نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۵، جلد ۱۴، آذر - دی ۱۳۹۹، ص. ۱۷۲۱-۱۷۰۸

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 5, Vol. 14, Oct.-Nov. 2020, p. 1708-1721

مقاله علمی-پژوهشی

رویکرد به‌هم پیوسته آب، انرژی و غذا در مدیریت منابع آب (مطالعه موردی: محدوده مشهد)

وحیده صفایی[۱]، یاور پورمحمد[۲]، کامران داوری[۳*]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۳/۱۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۶/۱۳

چکیده

جمعیت رو به رشد جهان به‌خصوص در کشورهای درحال‌توسعه از یک‌سو و عدم مدیریت صحیح در تأمین منابع مورد نیاز این جمعیت از سوی دیگر، برداشت بی‌رویه از منابع را به دنبال داشته است. مدیریت هم‌بست آب، غذا و انرژی با هدف تأمین امنیت، مستلزم رویکردهای یکپارچه برای تجزیه‌وتحلیل است تا قادر به برنامه‌ریزی صحیح و مقرون به صرفه باشد. کشور ایران، با اقلیم خشک و نیمه‌خشک و منابع محدود آب، اکنون بیش از قبل نیازمند حفظ منابع آب، غذا و انرژی است. با توجه به اهمیت این موضوع، در این پژوهش، به یکی از بحرانی‌ترین دشت‌های ایران، یعنی محدوده مطالعاتی مشهد، پرداخته شده است. در این پژوهش، از نرم‌افزار WEAP برای مدیریت منابع آب و غذا و نرم‌افزار LEAP برای مدیریت بخش انرژی استفاده شد. از سال ۱۳۸۸ تا افق ۱۴۱۹ وضعیت منابع آب و انرژی با توجه به مصارف و نرخ رشد جمعیت در این دو نرم‌افزار بررسی شد. به‌منظور ارزیابی رویکرد هم‌بست، دو سناریو مطرح گردید: سناریوی اول وضعیت منابع و مصارف را بدون در نظر گرفتن رویکرد هم‌بست و سناریوی دوم همان شرایط را با در نظر گرفتن رویکرد هم‌بست نشان می‌دهد. اطلاعات ورودی دو نرم‌افزار داده‌های مربوط به حوزه آبریز، منابع، مصارف، داده‌های اقلیمی، اطلاعات نیروگاه‌ها و میزان مصرف انرژی است. پس از بررسی و مقایسه نتایج حاصل از هر دو سناریو مشخص گردید در سناریوی دو و با در نظر گرفتن رویکرد هم‌بست وضعیت منابع آب زیرزمینی در سال ۱۴۱۴ به حداقل خود می‌رسد درصورتی‌که در سناریو یک و بدون در نظر گرفتن رویکرد هم‌بست این شرایط در سال ۱۴۱۷ رخ خواهد داد. در نتیجه با مدیریت به‌هم پیوسته منابع آب و انرژی، وضعیت حوزه آبریز مشهد بسیار بحرانی‌تر از زمانی است که رویکرد هم‌بست در نظر گرفته نشده باشد.

واژه‌های کلیدی: آب، انرژی و غذا، سیاست‌گذاری آب، مدیریت یکپارچه منابع آب، هم‌بست، LEAP ،WEAP

مقدمه

پیاده‌سازی مدیریت یکپارچه منابع آب نیازمند برقراری توازن میان اهداف متعارض است. افزایش توسعه در جوامع و عدم مدیریت منابع در زمان رشد جمعیت به‌خصوص در کشورهای درحال‌توسعه، برداشت بی‌رویه از منابع را به دنبال داشته است (Pourmohamad et al., 2019). نقش آب در استخراج انرژی بسیار حائز اهمیت است و مواردی ازجمله استخراج، تولید و فرآوری سوخت‌های فسیلی و تولید برق را در برمی‌گیرد. انرژی نیز در استخراج آب زیرزمینی و بهره‌برداری از منابع آب سطحی اهمیت فراوانی دارد و مواردی همچون انتقال، توزیع، تصفیه و جمع‌آوری آب را شامل می‌شود. هر دو منبع آب و انرژی برای تولید مواد غذایی در بخش کشاورزی مورد نیاز است که عمدتاً برای آبیاری، تولید و فرآوری محصولات کشاورزی استفاده می‌شوند (Kaddoura and El Khatib, 2017). با توجه به اهداف سازمان ملل متحد در رویکرد توسعه پایدار جوامع، پژوهشگران راه‌حل‌های میان‌رشته‌ای را برای دستیابی به نوعی تعادل پویا در تولید و مصرف منابع ارائه داده‌اند. یکی از رویکردهایی که در این راستا مورد توجه پژوهشگران واقع شد رویکرد هم‌بست آب، انرژی و غذا است. (شاه‌محمدی و همکاران، ۱۳۹۶). آب، انرژی و غذا به‌رغم داشتن تفاوت‌های ذاتی، از دیدگاه سیستمی شباهت‌های فراوانی دارند. به دلیل ارتباط نزدیک از دیدگاه سیستمی و اثر متقابل آن‌ها بر یکدیگر، امروزه مفهوم جدیدی به نام هم‌بست مطرح شده است Oki (and Kanae, 2006). این دیدگاه اشاره به ذات به‌هم‌پیوسته و اثرات متقابل این منابع سه‌گانه بر یکدیگر دارد. لافورد و همکاران در سال ۲۰۱۳ طی پژوهشی در چین، رویکرد پیوند آب، انرژی و غذا را رویکردی مؤثر در پیشبرد مسائل مربوط به آب و پایداری محیط

۱- دانشجوی دکتری هواشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران
۲- دکتری آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران
۳ استاد گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران
(*- نویسنده مسئول: (Email: k.davary@gmail.com

تشخیص دادند. همچنین، در مطالعه‌ی خود، پروژه‌هایی که در بحث حکمرانی به ارتباط این سه منبع توجه دارد را دارای اولویت بالا دانستند (Lawford et al., 2013). در این راستا، ویکاکسونو و کنگ در سال ۲۰۱۹ پژوهشی را با موضوع شبیه‌سازی پیوند آب، غذا و انرژی در دو کشور کره جنوبی و اندونزی ثبت کردند. شاخص قابلیت اطمینان منابع و ارزیابی نتایج مطالعه در دو کشور نشان داد که مدل‌های شبیه‌ساز می‌توانند امنیت منابع آب، غذا و انرژی را در شرایط آینده با قابلیت اطمینان بالایی بررسی کنند و گرودارن می‌توانند از این ابزارها در تصمیم‌گیری‌های خود بهره‌مند شوند (Wicaksono and Kang, 2019). رویکرد پیوند آب و انرژی زمانی بهترین نتیجه را در بر دارد که مدیریت یکپارچه منابع آب و انرژی هر یک به درستی صورت پذیرد. در واقع، می‌توان این‌طور بیان نمود که مدیریت یکپارچه آب و انرژی پیش‌زمینه‌ای برای حصول نتیجه مطلوب از رویکرد هم‌بست آب و انرژی است (Karlberg et al., 2015). به‌منظور پیاده‌سازی رویکرد هم‌بست در این پژوهش، با توجه به دیگر ابزارها، از دو نرم‌افزار مدل‌ساز تخصصی «مدل ارزیابی و برنامه‌ریزی آب (WEAP[1])» در حوزه آب و «سیستم برنامه‌ریزی گزینه‌های انرژی در بلندمدت (LEAP[2])» در حوزه انرژی برای تحلیل در بخش آب، انرژی و کشاورزی استفاده شد (Kaddoura and El Khatib, 2017).

عدم دسترسی حوضه آبریز مشهد–چناران به آب‌های آزاد، سبب شده تا نیاز حقابه‌بران اغلب از طریق منابع آب زیرزمینی تأمین گردد. تولید غذا و انرژی در این محدوده علی‌رغم رفع نیاز جمعیت این دشت به خارج از حوزه صادر می‌شود؛ این اقدام وضعیت منابع آب این حوزه را به‌شدت تحت تأثیر قرار داده است. بنابراین، این پژوهش در محدوده مطالعاتی مشهد که یکی از بحرانی‌ترین حوضه‌های آبریز کشور می‌باشد، انجام شده است. هدف از این تحقیق انجام مطالعه موردی و کاربست دو ابزار مدل‌سازی WEAP و LEAP به‌عنوان ابزارهای تحلیل «هم‌بست آب، انرژی و غذا» است. هدف عالی از این تحقیق گشایش مسیری برای انتقال تکنولوژی و نیز فراهم آوردن ابزاری مناسب به‌منظور ارائه‌ی راه‌حلی برای حل مناقشات آبی پیشرو در محدوده مطالعاتی مشهد است. ازجمله محدودیت‌های این مطالعه می‌توان به اطلاعات کم از آبخوان دشت مشهد اشاره کرد. با توجه به نو بودن این تحقیق در خصوص رویکرد هم‌بست، کاری بین‌رشته‌ای است که نیاز به مطالعه زیاد و رایزنی با اساتید و خبرگان داخل و خارج از ایران را در دو رشته آب و انرژی می‌طلبید. علاوه بر آن اطلاعات گسترده مورد نیاز نرم‌افزارها و محدودیت‌های اطلاعاتی و داده‌ها در این محدوده از دیگر محدودیت‌های تحقیق به شمار می‌آید.

1- Water Evaluation And Planning System
2- Long-range Energy Alternatives Planning System

مواد و روش‌ها

مدل‌های مرتبط

در سال ۲۰۱۵ هشت ابزار برای مدل‌سازی رابطه پیوندی توسط آژانس بین‌المللی انرژی‌های تجدید پذیر[3] معرفی شد که محققان زیادی به بررسی قابلیت مدل‌سازی این ابزارها و مزایا و معایب آنان پرداختند (Kaddoura and El Khatib, 2017). مدل ارزیابی و برنامه‌ریزی آب (WEAP) با نگرش توسعه پایدار و مدیریت پیوسته آن، در قالب یک ابزار سودمند برای تحلیل سیاست‌ها و برنامه‌ریزی منابع آب طراحی‌شده است. WEAP تصمیمات مربوط به توسعه و مدیریت آب را در سطح حوضه در مقیاس‌های مکانی و زمانی متفاوت برای آینده بررسی می‌کند (Pourmohamad et al., 2012; SEI, 2008). نرم‌افزار سیستم برنامه‌ریزی انرژی در بلندمدت (LEAP) ابزاری به‌منظور مدل‌سازی جامع انرژی– اقتصاد– محیط‌زیست است. مدل‌ساز LEAP محیطی برای ساختاربندی داده‌ها، محاسبه تراز انرژی، سناریوهای پیش‌بینی عرضه و تقاضا و ارزیابی سیاست‌های جایگزین ایجاد می‌کند (Purkey, 2012). داده‌های ورودی این دو نرم‌افزار به نسبت دیگر ابزارها به‌راحتی توسط کاربر قابل تنظیم بوده و در قسمتی که داده‌های آن به‌طور کامل در دسترس نباشد کاربر می‌تواند این ابزارها را با داده‌های محدود موجود ایجاد نماید (صفایی و همکاران، ۱۳۹۸). محدودیت دسترسی به داده‌های حوضه آبریز مشهد و ویژگی‌های ذکر شده برای هر دو نرم‌افزار WEAP و LEAP سبب شد تا از این نرم‌افزارها برای پیاده‌سازی مدیریت هم‌بست آب، غذا و انرژی در این محدوده مطالعاتی استفاده شود.

پیوند دو ابزار LEAP و WEAP می‌تواند نمود رویکرد هم‌بست را تسهیل بخشیده و توجیه کند. در پیوند این دو ابزار که به‌طور هم‌زمان اجرا می‌شوند، از طریق یک مرکز کنترل به یکدیگر وصل شده و به‌صورت پویا داده‌ها را ردوبدل می‌نمایند. به این معنا که هرکدام از این ابزارها داده‌های مورد نیاز خود را از دیگری دریافت نموده و در تحلیل‌ها به کار می‌گیرد. در این مطالعه، ابتدا با کمک مدل WEAP، منابع و مصارف آب در محدوده موردمطالعه مدل‌سازی شد. در گام بعد، برای اعمال رویکرد پیوندی از مدل LEAP استفاده شد بدین‌صورت که در قسمت تولید، نیروگاه‌های تولید برق و در سمت تقاضا، مشترکین مصرف‌کننده انرژی در نظر گرفته می‌شوند و برای پیش‌بینی وضعیت آینده به بررسی وضعیت تولید و عرضه پرداخته شده است. درنهایت، در هر یک از دو مدل، دو سناریو با رویکرد هم‌بست و بدون آن اعمال می‌شود که پس از لینک نمودن دو نرم‌افزار وضعیت آب، و انرژی و غذا در منطقه مشخص مورد بررسی قرار می‌گیرد.

3- International Renewable Energy Agency (IRENA)

محدوده موردمطالعه

محدوده مطالعاتی مشهد در غرب حوضه قره‌قوم و در شمال استان خراسان رضوی، در محدوده به طول جغرافیایی ۵۸ درجه و ۲۰ دقیقه تا ۶۰ درجه و ۸ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۰ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۳ دقیقه شمالی واقع شده است. مساحت محدوده فوق برابر با ۹۹۰۸ کیلومترمربع بوده و ارتفاع متوسط آن از سطح دریا برابر با ۱۴۹۷ متر است (گزارش مدیریت به‌هم پیوسته منابع آب حوضه‌آبریز کشف‌رود (مطالعات اجتماعی)، ۱۳۸۸). بر اساس آخرین مطالعات بیلان منابع آب میانگین بارش ۴۵ ساله در سطح محدوده مطالعاتی مشهد، ۲۷۰ میلی‌متر است. شکل ۱، موقعیت محدوده مطالعاتی مشهد و مرز شهرستان‌ها را نشان می‌دهد.

بر اساس آخرین مطالعات بیلان منابع آب، میانگین بارش ۴۵ ساله در سطح محدوده مطالعاتی مشهد، ۲۷۰ میلی‌متر است. منابع آب سطحی این محدوده شامل سدها، رودخانه‌ها، آبراهه‌ها و مسیل‌ها بوده که عمدتاً دارای رژیم برفی بارانی است (آقایی، ۱۳۹۲). مهم‌ترین رودخانه آن کشف‌رود می‌باشد که از سرشاخه‌های رودخانه هریرود بوده و درنهایت به کویر قره‌قوم در خاک ترکمنستان می‌ریزد. (گزارش مدیریت به‌هم پیوسته منابع آب حوضه‌آبریز کشف‌رود (مطالعات اجتماعی)، ۱۳۸۸). در محدوده مطالعاتی مشهد سدهای کارده، طرق، ارداک، دولت‌آباد، اسجیل، چالی‌دره و بند گلستان جهت برداشت از منابع آب سطحی در دست بهره‌برداری هستند و با احداث سد دوستی روی رودخانه هریرود در مرز ایران و افغانستان، انتقال آب به شهر مشهد از طریق خط لوله نیز صورت می‌گیرد (گزارش سیمای طرح و برنامه‌ریزی منابع آب، ۱۳۸۸). منابع آب زیرزمینی مهم‌ترین بخش تأمین‌کننده آب مورد نیاز شهری، صنعت و کشاورزی این محدوده است. آبخوان محدوده مطالعاتی مشهد از نوع آبرفتی و آزاد است که وسعت آن برابر ۲۷۲۴ کیلومترمربع می‌باشد (مدیریت به‌هم پیوسته منابع آب حوضه کشف‌رود (آب‌های زیرزمینی)، ۱۳۸۸). تولید انرژی الکتریکی در دشت مشهد از طریق چهار نیروگاه حرارتی و بخار به نام‌های فردوسی، مشهد، شریعتی و طوس صورت می‌گیرد (شرکت مادر تخصصی تولید نیروی برق حرارتی، ۱۳۹۶). مهم‌ترین مصرف‌کننده آب و انرژی محدوده مطالعاتی مشهد بخش کشاورزی است. گندم و جو از مهم‌ترین محصولات این دشت می‌باشند که در همه شهرستان‌های واقع در محدوده کشت می‌شوند (گزارش مدیریت به‌هم پیوسته منابع آب (مدیریت تقاضای کشاورزی، ۱۳۸۸).

شکل ۱- موقعیت حوضه آبریز مشهد و شهرستان‌ها در استان خراسان رضوی

آماده‌سازی اطلاعات

پیش از برقراری ارتباط بین دو نرم‌افزار و رویکرد هم‌بست بین منابع/مصارف آب، انرژی و غذا، با استفاده از اطلاعات موجود به آماده‌سازی داده‌ها و ورود آنان به نرم‌افزارهای WEAP و LEAP پرداخته شد. چارچوب کلی این پژوهش در این دو نرم‌افزار در شکل ۲ نمایش داده می‌شود. در این شکل به تمامی موارد ارائه‌شده به‌جز بخش تبدیل غذا به انرژی پرداخته می‌شود. در بخش تبدیل غذا به انرژی در محدوده مطالعاتی مشهد اقدامات گسترده‌ای به انجام نرسیده است لذا در این پژوهش از آن چشم‌پوشی می‌شود.

در این تحقیق برای ورود اطلاعات به نرم‌افزار WEAP و بررسی دقیق‌تر سفره‌ی آب زیرزمینی دشت مشهد، حوضه آبریز براساس ارتفاع خطوط تراز سطح آب به سه قسمت تفکیک شد. در نرم‌افزار LEAP اطلاعات مربوط به عرضه و تقاضا انرژی الکتریکی مدل‌سازی می‌شود. در هر دو مدل، سال ۱۳۸۸ به‌عنوان سال پایه انتخاب شد. شبیه‌سازی مدل برای دوره زمانی بلندمدت صورت گرفته که این بازه از اولین سال بعد از سال پایه آغاز شده و تا افق موردنظر (سال ۱۴۱۹ هـ. ش) ادامه یافته است.

شکل ۲- چارچوب مفهومی رویکرد هم‌بست آب، غذا و انرژی در پژوهش حاضر

ورود اطلاعات به نرم‌افزار WEAP

داده‌های مربوط به آب سطحی

مهم‌ترین رودخانه این محدوده مطالعاتی، کشف‌رود است که با طول تقریبی ۱۷۴ کیلومتر دارای آورد متوسط سالانه ۲۷/۸ میلیون متر مکعب در محل ایستگاه اولنگ‌اسدی واقع در خروجی محدوده مطالعاتی است. چندین رودخانه مهم دیگر در این محدوده وجود دارند که از سرشاخه‌های رودخانه کشف‌رود بوده که در فاصله شمال تا جنوب به این رودخانه می‌ریزند (گزارش مدیریت به‌هم‌پیوسته منابع آب حوضه آبریز کشف‌رود، ۱۳۸۸). در این مطالعه، اطلاعات مربوط به ۲۲ ایستگاه هیدرومتری از سال ۱۳۶۲ تا ۱۳۹۶ به‌صورت ماهانه از شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی دریافت شد. عملیات آماری (آزمون همگنی و آزمون یافتن داده پرت) روی داده‌ها صورت گرفت که داده‌ها پس از مرتب‌سازی به نرم‌افزار وارد شدند.

سدهای واقع شده در این محدوده عبارت‌اند از کارده، طرق، ارداک، دولت‌آباد، اسجیل، چالی‌دره و بند گلستان که جهت مدیریت منابع آب سطحی در دست بهره‌برداری هستند. سد دوستی یکی از مهم‌ترین منابع تأمین‌کننده نیاز آبی شهر مشهد است. این سد روی رودخانه هریرود در مرز ایران و افغانستان در سال ۱۳۸۴ احداث و بهره‌برداری شد. متوسط سالانه حجم آب انتقالی از سد دوستی به مشهد بین ۳۰ تا ۷۵ میلیون مترمکعب است. حجم تنظیمی کل مخازن سدها در محدوده مطالعاتی بدون احتساب سد دوستی معادل ۶/۷۵ میلیون متر مکعب می‌باشد (شرکت مهندسین مشاور هیدروتک توس، ۱۳۸۸).

داده‌های مربوط به آب زیرزمینی

آبخوان حوضه آبریز مشهد از نوع آبخوان آبرفتی و آزاد است. وسعت این دشت برابر ۲۷۲۴ کیلومتر مربع است که سالانه ۱۱۰۵ میلیون مترمکعب از منابع آب زیرزمینی موجود در این محدوده مطالعاتی شامل چاه‌های عمیق و نیمه‌عمیق، قنوات و چشمه‌ها برداشت می‌شود (گزارش مدیریت به‌هم پیوسته منابع آب حوضه آبریز کشف‌رود (آب‌های زیرزمینی)، ۱۳۸۸ و شرکت مهندسین مشاور هیدروتک توس، ۱۳۸۸). میزان برداشت از سفره آب زیرزمینی از مجموع برداشت‌های مجاز و غیرمجاز چاه‌ها، قنوات و چشمه‌ها در سال ۱۳۸۸ به دست آمد. اطلاعات دقیقی در ارتباط با میزان تغذیه آبخوان مشهد در دست نیست، لذا، در این پژوهش، میزان تغذیه طبیعی سفره آب زیرزمینی نسبت به حجم بارش و بارش مؤثر برآورد گردید. لازم به ذکر است که آبخوان حوضه آبریز مشهد از حوضه‌های اطراف تغذیه نمی‌شود.

جریان بین دو حوضه آب زیرزمینی با استفاده معادله دارسی محاسبه می‌گردد. معادله‌ی دارسی تنها در شرایطی که جریان آب از نوع لایه‌ای یا آرام است، اعتبار دارد. این معادله در هیدروژئولوژی به‌طور گسترده‌ای برای توصیف حرکت آب‌های زیرزمینی در آبخوان به کار می‌رود:

$$Q = -K \times A \times \frac{dh}{dl} \quad (۱)$$

در این معادله، Q دبی جریان آب (مترمکعب بر ثانیه)، A سطح مقطع جریان (متر مربع)، $\frac{dh}{dl}$ گرادیان هیدرولیکی (بدون بُعد) و K هدایت هیدرولیکی (متر بر ثانیه) است.

تصفیه‌خانه‌های فاضلاب

اطلاعات مربوط به تصفیه‌خانه‌ها از شرکت‌های آب و فاضلاب شهری و استانی دریافت شد. تصفیه‌خانه‌های فاضلاب واقع در محدوده مطالعاتی مشهد عبارت‌اند از پرکندآباد ۱ و ۲، اولنگ، خین‌عرب، شاندیز، طرقبه، گلبهار و التیمور. ظرفیت روزانه تصفیه‌خانه‌های فاضلاب این محدوده بین ۲۰۰۰ تا ۸۳۰۰۰ متر

مکعب متغیر است. تصفیه‌خانه‌های فاضلاب موجود در این محدوده در دو زیرحوضه میانی و پایین‌دست متمرکز هستند که به دو دسته برای زیرحوضه میانی و دو دسته برای حوضه پایین‌دست تقسیم‌بندی شدند. تفاوت این دسته‌بندی‌ها در سال بهره‌برداری آنان می‌باشد.

داده‌های مربوط به حوضه آبریز

داده‌های مورد نیاز این بخش، محصولات کشاورزی، مساحت زیرحوضه، ضریب گیاهی، بارش مؤثر، بارش، تبخیر و تعرق و میزان مصرف آب می‌باشد.محصولات کشاورزی محدوده مطالعاتی مشهد شامل محصولات باغی و زراعی (دیم و آبی) است. داده‌های مورد نیاز آن از سازمان جهاد کشاورزی خراسان رضوی دریافت شد. مساحت زیر کشت محصولات زراعی و باغی از سال ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۴ مورد بررسی قرار گرفت و نهایتاً مهم‌ترین محصولات حوضه آبریز مشهد که دارای بیشترین سطح زیر کشت بوده‌اند انتخاب شدند و درصد مساحت هر محصول نسبت به مساحت هر زیرحوضه در نرم‌افزار وارد گردید. روش تجربی هارگریوز- سامانی برای محاسبه تبخیر و تعرق استفاده شد زیرا علاوه بر استفاده از داده‌های کمتر، مطابقت خوبی با اقلیم خشک و نیمه‌خشک دارد (توکلی، ۱۳۹۰). ضریب گیاهی محصولات زراعی و باغی با استفاده از جداول ۱۱ و ۱۲ گزارش ۵۶- FAO محاسبه شد. در جدول ۱، اهم محصولات کشاورزی حوضه آبریز مشهد و نیز درصد زیر کشت آنان ارائه گردیده است.

جدول ۱- محصولات کشاورزی محدوده مطالعاتی مشهد

نوع محصول	گروه محصولات	محصول	نام (لاتین)	درصد زیر کشت هر محصول نسبت به مساحت حوضه
زراعی	غلات	جو، گندم	Barley, Wheat	۱۰/۴۱۵
	محصولات صنعتی	چغندرقند	Sugar Beet	۰/۱۶۷
	حبوبات	نخود	Pea	۰/۴۰
	محصولات جالیزی	خربزه، خیار	Melon, Cucumber	۱/۲۴۹
	سبزیجات	پیاز، گوجه‌فرنگی	Onion, Tomato	۰/۸۴۸
	نباتات علوفه‌ای	یونجه، ذرت علوفه‌ای	Alfalfa, Forage Corn	۰/۹۵۲
	سایر محصولات	هندوانه بذری	Water Melon	۰/۷۴
باغی	میوه‌های دانه‌دار	سیب، گلابی	Apple, Pear	۱/۴۱۳۸
	میوه‌های هسته‌دار	آلبالو، گیلاس، آلو	Cherry, Plum	۰/۹۵۳
	میوه‌های دانه‌ریز	انگور، توت درختی	Grapes, Berries	۱/۲۶۸
	میوه‌های خشک	بادام، گردو	Almond, Walnut	۱/۵۷۱۶
سایر		مرتع	Pasture	۸۴/۳۴۷

داده‌های باران‌سنجی: در این تحقیق، با توجه به ۳۴ ایستگاه مربوط به باران‌سنج‌ها و نیز اهمیت ارتفاع در عمق بارش از روش کوکریجینگ برای پهنه‌بندی حوضه استفاده شد. سپس مقدار متوسط بارندگی ماهانه برای هر زیرحوضه به دست آمد که به نرم‌افزار معرفی شد.

داده‌های مربوط به مصارف شرب

اغلب مصرف‌کنندگان آب شرب، ساکنین نواحی شهری و روستایی هستند. شیوه زندگی، تعیین‌کننده سرانه آب مورد نیاز شهر و روستا می‌باشد. گره‌های شهری واقع در محدوده مطالعاتی مشهد شامل شهرهایی می‌باشند که در جدول ۱ ذکر شده‌اند. گره‌های روستایی، روستاهای شهرستان‌های مشهد، بینالود (طرقبه- شاندیز)، چناران و بخشی از قوچان می‌باشد. با توجه به اطلاعات دریافتی از شرکت‌های آب و فاضلاب، سرانه مصرف آب در شهرها و روستاهای مختلف محدوده مطالعاتی، به ازای هر نفر بین ۲۵ تا ۲۰۰ متر مکعب متغیر است که تفاوت آن به علت مصرف آب برای باغ‌های اطراف شهرهای بینالود و مشهد است. این باغ‌های کوچک اغلب ملک شخصی بوده و از آب شرب شهری برای آبیاری سبزی‌ها و درختان میوه خود استفاده می‌کنند.

داده‌های مربوط به مصارف صنعت

تعداد ۷ شهرک صنعتی شامل شهرک‌های صنعتی چناران، ماشین‌سازی، توس، فردوسی (چهارطاقی)، مشهد (محور جاده کلات)، چرم‌شهر و شهرک صنعتی شماره ۵ در دشت مشهد قرار دارد (شرکت مهندسین مشاور هیدروتک توس، ۱۳۸۸). آب مورد نیاز این بخش حدود ۲۴/۶ میلیون مترمکعب است که از منابع آب زیرزمینی و از طریق چاه‌های واقع در زیرحوضه میانی و بالادست تأمین می‌گردد. میزان آب مورد نیاز صنایع با توجه به گزارش‌ها و شرکت آب و فاضلاب استان خراسان رضوی و شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی به دست آمد.

اولویت تخصیص آب‌بران

طبق استانداردهای جهانی، همیشه تأمین آب جهت شرب در اولویت قرار دارد. اولویت تخصیص آب به حقابه‌بران در حوضه موردمطالعه به ترتیب، نیاز آب شهری و روستایی (اولویت ۱)، صنعت (اولویت ۲) و درنهایت کشاورزی (اولویت ۳) می‌باشد.

ورود اطلاعات به نرم‌افزار LEAP

داده‌های مربوط به انرژی

داده‌های مورد نیاز بخش انرژی از ارگان‌های دولتی و خصوصی و نیز از نشریه آمار تفصیلی صنعت برق ایران، ویژه توزیع برق، جمع‌آوری شده است. لازم به ذکر است که در این بخش هدف بررسی کمی منابع بوده و به مباحث اقتصادی پرداخته نمی‌شود. داده‌های مورد نیاز در این بخش داده‌های مربوط به منابع و مصارف می‌باشد که شامل نیروگاه‌ها و اتلاف انرژی و داده‌های مربوط به میزان مصرف مشترکین بخش‌های مختلف است.

منابع انرژی تجدیدپذیر

محدوده مطالعاتی مشهد تنها دارای یک نیروگاه بیوگاز است و نیروگاه بادی و خورشیدی و نیز سد برق‌آبی در این محدوده وجود ندارد. نیروگاه بیوگاز مشهد که در سال ۱۳۸۸ افتتاح شد، سالانه بیش از ۴ میلیون کیلووات ساعت برق را به شبکه تحویل می‌دهد. این نیروگاه قادر است برق مصرفی حدود ۶۰۰ خانوار مشهدی را با استفاده از گاز حاصله از زباله‌های دفن شده در محل کارخانه کمپوست فراهم نماید (یزدان‌داد و همکاران، ۱۳۹۰).

منابع غیرتجدیدپذیر

مشخصات چهار نیروگاه محدوده مطالعاتی مشهد به‌اختصار در جدول ۲ آمده است.

جدول ۲- مشخصات نیروگاه‌های مورد نیاز برای نرم‌افزار LEAP (شرکت مادر تخصصی تولید نیروی برق حرارتی، ۱۳۹۶)

نیروگاه	قدرت اسمی	میانگین قدرت عملی	سوخت مصرفی			بازده حرارتی	راندمان
			گازوییل	گاز	نفت کوره		
	مگاوات	مگاوات	هزار لیتر	هزارمتر مکعب	هزارلیتر	کیلوکالری بر کیلووات-ساعت	درصد
نیروگاه مشهد	۱۳۳	۱۳۳	۳۹۸۰	۳۳۱۲۵۷	-	۱۷۴۹	۳۱/۳
	۱۹۶	۱۶۸	۵۲۹۶	۱۷۳۷۴۰	-	۳۰۷۶	۲۸
نیروگاه توس	۶۰۰	۶۰۰	۵۷۴	۵۴۳۸۳۰	۳۶۰۰۸۲	۲۳۶۴	۳۶/۴
نیروگاه شریعتی	۱۵۰	۱۲۰	۱۰	۸۳۲۰۶	-	۳۸۵۵	۲۲/۳
	۳۴۶	۲۹۲	۷۶۸۹۳	۵۰۹۲۸۱	-	۱۸۳۱	۴۷
نیروگاه فردوسی	۹۵۴	۷۶۲	۲۴۴۸۲	۷۶۱۰۱۹	-	۲۷۸۸	۳۰/۹
مجموع	۲۳۷۹	۲۰۷۵	۱۱۱۲۳۵	۲۴۰۲۳۳۳	۳۶۰۰۸۲	۲۷۷۷	۳۲/۶۵

اطلاعات مربوط به تعداد مشترکین برق شهرستان‌های واقع در حوزه آبریز مشهد از شرکت‌های توزیع برق استان خراسان رضوی و مشهد دریافت گردید. این اطلاعات شامل تعداد و میزان انرژی تحویلی به مشترکین به صورت سالانه است که با کمک این اطلاعات سرانه مشترکین هر بخش به دست آمد. از دیدگاه شرکت‌های توزیع برق، مشترکین متقاضی انرژی به ۶ دسته کلی خانگی، عمومی، کشاورزی، تجاری، صنعتی و معابر تقسیم می‌شوند. برای پیش‌بینی وضعیت مشترکین در دوره آماری مدل، نرخ رشد بلندمدت هر مشترک دریافت شد.

واسنجی و اعتبارسنجی

در این تحقیق با کمک ابزار PEST Calibration به واسنجی مدل پرداخته شد. واسنجی در این حوضه با مقایسه مقادیر اندازه‌گیری شده دبی جریان در ایستگاه هیدرومتری و مقادیر شبیه‌سازی شده توسط نرم‌افزار انجام می‌شود. ایستگاه هیدرومتری اولنگ‌اسدی واقع در انتهای رودخانه کشف‌رود به عنوان نقطه خروجی حوضه به‌منظور واسنجی مدل معرفی شد. واسنجی برای بازه زمانی ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۳ و با استفاده از تغییر پارامترها ارائه‌شده در جدول ۳، صورت پذیرفت. پس از واسنجی مدل مشخص گردید، مدل نسبت به ۴ پارامتر حساسیت نشان می‌دهد. تعیین اعتبار مدل به‌منظور اثبات صحت واسنجی اجرا می‌شود. در این بخش از سال‌های آبی ۱۳۹۳ تا ۱۳۹۶ به‌عنوان دوره اعتبارسنجی استفاده گردیده است. مهم‌ترین علت انتخاب این بازه‌های زمانی برای اعتبارسنجی، در دسترس بودن داده‌های واقعی در بخش منابع و مصارف می‌باشد. با توجه به آمار حاصل‌شده از شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی در رابطه با میزان مصارف و جریان در رودخانه‌ها لذا خروجی مدل WEAP با اطلاعات حاصله مقایسه شد و همسانی داده‌ها تأیید گشت.

جدول ۳- محدوده مجاز و مقدار نهایی پارامترهای واسنجی مدل

پارامترهای واسنجی	عدد اولیه	بازه		نهایی
		حداقل	حداکثر	
ماکزیمم جریان انتقالی از سد دوستی به شهر مشهد	۵۲/۵	۳۰	۷۵	۵۲/۳
سرانه مصرف آب شهر مشهد	۷۶/۵	۵۰	۱۰۳	۵۰
بارش مؤثر بر حوضه آبریز	۸۵	۷۵	۹۵	۸۵
بارش مؤثر کشاورزی	۸۰	۷۰	۹۰	۷۰
میزان مصرف آب در بخش کشاورزی	۵۵	۳۰	۸۰	۳۱/۵۲
میزان مصرف آب در بخش خانگی	۲۰	۱۰	۳۰	۲۹/۸۱

سناریوها

سناریوی یک: سناریوی بدون رویکرد هم‌بست

این سناریو همان سناریوی مرجع می‌باشد که در غیاب هرگونه سیاست توسعه‌ای و یا طرح‌های توسعه منابع آب برای آینده آزمایش خواهد شد. به‌عبارت‌دیگر می‌توان گفت سناریوی پایه تنها رشد جمعیت منطقه و میزان مصارف و منابع آب را تا انتهای افق مطالعه (از سال ۱۳۸۸ تا ۱۴۱۹) مدنظر دارد که با فرض عدم اجرای طرح‌های جدید توسعه منابع آب و انرژی بررسی می‌شود.

سناریوی دو: سناریوی رویکرد هم‌بست

این سناریو با در نظر گرفتن ارتباط بین آب، انرژی و غذا طرح شده است. برای تولید انرژی نیاز به مصرف آب است؛ به‌طوری‌که نیروگاه‌های تولید برق حاضر در محدوده مطالعاتی مشهد همگی برای خنک‌سازی توربین‌های بخار، گاز و سیکل‌های ترکیبی حجم بالایی از آب را مصرف می‌کنند. تولید انرژی الکتریکی به ازای هر مگاوات در ساعت، حجم آبی بالغبر ۲/۶۲ مترمکعب مصرف می‌کند (شرکت مادر تخصصی تولید نیروی برق حرارتی، ۱۳۹۶). در این قسمت، سعی می‌شود با کمک تلفیق دو نرم‌افزار، اهمیت رویکرد هم‌بست در مدیریت کمی آب، انرژی و غذا بررسی شود. پس از تشکیل سناریو و ارتباط دادن این دو نرم‌افزار، به بخش نیاز آبی مربوط به نیروگاه پرداخته می‌شود. این عمل با کمک فراخوانی میزان تولید انرژی از نرم‌افزار LEAP به نرم‌افزار WEAP شکل می‌گیرد. درمجموع، میزان نیاز آبی نیروگاه‌ها به ازای تولید برق با توجه به ظرفیت اسمی همان نیروگاه تعیین شد.

تولید غذا نیازمند مصرف آب و انرژی می‌باشد. در بخش کشاورزی محدوده موردمطالعه، آب مورد نیاز اغلب از منابع آب زیرزمینی برداشت می‌شود. برداشت آب از منابع آب زیرزمینی نیازمند صرف انرژی است. میزان انرژی که صرف حصول آب از هر چاه کشاورزی می‌شود، با استفاده از قاعده حرکت نیوتن قابل‌محاسبه است. به‌منظور تعیین میزان انرژی الکتریکی مصرفی در بخش کشاورزی لازم است میزان آب حاصله از چاه‌ها مشخص گردد که از مدل WEAP این مقدار به‌صورت پویا فراخوان می‌شود. در این صورت نرم‌افزار LEAP با فراخوانی میزان مصرف آب توسط بخش کشاورزی می‌تواند میزان برق مورد نیاز این بخش را برای آینده شبیه‌سازی کند. انرژی صرف شده برای خروج هر لیتر آب از چاه با کمک قاعده حرکت نیوتن محاسبه می‌گردد. اعداد حاصله از معادله در راندمان پمپ‌ها ضرب شده تا انرژی مصرفی مشخص شود.

نتایج و بحث

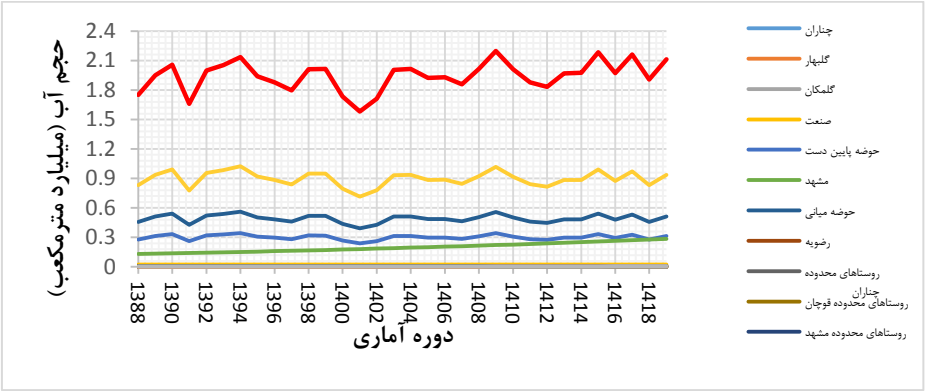
نتایج مربوط به ترکیب دو مدل WEAP و LEAP برای حوضه آبریز مشهد به صورت کلی شامل شش قسمت تقاضای آب، درصد پوشش نیاز آبی، مخزن آب زیرزمینی، تقاضای انرژی و تولید انرژی است. در این بخش، نتایج حاصل از کاربرد مدل‌ها در هر یک از شش قسمت مذکور به ترتیب ارائه می‌شود. در هر بخش، نتایج حاصل از سناریوهای دو مدل WEAP و LEAP برای دوره آماری ۳۰ ساله (از سال ۱۳۸۸ تا ۱۴۲۰) همراه با تحلیل نتایج سناریوها ارائه می‌شود.

تقاضای آب[1]

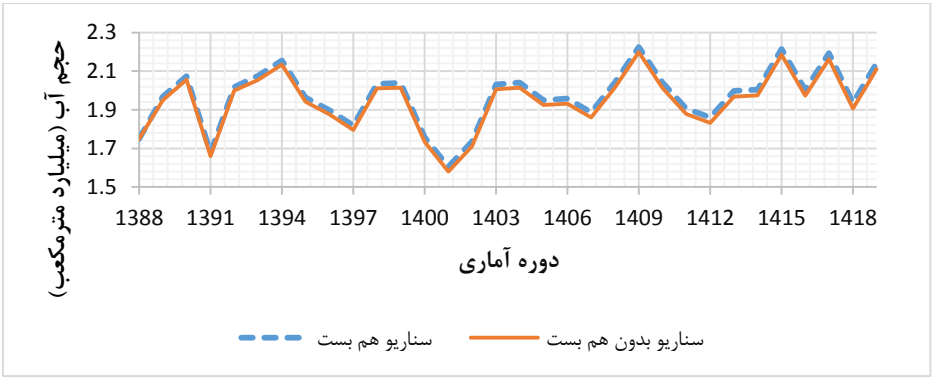
تقاضای آب در کل حوضه بدون در نظر گرفتن هدررفت[2]، استفاده مجدد[3] و ضرایب مدیریتی[4] برای تمامی نقاط متقاضی آب در نظر گرفته شده است. نقاط نیاز حوزه آبریز شامل نیاز شهری و روستایی، صنعتی و کشاورزی (در هر زیرحوضه) می‌باشد. در شکل ۳، وضعیت تقاضای آب در سناریوی اول (سناریوی بدون رویکرد هم‌بست) برای هر نقطه نیاز و کل تقاضای حوضه برحسب میلیارد مترمکعب نسبت به طول دوره‌ی آماری ارائه‌شده است. تقاضای آب

1- Water Demand
2- Loss
3- Reuse
4- Demand Side Management (DSM)

شهری و روستایی به نسبت نرخ رشد جمعیت روند صعودی و یا نزولی را در دوره زمانی طرح دنبال می‌کند، نرخ رشد جمعیت در کل شهرهای واقع در این محدوده مثبت و روند تقاضای آب درحال رشد است. اما به دلیل نرخ منفی رشد جمعیت در اغلب روستاهای این حوضه، روند تقاضای آب برای این بخش در حال کاهش است. شهر مشهد با توجه به نرخ رشد مثبت و جمعیت زیاد آن در نمودارها روند رو به رشد بارزتری را نشان می‌دهد. در بخش صنعت، به دلیل کم بودن میزان آب موردتقاضا و دارا بودن حداقل نوسان، از ابتدا تا انتهای دوره زمانی ثابت فرض شده است. تقاضای آب کشاورزی با توجه به نیاز آبی گیاه در طول دوره رشد، بسته به میزان تبخیر و تعرق و بارش دارای نوساناتی است. به دلیل ثابت فرض شدن سطح زیر کشت در مدل‌سازی، متوسط میزان نوسانات در این بخش از ابتدا تا انتهای دوره ثابت می‌باشد. در شکل ۴، تفاوت تقاضای آب در دوره زمانی (۱۴۱۹-۱۳۸۸) تحت دو سناریوی تعریف‌شده، نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل ۴ نشان داده شده است، علت تقاضای بیشتر آب در سناریو هم‌بست مربوط به در نظرگرفتن نیاز آبی بخش انرژی و کشاورزی به‌طور دقیق‌تر می‌باشد که تقاضای آب در این حالت به واقعیت نزدیک‌تر است.



شکل ۳- مجموع تقاضای آب برای انواع مصارف در محدوده مطالعاتی مشهد



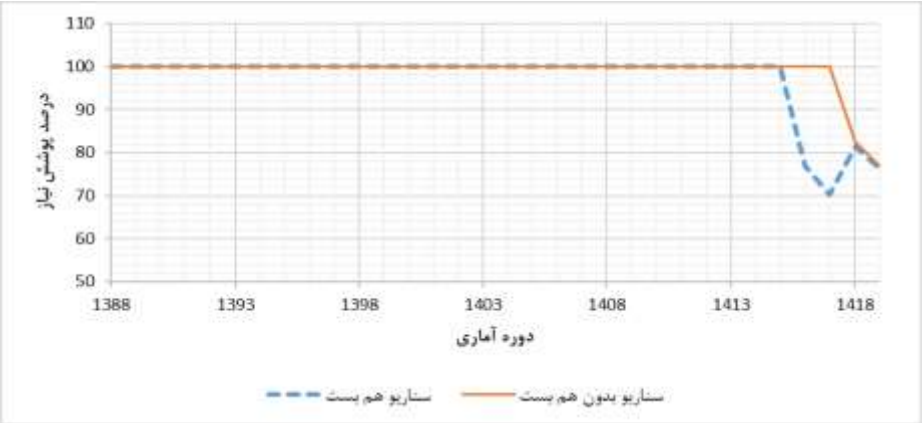
شکل ٤- مقایسه دو سناریو (سناریوی بدون رویکرد هم‌بست با رویکرد هم‌بست) برای تقاضای آب در محدوده مطالعاتی مشهد

درصد پوشش نیاز آبی[1]

درصدی از نیاز آبی که توسط منابع تأمین می‌گردد را درصد پوشش می‌نامند. درصد پوشش نیاز هر یک از گره‌ها (با توجه به هدررفت، استفاده مجدد و ضرایب مدیریتی) از صفر درصد (بدون آب تحویلی) تا ۱۰۰ درصد (تحویل کامل آب مورد نیاز) گزارش می‌شود. در شکل ۵، در انتهای دوره زمانی، کاهش درصد پوشش نیاز آبی برای برخی از نقاط نیاز (نقاط نیاز کشاورزی پایین‌دست، میانی و بالادست، صنعت و نیاز شهر مشهد) مشهود است. با قیاس دو سناریو در شکل ۶ مشاهده می‌شود که در سناریو دوم که با رویکرد هم‌بست همراه است کاهش درصد پوشش نیاز آبی آب‌بران زودتر از سناریو یک که بدون در نظر گرفتن رویکرد هم‌بست است رخ می‌دهد که علت این اختلاف مربوط به نرخ افزایش جمعیت و خشکسالی که در این سال‌ها تکرار شده است، می‌باشد.

1- Coverage

شکل ۵- درصد پوشش نیاز آبی محدوده مطالعاتی مشهد



شکل ٦- مقایسه دو سناریو (سناریو بدون رویکرد هم‌بست و با رویکرد هم‌بست) برای درصد پوشش نیاز به آب محدوده مطالعاتی مشهد

ذخیره آب زیرزمینی[1]

همان‌طور که در بخش‌های قبل بیان شد، سفره آب زیرزمینی دشت مشهد به سه قسمت زیرحوضه بالادست، میانی و پایین‌دست تقسیم‌بندی شد. نتایج وضعیت ذخیره آب زیرزمینی در پایان هر سال برای این سه زیرحوضه در شکل ۷ نمایش داده شده است. افت سطح آب زیرزمینی زیرحوضه بالادست شیبی تندتر از زیرحوضه میانی و درنهایت زیرحوضه پایین‌دست دارد. علت شیب تند حوضه بالادست از دیگر زیرحوضه‌ها، عدم تغذیه سفره از حوضه آبریز بالادست و بیشتر بودن سطح زیر کشت در این زیرحوضه می‌باشد. دلیل افت زیرحوضه میانی، وجود تعداد بیشتر چاه‌های این زیرحوضه به علت بخش کشاورزی این قسمت به همراه نیاز شهر مشهد است که روند این افت را تسریع می‌بخشد. در شکل ۸، به مقایسه دو سناریو پرداخته شده است. در سناریوی هم‌بست مشاهده می‌شود که نرخ کاهشی حجم آبخوان‌ها بیشتر از زمانی می‌باشد که به رویکرد هم‌بست توجه نمی‌شود. کاهش سطح آب زیرزمینی در سناریو هم‌بست نسبت به سناریو بدون هم‌بست با روند سریع‌تری اتفاق می‌افتد. دلیل این اختلاف آن است که نیاز آب کشاورزی و نیروگاه‌ها بیش‌تر از آب زیرزمینی این حوضه تأمین می‌گردد و در این سناریو این موضوع با دقت بالاتری سنجیده می‌شود.

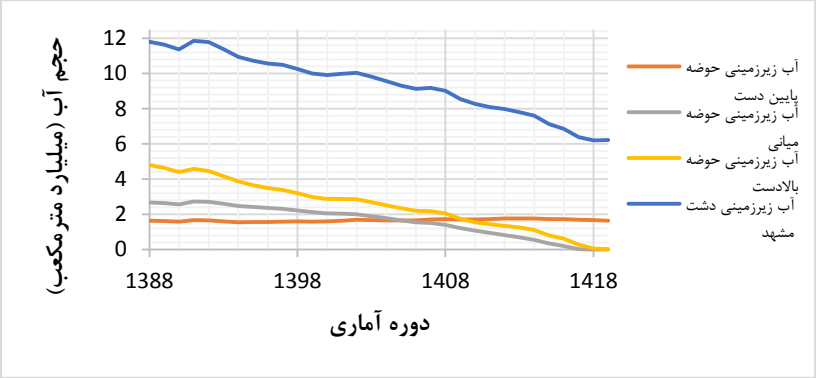
تقاضای انرژی

این گروه از نتایج، تقاضای انرژی نهایی در یک یا چند شاخه‌ی تقاضا را نشان می‌دهد. میزان انرژی موردتقاضای مشترکین محدوده مطالعاتی مشهد در شکل ۹ آورده شده است. شکل ۱۰ نیز مقایسه دو سناریوی هم‌بست و بدون هم‌بست را نمایش می‌دهد.

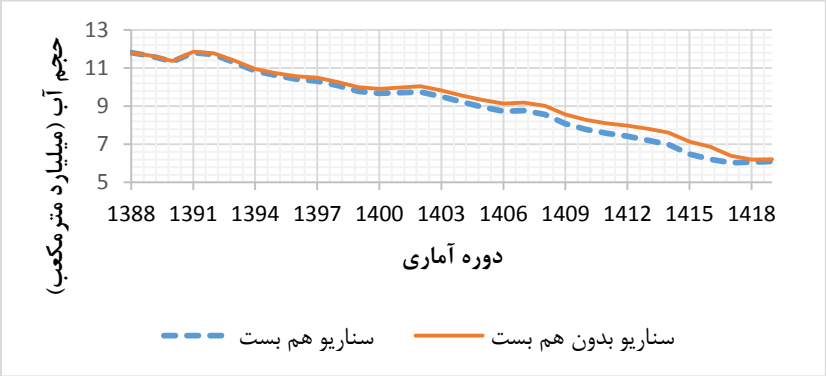
تولید انرژی

تولید انرژی شامل بخشی است که توسط نیروگاه‌ها تأمین می‌شود. در این قسمت باید توجه شود که مقدار انرژی تولید شده توسط نیروگاه‌ها ممکن است بیشتر یا کمتر از الزامات تعیین‌شده برای هر نیروگاه در بخش تولید باشد و این وابسته به ظرفیت نیروگاه‌ها و گزینه‌های وارد شده از هر نیروگاه مانند راندمان، قدرت نامی، قدرت عملی، بازده حرارتی در نرم‌افزار وارد می‌شود.

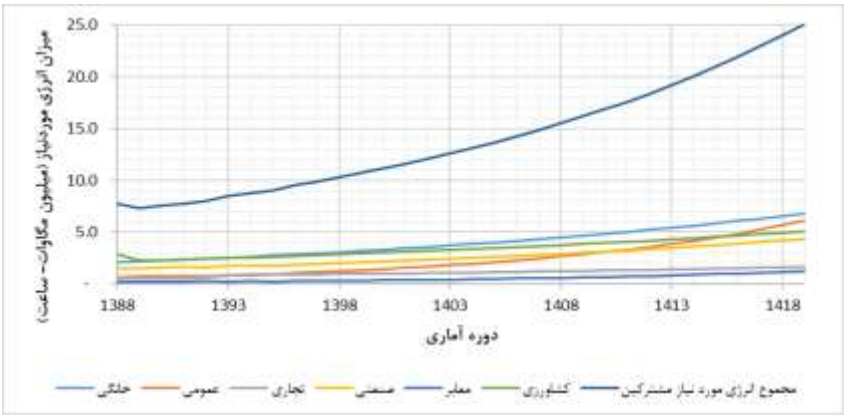
1- Groundwater Storage



شکل ۷- وضعیت آب زیرزمینی دشت مشهد در طول دوره آماری



شکل ۸- مقایسه دو سناریو (سناریوی بدون رویکرد هم‌بست و رویکرد هم‌بست) برای وضعیت منابع آب زیرزمینی دشت مشهد



شکل ۹- میزان انرژی مورد نیاز مشترکین محدوده مطالعاتی مشهد

جدول ٤- میزان انرژی تولید شده در محدوده مطالعاتی مشهد برحسب میلیون مگاوات- ساعت

سال	1388	1391	1394	1397	1400	1403	1406	1409	1412	1415	1418	1419
سناریو هم‌بست	8.7	27.8	26.6	32.5	38.7	44.8	49.5	56.0	63.9	76.9	90.7	104.4
سناریو بدون هم‌بست	8.7	8.7	9.8	11.1	12.5	14.2	16.0	18.2	20.7	23.6	27.0	28.2

شکل ۱۰- مقایسه سناریوها برای میزان انرژی مورد نیاز مشترکین محدوده مطالعاتی مشهد

شکل ۱۱- مقایسه سناریوها برای میزان انرژی تولید شده در محدوده مطالعاتی مشهد

در شکل‌های ۱۰ و ۱۱ مشاهده می‌شود که نتایج حاصل از دو سناریو بر هم منطبق نیست. در هر دو شکل مشاهده می‌گردد در زمان برقراری سناریوی رویکرد هم‌بست میزان تقاضا و به‌تبع آن تولید روند رو به رشد بیشتری از سناریوی بدون هم‌بست دارد. در این مدل، در هر دو سناریو، این میزان انرژی در طول دوره آماری رو به افزایش است. روند افزایش نمودار تولید و تقاضا در سناریوی اول بیشتر از سناریوی دوم می‌باشد، بدین‌صورت که در سناریوی هم‌بست با توجه به ثابت فرض نمودن سطح زیر کشت در بخش کشاورزی، هرچه به انتهای دوره آماری نزدیک می‌شود روند افزایش بیشتر می‌گردد. افت سطح آب زیرزمینی و صرف انرژی بیشتر برای استخراج آب از چاه و نیز در نظر گرفتن نرخ رشد مشترکین کشاورزی علل تمایز دو سناریو می‌باشد.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق، به‌منظور پرداختن به رویکرد هم‌بست آب، غذا و انرژی، با برقراری پیوند بین دو نرم‌افزار WEAP و LEAP برای حوضه آبریز مشهد، منابع و مصارف تا افق ۱۴۱۹ بررسی شد. با توجه به رویکرد هم‌بست عملکرد سه بخش آب، غذا و انرژی بر هم سنجیده شد. در این راستا دو سناریو، یکی بدون در نظر گرفتن رویکرد هم‌بست و تنها با شبیه‌سازی وضعیت موجود حوضه و دیگری با رویکرد هم‌بست با در نظر گرفتن نیاز آب و انرژی در بخش نیروگاه و کشاورزی، طرح گردید و اثرات آن بر منابع آب محدوده مطالعاتی مشهد مورد بررسی قرار گرفت. نتیجه‌گیری نهایی این تحقیق نشان داد که سناریوی بدون هم‌بست وضعیت حوضه را تنها با در نظر گرفتن شرایط منابع و مصارف آب مدیریت می‌کند؛ اما در سناریوی هم‌بست، وضعیت حوضه با توجه به مدیریت به‌هم‌پیوسته و رویکرد هم‌بست سه بخش آب، غذا و انرژی بررسی می‌شود که با مقایسه اختلاف این دو سناریو تفاوت در میزان تأمین و تخصیص منابع مشهود است که این موضوع سبب واقعی‌تر شدن نتایج سناریوی هم‌بست می‌شود.

در این پژوهش، پس از واسنجی مدل، مشخص شد که مدل نسبت به پارامترهایی چون بارش مؤثر کشاورزی، میزان مصرف آب در بخش کشاورزی و میزان مصرف آب در بخش خانگی حساسیت نشان می‌دهد. در بخش مربوط به تقاضای آب، نتایج نشان داد که با

در نظر گرفتن رویکرد پیوندی در مدیریت یکپارچه منابع آب، تقاضای آب در همه‌ی سال‌ها افزایش داشته است. درمجموع، وضعیت آبخوان در کل دشت با نرخ رشد منفی در حال کاهش می‌باشد که در صورت برقراری سناریوی دوم، عدد این نرخ رشد کوچک‌تر (منفی‌تر) می‌باشد. کاهش آب زیرزمینی تأثیر شایانی بر نیاز حقابه‌بران دارد. در سناریوی اول (بدون رویکرد هم‌بست) زمانی که حجم آبخوان به حداقل ممکن می‌رسد (سال ۱۴۱۷)، نیاز کشاورزی بالادست و سپس میانی با عدم تأمین نیاز روبرو می‌شود تا آب مازاد به مصرف شرب شهر مشهد برسد. این شرایط در زمانی که سناریو هم‌بست در نظر گرفته می‌شود از سال ۱۴۱۴ رخ خواهد داد و حجم نیاز تأمین نشده در سایت‌های تقاضا، نزدیک به دو برابر سناریوی اول برآورد گردیده است. در بخش انرژی و بهره‌مندی از مدل LEAP مشخص شد که برای استخراج آب از چاه‌های کشاورزی نیاز به‌صرف انرژی است. در این مدل، در هر دو سناریو، این میزان انرژی در طول دوره آماری رو به افزایش است که در سناریوی هم‌بست بیشتر از سناریو بدون هم‌بست می‌باشد که علت آن نرخ رشد جمعیت و افزایش نیاز کشاورزی به انرژی و آب است که در نتیجه افزایش مصرف انرژی را در به دنبال داشته است. در خاتمه باید در نظر داشت به‌منظور تعیین بهترین رویکرد مدیریتی و ارائه آن به برنامه‌ریزان منابع آب و انرژی محدوده مطالعاتی پیشنهاد می‌شود که با توجه به مدل منابع و مصارف با رویکرد پیوندی آب، غذا و انرژی، سناریوهای مدیریتی مختلفی در راستای جلوگیری از افت سطح سفره آب زیرزمینی مورد بررسی قرار گیرد. در تعریف این سناریوها لازم است لزوم تهیه و تولید غذا و انرژی به‌اندازه نیاز حوزه مدنظر قرار گیرد تا مدیریت برداشت آب از سفره بهبود یابد. همچنین در این سناریوها توجه به کیفیت آب زیرزمینی و نیز اهمیت به واردات غذا و انرژی در حوزه مورد عنایت متصدیان مدیریت منابع آب قرار گیرد.

منابع

آقایی، س. ۱۳۹۲. مدیریت به‌هم پیوسته منابع آب دشت مشهد–چناران با استفاده از مدل WEAP. پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.

پورمحمد، ی.، موسوی بایگی، م.، علیزاده، ا.، و ضیایی، ع. ۱۳۹۶. برآورد بهره‌وری آب محصولات عمده دشت نیشابور و بهینه‌سازی سطح زیر کشت محصولات. فصلنامه آب‌وخاک ۳۱ (۱). ۱۱۲–۱۲۶.

توکلی، ا. ۱۳۹۰. برآورد تبخیر و تعرق مرجع در شرایط کمبود داده (مطالعه موردی؛ استان خراسان شمالی). پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.

شاهمحمدی، ع.، مفاخری، ص.، ویسی، ه.، و خوشبخت، ک.۱۳۹۶. رهیافتی برای دستیابی به توسعه پایدار پیوند آب، غذا و انرژی. شبکه مطالعات سیاست‌گذاری عمومی یافته‌های پژوهشی سیاستی. شاپا:۲۴۲۳–۵۳۸۵.

شرکت مهندسی مشاور طوس آب، ۱۳۸۸. مدیریت به‌هم پیوسته منابع آب (IWRM) حوضه‌آبریز کشف‌رود، گزارش جلد هفتم: مطالعات اجتماعی.

شرکت مهندسی مشاور طوس آب، ۱۳۸۸. مدیریت به‌هم پیوسته منابع آب (IWRM) حوضه‌آبریز کشف‌رود، گزارش جلد نهم: منابع آب (آب‌های زیرزمینی).

شرکت مهندسین مشاور هیدروتک توس، ۱۳۸۸، کتاب آب استان خراسان رضوی (محدوده مطالعاتی مشهد).

شرکت مادر تخصصی تولید نیروی برق حرارتی، ۱۳۹۶. مشخصات بهره‌برداری واحدهای نیروگاهی کشور.۱۳۹۷/۰۶/۳۰، دفتر فناوری اطلاعات و آمار.

شرکت مهندسی مشاور طوس آب، ۱۳۸۸. مدیریت به‌هم پیوسته منابع آب (IWRM) حوضه‌آبریز کشف‌رود، گزارش جلد یازدهم: مدیریت تقاضا (کشاورزی).

شرکت مهندسی مشاور کاوش پی مشهد، ۱۳۸۸. گزارشات سیمای طرح برنامه‌ریزی منابع آب سد ارداک.

شرکت مهندسی مشاور کاوش پی مشهد، ۱۳۸۸. گزارشات سیمای طرح برنامه‌ریزی منابع آب سد چالیدره.

شرکت مهندسی مشاور کاوش پی مشهد، ۱۳۸۸. گزارشات سیمای طرح برنامه‌ریزی منابع آب سد دولت‌آباد.

شرکت مهندسی مشاور کاوش پی مشهد، ۱۳۸۸. گزارشات سیمای طرح برنامه‌ریزی منابع آب سد طرق.

شرکت مهندسی مشاور کاوش پی مشهد، ۱۳۸۸. گزارشات سیمای طرح برنامه‌ریزی منابع آب سد کارده.

صفایی، و.، داوری، ک.، و پورمحمد, ی. ۱۳۹۸. ضرورت پیوند آب، انرژی و غذا بر اساس برنامه استراتژیک توسعه پایدار. آب و توسعه پایدار ۶ (۲). ۹–۱۴.

یزدان‌داد، ح.، کریمی، آ.، و فاتحی، ا. ۱۳۹۰. استفاده از انرژی نیروگاه بیوگاز مشهد در راستای حفاظت از محیط‌زیست. اولین کنفرانس بین‌المللی رویکردهای نوین در نگهداشت انرژی. تهران.

Karlberg, L. and Hoff, H. 2015. Tackling complexity: Understanding the food-energy-environment nexus in Ethiopia's Lake Tana Sub-basin. Water Altern. vol. 8.1: 710–734.

Pourmohamad, Y., Shahnazari, A., Emadi, AR., and Ahmadi, MZ. 2012. Effect of Dredging of Wetlands on Variation of Water Allocation in Alborz Dam Watershed Using WEAP Model. J Watershed Manag Res 2: 44-56.

Purkey, D. 2012. Integrated water-energy-emissions analysis: Applying LEAP and WEAP together in California. Policy Brief, SEI.

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.

Wicaksono, A. and Kang, D. 2019. Nationwide simulation of water, energy, and food nexus: Case study in South Korea and Indonesia. Journal of Hydro-Environment Research, 22 (November 2018), 70-87. https://doi.org/10.1016/j.jher.2018.10.003.

Kaddoura, S. and El Khatib, S. 2017. Review of water-energy-food Nexus tools to improve the Nexus modelling approach for integrated policy making. Environ. Sci. Policy, vol. ۷۷, pp. 114–121.

Lawford, R. Bogardi, J. Marx, S. Jain, S. Ringler, C. Wostl, C.P. and Meza, F. 2013. Science Direct Basin perspectives on the Water – Energy – Food Security Nexus. https://doi.org/10.1016/j.cosust.2013.11.005.

Oki, T. Kanae, S. 2006. Global hydrological cycles and world water resources. Science. 313.5790: 1068–1072.

Pourmohamad, Y. Alizadeh, A. Mousavi Baygi, M. Gebremichael, M. Ziaei, A.N. and Bannayan, M. 2019. Optimizing cropping area by proposing a combined water-energy productivity function for Neyshabur Basin, Iran. Agric. Water Manag. vol. 217, no. July 2017, pp. 131-140.

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 5, Vol. 14, Oct.-Nov. 2020, p. 1708-1721

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۵، جلد ۱۴، آذر - دی ۱۳۹۹، ص. ۱۷۲۱-۱۷۰۸

Integrated Approach of Water, Energy and Food in Water Resources Management (Case Study: Mashhad Catchment)

V. Safaee[1], Y. Pourmoohammad[2], K. Davary[3]*

Recived: Jun.07, 2020 Accepted: Sep.07, 2020

Abstract

The growing population of the world, particularly in the developing world, on the one hand, and the need to provide food for this over expanding population on the other, has had nothing but an overwhelming harvest of resources. Integrated water, food, and energy management to ensure security require integrated approaches to analysis to be able to plan correctly and cost-effectively. Iran, with its arid and semi-arid climate and limited water resources, nowadays needs more water, food and energy security than ever before. Considering the importance of the issue, one of the most critical plains of Iran, the Mashhad study area, is discussed. In this study, the WEAP software was used for water and food resources management and LEAP software for energy sector management. From 2009 to the horizon of 2040, the water and energy status resources were studied according to consumption and population growth rate in this two software for the period of 2009-2039. Two scenarios were considered to assess the WEF Nexus approach. The first scenario defined the interaction of resources and consumption without considering the WEF Nexus approach and the second scenario with the WEF Nexus approach. The required information for this two software is including catchment area, resources, consumption, climatic data, power plant information, and energy consumption, etc. After reviewing and comparing the results of both scenarios, it was concluded that the second scenario (considering the WEF nexus approach), the groundwater storage estimated to reach its minimum in 2034. While in the first scenario (without considering the nexus approach), these phenomena will occur in 2037. Finally, it resulted that the integrated management by considering the water, energy, and food nexus approach anticipates the situation of the Mashhad catchment much more critical than when the nexus approach has not been considered.

Keywords: Integrated water resources management, LEAP, Nexus, Policy Making, WEAP, Water-energy-food

1- Ph.D. Student Meteorology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran
2- Ph.D. in Irrigation and Drainage, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran
3- Professor, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran
(*- Corresponding Auther Email: k.davary@gmail.com)