

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده مهندسی عمران

گروه مهندسی آب و محیط زیست

پایان نامه کارشناسی ارشد

مدیریت یکپارچه منابع آبی با استفاده از مدل WEAP در حوضه مطالعاتی دشت نیشابور

محمد شاریان

اساتید راهنما :

دکتر سعید گلیان

دکتر علیرضا فرید حسینی

استاد مشاور

مهندس یاور پورمحمد

شهریور ماه ۱۳۹۴

تقدیر و تشکر

بار دیگر مقطعی از مقاطع پایان ناپذیر زندگی به پایان رسید. این بار از جنس تحصیل و نه از جنس زندگی که این دومی بس دشوارتر و مهمتر است. لکن این فراغت بهترین بهانه خواهد بود تا بار دیگر ارج بنهم زحمات کسانی را که در تمامی مراحل در کنارم بوده‌اند و برایم از اعماق قلب پاکشان آرزوی بهترین‌ها را برایم کرده‌اند. اما شایسته است پیش از همه اینها قدردان خدایی باشم که چنین امکانی را برایم فراهم ساخت تا هر چند ناچیز اما در حد توانم در جهت شاد کردن آنان قدمی بردارم و اینگونه شکر نعمتش را به جا آورم. از مادر و پدرم که سرمایه‌های تکرار ناپذیر زندگی‌ام هستند، بسیار سپاسگزارم. از اساتید گرانقدرم آقایان دکتر سعید گلیان و دکتر علیرضا فریدحسینی که در تمامی مراحل، مرا از نظرات و راهنمایی خود محروم نساختند و نیز از جناب آقای مهندس یاور پورمحمد نیز که دلسوزانه در جهت هر چه بهتر شدن حاصل تلاشهایم نظرات سازنده‌ای ارائه فرمودند، کمال تشکر را دارم.

چکیده

طبیعت پیچیده مسائل آب نیازمند روش‌های جدیدی است که دیدگاه‌های فنی، اقتصادی، زیست‌محیطی، اجتماعی و منطقی را در یک قالب بهم پیوسته گردآوری نماید. این همان مفهوم مدیریت جامع آب است. مدیریت خوب در طرح‌ها مستلزم بکارگیری و استفاده از تمامی عوامل یا حتی الامکان عوامل موثرتر و مهمتر، و نیز بررسی و ارزیابی آنها برای انتخاب طرح است. در این مطالعه وضعیت منابع آب و تقاضاهای آبیاری دشت نیشابور با استفاده از مدل WEAP مورد بررسی قرار گرفت. روش فائو، از میان روش‌های بارش- رواناب موجود در این مدل، برای شبیه‌سازی هیدرولوژیکی برگزیده شد. برای ارزیابی اثرات راهبردهای پیشنهادی، بمنظور خروج از وضعیت کنونی، سناریوهای مختلفی در نظر گرفته شد و سپس برای یک دوره ۲۰ ساله شبیه‌سازی صورت گرفت. نتایج نشان دادند که تحت سناریوی کشاورزی حفاظتی، اگرچه میزان تقاضا کمی افزایش میابد اما نیاز تأمین نشده، با کاهش و حجم ذخیره آب زیرزمینی با افزایش همراه است. در سناریوی بعد با افزایش راندمان آبیاری از میزان تقاضای بخش کشاورزی کاسته شد. این امر به کاهش برداشت از منابع آب، و در نتیجه به افزایش حجم ذخیره آب زیرزمینی (نسبت به سناریوی مرجع) می‌انجامد. سناریوی دیگر کاهش سالانه پنج درصدی از سطح زیر کشت اراضی فاریاب و تخصیص آب صرفه جویی شده از این محل به بخش صنعت بوده که منجر به کاهش سالانه ۴/۶۷ درصد از تقاضای آب کشاورزی و افزایش ذخیره سالانه آب زیرزمینی شد. در مرحله بعد با ادغام سناریوهای مختلف مدیریت مصرف آب کشاورزی این نتیجه حاصل شد که تأثیرات مثبت ترکیب این سناریوها بیش از حالت منفرد آنها است. ولی، با وجود کاربرد همه روش‌های مدیریت تقاضای آب در یک سناریو، باز هم بین برداشت و تغذیه آب زیرزمینی تعادل برقرار نشد و کسری مخزن به صفر نرسید. به بیانی دیگر این راهبردها می‌توانند نقش بسزایی در کاهش تقاضای آب کشاورزی، و در نتیجه کاهش برداشت از منابع آب منطقه داشته باشند.

کلید واژه‌ها: مدیریت جامع آب، تقاضای آب کشاورزی، دشت نیشابور، WEAP

مقاله همایشی

شارکیان، م.، گلیان، س.، فریدحسینی، ع. و پورمحمد، ی. ۱۳۹۴. تخصیص منابع آب در محدوده

دشت نیشابور با استفاده از مدل WEAP. دومین همایش آب انسان زمین، اصفهان/ شهریور ماه ۱۳۹۴

فهرست مطالب

عنوان	شمار صفحه
فصل اول : مقدمه	۱
۱- پیشگفتار.....	۲
۱-۱- ضرورت و اهمیت موضوع.....	۳
۱-۲- اهداف.....	۳
فصل دوم: مبانی نظری و مروری بر منابع	۵
۲-مقدمه.....	۶
۲-۱- مدیریت جامع منابع آب.....	۶
۲-۲- مدل سازی در سیستم های منابع آب.....	۸
۲-۳- روش های مدل سازی حوضه رودخانه.....	۹
۲-۴- شبیه سازی سیستم های منابع آب.....	۹
۲-۴-۱- انواع مدل های شبیه سازی.....	۱۰
۲-۵- بهینه سازی سیستم های منابع آب.....	۱۵
۲-۶- شبیه سازی سیستم های منابع آب بر اساس بهینه سازی.....	۱۵
۲-۷- مروری بر مطالعات انجام شده با استفاده از مدل WEAP.....	۱۶
۲-۷-۱- تاریخچه WEAP.....	۱۶
۲-۸- مدل WEAP.....	۲۴
۲-۸-۱- مراحل کاربرد مدل.....	۲۵
۲-۸-۲- ساختار نرم افزار WEAP.....	۲۶
۲-۹- الگوریتم محاسبات مدل.....	۲۹
۲-۹-۱- الگوریتم حل به روش بارش - رواناب فائو.....	۳۱
۲-۹-۲- برآورد تقاضا.....	۳۳
۲-۹-۳- سیستم مدیریت: بخش تخصیص آب.....	۳۴
۲-۹-۴- روند تخصیص برنامه ریزی خطی در WEAP.....	۳۵
۲-۹-۵- مخازن سطحی (سدها).....	۳۵
فصل سوم: مواد و روش ها	۳۷
۳- معرفی منطقه مورد مطالعه.....	۳۸
۳-۱- موقعیت جغرافیایی.....	۳۸
۳-۲- رودخانه های مهم و ایستگاه های آب سنجی.....	۳۸
۳-۳- آب های زیرزمینی.....	۴۰

۴۱	۴-۳- تفکیک حوضه آبریز به زیرحوضه‌های مختلف.....
۴۲	۵-۳- مصارف شرب و صنعت.....
۴۲	۶-۳- مصارف کشاورزی.....
۴۳	۷-۳- راندمان آبیاری در منطقه.....
۴۴	۸-۳- اطلاعات آب و هوایی.....
۴۵	۳-۸-۱- دما.....
۴۶	۳-۸-۲- تبخیر و تعرق مرجع.....
۴۷	۳-۸-۳- بارش.....
۵۰	۳-۹-۱- اطلاعات مربوط به پوشش زمین.....
۵۰	۳-۹-۱- ضریب گیاهی.....
۵۱	۳-۹-۲- بارش مؤثر.....
۵۱	۳-۱۰-۱- مدل‌سازی محدوده مطالعاتی.....
۵۲	۳-۱۰-۱- ابعاد مکانی و زمانی مطالعه.....
۵۲	۳-۱۰-۲- ترسیم شماتیک و ورود اطلاعات به مدل.....
۵۴	۳-۱۰-۳- واسنجی و اعتبارسنجی مدل.....
۵۵	۳-۱۰-۴- ارزیابی نتایج مدل.....
۵۶	۳-۱۱-۱- تدوین سناریوها.....
۵۷	۳-۱۱-۱- سطح یک: سناریوی مرجع.....
۵۷	۳-۱۱-۲- سطح دو: سناریوهای مرتبط با مدیریت تقاضای آب آبیاری.....
۵۷	۳-۱۱-۲-۱- کشاورزی حفاظتی.....
۵۹	۳-۱۱-۲-۲- سناریوی افزایش راندمان آبیاری با فرض ثبات سطح زیر کشت.....
۶۰	۳-۱۱-۲-۳- سناریوی کاهش سطح زیر کشت آبی و در عوض افزایش تعداد صنایع.....
۶۱	۳-۱۱-۳- سطح سه: سناریوهای مرتبط با تغییر اقلیم.....
۶۲	۳-۱۱-۳-۱- سناریوی تغییر اقلیم A1B.....
۶۲	۳-۱۱-۳-۲- سناریوی تغییر اقلیم A2.....
۶۳	۳-۱۱-۳-۳- سناریوی تغییر اقلیم B1.....
۶۳	۳-۱۱-۴- سطح چهار: سناریوهای ترکیبی.....

۶۵- فصل چهارم: نتایج و بحث

۶۶	۴- مقدمه.....
۶۶	۴-۱- نتایج واسنجی و اعتبارسنجی مدل.....
۷۱	۴-۲- نتایج مدل برای سناریوهای مختلف.....
۷۱	۴-۲-۱- کشاورزی حفاظتی.....
۷۲	۴-۲-۲- سناریوی افزایش راندمان آبیاری با فرض ثبات سطح زیر کشت.....
۷۴	۴-۲-۳- سناریوی کاهش سطح زیر کشت.....
۷۶	۴-۲-۴- سناریوی تغییر اقلیم A2.....
۷۸	۴-۲-۵- سناریوی S41 : ترکیب سناریوهای S21 و S22.....

۷۹	S23 و S22 : ترکیب سناریوهای S42
۸۱	S23 و S22 و S21 : ترکیب سناریوهای S43
۸۳	S31 و S22 : ترکیب سناریوهای S44
۸۴	S31 و S23 : ترکیب سناریوهای S45
۸۵	S5 : تعادل رسانی ذخیره آب مخزن

۸۷ فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهادات

۸۸	۵- نتیجه گیری و پیشنهادات
۸۸	۱-۵- نتیجه گیری
۹۰	۲-۵- پیشنهادات
۹۲	۶- منابع

فهرست جدول‌ها

عنوان	شمار صفحه
جدول ۳-۱. مشخصات ایستگاه‌های آب‌سنجی محدوده مطالعاتی (مطالعات برنامه آمایش استان خراسان رضوی، ۱۳۸۹).....	۴۰
جدول ۳-۲. محاسبه متوسط راندمان آبیاری در کل محدوده مطالعاتی نیشابور.....	۴۴
جدول ۳-۳. مقادیر تابش برون زمینی R_a برای عرض‌های جغرافیایی ۳۰ و ۴۰ درجه شمالی (۳-۱۰ کالری بر سانتیمتر مربع در روز) (ناظم السادات، ۱۳۸۸).....	۴۷
جدول ۳-۴. معرفی اسامی مؤلفه‌های به کار رفته در شماتیک مدل.....	۵۳
جدول ۳-۵. سناریوهای مختلف مطرح شده برای سال‌های شبیه‌سازی.....	۵۷
جدول ۳-۶. راندمان‌های مورد بررسی برای سناریوی افزایش راندمان آبیاری.....	۶۰
جدول ۴-۱. مقادیر نمایه‌های ارزیابی نتایج مدل برای ایستگاه‌های آب‌سنجی مختلف.....	۷۱
جدول ۴-۲. نتایج مربوط به تقاضاها و حجم آبخوان سناریوی S21 (ارقام حجمی بر حسب میلیون متر مکعب می باشند).....	۷۱
جدول ۴-۳. مقایسه نتایج مدل به ازای سطوح مختلف راندمان آبیاری (ارقام حجمی بر حسب میلیون متر مکعب می باشند).....	۷۲
جدول ۴-۴. نتایج مربوط به تقاضاها و حجم آبخوان سناریوی S23 (ارقام حجمی بر حسب میلیون متر مکعب می باشند).....	۷۶
جدول ۴-۵. مقایسه نتایج مدل به ازای سناریوی تغییر اقلیم (مقادیر حجمی بر حسب میلیون متر مکعب می باشند).....	۷۷
جدول ۴-۶. مقایسه نتایج مدل به ازای سناریوهای مرجع، کشاورزی حفاظتی و ترکیبی S41 (ارقام حجمی بر حسب میلیون متر مکعب می باشند).....	۷۸
جدول ۴-۷. مقایسه نتایج مدل به ازای سناریوی ترکیبی S42 (مقادیر حجمی بر حسب میلیون متر مکعب می باشند).....	۸۰
جدول ۴-۸. نتایج مربوط به تقاضا و حجم آبخوان سناریوی S43 و سناریوهای مولد آن (ارقام حجمی بر حسب میلیون متر مکعب می باشند).....	۸۲
جدول ۴-۹. نتایج مربوط به تقاضا و حجم آبخوان سناریوی S44 و سناریوهای مولد آن (ارقام حجمی بر حسب میلیون متر مکعب می باشند).....	۸۴
جدول ۴-۱۰. نتایج مربوط به تقاضا و حجم آبخوان سناریوی S45 و سناریوهای مولد آن (ارقام حجمی بر حسب میلیون متر مکعب می باشند).....	۸۴
جدول ۴-۱۱. نتایج مربوط به تقاضا و حجم آبخوان سناریوی S5 (ارقام حجمی بر حسب میلیون متر مکعب می باشند).....	۸۵

فهرست شکل‌ها

عنوان	شمار صفحه
شکل ۲-۱- محدوده انواع مدل‌های شبیه‌سازی بر اساس میزان دخالت داده‌های اندازه‌گیری شده و فرآیندهای طبیعی در مدل (لاکس و همکاران، ۲۰۰۵).....	۱۰
شکل ۲-۲. نمای شماتیک در مدل WEAP.....	۲۶
شکل ۲-۳. نمای داده‌ها در مدل WEAP.....	۲۷
شکل ۲-۴. نمای نتایج در مدل WEAP.....	۲۷
شکل ۲-۵. نمای کاوشگر سناریوها در مدل WEAP.....	۲۸
شکل ۲-۶. نمای یادداشت‌ها در مدل WEAP.....	۲۸
شکل ۲-۷. طبقه‌بندی حجم مخازن سدها در مدل WEAP (سیبر و پورکی، ۲۰۱۱).....	۳۶
شکل ۳-۱. موقعیت دشت نیشابور در استان خراسان رضوی.....	۳۸
شکل ۳-۲. موقعیت رودخانه‌ها و ایستگاه‌های آب سنجی واقع در دشت نیشابور.....	۳۹
شکل ۳-۳. موقعیت چاه‌ها، چشمه‌ها و قنات‌های موجود در دشت نیشابور.....	۴۱
شکل ۳-۴. موقعیت زیرحوضه‌های محدوده مطالعاتی نیشابور.....	۴۲
شکل ۳-۵. موقعیت ایستگاه‌های مختلف اندازه‌گیری دما.....	۴۶
شکل ۳-۶. موقعیت ایستگاه‌های باران سنجی واقع در محدوده مطالعاتی نیشابور.....	۴۹
شکل ۳-۷. نقشه کاربری اراضی محدوده مطالعاتی نیشابور.....	۵۱
شکل ۳-۸. شماتیک ترسیم شده در WEAP برای محدوده مطالعاتی نیشابور.....	۵۴
شکل ۴-۱. مقایسه حجم جریان ماهانه شبیه‌سازی شده و مشاهده‌ای ایستگاه‌های مختلف برای سال‌های واسنجی..	۶۷
شکل ۴-۲. مقایسه جریان شبیه‌سازی شده و مشاهده شده در ایستگاه هیدرومتری زرنده.....	۶۸
شکل ۴-۳. مقایسه جریان شبیه‌سازی شده و مشاهده شده در ایستگاه هیدرومتری عیش آباد.....	۶۸
شکل ۴-۴. مقایسه جریان شبیه‌سازی شده و مشاهده شده در ایستگاه هیدرومتری خرو.....	۶۸
شکل ۴-۵. مقایسه جریان شبیه‌سازی شده و مشاهده شده در ایستگاه هیدرومتری اریه.....	۶۹
شکل ۴-۶. مقایسه جریان شبیه‌سازی شده و مشاهده شده در ایستگاه هیدرومتری حسین آباد جنگل.....	۶۹
شکل ۴-۷. مقایسه تراز شبیه‌سازی شده و مشاهده‌ای آبخوان دشت نیشابور.....	۶۹
شکل ۴-۸. مقایسه حجم شبیه‌سازی شده متوسط تقاضای ماهانه آبیاری به ازای راندهای مختلف آبیاری.....	۷۳
شکل ۴-۹. میانگین ماهانه تقاضای تأمین نشده کشاورزی به ازای سطوح مختلف راندهای آبیاری.....	۷۴
شکل ۴-۱۰. مقایسه نتایج مربوط به حجم تقاضای ماهانه آبیاری تحت سناریو مرجع با سناریو کاهش سطح زیر کشت.....	۷۶
شکل ۴-۱۱. مقایسه حجم تقاضای ماهانه آبیاری تحت سناریوی مرجع (S1) با سناریوی تغییر اقلیم A2 (S31).....	۷۷
شکل ۴-۱۲. افت ذخیره آب زیرزمینی در سناریو تغییر اقلیم A2 نسبت به سناریو مرجع.....	۷۷
شکل ۴-۱۳. مقایسه حجم تقاضای تأمین نشده آبی تحت سناریوی مرجع (S1) با سناریوی ترکیبی (S41).....	۷۹
شکل ۴-۱۴. مقایسه حجم تقاضای ماهانه آبی شبیه‌سازی شده تحت سناریوی مرجع (S1) با سناریوی ترکیبی (S42).....	۸۰
شکل ۴-۱۵. مقایسه حجم تقاضای تأمین نشده آبی تحت سناریوی مرجع و کاهش سطح زیرکشت باسناریوی ترکیبی (S42).....	۸۱

- شکل ۴-۱۶. مقایسه حجم تقاضای ماهانه آبی شبیهسازی شده تحت سناریوی S1، S21، S22 و سناریوی ترکیبی (S43)..... ۸۲
- شکل ۴-۱۷. مقایسه حجم تقاضای تامین نشده آبی تحت سناریوی S1، S41 و سناریوی ترکیبی (S43)..... ۸۲
- شکل ۴-۱۸. مقایسه حجم تقاضای تامین نشده آبی تحت سناریوی مرجع و تغییر اقلیم (S31) با سناریوی ترکیبی (S44)..... ۸۳

فصل اول: مقدمه

۱- پیشگفتار

رشد جمعیت، توسعه صنعتی و پیدایش سریع فن آوری های جدید، در حال تغییر جهان می- باشند. افزایش تقاضای آب برای مصارف شهری، کشاورزی و صنعتی، رقابت بر سر تخصیص منابع محدود آب را بین مناطق مختلف و بین انواع مصرف کنندگان تشدید می کند. کمبود منابع آب شیرین، یکی از بزرگترین مسائلی است که به طور روزافزون، جهان در حال توسعه با آن مواجه است. شور شدن و آلودگی آب فشارهایی را به کیفیت آب و زمین اعمال می نماید که این مسئله اغلب از مصرف زیاد آب جهت مصارف کشاورزی و آبیاری ناشی می شود. مدیریت منابع آب به عنوان اصلی ترین راهکار ممکن برای رفع مشکلات ناشی از کاهش کمیت و افت کیفیت آب مطرح است. طبیعت پیچیده مسائل آب نیازمند روشهای جدیدی است که دیدگاه های فنی، اقتصادی، زیست محیطی و اجتماعی را در یک قالب بهم پیوسته گردآوری نماید. این همان مفهوم مدیریت یکپارچه منابع آب است که باید اصلی ترین روش برای دست یابی به منابع پایدار آب در سطح ملی و بین المللی باشد. مدیریت جامع باید نیاز تمامی بهره برداران آب را لحاظ نماید (لاکس و همکاران، ۲۰۰۵).

مفهوم مدیریت یکپارچه منابع آب (IWRM) تقریباً از اوایل دهه ۸۰ میلادی در حال توسعه بوده است. IWRM، پاسخی است به فشار فزاینده ای که در اثر رشد جمعیت و توسعه اجتماعی- اقتصادی بر سیستم های منابع آب ما وارد می شود. کمبود آب، بسیاری از کشورهای دنیا را ناگزیر نموده تا به بازبینی مجدد گزینه های خود در زمینه مدیریت منابع آب بپردازند. در نتیجه مدیریت منابع آب دستخوش یک تغییر جهانی شده و آن عبارت است از یک رویکرد عرضه نگر و مهندسی گرا به سمت یک رویکرد چند بخشی و تقاضانگر که از آن به عنوان به عنوان مدیریت یکپارچه منابع آب یاد می شود (لاکس، ۲۰۰۵). بهترین بازتاب این موضوع اصول دوبلین در سال ۱۹۹۲ می باشد که در سرتاسر جهان به عنوان مبنایی برای IWRM پذیرفته شده است.

در تحلیل سیاست های آبی، بر استفاده از مدل ها تکیه بسیاری شده است (لاکس، ۱۹۸۱). مدل ها به ما کمک می نمایند تا روابط ساختاری میان متغیر های مهم را شناسایی نماییم، به این

ترتیب پیامدها و نتایج حاصل از یک سیاست خاص، قابل پیش بینی می باشد. هدف از ساخت مدل تجزیه و تحلیل پیشرفت سیاست ها می باشد (سیمونویچ و فهمی، ۱۹۹۹).

از زمان شروع توسعه IWRM تاکنون، از مدل های عمومی مختلفی به منظور مدلسازی یکپارچه فرایندهای هیدرولوژیکی حوضه و فرایندهای اجتماعی- اقتصادی و جنبه های مشارکت عمومی استفاده شده است. از جمله این مدل ها، نرم افزار WEAP می باشد که تا کنون به طور گسترده ای برای مدیریت و برنامه ریزی یکپارچه منابع آب مورد استفاده قرار گرفته است.

۱-۱- ضرورت و اهمیت موضوع

توزیع غیریکنواخت زمانی و مکانی آب، وجود بیشترین تقاضای آب در زمان وقوع کم ترین بارندگی، عدم توازن بین عرضه و تقاضای آب به خصوص افزایش تقاضای آب و محدودیت منابع آبی، استفاده ناکارآمد از آب در بخش کشاورزی و همچنین محدودیت برداشت از آب زیرزمینی از جمله مشکلات بخش عمده آب در دشت نیشابور می باشد که مدیریت منابع آب را پیچیده کرده است. در این مطالعه سعی شده است تا شیوه های مدیریت بهینه منابع آب و تأثیر این اقدامات بر منابع آب دشت نیشابور با استفاده از مدل WEAP مورد ارزیابی قرار گیرد.

۱-۲- اهداف

به طور کلی مدیریت جامع منابع آب سه هدف اصلی دارد (علیزاده، ۱۳۸۵):

۱. عدالت اجتماعی (پایداری اجتماعی): حق اساسی تمامی مردم برای دستیابی به آب با کمیت و کیفیت مناسب جهت تأمین رفاه انسانی.
۲. پایداری اکولوژیکی و زیست محیطی: کاربری حال حاضر آب باید به نحوی مدیریت شود که سیستم اکولوژیکی و زیست محیطی را به خطر نیندازد، ضمن آنکه باید کاربری همسانی را برای نسل های آینده لحاظ نماید.

۳. بازدهی اقتصادی (پایداری اقتصادی) کاربری آب : به علت روند افزایشی کمبود آب و منابع مالی، محدودیت و طبیعت آسیب پذیر آب به عنوان یک منبع تجدید شونده و تقاضای فزاینده آبی، باید این منبع با بیشترین بازدهی مورد استفاده قرار گیرد.

هدف این تحقیق بررسی تاثیر توسعه منابع آب در دشت نیشابور در بخش های مختلف کشاورزی، صنعت و شرب با توجه به رشد نیاز آنها در آینده می باشد. برای این کار از روش های شبیه سازی سیستم های منابع آب استفاده شده است. منظور از توسعه منابع آب در این منطقه عبارت است از: اقدام در جهت ساخت و بهره برداری سدهای در دست مطالعه یا اجرا، افزایش سطوح زیر کشت به منظور توسعه کشاورزی پایدار، تغییر اولویت های تخصیص آب در حوضه، افزایش راندمان کشاورزی و محدودیت برداشت از آبهای زیرزمینی می باشد.

تحقیق حاضر در پنج بخش تدوین شده است.

- فصل اول: در این فصل به بیان مفهوم کلی از ضرورت و اهمیت موضوع و همچنین هدف تحقیق پرداخته شد.

- فصل دوم: مقایسه مدل های مختلف شبیه سازی، مبانی نظری مدل WEAP و در نهایت مروری بر مطالعات انجام شده در این زمینه در داخل و خارج کشور می باشد.

- فصل سوم: توصیف کامل منطقه مورد مطالعه، داده های جمع آوری شده، روند انجام محاسبات در WEAP بیان شده و در انتها نیز نتایج مدل سازی در مرحله واسنجی و اعتبار سنجی بررسی شده است. در این بخش سناریوهای تدوین شده نیز معرفی شده اند.

- فصل چهارم: نتایج به دست آمده از اجرای مدل برای سال های شبیه سازی مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته اند. نتیجه گیری های لازم در مورد بهترین و موثرترین سیاست های اتخاذ شده و پیشنهادات لازم برای افزایش دقت، بالا بردن میزان جامعیت مدل و یا اصلاح مشکلات موجود در مدل و فرآیند مدل سازی ارائه شده است.

- فصل پنجم: به نتیجه گیری و ارائه پیشنهادات پرداخته می شود

فصل دوم: مبانی نظری و مروری بر منابع

۲- مقدمه

مدیریت جامع منابع آب باید در سطح حوضه آبریز انجام گیرد. عدم توجه به مدیریت آب در سطح حوضه آبریز باعث ایجاد مسائلی از قبیل تأثیرات نامناسب مصارف بالادست بر مصرف کنندگان پایین دست، عدم رعایت عدالت اجتماعی و بروز نابرابریها، تأمین نشدن حداقل نیازهای زیست محیطی و تخریب محیط زیست و بهینه نبودن برآیندهای اقتصادی میشود. مدیریت کارای آب در سطح حوضه آبریز با اهداف افزایش بهره وری آب و تولید غذا، عدالت اجتماعی و حفاظت اکوسیستمها و محیطزیست مستلزم شناخت و درک مجموعه ای از اندرکنشهای مرتبط با آب در سطوح مختلف مکانی و زمانی و در نقاط مختلف حوضه است. عدم شناخت این اندرکنشها و نبود ساختار کارای مدیریت آب که بتواند این درک و شناخت را در تدوین سیاستها، استراتژیها، تصمیمات و اقدامات مدیریتی لحاظ کند، مسئله اصلی در بسیاری از حوضه ها است.

۲-۱- مدیریت جامع منابع آب

مفهوم مدیریت جامع منابع آب در دهه ۸۰ قرن بیستم میلادی در پاسخ به مشکلات اخیر مدیریت آب مطرح گردید. در گذشته برای حل این مسائل، اولاً تکیه اصلی بر روی مدیریت منابع آب بود و ثانیاً مسائل صرفاً بدست مهندسان بررسی میگردید، در حالیکه در مدیریت جامع منابع آب دیدگاه های مرتبط با مدیریت تقاضا و همچنین مشارکت بخشهای مختلف وارد شده است. در مدیریت جامع منابع آب به جای بهره گیری از روش قدیمی مدیریت از بالا به پایین یا به عبارت دیگر برنامه ریزی جامع آب که در آن تمرکز بر روی موجودیت آب و توسعه منابع است، از روش جدیدتر مدیریت از پایین به بالا یا به عبارت دیگر برنامه ریزی جامع سیاستهای آب که در آن اندرکنش موجود بین بخشهای مختلف نیز دخیل گردیده است، استفاده می شود (لاکس و همکاران، ۲۰۰۵).

در این قسمت مفاهیم مرتبط با مدیریت جامع منابع آب تعریف میگردد

۱. توسعه منابع آب: فعالیتهایی معمولاً فیزیکی، که منجر به استفاده سودمند از منابع آب با توجه به منظور منفرد یا چندگانه میگردد.

۲. برنامه ریزی منابع آب: برنامه ریزی توسعه، ذخیره و تخصیص منابع محدود (درون بخشی یا بین-بخشی)، منطبق با موجودیت و تقاضا و با در نظر گرفتن مجموعه کاملی از اهداف ملی، محدودیتها و علایق ذی نفعان.

۳. مدیریت منابع آب: مجموعه کاملی از اقدامات فنی، نهادی، مدیریتی، منطقی و عملی مورد نیاز جهت طراحی، توسعه، بهره برداری و مدیریت منابع آب با هدف کاربری پایدار.

۴. مدیریت جامع منابع آب: فرآیندی است که مدیریت و توسعه آب، زمین و منابع مرتبط را با هدف بیشینه کردن برآیند اقتصادی و رفاه اجتماعی به نحو متعادل و بدون به خطر انداختن پایداری اکوسیستم های حیاتی، ترویج می نماید.

مدیریت جامع منابع آب سه هدف اصلی دارد (لاکس و همکاران، ۲۰۰۵)

۱. عدالت اجتماعی (پایداری اجتماعی)، حق اساسی تمامی مردم برای دستیابی به آب با کمیت و کیفیت مناسب جهت تأمین رفاه انسانی.

۲. پایداری اکولوژیکی و زیستمحیطی: کاربری حال حاضر آب باید به نحوی مدیریت شود که سیستم اکولوژیکی و زیستمحیطی را به خطر نیندازد، ضمن آنکه باید کاربری همسانی را برای نسلهای آینده لحاظ نماید.

۳. بازدهی اقتصادی (پایداری اقتصادی) کاربری آب: به علت روند افزایشی کمبود آب و منابع مالی، محدودیت و طبیعت آسیب پذیر آب به عنوان یک منبع تجدید شونده و تقاضای فزاینده آبی، باید این منبع با بیشترین بازدهی مورد استفاده قرار گیرد.

جامع نگری در مدیریت و برنامه ریزی منابع آب شامل ابعاد مختلفی است، که آن را میتوان به دو دسته کلی زیر تقسیم نمود (لاکس و همکاران، ۲۰۰۵)

۱. جامع نگری سیستم طبیعی: جامع نگری مدیریت آب شیرین و مدیریت مناطق ساحلی، جامع نگری در مدیریت آب و زمین، جامع نگری مدیریت آب سطحی و آب زیرزمینی، جامع نگری کمیت و کیفیت در مدیریت منابع آب، جامع نگری علایق آبی بالادست و پاییندست.

۲. جامع نگری در سیستم انسانی: اصول اساسی اتخاذ سیاست جامع، تجمیع کلیه ذینفعان در روند برنامه ریزی و تصمیم گیری، حفاظت و نگهداری منابع آب است.

مدیریت جامع منابع آب سه مؤلفه اصلی دارد که عبارتند از (لاکس و همکاران، ۲۰۰۵) :

۱. توانمندسازی محیط: قالب کلی سیاستهای ملی، قوانین، مقررات و اطلاعات مربوط به ذینفعان مدیریت منابع آب.

۲. نقشهای نهادی و عملکردهای سطوح مختلف مدیریتی و ذینفعان.

۳. ابزارهای مدیریتی: شامل ابزارهای مؤثر جهت قانونگذاری، نظارت و اجرا که تصمیم گیران را در انتخاب آگاهانه بین فعالیتهای مختلف یاری مینماید. این انتخاب باید بر اساس سیاستهای توافق شده، منابع موجود، اثرات زیست محیطی و پیامدهای اقتصادی و اجتماعی باشد.

۲-۲- مدل سازی در سیستم های منابع آب

سیستم های منابع آب به وسیله اجزای به هم پیوسته متعددی توصیف می شوند که با هم باعث ایجاد اثرات چندگانه اقتصادی، زیست محیطی، بوم شناختی و اجتماعی می شوند. طراحان و مدیران تلاش می کنند تا عملکرد این سیستم های پیچیده را بهبود بخشیده و طرح ها و سیاست های راهبردی ممکن را با پیش بینی و مقایسه عملکرد آنها با اهداف و مقاصد مطلوب تعیین و ارزیابی کنند. در این میان، نقش مدل های کامپیوتری در برنامه ریزی منابع آب تعیین روش های گوناگون موجود جهت رسیدن به اهداف طراحی و مدیریت و ارزیابی اثرات آنها می باشد. در واقع مدل ها تصمیم گیران را از عواقب تصمیم هایشان آگاه می سازند تا برنامه ریزان و مدیران رفتار هر سیاست مدیریتی یا برنامه ریزی سیستم منابع آب را قبل از اجرای آن پیش بینی نمایند. بنابراین نقش مدل ها تولید اطلاعات است نه تولید تصمیم. اطلاعاتی که بر اساس آن طراحان و مدیران می توانند تصمیماتی آگاهانه تر اتخاذ نمایند. نکته مهم آن است که فرآیند مدیریت جامع منابع آب فرآیند پیچیده ای است که اجزای متعددی دارد و تنها بخشی از آن را می توان مدل سازی نمود؛ بنابراین نمی توان انتظار داشت با مدل سازی تمامی مسائل مرتبط با آب حل شود (لاکس و همکاران، ۲۰۰۵).

۳-۲- روش‌های مدل‌سازی حوضه رودخانه

حوضه رودخانه از دیرباز به عنوان یک واحد مناسب جهت تحلیل مدیریتی منابع آب شناخته شده است و اخیراً نیز توسط "کنفرانس ملل متحد راجع به توسعه و محیط زیست" با نام واحد مدیریت یکپارچه منابع آب نام گذاری شده است. با این توجه در سال‌های اخیر مفهومی تحت عنوان مدیریت حوضه رودخانه به وجود آمده است (مک کنی و همکاران، ۱۹۹۹).

روش‌های مدل‌سازی حوضه رودخانه را می‌توان به سه دسته کلی تقسیم نمود: الف) شبیه‌سازی، ب) بهینه‌سازی، و ج) شبیه‌سازی بر اساس بهینه‌سازی. در همه‌ی این روش‌ها باید رفتار سیستم طبیعی و زیرساخت‌های مرتبط با آن و همچنین روابط اقتصادی- اجتماعی موجود در سیستم بیان شوند. در این بخش روش‌های مورد استفاده جهت مدل‌سازی تشریح می‌گردند (لاکس و همکاران، ۲۰۰۵).

۴-۲- شبیه‌سازی سیستم‌های منابع آب

مدل‌های شبیه‌سازی مشخص می‌نمایند که اگر از یک گزینه و سیاست خاص استفاده شد، طی مکان و زمان معین احتمالاً چه اتفاقی خواهد افتاد. به همین دلیل در شبیه‌سازی معمولاً مسائل به صورت سناریوهای "اگر- آنگاه چه" مطرح می‌گردند. این مدل‌ها بر خلاف مدل‌های بهینه‌سازی با فرض‌های ساده کننده مواجه نیستند؛ بنابراین به کمک شبیه‌سازی می‌توان یک مسأله را مورد ارزیابی دقیق‌تری قرار داد. در شبیه‌سازی، تحلیل‌گر باید مقدار متغیرهای تصمیم را مشخص نماید. بهترین مقدار این متغیرهای تصمیم باید به وسیله تحلیل حساسیت تعیین گردد؛ بدین صورت که مقادیر آن‌ها تغییر می‌یابد تا مقادیر خروجی بر حسب توابع هدف محاسبه شوند. بنابراین شبیه‌سازی یک روند سعی و خطاست (لاکس و همکاران، ۲۰۰۵).

مدل‌های شبیه‌سازی مانند WEAP, Mike Basin, Ribasim سیستم حوضه رودخانه را به صورت گره-کمان^۱ مدل می‌نمایند. گره‌ها بیانگر آبخوان‌ها، سدها، نیروگاه‌های برق آبی و ... می‌باشند و کمان-

¹ Demand Site-Transmission Link

ها هم آب را بین گروه‌های مختلف انتقال می‌دهند. در مدل‌های شبیه‌سازی، هر گام زمانی محاسبات بیلان آب در سه مرحله انجام می‌شود:

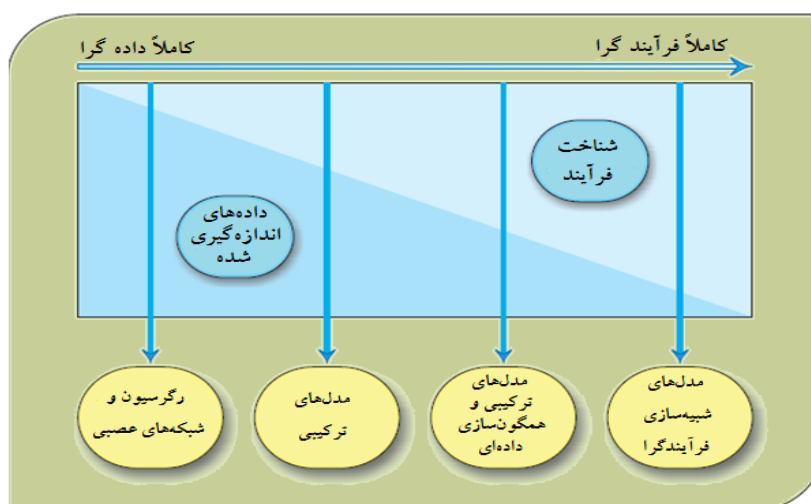
الف) مرحله منابع: در این گام موجودی آب در منابع مختلف محاسبه می‌شود.

ب) مرحله تقاضا: در این مرحله میزان تقاضای آبی در مکان‌های مختلف محاسبه می‌گردد.

ج) مرحله تخصیص آب: در این گام بر اساس تقاضا، موجودی آب و قواعد (اولویت‌ها)، تخصیص آب صورت می‌گیرد (علیزاده، ۱۳۸۵).

۲-۴-۱- انواع مدل‌های شبیه‌سازی

مدل‌های شبیه‌سازی را از چند جهت می‌توان دسته‌بندی کرد. از یک دیدگاه، این مدل‌ها یا آماری هستند یا فرآیندگرا و یا ترکیبی از این دو. مدل‌های مطلقاً آماری تنها مبتنی بر داده‌ها (اندازه‌گیری‌های میدانی) هستند. مدل‌های کاملاً فرآیندگرا تنها مبتنی بر دانش فرآیندهای اساسی در حال رخداد، می‌باشند. البته بسیاری از مدل‌های شبیه‌سازی خصوصیات این دو حالت حدی را دارند و در حقیقت ترکیبی از هر دو آن‌ها هستند. گستره روش‌های شبیه‌سازی گوناگون که در مورد سیستم‌های منابع آب به کار می‌رود در شکل (۲-۱) نشان داده شده است (لاکس و همکاران، ۲۰۰۵).



شکل ۲-۱- محدوده انواع مدل‌های شبیه‌سازی بر اساس میزان دخالت داده‌های اندازه‌گیری شده و فرآیندهای طبیعی در مدل (لاکس و همکاران، ۲۰۰۵).

مدل‌های رگرسیونی و شبکه‌های عصبی نمونه‌هایی از مدل‌های کاملاً آماری می‌باشند. در این مدل‌ها یک رابطه بین متغیر ورودی و متغیر خروجی بر اساس مشاهدات میدانی برقرار می‌گردد. این رابطه به وسیله واسنجی یک مدل با ساختار از پیش تعریف شده، بدون این که با فرآیندهای طبیعی رخ داده شده مرتبط باشد (جعبه سیاه)، به دست می‌آید. پس از واسنجی، می‌توان از مدل برای تخمین مقادیر متغیر خروجی استفاده کرد، به شرط آن که مقادیر ورودی در همان بازه‌ای باشند که مدل نسبت به آن واسنجی شده است.

"مدل‌های ترکیبی" بعضی از روابط فرآیندهای فیزیکی را وارد مدل‌های رگرسیونی یا شبکه‌های عصبی می‌کنند. این روابط به عنوان مکمل در کنار داده‌ها در واسنجی مدل استفاده می‌شوند. نوع دیگر مدل‌های شبیه‌سازی که در بین دو نوع حدی اشاره شده در بالا واقع است، مدل‌های "فرآیندی و همگون سازی داده‌ای" می‌باشد. این معادلات دارای فرآیندهای اساسی فیزیکی می‌باشند که پارامترهایی دارند که باید از طریق واسنجی تخمین زده شوند و البته واسنجی نیز به داده نیاز دارد. این داده‌ها علاوه بر واسنجی جهت صحت سنجی و در موارد شبیه‌سازی پیوسته جهت واسنجی پیوسته و کاهش عدم قطعیت نیز به کار می‌روند. به واسنجی پیوسته همگون سازی داده‌ای نیز گفته می‌شود (لاکس و همکاران، ۲۰۰۵).

در ادامه به بررسی مدل‌های مختلف شبیه سازی برای مدیریت آب و در نهایت انتخاب مدل برتر پرداخته شده است. بدین منظور، نرم افزارهای WEAP، MODSIM، MIKE BASIN، RIBASIM، WBalMo انتخاب گردیده اند.

معیارهای ارزیابی خصوصیات این مدل‌ها را میتوان در قالب چند سؤال مطرح کرد که عبارت اند از: نحوه مدلسازی سیستمهای طبیعی و زیرساختهای مرتبط.

چه فرآیندهایی را در مدلسازی هیدرولوژیکی حوضه آبریز لحاظ مینماید؟

از چه مدل ریاضی برای مدلسازی فرآیندها استفاده میکند؟

مدل هیدرولوژیکی حوضه آبریز از چه نوعی است؟

قاعده بهره برداری مخازن را چگونه مدل میکند؟

آیا کیفیت آب را مدل میکند؟

کیفیت را فقط درون جریان (رودخانه) مدل میکند یا این که میتواند درون مخازن از قبیل مخازن

سدها، سفره های آب زیرزمینی و منطقه ریشه گیاهی نیز مدل نماید؟

آیا قابلیت مدلسازی توابع اقتصادی-اجتماعی را دارد؟

از چه روشهایی برای تخمین تقاضای آب در کاربری های مختلف استفاده میکند؟

آیا تولید برقآبی را شبیهسازی مینماید؟

تخصیص منابع آب به تقاضاها را بر مبنای چه الگوریتمی انجام میدهد؟

از چه امکانات جانبی برخوردار است؟

آیا مدلهای مورد استفاده نیازمند واسنجی هستند؟ آیا برای واسنجی ابزار خاصی درون مدل تعبیه

شده است؟

آیا برای تحلیل حساسیت و تحلیل عدم قطعیت ابزاری وجود دارد؟

آیا میتوان مدل را در محیط GIS تحلیل کرد؟

مدل ابزاری جهت تحلیل اقتصادی دارد؟

به طور کلی در چه مسائلی میتوان از این مدل استفاده کرد و خصوصاً تاکنون برای حل چه مسائلی

بکار رفته است؟

هزینه دسترسی به مدل چقدر است؟

با توجه به مباحث مختلف مطرح شده در بالا جدولی تدوین شد که با پاسخ به سوالات بالا به انتخاب

مدل برتر کمک شایانی میکند.

جدول ۱-۲. مقایسه خصوصیات مدل‌های شبیه‌سازی تخصیص آب در حوضه آبریز

سطح ۱	سطح ۲	سطح ۳	RIBASIM	WEAP	MIKE BASIM	MODSIM	WBalMo
مدلسازی سیستم های منابع طبیعی	مدلسازی هیدرولوژیکی حوضه	فرآیندهای سطحی	بله	بله	بله	خیر	خیر
		فرآیندهای زیر سطحی	خیر	خیر	خیر	خیر	خیر
		اندرکنش سفره و رودخانه	بله	بله	بله	بله	خیر
		روندپایی جریان	بله	خیر	بله	بله	خیر
	نوع مدل هیدرولوژیکی حوضه	معین/ احتمالی	معین و احتمالی	معین	معین	معین	معین و احتمالی
		تک واقعه / پیوسته زمانی	پیوسته زمانی	پیوسته زمانی	پیوسته زمانی	پیوسته زمانی	پیوسته زمانی
		تجمیع شده/ گسترش یافته	نیمه گسترش یافته	نیمه گسترش یافته	نیمه گسترش یافته	نیمه گسترش یافته	نیمه گسترش یافته
		نظری/ تجربی	نیمه نظری	نیمه نظری	نیمه نظری	نیمه نظری	نیمه نظری
	مخازن سطحی		بله- پیچیده	بله- ساده	بله- ساده	بله- ساده	بله- پیچیده
	کیفیت آب		بله- جریان و محزن	بله- جریان	بله- جریان و محزن	خیر	خیر
تخمین تقاضای صنعتی و شرب	تخمین تقاضای کشاورزی	بله- پیچیده	بله- پیچیده	بله- پیچیده	خیر	خیر	خیر
	تخمین تولید برق آبی	بله	بله	بله	بله	بله	خیر
	روش تخصیص منابع به مصارف		بهینه سازی- اولویت دهی	بهینه سازی- اولویت دهی	بهینه سازی- اولویت دهی	بهینه سازی- اولویت دهی	بهینه سازی- اولویت دهی
	تحلیل GIS		بله	خیر	بله	خیر	بله
	ابزار واسنجی		خیر	بله	خیر	بله	خیر
	ابزار تحلیل حساسیت		خیر	خیر	خیر	خیر	خیر
	ابزار تحلیل عدم قطعیت		خیر	خیر	خیر	خیر	خیر
	تحلیل مالی		خیر	بله	خیر	خیر	خیر
	قیمت		\$۸۰۰۰۰	مجانی	\$۳۰۰۰۰	مجانی	مجانی

انتخاب نرم افزار شبیه سازی مناسب به دو عامل بستگی دارد: ۱. تجربه عملی در زمینه های مختلف مرتبط با هیدرولوژی و مدیریت منابع آب و ۲. درک کامل از مسأله پیش رو. این بسته نرم افزارها دو بخش اصلی دارند: شبیه سازی فرآیندهای هیدرولوژیکی و تخصیص منابع موجود به مصارف. تمام نرم افزارهای مورد بحث قطعاً حاوی بخش دوم هستند. در مورد نحوه شبیه سازی فرآیندهای هیدرولوژیکی هم بعضی از این نرم افزارها چندین روش مختلف را پیش رو میگذارند و از این جهت دایره انتخاب کاربر را توسعه می دهند.

نرم افزار RIBASIM هم در شبیه سازی فرآیندهای هیدرولوژیکی و هم در نظر گرفتن جزئیات مختلف روند تخصیص آب از هر ۴ مدل دیگر قویتر است ولی مشکل اصلی آن هزینه زیاد تهیه آن است. بعد از این نرم افزار MIKE BASIN و سپس نرم افزار WEAP قرار دارد. نرم افزارهای MODSIM و WBalMo چرخه کامل هیدرولوژیکی را شبیه سازی نمی نمایند. در زمینه ملاحظه قواعد مختلف تخصیص آب مدل MODSIM بسیار پیشرفته شده است به طوری که در سطحی معادل RIBASIM است، لکن WBalMo در این زمینه نیز از همه نرم افزارهای دیگر ضعیف تر است. یکی از مهمترین و دشوارترین قسمتهای کار خصوصاً در مدلسازی هیدرولوژیکی حوضه آبریز، واسنجی پارامترهای مدل است. انجام این امر نیازمند تجربه است، به طوری که اگر کاربر تجربه کافی نداشته باشد واسنجی این مدل های هیدرولوژیکی که پارامترهای متعددی نیز دارند، دشوارتر هم خواهد بود. در این زمینه همانطور که در جدول بالا دیده شد فقط نرم افزارهای WEAP و MODSIM قادر به عمل واسنجی هستند.

با توجه به بحث های مطرح شده می توان اینطور نتیجه گرفت که مدل RIBASIM و WBalMo در ابتدا از دایره انتخاب خارج می شوند. اولی به این دلیل که هزینه تهیه آن بالاست و دومی به دلیل امکانات کمی که در اختیار کاربر می گذارد. دو مدل WEAP و MIKE BASIN قابلیت مدل کردن فرآیندهای بارش-رواناب را دارند. در مدل WEAP از چهار روش متفاوت میتوان به مدلسازی اینگونه فرآیندها پرداخت و مدل MIKE BASIN نیز از مدل NAM استفاده می کند. این در حالی است که

در MODSIM این قابلیت دیده نشده است. مزایای نرم افزار WEAP را میتوان در این موارد خلاصه نمود: آسانی و کاربرپسند بودن WEAP امکان ایجاد اتصال بین نرم افزار WEAP و سایر برنامه‌ها و مدل‌ها، مانند ارتباط با مدل QUAL2K برای مدل‌سازی کیفی، ارتباط با مدل MODFLOW برای مدل‌سازی بهتر اندرکنش بین آب زیرزمینی و آب سطحی. توانایی بررسی گزینه‌های مختلف پیشنهادی جهت بهره‌برداری از سیستم منابع آب از نظر مالی. امکان تحلیل و ارزیابی همزمان سناریوها و برنامه‌های مختلف. قابلیت مدل‌سازی و بهره‌برداری تلفیقی از منابع آب سطحی و زیرزمینی به کمک امکانات پیش‌بینی شده در مدل.

۲-۵- بهینه‌سازی سیستم‌های منابع آب

بهینه‌سازی یعنی انتخاب بهترین جواب یا حداقل مجموعه‌ای از جواب‌های خوب از بین جواب‌هایی که همگی محدودیت‌های مسئله را در نظر می‌گیرند. به عبارت دیگر حل یک مسئله بهینه‌سازی یعنی به دست آوردن متغیرهای تصمیم‌گیری بهینه. لذا روش‌های بهینه‌سازی بر پایه تعداد زیادی فرض‌های محدود کننده استوار است، به همین دلیل از آن‌ها در مرحله طراحی مطالعات برنامه‌ریزی استفاده می‌گردد تا از بین بی‌شمار اقدام مدیریتی موجود بهترین‌ها انتخاب گردند. به طور کلی می‌توان گفت مدل‌های بهینه‌سازی اساساً همان مدل‌های شبیه‌سازی هستند که دارای ساختار سیستماتیک تولید و ارزیابی سناریوهای متفاوت می‌باشند تا در نهایت بهترین جواب ممکن را به دست آورند (لاکس و همکاران، ۲۰۰۵).

۲-۶- شبیه‌سازی سیستم‌های منابع آب بر اساس بهینه‌سازی

در اغلب موارد مفیدترین روش برای مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آب استفاده توأم از بهینه‌سازی و شبیه‌سازی می‌باشد. از آنجا که بهینه‌سازی بهترین گزینه‌های تصمیم‌گیری را بر اساس فرض‌های محدود کننده زیاد تعیین می‌کند، ما نمی‌توانیم بهترین راه حل را به وسیله آن‌ها تعیین نماییم، بلکه می‌توانیم تعداد محدودی از گزینه‌های بهتر را مشخص کنیم، سپس به وسیله شبیه‌سازی هر کدام از این گزینه‌ها را جداگانه ارزیابی و در نهایت بهترین گزینه را انتخاب می‌نماییم.

به طور خلاصه می‌توان روش‌های بهینه‌سازی و شبیه‌سازی را این‌گونه با هم مقایسه کرد:

– در بهینه‌سازی باید اهداف در قالب عبارتی صریح بیان گردد، ولی در شبیه‌سازی چنین مسأله‌ای الزامی نیست.

– قبل از شبیه‌سازی باید مقادیر متغیرهای تصمیم معین شود، ولی در بهینه‌سازی مقادیر متغیرهای تصمیم مجهول است و در انتها یافت می‌شود.

– بهینه‌سازی در مقایسه با شبیه‌سازی مستلزم ساده‌سازی بیشتری از دنیای واقع است و از این رو بررسی ابعاد بیشتری از یک مسأله همیشه توسط شبیه‌سازی انجام می‌گیرد.

– شبیه‌سازی به خصوص در مورد سیستم‌های پیچیده‌تر کاری است وقت‌گیر و بنابراین در مواردی استفاده می‌گردد که تعداد گزینه‌های مدیریتی پیش رو محدودتر باشد. حال آن که در بهینه‌سازی چنین محدودیتی وجود ندارد (لاکس و همکاران، ۲۰۰۵).

۲-۷- مروری بر مطالعات انجام شده با استفاده از مدل WEAP

۲-۷-۱- تاریخچه WEAP

مدل WEAP در سال ۱۹۸۸ با هدف تبدیل شدن به یک ابزار برنامه‌ریزی انعطاف پذیر، یکپارچه و شفاف برای ارزیابی پایداری تقاضا و الگوهای عرضه کنونی آب و تشریح سناریوهای مختلف دراز مدت به وجود آمده است. توسعه و توزیع نرم افزار WEAP توسط جک سیر از مؤسسه محیط زیست استکهلم اداره می‌شود. اولین کاربرد عمده WEAP در منطقه دریای آرال در سال ۱۹۸۹ با حمایت مؤسسه یاد شده انجام گرفت. اما نسخه‌ای که به کار گرفته شد محدودیت‌هایی داشت، به عنوان مثال در روند تخصیص آب از یک رودخانه مستقل، اولویت برداشت به نقاط تقاضایی داده می‌شد که در بالادست قرار داشتند، و اطمینان حاصل می‌شد که ترجیح برداشت نقاط تقاضای پایین‌دست از آب زیرزمینی بیشتر از آب سطحی باشد. این محدودیت‌ها باعث گردید که WEAP وارد پیشرفت‌های عمده‌ای شود. از آن جمله می‌توان به یک رابط گرافیکی مدرن برای کاربر، یک الگوریتم

حل قدرتمند برای حل مسائل تخصیص آب، و ادغام زیر بخش‌های هیدرولوژیکی شامل مدل‌های مفهومی بارش- رواناب و یک مدل آب زیرزمینی آبرفتی اشاره کرد (SEI, ۲۰۱۲). در نسخه‌های بعدی این مدل امکاناتی همچون ارتباط با مدل‌های دیگر مانند EXCEL, MODFLOW, MODPATH و QUAL2K به آن اضافه شد و در جدیدترین نسخه این مدل امکان برنامه‌نویسی داخلی و هم‌چنین واسنجی خودکار مدل توسط مدل PEST فراهم شده است. مدل WEAP در ارزیابی منابع آب در نقاط مختلف دنیا به کار گرفته شده است در ادامه به برخی از این موارد اشاره می‌شود:

- ییتس و همکاران (۲۰۰۵) به معرفی ورژن ۲۱ WEAP از این نرم افزار پرداختند. آنها به برخی از قابلیت‌های این نرم افزار اشاره نمودند از جمله: رابط کاربر، توانایی نرم افزار در ساخت مدل‌های پیچیده فیزیکی هیدرولوژیکی و مدل‌های تقاضای آب برای مصارف کشاورزی، شهری و صنعتی در مقیاس‌های زمانی. مکانی مختلف و سطوح مختلفی از جزئیات. همچنین آنها به تشریح الگوریتم تخصیص در WEAP و روابط مختلف مورد استفاده برای شبیه سازی مولفه‌های مختلف نیز پرداختند.

- ایلماز و هرمنی اعلی در سال ۲۰۱۰، مدل WEAP را تحت سناریوی اقلیمی برای حوضه رودخانه گدیز^۱ ترکیه که با مشکلات عدیده‌ای از جمله کمبود شدید و آلودگی آب مواجه است بکار گرفتند. و تاثیر گزینه‌های مختلف مدیریتی را در این شرایط بر منابع آب حوضه بررسی کردند. این سه سناریو به ترتیب بیانگر شرایط کنونی، بهتر و بدتر از نظر تقاضا و تامین آب بودند. نتایج نشان دادند که این حوضه کاملاً به شرایط خشکسالی حساس است و بخش کشاورزی به طور معنی داری متاثر از کم آبیاری است که اثرات سوء آن در دوره‌های خشکسالی به شدت افزایش می‌یابد.

¹ Gediz River Basin

- حوضه رودخانه اولیفانتز^۱ واقع در کشور افریقای جنوبی در سال‌های اخیر با کمبود منابع آب برای تأمین تقاضای فزاینده آب روبرو شده است. در سال ۲۰۰۳ لهویت و همکاران طی مطالعه‌ای اثرات مدیریت تقاضا، به خصوص در بخش کشاورزی را به کمک مدل WEAP مورد بررسی قرار دادند. نتایج مطالعه حاکی از آن بود که: (۱) در بعضی از نقاط حوضه در شدیدترین حالت مدیریت تقاضا نیز بخشی از نیاز تأمین نمی‌گردد؛ (۲) در شرایط خشکسالی مدیریت تقاضا به تنهایی جوابگو نیست؛ (۳) مدل WEAP وسیله مناسبی برای ارزیابی سریع تصمیمات تخصیص آب می‌باشد، اما نمی‌تواند تغییرات شدید هیدرولوژیکی کشور افریقای جنوبی را مدل کند.

- در حوضه رودخانه ساکرامنتو^۲ در ایالت کالیفرنیا برای بررسی تأثیر تغییر اقلیم در آینده بر مدیریت آب برای کشاورزی و بخش‌های دیگر، مدل WEAP توسط پورکی و همکاران (۲۰۰۷) به کار گرفته شد. در این پژوهش برای ارزیابی اثرات مدیریت آب کشاورزی بر تقاضای کشاورزی و منابع آب، اقداماتی همچون بهبود در راندمان آبیاری و تغییر الگوی کشت تحت چهار سری زمانی اقلیمی شبیه‌سازی شد. نتایج نشان داد این اقدامات باعث کاهش تقاضا در بخش کشاورزی و همچنین کاهش پمپاژ از آب زیرزمینی به همراه افزایش تخصیص آب‌های سطحی به دیگر بخش‌ها خواهد شد.

- تخلیه گسترده فاضلاب تصفیه نشده به درون رودخانه حوضه لیتانی^۳ در لبنان باعث شده که آب این رودخانه، به خصوص در دوره‌های خشک سال، برای بسیاری از مصارف مناسب نباشد. اساف و ساده (۲۰۰۸) دو طرح مهم مدیریت کیفی آب را توسط WEAP ارزیابی کردند و برای تعیین بهترین طرح، از تحلیل اثربخشی هزینه‌ها استفاده کردند. نتایج نیز جدیت این مشکل را تأیید کرده و اهمیت انجام یک اقدام فوری را برای کنترل این خطر نشان دادند.

- آب در اردن کمیاب، و در عین حال کلید اقتصاد آن است. رشد سریع جمعیت و زراعت گسترده باعث ایجاد تقاضا برای منابع جدید آب می‌شود. الفرا و همکاران (۲۰۱۲) برای ارزیابی شرایط

¹ Olifants River Basin

² Sacramento River Basin

³ Litani Basin

و گزینه‌های مختلف تأمین آب در دره اردن، مدل WEAP را به کار گرفتند. این سناریوها عبارت بودند از سناریوی پایه، افزایش استفاده از فاضلاب تصفیه شده برای آبیاری، تغییر اقلیم و دو سناریوی ترکیبی تغییر اقلیم همراه با افزایش باز چرخانی آب و تغییر اقلیم همراه با اصلاح الگوی کشت.

- در دهه‌های اخیر به دلیل افزایش رقابت برای منابع آب حوضه اواسونگیرو^۱ واقع در کنیا، کشمکش‌ها بر سر استفاده از آب بیشتر شده است. موتیگا و همکاران (۲۰۱۰) طی پژوهشی برای یافتن راه‌حلی جهت هماهنگ کردن تقاضاهای آبی بخش‌های مختلف با منابع آب موجود این حوضه از مدل WEAP استفاده کردند. مصرف آب برای پنج بخش خانگی، دامداری، حیات وحش، آبیاری و ذخیره‌سازی شبیه‌سازی شد. تجزیه و تحلیل‌ها نشان دادند که بیشترین مقدار تقاضا، و در نتیجه دلیل ایجاد کشمکش‌ها مربوط به بخش کشاورزی بوده و بنابراین پیشنهاد داده شد برای حل این مشکل کشت دیم در منطقه توسعه یابد.

- العمری و همکاران (۲۰۰۹) یک سیستم پشتیبان مدیریت آب برای حوضه عمان ضرقا در اردن توسعه دادند. برای این منظور از نرم افزار WEAP استفاده نمودند. آنها منابع و تقاضاهای حوضه را به صورت شبکه‌ای از گره‌های عرضه و تقاضا که توسط رابط‌هایی به یکدیگر متصل می‌شوند؛ مدل نمودند. مدل خود را برای سال ۲۰۰۵ کالیبره نموده و سپس برای سال ۲۰۰۶ اعتبارسنجی نمودند و سپس آن را برای چهار سناریو تا سال ۲۰۲۵ اجرا نمودند. نتایج نشان دادند که در سال ۲۰۲۵ نیاز شرب و صنعت در هر چهار سناریو تامین شده و نیاز کشاورزی نیز در دو سناریو قابل تامین خواهد بود.

- هولرمن و همکاران (۲۰۱۰) در تحقیقی بیلان آب را در حوضه اومه-بونو^۲ واقع در کشور بنین^۳ به کمک مدل WEAP شبیه‌سازی کردند و اوضاع منابع آب آن را تحت سناریوهای مختلف توسعه اجتماعی-اقتصادی و تغییر اقلیم تا سال ۲۰۲۵ تحلیل کردند. نتایج بیانگر آن بودند که علاوه

¹ Ewaso Ng'iro

² Ouémé-Bonou Catchment

³ Benin

بر افزایش فشار بر روی منابع آب بنین، رقابت بر سر آب سطحی نیز بیشتر خواهد شد. کاهش جریان ورودی و تغذیه آب زیرزمینی در نتیجه تغییر اقلیم نیز سهم بسزایی در بدتر کردن این اوضاع خواهند داشت و تنها با مدیریت مناسب می‌توان از تبعات منفی آن کاست.

- جانسون و همکاران در سال ۲۰۱۱ برای مدلسازی هیدرولوژیکی و توسعه ی سناریوهای مدیریتی، از مدل WEAP، به منظور بررسی پتانسیل آینده ی آب در یک حوضه ی خشک در جنوب بریتیش کلمبیا در کشور کانادا استفاده کردند. از یافته های تحقیق، این مسأله را می توان مشاهده کرد که یک استراتژی "کسب و کار معمولی" اجازه نخواهد داد تا کل تقاضای آب در این حوضه در آینده برآورده شود.

این تحقیق فراتر از کاربردهایش برای منطقه ی مورد مطالعه، همچنین یک روش استفاده از ابزار مدلسازی قابل دسترس را نشان می دهد که با آن می توان دانش و اطلاعات را از زمینه های مختلف علوم آب و هوا، هیدرولوژی جنگل، مدیریت سیستم های آبی و اکولوژی رود جهت کمک به تصمیم گیری در مورد زمین و آب یکپارچه نمود. روش هایی که در این تحقیق بسط داده شده است مربوط به مدیران آب در دیگر نقاط کانادا و جهان هم هست که با توجه به افزایش رقابت بر سر منابع آب، به عنوان جابجایی رژیم های جریانی با تغییرات استفاده از زمین و آب و هوا، با چالش های مشابهی مواجه اند.

- دروگرز و همکاران در سال ۲۰۱۲ در مقاله ای به بررسی منابع آبی و تخصیص آنها در منطقه MENA پرداختند که از نتایج این بررسی به نکات زیر می توان اشاره کرد. تقاضای کلی به مقدار ۱۳۲ میلیون متر مکعب در سال افزایش خواهد یافت در حالی که تحت تغییرات اقلیمی کمبود آب به مقدار ۱۵۷ میلیون متر مکعب در سال افزایش می یابد.

نتایج این تحقیق به روشنی نشان می دهد که برای منطقه ی تحت مطالعه تغییرات اقلیم در پیش بینی کمبود آب در دهه های آینده عامل کوچکی است. اگرچه با وجود کمبود آب شدید در منطقه این جزء اقلیمی باید در پروسه های طراحی مورد لحاظ قرار گیرد. تقاضا چیری در حدود ۵۰٪ و

تقاضای برآورد نشده نیز در حدود ۳۷۰٪ در حال افزایش است. مطالعات کنونی بیانگر آن است که افزایش تقاضا برابر ۷۴ میلیون متر مکعب در سال ۲۰۳۰ خواهد بود.

در ایران نیز از WEAP در طرح های متعددی استفاده شده است از جمله در مطالعات به هنگام سازی طرح جامع آب کشور از این نرم افزار استفاده می شود. تحقیقات متعددی نیز توسط پژوهشگران داخلی از طریق این نرم افزار صورت گرفته است.

- خلقی و حافظ پرست در سال ۱۳۸۵ به بررسی حوضه آبریز رودخانه حبله رود پرداختند که نتایج استفاده از مدل WEAP در مدیریت منابع آب این بخش از حوضه حبله رود نشان می دهد که اراضی داخل شبکه آبیاری دشت گرمسار مشکل کمبود آب دارند و در شرایط حاضرمیزان متوسط درصد کمبود سالانه اراضی بیشتر از ۶ درصد می باشد که بایستی کمتر شود و سطح زیر کشت کاهش یابد و یا با افزایش راندمان آبیاری، توسعه طرحهای آبیاری تحت فشار، افزایش راندمان انتقال آب و یا ایجاد منابع جدید مثل احداث سد از این امر جلوگیری شود و اراضی خارج از دشت قابل توسعه می باشد.

- حافظ پرست مودت و همکاران به بررسی وضعیت منطقه دشت تاکستان به لحاظ سناریوهای مختلف تخصیص آب از منابع سطحی و زیرزمینی به مصارف موجود قبل از احداث سد نهب (شرایط فعلی) و بعد از احداث سد (شرایط آتی) پرداختند. برای این منظور از روش شبیه سازی بر اساس بهینه سازی استفاده نمودند. برای بهینه سازی از نرم افزار LINGO و برای شبیه سازی WEAP را انتخاب نمودند. تابع هدف در مدل بهینه سازی، حداکثر نمودن سطح زیرکشت بود و سپس در مدل شبیه سازی مقادیر تخصیص ماهانه برای مصارف موجود با توجه به منابع در دسترس با درصد کمبود قابل اطمینان محاسبه گردید.

- وطن دوست و همکاران (۱۳۸۸)، به شناسایی وضعیت کنونی منابع و مصارف در محدوده مطالعاتی درگز (استان خراسان رضوی) پرداختند. سپس به کمک WEAP به مدل سازی این حوضه برای یک دوره ۲۰ ساله پرداختند و راهکارها و برنامه هایی برای کاهش مصرف آب در بخش کشاورزی ارائه نمودند و این راهکارها را توسط پایه ی سناریونویسی این نرم افزار شبیه سازی نمودند.

- اکبری و همکاران (۱۳۸۸)، راهکارهای مقابله با خشکسالی و تامین نیازهای آبی در بخش کشاورزی دشت پیرسهراب استان سیستان و بلوچستان را با استفاده از نرم افزار WEAP مورد بررسی قرار دادند.

- اصل روستا و عراقی نژاد (۱۳۸۸)، رویکرد مدیریت تقاضا را به عنوان یکی از رویکردهای مدیریت خشکسالی معرفی نموده و آن را از طریق شبیه سازی در نرم افزار ۲۱ WEAP برای حوضه رودخانه قره سو اعمال نمودند. آنها به این نتیجه دست یافتند که مدیریت تقاضا نه تنها برای کاهش شدت خشکسالی و افزایش آمادگی برای کاهش شدت خشکسالی و افزایش آمادگی برای رویارویی با شرایط خشکسالی مناسب است بلکه با توجه به معیارهای پایداری عنوان شده در تحقیق، این روش در توسعه پایدار طرح های منابع آب مشارکت بیشتری دارد.

- هلقی و وفایی جوان در سال ۱۳۸۹ به مطالعه حوضه آبریز رامیان در استان گلستان پرداختند. در این تحقیق از برنامه ریزی خطی برای برآورده کردن حداکثر نیازها و حداکثر جریان های مورد نظر رودخانه ای با در نظر گرفتن اولویت بندی نیازها، درجه برتری منابع موجوداستفاده و بر اساس رابطه بیلان آبی وسایر محدودیت ها، برنامه ریزی منابع آب حوضه رامیان در محیط نرم افزار WEAP انجام شده است. نتایج نشان می دهد ضمن کارایی بالای این نرم افزار، حداقل حجم مفید مورد نیاز برای تأمین نیاز های حوضه رامیان ۱۶ میلیون متر مکعب با حجم تنظیمی ۳۲/۹ میلیون متر مکعب می باشد. در نهایت حجم آب اختصاص یافته برای شرب با معیار تأمین ۹۵٪ از مواقع سال ۱۷ میلیون متر مکعب توصیه می شود و متوسط مجموع حجم آب رها شده در رودخانه یعنی مجموع آب کشاورزی، ۳۳ میلیون متر مکعب میباشد. محیط زیست و سرریزی از مخزن ۳۳/۴ میلیون متر مکعب میباشد.

- قزلباش در سال ۱۳۹۲ با مطالعه در حوضه آبریز سد مهاباد و مدلسازی این حوضه در WEAP در نهایت به این نتیجه رسید که سناریوی ترکیبی افزایش جمعیت شهر مهاباد طی سال های آتی با سرانه مصرف کمتر نسبت به سناریوی مرجع و کاهش سطح زیر کشت محصولات باغی و

تخصیص آن به محصولات زراعی و افزایش راندمان به دلیل بالاتر بودن درصد تامین بالا بهترین گزینه می باشد.

- سد کرخه، بزرگترین سد خاکی خاورمیانه، بر روی رودخانه کرخه در حد فاصل زیرحوضه- های سیمره و کرخه پایین احداث شده است. بررسی اثرات راهبردهای توسعه منابع و مدیریت آب در زیرحوضه‌های بالادست و میانی بر روی ورودی به این سد می‌تواند انعکاس خوبی از تأثیر آن‌ها بر زیرحوضه پایین دست باشد. علیزاده (۱۳۸۵) در تحقیقی تأثیر توسعه منابع آب در زیرحوضه سیمره را بر آورد جریان به مخزن این سد و تأمین تقاضا در بخش‌های مختلف کشاورزی، صنعتی و شرب بررسی کرد. در این مطالعه که با استفاده از مدل هیدرولوژیکی موجود در مدل WEAP به نام رطوبت خاک انجام گرفت، اقدامات مختلفی از قبیل ساخت و بهره‌برداری سدهای در دست مطالعه یا ساخت، طرح‌های انتقال آب برای مصارف مختلف، توسعه شبکه‌های آبیاری، تغییر روش‌های آبیاری، مدیریت تقاضا در بخش‌های شرب و صنعت، تغییر اولویت‌های تخصیص آب در حوضه و افزایش برداشت از منابع آب زیرزمینی مورد ارزیابی قرار گرفتند.

- تونل‌های ۱، ۲ و ۳ کوهرنگ برای انتقال آب از حوضه کوهرنگ به حوضه زاینده رود احداث شده است و طرح انتقال آب بهشت آباد نیز در دست مطالعه است. سعیدی‌نیا و همکاران (۱۳۸۷) در تحقیقی اثرات این طرح‌های انتقال آب را بر وضعیت منابع آب سطحی حوضه‌های بهشت آباد و کوهرنگ به کمک مدل WEAP مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان دادند خروجی رودخانه‌های بهشت آباد و کوهرنگ در افق آینده با فرض این که طرح‌های توسعه منابع آب تعریف شده به مرحله بهره‌برداری برسند، به طور متوسط نسبت به شرایط عدم توسعه حوضه بالادست ۲۷ درصد کاهش خواهد یافت.

- گازرانی (۱۳۸۹) طی پژوهشی بخشی از بالادست حوضه رودخانه کشف رود را از جهاتی مانند عرضه و تقاضای بخش کشاورزی، روستایی، شهری، صنعتی و دامداری با استفاده از مدل WEAP مورد بررسی قرار داد و با در نظر گرفتن اقدامات احتمالی مؤثر بر وضعیت منابع آبی منطقه و

نیز بررسی راهکارهای عملی ممکن در این زمینه، مبادرت به تدوین و توسعه پیشنهادات و راهکارهایی در قالب سناریوهای مختلف برای یک دوره ۱۵ ساله کرد. در این مطالعه نتایج این سناریوها بر اساس شاخص‌های مختلف مورد مقایسه قرار گرفته و در نهایت پیشنهادها و راهکارهای برگزیده برای هر چه بهتر برآورده کردن نیازهای آبی در این حوضه معرفی شدند.

۲-۸- مدل WEAP

در حال حاضر بسیاری از نقاط دنیا در معرض چالش‌های سنگین مدیریت آب شیرین هستند. تخصیص منابع محدود آب، نگرانی‌های مربوط به محیط زیست، برنامه‌ریزی در شرایط تغییرات و عدم قطعیت آب و هوا، و نیاز به توسعه و پیاده سازی استراتژی‌های پایدار استفاده از آب، فشار فزاینده‌ای روی برنامه‌ریزان منابع آب وارد کرده است. مدل‌های شبیه‌سازی متعارف عرضه‌گرا همیشه برای بررسی طیف گسترده‌ای از گزینه‌های مدیریت کفایت نمی‌کنند. طی دهه گذشته رویکرد یکپارچه نگری به منابع آب توسعه پیدا کرده که مفاهیمی در زمینه مدیریت تقاضا، حفاظت از کیفیت آب و محیط زیست را در پروژه‌های تأمین آب جای داده است. مدل WEAP این ارزش‌ها را در قالب یک ابزار سودمند برای تحلیل سیاست‌ها و برنامه‌ریزی منابع آب جمع‌آوری کرده است.

این مدل بر اساس معادلات پایه بیلان آبی عمل کرده و آن را می‌توان در سیستم‌های شهری و کشاورزی، حوضه‌های مستقل یا سیستم‌های رودخانه‌ای پیچیده به کار برد. علاوه بر این، WEAP می‌تواند محدوده وسیعی از مسائل مانند تحلیل نیاز هر بخش، حفاظت آب، حقابه‌ها و اولویت‌های تخصیص، شبیه‌سازی آب‌های سطحی و زیرزمینی، بهره‌برداری از مخزن، تولید انرژی برق‌آبی، راهبرد استفاده مجدد از آب، روندیابی آلودگی، نیازهای اکوسیستم، ارزیابی آسیب‌پذیری و تحلیل سود-هزینه طرح را پوشش دهد (SEI, ۲۰۰۸). وجه تمایز مدل WEAP به خاطر رویکرد جامع آن برای شبیه‌سازی هم‌زمان اجزای طبیعی (برای مثال نیاز تبخیر و تعرق، رواناب، جریان پایه) و مؤلفه‌های مهندسی (مثلاً مخازن، پمپاژ از آب‌های زیرزمینی) سیستم آب می‌باشد. این به طراح دید جامع‌تری نسبت به طیف گسترده‌ای از عواملی را می‌دهد که باید در مدیریت منابع آب برای استفاده در حال و

آینده در نظر گرفته شوند. نتایج به دست آمده یک ابزار کاملاً مفید برای بررسی گزینه‌های مختلف توسعه و مدیریت آب می‌باشد (SEI، ۲۰۱۲).

۲-۸-۱- مراحل کاربرد مدل

به طور خلاصه کاربرد مدل WEAP شامل چند مرحله می‌شود:

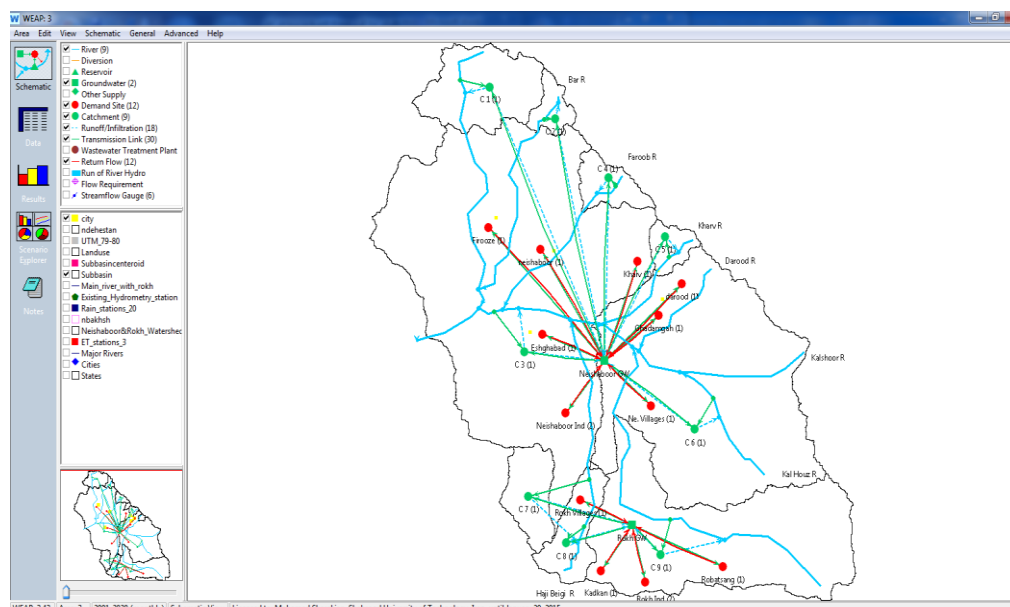
۱. مشخص کردن ابعاد زمانی و مکانی مسأله
 ۲. وارد کردن اطلاعات برای شرایط موجود و کالیبراسیون مدل. در این مرحله تصویر کلی و واقعی از میزان تقاضای آب، منابع عرضه، و چگونگی تخصیص آن در بین تقاضاهای مختلف ایجاد می‌شود.
 ۳. سناریو نویسی و شبیه‌سازی. سناریوها مجموعه‌ای از فرض‌های گوناگون در مورد شرایط آینده در زمینه سیاست‌ها، هزینه‌ها، آب و هوا و مؤلفه‌هایی هستند که بر تقاضا، منابع و هیدرولوژی مؤثر می‌باشند.
 ۴. تحلیل و ارزیابی سناریوهای مختلف. در این مرحله سناریوها با توجه به کفایت آب، هزینه‌ها و منافع، سازگاری با اهداف زیست محیطی و حساسیت به عدم قطعیت در متغیرهای کلیدی ارزیابی می‌شوند.
- تجزیه و تحلیل سناریوها بخش اصلی مدل WEAP محسوب می‌شود. سناریوها برای بررسی طیف وسیعی از سؤالات با عنوان "اگر...آنگاه" مورد استفاده قرار می‌گیرند. مانند:
- اگر رشد جمعیت و الگوهای توسعه اقتصادی تغییر کند، آنگاه چه می‌شود؟
 - اگر بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی افزایش یابد چه خواهد شد؟
 - اگر برنامه بازیافت آب اجرا شود چه می‌شود؟
 - اگر از تکنیک‌های آبیاری با بازدهی بیشتر استفاده شود چه روی خواهد داد؟
 - اگر ترکیب محصولات کشاورزی تغییر کند چه خواهد شد؟
 - اگر تغییر اقلیم میزان تقاضا و عرضه را تغییر دهد، چه می‌شود؟ (SEI، ۲۰۱۲).

۲-۸-۲- ساختار نرم افزار WEAP

مدل WEAP از پنج نمای اصلی تشکیل شده است: شماتیک مساله، داده‌ها، نتایج، مرور سناریوها و یادداشت‌ها. تصاویر مربوط به نمونه‌هایی از هر کدام از این نماها در شکل های زیر آمده است.

۱. نمای شماتیک

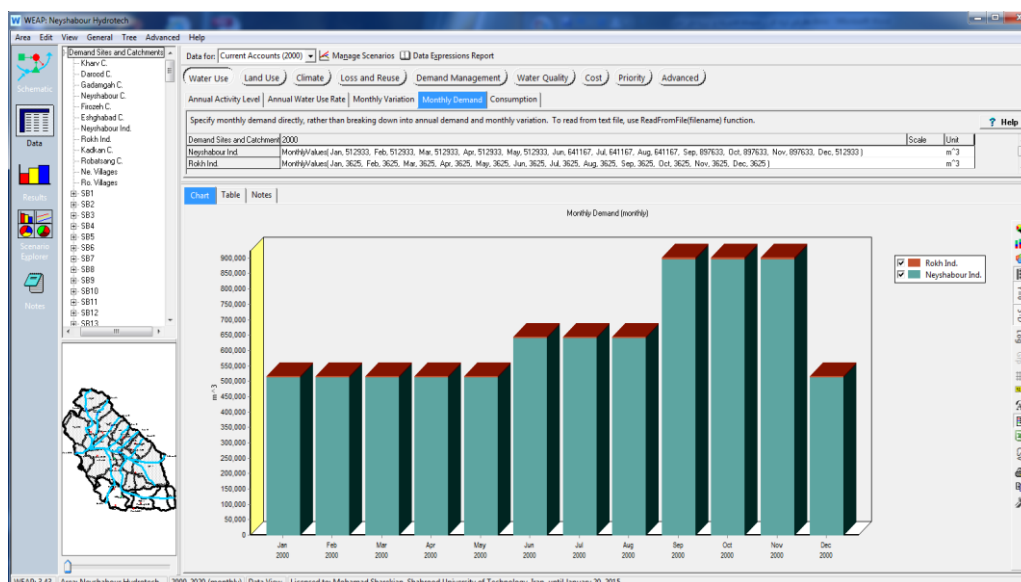
در این صفحه یک مدل مفهومی از کل سیستم ترسیم می‌شود. مؤلفه‌های سیستم با کشیدن و رها کردن در محدوده ایجاد می‌گردند. از لایه‌های رستر یا وکتور GIS می‌توان به عنوان یک نقشه پیش-زمینه استفاده کرد. با راست کلیک کردن روی هر مؤلفه می‌توان به سرعت به اطلاعات مربوط به آن دست یافت.



شکل ۲-۲. نمای شماتیک در مدل WEAP

۲. نمای داده‌ها

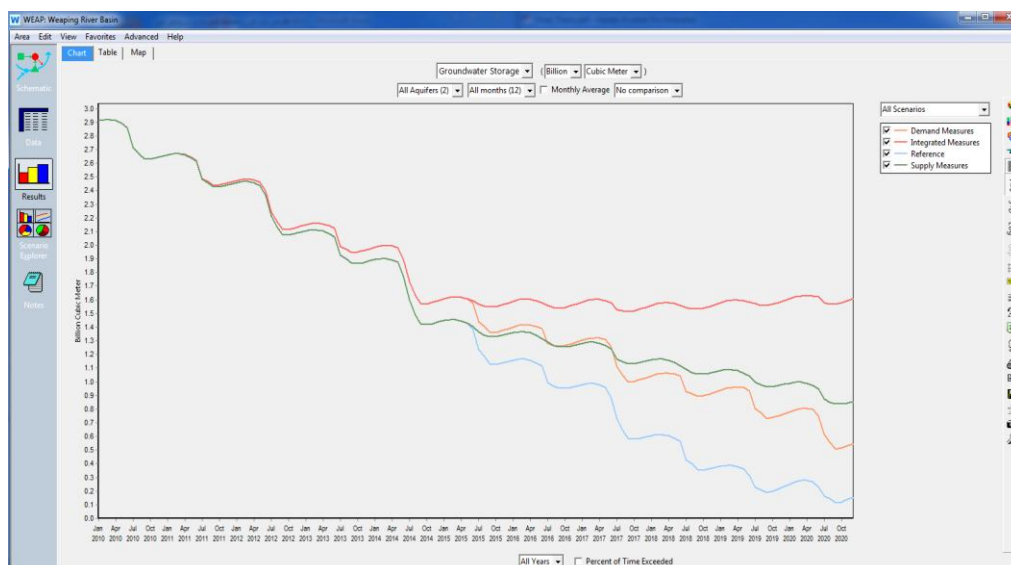
نمای داده‌ها این امکان را فراهم می‌کند که بتوان متغیرها و روابط را ایجاد کرده، فرضیات و برنامه‌های طرح را با استفاده از عبارات ریاضی وارد کرد و آن را به صورت پویا با EXCEL مرتبط نمود.



شکل ۲-۳. نمای داده ها در مدل WEAP

۳. نمای نتایج

نمای نتایج امکان مشاهده جزئی و قابل انعطاف تمام خروجی‌های مدل به صورت نمودار و جدول و نقشه را فراهم کرده است.



شکل ۲-۴. نمای نتایج در مدل WEAP

۴. نمای کاوشگر سناریوها

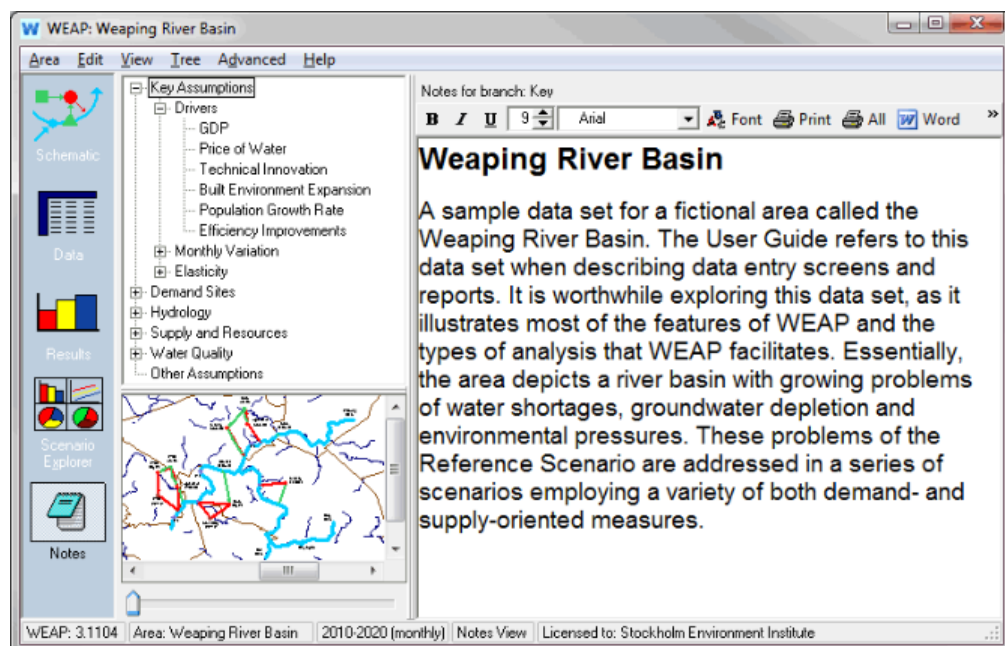
در این نما شاخص‌ها و فرضیات کلیدی در سیستم به شکل برجسته آمده و نشان می‌دهد که تغییر هر یک از آن‌ها چه تأثیری بر سایر شاخص‌ها می‌گذارد.



شکل ۲-۵. نمای کاوشگر سناریوها در مدل WEAP

۵. نمای یادداشت‌ها

نمای یادداشت‌ها محلی را برای مستند سازی داده‌ها و فرضیات آماده کرده است (SEI، ۲۰۱۲).



شکل ۲-۶. نمای یادداشت‌ها در مدل WEAP

۲-۹- الگوریتم محاسبات مدل

در توسعه مدل WEAP به این نکته توجه شده است که پایه‌ای‌ترین و اولین منبع آب، آب حاصل از بارش بر روی حوضه رودخانه‌ها است، که با تأمین تقاضاهای مختلف (انسان و محیط زیست) کاهش می‌یابد. حوضه‌ی رودخانه، خود در حقیقت اولین نقطه تقاضای آب است که منابع آبی را از طریق تبخیر و تعرق کاهش می‌دهد. سپس باقی‌مانده منابع بعد از تأمین نیاز حوضه، در دسترس سیستم مدیریت قرار می‌گیرد، که اغلب به صورت سرآب^۱ در نظر گرفته می‌شود. یک کاربر برای ایجاد داده‌های سرآب می‌تواند یا از شبیه‌سازی هیدرولوژیکی (مدل‌های موجود در خود WEAP) استفاده نماید و یا این که این داده‌ها را توسط مدل‌های دیگر تولید کرده و سپس با استفاده از روش‌های مختلف به سیستم وارد کند، که روش اخیر به نام روش استاندارد موسوم است (گازرانی، ۱۳۸۹).

در مدل WEAP برای شبیه‌سازی فرآیندهای هیدرولوژیکی مانند تبخیر و تعرق، رواناب، نفوذ و تقاضاهای آبیاری چهار روش وجود دارد: (۱) روش بارش- رواناب فائو^۲، (۲) نسخه‌ای از رویکرد نیاز محصولات فائو تحت عنوان تنها نیازهای آبیاری^۳، (۳) روش بارش- رواناب (رطوبت خاک)^۴، (۴) روش MABIA^۵ که جدیدترین روش بوده و در نسخه‌های جدید نرم افزار گنجانده شده است. انتخاب روش مناسب از طرفی بسته به این است که انتظار داریم فرآیندهای حوضه با چه میزان پیچیدگی مدل شوند و از طرف دیگر به در اختیار داشتن اطلاعات مورد نیاز بستگی دارد (سیبر و پورکی، ۲۰۱۱).

(۱) روش تنها نیازهای آبیاری

در بین چهار روش ذکر شده این روش ساده‌ترین آن‌ها می‌باشد. در این روش از ضریب گیاهی برای محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل در حوضه استفاده می‌گردد و سپس مقدار تبخیر و تعرق از مقدار

¹ Headflow

² FAO Rainfall-Runoff Method

³ Irrigation Demands Only Method

⁴ Soil Moisture Method

⁵ MABIA Method

بارندگی کم می‌شود و مقداری از آن که به وسیله بارندگی تأمین نمی‌شود، محاسبه می‌گردد. در این روش فرآیندهای رواناب و نفوذ شبیه‌سازی نمی‌شوند (گازرانی، ۱۳۸۹).

۲) روش بارش - رواناب فائو

این روش نیز با به کار بردن ضرایب گیاهی تبخیر و تعرق را برای گیاهان فاریاب و دیم محاسبه می‌کند. باقی‌مانده بارش که به وسیله تبخیر و تعرق مصرف نمی‌شود به عنوان روانابی که به رودخانه می‌ریزد، شبیه‌سازی می‌شود و یا قسمتی از آن به رودخانه ریخته و قسمت دیگر از طریق نفوذ عمقی به آب زیرزمینی می‌پیوندد (گازرانی، ۱۳۸۹).

۳) روش بارش - رواناب (رطوبت خاک)

این روش پیچیده‌ترین روش بوده و در عین این که می‌تواند افزایش آب ناشی از ذوب برف را نشان دهد، حوضه را توسط دو لایه خاک ارائه می‌کند. در لایه بالایی خاک، مدل تبخیر و تعرق را با در نظر گرفتن بارندگی و آبیاری در زمین‌های کشاورزی و غیر کشاورزی، رواناب و نفوذ در عمق کم و تغییرات در رطوبت خاک، مدل می‌کند. این روش امکان وارد کردن مشخصات مربوط به کاربری اراضی و اثرات نوع خاک را در فرآیندهای گفته شده فراهم می‌کند. از طرفی به همان نسبت این روش احتیاج به پارامترهای بیشتری در رابطه با اقلیم و خاک منطقه دارد تا بتواند این فرآیندها را شبیه‌سازی کند (گازرانی، ۱۳۸۹).

۴) روش MABIA

روش MABIA شبیه‌سازی روزانه تعرق، تبخیر، نیازها و برنامه‌ریزی آبیاری، رشد و عملکرد محصول بوده و شامل بخش‌هایی برای برآورد تبخیر و تعرق مرجع و ظرفیت آب خاک می‌باشد. این روش از ضریب K_c دوگانه که در FAO-56 توصیف شده است، استفاده می‌کند، که در آن مقدار K_c به دو مقدار ضریب گیاهی "پایه" (K_{cb}) و مؤلفه دیگری به نام K_e که نشان دهنده تبخیر از سطح خاک است تقسیم می‌شود. در زمانی که سطح خاک خشک است، اما در ناحیه ریشه رطوبت کافی برای

جبران تعرق کامل گیاه وجود دارد، ضریب گیاهی پایه شرایط ET واقعی را نشان می‌دهد (سیبر و پورکی، ۲۰۱۱).

در این تحقیق برای شبیه‌سازی فرآیندهای هیدرولوژیکی مربوط به محدوده مطالعاتی نیشابور از روش بارش - رواناب فائو استفاده گردید که در ادامه الگوریتم محاسبات در این روش شرح داده خواهد شد.

۲-۹-۱- الگوریتم حل به روش بارش - رواناب فائو

در این روش یک حوضه در نظر گرفته می‌شود که در آن فرآیندهای ساده شده هیدرولوژیکی و کشاورزی- هیدرولوژیکی مانند بارش، تبخیر - تعرق و رشد محصول اتفاق می‌افتد. محاسبات انجام شده شامل گیاهان غیر زراعی نیز می‌شود. در به کارگیری این روش معادلات زیر استفاده می‌شوند که در آن‌ها اندیس LC به معنی پوشش زمین، HU واحد هیدرولوژیکی، I آبیاری شده و NI آبیاری نشده می‌باشند.

$$PrecipAvailableForET_{LC} = Precip_{HU} \times Area_{LC} \times 10^{-5} \times PrecipEffective_{LC} \quad (۱-۲)$$

$$ETpotential_{LC} = ETreference_{HU} \times Kc_{LC} \times Area_{LC} \times 10^{-5} \quad (۲-۲)$$

$$PrecipShortfall_{LC,I} = Max(0, ETpotential_{LC,I} - PrecipAvailableForET_{LC,I}) \quad (۳-۲)$$

$$SupplyRequirement_{LC,I} = (1 / IrrFrac_{LC,I}) \times PrecipShortfall_{LC,I} \quad (۴-۲)$$

$$SupplyRequirement_{HU} = \sum_{LC,I} SupplyRequirement_{LC,I} \quad (۵-۲)$$

معادله‌های بالا برای محاسبه مقدار آب اضافه مورد نیاز (علاوه بر مقدار بارش موجود) برای جبران تبخیر و تعرق مربوط به پوشش زمین (و کل واحد هیدرولوژیکی)، با در نظر گرفتن راندمان آبیاری استفاده می‌شود.

بر اساس سیستم اولویت بندی، کمیت‌های زیر قابل محاسبه هستند:

$$Supply_{HU} = WEAP \text{ تخصیص محاسبه می‌شود} \quad (۶-۲)$$

$$Supply_{LC,I} = Supply_{HU} \times (Supply\ Requirement_{LC,I} / Supply\ Requirement_{HU}) \quad (7-2)$$

$$ETActual_{LC,NI} = Min(ETpotential_{LC,NI}, PrecipAvailableForET_{LC,NI}) \quad (8-2)$$

$$ETActual_{LC,I} = Min(ETpotential_{LC,I}, PrecipAvailableForET_{LC,I}) + IrrFrac_{LC,I} \times Supply_{LC,I} \quad (9-2)$$

$$EF_{LC} = ETActual_{LC} / ETpotential_{LC} \quad (10-2)$$

در نتیجه محصول واقعی را می توان با استفاده از معادله زیر محاسبه کرد:

$$ActualYield_{LC} = PotentialYield_{LC} \times Max(0, (1 - Yield\ ResponseFactor_{LC} \times (1 - EF_{LC}))) \quad (11-2)$$

در این روش روانابی که به رودخانه و آب زیرزمینی می پیوندد این گونه محاسبه می شوند:

$$\begin{aligned} Runoff_{LC} = & Max(0, PrecipAvailableForET_{LC} - ETpotential_{LC}) \\ & + (Precip_{LC} \times (1 - PrecipEffective_{LC})) \\ & + (1 - IrrFrac_{LC,I}) \times Supply_{LC,I} \end{aligned} \quad (12-2)$$

$$RunoffToGW_{HU} = \sum_{LC} (Runoff_{LC} \times RunoffToGWFraction_{LC}) \quad (13-2)$$

$$RunoffToSurfaceWater_{HU} = \sum_{LC} (Runoff_{LC} \times (1 - RunoffToGWFraction_{LC})) \quad (14-2)$$

پارامترهای معادلات فوق و واحدهای آنها بدین شرح می باشند:

Area : مساحت پوشش زمین (هکتار)

Precip : بارش (میلی متر)

PrecipEffective : بارش مؤثر. درصدی از بارش که می تواند برای تبخیر و تعرق استفاده شود

PrecipAvailableForET : بارش قابل استفاده برای تبخیر و تعرق (میلیون متر مکعب)

Kc : ضریب گیاهی FAO (بدون بعد)

ETreference : تبخیر و تعرق مرجع (میلی متر)

ETpotential : تبخیر و تعرق پتانسیل (میلیون متر مکعب)

PrecipShortfall : کمبود تبخیر و تعرق اگر تنها بارش در نظر گرفته شود (میلیون متر مکعب)

IrrFrac : درصدی از آب تأمین شده که صرف تبخیر و تعرق می شود (یعنی راندمان آبیاری)

SupplyRequirement : نیازهای آبیاری محصول (میلیون متر مکعب)

Supply : مقدار آب عرضه شده برای آبیاری که به وسیله الگوی تخصیص WEAP محاسبه می شود
(میلیون متر مکعب)

EF : کسری از تبخیر و تعرق پتانسیل که جبران شده است (بدون بعد)

YieldResponseFactor : مؤلفه‌ای که تغییرات عملکرد را وقتی تبخیر و تعرق واقعی کمتر از تبخیر و تعرق پتانسیل باشد، تعیین می کند (بدون بعد)

PotentialYield : مقدار حداکثر عملکرد زمانی که گیاه به حد کافی آب دریافت کرده باشد (کیلوگرم در هکتار)

ActualYield : مقدار عملکرد واقعی در شرایط تبخیر و تعرق موجود (کیلوگرم در هکتار)

Runoff : رواناب حاصل از یک پوشش گیاهی (میلیون متر مکعب)

RunoffToSurfaceWater : روانابی که به آب سطحی تبدیل می شود (میلیون متر مکعب) (سیبر و پورکی، ۲۰۱۱).

۲-۹-۲- برآورد تقاضا

در صورتی که در مدل WEAP تحلیل تقاضا توسط روش تقاضای آبیاری مبتنی بر تبخیر و تعرق گیاه صورت نگیرد، به وسیله یک روش جداگانه بر اساس وارد کردن مصرف نهایی انجام می شود (یتس و همکاران، ۲۰۰۵). در این روش نیازهای شرب، صنعت و کشاورزی را می توان در قالب سایت-های تقاضا تعریف کرد. برای محاسبه تقاضای آب برای این سایت ها، WEAP ابتدا تقاضای سالانه را توسط معادله (۲-۱۵) برآورد کرده و سپس با وارد کردن ضریبی به نام تغییرات ماهانه، تقاضای ماهانه را با استفاده از معادله (۲-۱۶) محاسبه می کند.

$$AnnualDemand_{DS} = \sum_{Br} (TotalActivityLevel_{Br} \times WaterUseRate_{Br}) \quad (۲-۱۵)$$

$$MonthlyDemand_{DS,m} = MonthlyVariation_{DS,m} \times AnnualDemand_{DS} \quad (۲-۱۶)$$

در این معادله‌ها اندیس DS به معنی سایت تقاضا و Br شاخه‌های مربوط به هر نقطه تقاضا می‌باشد. Annual Demand تقاضای سالانه (میلیون متر مکعب)، Monthly Demand تقاضای ماهانه (میلیون متر مکعب)، Total Activity Level سطح فعالیت سالانه (واحد آن برای سایت‌های شرب جمعیت، برای سایت‌های تقاضای کشاورزی سطح زیر کشت و برای سایت‌های تقاضای صنعتی واحد تولیدی می‌باشد)، Water Use Rate نرخ مصرف آب به ازای هر واحد مصرف کننده (متر مکعب در سال) و Monthly Variation تغییرات ماهانه مصرف آب (درصد) می‌باشند (سیبر و پورکی، ۲۰۱۱).

۲-۹-۳- سیستم مدیریت: بخش تخصیص آب

نقطه شروع یک تحلیل مدیریت منابع آب در مدل WEAP، ایجاد تقاضاهای حوضه آبریز است. به هر تقاضا توسط کاربر اولویتی از بین اعداد صحیح ۱ (بیشترین اولویت) تا ۹۹ (کم‌ترین اولویت) نسبت داده می‌شود. سپس هر تقاضا به منابع عرضه موجود متصل می‌گردد، که برای هر تقاضا ترجیحات منبع عرضه نیز توسط کاربر مشخص می‌شود، یعنی تعیین می‌گردد که آیا ترجیح سایت تقاضا برای دریافت آب از منابع آب سطحی است یا آب زیرزمینی؟ (یتس و همکاران، ۲۰۰۵). برای توزیع منابع آب موجود از یک مسأله تخصیص آب استفاده می‌شود. این مسأله توسط یک الگوریتم برنامه‌ریزی خطی تکراری با تابع هدف بیشینه نمودن آب تخصیص یافته به مراکز تقاضا حل می‌گردد (علیزاده، ۱۳۸۵). ترتیب تخصیص منابع به اولویت‌های مختلف به گونه‌ای است که ابتدا تمامی نیازهای مربوط به تقاضای با اولویت بیشتر تأمین می‌شود، و سپس اولویت‌های کمتر تحت پوشش قرار می‌گیرند. برای تقاضاهای با اولویت‌های مساوی، در شرایط کمبود آب مدل سعی می‌کند تا درصدی مساوی از نیازهای هر تقاضا را برآورده کند. ممکن است یک سایت برای تأمین تقاضای خود به منابع مختلف دسترسی داشته باشد. ترجیح برداشت از این منابع تعیین می‌کند که برای تأمین تقاضا ابتدا باید به سراغ کدام یک رفت (یتس و همکاران، ۲۰۰۵).

۲-۹-۴- روند تخصیص برنامه ریزی خطی در WEAP

مدل WEAP بیلان جرمی آب و آلودگی را برای هر گره و لینک در هر گام زمانی محاسبه می‌کند. هر گام زمانی از گام‌های دیگر مستقل است، به جز در مورد مخازن سطحی، آبخوان‌ها، و رطوبت خاک. بنابراین کل آبی که در یک گام زمانی وارد سیستم می‌شود یا در مخازن، آبخوان‌ها و لایه‌های خاک ذخیره می‌شود و یا در انتهای گام زمانی سیستم را ترک می‌کند. در این جا همه جریان‌ها به صورت لحظه‌ای اتفاق می‌افتند. برای مثال یک سایت تقاضا می‌تواند آب را از رودخانه برداشت نماید، قسمتی از آن را مصرف نموده و بقیه را به یک تصفیه خانه فاضلاب برگرداند، آن گاه تصفیه خانه آب برگشتی را تصفیه نموده و به رودخانه برمی‌گرداند. مراکز تقاضای پایین دست نیز می‌توانند از این جریان برگشتی موجود برای تأمین نیازهای خود استفاده نمایند. همه این اتفاقات در یک گام زمانی و یا به عبارت دیگر در یک لحظه اتفاق می‌افتند؛ بنابراین از آن جا که روندیابی جریان و تأخیر زمانی مفهومی ندارد، باید گام‌های زمانی بزرگ‌تر از زمان ماند آب در سیستم باشند. در حوضه‌های رودخانه-های بزرگ بایستی از گام‌های زمانی بزرگ‌تر (مانند ماهانه) و در حوضه‌های کوچک گام‌های زمانی کوچک‌تر (از قبیل یک روزه، ۵ روزه، ۱۰ روزه و غیره) استفاده گردد (یتس و همکاران، ۲۰۰۵).

۲-۹-۵- مخازن سطحی (سدها)

جریان ورودی به مخزن هم می‌تواند از طریق یکی از مدل‌های هیدرولوژیکی مذکور محاسبه شود و هم می‌توان آن را به صورت سری زمانی به مدل وارد کرد. قاعده بهره‌برداری از یک مخزن عبارت است از تعیین مقدار آبی که در هر دوره باید در مخزن ذخیره شود و مقداری که باید جهت تأمین تقاضاهای پایین دست رها گردد. مدل WEAP برای رها کردن آب از مخزن به برداشت‌های آب از رودخانه در پایین دست و مقدار رها شده از دیگر مخازن توجه می‌کند. در مدل WEAP یک مخزن بر اساس حجم‌های ذخیره آب طبقه‌بندی می‌شود (شکل ۲-۶).

۱. حجم کنترل سیلاب (S_f) : مقداری از حجم مخزن است که آب را می‌تواند به طور موقت

نگهداری کند، ولی باید تا قبل از رسیدن به انتهای گام زمانی تخلیه گردد. بنابراین این حجم همیشه خالی است.

۲. حجم ذخیره (S_c) : این حجم از مخزن را می‌توان به طور کامل برای تأمین تقاضاهای پایین

دست تخلیه نمود.

۳. حجم حائل (S_b) : این حجم از مخزن را فقط در شرایط کمبود می‌توان از مخزن رها نمود.

وقتی که مخزن در حجم حائل باشد، مقدار آب قابل برداشت توسط ضریب حائل (b) تعیین می‌گردد که عبارت است از نسبتی از کل حجم حائل که مجاز به رها شدن است.

۴. حجم غیر فعال (S_i) : همان حجم مرده است که قابل استفاده نمی‌باشد.

تمامی پارامترهای ذخیره‌ای ذکر شده می‌توانند در طول زمان تغییر کرده و برای توصیف قاعده

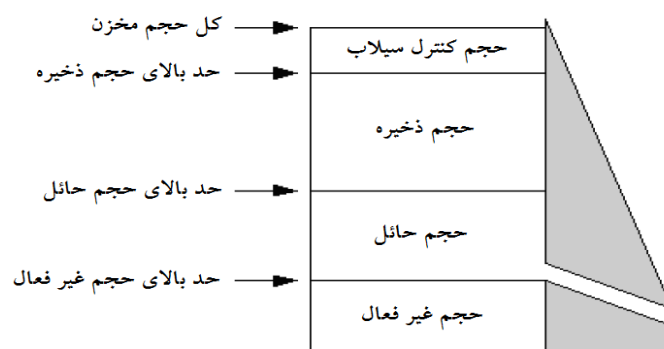
بهره‌برداری مخزن و اهداف ذخیره (یا رهاسازی) سیلاب به کار روند. با توجه به مطالب بالا حجمی از

مخزن که در انتهای هر گام زمانی قابل رها شدن است (S_r) برابر مجموع حجم کنترل سیلاب و حجم

ذخیره و قسمتی از حجم حائل است که توسط ضریب حائل تعیین می‌شود که در معادله ۲-۱۷ نشان

داده شده است (یتس و همکاران، ۲۰۰۵).

$$S_r = S_e + S_f + b \times S_b \quad (2-17)$$



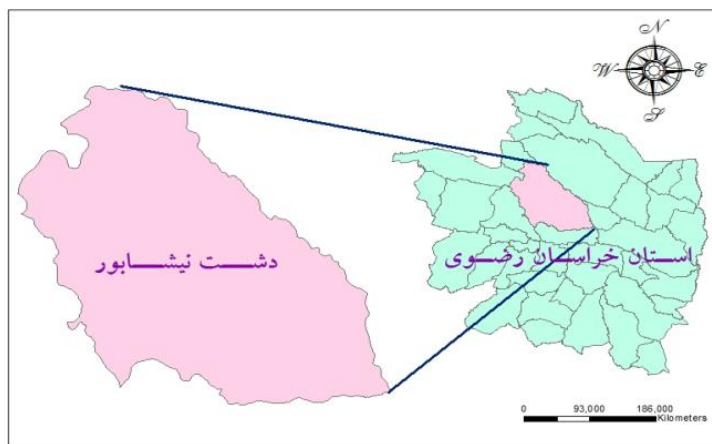
شکل ۲-۷. طبقه‌بندی حجم مخازن سدها در مدل WEAP (سیبر و پورکی، ۲۰۱۱)

فصل سوم: مواد و روش‌ها

۳- معرفی منطقه مورد مطالعه

۳-۱- موقعیت جغرافیایی

حوضه آبریز دشت نیشابور جزئی از حوضه آبریز کویر مرکزی ایران بوده و در شمال شرق آن قرار می‌گیرد. این حوضه با وسعت کل ۷۳۰۰ کیلومتر مربع که حدود ۴۳۰۰ کیلومتر مربع آن را دشت و بقیه را ارتفاعات تشکیل می‌دهد در طول جغرافیایی $13^{\circ} 58'$ تا $30^{\circ} 59'$ و عرض جغرافیایی $36^{\circ} 39'$ تا $40^{\circ} 35'$ واقع شده است (مطالعات برنامه آمایش استان خراسان رضوی، ۱۳۸۹). شکل (۳-۱) موقعیت این دشت را در استان خراسان رضوی نشان می‌دهد.



شکل ۳-۱. موقعیت دشت نیشابور در استان خراسان رضوی

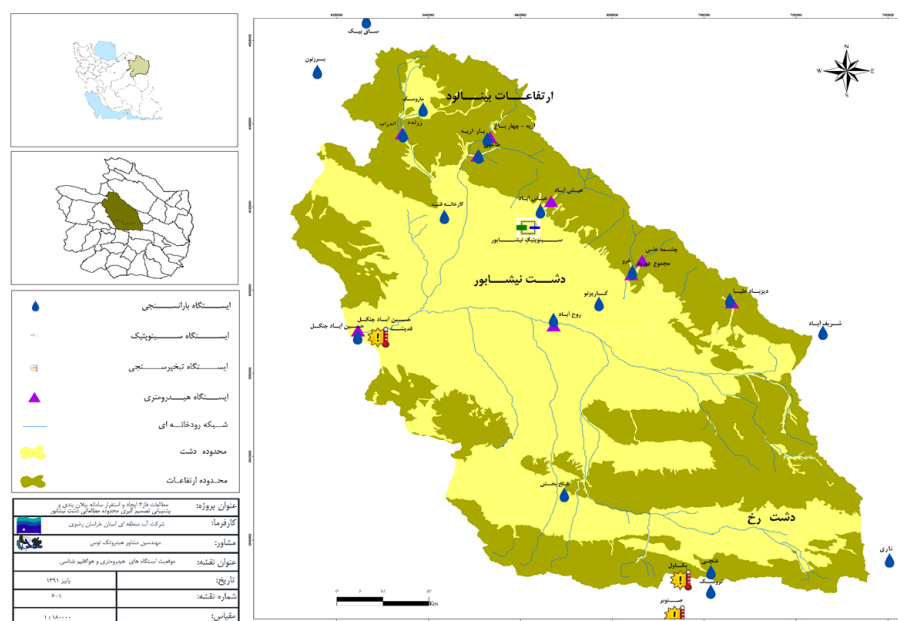
۳-۲- رودخانه‌های مهم و ایستگاه‌های آب‌سنجی

رودخانه اصلی این محدوده، کال شور نیشابور است که عمده رواناب سطحی و سیلاب این کال متعلق به حوضه آبریز دشت نیشابور می‌باشد. جریان‌های مزبور از محل روستای حسین‌آباد جنگل (که ایستگاه هیدرومتری به همین نام در این محل تأسیس شده است) از حوضه خارج و وارد محدوده مطالعاتی عطائیه می‌شود. این رودخانه علاوه بر این که از ارتفاعات بینالود تغذیه می‌شود، از محدوده دشت رخ نیز تغذیه می‌گردد.

به طور کلی حوضه‌های آبریز رودخانه کال شور نیشابور را می‌توان به دو بخش شمالی و جنوبی تقسیم کرد. سرشاخه‌های شمالی حوضه آبریز کال شور از ارتفاعات بینالود سرچشمه می‌گیرند، وسیع‌تر و

مرتفع‌تر از سرشاخه‌های جنوبی بوده و خصوصیات فیزیکی آن‌ها به گونه‌ای است که بخش عمده‌ای از رواناب سطحی این حوضه را تشکیل می‌دهند. مهم‌ترین سرشاخه‌های شمالی حوضه کال‌شور عبارتند از: درود، خرو، دیزباد، بوژان، فاروبرومان، طاغون، بقیع، پیوه‌ژن، بار و اندرآب (زرنده) و از عمده‌ترین سرشاخه‌های جنوبی نیز می‌توان کال حاجی بیگی، برس، کدکن، اسفیز و دافی را نام برد (مطالعات برنامه آمایش استان خراسان رضوی، ۱۳۸۹).

تعداد ۶ ایستگاه آب‌سنجی بر روی این رودخانه‌ها وجود دارد که از این بین ایستگاه روح‌آباد به دلیل دقیق نبودن ثبت داده‌های رواناب، در این مطالعه حذف شد. شکل (۳-۲) محل این ایستگاه‌ها روی رودخانه‌های اصلی به همراه موقعیت حوضه‌های بالادست هر کدام از آن‌ها را نشان می‌دهد. در جدول (۳-۱) مشخصات ایستگاه‌های هیدرومتری موجود در محدوده ارائه شده است.



شکل ۳-۲. موقعیت رودخانه‌ها و ایستگاه‌های آب‌سنجی واقع در دشت نیشابور

جدول ۳- ۱. مشخصات ایستگاه‌های آب‌سنجی محدوده مطالعاتی (مطالعات برنامه آمایش استان خراسان رضوی، ۱۳۸۹)

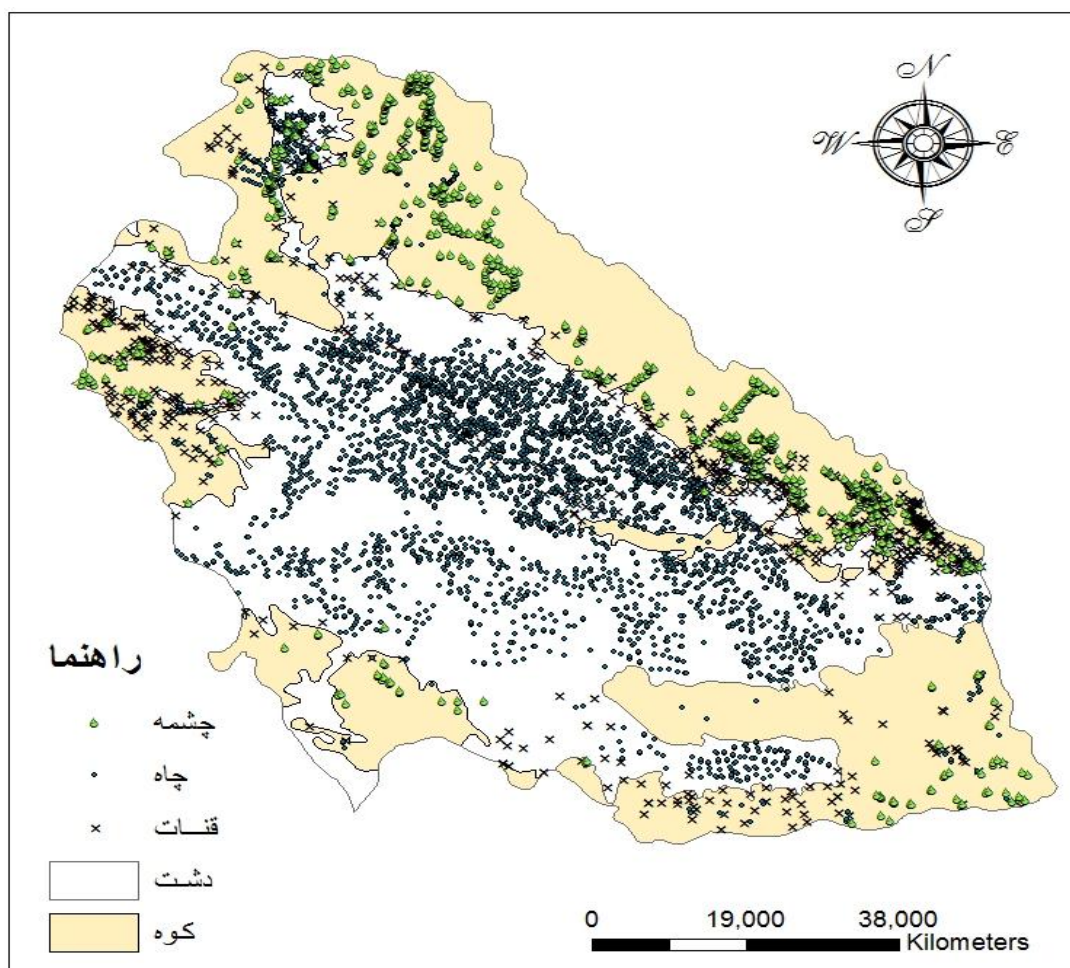
ایستگاه	سال تأسیس ۱	متوسط رواناب m^3/s ۲	مساحت حوضه بالادست ایستگاه (km^2)
روح آباد	۱۳۴۸	۰/۳۷	۲۵۷۹/۹۴
عیش آباد	۱۳۵۳	۱/۴۸	۱۴۷/۳۱
اریه	۱۳۲۹	۰/۶۴	۱۱۵/۶۱
خرو	۱۳۵۶	۰/۵۲	۱۰۸/۴۴
زرنده	۱۳۶۱	۰/۵۹	۴۹۱/۰۹
حسین آباد جنگل	۱۳۵۳	۱/۰۴	۹۳۴۹/۰۱

^۱ اولین سال برداشت داده به عنوان سال تأسیس در نظر گرفته شده است.

^۲ داده‌ها از سال ۱۳۵۰ به بعد در نظر گرفته شده‌اند.

۳-۳- آب‌های زیرزمینی

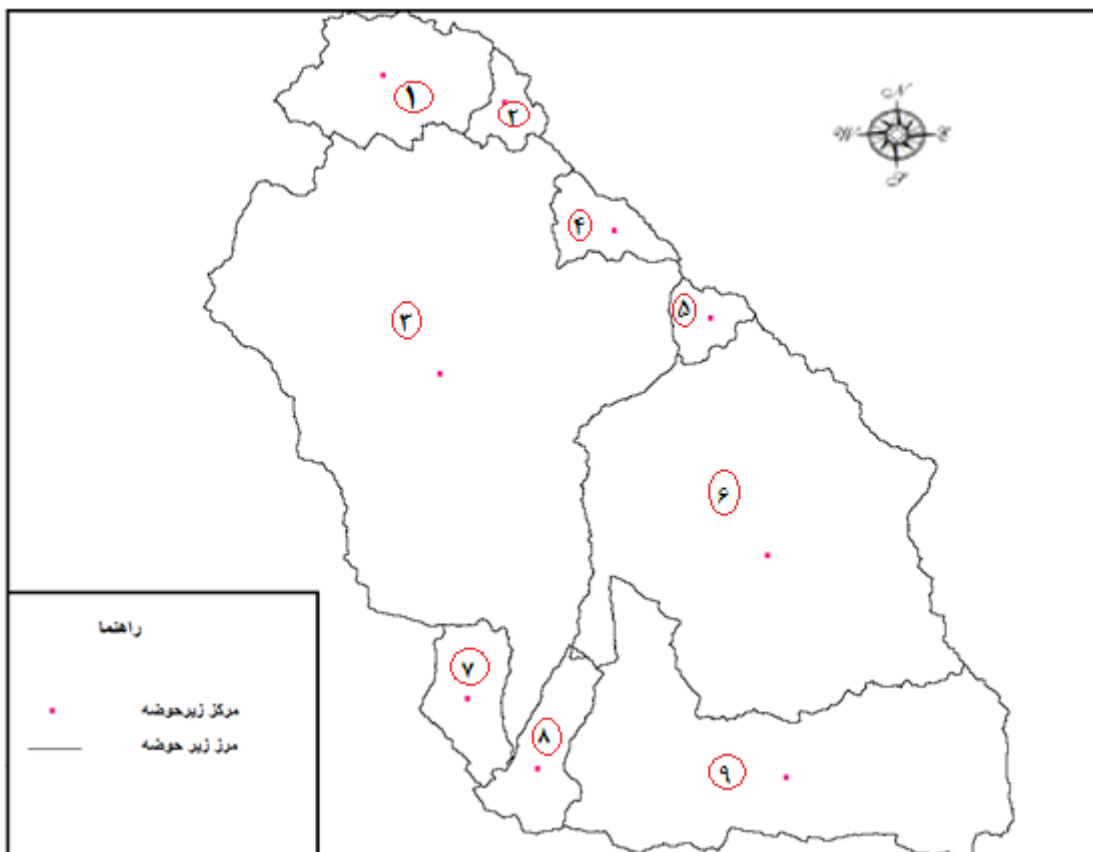
منابع آب زیرزمینی دشت نیشابور شامل ۲۳۹۶ حلقه چاه، ۸۳۲ رشته قنات و ۹۰۸ دهانه چشمه است. مجموع تخلیه سالانه آن‌ها بالغ بر ۱۱۷۴/۷ میلیون متر مکعب بوده که سهم تخلیه از هر یک از منابع فوق‌الذکر به ترتیب ۹۹۴/۷، ۱۱۹ و ۶۱ میلیون متر مکعب می‌باشد (سازمان آب منطقه-ای استان خراسان رضوی، ۱۳۸۸). در سال‌های اخیر تخلیه بیش از حد منابع آب زیرزمینی دشت نیشابور از طریق چاه‌های بهره‌برداری باعث اعمال استرس و کسری مخزن غیر قابل جبران آبخوان شده است. از سال ۱۳۶۵ آبخوان این دشت ممنوعه اعلام شده است، ولی با وجود این طبق گزارش آمایش استان خراسان رضوی در بازه زمانی بین سال‌های ۷۵ تا ۸۷ سطح آبخوان حدود ۱۰/۱۴ متر افت پیدا کرده است (مطالعات برنامه آمایش استان خراسان رضوی، ۱۳۸۹). پراکندگی منابع آب (چاه، چشمه و قنات) حوضه آبریز نیشابور در شکل (۳-۳) نشان داده شده است.



شکل ۳-۳. موقعیت چاه‌ها، چشمه‌ها و قنات‌های موجود در دشت نیشابور

۳-۴- تفکیک حوضه آبریز به زیرحوضه‌های مختلف

ابتدا این محدوده توسط نرم افزارهای SWAT و ArcMap بر اساس توپوگرافی حوضه به ۹ زیرحوضه تقسیم شد. همان‌طور که پیش‌تر اشاره شد، به دلیل آن که رواناب محدوده دشت رخ وارد دشت نیشابور می‌شود و در این محل نیز برای اندازه‌گیری رواناب ورودی هیچ ایستگاه آب‌سنجی وجود ندارد، به ناچار دشت رخ نیز جزء این محدوده قرار گرفت تا این جریان ورودی توسط مدل WEAP شبیه‌سازی گردد. از این ۹ زیرحوضه، زیرحوضه‌های ۷، ۸ و ۹ مربوط به دشت رخ بوده و بقیه متعلق به دشت نیشابور هستند. موقعیت این زیرحوضه‌ها در شکل (۳-۴) نشان داده شده است.



شکل ۳-۴. موقعیت زیرحوضه‌های محدوده مطالعاتی نیشابور

۳-۵- مصارف شرب و صنعت

بر اساس گزارش سازمان آب منطقه‌ای استان خراسان رضوی، از مجموع مصارف آب در این محدوده، ۳/۱٪ مربوط به مصارف شرب، ۰/۲٪ مربوط به صنعت و ۹۶/۷٪ آن اختصاص به بخش کشاورزی دارد (سازمان آب منطقه‌ای استان خراسان رضوی، ۱۳۸۸). منابع تأمین آب شرب و صنعت منطقه مورد مطالعه از طریق حفر چاه‌های عمیق و نیمه عمیق تأمین می‌شود. میزان مصارف آب شرب شهری و روستایی و نیز صنایع محدوده مطالعاتی نیشابور بر اساس گزارشات آب منطقه‌ای در نظر گرفته شده و به مدل وارد گردید.

۳-۶- مصارف کشاورزی

بر اساس اطلاعات جمع آوری شده از جهاد کشاورزی شهرستان‌های نیشابور، تربت حیدریه، مشهد و فریمان، از مجموع حدود ۱۷۰۰۰۰ هکتار اراضی زیر کشت محدوده‌های مطالعاتی رخ و

نیشابور، حدود ۱۲۹۰۰۰ هکتار تحت کشت آبی قرار دارد و مابقی اراضی مختص کشت دیم می‌باشد. ترکیب کشت مربوط به هر کدام از زیرحوضه‌های ۹ گانه بدین صورت تعیین شد که پس از اخذ اطلاعات مربوط به سطوح زیر کشت محصولات مختلف در سطح هر دهستان، با استفاده از این اطلاعات و همچنین لایه مربوط به کاربری اراضی منطقه، و بر اساس موقعیت رودخانه‌ها، چاه‌ها، چشمه‌ها، قنات‌ها و روستاها یک لایه اطلاعات جغرافیایی در GIS ساخته شد که در آن ترکیب کشت مربوط به هر دهستان مشخص شد. سپس با روی هم انداختن این لایه و لایه مربوط به مرز زیرحوضه‌ها، ترکیب کشت مربوط به هر زیرحوضه تعیین گردید.

در این مطالعه آب مورد نیاز کشاورزی در مدل WEAP با استفاده از مدل هیدرولوژیکی بارش-رواناب فائو، با احتساب راندمان آبیاری محاسبه گردید. این بخش از مدل به اطلاعات مختلفی مانند مساحت زیر کشت کشاورزی فاریاب، تبخیر و تعرق مرجع، ضریب گیاهی و راندمان آبیاری نیاز دارد. مراحل محاسبه تبخیر و تعرق مرجع و ضریب گیاهی معادل کاربری‌های کشت آبی به ترتیب در بخش‌های (۳-۶-۲) و (۳-۷-۱) به تفصیل شرح داده خواهد شد. طریقه محاسبه راندمان آبیاری در منطقه به شرح زیر می‌باشد.

۳-۷- راندمان آبیاری در منطقه

برای محاسبه راندمان آبیاری از دو معیار سطح زیر پوشش انواع روش‌های آبیاری و راندمان مربوط به هر کدام از این روش‌ها استفاده گردید. به علت فقدان اطلاعات مناسب و دقیق در مورد داده‌های مربوط به اراضی تحت پوشش آبیاری‌های تحت فشار در محدوده‌های مطالعاتی محاسبه راندمان آبیاری برای هر کدام از زیرحوضه‌ها میسر نبوده، و به ناچار یک راندمان متوسط برای کل محدوده مطالعاتی محاسبه شد. در این مرحله سطوح کل اراضی کشاورزی فاریاب به سه دسته اراضی با آبیاری سطحی، اراضی تحت پوشش آبیاری بارانی و اراضی تحت پوشش آبیاری قطره‌ای تقسیم شد. درصد سطوح مربوط به هر یک از سه دسته مذکور بدین شرح است که از کل اراضی کشاورزی

محدوده‌های مورد مطالعه ۸۸/۳ درصد به اراضی با آبیاری سطحی (سنتی و تسطیح شده) اختصاص دارد، ۸/۲ درصد تحت پوشش آبیاری بارانی و ۳/۵ درصد تحت پوشش آبیاری قطره‌ای می‌باشند.

جهت محاسبه راندمان کل در هر یک از این سطوح آبیاری از دو مؤلفه راندمان انتقال^۱ و راندمان کاربرد در مزرعه^۲ استفاده شده است. راندمان انتقال (E_c) بیانگر راندمان در مجاری اصلی و فرعی انتقال آب بوده و عبارت است از نسبت آب تحویل داده شده به مزرعه به آبی است که از منبع تحویل گرفته می‌شود و راندمان کاربرد در مزرعه (E_a) نیز نسبت آب مورد استفاده توسط گیاه به آبی است که به مزرعه تحویل داده می‌شود. راندمان کل در هر یک از سطوح زیر پوشش آبیاری سطحی، بارانی و قطره‌ای از حاصل ضرب این دو مؤلفه راندمان در درصد سطح هر کدام به دست آمده و نهایتاً میانگین کل راندمان منطقه برابر با مجموع این نتایج می‌باشد. جدول (۳-۳) طریقه محاسبه راندمان متوسط را در کل محدوده مورد مطالعه نشان می‌دهد. چنان که در این جدول مشاهده می‌شود متوسط راندمان کل محدوده مطالعاتی حدود ۴۶ درصد محاسبه شد. این مقدار به عنوان راندمان آبیاری برای همه زیرحوضه‌ها در نظر گرفته شد.

جدول ۳-۲. محاسبه متوسط راندمان آبیاری در کل محدوده مطالعاتی نیشابور

روش آبیاری	درصد سطح زیر پوشش هر روش آبیاری (A_i)	راندمان کاربرد (E_a) درصد	راندمان انتقال (E_c) درصد	راندمان کل ($E_a \times E_c$) درصد	$A_i \times (E_a \times E_c)$ (درصد)
آبیاری سطحی	۸۸/۳	۶۰/۰	۷۰/۰	۴۲/۰	۳۷/۱
آبیاری بارانی	۸/۲	۸۰/۰	۹۵/۰	۷۶/۰	۶/۲
آبیاری قطره‌ای	۳/۵	۹۰/۰	۹۵/۰	۸۵/۵	۳/۰
کل	۱۰۰/۰	-	-	-	۴۶/۳

۳-۸- اطلاعات آب و هوایی

در این بخش مراحل تهیه داده‌های آب و هوایی و چگونگی تبدیل آن‌ها به اطلاعات قابل استفاده برای مدل WEAP شرح داده می‌شود. اطلاعات اقلیمی مورد نیاز WEAP برای مدل هیدرولوژیکی بارش- رواناب عبارتند از بارش ماهانه و تبخیر و تعرق ماهانه، که در این تحقیق تبخیر و

¹ Conveyance efficiency

² Application efficiency

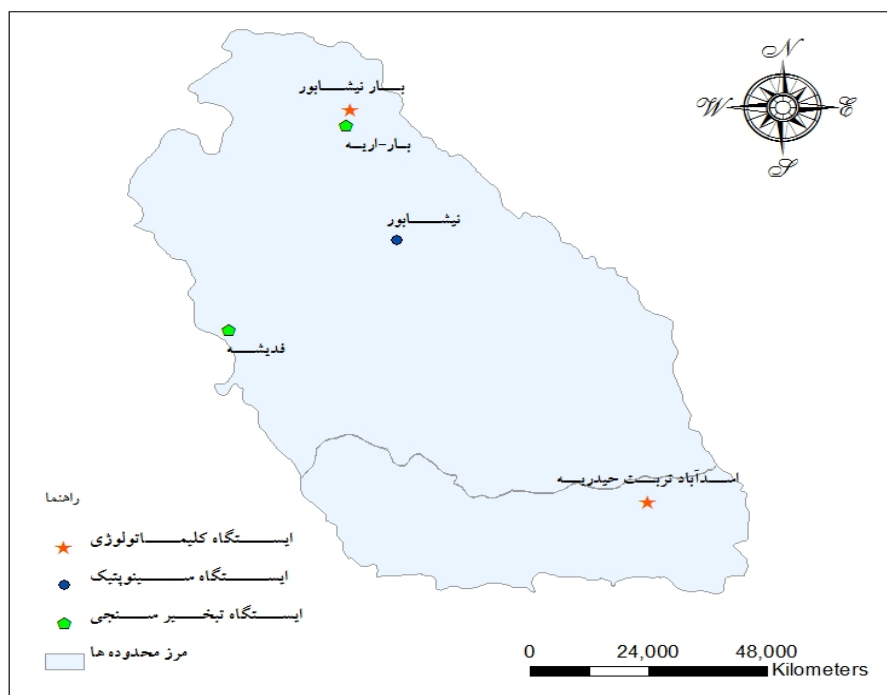
تغرق با استفاده از فرمول هارگریوز- سامانی محاسبه شد. مهم‌ترین پارامتر این فرمول دماست که در ادامه به آن پرداخته می‌شود.

۳-۸-۱- دما

در داخل محدوده مطالعاتی نیشابور و رخ یک ایستگاه سینوپتیک نیشابور و دو ایستگاه کليما تولوژی بار نیشابور و اسدآباد تربت وجود دارند که مربوط به سازمان هواشناسی بوده و همچنین دو ایستگاه تبخیر سنجی بار- اریه و فدیشه نیز متعلق به سازمان آب منطقه‌ای موجود می‌باشند. در شکل (۳-۵) موقعیت این ایستگاه‌ها نشان داده شده است. داده‌های مربوط به دمای حداقل، حداکثر و متوسط این ایستگاه‌ها از سازمان‌های مربوط اخذ گردیده و از لحاظ صحت و کامل بودن، مورد بررسی قرار گرفتند و سپس داده‌های ناقص با استفاده از روش تفاضل‌ها تکمیل شدند. در روش تفاضل‌ها که بیشتر برای دما استفاده می‌شود، داده‌های ناقص با استفاده از اطلاعات ایستگاه‌های دیگر (ایستگاه مبنا) به کمک رابطه (۳-۱) تکمیل می‌شوند:

$$T_a = (T_{a-avg} - T_{b-avg}) + T_b \quad (3-1)$$

که در این معادله T_a دمای ایستگاه مورد نظر، T_b دمای ایستگاه مبنا، T_{a-avg} میانگین دمای سال‌های مشترک در ایستگاه مورد نظر و T_{b-avg} میانگین دمای سال‌های مشترک در ایستگاه مبنا می‌باشد (علیزاده، ۱۳۸۱).



شکل ۳-۵. موقعیت ایستگاه‌های مختلف اندازه‌گیری دما

پس از تکمیل این داده‌ها میانگین دمای (حداقل، حداکثر و متوسط) هر زیرحوضه با استفاده از روش گرادیان دما- ارتفاع محاسبه شد. بدین صورت که با توجه به میزان دما و ارتفاع ایستگاه‌ها یک گرادیان خطی بین پارامترهای دما و ارتفاع برازش داده شد سپس با استفاده از ارتفاع مرکز ثقل هر زیرحوضه (که توسط تحلیل GIS به دست آمد) میزان دما در زیرحوضه‌های مختلف محاسبه گردید.

۳-۸-۲- تبخیر و تعرق مرجع

برای محاسبه تبخیر و تعرق مرجع روش‌های متنوعی وجود دارد که بنا بر اطلاعات موجود و همچنین تناسب روش با اقلیم منطقه مورد نظر می‌توان روش مناسب را انتخاب کرد که از این بین روش تجربی هارگریوز- سامانی علاوه بر نیاز به داده‌های کمتر، مطابقت خوبی نیز با اقلیم خشک و نیمه خشک دارد. توکلی (۱۳۹۰) در تحقیقی با بررسی و مقایسه روش‌های مختلف تبخیر و تعرق در مورد استان خراسان شمالی نتیجه گرفت که به جز ماه‌های فروردین، مهر و بهمن، در تمامی ماه‌های سال معادله هارگریوز- سامانی مطلوب‌ترین و مناسب‌ترین فرمول تخمین تبخیر و تعرق در شرایط کمبود داده می‌باشد. وی همچنین با بررسی مطالعات انجام شده پیشین در زمینه تبخیر و تعرق در

مقیاس ماهانه به این نتیجه رسید که بیشترین تمرکز این مطالعات بر نتایج قابل قبول معادله هارگریوز- سامانی به ویژه در اقلیم خشک و نیمه خشک می‌باشد (توکلی، ۱۳۹۰). با استناد به این نتایج در تحقیق حاضر نیز برای محاسبه تبخیر و تعرق مرجع این روش به کار گرفته شد. روش هارگریوز سامانی جزء روش‌های تجربی دمایی است که در گروه روش‌های غیر مستقیم برآورد تبخیر و تعرق مرجع قرار می‌گیرد و معادله آن به قرار زیر است:

$$ET_0 = 0.0023 \times Ra \times (T_{mean} + 17.8) \times \sqrt{T_{max} - T_{min}} \quad (2-3)$$

که در این معادله ET_0 تبخیر و تعرق گیاه مرجع (میلی‌متر در روز)، T_{mean} ، T_{max} و T_{min} به ترتیب متوسط، حداکثر و حداقل دمای هوا در ارتفاع ۲ متری از سطح زمین (درجه سلسیوس)، و Ra تابش برون زمینی (میلی‌متر در روز) می‌باشند (توکلی، ۱۳۹۰). مقادیر پارامتر تابش برون زمینی با توجه به مختصات عرض جغرافیایی مرکز ثقل هر زیر حوضه از جدول (۳-۳) به طریق درون‌یابی محاسبه شد. در این جدول مقادیر Ra بر حسب کالری بر سانتیمتر مربع در روز هستند و برای تبدیل واحد آن به میلی‌متر در روز باید بر ۵۸/۵ تقسیم شوند. در این تحقیق تبخیر و تعرق مرجع برای هر زیرحوضه در هر ماه از سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۹ محاسبه شد.

جدول ۳-۳. مقادیر تابش برون زمینی Ra برای عرض‌های جغرافیایی ۳۰ و ۴۰ درجه شمالی (۳-۱۰ کالری بر سانتیمتر مربع در روز) (ناظم السادات، ۱۳۸۸)

عرض جغرافیایی	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
۳۰° N	۴۷۹	۵۶۲	۶۶۲	۸۸۷	۹۸۴	۹۷۴	۹۵۷	۸۹۸	۷۹۴	۶۶۳	۵۳۸	۴۶۵
۴۰° N	۳۶۶	۴۹۷	۴۹۷	۸۱۵	۹۹۳	۹۸۴	۹۶۳	۸۶۷	۷۶۱	۵۴۸	۳۹۹	۳۲۹

۳-۸-۳- بارش

ابتدا همگنی داده‌های مربوط به ۲۳ ایستگاه باران سنجی نشان داده شده در شکل (۳-۶)، با استفاده از روش جرم مضاعف^۱ مورد بررسی قرار گرفت. مراحل کار در این روش به این صورت است که ابتدا مقادیر تجمعی بارش را برای هر کدام از ایستگاه‌ها و هم‌چنین برای میانگین همه ایستگاه‌ها محاسبه

^۱ Double Mass Method

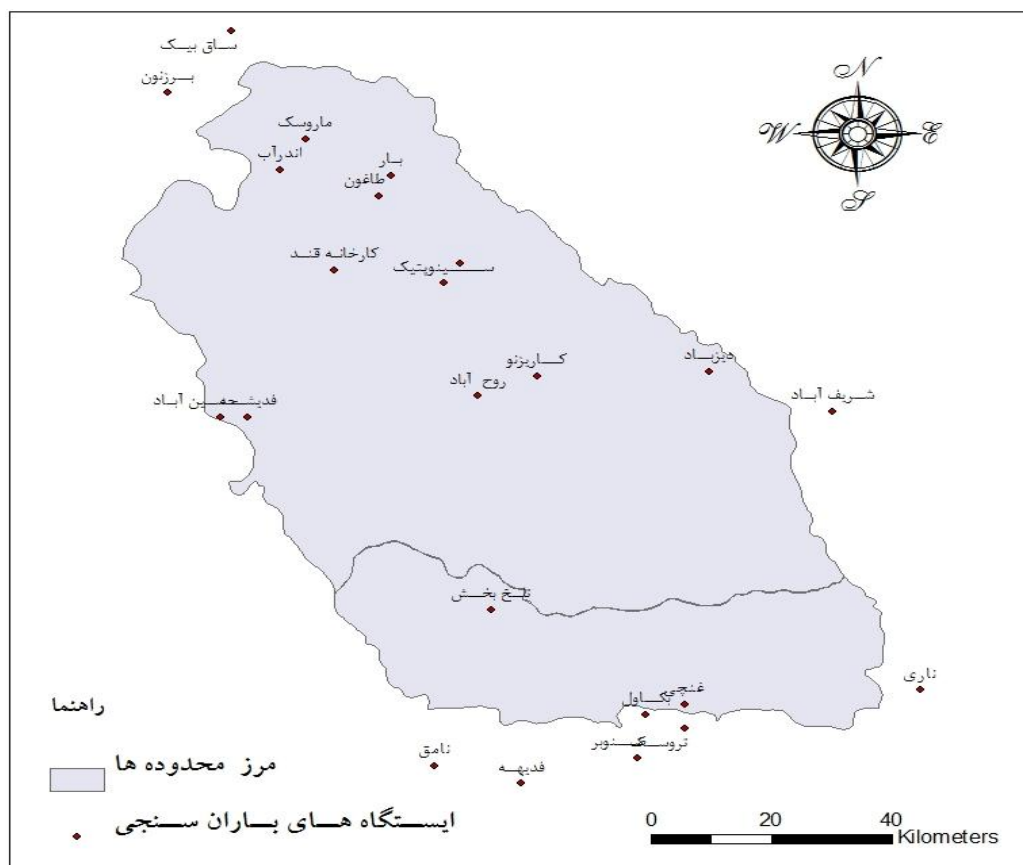
کرده و سپس نمودار این مقادیر تجمعی را برای هر ایستگاه در مقابل میانگین ایستگاه‌ها ترسیم می‌کنیم (علیزاده، ۱۳۸۱). ضریب R^2 خطی که بین مقادیر این دو پارامتر برآزش داده می‌شود نشان‌دهنده درجه همگنی ایستگاه مورد نظر با میانگین ایستگاه‌ها می‌باشد.

پس از اطمینان از همگن بودن داده‌های این ایستگاه‌ها نوبت به محاسبه بارش در هر کدام از زیرحوضه‌های ۹ گانه می‌باشد. برای این کار روش‌های مختلفی از جمله روش‌های میانگین‌گیری (مانند روش‌های میانگین ریاضی، میانگین وزنی، خطوط تیسن و خطوط هم‌باران) و روش‌های میان‌یابی (مانند معکوس فاصله^۱، کریجینگ^۲، کو کریجینگ^۳ و ...) وجود دارد. در این مطالعه ابتدا با استفاده از نرم‌افزارهای ArcMap 9.3 و Excel میانگین بارش هر زیرحوضه در هر ماه به روش کریجینگ محاسبه شد، ولی نتایج میان‌یابی از دقت خوبی برخوردار نبودند و خطای پیش‌بینی زیادی را نشان می‌دادند که می‌تواند به این علت باشد که تعداد ایستگاه‌هایی که استفاده شد کمتر از حدی بود که این روش بتواند نتایج مطلوبی ارائه دهد. بنابراین این بار از روش میان‌یابی معکوس فاصله (IDW) استفاده شد.

¹ Inverse Distance Weighting Method

² Kriging

³ Co-Kriging Method



شکل ۳-۶. موقعیت ایستگاه‌های باران سنجی واقع در محدوده مطالعاتی نیشابور

پایه روش معکوس فاصله، وزن دادن بر اساس عکس فاصله تا نقطه تخمین است. به عبارت دیگر وزن-دهی بیشتر به نزدیک‌ترین نمونه‌ها و اختصاص وزن کمتر به نمونه‌هایی است که در فاصله دورتری قرار گرفته‌اند (رضایی و همکاران، ۱۳۸۹). الگوریتم این روش به صورت زیر است:

$$P_0 = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i / D_i^m)}{\sum_{i=1}^n (1 / D_i^m)} \quad (3-3)$$

در این معادله P_0 مقدار پارامتر مجهول، P_i مقادیر معلوم پارامترها، D_i فاصله نقاط از یکدیگر و m توان معادله می‌باشد. توان‌های بزرگ‌تر اثر نقاط دورتر از نقطه مورد تخمین را کاهش می‌دهند و توان‌های کوچک‌تر، وزن‌ها را به طور یکنواخت‌تری بین نقاط همسایه توزیع می‌کنند. در این مطالعه درونیابی با توان‌های ۱ و ۲ انجام شد و توان ۲ با کمترین مقدار خطا به عنوان توان مناسب برای استفاده در محاسبات انتخاب گردید.

فاصله نقاط از یکدیگر نیز با استفاده از فرمول ساده زیر محاسبه شد:

$$D_i = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2} \quad (4-3)$$

که ΔX فاصله طولی و ΔY فاصله عرضی نقاط از یکدیگر هستند.

روش محاسبه بارش در هر زیرحوضه به این صورت بود که ابتدا مختصات مرکز ثقل هر زیرحوضه با استفاده از نرم‌افزار ArcMap 9.3 مشخص شده و سپس فاصله این مراکز ثقل از هر کدام از ایستگاه-های باران‌سنجی با توجه به معادله (4-3) محاسبه شد. در نهایت با استفاده از فرمول (3-3) مقدار بارش در مرکز ثقل هر زیرحوضه تخمین زده شد.

۳-۹- اطلاعات مربوط به پوشش زمین

اطلاعات مورد نیاز روش شبیه‌سازی هیدرولوژیکی بارش- رواناب فائو در مورد پوشش زمین عبارتند از: مساحت، ضریب گیاهی و بارش مؤثر. مساحت زیرحوضه‌های مختلف که با کمک نرم‌افزار ArcMap 9.3 محاسبه شد. در مورد ضریب گیاهی کاربری‌های مختلف زمین و بارش مؤثر در ادامه بحث خواهد شد.

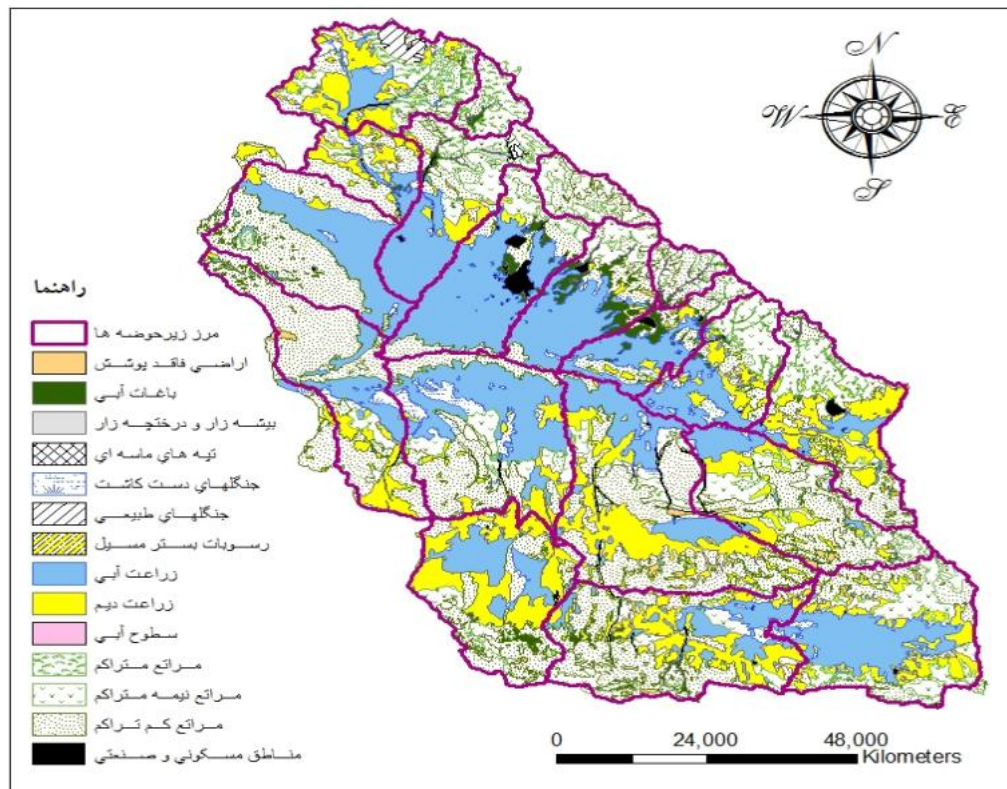
۳-۹-۱- ضریب گیاهی

در روش بارش- رواناب فائو، با وارد کردن تبخیر و تعرق مرجع برای هر زیرحوضه و همچنین وارد کردن ضرایب گیاهی برای هر کدام از کاربری‌های زمین به مدل مقدار مصرف آب پوشش‌های مختلف گیاهی محاسبه می‌گردد.

محاسبه ضریب گیاهی کاربری‌های کشت آبی و کشت دیم بدین صورت بود که ابتدا با استفاده از جداول ۱۱ و ۱۲ مجله FAO-56 طول دوره رشد و ضریب گیاهی هر محصول استخراج شده و سپس با توجه به ترکیب کشت در هر زیرحوضه و مساحت زیر کشت هر محصول، ضریب گیاهی معادل کاربری‌های کشت هر محصول توسط معادله (3-5) محاسبه گردید:

$$K_{C-equ} = \frac{\sum_{i=1}^n (K_{C-i} \times A_i)}{\sum_{i=1}^n A_i} \quad (5-3)$$

در این معادله K_{c-equ} ضریب گیاهی معادل، K_{c-i} ضریب گیاهی محصول i و A_i سطح زیر کشت محصول i می‌باشند.



شکل ۳-۷. نقشه کاربری اراضی محدوده مطالعاتی نیشابور

۳-۹-۲- بارش مؤثر

روش‌های متعددی برای محاسبه پارامتر بارش مؤثر وجود دارد، در این مطالعه برای سهولت انجام محاسبات از روش درصدی استفاده شد. در این روش ۸۰ درصد از بارش به عنوان بارش مؤثر در نظر گرفته می‌شود (گازرانی، ۱۳۸۹).

۳-۱۰- مدل‌سازی محدوده مطالعاتی

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. در مرحله بعد صحت انجام شبیه‌سازی‌ها طی فرآیند اعتبارسنجی مشخص می‌گردد. پس از واسنجی و اعتبارسنجی مدل نوبت به طرح و ایجاد سناریوهای مختلفی در مورد شرایط آینده در زمینه سیاست‌ها،

هزینه‌ها، آب و هوا و مؤلفه‌های مؤثر بر تقاضا و ... می‌باشد. در نهایت بر اساس این سناریوها شبیه‌سازی انجام می‌شود و هر کدام از آن‌ها مورد تحلیل قرار می‌گیرد.

۳-۱۰-۱- ابعاد مکانی و زمانی مطالعه

دشت نیشابور به عنوان منطقه‌ای که از لحاظ منابع آب دچار بحران است، برای این مطالعه انتخاب شده و اطلاعات مورد نیاز مدل در مورد این دشت و همچنین دشت رخ که رواناب سطحی آن به دشت نیشابور وارد می‌شود، تهیه گردید.

شرایط موجود^۱ اولین سال دوره واسنجی می‌باشد که سعی می‌گردد سالی انتخاب شود که اطلاعات مناسب و دقیقی از وضعیت فعلی منطقه وجود داشته باشد. در این تحقیق سال ۲۰۰۱ میلادی به عنوان شرایط موجود در نظر گرفته شد و برای واسنجی و اعتبارسنجی دوره ۱۰ ساله ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۰ انتخاب شد. علت انتخاب این دوره به دلیل انجام اندازه‌گیری برداشت از آبخوان در ابتدا و انتهای این دوره یعنی سال‌های ۱۳۷۹ و ۱۳۸۹ بود.

۳-۱۰-۲- ترسیم شماتیک و ورود اطلاعات به مدل

پس از تعیین ابعاد مکانی و زمانی مسأله و تهیه اطلاعات مورد نیاز مدل، نوبت به ترسیم شماتیک و وارد کردن اطلاعات تهیه شده به مدل می‌باشد. شماتیک مدل مجموعه‌ای از گره‌ها و کمان‌ها است که هر کدام نماینده منابع مختلف، مصارف گوناگون و شبکه‌های انتقال آب می‌باشند. در این تحقیق از چهار نوع گره استفاده شد: (۱) گره زیرحوضه (Catchment): در این گره محاسبات هیدرولوژیکی مانند بارش، رواناب، نفوذ به آبخوان و تقاضای کشاورزی انجام می‌گیرد؛ (۲) گره تقاضا (Demand Site): حجم تقاضای شرب شهری و روستایی و تقاضای صنعت در این گره وارد می‌شود؛ (۳) گره آب زیرزمینی (Groundwater): ورودی‌ها و خروجی‌های آبخوان در این گره محاسبه می‌گردد؛ (۴) ایستگاه‌های آب‌سنجی (Stream flow Gauge): داده‌های مربوط به مشاهدات رواناب در این گره ثبت می‌شود.

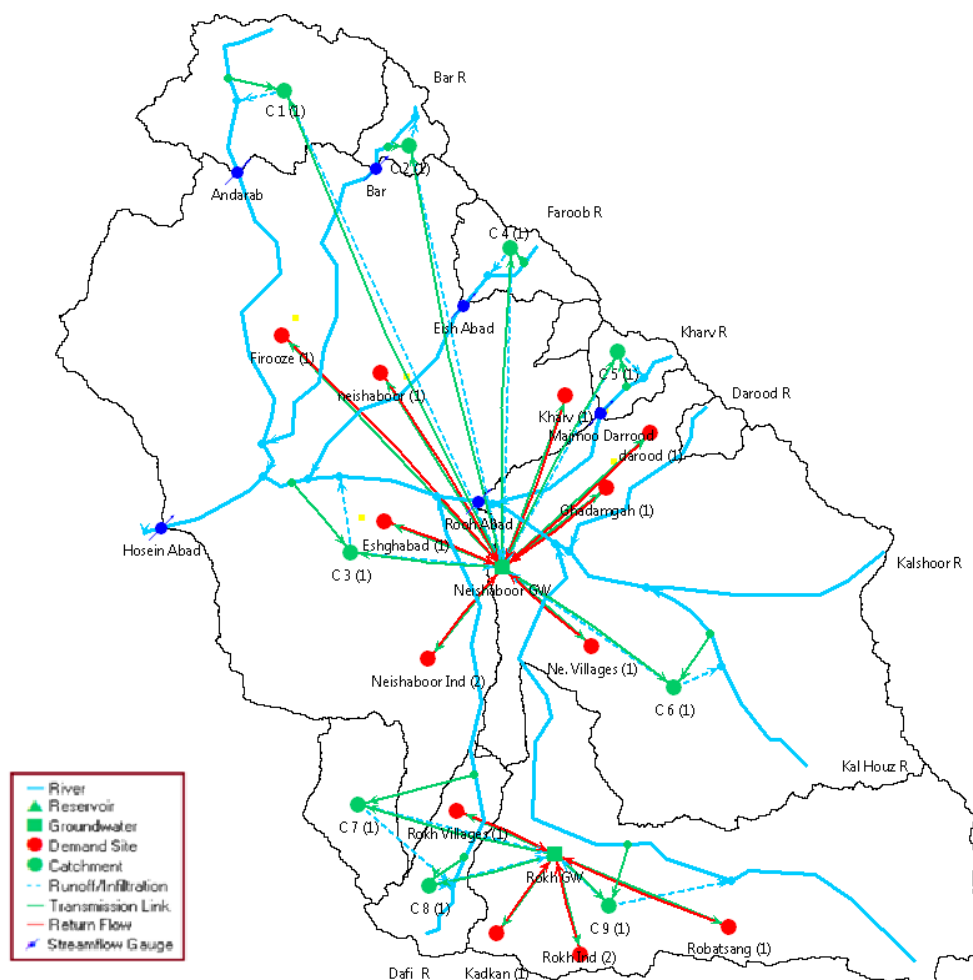
¹ Current Accounts

برای برقراری ارتباط بین این گره‌ها از انواع کمان‌ها استفاده می‌شود: (۱) کمان رابط انتقال آب (Transmission Link): آب را از منابع و مخازن آب به گره‌های مصرف کننده آب انتقال می‌دهد؛ (۲) کمان رواناب- نفوذ (Runoff/infiltration): رواناب تولید شده در گره‌های زیرحوضه را به سفره آب زیرزمینی و رودخانه منتقل می‌کند؛ (۳) کمان آب برگشتی (Return Flow): پساب حاصل از سایت‌های تقاضای شهری و صنعتی را به منابع (آب زیرزمینی یا رودخانه) برمی‌گرداند و (۴) رودخانه‌ها.

در نمای شماتیک مؤلفه‌های سیستم با کشیدن و رها کردن در محدوده ایجاد می‌گردند. از لایه‌های رستر یا وکتور GIS می‌توان به عنوان یک نقشه پیش‌زمینه استفاده کرد. با راست کلیک کردن روی هر مؤلفه یا رفتن به نمای داده‌ها می‌توان اطلاعات مربوط به هر مؤلفه را به مدل وارد کرد. شکل (۳-۷) شماتیک ترسیم شده برای این تحقیق را نشان می‌دهد و در جدول (۳-۴) نیز مؤلفه‌های مختلف آن معرفی شده‌اند.

جدول ۳-۴. معرفی اسامی مؤلفه‌های به کار رفته در شماتیک مدل

Neyshabour.	نیاز آبی شهر نیشابور	Andarab R.	رودخانه اندرآب
Firozeh.	نیاز آبی شهر فیروزه	Baar R.	رودخانه بار
Kharv.	نیاز آبی شهر خرو	Farob R.	رودخانه فاروبرومان
Darood.	نیاز آبی شهر درود	Kharv R.	رودخانه خرو
Ghadamgah.	نیاز آبی شهر قدمگاه	Darood R.	رودخانه درود
Eshghabad.	نیاز آبی شهر عشق آباد	Kalshoor R.	رودخانه کال‌شور
Kadkan.	نیاز آبی شهر کدکن	Kalhous R.	رودخانه کال‌حوض
Robatsang.	نیاز آبی شهر رباط سنگ	Roodshoor R.	رودخانه رودشور
Ne. Villages	نیاز آبی روستاهای دشت نیشابور	Daafi R.	رودخانه دافی
Ro. Villages	نیاز آبی روستاهای دشت رخ	C1-9	زیرحوضه‌های شماره ۱ تا ۹
Neyshabour Ind.	نیاز آبی صنایع دشت نیشابور	Andarab	ایستگاه هیدرومتری اندرآب
Rokh Ind.	نیاز آبی صنایع دشت رخ	Arieh	ایستگاه هیدرومتری اریه
Neyshabour GW	آبخوان دشت نیشابور	Eishabad	ایستگاه هیدرومتری عیش آباد
Rokh GW	آبخوان دشت رخ	Kharv	ایستگاه هیدرومتری خرو
		Hoseinabad	ایستگاه هیدرومتری حسین آباد



شکل ۳-۸. شماتیک ترسیم شده در WEAP برای محدوده مطالعاتی نیشابور

۳-۱۰-۳- واسنجی و اعتبارسنجی مدل

واسنجی مدل فرآیندی است که طی آن تعدادی از پارامترهای ثابت آنقدر تغییر داده می‌شوند تا مقادیر شبیه‌سازی شده با مقادیر اندازه‌گیری شده انطباق پیدا کند. در نسخه‌های قدیمی‌تر WEAP ابزاری برای واسنجی خودکار مدل وجود نداشت اما برای نسخه‌های جدیدتر این نرم‌افزار این امکان با افزودن مدل ^۱PEST فراهم شده است. با توجه به این که مدل PEST قابلیت واسنجی ماهانه پارامترها را ندارد و برای هر پارامتر صرفاً یک مقدار واحد برآورد می‌کند، در این تحقیق از این روش برای واسنجی استفاده نشده و مدل WEAP به صورت دستی واسنجی گردید.

^۱ Model-Independent Parameter Estimation Tool

پس از اینکه واسنجی مدل انجام شد باید اعتبار آن مورد آزمون قرار گیرد تا ثابت شود که مدل قابلیت انجام پیش‌بینی‌های صحیح را دارد، به این فرآیند اعتبارسنجی گفته می‌شود. در این مرحله بدون تغییر در متغیرهای ثابت و پارامترهای واسنجی شده، نتایج مدل با داده‌های مشاهده شده برای دوره دیگری غیر از دوره واسنجی مقایسه می‌شود.

۳-۱۰-۴- ارزیابی نتایج مدل

برای ارزیابی کمی نتایج حاصل از واسنجی و اعتبارسنجی مدل از سه نمایه ضریب راندمان نش-ساتکلیف^۱ (E_f)، ضریب تعیین^۲ (R^2) و جذر میانگین مربعات خطا^۳ (RMSE) استفاده شد.

الف) ضریب راندمان نش-ساتکلیف (E_f):

$$E_f = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (۳-۶)$$

در این معادله O_i و P_i به ترتیب مقادیر مشاهده شده و پیش‌بینی شده، O میانگین مقادیر مشاهداتی و n تعداد داده‌ها می‌باشند. این نمایه مقادیر شبیه‌سازی شده را با میانگین مقادیر مشاهده‌ای مقایسه می‌کند و مقدار آن بین ۱ تا بی‌نهایت متغیر است. $E_f=1$ بیانگر انطباق عالی بین داده‌های مشاهداتی و محاسبه شده است، $E_f=0$ نشان می‌دهد که دقت پیش‌بینی مدل به اندازه میانگین داده‌های مشاهداتی بوده و راندمان کمتر از صفر ($-\infty < E_f < 0$) مبین این است که میانگین مشاهدات پیش‌بینی بهتری نسبت به نتایج مدل ارائه می‌دهد.

ب) ضریب تعیین (R^2):

$$R^2 = \frac{[\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O}) \times (P_i - \bar{P})]^2}{[\frac{n \times \sum_{i=1}^n O_i^2 - [\sum_{i=1}^n O_i]^2}{n-1}] \times [\frac{n \times \sum_{i=1}^n P_i^2 - [\sum_{i=1}^n P_i]^2}{n-1}]} \quad (۳-۷)$$

¹ Nash-Sutcliffe model efficiency coefficient

² The Coefficient of Determination

³ Root Mean Square Error

این ضریب برای آزمون نیکویی برازش داده‌های مدل‌سازی شده و پیش‌بینی شده به کار می‌رود و مقدار آن بین صفر تا یک متغیر است که بهترین حالت آن $R^2=1$ است. پارامترهای این معادله قبلاً معرفی شده‌اند.

ج) جذر میانگین مربعات خطا (RMSE):

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{n}} \quad (۸-۳)$$

مقدار این نمایه نشان می‌دهد که مدل تا چه حد اندازه‌گیری‌ها را بیشتر یا کمتر پیش‌بینی کرده است، در واقع این معیار انعکاسی از میانگین مقدار خطای مدل‌سازی است. پر واضح است که بهترین حالت برای این نمایه خطای صفر می‌باشد.

۳-۱۱- تدوین سناریوها

در این تحقیق سناریوها در پنج سطح کلی تدوین شده‌اند:

سطح یک: سناریوی مرجع

سطح دو: سناریوهای مرتبط با مدیریت تقاضای آب آبیاری

سطح سه: سناریوهای مرتبط با تغییر اقلیم

سطح چهار: سناریوهای ترکیبی

سطح پنج: تعادل رسانی ذخیره آب زیرزمینی

در جدول (۳-۵) نام و توضیحات مربوط به سناریوهای مختلف به طور مختصر بیان شده است و در بخش-

های بعد به شرح مفصل هر کدام از آنها پرداخته خواهد شد.

جدول ۳-۵. سناریوهای مختلف مطرح شده برای سال‌های شبیه‌سازی

سطح	نام اختصاری	توضیحات
یک	S1	سناریوی مرجع: ادامه اوضاع موجود، بدون تغییر در سیاست‌های مدیریتی
دو	S21	کشاورزی حفاظتی
	S22	افزایش راندمان آبیاری به کمک توسعه روش‌های نوین آبیاری با فرض ثبات سطح زیر کشت
	S23	کاهش سطح اراضی آبی و در عوض افزایش تخصیص آب به بخش صنعت
سه	S31	تغییر اقلیم تحت سناریوی A2
چهار	S41	ترکیب سناریوهای S21 و S22
	S42	ترکیب سناریوهای S22 و S23
	S43	ترکیب سناریوهای S21 و S22 و S23
	S44	ترکیب سناریوهای S22 و S31
	S45	ترکیب سناریوهای S22 و S23 و S31
پنج	S5	تعادل رسانی ذخیره مخزن

۳-۱۱-۱- سطح یک: سناریوی مرجع

سناریوی مرجع^۱ بیانگر ادامه اوضاع موجود، بدون تغییر اساسی در سیاست‌های مدیریتی در آینده است. در این سناریو که پایه همه سناریوهای دیگر است، تنها رشد جمعیت منطقه و رشد صنعت تا سال ۲۰۲۰ با نرخ رشد کنونی لحاظ خواهد شد و بقیه پارامترها تا سال آخر شبیه‌سازی بدون تغییر باقی خواهند ماند. از نظر اقلیمی نیز در این سناریو فرض بر این است که اقلیم منطقه در سال‌های آینده تکرار توالی سال‌های گذشته می‌باشد.

۳-۱۱-۲- سطح دو: سناریوهای مرتبط با مدیریت تقاضای آب آبیاری

۳-۱۱-۲-۱- کشاورزی حفاظتی

کشاورزی حفاظتی به عنوان شیوه‌ی جدیدی از کشت، چند دهه است که در میان برخی از کشورهای جهان رواج پیدا کرده و در ایران نیز از اوایل دهه‌ی ۱۳۸۰ خورشیدی به عنوان یک روش نوین کشاورزی مورد توجه قرار گرفت؛ اما با وجود گذشت بیش از یک دهه از اجرای این طرح، هنوز قشر زیادی از

¹ Reference

جامعه‌ی دهقانی ما با آن هیچ گونه آشنایی ندارند یا آشنایی آنها با این روش کشت در سطح خیلی پایینی قرار دارد.

در کشور ما که با بحرانی مانند آب روبرو هستیم اجرای طرح کشاورزی حفاظتی می‌تواند کمک زیادی در جهت صرفه جویی این مایه حیات داشته باشد. کشاورزی حفاظتی مبتنی بر سه اصل است که آن را از کشاورزی سنتی جدا کرده و این سه اصل موجب می‌شود نوعی تمایز بین دو روش کشت وجود داشته باشد. اصل اول دست کاری نکردن خاک یا کمتر دست کاری کردن آن است. نگهداری بقایای علف‌های کشت قبلی یکی دیگر از اصل‌های مهم در کشاورزی حفاظتی است؛ با برجا گذاشتن بقایای محصولات در سطح خاک، فعالیت فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک افزایش می‌یابد و به اصطلاح خاک زنده می‌شود. اصل سوم کشاورزی حفاظتی تنوع محصول است که موجب کاهش آفت و علف‌های هرز می‌شود. استفاده از این سه اصل در کشاورزی حفاظتی سبب استفاده بهینه از بارش‌ها در زمین‌های کشاورزی می‌شود.

از این رو با استفاده از این تکنیک‌ها، شرایط کشت محصول تغییر نموده و در نتیجه سبب تغییر در میزان باران مؤثر برای هر محصول می‌شود. در این مطالعه سعی گردید تا با فرض استفاده از این روش‌ها میزان باران مؤثر محاسبه گردد. بارش مؤثر در این سناریو به روش سرویس حفاظت خاک اداره کشاورزی ایالات متحده محاسبه شده است. این روش با توجه به اطلاعات دراز مدت مربوط به اقلیم و رطوبت خاک می‌باشد که با استفاده از مقادیر باران و تبخیر-تعرق ماهانه و همچنین عمق ذخیره آب یا عمق آبیاری و کاربرد رابطه زیر باران مؤثر برای هر محصول به طور جداگانه برآورد می‌گردد.

$$p_{eff} = f(D)(1.25R^{0.024} - 2.93) \times 10^{0.0000955ET_c}$$

در این رابطه، P_{eff} بارندگی مؤثر (میلی متر در ماه)، R بارندگی در ماه مورد نظر (میلی متر)، ET_c تبخیر-تعرق گیاه در ماه مورد نظر (میلی متر) و $f(D)$ تابعی است که از رابطه زیر محاسبه می‌شود

$$f(D) = 0.53 + 0.0116D - 8.94 \times 10^{-5}D^2 + 2.32 \times 10^{-7}D^2$$

که در آن D میزان تخلیه رطوبت خاک قبل از آبیاری (میلی متر) است.

در نهایت با وارد نمودن میزان بارش مؤثر جدید اثرات استفاده از این تکنیک را بر مدیریت منابع آب دشت مورد بررسی قرار گیرد.

۳-۱۱-۲- سناریوی افزایش راندمان آبیاری با فرض ثبات سطح زیر کشت

این سناریو بر پایه سناریوی مرجع بنا شده است و تنها تفاوت آن با S1 در تغییر پارامتر راندمان آبیاری (پارامتر IrrFrac در معادلات (۲-۴)، (۲-۹) و (۲-۱۲) فصل ۲) می باشد. در این سناریو فرض می شود راندمان آبیاری در اراضی کشاورزی منطقه در طول سال های شبیه سازی به کمک اقداماتی از قبیل توسعه روش های آبیاری تحت فشار، پوشش کانال های انتقال آب، تسطیح اراضی تحت پوشش آبیاری سطحی و ... افزایش پیدا می کند، اما سطح زیر کشت تغییری نخواهد کرد. در بخش (۳-۴) به مبحث راندمان آبیاری این محدوده مطالعاتی در وضع کنونی پرداخته شد و راندمان متوسط ۴۶٪ برای کل منطقه مد نظر قرار گرفت. اکنون با استفاده از معیارهای استفاده شده در آن بخش (درصد سطح زیر کشت انواع روش های آبیاری و راندمان مربوط به هر یک از این روش ها) می توان راندمان های بالاتری برای این منطقه برای سال های شبیه سازی تعریف کرد. به عنوان مثال اگر فرض شود در این محدوده سطح تحت پوشش آبیاری بارانی و قطره ای هر کدام به ۱۰٪ افزایش پیدا کنند، راندمان کل در منطقه به حدود ۵۰٪ ارتقاء پیدا خواهد کرد. بر این اساس ترکیب های بی شماری ساخته خواهد شد و به راندمان های متعددی می توان رسید. در اینجا تنها برای مقایسه، سه سطح راندمان فرضی مورد بررسی قرار خواهند گرفت، که به قرار جدول (۳-۶) محاسبه شده اند. همان گونه که در این جدول مشخص شده، در حال حاضر اراضی آبی واقع در این منطقه از قابلیت های فراوانی از لحاظ کاربرد روش های آبیاری تحت فشار و همچنین ارتقاء راندمان سیستم های آبیاری سطحی برخوردار هستند و با توسعه این روش ها می توان به راندمان های بالاتری دست یافت.

جدول ۳-۶. راندمان‌های مورد بررسی برای سناریوی افزایش راندمان آبیاری

درصد سطح زیر پوشش آبیاری	درصد سطح زیر پوشش آبیاری	درصد سطح زیر پوشش آبیاری	متوسط راندمان (%)
بارانی	قطره‌ای	سطحی	
۳۰	۲۰	۵۰	۶۰
۴۵	۳۰	۲۵	۷۰
۵۰	۵۰	۰	۸۰

۳-۱۱-۲-۳- سناریوی کاهش سطح زیر کشت آبی و در عوض افزایش تعداد صنایع

با توجه به این که بخش کشاورزی بزرگ‌ترین مصرف کننده آب در منطقه محسوب می‌شود، لذا با کاهش مصرف در این بخش می‌توان تا حد زیادی به تعادل بخشی بین سیستم عرضه و تقاضا امیدوار بود. هم‌زمان، افزایش سرمایه‌گذاری در بخش صنعت و انتقال شاغلین بخش کشاورزی به این بخش، راهی برای تضمین ثبات اقتصادی خانوارهای این منطقه می‌باشد. در این سناریو فرض می‌شود سالانه پنج درصد از سطح زیر کشت اراضی آبی کاهش می‌یابد و در عوض، به همان میزان کاهش مصرف کشاورزی، به مصرف آب واحدهای صنعتی افزوده 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، مقدار ذخیره آبخوان نسبت به سناریوی مرجع افزایش خواهد یافت.

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. این سناریو نیز بر پایه سناریوی مرجع بنا شده است و تفاوت این دو تنها در پارامتر سطح زیر کشت اراضی آبی (پارامتر Area_{LC} در معادلات (۱-۲) و (۲-۲) فصل ۲) و نیز تقاضای آبی صنایع منطقه می‌باشد.

۳-۱۱-۳- سطح سه: سناریوهای مرتبط با تغییر اقلیم

میانگین دمای سطح زمین بر اثر انتشار گازهای گلخانه‌ای در حال افزایش می‌باشد، به طوری که بررسی‌های اخیر هیأت بین‌الدول تغییر اقلیم^۱ افزایش میانگین دمای جهانی را ۰/۷۶ درجه سانتی‌گراد در قرن گذشته و ۶/۴ درجه سانتی‌گراد تا سال ۲۱۰۰ پیش‌بینی می‌کنند. علاوه بر تغییر در میانگین متغیرهای اقلیمی، تغییر در مقادیر حدی بارش نسبت به مقادیر گذشته آن نیز از دیگر پیامدهایی است که معنای آن افزایش در شدت وقوع آن‌ها می‌باشد. تغییر اقلیم علاوه بر پوشش گیاهی، تولیدات کشاورزی و چرخه هیدرولوژیکی، بر منابع آب قابل دسترس و وقوع خشکسالی و سیل نیز تأثیرگذار خواهد بود (سیاری و همکاران، ۱۳۹۰).

معتبرترین ابزار جهت بررسی اثرات پدیده تغییر اقلیم بر سیستم‌های مختلف، استفاده از متغیرهای اقلیمی شبیه‌سازی شده توسط مدل‌های گردش عمومی جفت شده جوی- اقیانوسی^۲ می‌باشد. این مدل‌ها قادرند پارامترهای جوی و اقیانوسی را برای یک دوره بلند مدت با استفاده از سناریوهای تأیید شده IPCC مدل- سازی نمایند (اشرف و همکاران، ۱۳۹۰). به دلیل تفکیک فضایی کم و ساده سازی‌های مدل‌های گردش عمومی جو در مقایسه با مدل‌های منطقه‌ای و کوتاه مدت، خروجی این مدل‌ها نمی‌تواند تقریب درستی از شرایط آب و هوایی منطقه مورد مطالعه را ارائه دهد. لذا آن‌ها بایستی توسط مدل‌های دینامیکی منطقه‌ای یا آماری تا حد ایستگاه‌ها یا تا مقیاس فضایی حدود ۵۰ کیلومتر، ریزمقیاس^۳ شوند تا با لحاظ اثرات محلی، خطای مدل‌های گردش عمومی جو به حداقل ممکن برسد (باباییان و نجفی نیک، ۱۳۸۵). یکی از مدل‌های آماری ریزمقیاس نمایی مدل LARS-WG است که استفاده از آن برای مدل‌سازی رفتار اقلیم در نقاط مختلف جهان معمول شده است. این مدل برای تولید مقادیر روزانه بارش، دمای کمینه، دمای بیشینه و تابش یا ساعت آفتابی در یک ایستگاه، تحت شرایط اقلیم پایه و آینده به کار می‌رود (اشرف و همکاران، ۱۳۹۰).

^۱ Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)

^۲ Atmospheric-Ocean General Circulation Model

^۳ Downscaling

اشرف و همکاران (۱۳۹۰) در تحقیقی از داده‌های سه سناریوی A1B، A2 و B1 مدل گردش عمومی جو HADCM3 برای ارزیابی تغییرات فصلی پارامترهای اقلیمی در استان خراسان رضوی در دوره ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۰ با استفاده از مدل LARS-WG5 استفاده کردند. نتایج این تحقیق حاکی از افزایش نسبی دمای متوسط هوا، کاهش میزان بارش و کاهش ساعت آفتابی در این دوره در استان خراسان بود. ضمن این که قدر مطلق تغییرات دمای حداقل نسبت به تغییرات دمای حداکثر بیشتر برآورد گردید (اشرف و همکاران، ۱۳۹۰).

در تحقیق حاضر با بهره‌گیری از نتایج مربوط به پیش‌بینی بارش و دماهای کمینه، بیشینه و متوسط پژوهش اشرف و همکاران (۱۳۹۰) برای ایستگاه سینوپتیک نیشابور، تحت سناریو A2 تغییرات اقلیم برای ۲۰ سال در این منطقه با استفاده از مدل WEAP شبیه‌سازی شد و تأثیرات مثبت و منفی این تغییرات بر مصارف و منابع آب دشت نیشابور مورد بررسی قرار گرفت.

۳-۱۱-۳-۱- سناریوی تغییر اقلیم A1B

خانواده سناریوهای انتشار به سناریوهای اطلاق می‌شود که دارای موضوع و زمینه مشترکی هستند. در گزارش‌های سوم و چهارم IPCC بر روی شش خانواده از سناریوهای انتشار بحث شده است که عبارتند از: A1FI، A1B، A1T، A2، B1 و B2. مطابق آنچه که در این گزارش‌ها آمده است، تعریف مربوط به سناریوی A1B بدین شرح می‌باشد: رشد سریع اقتصادی، گسترش سریع فناوری‌های جدید و کارآمد، جمعیت جهان در سال ۲۰۵۰ به ۹ میلیارد نفر رسیده و پس از آن به تدریج کاهش می‌یابد، درآمد و روش زندگی در بین مناطق با هم همگرا می‌شوند و تأکید بر استفاده متعادل از انواع منابع انرژی (باباییان، ۱۳۹۱).

۳-۱۱-۳-۲- سناریوی تغییر اقلیم A2

مشخصات سناریوی A2 که در آن بر خلاف سناریوی A1، دنیا همگرا در نظر گرفته نمی‌شود، بدین قرار می‌باشد: دنیایی که در آن کشورها به طور مستقل عمل کرده و به خود متکی هستند، جمعیت دنیا به طور پیوسته افزایش می‌یابد، و توسعه اقتصادی منطقه محور است (باباییان، ۱۳۹۱). همان‌گونه که پیش‌تر

نیز بیان گردید، با استفاده از نتایج تحقیق اشرف و همکاران (۱۳۹۰) برای سناریوی A2، میانگین پارامترهای بارش، دمای حداکثر، حداقل و متوسط برای هر زیرحوضه در طول سال‌های شبیه‌سازی محاسبه شد. سپس با توجه به دماهای حداکثر، حداقل و متوسط هر زیرحوضه، میزان تبخیر و تعرق مرجع به روش هارگریوز- سامانی برآورد گردید و به مدل وارد شد. تنها تفاوت سناریوهای تغییر اقلیم با سناریوی مرجع در تغییر پارامترهای بارش (پارامتر Precip_{HU} در معادله (۲-۱) فصل ۲) و تبخیر و تعرق مرجع (پارامتر ET_{referenceHU} در معادله (۲-۲) فصل ۲) می‌باشد.

۳-۱۱-۳-۳- سناریوی تغییر اقلیم B1

این سناریو همانند سناریوی خانواده A1 بر جهانی سازی (دنیای همگرا) و مانند سناریوی A2 بر جنبه‌های زیست محیطی و کاهش مواد آلاینده و معرفی منابع فناوری پاک و مؤثر تأکید دارد» (باباییان، ۱۳۹۱).

۳-۱۱-۴- سطح چهار: سناریوهای ترکیبی

این سناریوها با هدف بررسی تأثیر هم‌زمان اقدامات و شرایط مختلف مذکور در سناریوهای پیشین، بر منابع و مصارف دشت نیشابور طرح شدند. در این بخش از توضیحات بیشتر در مورد این سناریوها خودداری می‌گردد. تعاریف مربوط به هر کدام از آن‌ها به طور اجمالی در جدول (۳-۵) ارائه شده است.

فصل چہارم: نتائج و بحث

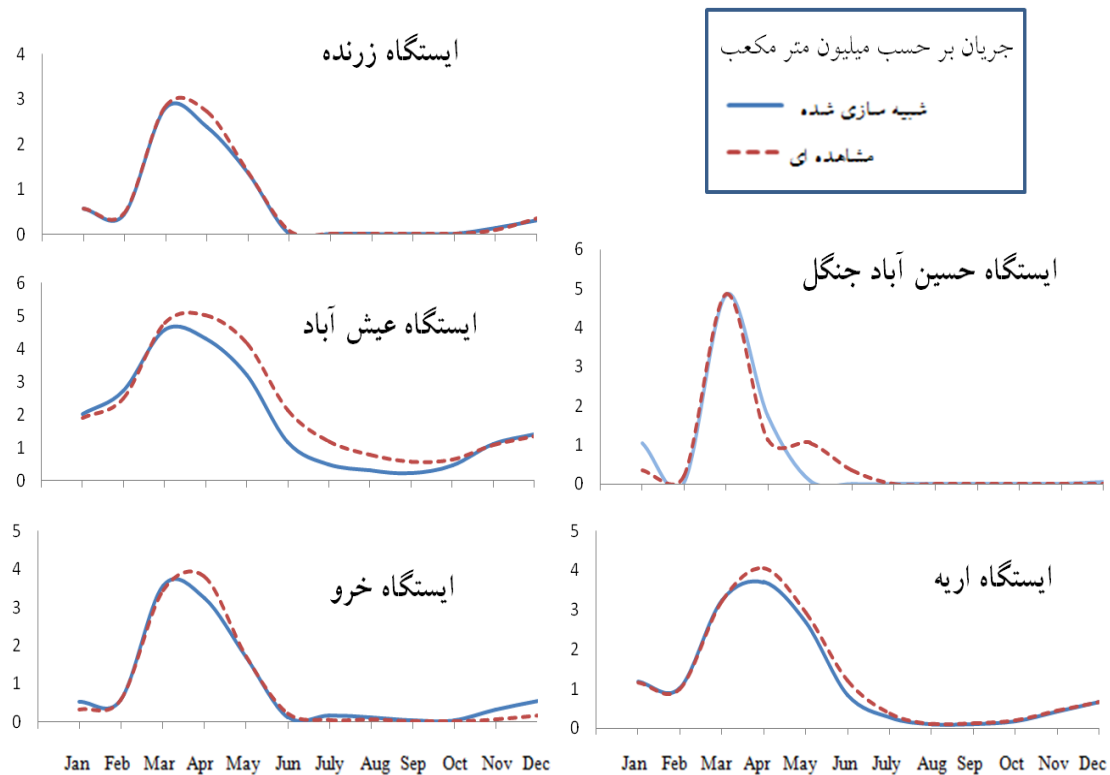
همان گونه که پیش تر بیان گردید، هدف این تحقیق بررسی تاثیر توسعه منابع آب در دشت نیشابور در بخش های مختلف کشاورزی، صنعت و شرب با توجه به رشد نیاز آنها در آینده می باشد. این بررسی در قالب سناریوهای مختلف توسط مدل WEAP برای یک دوره میان مدت ۲۰ ساله ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۰ میلادی شبیه سازی شد. در این فصل ابتدا نتایج حاصل از فرآیندهای واسنجی و اعتبارسنجی مدل ارائه شده است، پس از آن سناریوهای مختلف مربوط به مصارف و منابع آب معرفی و تشریح شده، و در نهایت نتایج هر کدام از آنها مورد ارزیابی و تحلیل قرار گرفته است.

۴-۱- نتایج واسنجی و اعتبارسنجی مدل

فرآیند واسنجی بر اساس مقایسه جریان شبیه سازی شده توسط مدل با جریان مشاهده شده در ایستگاه های آب سنجی، و همزمان مقایسه تراز شبیه سازی شده سطح آب زیرزمینی با تراز مشاهده ای انجام گرفت. در مطالعه حاضر، پارامترهای درصد نفوذ به آبخوان و ضریب گیاهی کاربری های غیر کشت مورد واسنجی قرار گرفتند. واسنجی مدل به این صورت است که این پارامترها برای هر ماه در هر زیرحوضه تغییر داده می شوند، هر گاه انطباق نسبی میان نتایج مدل و مقادیر مشاهده شده برقرار شود به هدف مورد نظر یعنی واسنجی مدل دست یافته ایم.

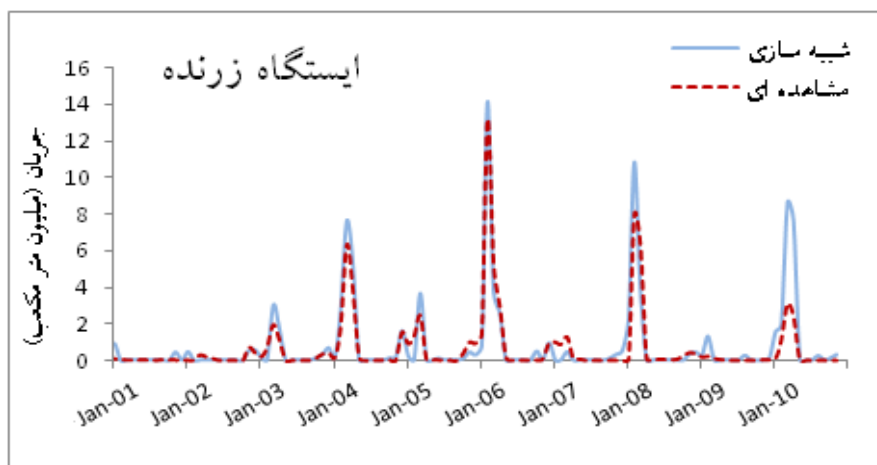
شکل (۴-۱) مقایسه میانگین ماهانه جریان شبیه سازی شده و مشاهده شده در محل ایستگاه های آب سنجی را نشان می دهد. همان گونه که در این شکل دیده می شود، در ایستگاه های مناطق مرتفع (ایستگاه های خرو، اریه، عیش آباد و زرنده) در ماه های پر بارش (از نوامبر تا آوریل) مقداری اختلاف بین جریان شبیه سازی شده و جریان مشاهده شده دیده می شود. این اختلاف را می توان به دو بخش تقسیم کرد: در ماه های سرد سال (نوامبر تا فوریه) بارش در دامنه های مرتفع بینالود عمدتاً به شکل برف بوده و در نتیجه در واقعیت رواناب زیادی تولید نمی شود، ولی مدل این بارش های مشاهده شده را به صورت رواناب نشان می دهد و همان طور که در نمودارها مشاهده می شود در این ماه ها جریان بیش برآورد شده است. در ماه های بعد که دمای هوا رو

به افزایش می‌گذارد (مارس تا می)، آب شدن برف روی قله‌ها و همچنین افزایش جریان چشمه‌ها باعث افزایش جریان مشاهده‌ای می‌گردد، در نتیجه جریان شبیه‌سازی شده کمتر از مقدار واقعی برآورد می‌شود.

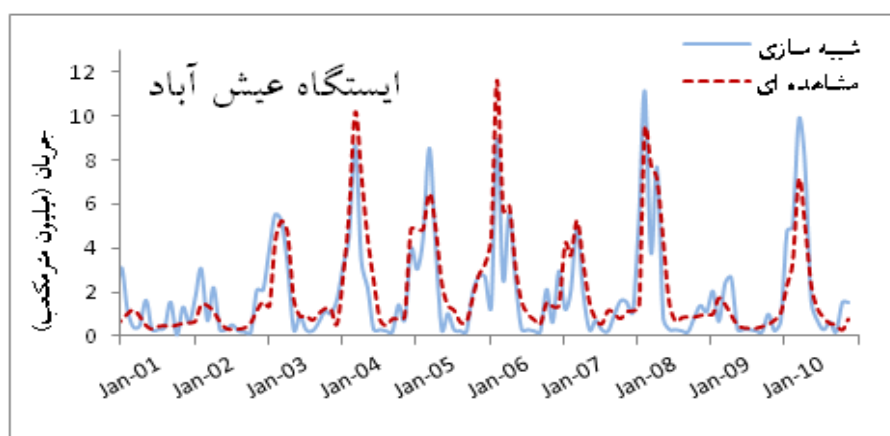


شکل ۴-۱. مقایسه حجم جریان ماهانه شبیه‌سازی شده و مشاهده‌ای ایستگاه‌های مختلف برای سال‌های واسنجی

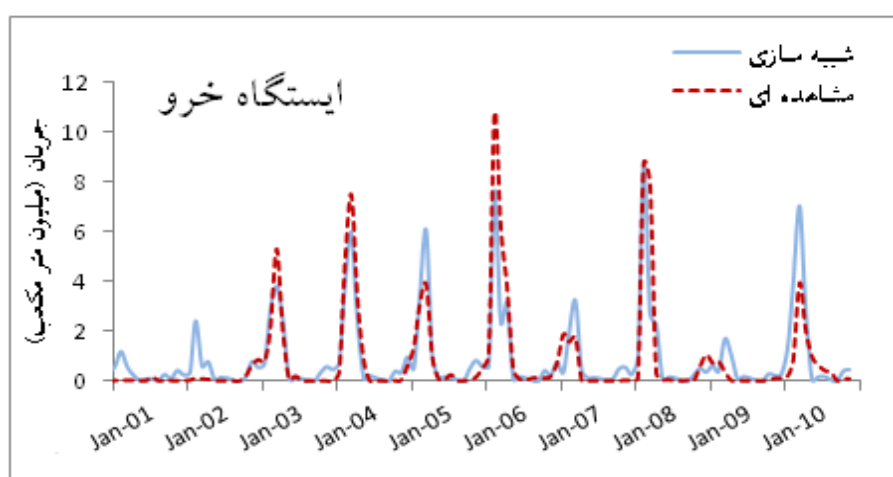
در شکل‌های (۴-۲) تا (۴-۶) نتایج مقایسه جریان‌های شبیه‌سازی شده و مشاهده شده در محل ایستگاه‌های آب‌سنجی طی سال‌های واسنجی و اعتبارسنجی مشاهده می‌شود. چنان که در این نمودارها مشخص است، رفتار حوضه‌ها در واقعیت با ملایمت بیشتری همراه است، یعنی هر جا بارندگی رخ داده است مدل پس از کسر مقدار مربوط به تبخیر 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.



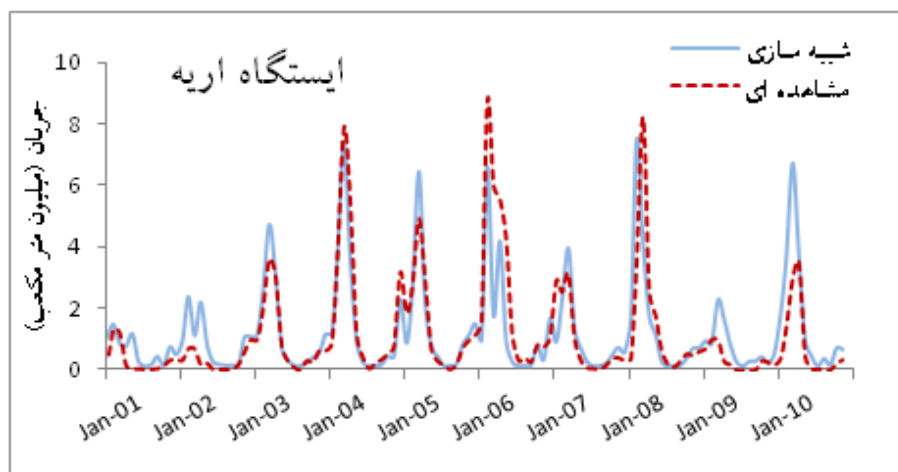
شکل ۴-۲. مقایسه جریان شبیه‌سازی شده و مشاهده شده در ایستگاه هیدرومتری زرنده



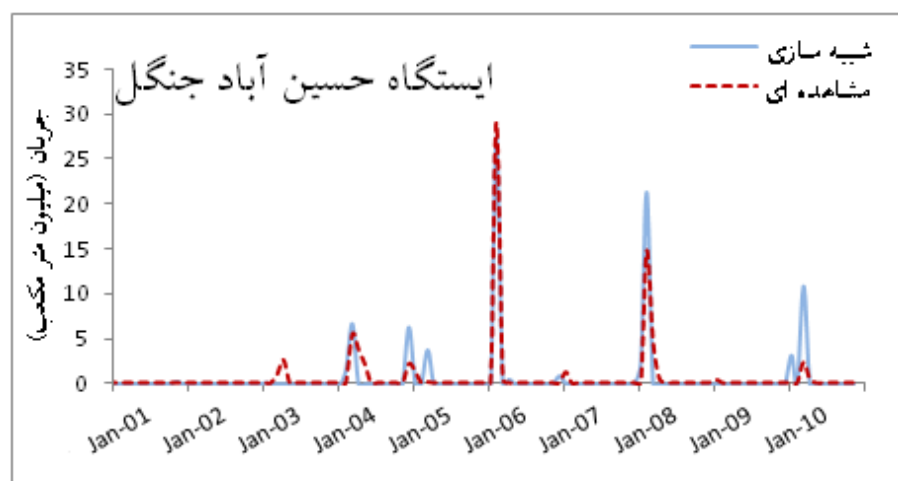
شکل ۴-۳. مقایسه جریان شبیه‌سازی شده و مشاهده شده در ایستگاه هیدرومتری عیش آباد



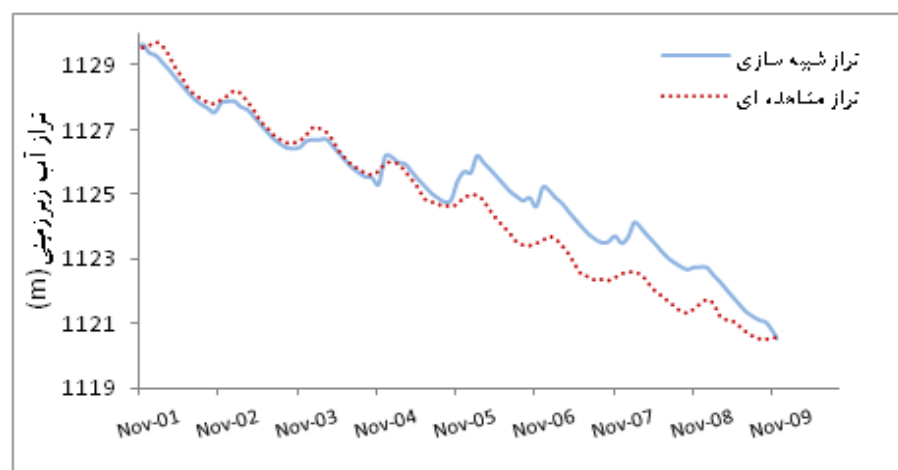
شکل ۴-۴. مقایسه جریان شبیه‌سازی شده و مشاهده شده در ایستگاه هیدرومتری خرو



شکل ۴-۵. مقایسه جریان شبیه‌سازی شده و مشاهده شده در ایستگاه هیدرومتری اریه



شکل ۴-۶. مقایسه جریان شبیه‌سازی شده و مشاهده شده در ایستگاه هیدرومتری حسین آباد جنگل



شکل ۴-۷. مقایسه تراز شبیه‌سازی شده و مشاهده‌ای آبخوان دشت نیشابور

مطابق شکل (۴-۶)، الگوی رواناب در ایستگاه حسین آباد جنگل، که در نقطه خروجی حوضه قرار گرفته است، متفاوت از ایستگاه‌های دیگر می‌باشد؛ 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 عمقی، عملاً روانابی به این نقطه نمی‌رسد.

نمودار شکل (۴-۷) مقایسه تراز شبیه‌سازی شده و مشاهده شده سطح آب زیرزمینی دشت نیشابور را نشان می‌دهد. چنان که در این شکل دیده می‌شود، تراز شبیه‌سازی شده آبخوان در سال‌های ۲۰۰۱ 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 شده و برداشت زیاد از آبخوان تراز آن را به شدت کاهش می‌دهد.

نتایج حاصل از ارزیابی کمی مدل در فرآیندهای واسنجی و اعتبارسنجی در جدول (۴-۱) ارائه شده است. در این جدول دیده می‌شود که خطاهایی در شبیه‌سازی مدل وجود دارد که می‌تواند به دلیل وجود عدم قطعیت در داده‌های اقلیمی و هیدرولوژیکی حوضه به وجود آمده باشد و با صرف وقت و دقت بیشتر در مرحله واسنجی و انتخاب صحیح پارامترهای مورد واسنجی می‌توان این خطاها را به حداقل رساند. اما به طور کلی با توجه به ارقام مربوط به نمایه‌های ضریب راندمان نش- ساتکلیف (E_f)، ضریب تعیین (R^2)، و جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) در این جدول می‌توان گفت انطباق بین مقادیر محاسبه شده و مشاهداتی، به خصوص در مورد ایستگاه‌های حسین آباد جنگل و زرنده در حد مطلوبی می‌باشد و استفاده از این مدل جهت شبیه‌سازی و ارزیابی سناریوهای مختلف بلا مانع است.

جدول ۴-۱. مقادیر نمایه‌های ارزیابی نتایج مدل برای ایستگاه‌های آب‌سنجی مختلف

اعتبارسنجی			واسنجی			نام ایستگاه آب-سنجی
RMSE ¹	R2	Ef	RMSE ¹	R2	Ef	
۱/۱۵	۰/۵۹	۰/۵۶	۰/۸۲	۰/۸۱	۰/۸۲	خرو
۱/۴۷	۰/۶۴	۰/۵۴	۱/۲۳	۰/۷۲	۰/۷۲	عیش آباد
۱/۱۸	۰/۵۱	۰/۳۵	۰/۹۱	۰/۷۵	۰/۷۶	اریه
۱/۳۳	۰/۶۷	۰/۲۲	۰/۴۸	۰/۹۲	۰/۹۳	زرنده
۱/۷۹	۰/۷۶	۰/۳۴	۰/۹۶	۰/۹۰	۰/۹۲	حسین آباد جنگل
۰/۴۵	۰/۸۹	۰/۷۸	۰/۲	۰/۹۱	۰/۹۳	آب زیر زمینی

^۱ مقادیر RMSE بر حسب میلیون متر مکعب می‌باشند.

۴-۲- نتایج مدل برای سناریوهای مختلف

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

۴-۲-۱- کشاورزی حفاظتی

در این سناریو که بر پایه حفاظت از خاک و املاح آن بنا شده است و روش اجرای آن در بخش (۳-۱۱-۲-۱) توضیح داده شد، نتایج مربوط به تقاضا و ذخیره منابع آبی گویای این امر است که اگرچه میزان تقاضای آبی افزایش داشته است اما تامین این تقاضا نیز با افزایش همراه بوده است (جدول ۴-۲). دلیل این امر را هم میتوان اینگونه بیان کرد که با تغییر در نوع کشاورزی و بهره‌گیری از روش‌های نوین کشاورزی، میزان بارش موثر برای محصولات تغییر خواهد کرد. همچنین از نتایج دیگر این سناریو میتوان به ذخیره منابع آبی اشاره کرد. در این نوع از کشاورزی علاوه بر اینکه نیاز بیشتری از نیاز آبی منطقه تامین میشود ذخیره‌ی آب زیرزمینی نیز با افزایش همراه می‌باشد

جدول ۴-۲. نتایج مربوط به تقاضاها و حجم آبخوان سناریوی S21 (ارقام حجمی بر حسب میلیون متر مکعب می‌باشند)

سناریوها	S1	S21
متوسط تقاضای سالانه آبی	۲۴۰۶	۲۴۹۵
تقاضای تأمین نشده آبی	۱۳۵۱	۱۳۷۱
درصد نیاز تأمین شده آبی	۴۴	۴۶
ذخیره مخزن در انتهای سال ۲۰۲۰	۲۱۳۰۶	۲۱۳۵۶

۴-۲-۲- سناریوی افزایش راندمان آبیاری با فرض ثبات سطح زیر کشت

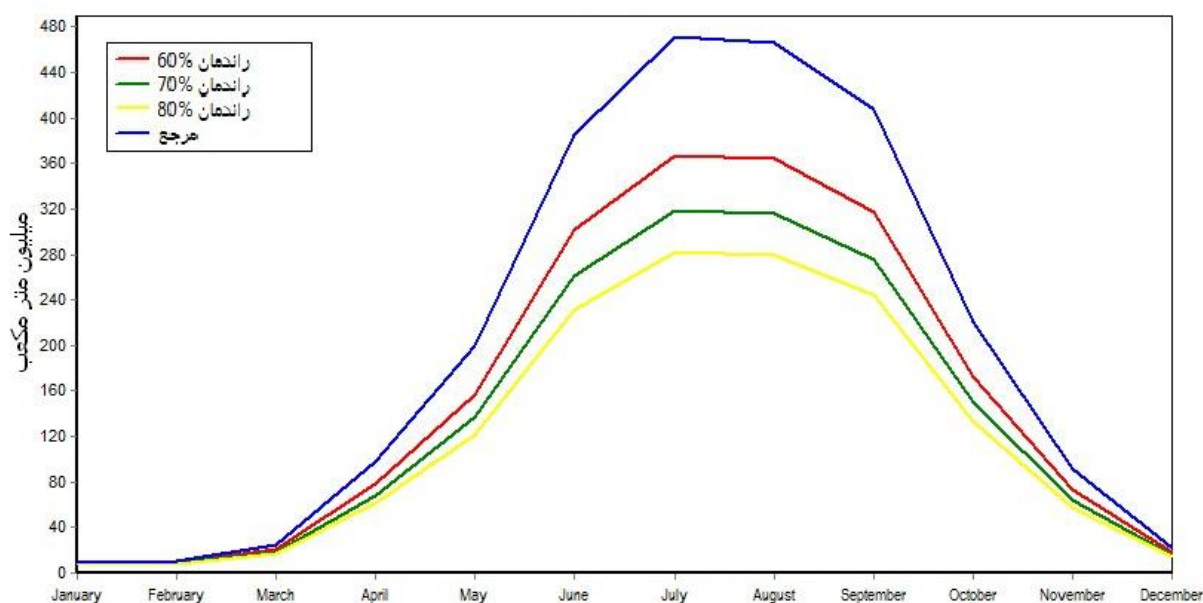
در این بخش با توجه به محاسباتی که در جدول (۳-۶) ارائه شد، نتایج سه سطح مختلف راندمان آبیاری (۶۰، ۷۰ و ۸۰ درصد) با راندمان سناریوی مرجع (۴۶ درصد) مقایسه شدند. نتایج مربوط به تقاضای آبیاری برای این سطوح به شرح جدول (۴-۳) می‌باشد. مطابق این جدول میانگین سالانه نیاز آبیاری با افزایش راندمان آبیاری کاهش خواهد یافت، به طوری که به ازای راندمان‌های ۶۰، ۷۰ و ۸۰ درصد تقاضای کشاورزی به ترتیب به میزان ۲۳، ۳۳ و ۴۱ درصد کمتر می‌شود (شکل (۴-۸)). در شکل (۴-۹) نمودار مقادیر نیاز تأمین نشده آبیاری به ازای راندمان‌های مختلف نشان داده شده است. همان طور که دیده می‌شود افزایش راندمان با کاهش تقاضای تأمین نشده همراه خواهد بود. این نتایج در توافق با نتایج سانچز و اسکودا (۲۰۱۱)، آکیواگا موگاتسیا (۲۰۱۰)، موتیگا و همکاران (۲۰۱۰)، هولرمن و همکاران (۲۰۱۰) و پورکی و همکاران (۲۰۰۸) می‌باشد.

مقادیر نیاز تأمین نشده کشاورزی نشان از این دارد که مقدار زیادی از آبی که برای بخش کشاورزی تأمین می‌شود به دلیل پایین بودن راندمان آبیاری به هدر می‌رود و باقی‌مانده آن نیز نمی‌تواند همه احتیاجات آبی گیاه را برآورده کند و در واقع در منطقه کم آبیاری رخ می‌دهد. بنابراین می‌توان انتظار داشت که افزایش راندمان آبیاری علاوه بر برداشت کمتر از منابع آبی منطقه، افزایش عملکرد محصول را نیز در پی داشته باشد.

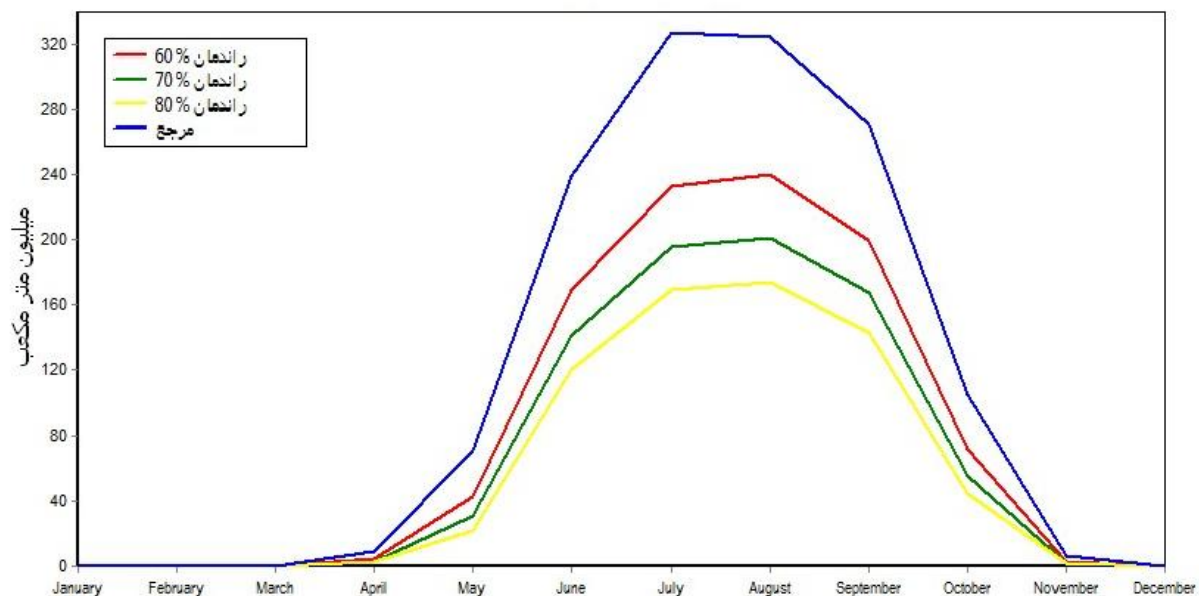
جدول ۴-۳. مقایسه نتایج مدل به ازای سطوح مختلف راندمان آبیاری (ارقام حجمی بر حسب میلیون متر مکعب می‌اشند)

S21(80%)	S21(70%)	S21(60%)	S1 (46%)	سطوح مختلف راندمان آبیاری
۱۴۶۰	۱۶۴۳	۱۸۸۷	۲۴۰۶	متوسط تقاضای سالانه آبی
۶۷۷	۷۹۶	۹۶۱	۱۳۵۱	تقاضای تأمین نشده آبی
۵۴	۵۲	۴۹	۴۴	درصد نیاز تأمین شده آبی
۲۱۴۸۴	۲۱۴۱۹	۲۱۳۰۲	۲۱۳۰۶	ذخیره مخزن در انتهای سال ۲۰۲۰

همانطور که در جدول (۳-۴) مشاهده میشود، میزان ذخیره مخزن با افزایش راندمان تا ۶۰ درصد با کاهش روبه روست و با افزایش راندمان از ۷۰ درصد به بالا، ذخیره مخزن نیز افزایش میابد. دلیل این موضوع را اینگونه میتوان بیان کرد که بیشترین میزان مصرف آب کشاورزی در فصل گرم سال است که میزان جریان-های سطحی بسیار محدود می‌باشند و بالطبع غالب نیاز کشاورزی از آب زیرزمینی تأمین می‌شود. از آب بازگشتی کشاورزی نیز درصدی به آبخوان برگشته و درصدی نیز به رودخانه می‌پیوندد. حال اگر راندمان آبیاری پایین باشد علاوه بر این که میزان برداشت از آب زیرزمینی بیشتر است، مقدار آب بازگشتی به رودخانه نیز بیشتر خواهد بود، یعنی حجم بیشتری آب از آبخوان خارج شده و دیگر به آن برنمی‌گردد، ولی با افزایش راندمان آبیاری برداشت کمتر از آبخوان باعث بیشتر شدن حجم ذخیره نسبت به حالت قبل خواهد شد. در این اینجا افزایش راندمان تا ۶۰ درصد اگرچه باعث کاهش تقاضا می شود اما ذخیره مخزن را کاهش میدهد؛ در نتیجه باید راندمان را به میزانی افزایش دهیم تا مقدار برداشت از آب زیرزمینی آنقدر کم شود که به افزایش ذخیره مخزن کمک کند. در این مطالعه با افزایش راندمان به ۷۰ درصد به چنین نتیجه ای خواهیم رسید.



شکل ۴-۸. مقایسه حجم شبیه‌سازی شده متوسط تقاضای ماهانه آبیاری به ازای راندمان‌های مختلف آبیاری



شکل ۴-۹. میانگین ماهانه تقاضای تأمین نشده کشاورزی به ازای سطوح مختلف راندمان آبیاری

نکته قابل تأمل در این سناریو این است که در حال حاضر در واقعیت، افزایش راندمان آبیاری با افزایش سطح زیر کشت همراه است؛ یعنی به دلیل این که کشاورز می‌خواهد از همه آبی که در اختیار دارد استفاده کند، هم‌زمان با توسعه روش‌های نوین آبیاری، همان میزان آبی که باید صرفه‌جویی شود را صرف آبیاری سطح بیشتری از مزارع می‌کند. در این حالت برداشت آب ثابت می‌ماند، ولی با افزایش راندمان آبیاری برگشت آب به منابع کمتر خواهد شد که باعث بدتر شدن وضعیت منابع آب می‌گردد. بنابراین می‌توان گفت که تحت مدیریت غیر یکپارچه و غیر مشارکتی آب (وضع کنونی)، افزایش راندمان آبیاری نه تنها به نفع منابع آب نیست بلکه زیان بخش نیز می‌باشد. در این تحقیق فرض بر این گرفته شده که افزایش راندمان آبیاری با افزایش سطح زیر کشت همراه نیست و مازاد آب از کشاورزان خریداری می‌شود.

۴-۲-۳- سناریوی کاهش سطح زیر کشت

نتایج نیاز ماهانه آبیاری برای سناریوی کاهش سطح اراضی (نمودار شکل (۴-۱۰)) بیانگر این مطلب است که با کاهش پنج درصدی سطح زیر کشت (از سال ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۰)، تقاضای آبیاری برای همه ماه‌های سال، تقریباً به یک نسبت کاهش می‌یابد. میانگین تقاضای سالانه آبیاری در این سناریو نسبت به سناریوی مرجع ۴/۶۷ درصد کمتر شده و این در حالی است که اگر این سناریو از سال ۲۰۰۵ به اجرا گذاشته می‌شد

کاهش تقاضای آبیاری به ۱۵ درصد میرسید. همچنین میزان تقاضای تامین نشده سالانه مربوط به نیاز صنعت نسبت به سناریوی مرجع ۶/۵ درصد کاهش یافته است (جدول (۴-۴)). از این ارقام چنین برمی آید که کاهش تقاضای آبیاری در بخش کشاورزی تا حد زیادی توانسته افزایش نیاز بخش صنعت را جبران کند، علاوه بر این همان گونه که در جدول (۴-۴) دیده می شود، نیاز تأمین نشده کشاورزی در این سناریو نسبت به سناریوی مرجع نیز در حدود ۲۲ درصد کمتر شده است که مؤید نتایج تحقیق سانچز و اسکودا (۲۰۱۱) برای ناحیه آبیاری زیکوتنکاتل مکزیک می باشد. بنابراین میزان کل آب مصرف شده در این سناریو نسبت به سناریوی مرجع کاهش خواهد یافت.

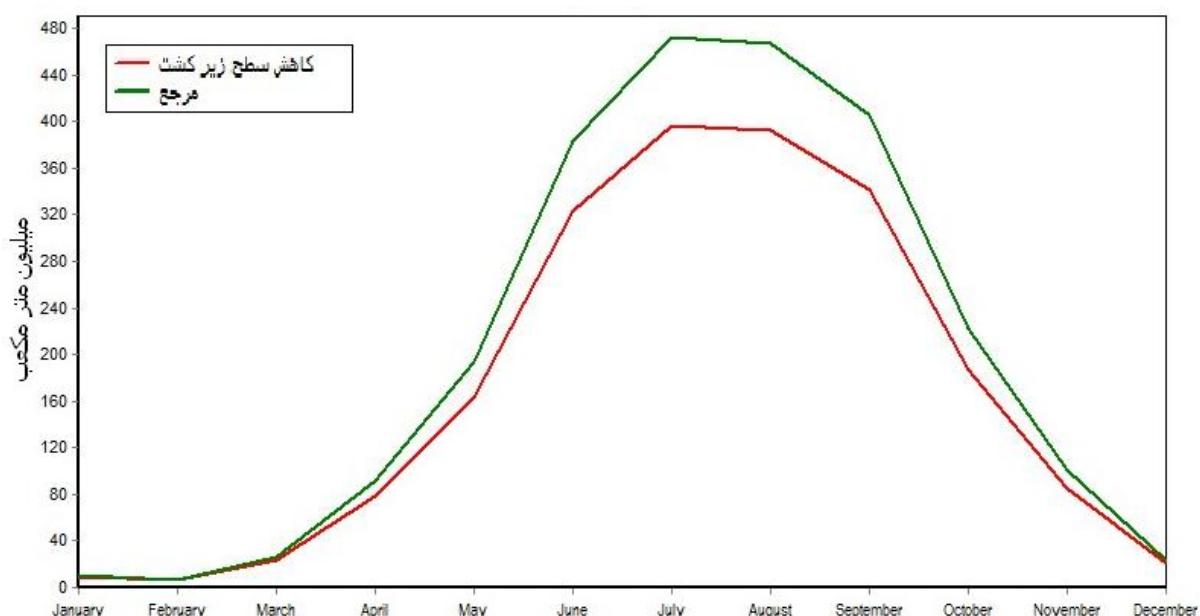
مقایسه حجم ذخیره آب زیرزمینی دشت نیشابور برای دو سناریوی S1 و S23 بیانگر این نتیجه است که کاهش سطح اراضی کشاورزی و در عوض افزایش تقاضای بخش صنعت تا حد زیادی می تواند باعث کاهش مصرف آب، و در نتیجه افزایش حجم ذخیره آبخوان شود، که همسو با نتایج والرا-اورتگا و همکاران (۲۰۱۱) است که طی تحقیقی در بالادست حوضه رودخانه گوادیانای اسپانیا به این نتیجه رسیدند که با خرید حقبه کشاورزان و تبدیل مزارع آبی به دیم، کاهش حجم مخزن تا سال هدف از ۵ میلیارد متر مکعب در سناریوی مرجع تبدیل به افزایش حجم به بیش از ۳ میلیارد متر مکعب خواهد شد. مطابق جدول (۴-۴)، در این سناریو ذخیره آبخوان حدود ۱۱۵ میلیون متر مکعب افزایش خواهد یافت. و اگر این سناریو از سال ۲۰۰۲ اجرا میشد این افزایش ذخیره به ۱ میلیارد متر مکعب می رسید.

برای افزایش تخصیص آب به بخش صنایع و خدمات باید این نکته مد نظر قرار داده شود که آب مورد نیاز به وسیله صدور پروانه بهره برداری جدید تأمین نگردد. می توان این مقدار آب را از کشاورزان خریداری کرد که به دلیل کاهش سطح زیر کشت نیاز آبی مزارع آن ها کاهش یافته است.

جدول ۴-۴. نتایج مربوط به تقاضاها و حجم آبخوان سناریوی S23 (ارقام حجمی بر حسب میلیون متر مکعب می‌باشند)

سناریوها	S1	S23
متوسط تقاضای سالانه آبیاری	۲۴۰۳	۲۰۲۸
تقاضای تأمین نشده آبی	۱۳۵۴	۱۰۴۸
درصد نیاز تأمین شده آبی	۴۴	۴۹
تقاضای تأمین نشده بخش صنعت	۶	۵/۶۱
ذخیره مخزن	۲۱۳۰۶	۲۱۴۲۱

* مقادیر از سال ۲۰۱۵ تا انتهای سال ۲۰۲۰ در نظر گرفته شده‌اند.



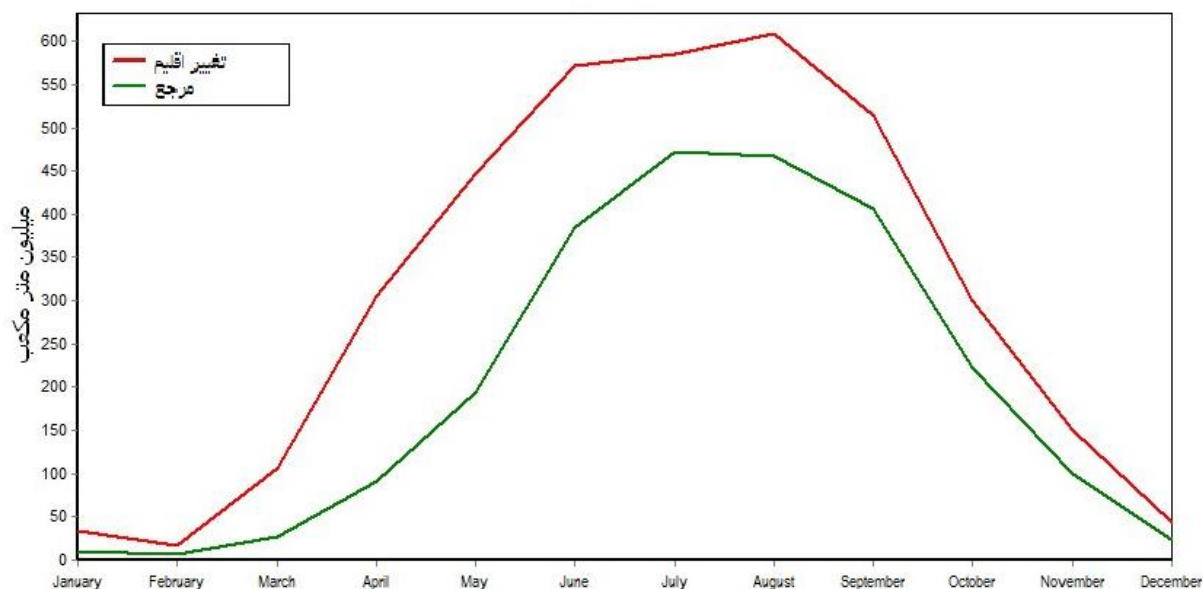
شکل ۴-۱۰. مقایسه نتایج مربوط به حجم تقاضای ماهانه آبیاری تحت سناریو مرجع با سناریو کاهش سطح زیر کشت

۴-۲-۴ - سناریوی تغییر اقلیم A2

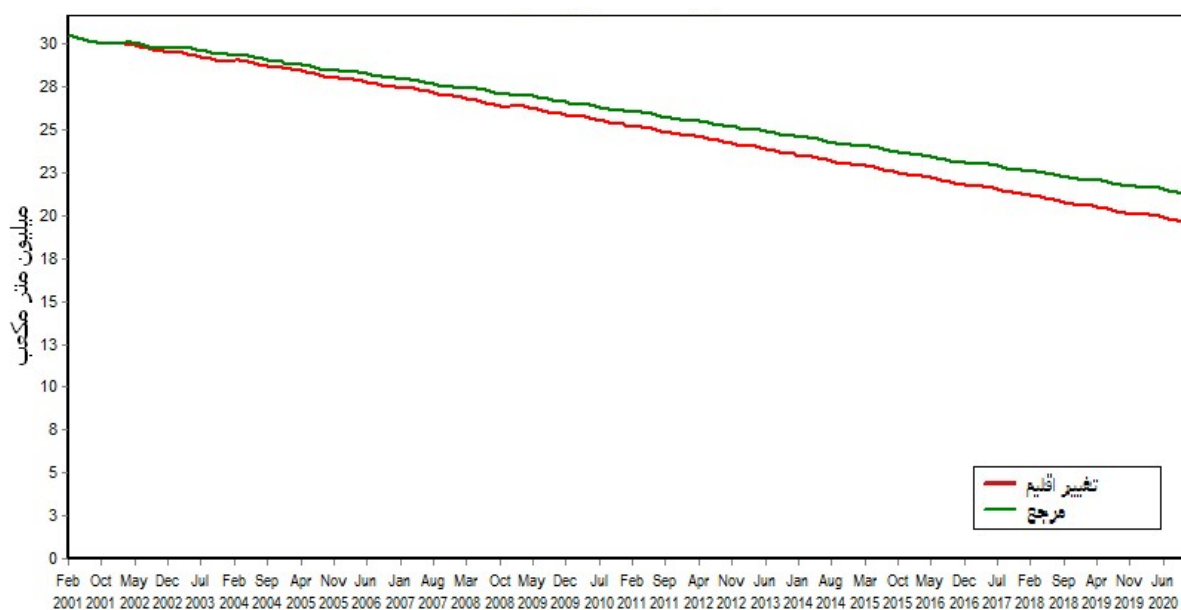
مقایسه نتایج شبیه‌سازی حجم تقاضای ماهانه آبی برای سناریوی تغییر اقلیم A2 با سناریوی مرجع در نمودار شکل (۴-۱۱) نشان داده شده است. در این سناریو در همه ماه‌های سال نیاز آبی کشاورزی افزایش یافته است و این به دلیل افزایش دمای حداکثر، متوسط و متاثر از آن افزایش تبخیر و تعرق در تمام ماه‌ها می‌باشد. با توجه به جدول (۴-۵) در این سناریو تقاضای سالانه آبیاری حدود ۴۸ درصد و نیاز تأمین نشده حدود ۶۶ درصد بیشتر شده است. همانطور که در جدول (۴-۵) مشاهده می‌شود در این سناریو حجم ذخیره آبخوان نسبت به سناریو مرجع به میزان ۸/۱۷ درصد کاهش یافته است (شکل (۴-۱۲)).

جدول ۴-۵. مقایسه نتایج مدل به ازای سناریوی تغییر اقلیم (مقادیر حجمی بر حسب میلیون متر مکعب می‌باشند)

S31	S1	سناریوها
۳۵۷۵	۲۴۰۶	متوسط تقاضای سالانه آبیاری
۲۲۵۶	۱۳۵۱	تقاضای تأمین نشده آبی
۳۷	۴۴	درصد نیاز تأمین شده آبی
۱۹۵۶۵/۰۵	۲۱۳۰۶/۲۹	ذخیره مخزن در انتهای سال ۲۰۲۰



شکل ۴-۱۱. مقایسه حجم تقاضای ماهانه آبیاری تحت سناریوی مرجع (S1) با سناریوی تغییر اقلیم A2 (S31)



شکل ۴-۱۲. افت ذخیره آب زیرزمینی در سناریو تغییر اقلیم A2 نسبت به سناریو مرجع

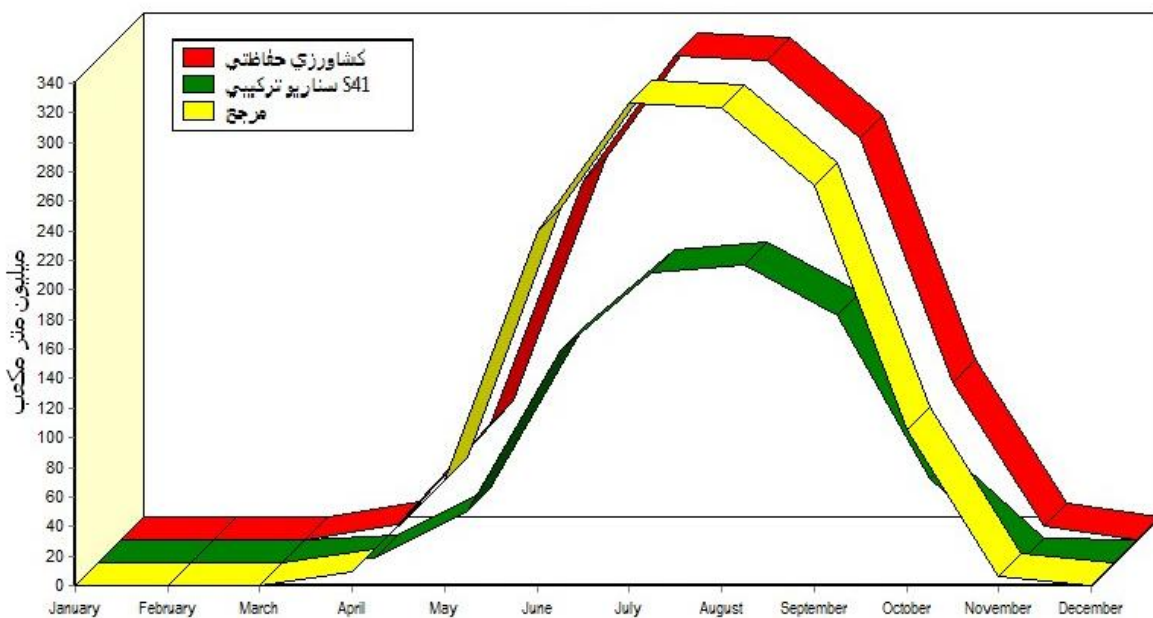
۴-۲-۵- سناریوی S41: ترکیب سناریوهای S21 و S22

با ایجاد این سناریو که از ترکیب سناریو های کشاورزی حفاظتی و افزایش راندمان کشاورزی از ۴۶ به ۷۰ درصد شکل گرفته است؛ علاوه بر کاهش تقاضای آبی نسبت به سناریو مرجع، این کاهش تقاضا نسبت به سناریو کشاورزی حفاظتی نیز روی داده است. یعنی با ترکیب این دو سناریو، افزایش تقاضا در سناریو کشاورزی حفاظتی مهار شده و ذخیره آب زیرزمینی به مقدار بیشتری افزایش پیدا کرده است. همانطور که در جدول (۴-۶) مشاهده میشود در سناریو مرجع میزان نیاز سالانه ۲۴۰۶ میلیون متر مکعب، برای سناریو کشاورزی حفاظتی با کمی افزایش برابر ۲۴۹۵ میلیون متر مکعب و برای سناریو جدید (S41) برابر ۱۷۰۱ میلیون متر مکعب می باشد.

جدول ۴-۶. مقایسه نتایج مدل به ازای سناریوهای مرجع، کشاورزی حفاظتی و ترکیبی S41 (ارقام حجمی بر حسب میلیون متر مکعب می باشند)

S41	S21	S1	سطوح مختلف راندمان آبیاری
۱۷۰۱	۲۴۹۵	۲۴۰۶	تقاضای سالانه آبیاری
۸۰۴	۱۳۷۰	۱۳۵۱	تقاضای تأمین نشده آبی
۵۳	۴۶	۴۴	درصد نیاز تأمین شده آبی
۲۱۴۷۶	۲۱۳۵۶	۲۱۳۰۶	ذخیره مخزن در انتهای سال ۲۰۲۰

نمودار شکل (۴-۱۳) تقاضای تأمین نشده در سه سناریو مذکور را نشان میدهد که مطابق نتایج بالا در سناریوی ترکیبی (S41) این مقدار کاهش قابل توجهی دارد.



شکل ۴-۱۳. مقایسه حجم تقاضای تامین نشده آبی تحت سناریوی مرجع (S1) با سناریوی ترکیبی (S41)

۴-۲-۶- سناریوی S42: ترکیب سناریوهای S22 و S23

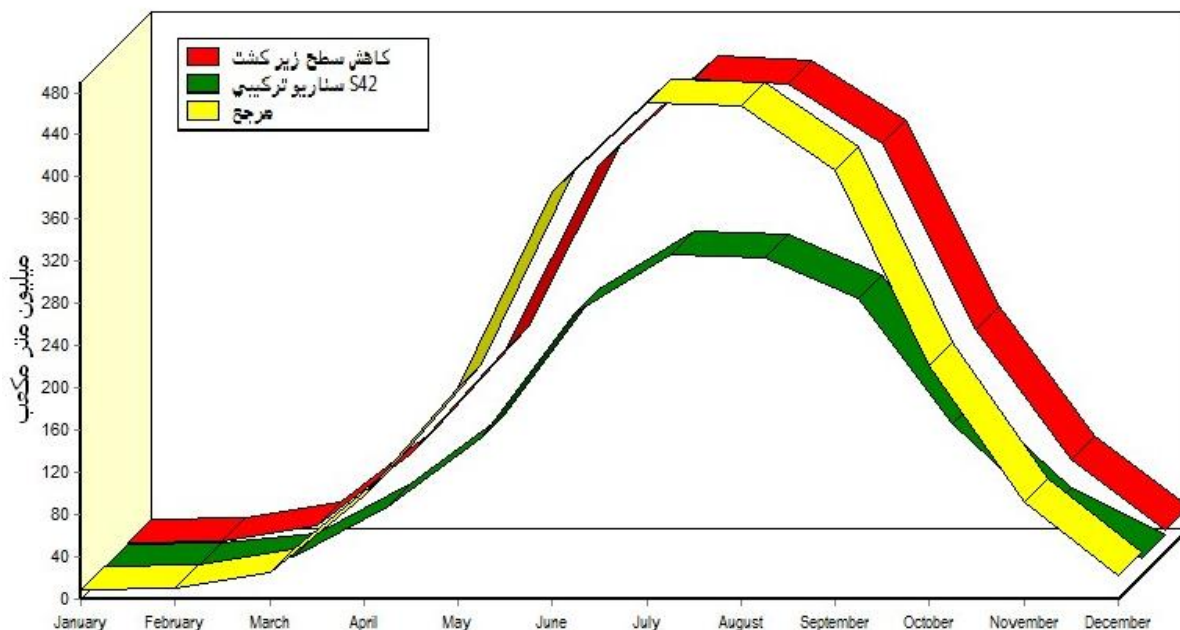
این سناریو به منظور بررسی تأثیر همزمان دو سناریوی افزایش راندمان آبیاری به ۷۰٪ (S22) و کاهش سطح زیر کشت (S23)، تدوین شده و مدل بر اساس آن اجرا گردید. بر اساس نتایج این سناریو در جدول (۴-۶) حجم تقاضای آبیاری نسبت به سناریوهای والدش کمتر شده است. این نتیجه با توجه به نمودار شکل (۴-۱۴) نیز تأیید می‌شود. با کاهش نیاز آبیاری، مجموع نیاز آبی نیز در حدود ۳۵ درصد کمتر خواهد شد. این نتایج در مورد ذخیره آب زیرزمینی هم صدق می‌کند، به طوری که ذخیره مخزن در این سناریو نسبت به سناریوهای مولدش به میزان ۲۸۵ میلیون مترمکعب افزایش یافته است. همچنین نیاز تامین نشده آبی نیز به میزان ۴۵ درصد در این سناریو کاهش یافته است (جدول ۴-۷).

سانچز و اسکودا (۲۰۱۱) با ایجاد سناریوی مشابهی برای ناحیه زیکوتنکاتل مکزیک نتیجه گرفتند که با به کارگیری همزمان اقدامات افزایش راندمان آبیاری و کاهش سطح زیر کشت آبی می‌توان درصد تأمین تقاضای کشاورزی این ناحیه را از ۵/۱ به ۳۶/۳ درصد ارتقاء داد.

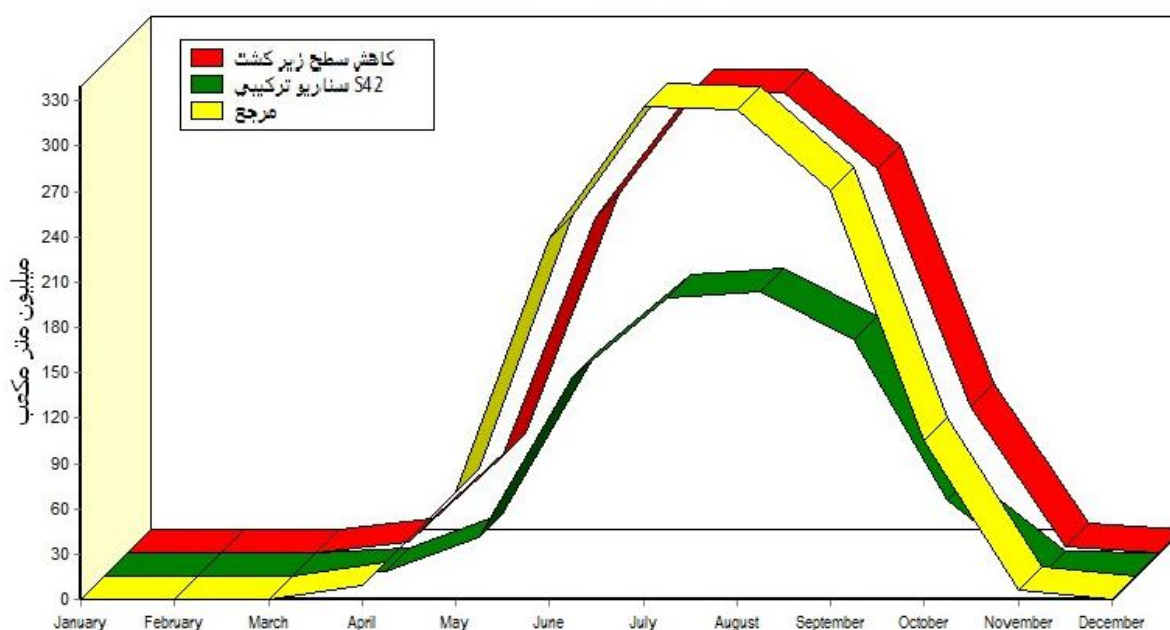
نتایج این سناریو نشان دهنده این موضوع هستند که به کارگیری همزمان راهبردهای مختلف مدیریت مصرف آب، بهتر از حالت استفاده منفرد از هر کدام از آنها می تواند برداشت آب از منابع مختلف را کاهش دهد، و برای داشتن منابع آب پایدار لازم است تلفیقی از اقدامات مدیریتی مختلف به کار گرفته شود.

جدول ۴-۷. مقایسه نتایج مدل به ازای سناریوی ترکیبی S42 (مقادیر حجمی بر حسب میلیون متر مکعب می باشد)

S42	S1	سناریوها
۱۵۶۸	۲۴۰۶	متوسط تقاضای سالانه آبیاری
۷۴۳	۱۳۵۱	تقاضای تأمین نشده آبی
۵۳	۴۴	درصد نیاز تأمین شده آبی
۲۱۵۹۱	۲۱۳۰۶	ذخیره مخزن تا انتهای سال ۲۰۲۰



شکل ۴-۱۴. مقایسه حجم تقاضای ماهانه آبی شبیه سازی شده تحت سناریوی مرجع (S1) با سناریوی ترکیبی (S42)



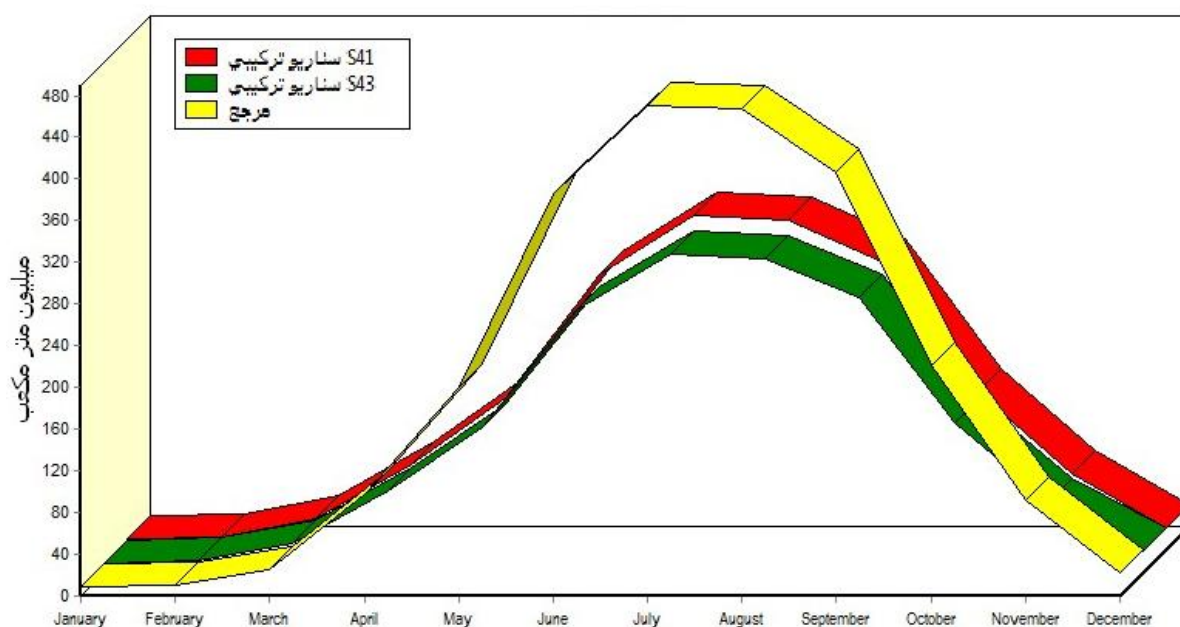
شکل ۴-۱۵. مقایسه حجم تقاضای تامین نشده آبی تحت سناریوی مرجع و کاهش سطح زیر کشت با سناریوی ترکیبی (S42)

۴-۲-۷- سناریوی S43: ترکیب سناریوهای S21 و S22 و S23

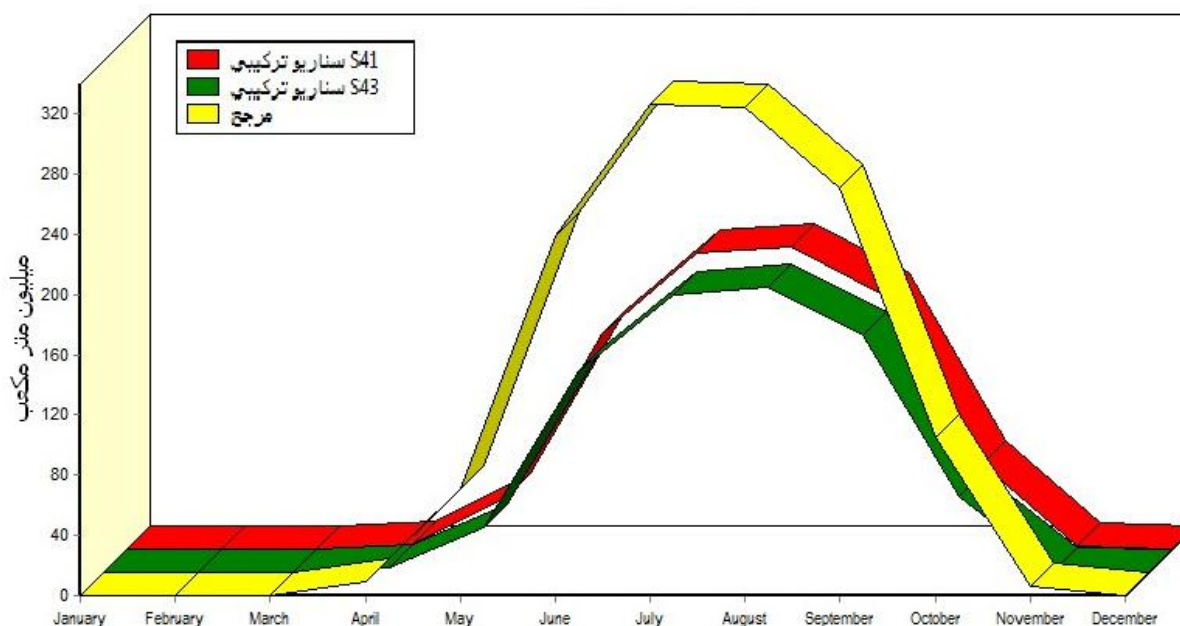
در این بخش برای ارزیابی نتایج به کارگیری تمامی راهبردهای مدیریت تقاضای آب کشاورزی، همه آن‌ها در قالب یک سناریوی واحد گرد آورده شده‌اند. در نتایج این سناریو دیده می‌شود که حجم تقاضای آبیاری شبیه‌سازی شده کمتر از سناریوهای سازنده آن است و تأثیر مثبت آن در حجم ذخیره آب زیرزمینی در جدول (۴-۸) و شکل (۴-۱۶) و (۴-۱۷) کاملاً مشخص است. با مقایسه نتایج مربوط به حجم ذخیره آب زیرزمینی سه سناریوی S41، S42 و S43 این نتیجه حاصل می‌گردد که از بین این سه سناریو، سناریوی ترکیبی (S43) بهتر از بقیه توانسته در بهبود وضعیت منابع آب زیرزمینی و تامین نیاز آبی منطقه مؤثر واقع شود. اما نکته‌ای که در اینجا به چشم می‌خورد این است که با وجود کاربرد همه روش‌های مدیریت تقاضای آب باز هم بین برداشت و تغذیه آب زیرزمینی تعادل برقرار نشده و کسری مخزن به صفر نرسیده است و این بدین معنی است که برای داشتن منابع آب پایدار تلاش در این حد کافی نبوده و لازم است در این راستا اقدامات منسجم و همه جانبه‌ای، هم از نظر مدیریت برداشت آب و هم به لحاظ تغذیه آبخوان (از طریق توسعه طرح‌های آبخوان‌داری) صورت بگیرد.

جدول ۴-۸. نتایج مربوط به تقاضا و حجم آبخوان سناریوی S43 و سناریوهای مولد آن (ارقام حجمی بر حسب میلیون متر مکعب می‌باشند)

سناریوها	S1	S41	S42	S43
متوسط تقاضای سالانه آبی	۲۴۰۶	۱۷۰۱	۱۵۶۸	۱۶۲۳
تقاضای تأمین نشده آبی	۱۳۵۱	۸۰۴	۷۴۳	۷۴۸
درصد نیاز تأمین شده آبی	۴۴	۵۳	۵۳	۵۴
ذخیره مخزن در انتهای سال ۲۰۲۰	۲۱۳۰۶	۲۱۴۷۶	۲۱۵۹۱	۲۱۶۴۲



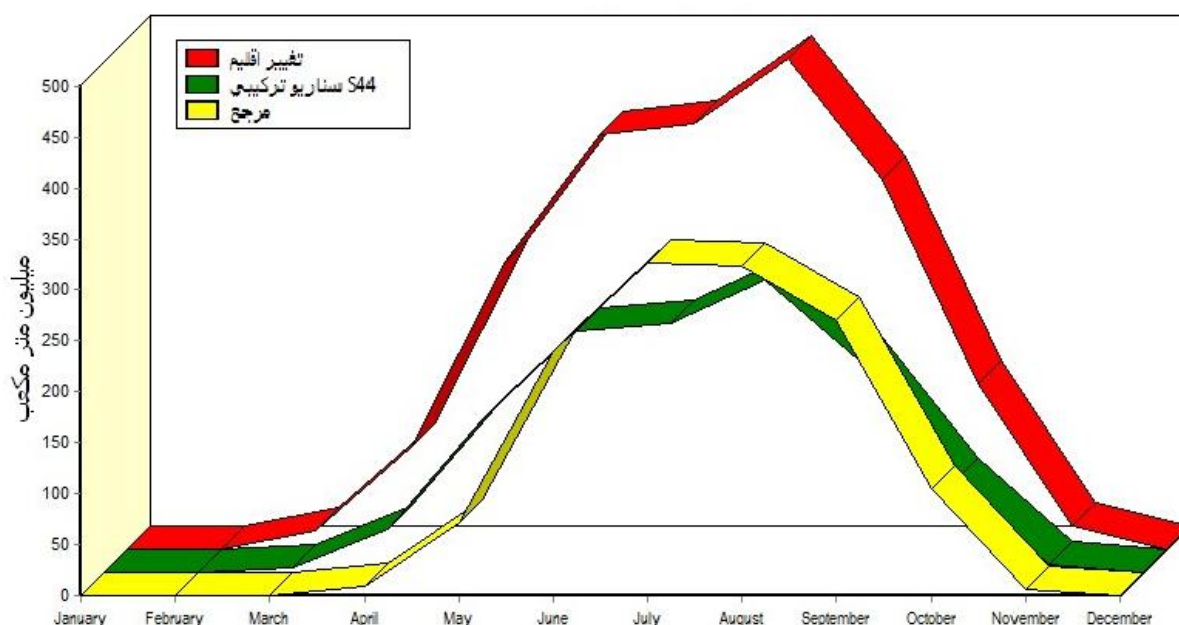
شکل ۴-۱۶. مقایسه حجم تقاضای ماهانه آبی شبیه‌سازی شده تحت سناریوی S1، S21، S22 و سناریوی ترکیبی (S43)



شکل ۴-۱۷. مقایسه حجم تقاضای تأمین نشده آبی تحت سناریوی S1، S41 و سناریوی ترکیبی (S43)

۴-۲-۸- سناریوی S44: ترکیب سناریوهای S22 و S31

مشخصات این سناریو برگرفته از ترکیب سناریوهای افزایش راندمان آبیاری به ۷۰ درصد و تغییر اقلیم تحت سناریو A2 می باشد. همانطور که در سناریو تغییر اقلیم A2 بیان شد تحت این سناریو تقاضای سالانه آبیاری و به تاثیر از آن نیاز تامین نشده ی آبی به شدت افزایش پیدا می کند. همچنین میزان ذخیره مخزن با کاهش شدیدی همراه بود. در سناریو S43 هدف بر این است که این افزایش تقاضا را مهار کرده و تامین نیاز آبی و همچنین میزان ذخیره مخزن را در سناریو تغییر اقلیم نیز افزایش دهیم. بر اساس نتایج این سناریو درجدول (۴-۹) مقادیر حجم تقاضای آبی نسبت به سناریو والدش کمتر شده است. این نتیجه با توجه به نمودار شکل (۴-۱۸) نیز تایید می شود.



شکل ۴-۱۸. مقایسه حجم تقاضای تامین نشده آبی تحت سناریوی مرجع و تغییر اقلیم (S31) با سناریوی ترکیبی (S44) همانطور که در نمودار شکل (۴-۱۸) ملاحظه می شود با رویکرد افزایش راندمان در سناریو تغییر اقلیم توانسته ایم میزان تقاضای تامین نشده را به شدت کاهش داده و به شرایط حاضر (سناریو مرجع) بسیار نزدیک کنیم. اما میزان ذخیره مخزن نه تنها افزایش پیدا نکرد بلکه باز هم کاهش پیدا کرد. همانطور که در بخش (۴-۳-۲) در سناریو افزایش راندمان گفته شد دلیل این موضوع به میزان آب برگشتی به رودخانه و مخزن مربوط است که در آن سناریو باید میزان راندمان را بیشتر از ۶۰ درصد افزایش میدادیم تا ذخیره

مخزن نیز افزایش پیدا کند. اما در سناریو حاضر (S44) به دلیل اینکه مقدار ذخیره ی مخزن در سناریو مولد (سناریو تغییر اقلیم) از سناریو مرجع کمتر و از طرف دیگر میزان تقاضا بسیار بیشتر از سناریو مرجع است، با افزایش راندمان ذخیره مخزن به طور خطی کاهش پیدا میکند.

جدول ۴-۹. نتایج مربوط به تقاضا و حجم آبخوان سناریوی S44 و سناریوهای مولد آن (ارقام حجمی بر حسب میلیون متر مکعب می باشند)

سناریوها	S1	S31	S44
متوسط تقاضای سالانه آبیاری	۲۴۰۶	۳۵۷۵	۲۴۱۰
تقاضای تأمین نشده آبی	۱۳۵۱	۲۲۵۶	۱۲۷۱
درصد نیاز تأمین شده آبی	۴۴	۳۷	۴۷
ذخیره مخزن تا انتهای سال ۲۰۲۰	۲۱۳۰۶	۱۹۵۶۵	۱۸۰۱۹

۴-۲-۹- سناریوی S45 : ترکیب سناریوهای S23 و S31

در این سناریو که از ترکیب دو سناریو کاهش سطح زیر کشت و تغییر اقلیم ایجاد شده است، هدف این است که علاوه بر کاهش تقاضا و نیاز تأمین نشده در سناریو تغییر اقلیم، حجم ذخیره مخزن را که در سناریو قبل با کاهش آن روبه رو بودیم، افزایش دهیم. با توجه به جدول (۴-۱۰) مشاهده می شود که بر حسب انتظار، به هدف ذکر شده دست یافتیم چرا که در این سناریو با ثابت ماندن راندمان و کاهش سطح زیر کشت، میزان برداشت از مخزن کاهش و در نتیجه حجم ذخیره مخزن نیز افزایش یافته است.

جدول ۴-۱۰. نتایج مربوط به تقاضا و حجم آبخوان سناریوی S45 و سناریوهای مولد آن (ارقام حجمی بر حسب میلیون متر مکعب می باشند)

سناریوها	S1	S31	S45
تقاضای سالانه آبیاری	۲۴۰۶	۳۵۷۵	۲۲۸۷
تقاضای تأمین نشده آبی	۱۳۵۱	۲۲۵۶	۱۱۲۲
درصد نیاز تأمین شده آبی	۴۴	۳۷	۵۱
ذخیره مخزن تا انتهای سال ۲۰۲۰	۲۱۳۰۶	۱۹۵۶۵	۲۰۴۲۵

۴-۲-۱۰-سناریوی S5: تعادل رسانی ذخیره آب مخزن

در بخش ۴-۳-۷ این نتیجه حاصل شد که با وجود اعمال تمامی روش‌های مدیریت تقاضای آب، باز هم ذخیره آب زیرزمینی در حال نقصان می‌باشد و کسری مخزن به صفر نمی‌رسد. در این بخش به روش سعی و خطا مبادرت به تدوین و ارزیابی سناریویی جهت تعادل رسانی ذخیره آب زیرزمینی شد. اما با توجه به تقاضای زیاد و مصرف بی رویه آب در بخش کشاورزی، اگرچه راندمان را تا ۹۰ درصد و کاهش سالانه سطح زیر کشت را تا ۲۰ درصد افزایش دادیم اما کسری مخزن به صفر نرسید و در بهترین حالت حجم ذخیره آب زیر زمینی به عدد ۲۳۶۱۲ میلیون متر مکعب افزایش پیدا کرد. که با توجه به حجم اولیه آب زیرزمینی (۳۰۴۴۸ میلیون متر مکعب)، میزان کسری مخزن به ۶۸۳۶ میلیون متر مکعب رسید. جدول (۴-۱۱) میزان تقاضای آبی، نیاز تامین نشده و حجم ذخیره مخزن در این سناریو را نشان می‌دهد.

جدول ۴-۱۱. نتایج مربوط به تقاضا و حجم آبخوان سناریوی S5 (ارقام حجمی بر حسب میلیون متر مکعب می‌باشند)

سناریوها	S1	S5
تقاضای سالانه آبی	۲۴۰۶	۴۱۳
تقاضای تأمین نشده آبی	۱۳۵۱	۱۱۳
ذخیره مخزن در انتهای سال ۲۰۲۰	۲۱۳۰۶	۲۳۶۱۲
کسری مخزن در انتهای سال ۲۰۲۰	۹۱۴۲	۶۸۳۶

فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهادات

۵- نتیجه‌گیری و پیشنهادات

در این تحقیق 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 و تغییرات آب و هوا مطرح و اثرات آن‌ها بر منابع آب این منطقه بررسی شد. در ادامه این فصل خلاصه نتایج به دست آمده از اجرای مدل ارائه شده و سپس پیشنهاداتی برای پژوهش‌های آتی و بهبود به کارگیری مدل مطرح شده است.

۵-۱- نتیجه‌گیری

در سناریو کشاورزی حفاظتی به این نتیجه رسیدیم که اگرچه به کارگیری این سناریو باعث افزایش کمی در تقاضا می‌شود اما درصد بیشتری از نیاز آبی را تامین کرده و باعث افزایش حجم ذخیره آب زیرزمینی می‌شود.

با اعمال سناریوی افزایش راندمان آبیاری این نتیجه حاصل شد که این راهبرد -البته به شرط عدم افزایش سطح زیر کشت- می‌تواند باعث کاهش تقاضای آب و در پی آن کاهش تقاضای تأمین نشده گردد. به عنوان مثال به ازای افزایش راندمان آبیاری از ۴۶ به ۷۰ درصد، تقاضای کشاورزی به میزان ۳۳ درصد کاهش می‌یابد و پی‌آمد آن برداشت کمتر از آبخوان و افزایش ۱۱۳ میلیون متر مکعبی ذخیره آب زیرزمینی خواهد بود. واضح است که این اقدام و راهبردهای مشابه زمانی که توأم با افزایش سطح زیر کشت باشند بر منابع آب تأثیر منفی خواهند داشت.

نتایجی که از اجرای سناریو کاهش سطح زیر کشت و افزایش تخصیص آب به صنعت این بود که کاهش سالانه (از سال ۲۰۱۵ به بعد) ۵ درصد از سطح زیر کشت اراضی فاریاب منطقه متقابلاً منجر به کاهش سالانه ۴/۷ درصد از تقاضای آب کشاورزی می‌شود. چنانچه این حجم کاسته شده در اختیار صنعت و خدمات قرار داده شود رقم ذخیره مخزن ۱۱۵ میلیون متر مکعب بهبود خواهد یافت. 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. ولی باید توجه کرد که در توسعه صنعت و خدمات بایستی آب مورد نیاز از کشاورزان خریداری شود، نه اینکه پروانه بهره‌برداری جدید صادر شود.

برای ارزیابی تأثیرات تغییر اقلیم بر تقاضاها و منابع آب دشت نیشابور از نتایج مدل LARS-WG5 استفاده شد. بر اساس نتایج به دست آمده از سناریوی تغییر اقلیم A2، به تقاضای آبیاری حدود ۴۸ درصد افزوده و از ذخیره آب زیرزمینی نیز ۸/۱ درصد کاسته خواهد شد.

با طرح و اجرای سناریوهای ترکیبی چنین نتیجه گرفته شد که در صورت به کارگیری هم‌زمان دو راهبرد افزایش راندمان آبیاری به ۷۰٪ و کشاورزی حفاظتی، وضعیت تقاضای آبی و ذخیره آب زیرزمینی نسبت به کاربرد منفرد هر کدام از این اقدامات بهتر خواهد شد. این موضوع در مورد ادغام سناریوهای افزایش راندمان و کاهش سطح زیر کشت، نیز صدق می‌کند.

تأثیرات مثبت ترکیب هم‌زمان هر سه سناریوی مدیریت تقاضای آب نیز به نوبه خود بیش از ترکیب دو به دوی آن‌ها بود، اما نکته‌ای که در بررسی این سناریو به چشم می‌خورد این است که با وجود کاربرد همه روش‌های مدیریت تقاضای آب، باز هم بین برداشت و تغذیه آب زیرزمینی تعادل برقرار نشده و کسری مخزن به صفر نرسیده است. بنابراین با سعی و خطا سناریوی دیگری به نام تعادل رسانی ذخیره آب زیرزمینی تدوین شد که در واقع ترکیبی از همین سه سناریوی مدیریت تقاضای آب بود، با این تفاوت که هر کدام از آن‌ها در سطح بالاتری تقاضای آب را کاهش می‌دهند تا کسری مخزن به صفر برسد. نتیجه شبیه‌سازی مدل گویای این بود که اگرچه راندمان تا ۹۰ درصد و نرخ کاهش سطح زیر کشت تا ۲۰ درصد افزایش یافت، اما باز هم کسری مخزن به صفر نرسیده و در بهترین حالت میزان کسری مخزن به ۶۸۳۶ میلیون متر مکعب

رسید که نسبت به سناریو مرجع کاهشی ۸ درصدی داشته است. بر اساس این نتایج فاصله بسیار زیاد منابع آب دشت نیشابور تا پایداری کامل نمایان می‌گردد.

با محاسباتی که بر اساس نتایج مربوط به سناریوی مرجع انجام گرفت، تخمین زده شد که ادامه روند کنونی در برداشت از آب زیرزمینی و نیز تغذیه محدود آبخوان به تمام شدن این منبع آب شیرین در حدود ۸۶ سال بعد می‌انجامد. اما در واقع باید گفت که پیش از اتمام ذخیره آب زیرزمینی مشکل دیگری به نام شور شدن، این منابع را تهدید می‌کند که در اثر برداشت زیاد آب شیرین و جایگزینی آن با پساب‌های شور، آب شستگی طبیعی نمک و نفوذ به آبخوان و نیز رسیدن سطح آب به ذخیره آب شور فسیلی (ذخیره احتمالی واقع در طبقات زیرین آب زیرزمینی) در حال وقوع است. در این صورت قبل از این که ذخیره آبخوان تمام شود عملاً غیر قابل مصرف خواهد شد. تنها راه جلوگیری از وقوع این وضعیت این است که حجم ورودی‌های به آبخوان با حجم خروجی‌ها برابر گردد و این هدف به وسیله اجرای طرح‌های مدیریت تقاضای بخش کشاورزی مانند کاهش سطح زیرکشت و افزایش بهره‌وری آب با استفاده از گلخانه و هماهنگ نمودن الگوی کشت با پتانسیل منابع آب موجود و نیز تخصیص آب به بخش‌های دیگر و ایجاد فرصت‌های شغلی جدید برای کشاورزان قابل دستیابی است.

۵-۲-پیشنهادهات

۱. در مدل WEAP ابزاری برای بررسی‌های کیفی آب وجود دارد، به علاوه امکان برقراری ارتباط با مدل‌های کیفی مانند QUAL2K ایجاد شده است که پیشنهاد می‌شود به کمک این روش‌ها در تحقیقات آتی به مباحث مهم کیفیت آب نیز پرداخته شود.
۲. توصیه می‌شود سایر روش‌های مدیریت مصرف آب از جمله توسعه کشت گلخانه‌ها نیز در مطالعات آینده مورد بررسی قرار گیرند و اثرات این راهبردها در صرفه‌جویی در مصرف آب آبیاری و در نهایت بر منابع آب تحلیل شوند.

۳. ارزیابی راهبردهای مدیریت تقاضای آب از جنبه مباحث اقتصادی می‌تواند منافع بلند مدت اقتصادی این طرح‌ها را به اثبات برساند و در ترغیب مسئولان و زارعین به اجرای هر چه بیشتر آن‌ها مؤثر باشد. در WEAP یک ابزار جداگانه نیز برای تحلیل‌های مالی پروژه‌ها وجود دارد که باعث می‌شود این گونه ارزیابی‌ها به سادگی انجام گیرد.

۴. در مدل WEAP امکان محاسبه میزان محصول واقعی بر اساس تبخیر و تعرق واقعی وجود دارد، که در این تحقیق به علت ضیق وقت مجال پرداختن به آن دست داده نشد. در نظر گرفتن این پارامتر می‌تواند به غنی‌تر شدن نتایج تحقیقات آتی کمک کند.

۵. همان گونه که پیش‌تر نیز بیان شد، شبیه‌سازی فرآیندهای هیدرولوژیکی در WEAP به روش‌های متعددی ممکن می‌شود که می‌توان گفت روش مورد استفاده در این مطالعه (روش بارش-روناب فائو) از ساده‌ترین روش‌های آن می‌باشد. به کارگیری روش‌های پیچیده‌تر این مدل مانند رطوبت خاک و MABIA می‌تواند در دقت‌تر شدن مدل‌سازی این فرآیندها نقش بسزایی داشته باشد، بدیهی است مدل‌های پیچیده‌تر به اطلاعات بسیار گسترده و دقیق‌تری نیاز دارند که قبل از هر چیز باید از وجود این گونه اطلاعات و البته سالم بودن آن‌ها اطمینان حاصل کرد.

۶. توصیه می‌شود در صورت امکان به جای شبیه‌سازی مستقیم فرآیندهای هیدرولوژیکی در WEAP، نتایج حاصل از مدل‌های شبیه‌سازی پر قدرتی مانند SWAT را به WEAP وارد کرده و تنها از قابلیت‌های مدیریتی بسیار قوی این مدل بهره گرفته شود. شبیه‌سازی آب زیرزمینی را نیز می‌توان با برقراری ارتباط مستقیم با MODFLOW به این مدل آب زیرزمینی واگذار کرد.

۶- منابع

- اشرف، ب.، موسوی بایگی، م.، کمالی، غ. و داوری، ک. ۱۳۹۰. پیش‌بینی تغییرات فصلی پارامترهای اقلیمی در ۲۰ سال آتی با استفاده از ریزمقیاس نمایی آماری داده‌های مدل HADCM3 (مطالعه موردی: استان خراسان رضوی). نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲۵ (۴): ۹۴۵-۹۵۷.
- باباییان، ا. و نجفی نیک، ز. ۱۳۸۵. گزارش نهایی پروژه ارزیابی تغییرات اقلیمی ایستگاه‌های سینوپتیک استان خراسان رضوی در افق ۱۴۰۰ (۲۰۱۰ تا ۲۰۳۹ میلادی). پژوهشکده اقلیم شناسی، سازمان هواشناسی استان خراسان رضوی.
- باباییان، ا. وبلاگ به آدرس <http://climate.mihanblog.com/post/16>، تاریخ بازدید ۲۰ اردیبهشت ۱۳۹۳.
- توکلی، ا. ۱۳۹۰. برآورد تبخیر و تعرق مرجع در شرایط کمبود داده (مطالعه موردی: استان خراسان شمالی). پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.
- حافظ پرست مودت، م.، خلقی، م. و فاطمی، س.ا. ۱۳۸۷. ارزیابی و برنامه‌ریزی منابع آب دشت تاکستان با مدل‌های WEAP و LINGO. چهارمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه تهران، اردیبهشت ۱۳۸۷.
- رضایی، م.، دواتگر، ن.، تاجداری، خ. و ابولپور، ب. ۱۳۸۹. بررسی تغییرات مکانی برخی شاخص‌های کیفی آب‌های زیرزمینی استان گیلان با استفاده از زمین آمار. نشریه آب و خاک ۲۴ (۵): ۹۳۲-۹۴۱.
- 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.
- سیاری، ن.، علیزاده، ا.، بنایان اول، م.، فریدحسینی، ع. و حسامی کرمانی، م.ر. ۱۳۹۰. مقایسه دو مدل گردش عمومی جو (CGCM2 و HADCM3) در پیش‌بینی پارامترهای اقلیمی و نیاز آبی گیاهان تحت تغییر اقلیم (مطالعه موردی: حوضه کشف‌رود). نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲۵ (۴): ۹۱۲-۹۲۵.

علیپور، ا. ۱۳۹۰. تعیین پتانسیل لایه آبدار آزاد با استفاده از ارتباط بین داده‌های ژئوالکتریک و پارامترهای آبخوان (مطالعه موردی: دشت نیشابور). پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند.

علیزاده، ا. ۱۳۸۱. اصول هیدرولوژی کاربردی. چاپ چهاردهم انتشارات آستان قدس، دانشگاه امام رضا (ع)، مشهد.

علیزاده، ح. ۱۳۸۵. ارزیابی تأثیر هیدرولوژیکی سناریوهای تخصیص آب در سطح حوضه با استفاده از نرم‌افزار WEAP. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف.

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

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.

محمدیان، ف.، شاهنوشی، ن.، قربانی، م. و عاقل، ح. ۱۳۸۸. انتخاب الگوی کشت بالقوه محصولات زراعی بر اساس روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) (مطالعه موردی: دشت تربت جام). مجله دانش کشاورزی پایدار، ۱۹/۱ (۱): ۱۷۱-۱۸۷.

جهاد دانشگاهی مشهد. ۱۳۸۹. مطالعات برنامه آمایش استان خراسان رضوی، تحلیل و ارزیابی موقعیت طبیعی و محیط زیستی (آب‌های سطحی و زیرزمینی)/ محدوده مطالعاتی نیشابور.

ناظم السادات، س.م.ج. ۱۳۸۸. مبانی هوا و اقلیم شناسی. چاپ اول. مرکز نشر دانشگاهی.

وزارت نیرو، دفتر برنامه‌ریزی کلان آب و آبفا. ۱۳۸۸. گزارش آغازین مطالعات بهنگام سازی طرح جامع آب حوضه‌های شرق کشور (حوضه قره‌قوم، نمکزار خواف + دق پترگان، هامون- هیرمند و هامون- ماشکیل). شماره گزارش: ۴۳۰۵۹۴-۳۶۵۸/۱.

وزارت نیرو، شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی. ۱۳۸۸. مطالعات مدیریت به هم پیوسته منابع آب منطقه نیشابور.

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.

- Aktivaga 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.
- 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.
- Al-Omari, A., Al-Quraan, S., Al-Salihi, A., and Abdulla, F. 2009. A water management support system for Amman Zarqa Basin in Jordan. *Water Resources Management*, 23: 3165-3189.
- Assaf, H., and Saadeh, M. 2008. Assessing water quality management options in the Upper Litani Basin, Lebanon, Using an integrated GIS-based decision support system. *Environmental Modeling & Software*, 23:1327-1337.
- FAO irrigation and drainage paper No. 56, crop evapotranspiration (guidelines for computing crop water requirements).
- Höllermann, B., Giertz, S., and Diekkruger, B. 2010. Benin 2025- Balancing future water availability and demand using the WEAP “Water Evaluation and Planning system”. *Water Resources Management*, 24: 3591-3613.
- Lévite, H., Sally, H., and Cour, J. 2003. Testing water demand management scenarios in a water-stressed basin in South Africa: application of the WEAP model. *Physics and Chemistry of the Earth*, 28: 779-786.
- Loucks, D.P., Beek, E., Stedinger, J.R., Dijkman, J.P.M., and Villars, M.T. 2005. Water resources system planning and management an introduction to method, models and application, published by United Nation Educational Scientific and Cultural Organization (UNESCO). Delft Hydraulic. The Netherlands.

- 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 Resources Management*, DOI 10.1007/s11269-010-9641-9.
- Purkey, D.R., Joyce, 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: S109-S122.
- Raskin, P., Hansen, E., and Zhu, Z. 1992. Simulation of water supply and demand in the Aral Sea region. *Water International*, 17: 55-67.
- 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, Tamaulipas, México. *Atmósfera* 24 (1): 141-155.
- Sieber, J., and Purkey, D. 2011. *Water Evaluation and Planning system (WEAP) user guide*, Stockholm Environment Institute (SEI), U.S. Center.
- Stockholm Environment Institute (SEI). 2008. *Water Evaluation and Planning system (WEAP) tutorial*, A collection of stand-alone modules to aid in learning the WEAP software, Boston Center.
- Stockholm Environment Institute (SEI). Homepage of Water Evaluation and Planning (WEAP). <http://WWW.WEAP21.org>, Visited: 2014/06/01.
- United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) Handbook, chapter 6, Water Resources.
- Valera-Ortega, C., Blanco-Gutiérrez, I., Swartz, C.H., and Downing, T.E. 2011. Balancing groundwater conservation and rural livelihoods under water and climate uncertainties: An integrated hydro-economic modeling framework. *Global Environmental Change*-830, DOI: 10.1016/j.gloenvcha.2010.12.001.
- Yates, D., Sieber, J., Purkey, D., and Huber-Lee, A. 2005. WEAP21- a demand, priority, and preference driven water planning model, part 1: model characteristics. *International Water Resources Association, Water International*, 4: 487-500.
- Yilmaz, B., and Harmancioglu N.B. 2010. An indicator based assessment for water resources management in Gediz River Basin, Turkey. *Water Resources Management*. DOI 10.1007/s11269-010-9663-3.

Abstract

The complex nature of water issues requires new approaches that involves integration of technical, economic, environmental, social and logic views. This is the concept of integrated water resources management. Good management plans involves the use of all possible factors or even more effective and more important factors, as well as review and assessment for the project outcomes. In this study Neyshabour's water resources and irrigation water demands were assessed using WEAP model. Among all precipitation- runoff models which exist in the model for Hydrological simulation, FAO method was chosen. To evaluate suggested strategies to escape from current situation, several scenarios were considered and then simulation was conducted for a period of 20 years. Results illustrated that in conservative agricultural scenario, in spite of increase in water demand, unmet demand reduced and groundwater storage was also increased. In the next scenario by increasing irrigation efficiency of the agricultural sector, water demand was reduced. This act would cause reduction in ground water extraction, so that ground water storage would have increased in comparison with reference scenario. Another scenario, considered five percent annual reduction of the acreage irrigated areas and dedicated leftover to industry section which caused 4.67% reduction in annual water demand in agricultural section and increasing of ground water storage in comparison with reference scenario. Next step was to combine various scenarios for management of agricultural water demand. It was concluded that combination of these scenarios has more positive effects compared to single ones. However, despite the use of all water demand management methods in a scenario, a balance could not be established between groundwater harvesting and recharge and deficit did not sink to zero. In other words, these strategies can play an important role in reducing agricultural water demand, and consequently reduce ground water harvesting in this area.

Keywords: Integrated Water Management, Agricultural Water Need, Neyshabour Watershed, WEAP



University of Shahrood
Faculty of Civil Engineering

**Integrated water resource management in Neyshabur plain using,
WEAP**

Mohammad Sharekian

Supervisors:

Dr.Saeed Golian

Dr.Alireza F.Hoseini

Advisor:

Yavar poor mohammad

February 2013