# Integrated management of water resources in agriculture, drinking and industry using WEAP software (Case study: Qom province)


## ABSTRACT

In the conditions of water shortage due to successive droughts or population growth, the management of limited water resources is necessary to increase their efficiency and optimal use, and the management patterns and allocation of water to different sectors should be reviewed. In this research, the water resources evaluation and programming system (WEAP) was used to manage, optimize and simulate water resources in Qom province. The model based on water supply and demand nodes including: urban drinking needs and agricultural irrigation needs as demand nodes and rivers and underground resources as supply nodes for a period of 20 years (2020 to 2039) was designed and implemented. Based on this, four scenarios were defined. The results showed that the policies of the two main management components, i.e. reducing water consumption in the agricultural sector at an annual rate of two percent and wastewater treatment at an annual rate of one percent, in addition to meeting the water demand of the province, are able to increase the underground water table at one percent annually. With the implementation of management scenario policies of level "3" at the end of the vision period, water consumption in the agricultural sector has decreased by 50% without reducing the cultivated area or yield, and the efficiency of water consumption has increased by the same amount. And the aquifer of the province will be restored by 20%. If the current situation (reference scenario) is followed, due to the natural increase in water demand due to the growth of population and industry, even with the upcoming rainy periods, there will be a deficit of about 40% in renewable water resources.



**Keywords:** *modeling, wastewater recycling, water efficiency*.



ویرایش استاری نشده

# مدیریت یکپارچه منابع آب در بخش‌های کشاورزی، شرب و صنعت با استفاده از نرم افزار WEAP (مطالعه موردی: استان قم)


## چکیده

در شرایط کمبود آب به‌علت وقوع خشک‌سالی‌های پی‌درپی و یا رشد جمعیت، مدیریت منابع محدود آب برای افزایش بهره‌وری و استفاده بهینه از آنها لازم بوده و الگوهای مدیریتی و تخصیص آب به بخش‌های مختلف باید مورد بازبینی قرارگیرند. در این تحقیق از سیستم برنامه‌ریزی و ارزیابی منابع آب (WEAP) جهت مدیریت، بهینه‌سازی و شبیه‌سازی منابع آب در استان قم استفاده گردید. مدل مبتنی بر گره‌های عرضه و تقاضای آب شامل: نیاز شرب شهری و نیاز آبیاری کشاورزی به عنوان گره‌های تقاضا و رودخانه‌ها و منابع زیرزمینی به عنوان گره‌های عرضه برای دوره ۲۰ ساله (۲۰۲۰ تا ۲۰۳۹) طراحی و بر این اساس چهار سناریو تعریف گردید. نتایج نشان داد، سیاست‌های دو مؤلفه اصلی مدیریتی یعنی کاهش مصرف آب در بخش کشاورزی با نرخ سالانه دو درصد و تصفیه فاضلاب با نرخ سالانه یک درصد قادر است، علاوه بر تأمین تقاضای آبی استان، سفره‌های آب زیرزمینی را با نرخ رشد سالانه یک درصد احیا نماید. با اجرای سیاست‌های سناریوی مدیریتی سطح «۳» در انتهای دوره چشم‌انداز، مصرف آب در بخش کشاورزی بدون کاهش سطح زیر کشت یا عملکرد، تا ۵۰ درصد کاهش یافته و بازده مصرف آب به همین میزان افزایش و آبخوان استان به میزان ۲۰ درصد احیا خواهد شد. اگر وضعیت فعلی (سناریوی مرجع) دنبال شود، با توجه به افزایش طبیعی تقاضای آب به دلیل رشد جمعیت و صنعت، حتی با وجود دوره‌های ترسالی پیش‌رو، در منابع آبی تجدیدپذیر حدود ۴۰ درصد کسری ایجاد خواهد شد.



**واژه‌های کلیدی:** منابع آب، مدیریت و برنامه‌ریزی، بهره‌وری آب و مدل‌سازی.



ویرایشناری نشده

## مقدمه

شواهد فراوانی وجود دارد که منابع آب در بسیاری از بخش‌های ایران وضعیت مناسبی ندارد. رشد مستمر اقتصادی و افزایش جمعیت، باعث افزایش تقاضای آب شده است. از طرف دیگر حجم آبی که می‌تواند این نیازها را برآورده کند ثابت بوده و هم‌اکنون در بیشتر مناطق کشور تخصیص داده شده است. توسعه زیرساخت‌های آبی جدید نیز نیازمند صرف هزینه‌های بسیار سنگین و مدت زمان طولانی می‌باشد. مقدار آب مورد نیاز شرب در دهه ۱۴۰۰ حدود نه میلیارد مترمکعب برآورد می‌گردد. باتوجه به حدود هفت میلیارد مترمکعب مورد استفاده در حال حاضر، باید حدود دو میلیارد مترمکعب آب بـا کیفیت بالا و متناسب با استانداردهای بهداشتی تأمین و به سیستم شرب اضافه گـردد. ایـن موضـوع خـود چالش بزرگی است که به علت آلودگی منابع آبی توسط آلاینده‌های مختلـف، نیازمند سرمایه‌گذاری و تدوین قـوانین ویـژه‌ای از نظر حفاظـت و پـایش منابع آب است. با این‌حال وقوع خشکسالی‌های پی در پی، وضعیت منابع آبی کشور را بحرانی‌تر نموده است. این پدیده بسیاری از منابع آبی کشور را به‌ویژه در دشت‌های میانی در دو مقیاس کوتاه‌مدت و بلندمدت تحت تأثیر قرار داده است (Babaeian et al., 2015). در مقیاس زمانی محلی، منابع آبی متأثر از شرایط کمبود ریزش‌های جوّی، افت موقت خواهند داشت، که بخش‌های پرمصرف از جمله کشاورزی را تحت تأثیر قرار می‌دهند. پدیده تغییر اقلیم در کنار سایر عوامل، سهم بسزایی در وقوع خشکسالی‌های درازمدت دارد. در این وضعیت، سطح منابع آبی در دوره طولانی مدت در زیر خط نرمال قرار گرفته که حاصل برهم‌کنش متغیرهای مختلف اقلیمی است(Ghamghami & Irannejad, 2019).

اتخاذ رویکردهای مدیریتی منابع آب، مسائل و مشکلات حادّی را در مدیریت منابع آب کشور در پی داشته است. از مصادیق بارز این رویکردها می‌توان به بروز اختلافات و عدم تعامل مناسب بین استان‌های واقع در حوضه‌های آبریز مشترک و گاهی اجحاف در حق استان‌های واقع در پایاب اشاره نمود. یکی از مهم‌ترین مشکلات استان قم، واقع شدن در انتهای حوضه آبریز است و اجرای طرح‌های بالادست باعث شده است تا دو رودخانه اصلی (قره‌چای و قمرود) که در گذشته تقریباً دائمی بودند (با ۳۰۰ روز آبدهی در سال) خشک شوند. در نتیجه سدهایی که در بالادست احداث شده است، حدود ۱۰۰ میلیون مترمکعب از آورد رودخانه قمرود و حدود ۳۰۰ میلیون مترمکعب از آورد رودخانه قره‌چای به استان قم کم شده است (رجبی، ۱۳۹۸).

هدف‌گذاری رشد اقتصادی هشت درصدی در سطح ملی به همراه رشد جمعیت بیش از ۱/۳ درصدی به‌عنوان سیاست جمعیتی، بر روابط اکولوژیک زیست‌بوم‌های کشور تأثیر بسزایی خواهد داشت. بررسی‌ها نشان می‌دهد برای هر واحد تقاضا یا سرمایه‌گذاری در بخش کشاورزی (یک میلیارد ریال) معادل ۶۵۷۲۲ مترمکعب آب مصرف می‌شود. همچنین در سایر بخش‌های اقتصادی صنعت، معدن، ساختمان و خدمات به‌ترتیب ۳۲۶۰، ۱۲۲۷، ۱۳۹۲۲ و ۱۰۰۵ مترمکعب آب مصرف خواهد شد (جوادی و همکاران، ۲۰۱۶). این امر نشان دهنده ضرورت به‌کارگیری فناوری‌های روز دنیا در فرآیند توزیع و تصفیه آب، اصلاح زیرساخت-های منابع آبی، مهار آب‌های سطحی و بهسازی کانال‌های آبرسانی است. مدیریت یکپارچه منابع آب که توسعه بلندمدت هیدروسیستم را در نظر می‌گیرد، به‌ویژه در مناطقی که با تنش آبی مواجه هستند، مهم است. بنابراین باید تضادهای توزیع این منابع و نحوه بهره‌برداری از آنها را مدیریت نمود (Bouklia-Hassane et al., 2016).

## پیشینهٔ پژوهش

در پژوهشی از تکنیک تحلیل سلسله مراتبی فازی برای تعیین اولویت مصرف منابع آب سد کهیر در سال آبی ۹۵-۱۳۹۴ استفاده گردید. براساس رویکرد اقتصادی، بخش کشاورزی با بیشترین وزن ۰/۷۲ در اولویت نخست قرار گرفت. درحالی‌که در رویکرد اکولوژیک، بخش محیط زیست به‌عنوان گزینه برتر با وزن ۰/۶۵ انتخاب گردید. در این رویکرد، بخش کشاورزی با وزنی معادل ۰/۱۹ در جایگاه بعدی قرار گرفت (Sardar Shahraki & Emami, 2020). در پژوهشی که از مدل شبیه‌سازی و مدیریت تخصیص در حوضه‌آبریز رودخانه تالار واقع در استان مازندران استفاده شد، ابتدا تغییرات آب زیرزمینی منطقه با استفاده از مدل MODFLOW شبیه‌سازی گردید، سپس به‌منظور مدیریت تخصیص آب، اطلاعات حاصل از مدل آب زیرزمینی به مدل برنامه-

ریزی و ارزیابی آب[1](WEAP) انتقال یافت. برای برنامه‌ریزی و مدیریت منطقه در محیط مدل‌سازی، سناریوهای مختلفی اعمال و تأثیر آن بر وضعیت عرضه و تقاضا و تغییرات ذخیره آب زیرزمینی و افت سطح ایستابی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج واسنجی مدل MODFLOW نشان داد، انطباق خوبی بین سطح ایستابی مشاهده شده و شبیه‌سازی شده وجود دارد، به‌طوری‌که میزان RMSE برای جریان‌های ماندگار و غیرماندگار به ترتیب ۰/۳۳ و ۰/۹۸ به‌دست آمد. همچنین نتایج مدل WEAP براساس سناریوی بروز خشکسالی نشان داد که منطقه با ۱۰ میلیون مترمکعب کاهش حجم مخزن رو به رو خواهد شد که در نتیجه وضعیت منابع آب به مراتب بحرانی‌تر خواهد گردید. نتایج پژوهش نشان داد که با تلفیق همزمان مدل آب زیرزمینی و مدل یکپارچه مدیریت منابع آب، نتایج قابل‌اعتمادتری در دشت مورد مطالعه به‌دست‌خواهد آمد (خوش‌روش و نیکزاد طهرانی، ۱۳۹۷).

در پژوهشی دیگر عوامل و مؤلفه‌های مربوط به مدیریت یکپارچه منابع آب کشور با تأکید بر امنیت آبی بررسی گردید. در این تحقیق چهارده محور یا شاخص اساسی و نیز هفتاد استراتژی جهت مدیریت یکپارچه منابع آب با تأکید بر امنیت آبی کشور تعیین گردید. با رعایت درجه اهمیت و اولویت هر کدام و استقرار این الگو، می‌توان مدیریتی علمی، کارآمد و پویا را در منابع آب کشور فراهم آورد (زرگرپور و نورزاد، ۱۳۸۸).

استفاده از مدل WEAP جهت برنامه‌ریزی و مدیریت عرضه و تقاضا در حوضه آبریز ازغند استان خراسان رضوی نشان داد، با تغییر الگوی کشت و یا کاهش سطح زیرکشت اراضی کشاورزی، می‌توان به شرایط تعادل آب زیرزمینی دست یافت. همچنین به‌کارگیری سیستم‌های نوین آبیاری تحت فشار تا حد قابل توجهی می‌تواند ذخیره آب زیرزمینی را افزایش دهد. براساس نتایج این تحقیق، رشد جمعیت بر وضعیت میزان عرضه و تقاضا و تغییرات افت سطح آب زیرزمینی در سطح حوضه آبریز تأثیر قابل ملاحظه‌ای نداشت (یزدان‌پناه و همکاران، ۱۳۸۷). پژوهشی درخصوص چالش‌های مدیریت منابع آب در جنوب الجزایر و محدودیت‌های مدیریت مرتبط با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور با تصاویر ماهواره‌ای لندست (Landsat) از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۰ انجام گردید. نتایج پژوهش بر اساس بررسی‌های فعلی، مدل طراحی و مدیریت آب و ادغام با داده‌های ماهواره‌ای برای ارائه یک مدل اصلی پیش‌بینی سناریوهای مدیریت چندگانه (بهبود، استاندارد، بهینه، پایدار) از سال ۲۰۱۵ تا ۲۰۵۰ نشان داد، اجرای سیاست‌های مدیریت پایدار از جمله راهبردهای کاهش هدررفت آب و ایجاد استانداردهای مصارف خاص ضرورت دارند. همچنین اهمیت اتخاذ تکنیک‌های آبیاری جدید و ترویج استفاده مجدد از آب تصفیه شده برای اهداف آبیاری مورد تأکید قرار گرفت (Zegait et al., 2024).

در پژوهش دیگری، برنامه‌ریزی و تحلیل سیاستی منابع آب با در نظر گرفتن نیازهای مختلف با استفاده از مدل برنامه‌ریزی و ارزیابی آب (WEAP) در حوضه ابخیز هیرمند انجام شد. در این پژوهش برنامه‌ریزی و سیاست‌های آب با پانزده سناریو از سال ۲۰۱۵ تا ۲۰۳۰ تعریف و شبیه‌سازی شد. بر اساس نتایج، اجرای سیاست‌هایی مانند افزایش راندمان آبیاری در مصارف کشاورزی، بر صرفه‌جویی در منابع آب تأثیر مثبتی داشته است. همچنین زمانی که تقاضای صنعتی به مصرف‌کنندگان آب اضافه شد، مقدار آب کمتری برای نیازهای کشاورزی و تالاب‌ها اختصاص یافت (Sardar Shahraki et al., 2019).

مسئله آب یک چالش دائمی برای کشورهای شمال آفریقا به‌طور کلی و الجزایر به‌طور خاص است. برای بیش از ۲۰ سال، منطقه غرب الجزایر کمبود بارندگی قابل توجهی داشت که منجر به خشکسالی‌های شدید گردید و به‌طور جدی بر منابع آب از نظر کیفیت و کمیت تأثیر گذاشت. نتایج کاربرد مدل برنامه‌ریزی و ارزیابی آب (WEAP) در حوزه‌های آبخیز غرب الجزایر نشان داد، مدیریت تقاضا و بهبود استانداردهای زندگی از اقدامات لازم برای مدیریت صحیح منابع موجود است. سناریوهای مدیریت منابع آب با داشتن سیاست‌ها و عوامل مختلف عملیاتی، ممکن است بر تقاضای آب تا سال ۲۰۳۰ تأثیر بگذارد (Hamlat et al., 2013).

در پژوهش دیگری چگونگی تخصیص با استفاده از مدیریت یکپارچه منابع آب در حوضه آبخیز زاینده رود ارزیابی گردید. بر این اساس، پیش‌بینی می‌شود تقاضای سالانه آب آشامیدنی در شرایط فعلی تا سال ۲۰۴۱ از ۵۴۷/۶ به ۷۶۰/۲، آب صنعتی سالانه از ۲۱۳/۷ به ۴۰۰/۵ میلیون مترمکعب افزایش یابد و تقاضای آب کشاورزی در ۱۷۸۹/۱ میلیون مترمکعب ثابت بماند. سناریوهای

[1] water evaluation and planning

در نظر گرفته شده در پژوهش عبارت بودند از: (۱) تغییر در اولویت تأمین آب، (۲) تغییر در روند رشد جمعیت، (۳) تغییر در جریان برگشتی و استفاده از مدیریت تلفات آب، (۴) تغییر در مقدار آب انتقالی به حوضه گاوخونی، (۵) تغییر مدیریت تقاضا و کاهش مصرف سرانه، (۶) تغییر شرایط کشاورزی و (۷) تغییر شرایط صنعتی. نتایج نشان داد، سناریوهای تغییر اولویت تأمین آب و تغییر حجم آب انتقالی به حوضه گاوخونی بیشترین اولویت را دارند. بهترین جایگزین مدیریتی با چهار نوع رتبه‌بندی (شامل اولویت-های تخصیص آب) انتخاب شد که در آن رتبه‌بندی آب آشامیدنی، صنعتی، کشاورزی و محیطزیستی به عنوان بهترین رویکرد توصیه گردید (Zehtabian et al., 2023).

پژوهش حاضر با هدف بررسی ابعاد مختلف مدیریت یکپارچه منابع تدوین سند جامع خشکسالی، تخصیص بهینه و الگوی مدیریت مصرف آب استان قم به صورت کاربردی بر مبنای تحقیق و توسعه‌ای در چهار فاز اصلی شامل: شناسایی منابع آب استان، ارزیابی وضعیت گذشته، حال و آینده خشکسالی‌های هواشناسی و هیدورولوژی استان، تخصیص بهینه منابع آب و ارائه الگوی مدیریتی مناسب در بخش‌های مختلف مصارف شامل کشاورزی، شرب و صنعت با توجه به تأثیر کم آبی اجرا گردید.

## روش‌شناسی پژوهش

استان قم با ۱۱۲۳۸ کیلومتر مربع در حاشیه کویر مرکزی ایران قرار دارد. لذا حدود ۸۲ درصد وسعت آن دارای اقلیم گرم و خشک و ۱۲ درصد دارای اقلیم نیمه خشک می‌باشد (شکل ۱). جمعیت استان بر اساس آمار موجود بیش از ۱۴۰۰۰۰۰ نفر می-باشد که تنها حدود ۵ درصد آن در مناطق روستایی ساکن هستند. بر اساس آخرین اطلاعات موجود سال ۱۴۰۱، کل سطح زیر کشت اراضی استان اعم از زراعی و باغی معادل ۷۳ هزار هکتار با تولید ۵۸۵ هزار تن می‌باشد.

استان قم با قرار گرفتن در حاشیه کویر، از لحاظ منابع آب در محدودیت کمی و کیفی قرار دارد. بر اساس آخرین اطلاعات موجود (سال ۱۴۰۱) منابع آب استان شامل تعداد ۶۷۱ رشته قنات ، ۳۳۵ دهنه چشمه ، تعداد ۱۲۲۷ حلقه چاه عمیق و نیمه عمیق ، تعداد ۱۵۹۰ باب استخر ذخیره آب و تعداد ۷۳ رودخانه فصلی می باشد.

شکل ۱. پراکندگی مناطق اقلیمی استان قم

در این تحقیق جهت تخصیص، مدیریت، بهینه‌سازی و شبیه‌سازی منابع آبی از مدل برنامه‌ریزی و ارزیابی آب (WEAP) استفاده گردید. این سیستم در راستای مدیریت بهینه منابع آبی و ایجاد یک ساختار نظام‌مند جهت بهره‌برداری اصولی ایجاد شده است که با هدف ارزیابی همگانی و یکپارچه در زمینه تقاضا، تأمین و کیفیت آب، به‌صورت ابزاری علمی برای برنامه‌ریزی منابع آب تدوین شده است. WEAP مدلی قابل برنامه‌ریزی است که زمینه مدل‌سازی مدیریت منابع آب را به‌صورت یکپارچه فراهم کرده و می‌توان آن را در سامانه‌های شهری و کشاورزی در یک حوضه آبریز یا در چندین حوضه رودخانه‌ای مورد استفاده قرار داد. این نرم‌افزار قادر به شبیه‌سازی طیف وسیعی از مولفه‌های طبیعی و ساخته شده این سیستم‌ها از قبیل رواناب، دبی پایه، تغذیه طبیعی

آب‌های زیرزمینی، تحلیل نیازها، ذخیره آب، حقابه‌ها، اولویت‌های تخصیص، بهره‌برداری از مخزن، تولید برقابی، روندیابی آلودگی و کیفیت آب، ارزیابی آسیب‌پذیری نیازهای اکوسیستم است (Zerkaoui et al., 2018).

در WEAP دوره شبیه‌سازی ماهانه در نظر گرفته می‌شود و روابط سطح و حجم با ارتفاع مخزن سد و نیازهای شرب و کشاورزی مورد نظر و همچنین سری زمانی آبدهی ورودی به مخزن و ارتفاع تبخیر از سطح مخزن و نشت از مخزن در نظر گرفته می‌شوند. به‌طورکلی، طراحی یک مدل WEAP مبتنی بر گره‌های عرضه و تقاضای آب است. به عنوان مثال، نیاز شرب شهری و یا نیاز آبیاری کشاورزی به عنوان گره‌های تقاضا و رودخانه‌ها و منابع زیرزمینی به عنوان گره‌های عرضه هستند. طراحی مدل WEAP می‌تواند مبتنی بر سناریوهایی باشد. تخصیص آب در هر سناریو براساس فرض‌هایی استوار است. به دلیل وجود داده‌های مناسب، سال پایه آبی در پژوهش حاضر سال ۲۰۱۴ میلادی (۱۳۹۳ شمسی) در نظر گرفته شد (شکل ۲). با توجه به اهداف پژوهش، برای دوره ۲۰۲۰ تا ۲۰۳۹ چهار سناریو تعریف شد:

**سناریوی اول؛ سناریوی مرجع (Reference):**

- برداشت از منابع زیرزمینی تنها به اندازه منابع آبی تجدیدپذیر
- افزایش رشد سالانه جمعیت دو درصد، واحدهای صنعتی دو درصد و دامپروری دو درصد
- تغییرات جریان رودخانه براساس سناریوی بدبینانه تغییراقلیم در مورد وقوع خشکسالی
- تغییرات حجم آبخوان براساس سناریوی بدبینانه تغییراقلیم در مورد ریزش‌های جوّی

**سناریوی دوم؛ سناریوی مدیریتی سطح ۱ (Management1):**

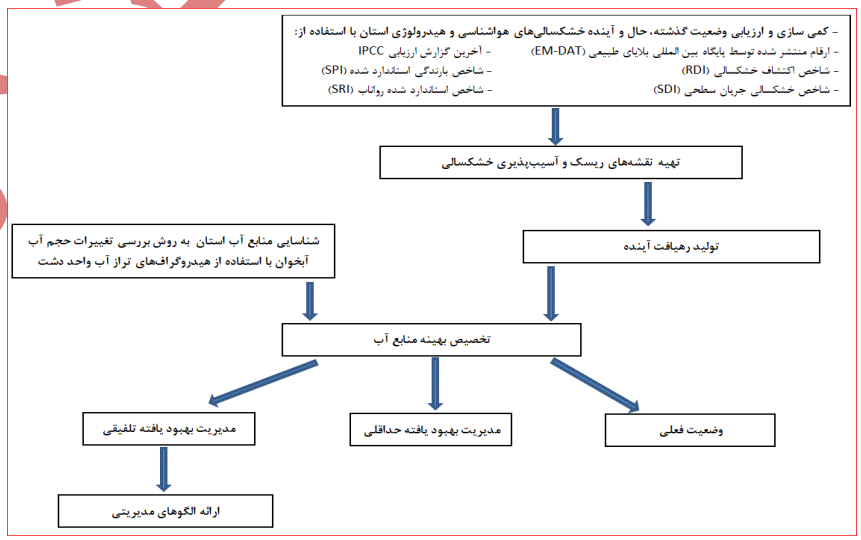
- همه پیش‌فرض‌های سناریوی مرجع به اضافهٔ کاهش پلکانی (سالانه دو درصد) نیاز آبی در کشاورزی با افق چشم‌انداز کاهش ۵۰ درصد در مصرف آب کشاورزی در سال ۲۰۳۹

**سناریوی سوم؛ سناریوی مدیریتی سطح ۲ (Management2):**

- همه پیش‌فرض‌های سناریوی مدیریتی سطح «۱» به اضافهٔ صرفه‌جویی پلکانی در بخش شهری و صنعتی (سالانه یک درصد) با افق چشم‌انداز کاهش ۲۰ درصد در مصرف آب شهری و صنعتی در سال ۲۰۳۹

**سناریوی چهارم؛ سناریوی مدیریتی سطح ۳ (Management3):**

- همه پیش‌فرض‌های سناریوی مدیریتی سطح «۲» به اضافهٔ استفاده مجدد از فاضلاب شهری و صنعتی برای بخش کشاورزی (ایجاد تصفیه خانه)

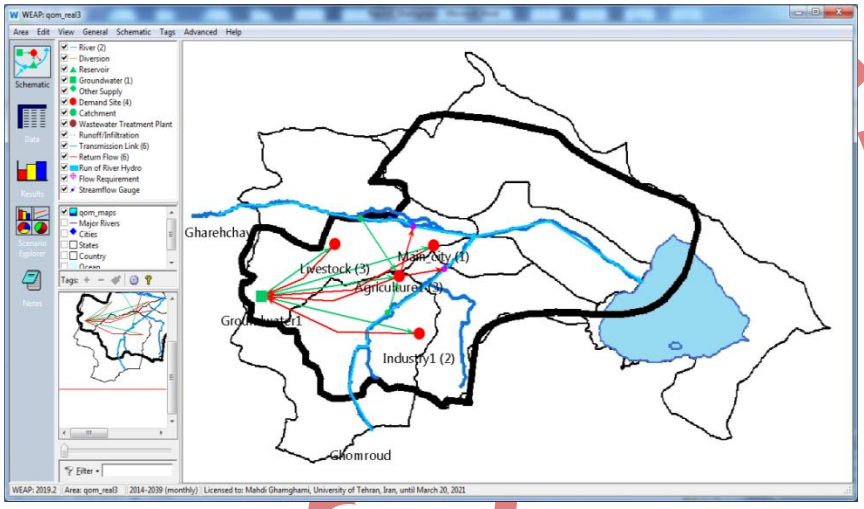



شکل ۲. فلوچارت کلی پژوهش

## یافته‌های پژوهش

### خروجی مدل

در محیط WEAP تعداد چهار نقطه نیاز شامل نقطه نیاز شهری با اولویت آبرسانی (۱)، نقطه نیاز صنعتی با اولویت آبرسانی (۲)، نقطه نیاز کشاورزی و دامپروری با اولویت آبرسانی (۳ و ۴) ایجاد شد. به استثنای بخش کشاورزی فرض شد که آب سایر بخش-ها تنها از آب زیرزمینی تأمین می‌شوند. بخش کشاورزی هم از آب سطحی و هم از آب زیرزمینی تغذیه می‌شود. جریانات رفت و برگشتی نیز تعریف شد. شکل ۳ مدل مفهومی تخصیص آب در استان قم را نشان می‌دهد.




**شکل** ۳. مدل مفهومی تخصیص آب در استان قم

با توجه به مفهومی بودن مدل WEAP، موقعیت و فاصله جغرافیایی در آن اهمیتی ندارد. در این پژوهش با توجه به میزان دسترسی به اطلاعات، برای ارائه یک نتیجه کلی ساده‌سازی انجام گردید. لذا کل استان به عنوان یک منبع دارای آب زیرزمینی و دو رودخانه با آبدهی محدود در نظر گرفته شد. از سوی دیگر، در تعریف تقاضا چهار تقاضای اصلی یعنی مصرف شهری، مصرف صنعتی، مصرف کشاورزی و دامپروری به صورت متمرکز در نظر گرفته شد. در مصرف صنعتی تنها واحدهای شناسنامه‌دار در شهرک‌های صنعتی (نزدیک به ۲۲۴۰ واحد) لحاظ شدند.

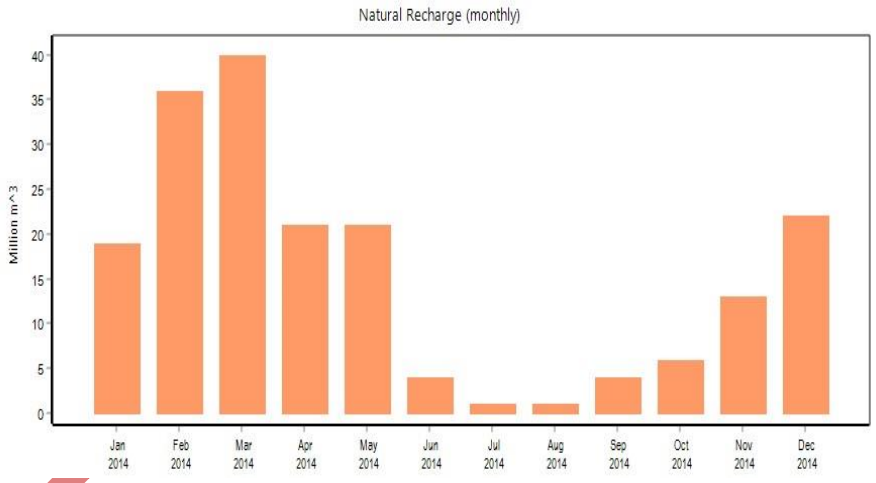
در وضعیت فعلی[1] کلیه پارامترهای کلیدی تعریف شدند. سال پایه آبی در وضعیت فعلی سال ۲۰۱۶ میلادی (معادل ۱۳۹۵ شمسی) در نظر گرفته شد. در گره تقاضای شهری، میزان جمعیت استان در سال پایه معادل ۱۲۲۰۰۲۳ نفر و نرخ سرانه مصرف آب بر اساس مصرف روزانه نزدیک به ۳۰۰ لیتر به ازای هر نفر، معادل ۱۰۰ مترمکعب در سال در نظر گرفته شد. تغییرات ماهانه مصرف آب با توجه به افزایش مصرف در فصل گرم و کاهش آن در فصل سرد ذکر گردید. در نهایت نرخ درصد مصرف آب (و تولید ۹۰ درصد فاضلاب شهری) برای این گره تقاضا در نظر گرفته شد. در گره تقاضای صنعت، در حدود ۲۲۴۰ واحد صنعتی فعال که به‌طور متوسط هر کدام ۱۰۰۰ مترمکعب آب با توزیع مساوی در سال مصرف می‌کنند، در نظر گرفته شد. همچنین تولید ۸۰ درصد فاضلاب صنعتی نیز به این گره اضافه شد. در گره تقاضای کشاورزی، طبق گزارش بهره‌وری آب کشاورزی در استان قم (۱۳۹۸)، حدود ۶۷۰۰۰ هکتار اراضی کشاورزی فعال در سطح استان در نظر گرفته شد. براساس الگوی کشت گیاهان زراعی و باغی غالب استان، نیاز آبی متوسط ۱۰۰۰۰ مترمکعب در هر هکتار فرض شد که در حدود ۱۰۰۰ مترمکعب آن، توسط بارش مؤثر تأمین می‌شود. این میزان آب دارای توزیع ماهانه از مهرماه تا فروردین بوده و باقی ماه‌ها سهمی معادل صفر دارند. همچنین

[1] current account

فرض گردید که حدود ۱۰ درصد از آب آبیاری شده مجدداً به گره عرضه بازمی‌گردد و مابقی از سطح خاک و گیاه تبخیر می‌شود. در گره دامپروری نیز اطلاعات موجود از تعداد رأس دام میزان و نرخ مصرف آب در استان وارد مدل شد.

در مورد عرضه آب، اطلاعات آبدهی ماهانهٔ دو رودخانه اصلی استان (قره‌چای و قمرود) به عنوان منبع تأمین کننده بخشی از نیاز آبی بخش کشاورزی برای سال پایه ۲۰۱۴ وارد مدل گردید. برای رودخانه قره‌چای از ایستگاه هیدرومتری بندعباسی و برای رودخانه قمرود از ایستگاه هیدرومتری دودهک برای این منظور استفاده گردید. آبدهی محدود رودخانه‌های استان تنها قادر به آبیاری اراضی کشاورزی بالادست است. چرا که براساس اطلاعات ایستگاه‌های هیدرومتری پایین‌دست، آبدهی در این ایستگاه‌ها صفر و یا نزدیک به صفر است.

بخش اصلی عرضهٔ آب استان، منابع زیرزمینی است که دارای ۵۳۵ میلیون مترمکعب آب تجدیدپذیر در سال ۲۰۱۴ بوده که طی سال‌های مختلف متغیر است (آقایی روزبهانی و صفایی، ۱۴۰۱). این آب توسط چاه‌های عمیق و نیمه‌عمیق و به‌ندرت توسط چشمه و قنات برداشت می‌شود. لازم به ذکر است آب استفاده شده طی سال‌های مختلف توسط زارعین معادل یک‌ونیم برابر این عدد است. تأکید در این مطالعه برنامه‌ریزی مصرف آب براساس منابع آب تجدیدپذیر است. در شروع سال پایه، میزان حجم آبخوان معادل یک‌دوازدهم حجم تجدیدپذیر در نظر گرفته شد (معادل ۴۳ میلیون مترمکعب)، مبتنی بر عوامل مؤثر بر تغذیه آبخوان مانند میزان بارش مؤثر، ضریب نفوذ عمقی، حجم تقریبی جریانات سطحی و زیرسطحی[1] وارد به آبخوان استان، الگوی تغذیه طبیعی[2] آبخوان در طی سال وارد مدل گردید. شکل ۴ توزیع الگوی تغذیه طبیعی آبخوان را طی سال ۲۰۱۴ نشان می‌دهد. خطوط انتقال آب و برگشت فاضلاب منطبق بر قانون اصل بقای ماده در مدل تعریف گردید. براساس ورودی‌های عرضه و تقاضا، مدل براساس اطلاعات سال ۲۰۱۴ اجرا گردید.

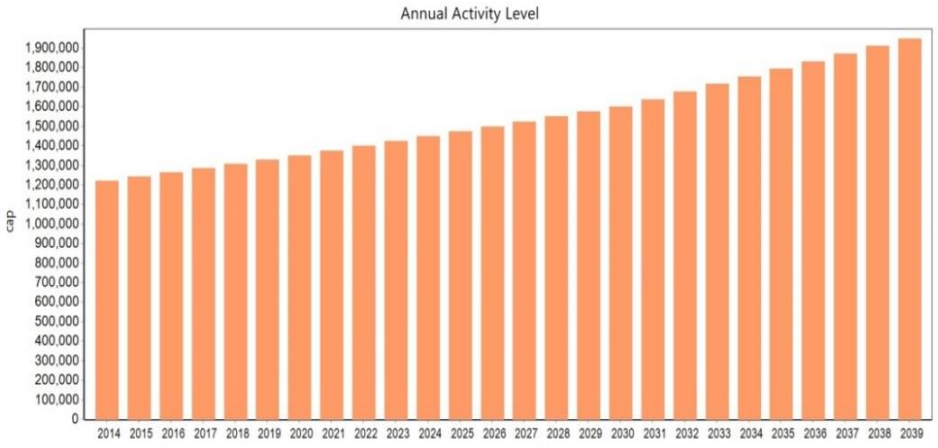



شکل ۴. الگوی ماهانهٔ تغذیه طبیعی آبخوان طی سال ۲۰۱۴

## سناریوی مرجع

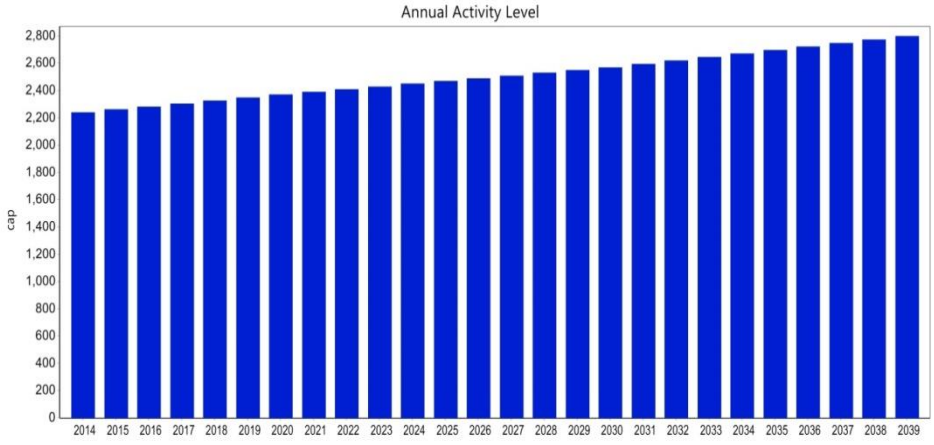
در سناریوی مرجع، عوامل مؤثر بر افزایش تقاضای آب مانند رشد جمعیت، رشد صنعت و ... بدون اعمال هرگونه مدیریت در عرضه و مصرف آب در نظر گرفته شده است. همچنین اثر تغییراقلیم بر حجم آبدهی رودخانه‌ها و تغذیه طبیعی آبخوان لحاظ گردید. با توجه به رشد تقریبی دو درصد در جمعیت طی دهه ۱۳۸۰ و ۱۳۹۰ در استان، همین نرخ برای دوره چشم‌انداز در نظر گرفته شد. شکل ۵ روند افزایش جمعیت استان را براساس همین نرخ نشان می‌دهد. بر این اساس در سال ۲۰۳۹ میلادی جمعیت استان به بیش از ۱۹۰۰۰۰۰ نفر خواهد رسید. مابقی پارامترهای مربوط به نیاز شهری در سناریوی مرجع بدون تغییر باقی ماندند.

[1] surface and subsurface inflows
[2] natural recharge




شکل۵. روند افزایش جمعیت استان براساس نرخ رشد دو درصد

همچنین فرض شد که صنعت استان، سالانه رشدی در حدود یک درصد داشته باشد. بنابراین، رشد به صورت کمّی لحاظ گردید، به‌طوریکه تعداد واحدهای صنعتی فعال سالانه افزایش یک درصد داشته باشند (شکل ۶). به‌علاوه تعداد دام در استان با رشد دو درصد سالانه منطبق بر تأمین نیاز خانوارها تعریف گردید. مابقی پارامترهای مربوط به نیاز صنعتی و دامپروری در سناریوی مرجع بدون تغییر باقی ماندند.

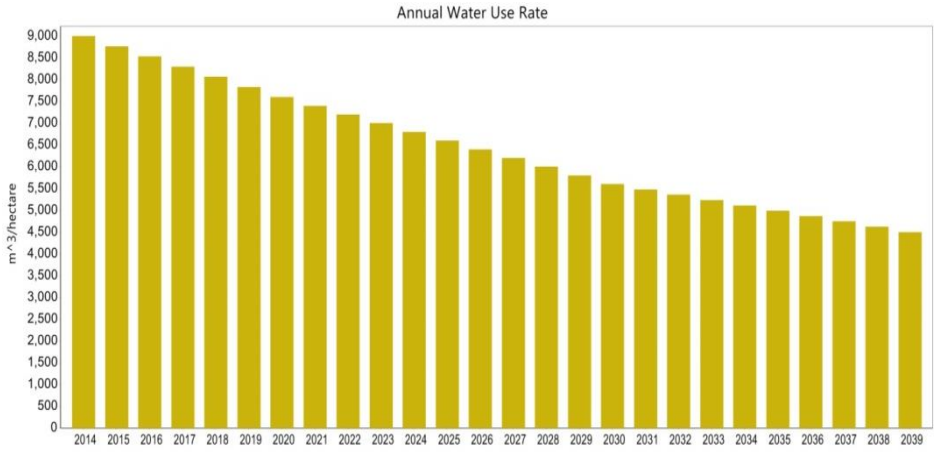



شکل ۶. روند رشد صنایع استان براساس نرخ رشد یک درصد

با توجه به شرایط اقلیمی و دسترسی به منابع آب در استان، فرض گردید که بخش کشاورزی از نظر سطح زیرکشت، افزایشی نداشته باشد. میزان اراضی کشاورزی که برای تأمین آب ناچار هستند از منابع آبی سطحی و زیرسطحی استفاده کنند، در سناریوی مرجع معادل وضعیت فعلی در نظر گرفته شدند. این فرض اگرچه در عمل با واقعیت فاصله دارد (از آنجا که در سال‌های پرآب یا ترسالی تمایل کشاورزان به استفاده از زمین‌های بایر و آیش بیشتر می‌شود)، با این وجود برای ارائه یک الگوی مدیریتی قابل قبول است. از سوی دیگر، هیچگونه مدیریت عرضه و مصرف در سناریوی مرجع در نظر گرفته نشد. نیاز آبی گیاهان، سرانه مصرف شهری، صنعت و دامپروری استان و توزیع مصرف نیز مشابه با وضعیت فعلی در نظر گرفته شدند.

## سناریوی مدیریت سطح ۱

در این سناریو، فرض شده است که مصرف بخش کشاورزی به شکلی مدیریت شود که نیاز آبی متوسط اراضی کشاورزی تا پایان افق چشم‌انداز (سال ۲۰۳۹) به طور تقریبی ۵۰ درصد کاهش یابد. این موضوع به‌صورت پلکانی در نظر گرفته شده است که به‌طور متوسط سالی ۲/۵ درصد نسبت به سال گذشته روند کاهشی در مصرف بخش کشاورزی لحاظ شود (شکل ۷). این سناریو با وجود آنکه اولین سطح مدیریت است، اما به‌دلیل آنکه در استان و در کل کشور بیشتر مصرف آب در بخش کشاورزی است، می‌تواند نقش حیاتی در مدیریت تخصیص آب ایفا نماید. بر این اساس انتظار می‌رود که متوسط نیاز آبی اراضی زراعی و باغی استان در سال ۲۰۳۹ بین ۴۰۰۰ تا ۵۰۰۰ مترمکعب در هکتار باشد.




شکل ۷. روند کاهشی نیاز آبی با افت سالانه معادل ۲/۵ درصد

### سناریوی مدیریت سطح ۲

در این سطح از مدیریت، در کنار کاهش نیاز آبی بخش کشاورزی به روند رو به رشد صرفه‌جویی در بخش صنعت، شهری و دامپروری توجه ویژه می‌شود. این سطح مدیریت در نظر دارد که به صورت پلکانی (سالانه یک درصد) با افق چشم‌انداز ۲۰ درصد در ۲۰۳۹ صرفه‌جویی در مصرف آب این بخش‌ها اتفاق بیفتد.

### سناریوی مدیریت سطح ۳

در این سطح در کنار اقدامات ذکرشده، فرض گردید که تا سال ۲۰۳۹ در حدود ۲۵ درصد از فاضلاب شهری، صنعتی و دامپروری، رفع آلودگی شده و مجدداً برای آبیاری در بخش کشاورزی استفاده شود. این عمل با نرخ سالانهٔ در حدود یک درصد اتفاق می‌افتد. این رویکرد مدیریتی می‌تواند خلأ ناشی از کمبود آب در بخش کشاورزی را به عنوان بزرگترین مصرف‌کننده پر-نماید.

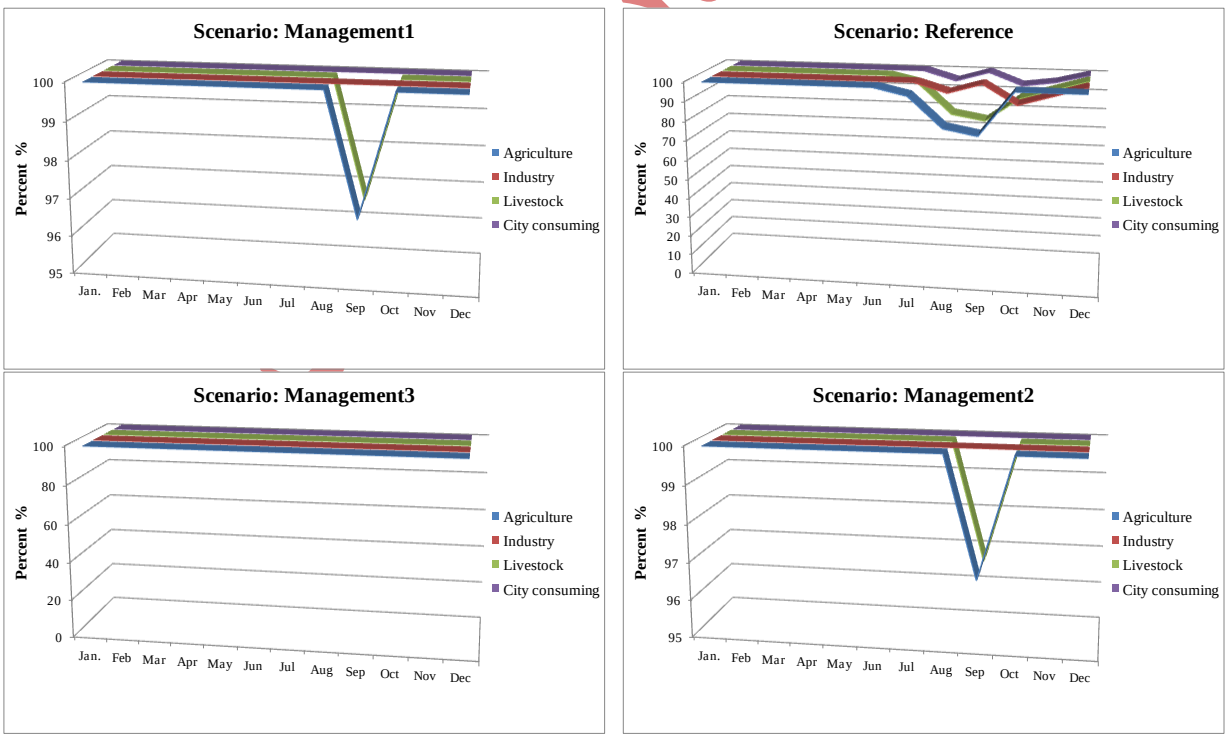
## بحث

با آگاهی از وضعیت تخصیص آب به بخش کشاورزی و صنعت استان قم، الگوهای مناسب مدیریت این بخش جهت افزایش بهره‌وری مصرف آب تحت چندین سناریوی مدیریتی ارائه و تبیین شد. عمده آب مصرفی در استان قم، منابع آب زیرزمینی است که البته تراز آن طی سال‌های اخیر به شدت منفی شده است. چرا که به‌دلیل کاهش نزولات جوّی، کشاورزان به برداشت‌های بی‌رویه از چاه‌ها روی آورده‌اند. همچنین روش‌های غلط آبیاری (سنتی و یا سامانه‌های تحت فشار معیوب) بازده مصرف آب را به‌شدت پایین آورده است. از این رو باید مدیریت مصرف با تخصیص صحیح به بخش‌های مصرف‌کننده همراه باشد. این موضوع زمانی اهمیت پیدا می‌کند که محدودیت دسترسی به منابع با خشکسالی‌های پی در پی همراه باشد. مدیریت تقاضا و بهبود استانداردهای زندگی از اقدامات لازم برای مدیریت صحیح منابع موجود است (Hamlat et al., 2013). در این پژوهش مدیریت

تلفیقی تخصیص آب مورد ارزیابی قرار گرفت که در اجرای سیاست‌های مدیریت پایدار از جمله راهبردهای کاهش هدررفت آب و ایجاد استانداردهای مصارف خاص ضرورت دارند. همچنین اهمیت اتخاذ تکنیک‌های آبیاری جدید و ترویج استفاده مجدد از آب تصفیه شده برای اهداف آبیاری مورد تأکید قرار گرفت که با نتایج پژوهش Zegait و همکاران (2024) مطابقت دارد.

## مقایسه سناریوها

شکل ۸ درصد پوشش[1] هر سناریو برای تأمین تقاضای آب در استان را نشان می‌دهد. لازم به ذکر است که هدف‌گذاری در این پژوهش بر تأمین نیاز آبی استان از طریق منابع آبی تجدیدپذیر استوار است. در غیر این‌صورت، همانند گذشته کلیه نیازها به قیمت افت شدید تراز آب زیرزمینی و بیابانی شدن استان برآورده می‌شد. این نوع هدف‌گذاری اجازه می‌دهد که در کنار رفع نیازها، به منابع خدادادی خسارت جبران‌ناپذیری وارد نشود. براین اساس درصد پوشش برای چهار گره تقاضا یعنی مصرف شهری، مصرف صنعت، مصرف کشاورزی و مصرف دامپروری به‌صورت متوسط ماهانه آورده شد. در سناریوی مرجع، منابع آبی تجدیدپذیر قادر به تأمین ۱۰۰ درصد تقاضای آب استان در ماه‌های آذر، دی، بهمن، اسفند و فروردین هستند. اما در ماه‌های فصل گرم، کاهش شدید در درصد پوشش مشاهده می‌شود. این کاهش برای کشاورزی و دامپروری به‌دلیل نیاز بیشتر و اولویت سناریوی مدیریتی سطح «۳» در مدل‌سازی بیشتر است. درصد پوشش بخش کشاورزی در ماه‌های مرداد و شهریور به نزدیک ۶۰ درصد می‌رسد. به عبارت دیگر، منابع آبی تجدیدپذیر استان قادر به تأمین در حدود ۶۰ درصد نیاز آبی بخش کشاورزی استان در این ماه‌ها هستند. بخش دامپروری نیز شرایط مشابهی دارد. دو بخش شهری و صنعت نیز تحت این سناریو در برخی ماه‌ها با افت درصد پوشش همراه هستند، هرچند می‌تواند بهتر باشد. برای جبران این کمبود، صاحبان صنایع و کشاورزان مجبور به برداشت بی‌رویه از منابع آبی هستند. اتفاقی که طی دو دهه اخیر افتاده است.

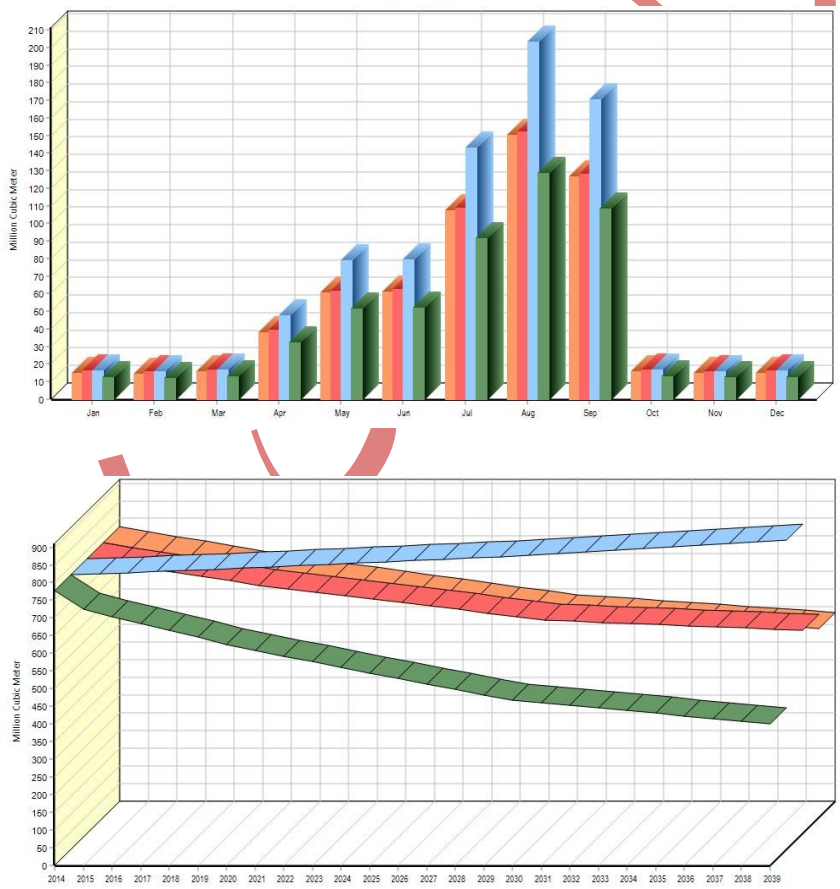



شکل ۸ درصد پوشش هر سناریو برای تأمین تقاضای استان برای هر کدام از گره‌های مصرف کننده

[1] coverage

براساس تخصیص آب مبتنی بر سیاست‌های سناریوی مدیریتی سطح «۳»، درصد پوشش تأمین آب استان در کلیه بخش-های مصرف کننده و همه ماه‌های سال ۱۰۰ درصد می‌شود. به عبارت دیگر مجموع دو عامل اصلی کاهش نیاز آبی کشاورزی سالانه با نرخ ۲/۵ درصد و ایجاد تصفیه‌خانه با رشد سالانه معادل یک درصد با هدف تأمین بخشی از نیاز کشاورزی، قادر است تقاضای آبی استان را به‌طور کامل از منابع تجدیدپذیر تأمین نماید. این یافته‌ها نشان‌دهنده رفع مشکل کم‌آبی استان در یک چشم‌انداز ۲۰ ساله است.

تغییرات ماهانه در تقاضای آبی استان بیانگر کارکرد سناریوها در تخصیص بهینه آب است. نمودار بالا در شکل ۷، معرف تغییرات ماهانه بوده و به‌صورت متوسط ماهانه مجموع تقاضای آبی گره‌های مختلف در سال‌های ۲۰۲۰ تا ۲۰۳۹ را آورده است. بنابراین، سناریوی مدیریت تلفیقی یا سطح «۳» به‌طرز چشمگیری تقاضای آبی استان را کاهش داده و منابع آبی تجدیدپذیر را قادر به تأمین آن نموده است. روند سالانه مجموع تقاضای آبی گره‌های مختلف نشان می‌دهد که این روند تحت سناریوی مرجع، افزایشی است که دلیل آن افزایش نرخ رشد جمعیت و نرخ توسعهٔ صنایع است. اما تحت سناریوی مدیریت تلفیقی با وجود چنین افزایش تقاضا طی زمان و همچنین وقوع خشکسالی‌های احتمالی، تقاضا روندی نزولی دارد. دو سناریوی دیگر نیز حالت بینابینی دارند و می‌توانند نقش تأثیرگذاری بر تجدید منابع آبی استان داشته باشند (شکل ۹).




شکل ۹. تغییرات مجموع تقاضای آبی استان به‌صورت متوسط ماهانه (نمودار بالا) و مجموع سالانه (نمودار پایین) تحت سناریوهای مختلف مدیریتی شامل سناریوی مرجع (رنگ آبی)، سناریوی مدیریتی سطح ۱ (رنگ قرمز)، سناریوی مدیریتی سطح ۲ (رنگ نارنجی) و سناریوی مدیریتی سطح ۳ (رنگ سبز)

دشت‌های استان قم طی دو دهه اخیر با بیلان منفی آب (برداشت بیشتر از تغذیه) روبرو بوده‌اند. از این رو احیای سفره‌های آب زیرزمینی در راستای پایداری منابع باید در دستور کار مدیران و تصمیم‌گیران قرار گیرد. براساس سناریوی مدیریتی سطح «۳» یا مدیریت تلفیقی، تابعی تعریف گردید که طبق آن سالانه به اندازه یک درصد از برداشت آب‌های زیرزمینی کاهش یابد.

این شیب پلکانی منجر به کاهش در حدود ۲۰ درصد در انتهای دوره چشم‌انداز (سال ۲۰۳۹) خواهد شد. این امر به جبران برداشت‌های گذشته و مثبت شدن بیلان رطوبتی کمک خواهد کرد.

ارزیابی نتایج درصد پوشش تقاضای آب استان نشان داد که بین درصد پوشش تأمین شده توسط مدیریت سطح «۲» و مدیریت سطح «۳» با رویکرد احیای آب‌های زیرزمینی تفاوتی وجود ندارد. به عبارت دیگر، در صورت کاهش نیاز آبی بخش کشاورزی به‌صورت پلکانی، افزایش تولید پساب تمیز برای مصرف کشاورزی به صورت پلکانی، می‌توان امیدوار بود که علاوه بر تأمین تقاضای آبی استان، احیای آبخوان به صورت پلکانی صورت گیرد. مدیریت تلفیقی تخصیص آب شامل دو مؤلفه اصلی کاهش پلکانی نیاز آبی در بخش کشاورزی (تا میزان ۵۰ درصد در افق چشم‌انداز) و تولید پساب تمیز از فاضلاب‌های صنعتی و شهری (تا میزان ۲۵ درصد در افق چشم‌انداز) است. پیگیری و اجرای این سیاست‌ها قادر است کل تقاضای آبی استان را تأمین نموده و همچنین تا میزان ۲۰ درصد در افق چشم‌انداز باعث احیای سفره‌های آب زیرزمینی استان شود.

یافته‌های این تحقیق برای ارائه الگوهای مدیریتی مناسب هستند که با نتایج پژوهش Sardar Shahraki و همکاران (۲۰۱۹) در حوضه آبخیز هیرمند در منطقه سیستان و یزدان‌پناه و همکاران (۱۳۸۷) در حوضه آبریز ازغند استان خراسان رضوی مطابقت داشت. با این وجود توصیه می‌شود که تحلیل جامع‌تری براساس یافته‌های بخش اقلیم و هیدرولوژی پژوهش با مدل WEAP انجام شود. اعداد و ارقام به دست آمده زمانی که جزئیات بیشتری در روند مدل‌سازی تخصیص آب در نظر گرفته شوند، قابل اطمینان‌تر و دقیق‌تر خواهند بود. به عبارت دیگر هرچه داده‌های ورودی مدل بیشتر باشند، یافته‌ها نیز دقیق‌تر و منطبق‌تر بر واقعیت خارجی می‌باشند.

## نتیجه‌گیری

یافته‌های مدل تخصیص آب WEAP نشان داد که پیگیری سیاست‌های دو مولفه اصلی مدیریتی یعنی کاهش مصرف آب در بخش کشاورزی با نرخ سالانه دو درصد و تصفیه فاضلاب‌های شهری و صنعتی برای پوشش بخشی از نیاز با نرخ رشد سالانهٔ یک درصد قادر است علاوه بر تأمین کل تقاضای آبی استان از منابع تجدیدپذیر (و نه روند فعلی)، باعث احیای سفره‌های آب زیرزمینی با نرخ رشد یک درصد سالانه شود. به عبارت دیگر اگر سیاست‌های سناریوی مدیریتی سطح ۳ دنبال شود، در انتهای دوره چشم‌انداز (۲۰۳۹ میلادی)، مصرف آب در بخش کشاورزی – بدون کاهش سطح زیرکشت یا عملکرد محصول– تا ۵۰ درصد کاهش و راندمان مصرف آب به همین میزان افزایش یافته است، در این شرایط ۲۵ درصد از نیاز بخش کشاورزی از پساب‌های تمیز تأمین می‌شود و نهایتاً آبخوان استان به اندازه ۲۰ درصد احیا خواهد شد. اگر وضعیت فعلی دنبال شود (سناریوی مرجع)، با توجه به افزایش طبیعی تقاضای آب به‌دلیل رشد جمعیت و توسعه صنعت، حتی با وجود دوره‌های ترسالی پیش‌رو، حدود ۴۰ درصد در منابع آبی تجدیدپذیر کسری خواهد بود. جایگزینی ارقام مقاوم به خشکی، خاکورزی حفاظت شده، توسعه و اصلاح سامانه‌های تحت فشار، توسعهٔ کشت گیاهان علوفه‌ای مقاوم به خشکی، توسعهٔ کشت گیاهان دارویی، توسعهٔ فرآوری و کشت مبتنی بر قرارداد، بکارگیری فناوری‌های نوین در مزارع بزرگ و ... می‌تواند بخشی از راهکارهای رسیدن به این دستاورد باشد.

### پیشنهادها

با توجه به برنامه توسعه اقتصادی – اجتماعی کشور و سیاست‌های جمعیتی پیش‌رو، تأمین امنیت غذایی و افزایش بهره‌وری تولید محصولات کشاورزی اهمیت حیاتی دارد. افزایش و پایداری تولید محصول با حفظ منابع پایه در قالب مدیریت تلفیقی تخصیص آب تأمین خواهد شد. برخی از راهکارهای جهت رسیدن به دو مولفه اصلی مدیریت تلفیقی به شرح زیر می‌باشد:

- جایگزین نمودن گیاهان مقاوم به خشکی و با نیاز آبی کم؛ در غلاتی مانند گندم و جو که همواره تولید آنها امری راهبردی است، می‌توان از ارقام اصلاح نژاد شده استفاده کرد. ارقام مناسب هر منطقه به صورت پرورشی یا مادری در همان منطقه وجود دارند. شناسایی این ارقام، تکثیر آنها و ترویج بین کشاورزان می‌تواند نویدبخش کاهش مصرف آب باشد.

ویرایش اولیه

- عملیات به‌زراعی؛ تجمیع عملیات به‌زراعی در یک مزرعه می‌تواند تاثیر بسزایی در افزایش راندمان مصرف آب آن مزرعه داشته باشد.

- خاکورزی حفاظت شده[1]؛ عملیات خاکورزی حداقلی باعث افزایش ترسیب کربن و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌شود. این دستاورد باعث تولید بیشتر به ازای مصرف آب کمتر خواهد شد.

- توسعه و اصلاح سامانه‌های تحت فشار؛ هنوز بخش زیادی از اراضی زراعی و باغی استان به صورت سنتی (غرقابی) آبیاری می‌شوند، آبیاری به این روش به دلیل بالا بودن سهم دو مولفه تبخیر از سطح خاک و نفوذ عمقی در مقایسه با تعرق گیاه با راندمان بسیار پایینی روبرو است. از سوی دیگر، آبیاری تحت فشار اگر چه توانسته است راندمان مصرف آب را افزایش دهد ولی هنوز هدررفت آب در این سامانه‌ها قابل توجه است. استفاده از سامانه آبیاری تحت فشار قطره‌ای زیرسطحی می‌تواند کارکرد خوبی در کاهش سهم مولفه‌های هدررفت آب داشته باشد.

- رعایت الگوی کشت و تهاتر محصولات؛ برخی از محصولات زراعی مانند ذرت، در فصل گرم سال (فصلی که با کمبود آب و افزایش تقاضا همراه است) مصرف آب بالایی دارد. می‌توان کشت محصولات مقاوم به خشکی را جایگزین این محصولات کرد. بدین وسیله تأمین محصولات پرآب مانند ذرت منطبق بر نیاز استان می‌تواند با معامله پایاپای سایر محصولات با استان‌های دیگر تأمین شود.

- توسعهٔ کشت گیاهان علوفه‌ای مقاوم به خشکی؛ نیاز علوفهٔ استان عمدتاً با کشت گیاه پرآب‌بر یونجه تامین می‌شود. گیاهانی مانند نخود علوفه‌ای، ماشک و ... دارای نیاز آبی بسیار کم هستند، به طوری که می‌توانند در مناطق با بارندگی ۴۰۰ میلی‌متر به صورت دیم کشت شوند و در مناطق کم باران‌تر با یک الی دو بار آبیاری رشد مناسبی دارند. از سوی دیگر از نظر کیفیت و کمیت همانند و بلکه بهتر از یونجه می‌باشند. کشت تناوبی این گیاهان با غلات از دیگر مزایای آنها است و به علت تثبیت نیتروژن خاک، بر رشد غلات اثر مثبتی دارند.

- توسعهٔ کشت گیاهان دارویی؛ قبلاً پتانسیل کشت چندین گیاه دارویی در سطح اراضی کشاورزی استان مورد بررسی قرار گرفته و نتایج آن نشان داد که هم از نقطه نظر تحمل اقلیمی (سرمایی و گرمایی) و هم از نقطه نظر مصرف آب، کشت این گیاهان در مقایسه با گیاهان زراعی و صنعتی ارجحیت دارد.

- بکارگیری فناوری‌های نوین مانند سنجش از دور و فناوری هسته‌ای؛ فناوری‌های نوین کاربرد زیادی در تعیین هوشمند زمان‌بندی و میزان آبیاری دارند. چنین سامانه‌ای مبتنی بر تعیین میزان آب در بافت اندام هوایی گیاه بوده و زمان ورود گیاه به تنش رطوبتی را تعیین و هشدار لازم را برای آغاز آبیاری می‌دهد. فناوری هسته‌ای نیز قادر به تخمین رطوبت محیط از طریق آشکارسازی نوترون کند شده در برخورد با مولکول‌های $H_2O$ است.

- ایجاد تصفیه‌خانه برای شهرک‌های صنعتی؛ هر شهرک صنعتی به‌تنهایی و یا چندین واحد صنعتی با هم، باید به یک تصفیه‌خانه مدرن مجهز باشند و فاضلاب آنها تا حد استاندارد مورد نیاز برای کشاورزی تصفیه شده و در اختیار اراضی کشاورزی مجاور قرار گیرد.

## منابع


آقائی روزبهانی، امین و سیفی، عباس. (۱۴۰۱). پویایی‌شناسی منابع آب قم. *مهندسی سیستم و بهره‌وری*، ۲(۳)، ۲۵-۷.

جوادی پاشایی، کوروش؛ سجادی‌فر، سیدحسین؛ احمدپور برازجانی، محمود و نجیبی فینی، عبدالعظیم. (۱۳۹۵). سنجش اثر فعالیت‌های اقتصادی ایران بر تقاضای آب، زمین و انسان در سال ۱۳۹۱، رهیافت جدول داده – ستانده. *آب و توسعه پایدار*، ۳(۱)، ۲۳-۳۰. https://doi.org/10.22067/jwsd.v3i1.58453

خوش‌روش، مجتبی و نیکزاد طهرانی، اسماعیل. (۱۳۹۷). ارزیابی سناریوهای مختلف مدیریت منابع آب دشت تالار با استفاده از مدل‌سازی آب زیرزمینی و سیستم‌های یکپارچه منابع آب. *مهندسی آبیاری و آب ایران*، ۹(۱)، ۱۰۱-۸۹.


[1] No-tillage

رجبی، احمد. (۱۳۹۸). بررسی اثرات احداث سد در توسعه فیزیکی و تغییرات مناطق بالا دست و پایین دست سد با استفاده از سنجش از دور (مطالعه موردی: سد ۱۵ خرداد قم). *کاربرد سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور در برنامه‌ریزی*، ۴(۱۰)، ۲۷-۴۶. https://sanad.iau.ir/Journal/gisrs/Article/934725

زرگرپور، رسول و نورزاد، علی. (۱۳۸۸). ارایه مدل مفهومی و تدوین الگوی مدیریت یکپارچه منابع آب با تأکید برامنیت آبی کشور. *تحقیقات منابع آب ایران*، ۵(۳)، ۱۳-۱. https://sid.ir/paper/463196/fa

یزدان‌پناه، طلا؛ خداشناس، سعیدرضا؛ داوری، کامران و قهرمان، بیژن. (۱۳۸۷). مدیریت منابع آب حوضه آبریز با استفاده از مدل WEAP (مطالعه موردی: حوضه ازغند). *آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)*، ۲۲(۱)، ۲۱۳-۲۲۲. https://sid.ir/paper/452964/fa

Aghaei. Rozbahani, A. and Seifi, A. (2022). Dynamics of Qom water resources. *System and Productivity Engineering*, 2(3), 25-7. (In Persian).

Babaeian, I., Modirian, R., Karimian, M. & Zarghami, M. (2015). Simulation of climate change in Iran during 2071-2100 using PRECIS regional climate modelling system. *Desert*, 20(2), 123-134. https://doi.org/10.22059/jdesert.2015.56476.

Bouklia-Hassane, R., Yebdri, D. & El-Bari Tidjani, A. (2016). Prospects for a larger integration of the water resources system using WEAP model: a case study of Oran province. *Desalination and Water Treatment*, 57(13), 5971-5980, https://doi.10.1080/19443994.2014.984341.

Ghamghami, M. & Irannejad, P. (2019). An analysis of droughts in Iran during 1988-2017. *Applied Science*, 19(1), 1217–1221. https://doi.org/10.1007/s42452-019-1258-x.

Hamlat, A., Errih, M. & Guidoum, A. (2013). Simulation of water resources management scenarios in western Algeria watersheds using WEAP model. *Arabian Journal of Geoscience*s, 6, 2225–2236. https://doi.org/10.1007/s12517-012-0539-0.

Javadi Pashaei, K., Sajjadi Far, H., Ahmadpour Barazjani, M. and Najibi Fini, A. (2015). Measuring the effect of Iran's economic activities on water, land and human demand in 2013, data-output table approach. *Water and Sustainable Development*, 3(1), 23-30. https://sanad.iau.ir/Journal/gisrs/Article/934725. (In Persian).

Khosh-Ravesh, M. and Nikzad Tehrani, I. (2017). Evaluation of different water resources management scenarios in Talar Plain using underground water modeling and integrated water resources systems. *Iran Irrigation and Water Engineering*, 9(1), 89-101. (In Persian).

Rajabi, A. (2018). Investigating the effects of dam construction on the physical development and changes in the upstream and downstream areas of the dam using remote sensing (case study: Khordad Qom 15 Dam). *Application of geographic information system and remote sensing in planning*, 4(10), 27-46. https://sanad.iau.ir/Journal/gisrs/Article/934725. (In Persian).

Sardar Shahraki, A. & Emami, S. (2020). An imperialist competitive algorithm (ICA)-based approach to optimize the reservoir storage of the Kahir Dam. *International Journal of Agricultural Management and Developmen*, 10(2), 207-218. https://doi.org/10.22004/ag.econ.335126

Sardar Shahraki, A. Shahraki, J. & Monfared, S.A. (2019). An Integrated Water Resources Management Considering Agricultural Demands and the Assessment of Different Scenarios in Hirmand Catchment, Iran. *Water Resources development: Economic and Legal aspects*, 46, 308–317. https://doi.org/10.1134/S0097807819020143

Yazdan Panah, T., Khodashanas, S.R., Davari, K. and Ghahraman, B. (2009). Water resources management of the catchment area using the WEAP model (case study: Azghand basin). Water and Soil (Agricultural Sciences and Industries), 22(1), 213-222. https://sid.ir/paper/452964/fa. (In Persian).

Zargarpour, R and Noorzad, A. (2010). Presenting a conceptual model and formulating an integrated water resources management model with an emphasis on the country's water security. *Iran Water Resources Research*, 5(3), 1-13. https://sid.ir/paper/463196/fa. (In Persian).

Zegait, R., Bouznad, I.E., Remini, B., Bengusmia, D., Ajia, F., Guastaldi, E., Lopane, N. & Petrone, D. (2024). Comprehensive model for sustainable water resource management in Southern Algeria: integrating remote sensing and WEAP model. *Modeling Earth System and Environment*, 10, 1027–1042. https://doi.org/10.1007/s40808-023-01826-y

Zehtabian, E., Masoudi, R., Yazdandoost, F., Sedghi-Asl, M. & Loáiciga, H.A. (2023). Investigation of water allocation using integrated water resource management approaches in the Zayandehroud River basin, Iran. *Journal of Cleaner Production*, 395, 1-15. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.136339

Zerkaoui, L., Benslimane, M. & Hamimed, A. (2018). Planning and systematic management of water resources by the WEAP model, case of the Mabtouh watershed (northwestern Algeria). *Arabian Journal of Geoscience*s, 11(779), 1-17. https://doi.org/10.1007/s12517-018-4138-6.

# Integrated management of water resources in agriculture, drinking and industry using WEAP software (Case study: Qom province)

## EXTENDED ABSTRACT


**Introduction**

There are many evidences that water resources in many parts of Iran are not in good condition. Economic growth and population increase have caused an increase in the demand for water. On the other hand, the volume of available water is constant and has already been allocated in most regions of the country. The occurrence of successive droughts has made the situation of water resources more critical. One of the most important problems of Qom province is that it is located at the end of the watershed. The implementation of dam construction projects has caused two main rivers (Qarachai and Qomrud) to dry up, which were almost permanent in the past. This shows the necessity of using new technologies in the process of water distribution and purification, improving the infrastructure of water sources, etc. In this region, the integrated management of water resources that takes into account the long-term development of the hydrosystem is important.

**Materials and methods**

In this research, the water assessment and programming model (WEAP) was use for the allocation, management and simulation of water resources. The design of a WEAP model is based on water supply and demand nodes. 2014 was considered as the blue base year. According to the objectives of the research, four scenarios were defined for the period from 2020 to 2039. Reference scenario: extraction of underground resources only as much as renewable water resources, two percent annual growth of population, industrial units and animal husbandry and changes in river flow based on the pessimistic scenario of climate change. Level 1 management scenario: All the defaults of the reference scenario, in addition to a gradual reduction (two percent annually) of water demand in agriculture, with the perspective of a 50 percent reduction in agricultural water consumption in 2039. Management scenario level 2: All the assumptions of the management scenario level "1" in addition to staggered savings in the urban and industrial sector (one percent per year) with the perspective of a 20 percent reduction in consumption in this sector in 2039. Management scenario level 3: All the assumptions of the management scenario level "2" in addition to the reuse of urban and industrial wastewater (creating a treatment plant). In the WEAP environment, four points of urban, industrial, agricultural and animal husbandry needs were created, respectively, with water supply priority 1 to 4.

**Results and discussion**

In the agricultural and industrial sector of Qom province, the appropriate management models of this sector were explained to increase the efficiency of water consumption under several management scenarios. In the reference scenario, renewable water sources are able to provide 100% of the province's water demand in the cold months of the year. But in hot months, a sharp decrease in coverage percentage is observed. This reduction is greater for agriculture and animal husbandry due to the greater need and priority 3 in modeling. The coverage percentage of the agriculture and animal husbandry sector reaches nearly 60% in the months of August and September. Under this scenario, both urban and industrial sectors are associated with a drop in coverage percentage in some months. Based on the allocation of water based on the policies of the "3" level management scenario, The sum of the two main factors of reducing the annual agricultural water demand at a rate of 2.5% and establishing a water treatment plant with an annual growth of 1%, by providing a part of the agricultural demand, is able to meet the province's water demand completely from renewable sources.

**Conclusion and suggestions**

The findings of the WEAP water allocation model showed that following the policies of the two main management components, i.e. reducing water consumption in the agricultural sector at an annual rate of two percent and treating urban and industrial wastewater to cover part of the need with an annual growth rate of one percent. In addition to providing the province's total water demand from renewable sources, it is capable of reviving underground water tables with an annual growth rate of one percent. In other words, if the policies of the level 3 management scenario are followed, At the end of the vision period (2039 AD), water consumption in the agricultural sector (without reducing the cultivated area or crop yield) has decreased by 50% and the efficiency of water consumption has increased by the same amount. Also, the aquifer of the province will be restored by 20%.



**Keywords:** *modeling, wastewater recycling, water efficiency*.