌ها. وزارت نیرو، شرکت آب منطقه‌ای استان خراسان رضوی.

۲- سعیدی‌نیا م.، صمدی بروجنی ح. و فتاحی ر. ۱۳۸۷. بررسی طرح‌های انتقال آب بین حوضه‌ای با استفاده از مدل WEAP (مطالعه موردی: تونل بهشت آباد). مجله پژوهش آب ایران ۳: ۳۳-۴۴.

۳- فرجزاده م.، ولایتی س. و حسینی آ. ۱۳۸۴. تحلیل بحران آب در دشت نیشابور با رویکرد برنامه‌ریزی محیطی. کمیته تحقیقات شرکت سهامی آب منطقه‌ای خراسان رضوی.

۴- کرمانشاهی س.، داوری ک.، هاشمی‌نیا س.م.، انصاری ح. و فریدحسینی ع. ۱۳۹۱. ارزیابی تأثیر تغییرات راندمان آبیاری بر منابع آب حوضه آبریز نیشابور با استفاده از مدل WEAP. سومین همایش ملی مدیریت جامع منابع آب. دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری. ۲۰ و ۲۱ شهریور ماه ۱۳۹۱.

۵- گازرانی ح. ۱۳۸۹. کاربرد زیرسامانه تحلیل سیستم WEAP در سیستم‌های پشتیبانی تصمیم (مطالعه موردی: قسمتی از حوضه کشف‌رود). پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشکده مهندسی عمران. دانشگاه فردوسی مشهد.

۶- یزدان‌پناه ط.، خداشناس س.ر.، داوری ک. و قهرمان ب. ۱۳۸۶. مدیریت منابع آب حوضه آبریز با استفاده از مدل WEAP (مطالعه موردی حوضه ازغند). مجله علوم و صنایع کشاورزی، ویژه آب و خاک ۲۲: ۲۱۳-۲۲۱.

7- Akivaga Mugatsia E. 2010. Simulation and scenario analysis of water resources management in Perkerra catchment using WEAP model. MSc thesis, Department of civil and structural engineering, school of engineering of Moi University, Kenya.

8- Alfarra A., Kemp-Benedict E., Hotzl H., Sader N., and Sonneveld B. 2012. Modeling water supply and demand for effective water management allocation in the Jordan Valley. Journal of Agricultural Science and Applications (JASA), 1 (1): 1-7

9- Cai X., McKinney D.C., and Rosegrant M.W. 2001. Sustainability analysis for Irrigation water management: concepts, methodology, and application to the Aral Sea region. International Food Policy Research Institute, Washington, DC, U.S.A. EPTD discussion paper NO. 86.

10- Mutiga J.K., Mavengano S.T., Zhongbo S., Woldai T., and Becht R. 2010. Water allocation as a planning tool to minimize water use conflicts in the Upper Ewaso Ng´iro North Basin, Kenya. Water Resour Manage.

11- Purkey D.R., Joice B., Vicuna S., Hanemann M.W., Dale L.L., Yates D., and Dracup J.A. 2008. Robust analysis of future climate change impacts on water for agriculture and other sectors: a case study in the Sacramento Valley. Climatic Change 87: 109-122.

12- Sanchez G., and Esqueda T. 2011. Vulnerability of water resources to climate change scenarios. Impacts on the irrigation districts in the Guayalejo-Tamesí river basin, México. Atmósfera 24(1), 141-155.

13- SEI. 2006. WEAP: User Guide for WEAP21. Stockholm Environment Institute, Boston, USA.

Journal of Water and Soil
Vol. 27, No.3, Jul.-Agu. 2013, p. 495-505

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۷، شماره ۳، مرداد – شهریور ۱۳۹۲، ص. ۵۰۵-۴۹۵

Using the WEAP Model to Assess The Impact of Irrigation Water Use Management on Water Resources of Neyshabour Plane

S. Kermanshahi[1*]- K. Davari[2]- S.M. Hasheminia[3]- A. Farid Hosseini[4]- H. Ansari[5]

Received: 23-09-2012
Accepted: 24-02-2013

Abstract

The requiring of reducing agricultural water demand as the world's largest consumer of water, for having sustainable water resources is not concealed to anyone. With measurements such as increasing irrigation efficiency, changing in cropping pattern, reducing the cultivation area, etc, this goal can be achieved. In this study, the status of water resources and irrigation demands within the Neyshabour Plane was evaluated by using Water Evaluation and Planning model (WEAP). To assess the effect of these strategies in WEAP model, scenarios with different topics for cropping pattern, reducing cultivation area, and combined scenarios were developed and then the simulations were performed for 20 years in future. The results suggested that above measurements reduced the mean annual water demand of agriculture by 9, 10 and 18 percents respectively and subsequently reduced the average of annual groundwater deficit by 13, 8 and 18 percents. On the other hand these measurements had a significant role in reducing the agricultural water demand, and therefore, in reducing the extraction from different water resources.

Keywords: Cropping pattern, Reducing the cultivation area, Neyshabour plane, WEAP model

1,2,3,4,5- M.Sc. Postgraduate, Associate Professor, Lecture, Assistant Professor, and Associate Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Respectively
(*- Corresponding Author Email: kermanshahisomayyeh@gmail.com)