

## مدل برنامه‌ریزی یکپارچه منابع آب برای بررسی و پیش‌بینی تأمین حقابه زیست‌محیطی هورالهوریه از حوضه‌های آبریز ترکیه، عراق و ایران

محمد ابراهیم بنی‌حبیب<sup>۱\*</sup>، سجاد نجفی مرغملکی<sup>۲</sup> و محمد هادی شبستری<sup>۳</sup>

### چکیده

هورالهوریه با مساحتی معادل ۳۰۰۰ کیلومترمربع در مرز ایران و عراق قرار گرفته است که از این میزان حدود یک‌سوم آن در ایران قرار دارد که با نام هورالعظیم شناخته می‌شود. در دهه‌های اخیر با اجرای طرح‌های متعدد سدسازی و شبکه‌های آبیاری زهکشی در حوضه هورالهوریه و منحرف کردن رودخانه دجله، هورالهوریه وضعیت مطلوبی ندارد و این تالاب که خود روزی منبع گیرش ریزگردها بوده، امروزه به یک منبع تولید ریزگرد تبدیل شده است. هدف در این پژوهش بررسی و مدل‌سازی منابع آب حوضه هورالهوریه با استفاده از نرم‌افزار WEAP و همچنین اجرای رویکردهای مختلفی همچون رویکرد توسعه (A<sub>3</sub> و B<sub>2</sub>) و عدم توسعه (A<sub>1</sub> و B<sub>1</sub>) روی منابع تغذیه‌کننده هورالهوریه در وضعیت فعلی و آینده (سال ۲۰۴۲) برای بررسی و پیش‌بینی تأمین حقابه زیست‌محیطی هورالهوریه است. براساس نتایج به‌دست آمده بهترین حالت برای احیا ماندن هورالهوریه، اجرای رویکردهای A<sub>1</sub> و B<sub>1</sub> با شاخص عدم تأمین حقابه زیست‌محیطی ۲/۵ و ۹ درصد به‌ترتیب در حوضه‌های سد کرخه و دجله است. همچنین این مطالعه نشان داد که علاوه بر سدهای متعدد ساخته‌شده در حوضه‌های کرخه و دجله، الگوی کشت نامناسب و استفاده از سیستم‌های سنتی آبیاری هم روی عدم تأمین حقابه زیست‌محیطی هورالهوریه تأثیرگذار بوده است.

**واژه‌های کلیدی:** پروژه GAP، حقابه زیست‌محیطی، ریزگرد، مدل WEAP، هورالهوریه، هورالعظیم.

ارجاع: بنی‌حبیب م. ا. نجفی مرغملکی س. و شبستری م. ه. ۱۳۹۸. مدل برنامه‌ریزی یکپارچه منابع آب برای بررسی و پیش‌بینی تأمین حقابه زیست‌محیطی هورالهوریه از حوضه‌های آبریز ترکیه، عراق و ایران. مجله پژوهش آب ایران. ۳۲: ۱۱۵-۱۲۶.

۱- دانشیار گروه مهندسی آبیاری و زهکشی، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران.

۲- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب، گروه مهندسی آبیاری و زهکشی، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران.

۳- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب، گروه مهندسی آبیاری و زهکشی، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران.

\* نویسنده مسئول: [banihabib@ut.ac.ir](mailto:banihabib@ut.ac.ir)

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۰/۲۰

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۱/۱۲

## مقدمه

تالاب بین‌النهرین با مساحتی بالغ بر ۹۰۰۰ کیلومترمربع، یکی از تالاب‌های بزرگ جهان که از سه تالاب اصلی هور مرکزی، هورالحمار و هورالهوریزه تشکیل شده است (زیبانیچی و همکاران، ۱۳۸۸). در دهه‌های اخیر با اجرای طرح‌های متعدد سدسازی و شبکه‌های آبیاری زهکشی در کشورهای ترکیه، عراق و ایران و همچنین سیاست‌های غلط حکومت بعث عراق در بحث منحرف کردن آب رودخانه دجله، هورالهوریزه وضعیت مطلوبی ندارد و این تالاب که خود روزی منبع گیرش ریزگردها بوده، در سال‌های اخیر به یک منبع تولید ریزگرد تبدیل و باعث بروز مشکلات اجتماعی، اقتصادی، زیست‌محیطی و سلامت انسان در مناطق تحت تأثیر شده است؛ به‌گونه‌ای که بسیاری از استان‌های کشورمان تحت تأثیر این پدیده قرار گرفته‌اند؛ از این رو احیا بودن هورالهوریزه می‌تواند قسمتی از مشکلات مربوط به این پدیده را کاهش دهد. نرم‌افزاری که در این پژوهش برای شبیه‌سازی منابع آب حوضه هورالهوریزه، مورد استفاده قرار گرفته، مدل ویپ (WEAP<sup>1</sup>) است. از مدل WEAP در کشورهای مختلف در طرح‌ها مختلف تحقیقاتی و کاربردی استفاده شده است. لی و همکاران (۲۰۱۵) از مدل WEAP برای ارزیابی استراتژی‌های مدیریت منابع آب در منطقه ساحلی Binhai چین استفاده کردند. در این مطالعه برای بررسی وضعیت آب در دسترس منطقه تا سال ۲۰۲۰ برای مصارف مختلف، از مدل WEAP با اجرای سه رویکرد افزایش جمعیت شهری، تعدیل ساختار صنعتی و تغییر سیاست تخصیص منابع آب استفاده شد. نتایج نشان داد فشار بر منابع آب در آینده افزایش خواهد یافت و تأمین منابع آب در این منطقه با مشکل روبه‌رو خواهد شد. دهقان و همکاران (۱۳۹۴) برای تعیین مقدار آب تخصیص‌یافته برای بخش صنعت از سدهای گلستان و وشمگیر در حوضه گرگان‌رود (استان گلستان) از مدل WEAP استفاده کردند. پس از بررسی‌های انجام‌شده و مدل کردن حوضه گرگان‌رود و به‌دست آوردن درصد حجم آب قابل تخصیص برای نیازهای کشاورزی، صنعت، آبی‌پروری و زیست‌محیطی با توجه به اهداف مورد نظر، نتایج به‌دست آمده، نشان داد که در برنامه‌ریزی جدید تخصیص منابع آب گرگان‌رود می‌توان با پذیرفتن ۵ درصد

کاهش اعتمادپذیری سیستم، نیاز صنعت حاشیه سد وشمگیر را به میزان ۹/۵ میلیون مترمکعب تأمین کرد. کرمانشاهی و همکاران (۱۳۹۱) در پژوهش خود برای ارزیابی تأثیر مدیریت مصرف آب آبیاری بر منابع آب دشت نیشابور از مدل WEAP استفاده کردند. در این مطالعه وضعیت منابع آب و تقاضاهای آبیاری دشت نیشابور با استفاده از مدل WEAP بررسی شد. در این پژوهش رویکردهایی با عناوین تغییر الگوی کشت، کاهش سطح زیرکشت و سناریوی ترکیبی (ترکیب این دو راهکار) مطرح شد و سپس برای یک دوره ۲۰ ساله شبیه‌سازی انجام گرفت. نتایج نشان دادند که با اعمال این سناریوها، میانگین سالانه نیاز آبیاری به‌ترتیب حدود ۹، ۱۰ و ۱۸ درصد کمتر خواهد شد و متعاقباً از رقم میانگین کسری سالانه مخزن به‌ترتیب ۱۳، ۸ و ۱۸ درصد کاسته می‌شود. یزدان‌پناه و همکاران (۱۳۸۶) با مطالعه‌ای در حوضه ازغند واقع در خراسان رضوی نشان دادند که با تغییر الگوی کشت و با کاهش سطح زیرکشت اراضی کشاورزی، می‌توان به وضعیت تعادل آب زیرزمینی دست یافت. همچنین با استفاده از سیستم‌های نوین آبیاری تحت‌فشار در صورت کاهش سطح زیرکشت اراضی کشاورزی تا حدودی می‌توان ذخیره آب زیرزمینی را افزایش داد؛ ولی در صورتی که استفاده از سیستم‌های تحت‌فشار با افزایش سطح زیرکشت همراه باشد، باعث افت شدید آب زیرزمینی خواهد شد. میرزایی و همکاران (۱۳۸۶) تخصیص بهینه آب آبیاری را بین محصولات و بین زارعان در مناطق مختلف برای رسیدن به حداکثر بازدهی از مسائل مهم در مدیریت آبیاری برمی‌شمارد. در این پژوهش تخصیص بهینه آب و الگوهای کشت در دشت تجن با توجه به تغییرات در درآمدهای مورد انتظار محصولات کشاورزی و افزایش قیمت آب تجزیه و تحلیل شد. نتایج نشان داد که بهینه‌سازی الگوهای کشت و تخصیص آب به بخش کشاورزی به افزایش سود مالی در این بخش کمک قابل‌توجهی می‌کند.

با توجه به وضعیت موجود هورالهوریزه و ارتباط تنگاتنگ آن با پدیده گردوغبار که این روزها به یکی از مشکلات اصلی جامعه بدل شده، احیا بودن این تالاب به امری ضروری تبدیل شده است. در این پژوهش به بررسی تأمین یا عدم تأمین حبابه هورالهوریزه در سال‌های آتی با استفاده از مدل WEAP پرداخته شده است. بررسی تأمین یا عدم

تفکیک محدوده‌های مطالعاتی و در حوضه دجله به علت نداشتن اطلاعات مجزا در هر محدوده مطالعاتی، مصارف و برداشت‌ها به تفکیک کشورهای موجود در حوضه (ترکیه و عراق)، وارد مدل شد مهندس مشاور بهان سد، ۱۳۹۱؛ آلتینبیلک، ۱۹۹۷).

### شبیه‌سازی و واسنجی مدل WEAP در حوضه سد کرخه

برای شبیه‌سازی حوضه پایین دست سد کرخه در یک دوره ۴۶ سال (۱۹۶۷-۲۰۱۲)، دبی عبوری از ایستگاه هیدرومتری  $K_1$  (جدول ۱) به عنوان سرشاخه حوضه در مدل در نظر گرفته شد. علت این انتخاب را می‌توان این‌گونه بیان کرد که این ایستگاه قبل ایجاد سد و همچنین بعد از احداث سد کرخه فعال بوده و در نزدیک‌ترین فاصله از سد کرخه است؛ به‌گونه‌ای که دبی ثبت‌شده در این ایستگاه از سال ۲۰۰۳ به بعد همان آب رهاشده از سد کرخه است. بعد از وارد کردن مقادیر دبی عبوری از ایستگاه  $K_1$  به عنوان دبی سرشاخه منطقه مورد مطالعه (مهندسی مشاور بهان سد، ۱۳۹۱)، تمامی مصارف و برداشت‌ها از رودخانه کرخه در پایین دست سد کرخه و همچنین تمامی آبراهه‌ها و رواناب‌های ایجاد شده در سطح حوضه پایین دست سد کرخه به مدل اضافه شد. در ادامه برای بالا بردن دقت و کاهش خطای شبیه‌سازی، این مدل در دو مقطع مورد واسنجی و صحت‌سنجی قرار گرفت. مقطع اول در ایستگاه هیدرومتری  $K_2$  (شکل ۲) و واسنجی مقطع دوم در نزدیکی هورالعظیم با چهار ایستگاه هیدرومتری  $K_3, K_4, K_5$  و  $K_6$  (شکل ۲) که هر کدام روی انشعابات رودخانه کرخه در نزدیکی هورالعظیم قرار دارند، انجام شد. برای برآورد میزان خطای واسنجی و صحت‌سنجی در مدل شبیه‌سازی از شاخص میانگین قدر مطلق خطای نسبی ( $MARE^3$ ) استفاده شده است (معادله (۱)).

$$MARE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|Q_{ci} - Q_{oi}|}{Q_{oi}} \quad (1)$$

در این معادله،  $Q_{ci}$  دبی محاسبه‌شده با مدل در سال  $i$ ام،  $Q_{oi}$  دبی مشاهداتی ایستگاه آب‌سنجی در سال  $i$ ام و  $n$  تعداد داده‌ها است. واسنجی با استفاده از با تغییر پارامترهایی مرتبط با مصارف انجام شد.

تأمین حقابه زیست‌محیطی هورالهویزه در وضعیت مختلف بهره‌برداری با کشورهای ایران، عراق و ترکیه از نوآوری‌های پژوهش حاضر به شمار می‌آید. هدف از این پژوهش، بررسی وضعیت حاکم بر منابع آب سطحی حوضه‌های سد کرخه، رودخانه دجله و تالاب مرزی هورالهویزه در سه کشور ایران، عراق و ترکیه و شبیه‌سازی آن‌ها با استفاده از نرم‌افزار WEAP و همچنین اجرای رویکردهای مختلفی همچون رویکرد توسعه و عدم توسعه بهره‌برداری از منابع آب با سه کشور ایران، عراق و ترکیه (در وضعیت فعلی و آینده) برای بررسی و پیش‌بینی تأمین یا عدم تأمین حقابه زیست‌محیطی هورالهویزه است.

### مواد و روش‌ها

#### منطقه مورد مطالعه

هورالهویزه با مساحتی معادل ۳۰۰۰ کیلومتر مربع، یکی از تالاب‌های بزرگ جهان که در مرز ایران و عراق بین انتهای شاخه‌های دلتای شرق دجله و انتهای رودخانه کرخه واقع شده است (زبیاچی و همکاران، ۱۳۸۸). قسمتی از آب رودخانه دجله بعد از وارد شدن به این تالاب، از انتهای تالاب با خروجی‌های تالاب تخلیه می‌شود و به اروندرود (شط‌العرب) می‌ریزد. این تالاب در طول جغرافیایی ۴۷ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۴۸ درجه و عرض جغرافیایی ۳۱ درجه تا ۳۱ درجه و ۵۰ دقیقه قرار دارد (شکل ۱). حجم کل تالاب حدوداً معادل ۳۸۷۷ میلیون مترمکعب است و حجم مخزن محدودشده در خاک ایران تقریباً ۱۵۳۵ میلیون مترمکعب است (اسکافی و همکاران، ۱۳۹۳). منابع آبی تأمین‌کننده هورالهویزه (هورالعظیم) شامل انشعابات رودخانه کرخه (هوفل، نیسان و کرخه نور)، رودخانه طیب<sup>۱</sup> و دویرج<sup>۲</sup> از ایران و انشعابات دجله (کهلا و و مشاوره) از عراق است.

#### داده‌های ورودی

با بررسی‌های انجام شده و اطلاعات به دست آمده، شماتیک شبکه آبراهه‌های حوضه رودخانه کرخه و دجله به صورت شکل ۲ در محیط نرم‌افزار WEAP ترسیم شد. در ادامه تمامی مصارف و برداشت‌ها از رودخانه کرخه در پایین دست سد کرخه، اعم از کشاورزی، شرب و صنعت به

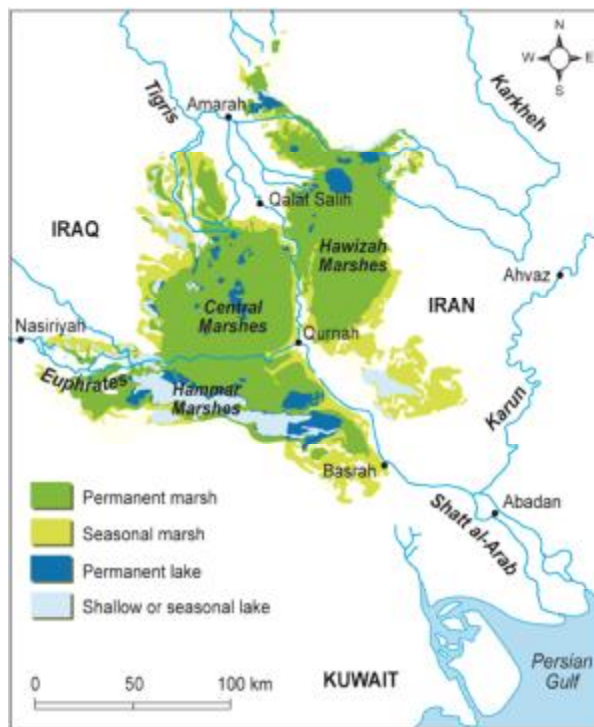
1- Tib  
2- Dwairej

3- Mean Absolute Relative Error

مصارف و برداشت‌ها از رودخانه دجله و سرشاخه‌های آن در ترکیه به‌عنوان دبی سرشاخه رودخانه دجله در نظر گرفته شد. بعد از لحاظ کردن تمامی مصارف و برداشت‌ها اعم از کشاورزی، شرب و صنعت به تفکیک کشورهای واقع در حوضه دجله، برای بالا بردن دقت و کاهش خطای شبیه‌سازی، مدل ایجادشده با ایستگاه هیدرومتری T<sub>8</sub> واقع در کشور عراق واسنجی و صحت‌سنجی شد.

### شبیه‌سازی و واسنجی مدل WEAP در حوضه دجله

حوضه دجله از دامنه‌های جنوبی رشته‌کوه توروس در شرق ترکیه سرچشمه می‌گیرد و بعد از عبور از مرز سوریه وارد خاک عراق می‌شود. برای شبیه‌سازی ماهانه حوضه دجله در یک دوره آماری ۱۸ سال (۱۹۵۸-۱۹۷۵)، دبی عبوری از ایستگاه هیدرومتری T<sub>1</sub> (شکل ۲) در منطقه فیشخابور- توسان در ورودی عراق با اضافه کردن حجم



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی هورالهبوزه (هورالعظیم) (ریکاسویز، ۲۰۰۲)

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های مورد استفاده در منطقه مورد مطالعه (صالح، ۲۰۱۰)

نام ایستگاه	نام رودخانه	مختصات جغرافیایی	طول دوره آماری
T <sub>1</sub> PaishKhabur-Tusan	دجله	37°04'00"N/42°23'00"E	ژانویه ۱۹۵۸ - سپتامبر ۱۹۷۵
T <sub>2</sub> Manquba	کزیر <sup>۱</sup>	36°18'00"N/43°33'00"E	فوریه ۱۹۴۳ - جولای ۱۹۹۴
T <sub>3</sub> Eski Kelek	زاب بزرگ	36°16'00"N/43°39'00"E	ژانویه ۱۹۳۲ - سپتامبر ۱۹۹۰
T <sub>4</sub> Altun Kupri-Goma	زاب کوچک	35°45'41"N/44°08'52"E	اکتبر ۱۹۳۲ - می ۱۹۸۷
T <sub>5</sub> Injana	ادهیم <sup>۲</sup>	34°30'00"N/44°31'00"E	اکتبر ۱۹۴۵ - سپتامبر ۱۹۹۷
T <sub>6</sub> discharge site	دیاله <sup>۳</sup>	35°06'01"N/45°42'02"E	ژانویه ۱۹۳۰ - سپتامبر ۱۹۹۱
T <sub>7</sub> Gharraf Canal	دجله	32°31'55"N/45°47'25"E	دسامبر ۱۹۴۰ - مارس ۲۰۰۵
T <sub>8</sub> Kut Barrage	دجله	32°29'00"N/45°50'00"E	اکتبر ۱۹۳۱ - نوامبر ۲۰۰۵
K <sub>1</sub> پای پل	کرخه	32°25'00"N/48°09'00"E	اکتبر ۱۹۶۲ - سپتامبر ۲۰۱۲

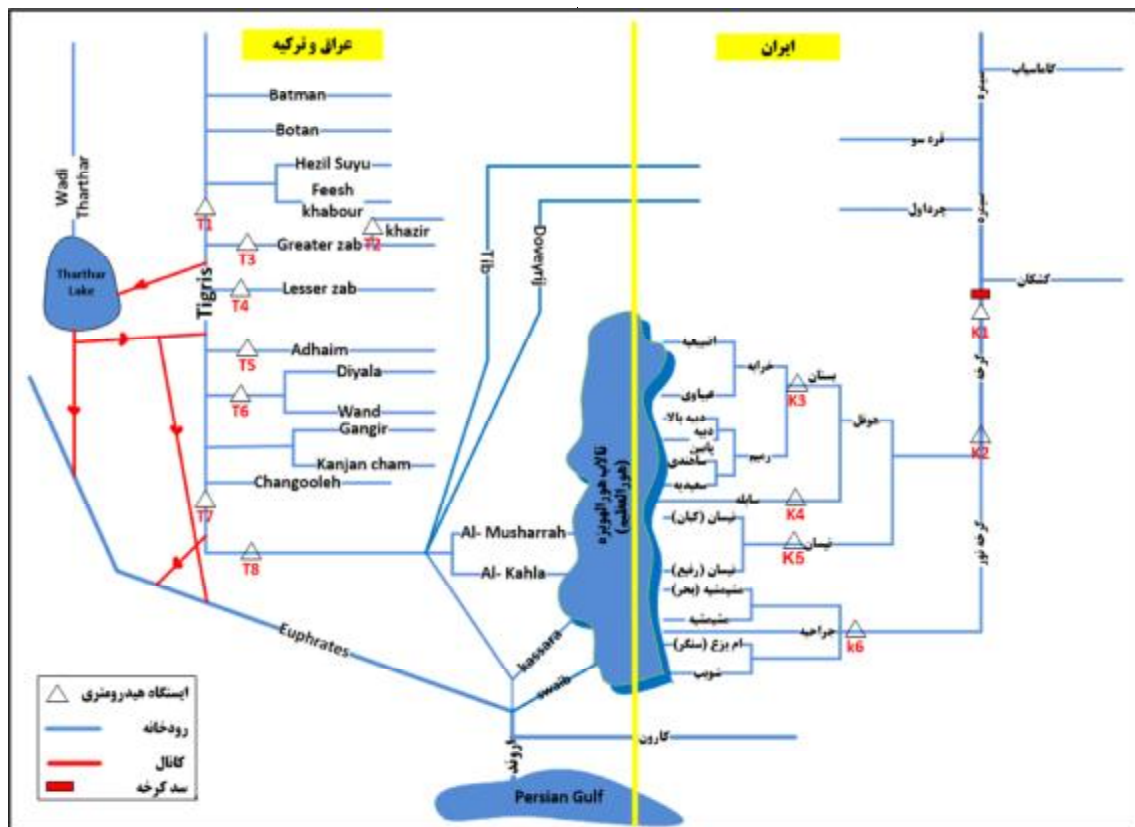
1- Khazir

2- Adhaim

3- Diyala

ادامه جدول ۱-

نام ایستگاه	نام رودخانه	مختصات جغرافیایی	طول دوره آماری
K <sub>۲</sub>	کرخه	31°30'00"N/48°26'00"E	اکتبر ۱۹۶۲ - سپتامبر ۲۰۱۲
K <sub>۳</sub>	بستان	31°43'00"N/47°59'00"E	اکتبر ۲۰۰۳ - سپتامبر ۲۰۱۲
K <sub>۴</sub>	سابله	31°41'00"N/47°54'00"E	اکتبر ۲۰۰۳ - سپتامبر ۲۰۱۲
K <sub>۵</sub>	نیسان	31°36'00"N/47°51'00"E	اکتبر ۲۰۰۴ - سپتامبر ۲۰۱۲
K <sub>۶</sub>	کرخه نور	31°52'00"N/47°92'00"E	اکتبر ۲۰۰۵ - سپتامبر ۲۰۱۲



شکل ۲- شماتیکی از رودخانه‌ها و ایستگاه‌های هیدرومتری حوضه کرخه و دجله

سال است، مقایسه شد (شرکت توسعه منابع آب و توسعه ایران، ۱۳۸۹). لازم است گفته شود که رویکرد A<sub>2</sub> یک رویکرد آماری یا به عبارت دیگر یک رویکرد تحلیل حساسیت است که با اجرای آن یک دید کلی از میزان آب وارده به تالاب تا سال ۲۰۱۲ به دست می‌آید.

#### حوضه رودخانه دجله

برای بررسی تأمین یا عدم تأمین حقایق زیست‌محیطی هورالهویزه از رودخانه دجله، دو رویکرد B<sub>1</sub> (بررسی وضعیت حقایق زیست‌محیطی هورالهویزه در وضعیت عدم توسعه حوضه رودخانه دجله تا سال ۲۰۴۲) و B<sub>2</sub>

#### معرفی رویکردها

##### حوضه سد کرخه

مطابق با جدول ۲ روی مدل شبیه‌سازی شده سه رویکرد A<sub>1</sub> (پیش‌بینی آب ورودی به هورالعظیم در وضعیت عدم توسعه حوضه سد کرخه تا سال ۲۰۴۲)، A<sub>2</sub> (بررسی آب ورودی به هورالعظیم تا سال ۲۰۱۲) و A<sub>3</sub> (پیش‌بینی آب ورودی به هورالعظیم در وضعیت توسعه حوضه سد کرخه تا سال ۲۰۴۲) اجرا شد و میزان آب وارده به هورالعظیم با حداقل دبی موردنیاز برای رهاسازی به هورالعظیم که براساس مطالعات صورت‌گرفته با شرکت توسعه منابع آب و نیروی ایران در سال ۱۳۸۹، ۱۲۷۱ میلیون مترمکعب بر

زیست‌محیطی هورالهیوزه که ۲۱۰ مترمکعب بر ثانیه برآورد شده است، مقایسه شد (عراق، ۲۰۰۸).

(پیش‌بینی تأمین یا عدم تأمین حبابه زیست‌محیطی هورالهیوزه در وضعیت توسعه حوضه رودخانه دجله تا سال ۲۰۴۲) روی مدل شبیه‌سازی شده اجرا شد و با حبابه

جدول ۲- رویکردهای مختلف اجرا شده روی مدل شبیه‌سازی منطقه مورد مطالعه

حوضه	رویکرد	توضیحات
پایین دست سد کرخه	A <sub>۱</sub>	پیش‌بینی آب ورودی به هورالعظیم در وضعیت عدم توسعه بهره‌برداری در حوضه سد کرخه تا سال ۲۰۴۲
	A <sub>۲</sub>	بررسی آب ورودی به هورالعظیم تا سال ۲۰۱۲ (رویکرد تحلیل حساسیت یا رویکرد آماری)
	A <sub>۳</sub>	پیش‌بینی آب ورودی به هورالعظیم در وضعیت توسعه بهره‌برداری در حوضه سد کرخه تا سال ۲۰۴۲
دجله	B <sub>۱</sub>	بررسی وضعیت حبابه زیست‌محیطی هورالهیوزه در وضعیت عدم توسعه بهره‌برداری در حوضه رودخانه دجله تا سال ۲۰۴۲
	B <sub>۲</sub>	پیش‌بینی تأمین یا عدم تأمین حبابه زیست‌محیطی هورالهیوزه در وضعیت توسعه بهره‌برداری در حوضه رودخانه دجله تا سال ۲۰۴۲

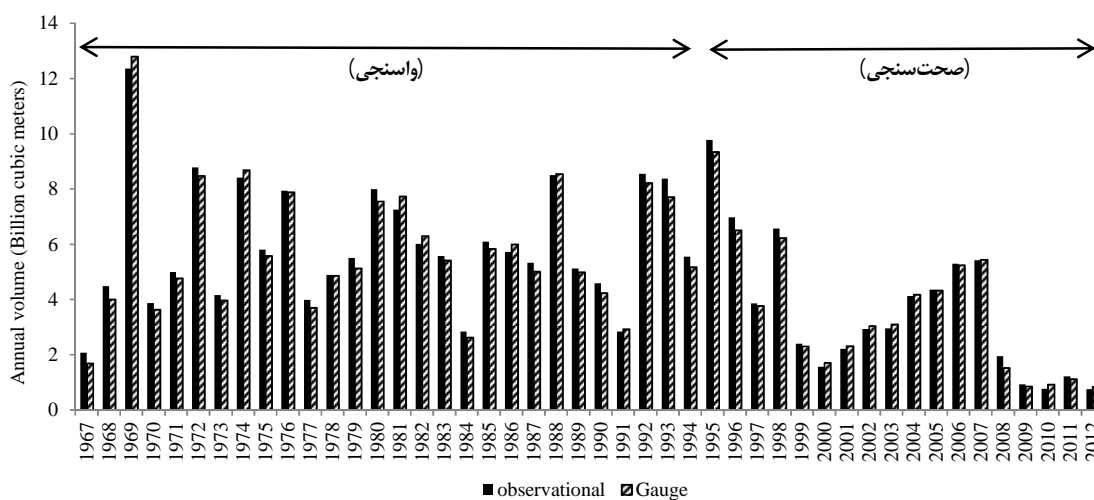
## نتایج و بحث

### بررسی نتایج واسنجی و صحت‌سنجی مدل WEAP

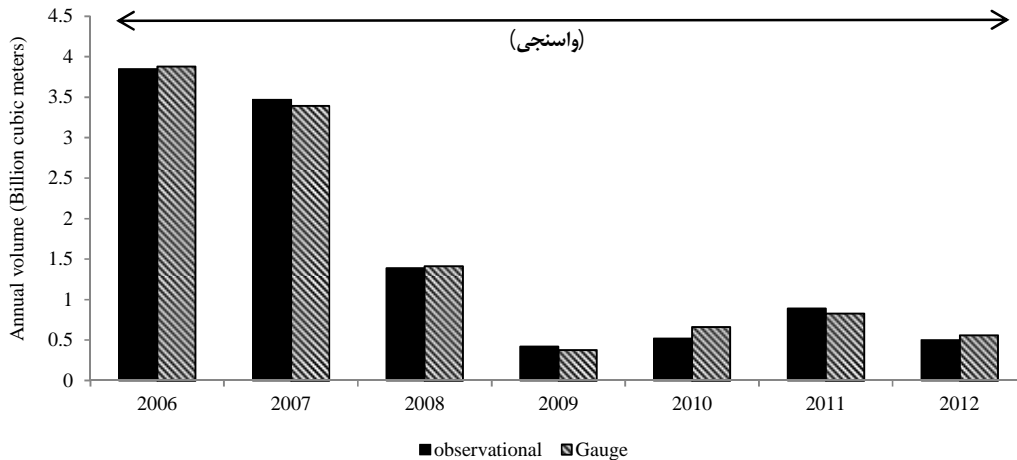
#### در حوضه سد کرخه

برای ارزیابی میزان دقت مدل شبیه‌سازی شده در حوضه سد کرخه و برآورد میزان خطای شبیه‌سازی، مدل WEAP در دو مقطع واسنجی و صحت‌سنجی شد. همان‌گونه که در شکل ۳ مشاهده می‌شود، واسنجی مدل در ایستگاه K<sub>۲</sub> در یک دوره آماری ۲۸ سال (۱۹۶۷-۱۹۹۴) و صحت‌سنجی آن طی دوره ۱۸ سال بعد از آن (۱۹۹۵-۲۰۱۲) انجام و مقدار میانگین قدر مطلق خطای

نسبی (MARE) با توجه به رابطه (۱) طی دوره واسنجی و صحت‌سنجی به ترتیب برابر ۰/۰۵۷ و ۰/۰۶۶ برآورد شد. همان‌گونه که در شکل ۴ دیده می‌شود، واسنجی مدل شبیه‌سازی شده حوضه سد کرخه در مقطع دوم با مجموع چهار ایستگاه هیدرومتری K<sub>۳</sub>، K<sub>۴</sub>، K<sub>۵</sub> و K<sub>۶</sub> در یک دوره آماری ۷ سال (۲۰۰۶-۲۰۱۲) به علت تازه احداث بودن ایستگاه‌های هیدرومتری و نداشتن آمار درازمدت آبدی، انجام و مقدار میانگین قدر مطلق خطای نسبی (MARE) با توجه به معادله (۱) برابر ۰/۰۷۷ برآورد شد.



شکل ۳- واسنجی و صحت‌سنجی مدل شبیه‌سازی شده حوضه سد کرخه در مقطع اول (ایستگاه هیدرومتری K<sub>۲</sub>)

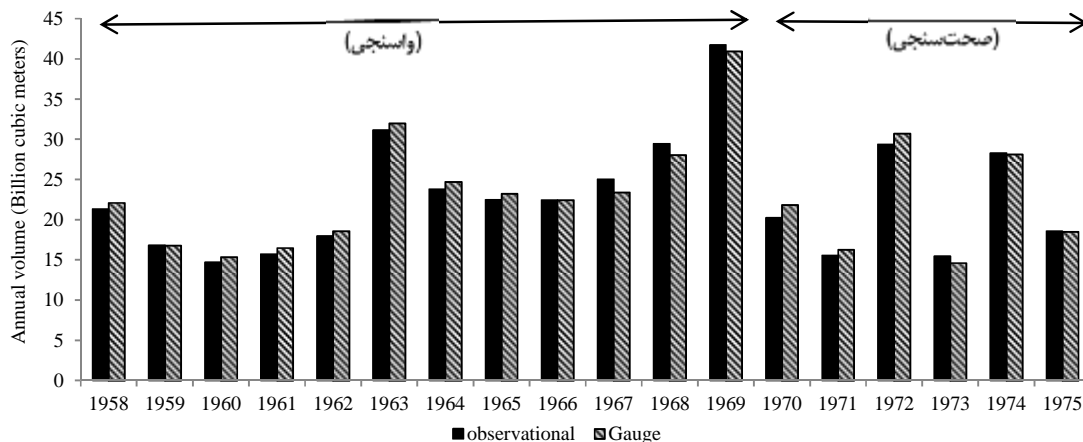


شکل ۴- واسنجی مدل شبیه‌سازی شده حوضه سد کرخه در مقطع دوم (مجموع چهار ایستگاه هیدرومتری)

۶ سال (۱۹۷۵-۱۹۷۰) صحت‌سنجی شد و مقدار میانگین قدرمطلق خطای نسبی (MARE) با توجه به رابطه (۱) طی دوره واسنجی و صحت‌سنجی به ترتیب برابر ۰/۰۳۳ و ۰/۰۳۷ برآورد شد.

#### بررسی نتایج واسنجی و صحت‌سنجی مدل WEAP در حوضه دجله

مطابق شکل ۵ شبیه‌سازی مدل WEAP در حوضه رودخانه دجله در ایستگاه هیدرومتری T<sub>8</sub> طی یک دوره ۱۲ سال (۱۹۵۸-۱۹۶۹) واسنجی و در ادامه در یک دوره



شکل ۵- واسنجی و صحت‌سنجی مدل شبیه‌سازی شده حوضه دجله در ایستگاه هیدرومتری T<sub>8</sub> در منطقه کوت (Kut)

آبریز کرخه و در دوره ۲۰۰۹-۲۰۱۲ علاوه بر کاهش نزولات جوی، کاهش میزان آب رهاسازی شده از سد کرخه است؛ اما به صورت کلی از سال ۱۹۶۷-۲۰۱۲ میزان آب ورودی به هورالعظیم روند نزولی را در پیش داشته است که علت این امر، می‌تواند ساخت سدهای متعدد در بالادست هورالعظیم در حوضه کرخه و در راستای آن توسعه شبکه‌های آبیاری زهکشی در پایین‌دست سدها

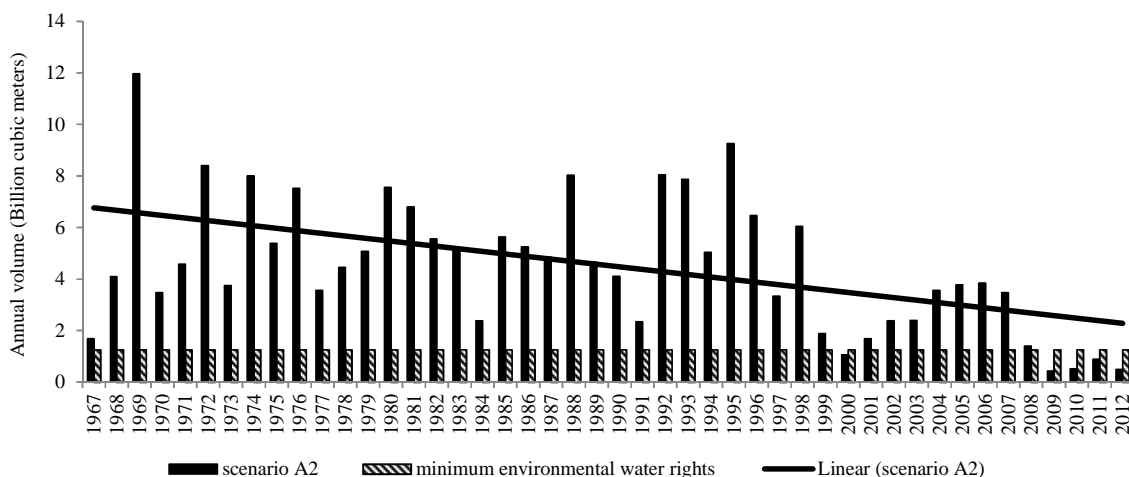
#### بررسی نتایج رویکردهای اجرا شده در مدل شبیه‌سازی WEAP

##### حوضه سد کرخه

مطابق شکل ۶ در رویکرد A<sub>2</sub> طی دوره آماری سال ۱۹۶۷ تا ۲۰۱۲ فقط در سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۰۹-۲۰۱۲ حقابه زیست‌محیطی هورالعظیم تأمین نشده است که علت آن در سال ۲۰۰۰ می‌تواند کاهش نزولات جوی در حوضه

است که اگر تمهیدات لازم در راستای کاهش مصارف مختلف به‌ویژه کشاورزی صورت نگیرد، این پارامتر می‌تواند در سال‌های آتی رقم بالاتری را به خود اختصاص دهد.

باشد (شرکت توسعه منابع آب و نیروی ایران، ۱۳۸۸). مطابق جدول ۳ درصد عدم تأمین حقابه زیست‌محیطی هورالعظیم براساس منحنی تداوم جریان حجم آب سالانه رها شده برای هورالعظیم در رویکرد A<sub>2</sub> حدود ۱۱ درصد



شکل ۶- مقایسه میزان آب ورودی به هورالعظیم در رویکرد A<sub>2</sub> (میلیارد مترمکعب) با حقابه زیست‌محیطی تالاب

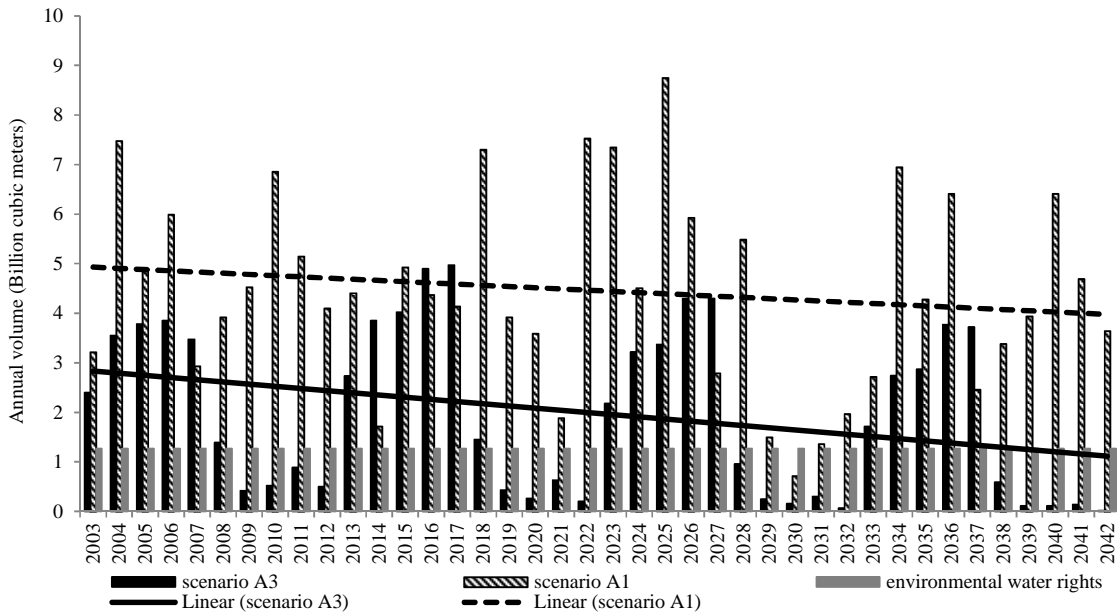
خوزستان در پایین‌دست سد کرخه باشد که این اتفاق می‌تواند مشکلات متعددی را به‌ویژه در بحث ریزگردها برای کشور به همراه داشته باشد. در رویکرد A<sub>1</sub> اگرچه مقدار عددی شاخص عدم تأمین حقابه زیست‌محیطی تالاب به حداقل مقدار خود رسیده است؛ اما باز هم در حدود ۲/۵ درصد از مواقع طی این دوره آماری حقابه زیست‌محیطی تالاب با صرف‌نظر از تأثیر سد کرخه و طرح‌های توسعه آبیاری زهکشی پایین‌دست آن، تأمین نشده است. این موضوع می‌تواند این‌گونه تحلیل شود که حتی اگر سد کرخه و طرح‌های توسعه آبیاری زهکشی پایین‌دست آن اجرایی نمی‌شد، بازهم در بعضی مواقع امکان عدم تأمین حقابه زیست‌محیطی هورالعظیم وجود داشت که علت آن، می‌تواند الگوی کشت حاکم بر منطقه و استفاده از روش‌های آبیاری سنتی در منطقه مورد مطالعه باشد. با مقایسه میزان آب ورودی به هورالعظیم در دو رویکرد A<sub>1</sub> و A<sub>3</sub> طی یک دوره ۴۰ سال (۲۰۰۳-۲۰۴۲) مطابق شکل ۷، در اکثر سال‌ها میزان آب ورودی به هورالعظیم در رویکرد A<sub>1</sub> بیشتر از رویکرد A<sub>3</sub> است که علت این امر، صرف‌نظر کردن از طرح‌های توسعه کشاورزی و سد کرخه در رویکرد A<sub>1</sub> است. همچنین اختلاف حجم آب ورودی به هورالعظیم در دو رویکرد نام

در رویکرد A<sub>3</sub> با تکرار سیکل هیدرولوژیکی (۲۰۰۳-۲۰۱۲) از سال ۲۰۱۳ تا سال ۲۰۴۲، مشاهده می‌شود که نمودار مربوط به رویکرد A<sub>3</sub> با یک فرم خاصی (شکل ۷) در حال تکرار بوده که علت این امر همان تکرار دوره آماری ۱۰ سال بعد از احداث سد کرخه است؛ اما علت این‌که در دوره آماری ۲۰۱۳-۲۰۲۲ حجم آب بیشتری نسبت به دوره ۲۰۰۳-۲۰۱۲ وارد تالاب شده، این است که از سال ۲۰۰۹ با کاهش نزولات جوی در حوضه کرخه و در راستای آن کاهش آب رهاسازی از سد کرخه برای تأمین حداقل حقابه زیست‌محیطی تالاب در اراضی پایین‌دست سد کرخه، محدودیت کشت لحاظ و این امر باعث شد آب بیشتری وارد تالاب شود. نمودار مربوط به رویکرد A<sub>3</sub> به‌خوبی نشان می‌دهد که اگر وضعیت و سیاست‌های حاکم بر حوضه کرخه در مورد احداث سدهای متعدد و توسعه شبکه‌های آبیاری پایین‌دست سد به همین نحو ادامه پیدا کند و تجدیدنظری در آن‌ها صورت نگیرد همان‌گونه که در جدول ۳ مشاهده می‌شود، در ۴۵ درصد از مواقع طی این دوره آماری حقابه زیست‌محیطی هورالعظیم تأمین نخواهد شد که به‌عنوان مثال یکی از علل آن می‌تواند توسعه شبکه‌های آبیاری برای زیر آب بردن ۳۲۰۰۰۰ هکتار از اراضی دشت



مطالعه بر میزان حجم ورودی به هورالعظیم در این دوره ۴۰ سال است.

برده، طی دوره ۴۰ سال (۲۰۰۳-۲۰۴۲) حدوداً ۹۹ میلیارد مترمکعب است که خود بیان‌کننده میزان تأثیر سد کرخه و طرح‌های توسعه کشاورزی در منطقه مورد



شکل ۷- مقایسه میزان حجم آب ورودی به هورالعظیم در دو رویکرد A<sub>3</sub> و A<sub>1</sub> با حقابه زیست محیطی تالاب (میلیارد مترمکعب)

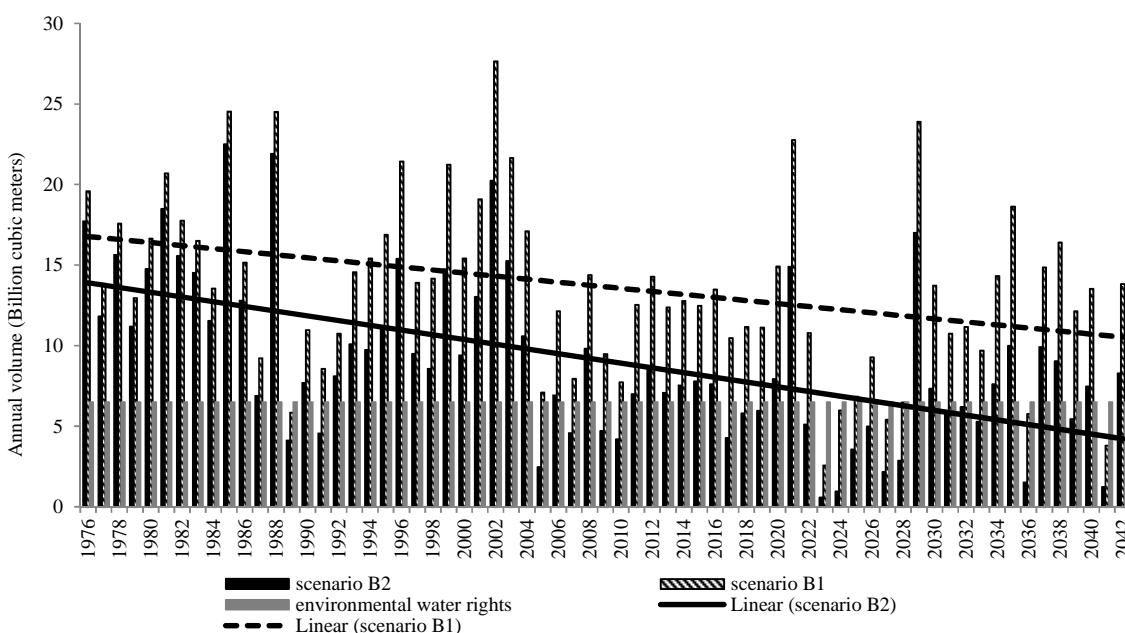
سدهای متعدد و اجرای طرح‌ها توسعه آبیاری بپردازند (آلتینلیک، ۱۹۹۷؛ عراق، ۲۰۰۸)، در حدود ۳۳ درصد از مواقع حقابه تالاب تأمین نمی‌شود (جدول ۳) که این امر می‌تواند مشکلات فراوانی را برای کشورهای ایران و عراق در پی داشته باشد. برای جلوگیری از این رخداد، حوضه رودخانه دجله، نیازمند یک طرح مدیریت جامع آب است که طبق آن تمامی کشورهای شامل این حوضه، موظف به انجام تعهدات خود در راستای تأمین حقابه زیست محیطی هورالهیوزه باشند که این تعهدات می‌تواند به‌عنوان مثال تغییر الگوی کشت، بهینه‌سازی مخازن سدها، رهاسازی حقابه کشورهای پایین‌دست، توقف طرح‌های سدسازی، صرفه‌جویی در میزان مصرف آب به‌ویژه در بخش کشاورزی و موارد دیگر باشد؛ اما در رویکرد B<sub>1</sub> با حذف سدسازی‌های انجام شده و طرح‌های توسعه کشاورزی موجود در حوضه دجله مشاهده می‌شود که فقط در ۹ درصد از مواقع حقابه تالاب تأمین نمی‌شود (جدول ۳) که علت آن می‌تواند الگوی کشت حاکم بر حوضه یا سیستم‌های آبیاری سنتی موجود در کشور عراق باشد که در صورت اصلاح این موارد، به‌یقین شاخص عدم تأمین حقابه تالاب به کمترین مقدار خود خواهد رسید.

### حوضه رودخانه دجله

براساس نتایج به‌دست آمده از مدل شبیه‌سازی‌شده، در رویکرد B<sub>2</sub> از سال ۱۹۷۶-۲۰۰۲ حقابه زیست محیطی هورالهیوزه در اکثر مواقع قابل تأمین بوده است (شکل ۸)؛ اما با تصمیمات حکومت وقت عراق بیشتر از دوسوم حجم آب رودخانه دجله قبل از رسیدن به تالاب منحرف و آن یک‌سوم باقیمانده براساس نظرات کارشناسان محلی برای تأمین حقابه اراضی کشاورزی افراد بعضی که در نزدیکی تالاب ساکن بودند، رها می‌شد؛ اما بعد از سال ۲۰۰۲ با تخریب بندهای انحرافی با مردم و حکومت وقت، دوباره تالاب‌ها شکل احیاشده‌ای را به خود گرفتند. از سال ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۱ نوسانات زیادی در راستا احیای تالاب‌های سه‌گانه به‌خصوص هورالهیوزه انجام شد که دلیل آن را می‌توان خشک‌سالی، سدهای ساخته‌شده در بالادست رودخانه و انحراف آب از منابع تغذیه‌کننده و خود هورالهیوزه با کشاورزان محلی بیان کرد (اسکافی و همکاران، ۱۳۹۳). به‌طورکلی با مشاهده نمودار مربوط به رویکرد B<sub>2</sub> در شکل ۸، می‌توان این‌گونه بیان کرد که اگر وضعیت حاکم بر حوضه رودخانه دجله به همین منوال ادامه پیدا کند و کشورهای ترکیه و عراق به احداث

رودخانه دجله است. همچنین اختلاف حجم آب در دسترس در دو رویکرد اجرا شده طی دوره آماری ذکر شده حدود ۳۰۷/۵ میلیارد مترمکعب است که این عدد خود نشان‌دهنده تأثیر احداث سدهای متعدد در حوضه دجله طی دوره آماری یادشده است.

به‌طورکلی با مقایسه حجم سالانه آب دجله در ورودی هورالهوریزه در دو رویکرد اجرا شده طی دوره آماری ۱۹۷۶-۲۰۴۲، در تمامی سال‌ها حجم آب در دسترس برای تأمین حقابه زیست‌محیطی هورالهوریزه در رویکرد B<sub>1</sub> بیشتر از رویکرد B<sub>2</sub> است که علت این امر صرف‌نظر کردن از سدهای احداث‌شده و یا برنامه‌ریزی‌شده در حوضه



شکل ۸- مقایسه میزان حجم سالانه آب رودخانه دجله در ورودی هورالهوریزه در دو رویکرد B<sub>1</sub> و B<sub>2</sub> با حقابه تعیین‌شده هورالهوریزه (میلیارد مترمکعب)

جدول ۳- مقایسه شاخص عدم تأمین حقابه زیست‌محیطی هورالهوریزه در رویکردهای مختلف

	شاخص عدم تأمین حقابه زیست‌محیطی				
	کرخه			دجله	
رویکرد	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>
درصد عدم تأمین حقابه زیست‌محیطی	۲/۵	۱۱	۴۵	۹	۳۳

### نتیجه‌گیری

بررسی وضعیت حاکم بر منابع آب سطحی حوضه رودخانه دجله و سد کرخه و همچنین پیش‌بینی وضعیت تأمین حقابه زیست‌محیطی هورالهوریزه (هورالعظیم) در وضعیت فعلی و آینده تا سال ۲۰۴۲ با اجرای رویکردهای (A<sub>1</sub>، A<sub>3</sub>) و (B<sub>1</sub>، B<sub>2</sub>) به‌ترتیب در حوضه سد کرخه و حوضه رودخانه دجله انجام شد. نتایج نشان داد که در صورت اجرای رویکرد A<sub>3</sub>، در ۴۵ درصد از مواقع حقابه زیست‌محیطی هورالعظیم تأمین نشده است که علت این امر می‌تواند توسعه شبکه‌های آبیاری برای زیر آب بردن

همچنین نتایج به‌دست آمده از اجرای رویکرد B<sub>2</sub> در حوضه آبریز دجله با پژوهش آلتینبلیک (۱۹۹۷) مقایسه شد. براساس پژوهش نامبرده، میزان آب خروجی از رودخانه دجله به اوندردود در سال ۲۰۴۰ حدوداً برابر با ۹/۵ میلیارد مترمکعب پیش‌بینی شد که با نتایج به‌دست آمده از مدل شبیه‌سازی‌شده WEAP در این پژوهش (۸ میلیارد مترمکعب) با در نظر گرفتن وضعیت کاملاً مناسب از نظر تأمین حداکثری حقابه زیست‌محیطی هورالهوریزه تقریباً همخوانی دارد.

- مدیریتی در حوضه گرگان رود. نشریه دانش آب و خاک. ۲۵: ۱۱۷-۱۳۲.
۳. زیبانی م. ناصری ع. جعفرزاده حقیقی فرد ن. ا. و بیبا م. ۱۳۸۸. تشریح یک مدل بیان کمی و کیفی در تعیین حقایق تالابها (تالاب هورالعظیم). سومین همایش تخصصی مهندسی محیط زیست، تهران. ۸-۱.
۴. شرکت توسعه منابع آب و نیروی ایران. ۱۳۸۸. طرح سیستمی حوضه آبریز رودخانه کرخه. مطالعات مصارف آب. جلد سوم. ۲۷۷: ۲۷۵-۲۷۰.
۵. شرکت توسعه منابع آب و نیروی ایران. ۱۳۸۹. طرح سیستمی حوضه آبریز کرخه. مطالعات اقتصادی و زیست محیطی. جلد چهارم. ۳۴۶: ۱۲۷-۱۳۰.
۶. شرکت مهندسان مشاور بهان سد. ۱۳۹۱ الف. گزارش نهایی منابع آب سطحی (کمی و کیفی) حوضه آبریز کرخه. جلد چهارم. ۳۱۵: ۳۹-۳۶.
۷. شرکت مهندسان مشاور بهان سد. ۱۳۹۱ ب. مطالعات بهنگام سازی طرح جامع آب کشور در حوضه آبریز کرخه. جلد هفتم. ۸۵: ۶۵-۱.
۸. کرمانشاهی س. داوری ک. هاشمی نیا س. م. فریدحسینی ع. و انصاری ح. ۱۳۹۱. کاربرد مدل WEAP در ارزیابی تأثیر مدیریت مصرف آب آبیاری بر منابع آب دشت نیشابور. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). ۲۷: ۴۹۵-۵۰۵.
۹. میرزایی ا. کویچی م. و کرامت زاده ع. ۱۳۸۶. اثر استراتژی های قیمتی آب بر تخصیص آب آبیاری (مطالعه موردی دشت تجن استان مازندران). ششمین کنفرانس اقتصاد کشاورزی ایران، مشهد، ۱۹-۱.
۱۰. یزدان پناه ط. خدانشناس س. ر. داوری ک. و قهرمان ب. ۱۳۸۶. مدیریت منابع آب حوضه آبریز با استفاده از مدل WEAP (مطالعه موردی حوضه ازغند). مجله علوم و صنایع کشاورزی، ویژه آب و خاک. ۲۲: ۲۱۳-۲۲۱.
11. Altinbilek H. D. 1997. Water and land resources development in southeastern Turkey. International Journal of Water Resources Development. 13: 311-32.
12. Iraq N. 2008. Management Plan for the Al-Hawizeh Marsh Ramsar Site of Iraq. Second

۳۲۰ هزار هکتار از اراضی دشت خوزستان در پایین دست سد کرخه باشد. همچنین با اجرای رویکرد A<sub>1</sub> مشخص شد که تنها در سال ۲۰۳۰ حقایق زیست محیطی هور تأمین نمی گردد و در بقیه دوره مازاد بر حقایق هورالعظیم وارد آن می شود. علاوه بر دو رویکرد A<sub>3</sub> و A<sub>1</sub> با اجرای رویکرد B<sub>2</sub> روی حوضه رودخانه دجله مشخص شد که اگر یک طرح مدیریت جامع آب در حوضه دجله انجام نشود، حداقل در ۳۳ درصد از مواقع حقایق زیست محیطی هورالهویزه تأمین نمی گردد. نتایج این رویکرد با پژوهش آلتینبیلک (۱۹۹۷) نسبتاً هماهنگ است. از طرف دیگر، با بررسی نتایج به دست آمده از رویکرد B<sub>1</sub> (عدم توسعه بهره برداری در حوضه دجله) می توان بیان کرد که فقط در حدود ۹ درصد از مواقع تا سال ۲۰۴۲ حقایق زیست محیطی هورالهویزه تأمین نمی شود. برای جلوگیری از این رخداد، تغییر سیاست الگوی کشت در منطقه مورد مطالعه و جایگزین کردن الگوی کشت مناسب با وضعیت اقلیمی و هیدرولوژیکی منطقه، به روزرسانی سیستم های آبیاری، عدم استفاده از روش های سنتی آبیاری، بهینه سازی مخازن سدهای موجود در منطقه مورد مطالعه و تغییر در میزان آب رهاسازی از آنها بسته به وضعیت زمانی حاکم در راستای تأمین حقایق زیست محیطی تالاب می تواند پیشنهاد مناسبی باشد. از روش مورد استفاده در این پژوهش می توان برای بررسی و پیش بینی تأمین یا عدم تأمین حقایق زیست محیطی هور مرکزی و هورالحمار که هم اکنون وضعیتی مشابه با هورالهویزه را دارند، استفاده کرد و در صورت عدم تأمین حقایق زیست محیطی این تالابها، برای پیشگیری از مشکلات جانبی آنها تمهیدات لازم در نظر گرفته شود.

## منابع

۱. اسکافی پ. دامن پاک ا. و چنگیزی ع. ۱۳۹۳. بررسی اثر تغییرات هیدرولوژیکی تالاب های بین النهرین بر ایجاد پدیده گردوغبار (مطالعه موردی تالاب هورالعظیم در جنوب غرب ایران). کنفرانس بین المللی توسعه پایدار، راهکارها و چالش ها با محوریت کشاورزی، منابع طبیعی، محیط زیست و گردشگری، تبریز. ۱-۱۴.
۲. دهقان ز. دلبری م. و محمدرضایپور ا. ا. ۱۳۹۴. برنامه ریزی تخصیص منابع آب تحت سناریوهای

- Draft. Volume 2: Management Issues and Recommendation .Sulaimani, Iraq. Nature Iraq.
13. Li X. Zhao Y. Shi C. Sha J. Wang Z.-L. and Wang Y. 2015. Application of Water Evaluation and Planning (WEAP) model for water resources management strategy estimation in coastal Binhai New Area, China. *Ocean & Coastal Management*. 106: 97-109.
  14. Rekacewicz P. 2002. From wetlands to dry lands: the destruction of the Mesopotamian marshlands. Collection Vital Water Graphics, UNEP/GRID-Arendal, 168 tags
  15. Saleh D. K. 2010. Stream gage descriptions and streamflow statistics for sites in the Tigris River and Euphrates River Basins, Iraq: U.S. Geological Survey Data Series 540. 146 p.