

## تأثیر مصارف و راندمان شبکه‌های آبیاری بر تولید انرژی برقایی در حوضه کارون

حمیدرضا ماجدی<sup>۱</sup>، حسین فتحیان<sup>۱\*</sup>، علیرضا نیکبخت شهبازی<sup>۱</sup>، نرگس ظهراپی<sup>۱</sup>

(<sup>۱</sup>) گروه مهندسی منابع آب، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

\* نویسنده مسئول: Fathian.h58@gmail.com

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۶/۱۷

تاریخ دریافت: ۹۹/۱۱/۰۷

### چکیده

در این پژوهش مدل‌سازی تلفیقی حوزه کارون بزرگ با ظرفیت نیروگاهی ۱۰۵۰۰ مگاوات با سناریوهای چندمنظوره در راستای شبیه‌سازی تخصیص منابع و هیدروانرژی و کاهش تولید گاز گلخانه‌ای مورد توجه قرار گرفت. شبیه‌سازی و توسعه مدل یکپارچه WEAP در یک بازه زمانی پنجاه ساله در کنار توسعه مدل MODFLOW در پهنه‌های آبرفتی که با رودخانه دارای اندرکنش می‌باشند امکان بررسی سیستم یکپارچه منابع آب حوضه را میسر نمود. پس از واسنجی و صحت‌سنجی مدل تلفیقی لینک شده، چندین سناریو اجرا گردید. مولفه‌های تحت پوشش این سناریوها شامل تامین مصارف داخلی و خارجی حوضه، اثر استفاده تلفیقی منابع آب، اثر افزایش راندمان شبکه‌های آبیاری در شرایط حداکثر کردن تولید انرژی پاک برقایی و حداقل کردن افت آبخوان در شرایط کم آبی ناشی از خشکسالی بود. در این راستا سناریو دوم با تولید میزان ۱۵۲۸۲ گیگاوات ساعت انرژی ضمن تامین بهینه نیاز آینده و نیاز زیست‌محیطی به عنوان سناریو برتر بهره‌برداری، حداقل انتشار گاز گلخانه‌ای در حوضه را به دنبال خواهد داشت.

واژه‌های کلیدی: مصارف، راندمان، شبکه‌های آبیاری، انرژی برقایی

## مقدمه

بحران آب ناشی از رشد جمعیت و توسعه اقتصادی مهمترین تهدید جوامع انسانی و یک محدودیت برای توسعه پایدار شناخته شده است. تقاضا برای آب در سطح جهان همگام با رشد جمعیت و با سرعتی بیش از آن به دلیل عواملی چون ارتقا سطح زندگی و بهداشت، گسترش شهرنشینی و صنایع و کشاورزی و نیز اثر تغییر اقلیم در حال افزایش است. تقریباً نیمی از جمعیت جهان در سال ۲۰۳۰ در مناطقی با تنش آبی زندگی خواهند کرد. این درحالی است که تا سال ۲۰۰۰ فقط ۵۰۸ میلیون نفر در مناطقی با تنش یا بحران آبی زندگی می‌کردند. می‌توان گفت در سه دهه آینده میزان جمعیت تحت تاثیر بحران آب از ۸ به ۴۷ درصد افزایش خواهد یافت. تقاضای آبی و انرژی بیشتر قطعاً خسارات زیست‌محیطی به دنبال خواهد داشت (Young et al., 2008). بر اساس شاخص فالکن مارک و نیز شاخص‌های بنیاد کمیسیون توسعه پایدار و موسسه بین‌المللی مدیریت آب، ایران در وضعیت بحران شدید آبی قرار دارد و تا سال ۲۰۲۵ بایستی بتواند ۱۱۲ درصد به منابع آب قابل استحصال خود بیافزاید که غیرممکن به نظر می‌رسد. از نظر منابع آب زیرزمینی نیز میزان متوسط تغذیه کشور حدود ۵۵ میلیارد مترمکعب در سال است در صورتیکه کشور با میزان برداشت بیش از ۶۱ میلیارد مترمکعب در سال مواجهه است. به همین دلایل از دیرباز سیاست‌گذاران منابع آب در چنین مناطقی به روش‌های مدیریت و رفع بحران آب روی آورده‌اند (Hutchinson et al., 2010). شواهد حاکی از گسترش بحران آب ناشی از تصمیم‌های ناپایدار تأمین آب است (Cai et al., 2003). اتخاذ سیاست‌های عرضه محور در نواحی کم آب ممکن است در کوتاه مدت اثربخش بوده لیکن در دراز مدت نتایج ثانویه متفاوتی دارد (Madani et al., 2009). عدم موفقیت در توسعه راه‌های پایدار مدیریت منابع آب در حوضه آبریز نشان‌دهنده دانش ناکافی ما و پیچیدگی‌های سیستم بهم پیوسته منابع آب دارد. استفاده از مدل‌های با رویکرد سیستماتیک و تلفیقی در کنار بهینه‌سازی چند هدفه ابزاری قدرتمند جهت درک اثرات متقابل زیرسیستم‌ها در یک الگوی جامع، مدیریت و برنامه‌ریزی پایدار منابع آب را تسهیل می‌نماید (Mirchi et al., 2010). از سوی دیگر افزایش گازهای گلخانه‌ای باعث افزایش دمای کره‌ی زمین می‌شوند و هرگونه فعالیتی که منجر به افزایش این گازها و به هم زدن تعادل آنها بشود بر روی تمامی کره زمین تأثیرگذار خواهد بود. غلظت گازهای گلخانه‌ای در جو، طی دهه‌های اخیر ۳۵ درصد و دمای زمین حدود یک درجه سانتی‌گراد افزایش یافته است (Copenhagen Accord., 2009). آنچه مسلم است تولید انرژی مورد نیاز بشر، افزایش گازهای گلخانه‌ای را در پی خواهد داشت. با استناد به هیئت بین‌الدولی تغییرات آب و هوایی (IPCC)، تقریباً ۲۷ گیگاتن کربن‌دی‌اکسید از منابع مختلف در دنیا منتشر می‌شود که سهم تولید برق از این مقدار به میزان تقریبی ۱۰ گیگاتن بوده که ۳۷ درصد از انتشار جهانی را شامل می‌شود. به‌علاوه، انتظار می‌رود نیاز به برق طی ۲۰ سال آینده ۴۳ درصد افزایش پیدا کند (Berg., 2011). بر طبق مقررات مکانیسم توسعه پاک که از سازوکارهای پروتکل کیوتو می‌باشد، انتشار گازهای گلخانه‌ای توسط کشورها باید محدود گردد. این تعهد شامل کاهش ۵ درصدی انتشار تا سال‌های ۲۰۰۸ و ۲۰۱۲ نسبت به سال ۱۹۹۰

بوده است در غیر اینصورت کشورها در آینده مشمول جریمه خواهند شد. در این بین کنفرانس آب و هوای سال ۲۰۱۵ پاریس شامل مباحثی درباره چگونگی استفاده از انرژی برقی در قالب یک انرژی تجدیدپذیر برای کاهش انتشار جهانی گازهای گلخانه‌ای بود (The Hydropower Status Report., 2016). بسیاری از کشورها از جمله چین، برزیل و هند، در حال استفاده از انرژی برقی برای عمل به تعهدات خود مبنی بر کاهش گازهای گلخانه‌ای می‌باشند (Jones et al., 2017). این کشورها با ایجاد پروژه‌های نوین در بخش انرژی طی پنج سال گذشته بیش از پنج میلیارد دلار درآمد خالص داشته‌اند و یک درآمد و جریان مالی سالیانه چند میلیارد دلاری را نیز تضمین نموده‌اند.

نگاهی به فهرست طرح‌های مصوب صندوق توسعه ملی کشور ایران و منابع تخصیص یافته از این صندوق مؤید نقش کلیدی تولید انرژی الکتریکی در طرح‌های توسعه ملی است. در تولید انرژی الکتریکی از بین منابع پاک، تولید به صورت برقی، ۹۸/۸ درصد از تولید ملی برق تجدیدپذیر را در کشور ما به خود اختصاص می‌دهد. این فرض صحیح که در صورت کاهش انرژی برقی کسری آن بایستی با روش‌های دیگر که تولید گاز گلخانه‌ای می‌کنند جبران گردد. اهمیت دستیابی به سناریوی جهت بهینه‌سازی تولید انرژی برقی بدیهی است. از سوی دیگر به دلیل حضور بیش از ۹۳ درصد از کل نیروگاه‌های آبی بزرگ نصب‌شده در کشور ایران در حوضه آبریز کارون بزرگ مدیریت یکپارچه منابع آب در این حوضه با دیدگاه بهینه‌سازی تفکیک تخصیص مصارف سطحی و زیرزمینی گره خورده است. تحقیقات زیادی اخیراً در ایران و جهان در این زمینه انجام شده است. Dalir و همکاران (۲۰۱۷)، یک روش مفهومی برای محاسبه ردپای کربن در نیروگاه‌های سیکل ترکیبی کشور ایران را معرفی کردند. Anugrah و همکاران (۲۰۱۵)، تأثیر تغییر اقلیم بر تولید انرژی برقی نیروگاه‌های کوچک در حوضه آبریز باینگ در کشور اندونزی با بکارگیری نرم‌افزار WEAP تحت سناریوهای تغییر اقلیم IPCC یعنی A2 و B2 ارزیابی کردند. Amponsah و همکاران (۲۰۱۴)، نتایج ۷۹ پژوهش که به نوعی با روش ارزیابی چرخه حیات گازهای گلخانه‌ای و تأثیر انواع نیروگاه‌های برقی بر انتشار این گازها مرتبط بود را با هم مقایسه و نتایجی را منتشر کردند. Hadded و همکاران (۲۰۱۳) به توسعه سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری (Descision Support System, DSS) با استفاده از مدل WEAP و MODFLOW برای مدیریت آبخوان ژئوس در جنوب غرب تونس پرداختند. Poblete و همکاران (۲۰۱۲)، منابع آب حوضه رود مائول در کشور شیلی را با سناریو تغییر اقلیم با استفاده از WEAP مدل‌سازی کردند. Raadal همکاران (۲۰۱۱)، دو نوع نیروگاه که کمترین انتشار گازهای گلخانه‌ای را دارا هستند یعنی نیروگاه‌های بادی و برقی را موضوع پژوهش خود قرار دادند. Mugatsia (۲۰۱۰)، مدل منابع آب حوضه پرکرادر کشور کنیا با استفاده از مدل WEAP شبیه‌سازی کرد. وی یک سامانه پشتیبان تصمیم‌گیری برای این حوضه معرفی نمود که می‌تواند برای نتایج و کاربری‌های متفاوتی از آن استفاده شود. Droogers و همکاران (۲۰۰۹)، تأثیر تغییر اقلیم را بر تولید انرژی برقی و سود آن در کنیا با استفاده از مدل WEAP بررسی کردند. Bharati و همکاران (۲۰۰۸) یک مدل پیوسته شبیه‌سازی-بهینه‌سازی تهیه کردند که در آن استفاده همزمان

منابع آب سطحی و زیرزمینی در شبکه آبیاری حوضه ولتا در غنا مورد بررسی قرار گرفت. Haddad و همکاران (۲۰۰۷)، مدل تصمیم‌گیری حوضه‌ی تولکرم در فلسطین را با مدل WEAP اجرا کردند. Weisser (۲۰۰۷)، نتایج مطالعات اخیر در مورد بررسی انتشار گازهای گلخانه‌ای از منابع تولید انرژی الکتریکی را که از روش ارزیابی چرخه حیات استفاده کرده‌اند را مورد مقایسه قرارداد. Hondo (۲۰۰۵)، برای ۹ نوع نیروگاه تولید برق یعنی زغال‌سنگ، نفت، گاز طبیعی، سیکل ترکیبی، هسته‌ای، برقی، زمین‌گرمایی، بادی و فتوولتائیک میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای را به روش ارزیابی چرخه حیات تخمین زد. Miller و Labadie (۲۰۰۳) بهینه‌سازی بهره‌برداری تلفیقی را در مقیاس منطقه‌ای مورد بررسی قرار دادند. آنها از مدل MODFLOW به منظور محاسبه ضرایب ماتریس پاسخ واحد و از مدل MODSIM به عنوان مدل بهینه‌سازی استفاده نمودند.

## روش پژوهش

### منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز کارون بزرگ بخشی از حوضه آبریز خلیج فارس و متشکل از رودخانه‌های دز و کارون بوده که در ارتفاعات زاگرس میانی قرار دارد و قسمت اعظم آن جلگه خوزستان می‌باشد. حوضه آبریز کارون در محدوده ۴۸°۰۰' تا ۵۲°۳۰' طول شرقی و ۳۰°۰۰' تا ۳۴°۰۵' عرض شمالی واقع شده است. این حوضه با مساحت ۶۷۱۱۲ کیلومترمربع از سمت شمال به حوضه آبریز رودخانه‌های قره‌چای، ساوه، گلپایگان و زاینده‌رود، از مغرب حوضه رودخانه کارون، از مشرق به حوضه رودخانه‌های زهره، مارون و جراحی محدود می‌گردد. ۶۸ درصد مساحت حوضه کوهستان ۳۲ درصد آن را دشت و کوهپایه تشکیل می‌دهد. سهم مناطق کوهستانی و پتانسیل بالای آب، مناسب بودن حوضه برای توسعه نیروگاه‌های برقی را نشان می‌دهد. در **Error!** **Reference source not found.** موقعیت حوضه‌ی آبریز کارون بزرگ نمایش داده شده است.

### سیستم منابع آب سطحی یا رودخانه‌ای

رودخانه کارون بزرگ‌ترین و پر آب‌ترین رودخانه‌ی ایران هست که در حوضه آبریز خلیج فارس و دریای عمان جاری است. محدوده حوضه آبریز آن در استان‌های خوزستان، لرستان، چهارمحال و بختیاری، کهگیلویه و بویراحمد و اصفهان قرار دارد. رودخانه دز مهم‌ترین شاخه تشکیل‌دهنده رودخانه کارون می‌باشد که از دو شاخه اصلی و مهم به نام‌های سزار و بختیاری تشکیل می‌شود. در مطالعات هیدرولوژی با استفاده از اطلاعات موجود، دوره آماری ۶۰ ساله از ۱۳۳۴-۳۵ تا ۹۴-۱۳۹۳ به‌عنوان دوره شاخص منطقه انتخاب گردید. آبدهی‌های طبیعی شده رودخانه‌های مورد مطالعه در محل‌های مورد نظر در مدل وارد شد که در جدول (۱) میانگین آبدهی ماهانه و سالانه آنها مشاهده می‌شود. خلاصه اطلاعات مخازن آبی در جدول (۲) ارائه شده است.

جدول ۱: میانگین ماهانه و سالانه آورد رودخانه‌های دز و کارون در محل‌های موردنظر (مترمکعب بر ثانیه)

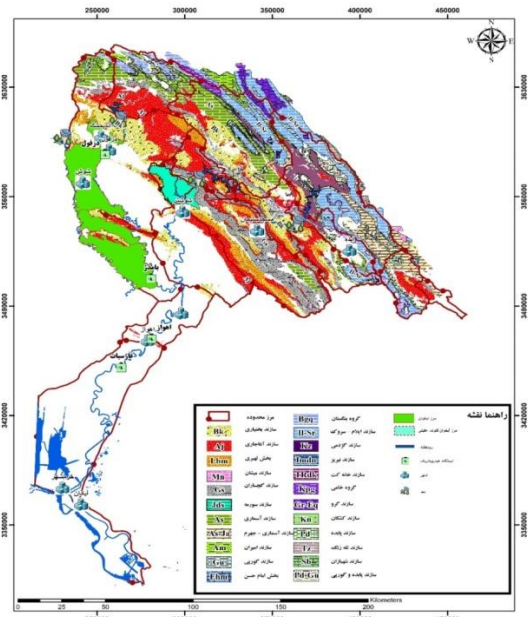
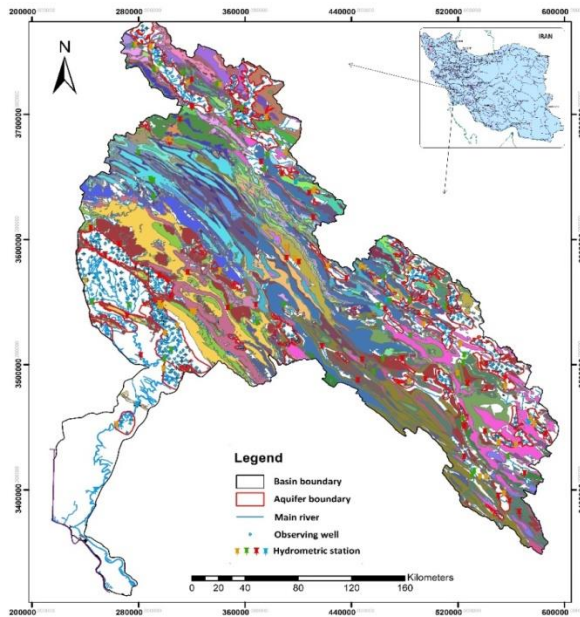
محل	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	سالانه (cms)	سالانه (MCM)
ابتدای رودخانه بختیاری	۴۲/۵	۵۷/۲	۹۰/۸	۹۶/۸	۱۴۳/۱	۲۰۳/۳	۲۹۸/۸	۲۸۷/۳	۱۷۱/۳	۱۰۷/۱	۷۱/۶	۵۲/۷	۱۳۵/۳	۴۲۶۶/۲
تونل سزار	۲۰/۵	۴۷/۳	۸۵/۵	۸۱/۶	۱۲۱/۴	۱۸۱/۳	۲۴۳	۱۸۳/۵	۸۳/۵	۴۳/۶	۳۰	۲۳/۱	۹۵/۴	۳۰۰۷/۱
سد دز	۶/۸	۹/۸	۱۷/۳	۱۹/۷	۲۷/۸	۳۹/۵	۵۴/۴	۴۷/۹	۲۶/۱	۱۵/۷	۱۰/۶	۷/۹	۲۳/۶	۷۴۴/۹
دزفول	۱/۲	۸/۸	۲۱/۵	۲۳/۳	۳۲/۲	۲۸/۶	۲۲/۳	۱۱/۱	۲/۳	۲/۳	۱/۶	۱/۱	۱۲/۳	۳۸۷
ابتدای رودخانه خرسان	۴۱/۱	۳۹/۶	۶۸/۶	۸۸/۱	۱۱۵/۵	۱۶۴/۱	۲۰۰/۶	۱۴۸/۹	۱۲۰/۷	۸۸/۹	۶۶/۷	۵۰/۷	۹۹/۵	۳۱۳۷/۲
سد کارون ۴	۸۶/۴	۹۴/۳	۱۳۹/۲	۱۴۰/۵	۱۸۷/۹	۲۸۹/۱	۴۱۲/۱	۲۷۴/۳	۲۷۲/۳	۱۹۰/۴	۱۳۳۷/۵	۱۰۱/۶	۲۰۲/۱	۶۳۷۴/۳
سد کارون ۳	۶۰/۱	۵۵/۵	۹۶/۷	۹۷/۷	۱۳۰/۶	۲۰۰/۹	۲۸۶/۳	۲۶۰/۱	۱۸۹/۲	۱۳۲/۳	۹۵/۵	۷۰/۶	۱۴۰/۵	۴۴۲۹/۶
محل سد کارون ۲	۱۳۲/۱	۱۴۹/۱	۲۱۵/۲	۲۴۴/۶	۳۱۱/۳	۴۶۷	۶۷۷/۷	۶۰۱/۴	۴۳۱/۱	۲۹۸/۸	۲۱۱/۸	۱۵۸/۳	۳۲۴/۴	۱۰۲۳۱/۸
سد شهید عباسپور	۱/۵	۱۰/۳	۵۱/۱	۴۰/۹	۳۴/۲	۲۸/۲	۲۷/۳	۸/۷	۲/۵	۲/۵	۲	۲	۱۷/۷	۵۵۷/۲
سد گذارلندر	۱/۲	۹/۳	۳۹/۷	۳۲/۴	۲۷/۷	۲۳/۶	۲۱/۷	۷/۵	۲/۷	۱/۹	۱/۵	۱/۵	۱۴/۲	۴۴۸/۵
سد گتوند	۲/۵	۱۹/۸	۳۵/۳	۳۸/۷	۳۷/۱	۶۰/۳	۷۲/۱	۲/۸	۴/۴	۲/۱	۲/۳	۲/۱	۲۶	۸۱۸/۶
بندقیر (کارون)	۱	۶/۶	۱/۶	۶/۱	۲۲	۸/۶	۱۴/۵	۱/۶	۱/۳	۰/۸	۰/۸	۰/۷	۱۱/۶	۳۶۶/۷

جدول ۲: خلاصه اطلاعات مخازن مورد استفاده در محدوده مطالعاتی

عنوان نیروگاه	استان	رودخانه اصلی	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ظرفیت نیروگاه (مگاوات)
کارون ۴	چهارمحال و بختیاری	کارون	۵۳-۳۵-۳۱	۰۵-۲۴-۵۰	۱۰۰۰
کارون ۳	خوزستان	کارون	۴۱-۰۵-۵۰	۰۸-۴۸-۳۱	۲۰۰۰
کارون ۱	خوزستان	کارون	۲۵-۳۶-۴۹	۰۶-۰۳-۳۲	۲۰۰۰
گذارلندر	خوزستان	کارون	۰۱-۲۴-۴۹	۴۰-۰۱-۳۲	۲۰۰۰
گتوند علیا	خوزستان	کارون	۱۰-۵۶-۴۸	۰۸-۱۶-۳۲	۱۵۰۰
دز	خوزستان	دز	۴۹-۲۷-۴۸	۲۰-۳۶-۳۲	۵۲۰
بختیاری	لرستان	بختیاری	۰۰-۴۷-۴۸	۰۰-۵۸-۳۲	۱۵۰۰

## سیستم منابع آب زیرزمینی یا آبخوان‌ها

در حوضه آبریز مورد مطالعه تعدادی آبخوان با وسعت ۹۲۰۵ کیلومتر مربع وجود دارد که برخی از آنها با سیستم رودخانه دارای اندرکنش و تبادلات آبی هستند. میزان متوسط حجم کل آبخوان‌ها در حوضه حدود ۳۱۹۳۱ میلیون مترمکعب می‌باشد. میزان زهکشی از آبخوان به رودخانه حدود ۱۳۶۳ میلیون مترمکعب می‌باشد. پارامترهای مورد نیاز این آبخوان‌ها در نرم‌افزار لینک شده وارد شد و شبیه‌سازی گردید. شکل (۲) موقعیت این آبخوان‌ها را بر روی نقشه حوضه آبریز نمایش می‌دهد.



Error! Reference source not found.: موقعیت

آبخوان‌های آبرفتی بر روی نقشه حوضه آبریز مورد مطالعه

Error! Reference source not found.: نقشه حوضه

آبریز کارون بزرگ و موقعیت سدها و ایستگاه‌های  
هیدرومتری شاخص

## نیازها و مصارف درون محدوده مورد مطالعه

از آنجا که برای واسنجی مدل، شرایط حال به مدل داده شده و سپس سیاست‌های مدیریتی برنامه‌ریزی شده در آینده مورد بررسی قرار گرفته، در ادامه، ابتدا مصارف در شرایط حال و سپس در شرایط آینده به تفکیک آورده شده است.

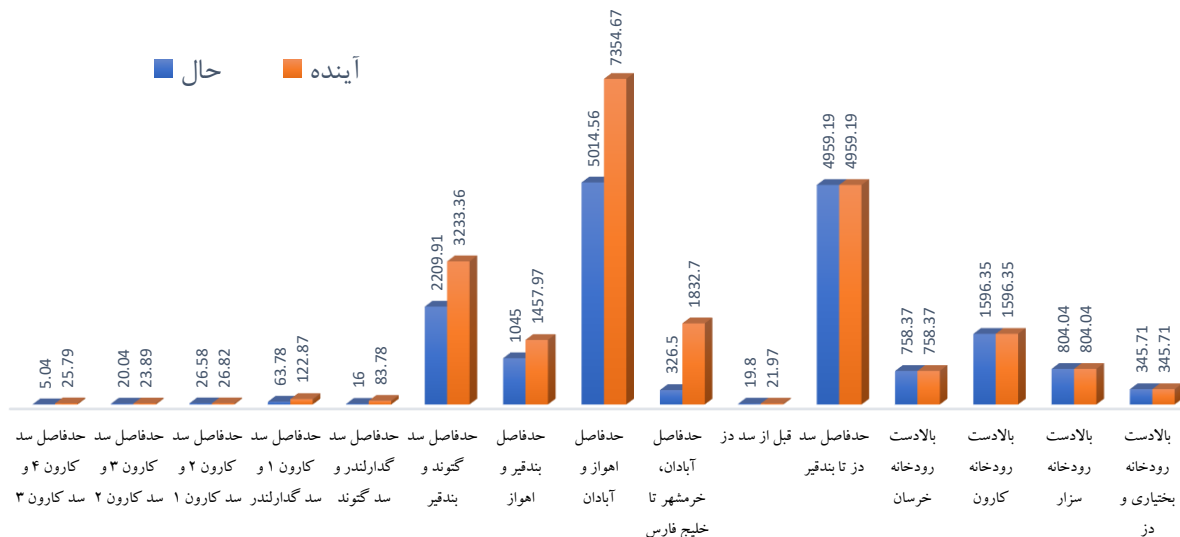
## نیازها و مصارف شرایط حال

نیازهای کشاورزی محدوده‌ی مورد مطالعه با مشخص نمودن محل برداشت به تفکیک بازه‌ها (تجمیع برداشت‌ها در بازه‌های مختلف) برای شرایط حال تقریباً ۱۱ میلیارد مترمکعب می‌باشد. در مجموع، کل نیاز شرب و صنعت محدوده مورد مطالعه تقریباً ۴۹۶ میلیون مترمکعب می‌باشد. کل نیاز پرورش ماهی محدوده طرح تقریباً معادل ۲ میلیارد مترمکعب برآورد شده

است. علاوه بر نیازهای ذکر شده فوق، در محل ورودی به خلیج فارس، نیاز زیست‌محیطی ۹۰ مترمکعب بر ثانیه نیز منظور شده است. در مجموع، کل نیاز کشاورزی تخصیص‌یافته در محدوده مورد مطالعه برای آینده تقریباً ۱۵/۵ میلیارد مترمکعب می‌باشد.

### نیازها و مصارف شرایط آینده

در شرایط آینده، طرح خط انتقال آب غدیر از سد دز، نیاز شرب محدوده بین اهواز تا آبادان را به حجم سالانه ۴۹۸ میلیون مترمکعب تأمین خواهد کرد و بقیه نیاز این محدوده نیز از محل رودخانه کارون تأمین خواهد شد. در مجموع، کل نیاز شرب و صنعت تخصیص‌یافته آینده برای محدوده مورد مطالعه تقریباً ۲ میلیارد مترمکعب می‌باشد. برای نیاز پرورش ماهی نیز همانطور که بیان شد مقدار در نظر گرفته شده برای زمان آینده با زمان حال برابر در نظر گرفته شده است. طرح انتقال آب رودخانه دز به حوضه کرخه نیز برای شرایط آینده در نظر گرفته شد. مقدار ماهانه آن ۱۰۰ میلیون مترمکعب بوده که در مجموع سالانه ۱ میلیارد و ۲۰۰ میلیون مترمکعب آب از رودخانه دز به حوضه کرخه انتقال خواهد یافت. محل قرارگیری این نقطه مصرف پس از سد دز تعیین و در مدل آورده شده است. همچنین با توجه به تمهیدات در نظر گرفته شده برای تأمین نیاز زیست‌محیطی خلیج فارس از منبعی دیگر و جایگزین کردن با مقدار تأمینی از رودخانه کارون، دبی ۴۰ مترمکعب بر ثانیه نیز برای نیاز زیست‌محیطی خلیج فارس در شرایط آینده در نظر گرفته شد. مجموع تمام نیازهای بالادست رودخانه‌ها نیز ۳/۵ میلیارد مترمکعب است که در مدل شبیه‌سازی وارد شده است. شکل (۳) مقایسه نیازهای درون حوضه آبریز کارون بزرگ در شرایط حال و آینده را نشان می‌دهد.



شکل ۳: مقایسه نیازهای درون حوضه آبریز کارون بزرگ در شرایط حال و آینده (میلیون متر مکعب)

### محاسبه میزان انتشار آلاینده‌ها با استفاده از شاخص انتشار در نیروگاه‌ها

در نیروگاه‌ها شاخص انتشار بر حسب میزان جرم آلاینده‌های تولیدی یا گازهای حاصل از احتراق برحسب انرژی الکتریکی تولیدی یا انرژی حرارتی مورد استفاده بیان می‌شود. به طور کلی معادله تخمین انتشار طبق رابطه (۱) به شرح زیر است:

$$E = A \times EF \times \left(1 - \frac{ER}{100}\right) \quad \text{رابطه ۱:}$$

که در آن: E میزان انتشار آلاینده (مقدار جرم آلاینده)، A نرخ فعالیت (میزان تولید واحد صنعتی، به‌طور مثال تناژ تولیدی سیمان یا کیلو وات ساعت برق تولیدی)، EF شاخص انتشار (مقدار جرم آلاینده‌ی منتشره به ازای میزان محصول تولیدی یا نرخ فعالیت)، ER درصد کلی کاهش انتشار بوده و در صورت عدم استفاده از سامانه‌های کاهش آلاینده این مقدار صفر است.

### ارزیابی انتشار گازهای گلخانه‌ای چرخه حیات نیروگاه‌های برق

برای ارزیابی انتشار گازهای گلخانه‌ای فناوری‌های مختلف تولید برق می‌توان از ضریب انتشار گازهای گلخانه‌ای چرخه حیات (LCE) استفاده نمود. مقدار انتشار گازهای گلخانه‌ای در کل چرخه حیات تولید یک کیلو وات ساعت برق به‌صورت رابطه (۲) تعریف می‌شود:

$$LCE = \frac{\sum_i GWP_i \times (E_{f_i} + E_{c_i} + E_{o_i} + E_{d_i})}{Q} \quad \text{رابطه ۲:}$$

که در آن: Ef انتشار مستقیم ایجاد شده در اثر احتراق سوخت‌های فسیلی در نیروگاه‌ها، Ec انتشار زمان ساخت نیروگاه‌ها، Eo انتشار زمان بهره‌برداری و نگهداری نیروگاه‌ها، Ed انتشار در زمان پایان عمر نیروگاه‌ها و از بین بردن نیروگاه‌ها، i نوع گاز گلخانه‌ای، GWP ضریب پتانسیل گرمایش (Global Warming Potential) جهانی هر یک از گازهای گلخانه‌ای و Q خروجی خالص در طول عمر نیروگاه است. در رابطه ۲، Eo، Ec و Ed اشاره به انتشار غیرمستقیم گازهای گلخانه‌ای دارد. همچنین باید توجه داشت، خروجی خالص برق، مقدار برق تأمین شده برای شبکه بجز انرژی مصرفی جهت بهره‌برداری از نیروگاه است.

### شبیه‌سازی منابع آبهای سطحی و زیرزمینی و سناریوها

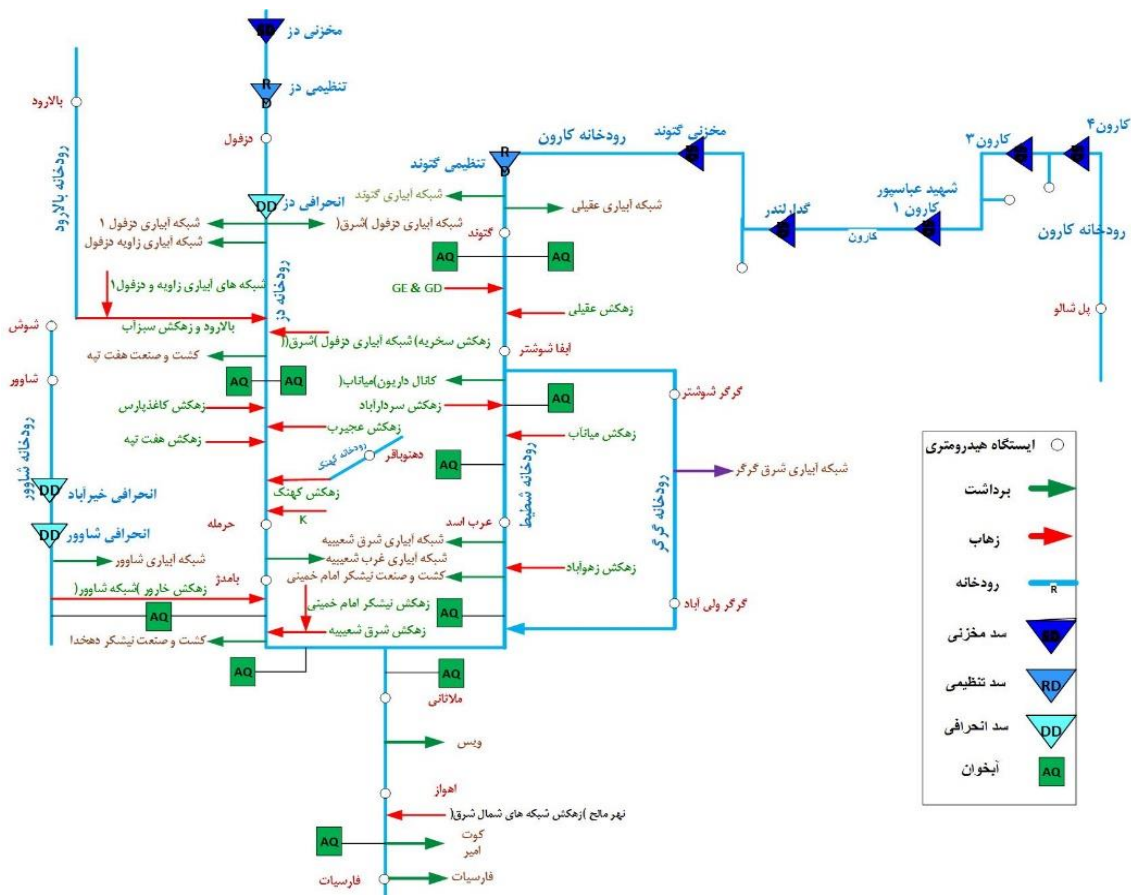
در این تحقیق از مدل WEAP با رویکرد یکپارچه در شبیه‌سازی سامانه‌های آبی استفاده شده است. این مدل در معادلات خود که بر پایه بیلان آبی عمل می‌کند مسائل مربوط به نیاز شامل الگوهای مصرف، راندمان، هزینه‌ها، تخصیص و غیره را همگام به مسائل مربوط به منابع شامل جریان آب سطحی و زیرزمینی و مخازن را لحاظ نموده است. موسسه محیط‌زیست



استکهلم حمایتگر اصلی این مدل بوده و مرکز مهندسی هیدرولوژی جامعه مهندسين ارتش آمريکا و بانک جهانی آن را حمايت کرده‌اند. جهت شبیه‌سازی آب زیرزمینی نیز از مدل MODFLOW که توسط سازمان زمین‌شناسی آمریکا تهیه شده استفاده گردید. پس از لینک کردن دو مدل شبیه‌سازی واسنجی و صحت‌سنجی شده به یکدیگر و بهینه‌سازی تابع هدف سناریوهای کاربردی با رویکرد تفکیک بهینه تخصیص منابع آب و هیدروانرژی اجرا گردید.

### شبیه‌سازی آب سطحی در مدل WEAP

در بخش شبیه‌سازی سطحی، تمامی داده‌های مورد نیاز برای مدل‌سازی حوضه آبریز کارون بزرگ از قبیل آبدهی طبیعی رودخانه‌های دز و کارون، مقدار مصارف محدوده‌های مختلف حوضه در شرایط حال و مصارف دیده شده در حوضه در شرایط آینده، مشخصات مخازن و نیروگاه‌های موجود در حوضه آبریز، مقدار تبخیر در محل مخازن، داده‌های ایستگاه‌های هیدرومتری حوضه و داده‌های خام GIS حوضه و موارد جزئی دیگری که در این تحقیق آورده شده می‌باشد که پس از جمع‌آوری و کنترل و آماده‌سازی با فرمت مورد نیاز برای مدل‌سازی حوضه به کار گرفته شد. شکل (۴) پیکره بندی شماتیک مدل تلفیقی منابع آب تهیه شده در این پژوهش را نشان می‌دهد.

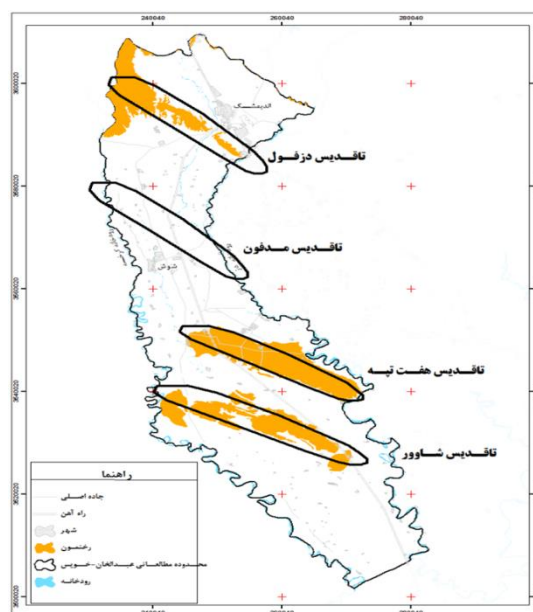


شکل ۴: پیکره‌بندی شماتیک مدل تلفیقی منابع آب حوضه آبریز مورد مطالعه

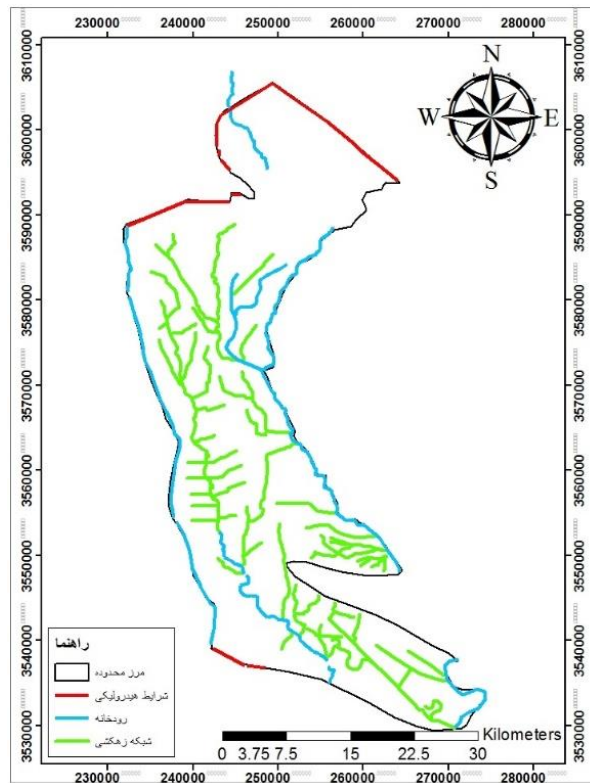
## شبیه‌سازی آب زیرزمینی

مدل ریاضی، جریان آب زیرزمینی را توسط یک معادله حاکم به همراه یک سری معادلات که بار هیدرولیکی و جریان را در امتداد مرزهای مدل توصیف می‌کنند، به طور غیرمستقیم شبیه‌سازی می‌کند؛ بنابراین مدل سه‌بعدی محدوده آبخوان، نمایش ریاضی جریان آب زیرزمینی با استفاده از انترفاز GMS است که از کد Modflow 2000 استفاده می‌کند. مراحل تهیه یک مدل ریاضی بطور خلاصه شامل تعیین هدف، طراحی مدل مفهومی، انتخاب کد یا برنامه کامپیوتری مناسب و صحت‌سنجی شده، واسنجی، آنالیز حساسیت و نهایتاً پیش‌بینی می‌باشد (Anderson, 1984).

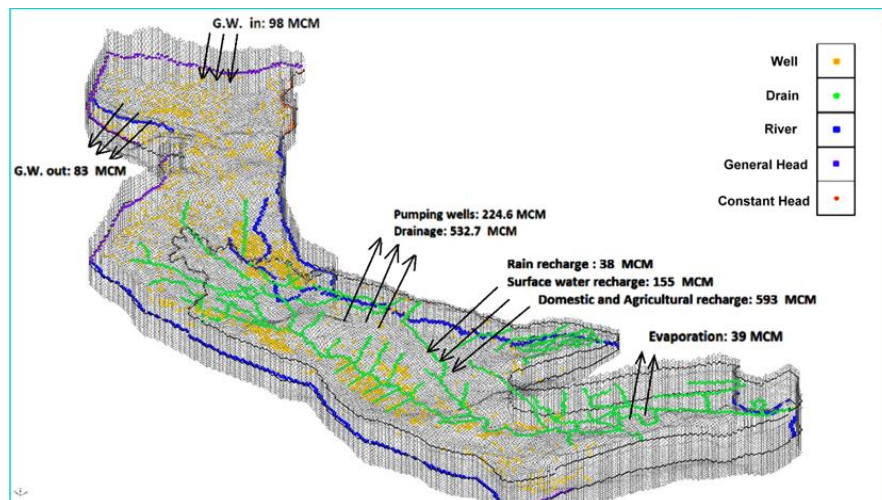
بزرگترین و مهمترین آبخوان در پیکره‌بندی این پژوهش محدوده دز غربی و آهودشت است که خلاصه‌ای از آن به عنوان نمونه ارائه شده است. برای تعیین هندسه، نوع، تعداد و مواد تشکیل دهنده آبخوان دو لایه فوق از بررسی‌های زمین‌شناسی، لوگ حفاری ۱۲ حلقه چاه اکتشافی، ۴۹ حلقه چاه پیژومتری و ۹۰ حلقه چاه بهره‌برداری و بررسی‌های ژئوفیزیکی استفاده شده است. بیش از ۱۳ حلقه از این چاه‌ها به سنگ کف رسیده‌اند. محدوده مورد مطالعه، در واقع از پنج ناودیس و چهار تقادیس تشکیل شده است که در شکل (۵) نشان داده شده است. این محدوده از دو طرف توسط دو رودخانه دز و کرخه محدود شده است. بر اساس مطالعات هیدروژئولوژیکی رودخانه دز از محل ورود به دشت دزفول — اندیمشک تا محل تلاقی رودخانه‌های بالارود و دز تغذیه‌کننده دشت و سپس به عنوان یک زهکش آب زیرزمینی عمل می‌کند. علاوه بر ضرایب هیدرودینامیک و تغذیه سطحی و زیرزمینی تمامی زهکش‌های شبکه آبیاری بزرگ دز در ماژول DRAIN نرم‌افزار با مقداردهی رسانایی وارد گردید. شکل (۶) شرایط مرزی، رودخانه‌ها و زهکش‌های اعمال شده در مدل را نشان می‌دهد. شکل (۷) مدل مفهومی زیرزمینی بزرگترین آبخوان دو لایه شبیه‌سازی شده محدوده مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل ۵: موقعیت ناودیس‌ها و تقادیس‌های محدوده مطالعاتی



شکل ۶: شرایط مرزی، رودخانه‌ها و زهکش‌های اعمال شده در مدل



شکل ۷: مدل مفهومی زیرزمینی بزرگترین پهنه آبرفتی دولایه شبیه‌سازی شده

فرم کلی معادله حاکم بر جریان آب زیرزمینی از دیدگاه سیستم جریان عبارت است از:

$$\frac{\partial}{\partial x} (\partial h K_x / \partial x) + \frac{\partial}{\partial y} (\partial h K_y / \partial y) + \frac{\partial}{\partial z} (\partial h K_z / \partial z) = \partial h S_s / \partial t \pm R \quad \text{رابطه ۳:}$$

که  $K_x$ ،  $K_y$  و  $K_z$  مؤلفه‌های تنسور هدایت هیدرولیکی،  $S_s$  ظرفیت ویژه و  $R$  مولفه تغذیه‌کننده یا تخلیه‌کننده (به ترتیب با علامت مثبت یا منفی) آبخوان می‌باشند. با توجه به مدل مفهومی، آبخوان در قسمت شمالی از مدل از نوع آزاد و در قسمت جنوبی از دولایه در نظر گرفته شده است. در آبخوان آزاد  $T_x = K_x \cdot h$  و  $T_y = K_y \cdot h$  که  $T_x$  و  $T_y$  قابلیت انتقال و  $h$  ضخامت

بخش اشباع آبخوان است. از این رو معادله حاکم بر جریان آب زیرزمینی از دیدگاه آبخوان که به معادله غیرخطی بوزینسک (Nonlinear Boussinesq Equation) معروف است، به صورت رابطه (۴) می‌باشد.

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( k_x h \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( k_y h \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( k_z h \frac{\partial h}{\partial z} \right) = S_s \cdot \frac{\partial h}{\partial t} \pm R \quad \text{رابطه ۴:}$$

با توجه به اینکه  $\frac{\partial h}{\partial x} = 2h \cdot \frac{\partial h}{\partial x}$  و  $\frac{\partial h}{\partial y} = 2h \cdot \frac{\partial h}{\partial y}$ ، رابطه ۴ را می‌توان به صورت زیر نوشت که یک رابطه غیرخطی است:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( k_x \cdot \frac{\partial h^2}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( k_y \cdot \frac{\partial h^2}{\partial y} \right) = 2S_s \cdot \frac{\partial h}{\partial t} \pm R \quad \text{رابطه ۵:}$$

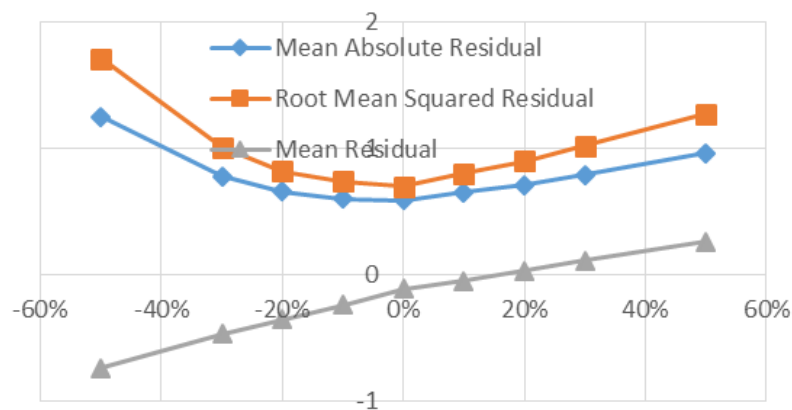
محققان زیادی این معادله را با روش‌های عددی که برای حل معادلات غیرخطی طراحی شده‌اند، حل کردند. معادله مذکور با استفاده از یک مقدار معلوم ضخامت اشباع در مدل عددی به صورت خطی تبدیل می‌شود که همان روش مورد استفاده در Modflow می‌باشد. کد Modflow از المان‌های تفاضل محدود و شبکه سلول مرکزی (block-centered) برای حل مسایل استفاده می‌کند. با توجه به وضعیت زمین‌شناسی، توپوگرافی، نقشه‌های هم‌پتانسیل، نقشه منابع آب و وسعت منطقه مورد مطالعه، شبکه‌ای با سلول‌هایی به ابعاد  $250 * 250$  متر مربع شامل ۱۸۷ سطر و ۳۴۶ ستون برای محدوده مورد نظر تهیه شد و پارامترهایی نظیر سنگ کف، ارتفاع سطح زمین، مقادیر هدایت هیدرولیکی، ضریب ذخیره، مقادیر تغذیه سطحی و سطوح ایستایی اولیه به هر یک از سلول‌های شبکه مدل اختصاص داده شد. از اینرو شبکه‌بندی مدل مجموعاً شامل ۶۴۷۰۲ سلول بوده است. مدل ریاضی جریان آب زیرزمینی آبخوان برای دو حالت پایدار و ناپایدار تهیه و اجرا شد. چرخه هیدرولوژی سالانه به چهار دوره زمانی فصلی تقسیم گردید. طول هر یک از دوره‌ها برابر با تعداد روزهای هر فصل (۳ ماه) انتخاب گردید. این چهار دوره در MODFLOW به دوره‌های تنش معروفند چرا که تنش‌های هیدرولوژیکی مشخص شده از یک دوره به دوره بعد تغییر می‌کند و تنش‌ها در طول هر دوره ثابت می‌باشند. برای هر دوره تنش یک گام زمانی در نظر گرفته شد. در شرایط پایدار یک دوره تنش ۳۶۵ روزه در نظر گرفته شده است. مدل ناپایدار نیز برای یک دوره ۷ ساله تهیه گردید. همچنین صحت‌سنجی مدل ناپایدار برای ۳ دوره تنش فصلی در سال آبی ۹۶-۱۳۹۵ انجام شده است. شکل (۸) حساسیت مدل نسبت به تغییرات هدایت هیدرولیکی را نشان می‌دهد.

برای بررسی دقت و ارزیابی مدل MODFLOW در مرحله واسنجی و صحت‌سنجی مدل از شاخص‌های آماری جذر میانگین مربعات خطاها (RMSE) و میانگین قدرمطلق خطا (MAE) استفاده شد که در روابط زیر نشان داده شده است.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (h_s - h_m)^2}{n}} \quad \text{رابطه ۶:}$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |h_s - h_m|}{n} \quad \text{رابطه ۷:}$$

که در آن:  $h_s$  بار هیدرولیکی شبیه‌سازی شده،  $h_m$  بار هیدرولیکی اندازه‌گیری شده،  $n$  تعداد پیزومترها است. به منظور ارزیابی دقیق نتایج واسنجی از بارهای اندازه‌گیری شده، شبیه‌سازی شده، اختلاف آنها و انواع میانگین خطاها استفاده شد که در شکل (۹) نشان داده شده است.



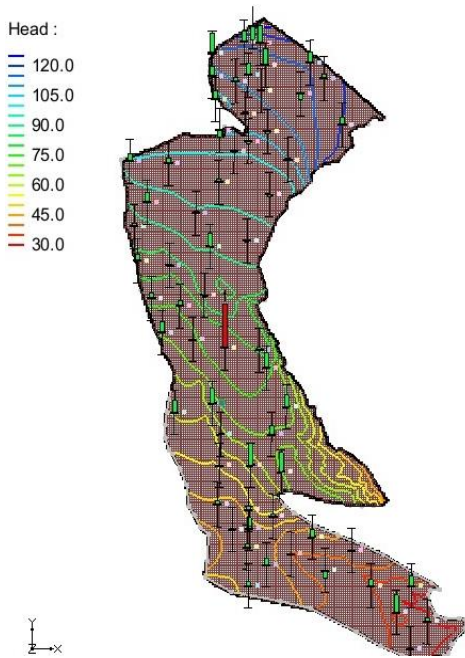
شکل ۸: حساسیت مدل نسبت به تغییرات هدایت هیدرولیکی

شکل (۱۰) نتایج حاصل از واسنجی مدل MODFLOW را در رژیم پایدار در قلمرو مدل نشان می‌دهد. از مجموع ۷۰ پیزومتر به استثنای یک پیزومتر در بقیه پیزومترها تراز آب مشاهده‌ای و محاسبه‌ای در محدوده هدف واسنجی واقع شده‌اند. شکل (۱۱) نقشه سطح ایستابی شبیه‌سازی شده در انتهای پرپود اول در شرایط ناپایدار را نشان می‌دهد. شکل (۱۲) مقادیر هدایت هیدرولیکی نهایی درونیابی شده در محیط GIS محدوده آبخوان مورد مطالعه را نشان می‌دهد. شکل (۱۳) برازش مقادیر محاسباتی و مشاهداتی برای شرایط پایدار را نشان می‌دهد.

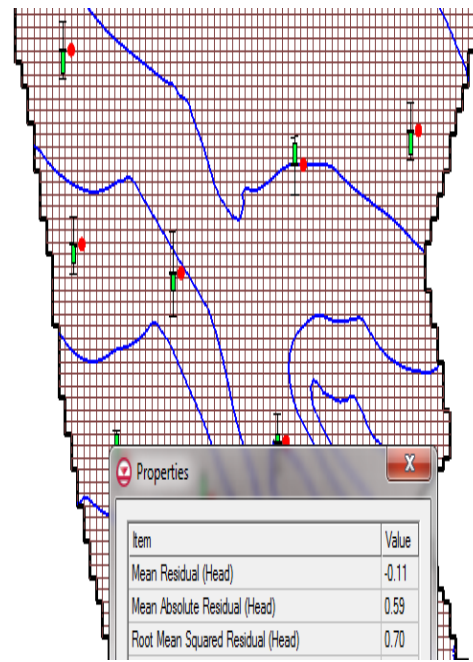
### طراحی سناریوهای چندمنظوره

پس از وارد کردن داده‌ها به مدل، شش سناریو به شرح ذیل جهت ارزیابی اهداف مورد نظر در سامانه مدل تلفیقی تهیه شده تعریف گردید:

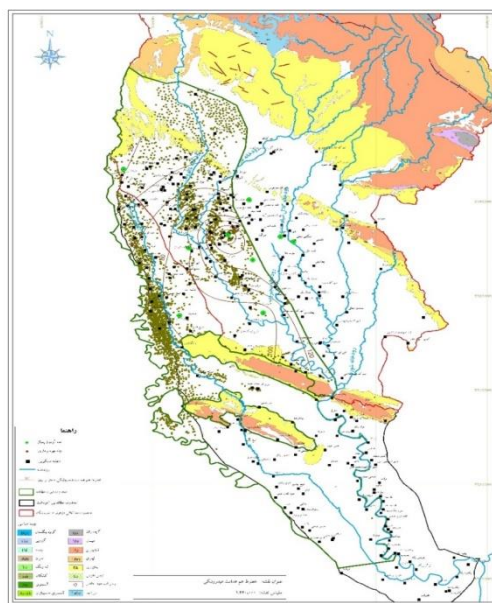
- ۱- افزایش حجم انتقال آب بین حوضه‌ای بالادست رودخانه‌ها، ثابت ماندن مصارف پایین‌دست، ثابت ماندن آبدهی رودخانه‌ها، ثابت ماندن راندمان شبکه‌های آبیاری، ثابت ماندن برداشت از آبخوان‌ها.



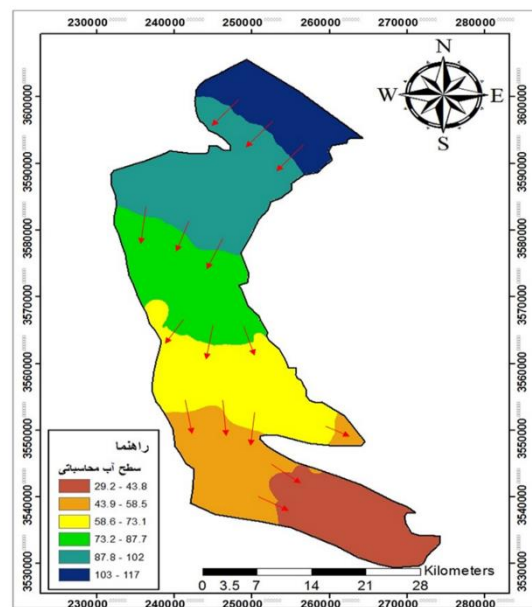
شکل ۱۰: نتایج حاصل از واسنجی مدل MODFLOW در رژیم پایدار



شکل ۹: نمایش انواع میانگین خطا برای ارزیابی خطای واسنجی در محیط مدل MODFLOW

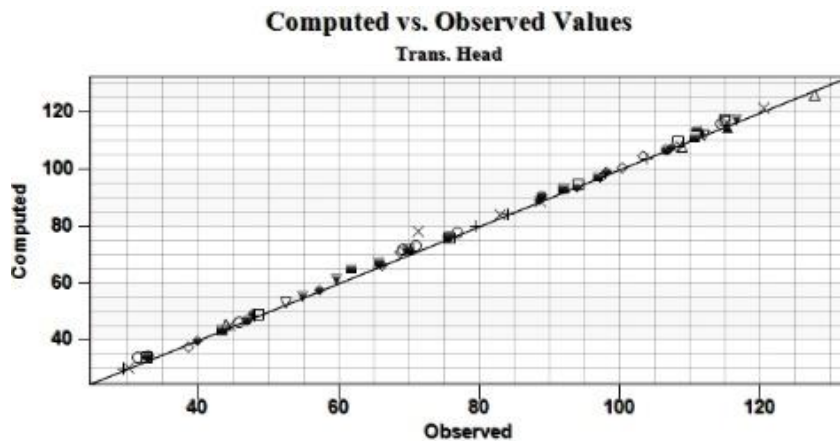


شکل ۱۲: مقادیر هدایت هیدرولیکی نهایی درونیابی شده در محیط GIS محدوده آبخوان



شکل ۱۱: نقشه سطح ایستابی شبیه‌سازی شده در مدل MODFLOW در انتهای دوره اول





شکل ۱۳: برازش مقادیر محاسباتی و مشاهداتی برای شرایط پایدار

۲- ثابت ماندن انتقال آب بین حوضه‌ای بالادست رودخانه‌ها، افزایش مصارف پایین‌دست، ثابت ماندن آبدهی رودخانه‌ها، افزایش پنج درصدی راندمان شبکه‌های آبیاری، استفاده تلفیقی از منابع آب زیرزمینی و سطحی.

۳- افزایش حجم انتقال آب بین حوضه‌ای بالادست رودخانه‌ها، افزایش مصارف پایین‌دست، ثابت ماندن آبدهی رودخانه‌ها، ثابت ماندن راندمان شبکه‌های آبیاری، استفاده تلفیقی از منابع آب زیرزمینی و سطحی.

۴- افزایش حجم انتقال آب بین حوضه‌ای بالادست رودخانه‌ها، ثابت ماندن مصارف پایین‌دست، کاهش ۵ درصدی آبدهی رودخانه، افزایش پنج درصدی راندمان شبکه‌های آبیاری، ثابت ماندن برداشت از آبخوان‌ها.

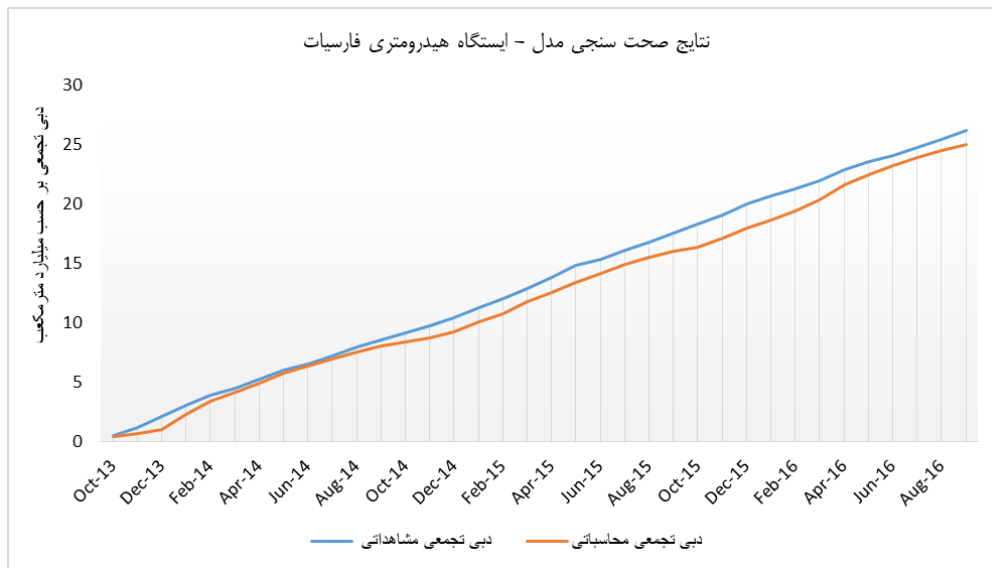
۵- ثابت ماندن انتقال آب بین حوضه‌ای بالادست رودخانه‌ها، افزایش مصارف پایین‌دست، کاهش ۵ درصدی آبدهی رودخانه، ثابت ماندن راندمان شبکه‌های آبیاری، استفاده تلفیقی از منابع آب زیرزمینی و سطحی.

۶- افزایش حجم انتقال آب بین حوضه‌ای بالادست رودخانه‌ها، افزایش مصارف پایین‌دست، ثابت ماندن آبدهی رودخانه‌ها، افزایش پنج درصدی راندمان شبکه‌های آبیاری، استفاده تلفیقی از منابع آب زیرزمینی و سطحی.

### نتایج و بحث

پس از لینک کردن مدل آب سطحی و زیرزمینی، شبیه‌سازی حوضه آبریز در شرایط حال تکمیل گردید، نتایج اجرای مدل با داده‌های واقعی مبتنی بر ایستگاه‌های هیدرومتری واقع در پایین‌دست رودخانه‌های دز و کارون مقایسه شد. سه سال آخر دوره‌ی آماری جهت مقایسه و صحت‌سنجی انتخاب گردید و آورد رودخانه‌ها به‌صورت تجمعی در ایستگاه هیدرومتری بامدژ در پایین‌دست رودخانه دز و ایستگاه هیدرومتری فارسیات در پایین‌دست رودخانه کارون بزرگ باهم مقایسه شد. نتایج قابل قبول

عملکرد مدل در مرحله صحت‌سنجی در قالب مقایسه دبی تجمعی مشاهداتی ایستگاه هیدرومتری فارسیات و محاسباتی مدل در شکل (۱۴) نشان داده شده است.



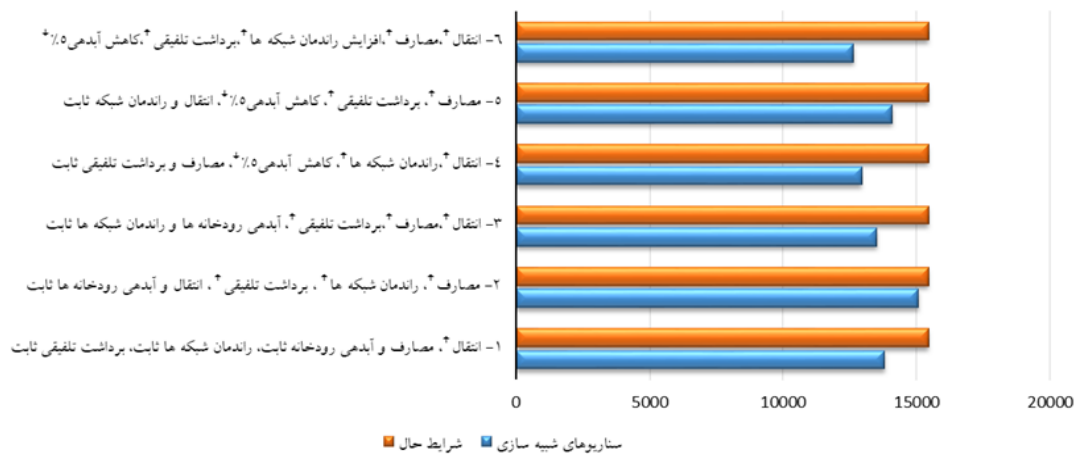
شکل ۱۴: نمودار مقایسه دبی تجمعی مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده در محل ایستگاه هیدرومتری فارسیات (میلیارد مترمکعب)

لازم به ذکر است که روند تغییرات دبی تجمعی ایستگاه هیدرومتری و مدل منابع آب حوضه شبیه به یکدیگر بوده و به دلیل پیچیدگی‌های زیاد منطقه در محل رودخانه دز و تفاوت مکرر در برداشتها و برگشتها به سیستم رودخانه، تفاوت‌ها در شکل افزایش آنها منطقی می‌باشد. همچنین این تفاوت کلی در نتایج این مطالعات مؤثر نبوده و در کل، شبیه‌سازی مناسبی توسط مدل انجام گرفته است. همانگونه که ذکر گردید مدل تلفیقی صحت‌سنجی شده تحت شش سناریو مدیریتی بررسی و اجرا گردیده است. این سناریوها در راستای تأمین بهینه مصارف و انرژی و با هدف حداقل سازی تولید گاز گلخانه‌ای و نیز تأمین دبی حداقل گره زیست‌محیطی رودخانه در پایین دست طراحی و مقایسه شده‌اند. همچنین در این سناریوها استفاده تلفیقی منابع آب سطحی و زیرزمینی و راندمان شبکه‌های آبیاری و زهکشی حوضه نیز به عنوان مؤلفه‌های مهم و دارای وزن مؤثر مورد توجه قرار گرفته‌اند. اثر خشکسالی نیز بصورت منطقی با کاهش آورد رودخانه در سناریوها لحاظ شده است. شکل (۱۵) نتایج میزان تولید انرژی برقابی در شرایط حال و تحت سناریوهای تعریف‌شده را مقایسه و نشان می‌دهد. تولید میانگین حوضه‌ی آبریز در شرایط حال 15454 گیگاوات ساعت می‌باشد. در شکل (۱۶) نتایج تأثیر سیاست‌های مدیریتی حوضه آبریز کارون بزرگ بر میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای تحت سناریوهای مختلف به دو روش مورد مطالعه به صورت خلاصه و در یک نگاه آورده شده است. همانگونه که در شکل (۱۵) و (۱۶) مشهود است مقایسه سناریوها نشان می‌دهد گزینه برتر تحت اثر مؤلفه‌های در نظر گرفته شده، سناریو دوم است. در این سناریو، میزان انتقال آب بین حوضه‌ای بدون تغییر و مصارف پایین دست طبق برنامه بلندمدت افزایش یافته است. همچنین آبدهی رودخانه‌ها نیز ثابت فرض شده است. در این سناریو با

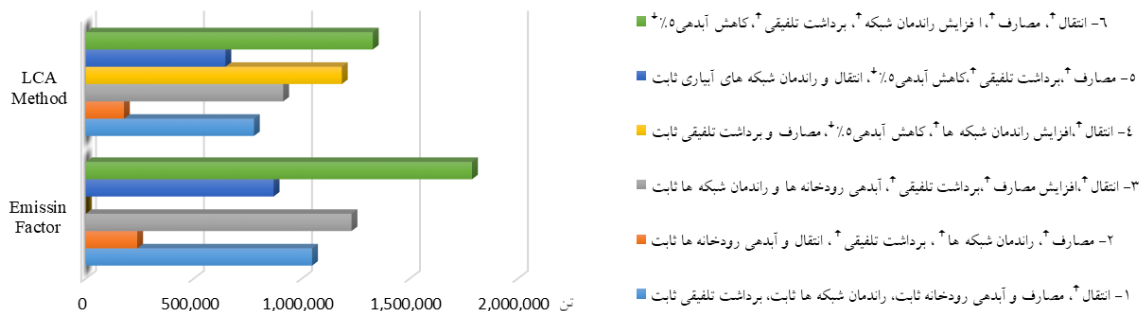


استفاده تلفیقی از منابع آب سطحی و زیرزمینی و افزایش پنج درصدی راندمان شبکه‌های آبیاری بخوبی می‌توان تولید انرژی برقایی را در کنار تأمین بهینه مصارف مدیریت نمود. به عبارت دیگر در این سناریو ضمن تأمین مصارف و رویکرد زیست‌محیطی در تأمین دبی گره زیست محیطی رودخانه در پایین‌دست می‌توان افزایش مصارف و توسعه آب محور را مدیریت نمود و در کنار آن با حداکثر تولید انرژی برقایی، تولید گاز گلخانه‌ای را به حداقل رسانید. بر این اساس، مقدار تولید انرژی برقایی تحت شرایط ذکر شده به صورت میانگین تولید ۶۰ ساله در **Error! Reference source not found.** (۳) ارائه شده است. نتایج حاکی از آن است با استفاده تلفیقی و افزایش فقط پنج درصدی راندمان شبکه‌ها با وجود افزوده شدن هفت میلیارد مترمکعب به مصارف آینده درون حوضه آبریز کارون بزرگ، شاهد کاهش تقریباً ۱۷۲ گیگاوات ساعتی تولید انرژی برقایی خواهیم بود که در مقایسه با تأثیر انتقال آب بین حوضه‌ای، بسیار کمتر می‌باشد. این مقدار معادل ۱/۱ درصد کاهش تولید انرژی برقایی در حوضه می‌باشد.

مقایسه نتایج تولید انرژی برقایی در سناریوهای انتخابی و مقایسه با تولید حال (GWh)



شکل ۱۵: مقایسه نتایج تولید انرژی برقایی در شرایط حال و تحت سناریوهای مختلف در یک نگاه (گیگاوات ساعت)



شکل ۱۶: نتایج میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای تحت سناریوهای مختلف به دو روش مورد مطالعه بر حسب تن

جدول ۳: مقایسه میانگین تولید انرژی برقابی تحت شرایط حال و آینده در سناریوی برتر

نام سد و نیروگاه	میانگین تولید حال ۶۰ ساله	میانگین تولید آینده ۶۰ ساله	تغییر تولید در آینده نسبت به حال	تغییر تولید (درصد)
دز	۲۳۵۰	۲۲۳۳	۱۱۷	-۹۷/۴
گدارلندر	۲۷۴۰	۲۷۳۷	۳	۱/۰-
گتوند	۲۹۸۶	۲۹۱۰	۷۶	-۵۴/۲
شهید عباسپور	۲۶۹۰	۲۷۱۰	۲۰-	+۰/۷۴
کارون ۳	۲۸۰۶	۲۸۰۵	۱	+۰/۰۳
کارون ۴	۱۸۸۲	۱۸۸۷	۵-	+۰/۲۶
مجموع	۱۵۴۵۴	۱۵۲۸۲	۱۷۲	-۱/۱

### نتیجه گیری

مهمترین هدف این پژوهش بررسی نقش و وزن مؤلفه‌های آشکار و پنهان مؤثر بر تولید انرژی پاک برقابی و مدیریت بهینه آنها بوده است. بر اساس نتایج حاصل شده از این پژوهش، مهم‌ترین عامل کاهش تولید انرژی برقابی در این حوضه که تولید ۹۳ درصد انرژی برقابی کشور ایران را داراست، انتقال آب بین حوضه‌ای است که با کاهش جریان از سرشاخه‌های رودخانه‌های حوضه باعث بیشترین کاهش در تولید انرژی برقابی حوضه و در نهایت افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از روش‌های تولید انرژی جایگزین در حوضه می‌گردد. نتایج اولویت وزن دهی مؤلفه‌های مؤثر بر تولید انرژی برقابی و در نهایت انتشار گاز گلخانه‌ای به ترتیب اهمیت به شرح ذیل می‌باشد:

۱- بر اساس نتایج مدل، انتقال آب بین حوضه‌ای با سناریو افزایش ۱/۵ میلیارد مترمکعب باعث کاهش حدود ۱۰ درصد از میانگین سالانه‌ی تولید انرژی برقابی در حوضه می‌شود. لذا این مؤلفه بیشترین اثر و وزن را در مقایسه با سایر پارامترها بر کاهش تولید انرژی (حدود ۱۵۰۰ گیگاوات ساعت) و در نهایت افزایش انتشار گاز گلخانه‌ای (۱/۳ میلیون تن) دارد.

۲- مولفه دوم شامل تاثیر تغییر اقلیم و کاهش آبدهی رودخانه‌هاست که باعث کاهش پنج درصدی تولید سالانه انرژی برقابی حوضه آبریز شده است.

۳- مولفه سوم که نقش افزایش مصارف درون حوضه ای است نشان می‌دهد با افزایش هفت میلیارد مترمکعبی مصارف درون حوضه‌ی آبریز باعث کاهش تقریباً سه درصدی میانگین تولید سالانه‌ی انرژی برقابی در این حوضه خواهد شد.

۴- مولفه چهارم شامل تاثیر افزایش پنج درصدی راندمان شبکه‌های آبیاری است. نتایج نشان می‌دهد با ایجاد این افزایش در راندمان به میزان دو درصد تولید انرژی برقایی افزایش خواهد یافت و از تولید ۲۵۰ هزار تن گاز گلخانه‌ای ناشی از نیروگاه‌های جایگزین جلوگیری نمود.

۵- مؤلفه پنجم نقش بهره‌برداری تلفیقی منابع آب سطحی و زیرزمینی در سیستم است. نتایج اجرای مدل در این شرایط نشان می‌دهد با مدیریت تلفیقی بهره‌برداری منابع آب به میزان یک درصد تولید انرژی در حوضه آبریز افزایش خواهد یافت و از تولید ۱۲۵ هزار تن گاز گلخانه‌ای ناشی از نیروگاه‌های جایگزین جلوگیری نمود.

با توجه به اینکه افزایش مصارف درون حوضه‌ای معمولاً اجتناب ناپذیر است می‌توان نتیجه‌گیری کرد در صورت جلوگیری از انتقال آب به خارج از حوضه و نیز شرایط ثابت اقلیمی بخوبی می‌توان با استفاده تلفیقی منابع آب و تغییر پنج درصدی راندمان شبکه‌های آبیاری، تولید انرژی برقایی را بصورت بهینه مدیریت نمود و نیاز مصارف آینده را نیز تأمین کرد (سناریو برتر). در نهایت نتایج مدلسازی تلفیقی در این حوضه نشان‌دهنده پتانسیل مستعد و امکانپذیر این حوضه بزرگ برای جلوگیری از افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌باشد همچنین نشان می‌دهد با استفاده از مدیریت صحیح می‌توان در راستای دریافت گواهی کاهش انتشار تحت مکانیسم توسعه‌ی پاک گام برداشت.

#### تقدیر و تشکر:

از سازمان آب و برق خوزستان و مدیریت دفتر تحقیقات و پژوهش‌های کاربردی آن جهت حمایت در این تحقیق قدردانی می‌گردد.

#### منابع

**Amponsah, N.Y., Troldborg, M., Kington, B., Aalders, I. and Hough, R.L. (2014).** Greenhouse gas emissions from renewable energy sources: A review of lifecycle considerations. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 39, pp: 461-475.

**Anderson, M. P. (1984).** Groundwater Contamination: Movement of Contaminants in Groundwater, Groundwater Transport Advection and Dispersion. National Academy Press. Washington DC.: pp: 37-45

**Anugrah, P., Setiawan, A.A., Budiarto, R. and Sihana, S. (2015).** Evaluating micro hydro power generation system under climate change scenario in Bayang Catchment, Kabupaten Pesisir Selatan, West Sumatra. *Energy Procedia*, 65, pp: 257-263.

**Berg, B. (2011).** Comparison of Lifecycle Greenhouse Gas Emissions of Various Electricity Generation Sources. *Environmental Science*.

**Bharati, L., Rodgers, C., Erdenberger, T., Plotnikova, M., Shumilov, S., Vlek, P. and Martin, N. (2008).** Integration of economic and hydrologic models: exploring conjunctive irrigation water use strategies in the Volta Basin. *agricultural water management*, 95(8), pp: 925-936.

**Cai, X., McKinney, D.C. and Rosegrant, M.W. (2003).** Sustainability analysis for irrigation water management in the Aral Sea region. *Agricultural systems*, 76(3), pp: 1043-1066.

**Copenhagen Accord. (2009).** Report of the Conference of the Parties on its fifteenth session, held in Copenhagen from 7 to 19 December 2009. United Nations Framework Convention on Climate Change.<http://unfccc.int/resource/docs/2009/cop15/eng/11a01.pdf>

**Dalir, F., Shafiepour Motlagh, M. and Ashrafi, K. (2017).** A well to wire LCA model development and sensitivity analysis for carbon footprint of combined cycle power plants in Iranian electricity network. *International Journal of Green Energy*, 14(5), pp: 499-508.

**Droogers, P., Butterfield, R. and Dyszynski, J. (2009).** Climate change and hydropower, impact and adaptation costs: case study Kenya. *FutureWater Report*, 85.

**Haddad, M., Jayousi, A. and Hantash, S.A. (2007).** March. Applicability of WEAP as water management decision support system tool on localized area of watershed scales: Tulkarem district in Palestine as case study. In *Proceedings of the Eleventh International Water Technology Conference*, pp: 811-825.

**Haddad, R., Nouiri, I., Alshihabi, O., Maßmann, J., Huber, M., Laghouane, A., Yahiaoui, H. and Tarhouni, J. (2013).** A decision support system to manage the groundwater of the zeuss koutine aquifer using the WEAP-MODFLOW framework. *Water Resources Management*, 27(7), pp: 1981-2000.

**Hondo, H. (2005).** Life cycle GHG emission analysis of power generation systems: Japanese case. *Energy*, 30(11-12), pp: 2042-2056.

**Hutchinson, C.F., Varady, R.G. and Drake, S. (2010).** Old and new: changing paradigms in arid lands water management. In *Water and sustainability in arid regions* (pp. 311-332). Springer, Dordrecht.

**Jones, B.A., Ripberger, J., Jenkins-Smith, H. and Silva, C. (2017).** Estimating willingness to pay for greenhouse gas emission reductions provided by hydropower using the contingent valuation method. *Energy Policy*, 111, pp:362-370.

**Madani, K. and Mariño, M.A. (2009).** System dynamics analysis for managing Iran's Zayandeh-Rud river basin. *Water resources management*, 23(11), pp: 2163-2187.

**Miller, S. and Labadie, J., (2003).** A decision support system for optimal planning of conjunctive use progress. *J. of American Water Resources Association*, 39(3), pp: 517-528.

**Mirchi, A., Watkins Jr, D. and Madani, K. (2010).** Modeling for watershed planning, management, and decision making. *Watersheds: Management, restoration and environmental impact*.

**Mugatsia, E.A. (2010).** Simulation and scenario analysis of water resources management in Perkerra catchment using WEAP model. M.asters Thesis, Department of Civil and Structural Engineering, School of Engineering, Moi University, Kenya,(December).

**Poblete, D., Vicuña, S., Meza, F. and Bustos, E. (2012).** Water resources modeling under Climate Change scenarios of Maule River Basin (Chile) with two main water intensive and competing sectors: Agriculture and Hydropower Generation. In *IWA World Congress on Water, Climate and Energy*.

**Raadal, H.L., Gagnon, L., Modahl, I.S. and Hanssen, O.J. (2011).** Life cycle greenhouse gas (GHG) emissions from the generation of wind and hydro power. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(7), pp: 3417-3422.

**The Hydropower Status Report. (2016).** an insight into recent hydropower development and sector trends around the world.<https://www.hydropower.org/download/file/nojs/7461>

**Young, G., Shah, B. and Kimaite, F. (2008).** UN Water Report. Status report on integrated water resources management and water efficiency plans.

**Weisser, D. (2007).** A guide to life-cycle greenhouse gas (GHG) emissions from electric supply technologies. *Energy*, 32(9), pp:1543-1559.

## **Effect of consumption and efficiency of irrigation networks on hydropower generation in Karun basin**

H. Majedi<sup>1</sup>, H. Fathian<sup>\*1</sup>, A. Nikbakht-Shahbazi<sup>1</sup> and N. Zohrabi<sup>1</sup>

1) Department of Water Resources Engineering, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran

\*Correspondence Author: Fathian.h58@gmail.com

**Received Data: 2021. 01. 26**

**Accepted Data: 2021. 09. 08**

### **Abstract**

In this research, integrated modeling of Great Karun basin was carried out under multipurpose scenarios using six reservoir dams with a capacity of 10500 MW (Megawatt) to reduce the greenhouse gas productions. The simulation and development of the integrated WEAP model within a fifty-year period along with the development of the MODFLOW model in alluvial deposits that interact with the river allowed for the analysis of the integrated water resources management system of the Great Karun basin. Several scenarios were implemented following the calibration and validation of the linked integrated model. The components covered by these scenarios included the satisfaction of the in-basin and off-basin demands, the effect of the integrated consumption of water resources, and the effect of increased efficiency of irrigation networks with maximum clean hydroelectricity production and minimum aquifer level decline under drought-induced water shortage conditions. The second scenario, which generates 15282 GWh (Gigawatt-Hour) of power, not only optimally needs the future and environmental demands as the best operating scenario but also minimizes the emission of the greenhouse gases in the basin.

**Keywords:** Consumption, efficiency, irrigation networks, hydropower.