مجله پژوهش آب ایران
سال هشتم/ شماره چهاردهم/ بهار و تابستان ۱۳۹۳ (۱۹-۲۷)

تخمین ضریب‌های جریان برگشتی از نیازها در سطح حوضه آبریز شیان با واسنجی خودکار مدل MODSIM

ایمان سبززاده[۱*]، سعید علیمحمدی[۲] و مجتبی شوریان[۳]

چکیده

دانستن بهترین مقدار ضریب‌های جریان برگشتی از مصارف، برای مدیریت بهینه تخصیص و بهره‌برداری از منابع آب در سطح حوضه آبریز ضروری است. هدف این پژوهش تخمین ضریب‌های جریان برگشتی از نیازهای شرب، صنعت و کشاورزی سهم جریان سطحی از این جریان‌های برگشتی است. این کار به کمک فن واسنجی و استفاده از الگوریتم ژنتیک انجام می‌شود. MODSIM یک مدل پشتیبان تصمیم مدیریت حوضه آبریز است که به‌عنوان مدل شبیه‌سازی استفاده شده است. در این پژوهش، با استفاده از قابلیت سفارشی‌سازی مدل MODSIM، یعنی کدنویسی به زبان ویژوال بیسیک (VB) در درون مدل، امکان واسنجی ضریب‌های مورد نظر فراهم شده است. واسنجی برای سه ترکیب مختلف تابع هدف انجام شد. نتایج نشان داد که مناسب‌ترین و منطقی‌ترین نتایج در حالت سوم واسنجی، یعنی واسنجی با تابع هدف شامل RMSE جریان سطحی خروجی حوضه و RMSE تراز آبخوان حوضه حاصل شده است. ضریب‌های جریان برگشتی از نیازهای شرب، صنعت و کشاورزی برای زیرحوضه شیان در غرب کشور به‌ترتیب ۸۷، ۷۶ و ۱۸ درصد به دست آمده است.

واژه‌های کلیدی: ضریب جریان برگشتی، مدل MODSIM.

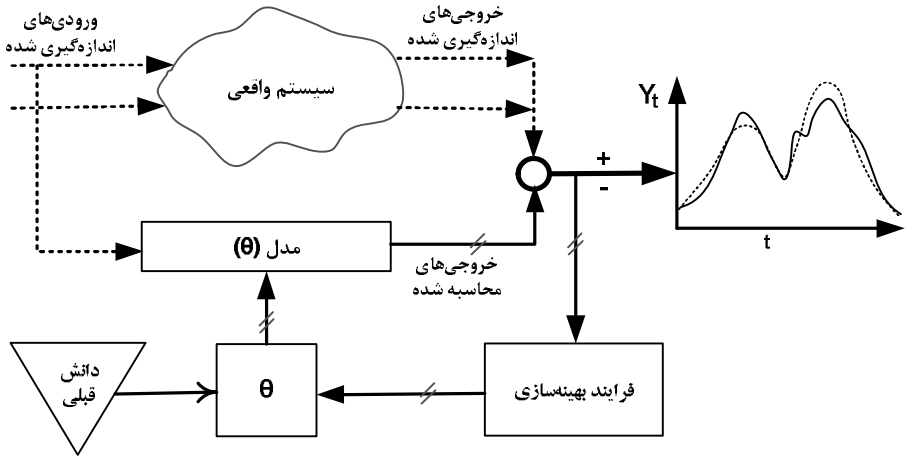
ارجاع: سبززاده ا. علیمحمدی س. و شوریان م. ۱۳۹۳. تخمین ضریب‌های جریان برگشتی از نیازها در سطح حوضه آبریز شیان با واسنجی خودکار مدل MODSIM. مجله پژوهش آب ایران. ۸(۱۴):۱۹-۲۷.

۱- دانشجوی دکتری مهندسی منابع آب، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تبریز.
۲- استادیار دانشکده مهندسی آب و محیطزیست، دانشگاه شهید بهشتی تهران.
۳- استادیار دانشکده مهندسی آب و محیطزیست، دانشگاه شهید بهشتی تهران.
*** نویسنده مسئول**: **imansabzzadeh@yahoo.com**
تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۱۱/۱۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۰۳/۲۰

مقدمه

همیشه بخشی از آب برداشتی برای تخصیص به نیازها پس از مصرف، دوباره به جریان سطحی و یا زیرزمینی برمی‌گردد، که به آن جریان برگشتی می‌گویند. همچنین یکی از مسائل پیچیده در مدل‌سازی منابع و مصارف آب در مقیاس حوضه آبریز، تعیین مقادیر (حجمی) جریان برگشتی است. در مطالعات برنامه‌ریزی منابع آب، این میزان به‌صورت درصدی از آب تخصیصی در نظر گرفته می‌شود. در صورتی که برخی مطالعات نشان می‌دهد که مقادیر جریان‌های برگشتی متفاوت از مقادیر فرضی اولیه است. در اقتصاد آب نیز آب بهره‌برداری شده به دو بخش برداشتی و برگشتی تقسیم‌بندی می‌شود. دانستن مقدار آب برگشتی از جنبه اقتصادی نیز حائز اهمیت است (خوش‌اخلاق، ۱۳۸۷)، چرا که تفاوت آب برداشتی و برگشتی، نمایان‌گر مقدار آب مصرفی است و در محاسبات آب بازگشت‌پذیر نقش مهمی دارد (طالبی حسین‌آباد و همکاران، ۱۳۹۰). در آبخوان‌هایی که با بهره‌برداری‌های بیش از حد روبرو هستند، برای داشتن یک تخمین مناسب از بیلان آب زیرزمینی نیاز به دانستن ضریب‌های جریان برگشتی به آبخوان است. همچنین امروزه استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی برای مدیریت بهینه تخصیص و بهره‌برداری از منابع آب در سطح حوضه آبریز امری متداول است و ضریب‌های جریان برگشتی از پارامترهای اصلی این مدل‌ها به حساب می‌آیند.

مدل‌های شبیه‌سازی حوضه آبریز بسته به اینکه چه فرایندهای هیدرولوژیکی‌ای از یک حوضه آبریز را مدل کنند، پارامترهای مختلفی دارند. برای استفاده همراه با اطمینان و به دست آوردن بهترین مقدار پارامترهای مدل‌ها، آن‌ها را واسنجی می‌کنند (مک‌لین، ۲۰۰۹). واسنجی یک مدل، یک نوع مسئله بهینه‌سازی است، زیرا هدف حداقل کردن تفاضل مقادیر مشاهداتی و محاسباتی است. در این مسئله بهینه‌سازی، جواب بهینه به ازای کمترین مقدار تابع هدف حاصل می‌شود (شکل ۱).



شکل ۱- مفهوم واسنجی مدل به عنوان یک مسئله بهینه‌سازی (مرادخانی و سروشیان، ۲۰۰۸)

مدل MODSIM یکی از مدل‌های شبیه‌سازی و پشتیبان تصمیم مدیریت حوضه آبریز است که در دانشگاه ایالتی کلرادو و در سال ۱۹۷۸ توسعه داده شده است (لابادی، ۲۰۱۰). هدف از توسعه این مدل معرفی یک ابزار توانمند بود که بتواند بهره‌برداری فیزیکی در حوضه آبریز و ساختارهای حاکم بر تخصیص و استفاده از آب را شبیه‌سازی کند (وربز، ۱۹۹۴). یکی از قابلیت‌های مهم و منحصر به‌فرد MODSIM کدنویسی به زبان VB یا C# در درون آن (اجرای سفارشی[1]) است (آساتا و همکاران، ۲۰۰۸). این مدل از روش برنامه‌ریزی شبکه جریان برای بهینه‌سازی تخصیص آب در هر گام زمانی استفاده می‌کند. تابع هدف، حداقل کردن هزینه شبکه جریان یا به عبارت دیگر، تخصیص بهینه آب بین مصرف‌کننده‌های مختلف است (لابادی، ۲۰۱۰).

در زمینه واسنجی ضریب‌های جریان برگشتی مطالعه جامعی که در آن همه ضرایب برای یک حوضه تخمین

1- Custom Run

زده شده باشد، انجام نشده است. پژوهش‌های محدودی در زمینه تخمین ضریب برگشتی جریان به آب سطحی یا آبخوان برای یک منطقه انجام شده است. در مطالعات مختلف در زمینه منابع آب یا کار با مدل‌های شبیه‌سازی حوضه آبریز، هر جا که نیاز بوده مقدار این ضریب‌ها تعیین شود، از مقادیر فرضی استفاده شده است. درزی و همکاران (۱۳۸۵) ضریب نفوذ آب برگشتی به آبخوان بخش سمت راست و چپ دشت نکوآباد را به ترتیب ۳۰ و ۲۵ درصد به دست آوردند. کریمی و اردکانیان (۱۳۸۵) در مطالعه خود برای توسعه یک مدل شبیه‌سازی بر پایه اجزای محدود و مقایسه آن با مدل MODSIM، از ضریب ۲۵ درصد برای ضریب برگشتی نیاز کشاورزی و ۵۰ درصد برای ضریب برگشتی نیاز شرب و صنعت استفاده کردند. کریمی (۱۳۸۹) در بررسی خود برای مقایسه مکانیزم تخصیص در مدل‌های MODSIM و WEAP، ضرایب جریان برگشتی نیازهای شرب، صنعت و کشاورزی را به ترتیب ۶۰، ۱۲ و ۱۵ درصد در نظر گرفت. طالبی حسین‌آباد و همکاران (۱۳۹۰) در کار پژوهش‌های خود برای تعیین حجم آب بازگشت‌پذیر استان خراسان، ضریب جریان برگشتی نیاز کشاورزی را بین ۲۰ تا ۳۰ و نیاز شرب را بین ۶۰ تا ۸۰ درصد فرض کرده‌اند. همان‌طور که دیده می‌شود دامنه مربوط به ضرایب انتخاب شده متفاوت است. پیچیدگی رابطه‌ها و اندرکنش‌های بین جریان‌ها در حوضه آبریز، چه به لحاظ مکانی و چه زمانی، یکی از دلایل عدم انجام یک مطالعه کامل در زمینه تخمین ضریب‌های جریان برگشتی است. همچنین واسنجی مدل‌هایی مانند MODSIM که می‌تواند ضریب‌های جریان برگشتی را در مدل‌سازی در نظر بگیرند، از نظر نرم‌افزاری، سخت و از نظر زمانی، هزینه دارند. با وجود قابلیت سفارشی‌سازی مدل MODSIM فرایند واسنجی پارامترهای آن تسهیل شده است.

در این پژوهش ضریب‌های جریان برگشتی از مصرف‌کننده‌های حوضه آبریز و سهمی از این مقادیر برگشتی که به آب سطحی می‌رود، به کمک الگوریتم ژنتیک تخمین زده شده است. این کار به کمک قابلیت اجرای سفارشی و واسنجی مدل MODSIM انجام شده است. همچنین واسنجی با در نظر گرفتن هیدروگراف جریان سطحی و آبخوان در تابع هدف انجام شده است. در مورد ضریب‌های جریان برگشتی باید این نکته را اضافه کرد که علاوه بر مقدار (هدف این پژوهش)، محل برگشت و زمان تأخیر آن‌ها مهم است.

مواد و روش‌ها

مؤلفه‌های واسنجی

برای واسنجی خودکار پارامترهای یک مدل باید سه مؤلفه اصلی را تعیین کرد: نوع الگوریتم بهینه‌سازی، تابع هدف، و معیار همگرایی. در این مطالعه از الگوریتم ژنتیک[1] (GA) به‌عنوان الگوریتم بهینه‌ساز استفاده شده است. مقادیر نهایی به دست آمده برای پارامترها و عملگرهای GA از طریق انجام تحلیل حساسیت در جدول ۱ ارائه شده است. برای نرخ جهش مقدار به نسبت زیادی حاصل شده است و این سبب جلوگیری از توقف الگوریتم در بهینه‌های محلی می‌شود. نرخ انتخاب به دست آمده در جدول ۱ نیز نرخ به نسبت بالایی است. برای یک نرخ انتخاب زیاد، GA مجبور می‌شود هر بار درصد زیادی از فضای جستجوی قبلی را بپیماید. حداکثر تعداد تکرارهای GA (یا معیار همگرایی واسنجی) نیز برابر ۲۰۰ به دست آمده است. علاوه بر این، شرط دیگری برای توقف الگوریتم در نظر گرفته شده است و آن ثابت بودن مقدار تابع هدف در ۲۰ تکرار متوالی، بعد از تکرار ۱۲۰ام است.

جدول ۱- پارامترهای الگوریتم ژنتیک

حداکثر تعداد نسل	۲۰۰
نرخ جهش	۰/۶
نرخ انتخاب	۰/۷
تعداد جمعیت	۱۰۰
نوع عملگر تزویج	دو نقطه‌ای
نوع عملگر انتخاب	چرخ رولت

تابع جذر میانگین مربع خطا[2] (RMSE) بین مقادیر مشاهداتی و محاسباتی، رایج‌ترین تابع هدف به کار رفته برای واسنجی خودکار مدل‌ها است (مادسن و تورستن، ۲۰۰۱). در این پژوهش نیز از تابع RMSE استفاده شده است و هدف حداقل کردن مقدار آن است. معادله ۱ تابع RMSE را نشان می‌دهد:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(x_o^i - x_c^i\right)} \qquad (۱)$$

در این معادله، x_o^i مقدار مشاهداتی در دوره i، x_c^i مقدار

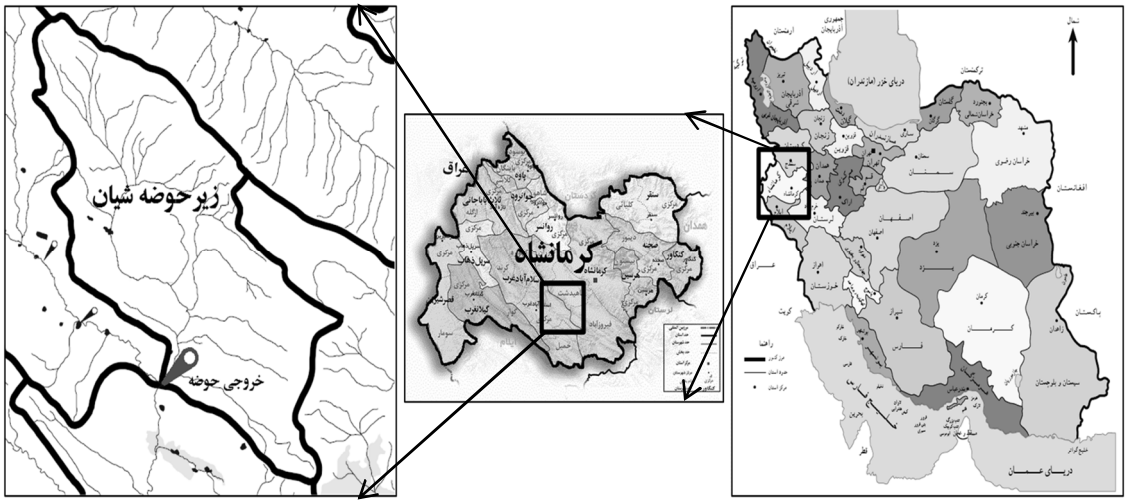
1- Genetic Algorithm (GA)
2- Root of Mean Square Error (RMSE)

محاسباتی در دوره i و n تعداد دوره‌ها است.

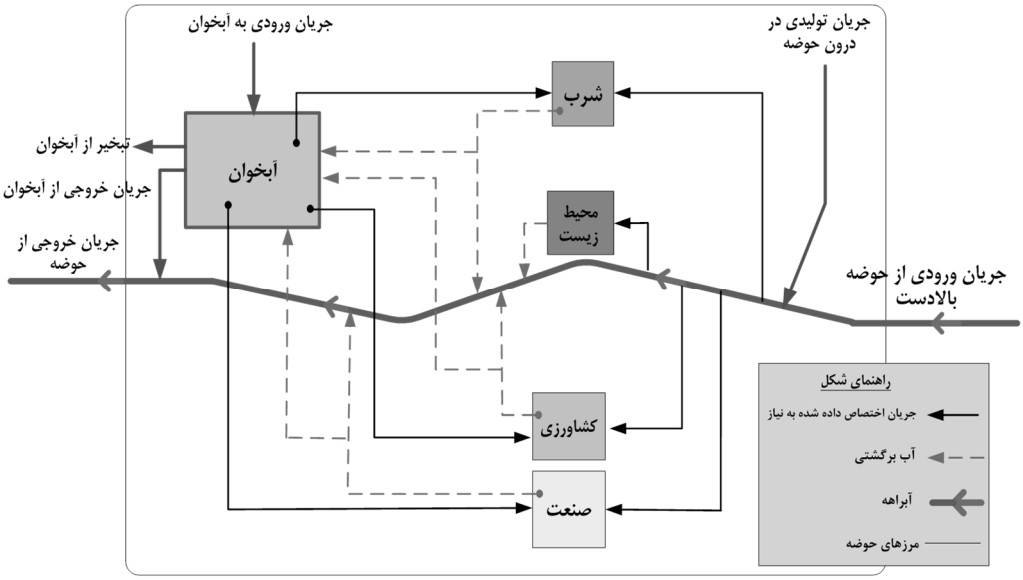
مدل‌سازی و فرضیه‌های منطقه مورد مطالعه

زیرحوضه شیان از زیرحوضه‌های حوضه آبریز کرخه به‌عنوان مطالعه موردی انتخاب شده است. شکل ۲ موقعیت این حوضه را نشان می‌دهد. مساحت این حوضه برابر ۶۸۹ کیلومترمربع است. شبیه‌سازی از سال آبی ۷۱-۱۳۷۰ تا ۷۹-۱۳۷۸و به‌صورت ماهانه انجام شده است. در مورد زمان تأخیر جریان‌های برگشتی از نیازها، فرض شده است که این جریان در همان دوره (ماه) به آب‌های سطحی و زیرزمینی وارد می‌شود.

مدل‌سازی زیرحوضه شیان در MODSIM براساس شکل ۳ انجام شده است. در این شکل رابطه‌هایی بین جریان‌ها و نیازها در یک حوضه آبریز به طور شماتیک نشان داده شده است.



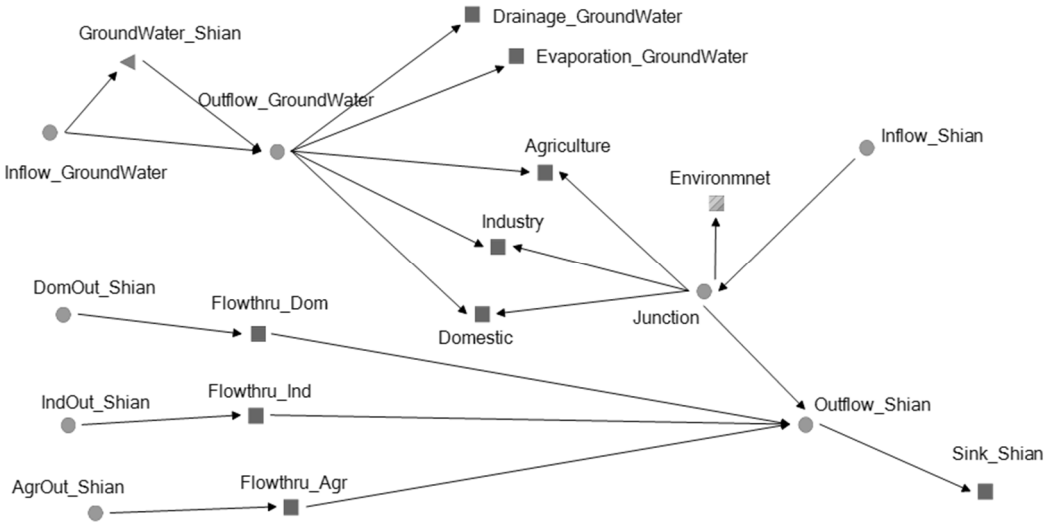
شکل ۲- موقعیت جغرافیایی زیرحوضه شیان



شکل ۳- شماتیک جریان‌ها و نیازها در یک حوضه آبریز

شکل ۴ اجزای مدل زیرحوضه شیان را در MODSIM نمایش می‌دهد. در این شکل، چهار نیاز زیست‌محیطی، شرب، صنعت و کشاورزی تعریف شده‌اند. اولویت تأمین نیازها به همان ترتیب گفته شده (زیست‌محیطی، شرب، صنعت و کشاورزی) است. در این پژوهش فرض شده است اگر (x) درصد از آب برگشتی به جریان سطحی وارد شود، (۱۰۰-x) درصد آن به جریان زیرزمینی می‌پیوندد. به این ترتیب با تخمین سهم جریان سطحی از آب برگشتی

از هر نیاز، این سهم برای آب زیرزمینی محاسبه می‌شود. با این فرض، تلفاتی مانند تبخیر به عنوان بخشی از مقدار آب مصرف شده در نظر گرفته می‌شود.



شکل ۴- مدل زیرحوضه شیان در MODSIM

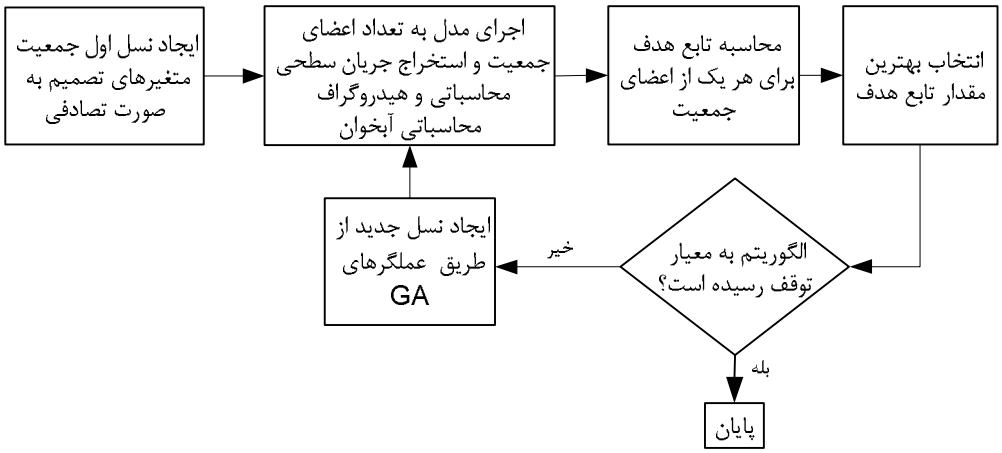
در مدل‌سازی آب زیرزمینی، آبخوان به‌صورت یک مخزن مدل شده است. حجم مخزن برابر حجم مفید آبخوان در نظر گرفته شده است. همچنین به‌دلیل اینکه مدل MODSIM فرایند بارش را مدل نمی‌کند، داده‌های جریان‌های ورودی/ تولیدی در درون حوضه و ورودی به آبخوان به‌صورت سری زمانی به مدل وارد شده‌اند. مقدار زهکشی و تبخیر از آبخوان نیز به‌صورت نیازهای مصرفی مدل شده‌اند. همچنین، در مدل‌سازی انجام شده در این پژوهش تنها پارامترهای مؤثر بر خروجی‌های لازم برای واسنجی، ضریب‌های جریان برگشتی هستند. بدین معنی که مدل پارامتر دیگری بجز ضریب‌های جریان برگشتی ندارد. مقادیر میانگین جریان‌های تولیدی در درون حوضه و نیازها در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲- میانگین جریان‌ها و نیازهای حوضه شیان (هزار مترمکعب)

ماه	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور
جریان ورودی به حوضه	۱۳۷۵	۱۳۱۰	۲۱۶۷	۱۸۸۰	۲۸۲۴	۶۹۱۹	۱۰۴۹۰	۸۷۵۵	۶۷۷۹	۴۸۴۵	۳۴۲۸	۲۳۰۴
نیاز کشاورزی	۱۷۵۵	۷۰۶	۱۶۵	۴۵	۳۵	۱۵۷۶	۵۲۴۲	۷۵۴۲	۱۰۵۴۸	۸۱۵۱	۶۱۴۴	۳۹۹۱
نیاز شرب	۶۰	۵۲	۴۱	۳۸	۴۳	۴۷	۵۴	۶۵	۸۰	۸۹	۹۴	۷۵
جریان ورودی به آبخوان	۳۳۷	۲۷۲	۴۱۸	۳۵۰	۴۴۵	۹۷۴	۱۸۴۰	۱۶۱۸	۱۳۹۹	۱۰۱۵	۷۵۲	۵۲۲

روند انجام واسنجی

با اجرای مدل حوضه (شکل ۴) از طریق کد نوشته شده به زبان VB، واسنجی ضریب‌های جریان برگشتی مطابق فلوچارت شکل ۵ انجام گرفت. این کد باید در هر تکرار، ضریب‌های جریان برگشتی در مدل را با مقادیر به دست آمده با GA برای این ضریب‌ها، برابر قرار دهد و سپس مدل را اجرا کند. برای هر بار اجرای واسنجی، مدل MODSIM باید به تعداد تکرارهای GA در تعداد جمعیت آن، اجرا شود. در هر بار واسنجی، با فرض متوسط تعداد تکرار ۱۱۵ و اندازه جمعیت ۱۰۰، مدل MODSIM ۱۱۵۰۰ بار اجرا می‌شود که در حدود ۱۲ تا ۱۷ ساعت زمان لازم دارد. تعداد متغیرهای مسئله برای یک حوضه آبریز شامل سه نیاز، برابر ۶ متغیر است: ضریب‌های جریان برگشتی از سه نیاز شرب، صنعت و کشاورزی و نسبتی از جریان برگشتی از این سه نیاز که به آب سطحی وارد می‌شود. این مقدار در GA برابر تعداد ژن‌های هر کروموزوم است. دامنه متغیرها بین صفر و ۱ انتخاب شده است. این محدوده با توجه به اینکه این ضریب‌ها به‌صورت درصدی از یک مقدار هستند، انتخاب شده است.



شکل ۵- روندنمای واسنجی خودکار ضریب‌های جریان برگشتی

واسنجی برای سه رویکرد مختلف و یا سه ترکیب مختلف تابع هدف انجام شد: واسنجی با تابع RMSE جریان سطحی، واسنجی با تابع RMSE تراز آبخوان و واسنجی با تابع هدف شامل ترکیب RMSE جریان سطحی و تراز آبخوان. تابع‌های هدف مربوط به این سه حالت در جدول ۳ ارائه شده است. هدف از در نظر گرفتن این سه حالت، رسیدن به بهترین حالت برای واسنجی، بررسی میزان حساسیت مدل و تابع هدف به ضریب‌های جریان برگشتی و اثر جریان سطحی و تراز آبخوان بر این ضریب‌های است.

جدول ۳- حالات مختلف تابع‌های هدف برای واسنجی

ردیف	توضیح	تابع هدف
اول	تابع هدف فقط شامل RMSE جریان سطحی است	$\min\left[\sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(Q_o^i-Q_c^i\right)}\right]$
دوم	تابع هدف فقط شامل RMSE تراز آبخوان است	$\min\left[\sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(H_o^i-H_c^i\right)}\right]$
سوم	تابع هدف هم شامل RMSE تراز آبخوان و هم RMSE جریان سطحی است	$\min\left[w_1\sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(Q_o^i-Q_c^i\right)}+w_2\sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(H_o^i-H_c^i\right)}\right]$

در حالت سوم واسنجی دو عبارت RMSE جریان سطحی و تراز آبخوان از طریق ضریب‌های w_1 و w_2 تجمیع شده‌اند. ضریب‌های w_1 و w_2 با انجام تحلیل حساسیت تعیین می‌شوند. به‌دلیل اینکه مقدار جریان‌های سطحی نسبت به مقادیر تراز آبخوان اعداد بزرگ‌تری هستند، مقدار RMSE جریان سطحی در تابع هدف بیشتر از RMSE تراز آبخوان به دست می‌آید. با فرض w_1 و w_2 برابر ۱، در هنگام انجام واسنجی، GA مقدار نهایی تابع هدف را کاهش می‌دهد. با این حال ممکن است مقدار RMSE تراز آبخوان افزایش پیدا کرده باشد و به‌دلیل کم بودن مقدار آن، بر روند کلی کم شدن کل مقدار تابع هدف در تکرارهای مختلف با GA اثرگذار نبوده باشد.

افزایش عبارت RMSE آبخوان سبب واسنجی نامناسب هیدروگراف آبخوان می‌شود. برای غلبه بر این مشکل باید نقش عبارت RMSE جریان سطحی و RMSE تراز آبخوان در تابع هدف متوازن شود. در این مطالعه با انجام تحلیل حساسیت مقدار w_2، ضریب RMSE تراز آبخوان در تابع هدف، برابر ۱۰۰به دست آمد. مقدار w_1 نیز با توجه به بزرگ بودن مقادیر جریان سطحی برابر ۱ انتخاب شده است.

نتایج و بحث

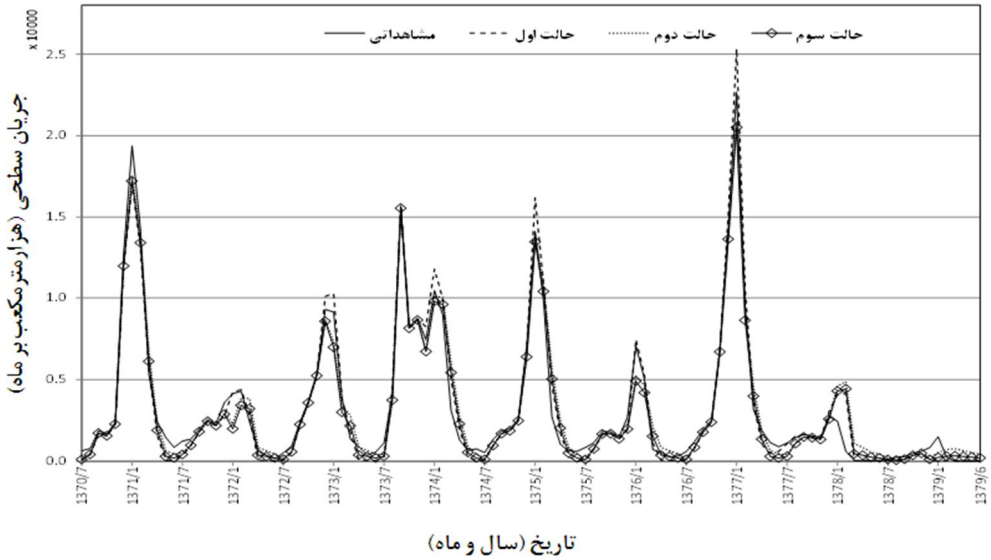
مقدار ضریب‌های برگشتی حاصل از سه حالت مختلف واسنجی در جدول ۴ ارائه شده است.

شکل‌های ۶ و ۷ هیدروگراف‌های جریان سطحی و تراز

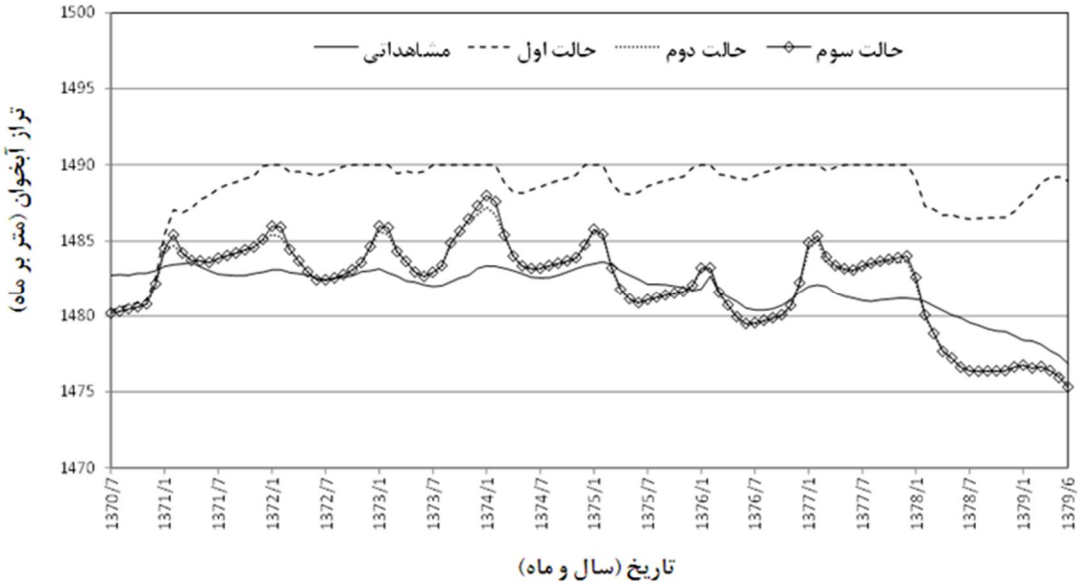
آبخوان قبل و بعد از واسنجی را برای حالت‌های مختلف واسنجی نشان می‌دهند. از روی مقایسه مقدار نهایی تابع هدف مربوط به این سه حالت نمی‌توان مقایسه‌ای بین آن‌ها انجام داد. از این‌رو در شکل‌های ۸ و ۹ نمودار پراکنش بین داده‌ها نیز ارائه شده است.

جدول ۴- نتایج تخمین ضریب‌های جریان برگشتی در سه حالت واسنجی

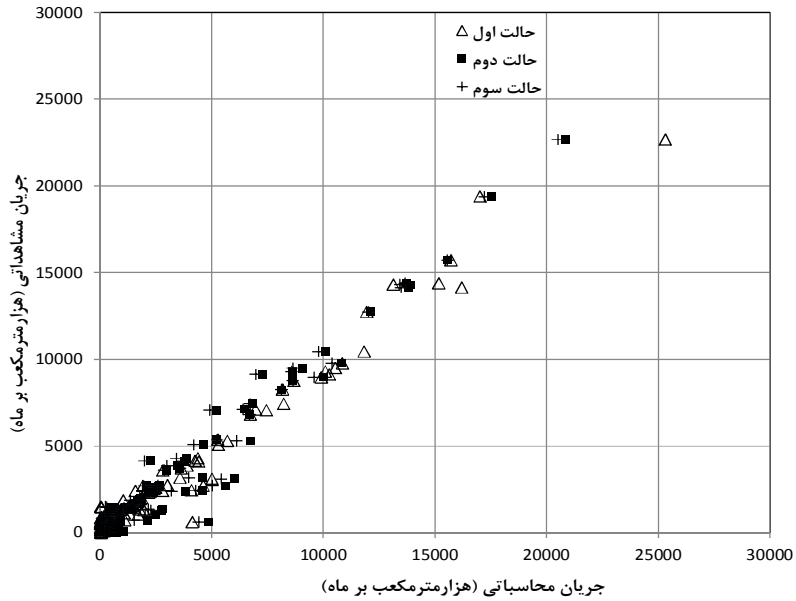
نام پارامتر	مقدار پارامتر (درصد)		
	حالت اول	حالت دوم	حالت سوم
ضریب برگشتی نیاز شرب	۹۲/۱	۵۲/۴	۸۷/۳
ضریب برگشتی نیاز صنعت	۳۱/۷	۲۳/۸	۷۵/۷
ضریب برگشتی نیاز کشاورزی	۸۷/۳	۸۲/۵	۱۷/۵
سهم آب سطحی از جریان برگشتی نیاز شرب	۶۹/۸	۹۸/۴	۷۳
سهم آب سطحی از جریان برگشتی نیاز صنعت	۳۳/۳	۹۵/۲	۱۷/۵
سهم آب سطحی از جریان برگشتی نیاز کشاورزی	۰	۴۱/۳	۲۲/۲



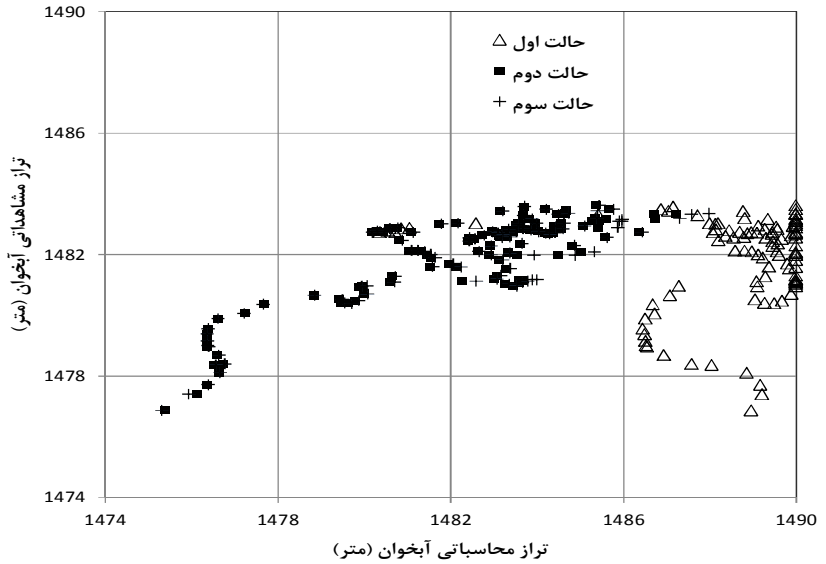
شکل ۶- هیدروگراف‌های مشاهداتی و محاسباتی جریان خروجی حوضه



شکل ۷- هیدروگراف‌های مشاهداتی و محاسباتی تراز آبخوان حوضه



شکل ۸- نمودار پراکنش داده‌های جریان سطحی



شکل ۹- نمودار پراکنش داده‌های تراز آبخوان

نتیجه‌گیری

جریان‌های برگشتی از مصرف‌کننده‌ها از مؤلفه‌های مهم و در عین حال پیچیده یک حوضه آبریز هستند. هدف این پژوهش تخمین ضریب‌های جریان برگشتی (مقدار جریان‌های برگشتی) از نیازهای یک حوضه آبریز به کمک واسنجی مدل شبیه‌ساز MODSIM است. برای سه ترکیب مختلف واسنجب با استفاده از تابع جذر میانگین مربع خطا انجام شده است. نتایج به دست آمده برای حالت‌های اول و سوم واسنجی بسیار به هم نزدیک هستند. در حالت دوم که برای بهینه‌سازی پارامترها فقط از RMSE جریان سطحی در تابع هدف استفاده شده است، هیدروگراف آبخوان به خوبی کالیبره نشده است. همچنین، برای سهم جریان سطحی از آب برگشتی نیاز کشاورزی مقدار حدی صفر به دست آمده است.

تفاوت هیدروگراف‌های جریان سطحی در سه حالت واسنجی کم است. نوسانات مربوط به هیدروگراف محاسباتی آبخوان در همه حالت‌ها را می‌توان به نوع مدل‌سازی انجام شده نسبت داد؛ زیرا برخلاف آنچه که در واقعیت وجود دارد، در مدل‌سازی انجام شده، فرض شده است که آبخوان به صورت یک حجم دارای چهارچوب مشخص و همگن است. البته این محدودیت فقط مختص مدل MODSIM نیست و مدل‌های دیگر مدیریت حوضه آبریز نیز آبخوان را

به‌صورت یک مخزن مدل می‌کنند. نوسانات هیدروگراف محاسباتی سبب پایین آمدن ضریب همبستگی بین داده‌ها، در شکل ۹، شده است.

همچنین نتایج حالت‌های اول و سوم نشان می‌دهد که حساسیت مدل نسبت به هیدروگراف آبخوان بیشتر است. زیرا مقادیر تراز آبخوان نسبت به مقادیر جریان سطحی عددهای کوچک‌تری هستند و با تغییر ضریب‌های جریان برگشتی در مدل، تغییرات تراز آبخوان محسوس‌تر است. در مورد یک حوضه آبریز با پتانسل تولید رواناب زیاد، نقش عبارت RMSE تراز آبخوان در تابع هدف محسوس‌تر است، زیرا در چنین حوضه‌ای اثری که جریان برگشتی از نیازها روی جریان سطحی خروجی حوضه دارند، کم است. اما نمی‌توان یک قضاوت کلی کرد. زیرا مقادیر نیازها نیز مهم هستند. برای حوضه‌های مختلف و با موقعیت‌ها و ویژگی‌های اقلیمی مختلف مقدار این ضریب‌های متفاوت می‌باشد و بهترین راه به دست آوردن مناسب‌ترین تخمین از این ضریب‌های، واسنجی مدل‌هایی است که قادر به در نظر گرفتن این ضریب‌ها هستند.

مقادیر جریان‌های برگشتی با توجه نوع آب و هوا، پوشش گیاهی، توزیع مکانی نیازها، الگوی مصارف و زمین‌شناسی محل از حوضه‌ای به حوضه دیگر متفاوت است. در این پژوهش، ضریب‌های جریان برگشتی از سه نیاز شرب، صنعت و کشاورزی در زیرحوضه شیان بر طبق نتایج واسنجی حالت سوم به‌ترتیب ۸۷، ۷۶ و ۱۸ درصد (مقادیر به اعداد صحیح گرد شده‌اند) بودند. کامل‌ترین حالت واسنجی انجام گرفته، حالت سوم است و توصیه می‌شود برای زیرحوضه‌های دیگر از تابع مربوط به این حالت استفاده شود.

همان‌طور که اشاره شد علاوه بر مقدار، محل برگشت و تأخیر زمانی نیز از مؤلفه‌های مهم جریان‌های برگشتی هستند که می‌تواند موضوع پژوهش‌های جداگانه‌ای باشد.

منابع

۱. خوش‌اخلاق ر. و شهرکی ج. ۱۳۸۷. برآورد تابع تقاضای آب خانگی در شهر زاهدان. فصلنامه پژوهش‌های اقتصادی. ۴(۸):۱۲۹-۱۴۵.

۲. درزی ف. صفوی ح. ر. مأمن‌پوش ع. و بحرینی غ. ۱۳۸۵. مدل‌سازی جریان برگشتی از شبکه آبیاری نکوآباد به آبخوان دشت نجف‌آباد. دومین کنفرانس مدیریت منابع آب، دانشگاه صنعتی اصفهان.

۳. طالبی حسین‌آباد ف. ولایتی س. داوری ک. ثنایی‌نژاد س. و حسینی س. ۱۳۹۰. تأثیر آب برگشتی در برآورد آب تجدیدپذیر، مطالعه موردی: استان خراسان رضوی. چهارمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران.

۴. کریمی ا. و اردکانیان ر. ۱۳۸۵. کاربرد مفهوم اجزای محدود در مدیریت منابع آب: مدل و نرم‌افزار FEWREM. تحقیقات منابع آب ایران. ۲(۲):۱-۱۴.

۵. کریمی س. م. ۱۳۸۹. مقایسه مدل‌های WEAP و MODSIM در تخصیص اولویت پایه منابع آب در سطح حوضه آبریز. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران.

6. Assata H. van Beek E. Borden C. Gijsbers P. Jolma A. Kaden S. Kaltofen M. Labadie J. W. Loucks D. P. Quinn N. W. T. Sieber J. Sulis A. Werik W. J. and Wood D. 2008. Generic Simulation models for facilitating stakeholder involvement in water resources planning and management: A comparison, evaluation, and identification of future needs. In*:* Jakeman A. J. A. Voinov A. Rizzoli A. E. and Chen S. H. (Eds.), Environmental Modelling, Software and Decision Support: The State of the Art and New Perspective. pp. 229-246.
7. Labadie J. W. 2010. MODSIM 8.1: River basin management decision support system: User manual and documentation. Fort Collins Colorado: Colorado State University and U.S. Bureau of Reclamation. 130 p.
8. MacLean A. J. 2009. Calibration and analysis of the MESH hydrological model applied to cold regions. MSc. Thesis, University of Waterloo, Ontario,Canada. 129 p.
9. Madsen H. and Torsten J. 2001. Automatic calibration of the MIKE SHE integrated hydrological modelling system. 4th DHI Software Conference, Helsingor, Denmark.
10. Moradkhani H. and Soroushian S. 2008. General review of rainfall-runoff modeling: model calibration, data assimilation, and uncertainty analysis. In: Souroshian S. Hsu K. L. Coppola E. Tommasseti B. Verdecchia M. and Visconti G. (Eds.), Hydrological modeling and the water cycle: coupling the atmospheric and hydrological models, Springer. 291 p.
11. Wurbs R. A. 1994. Computer models for water resources planning and mangement. USACE. IWR. WRSC, Virginia. 227 p.