نشریه علوم آب و خاک
سال بیست و هفتم / شماره اول / بهار ۱۴۰۲ / مقاله علمی- پژوهشی: صفحات ۳۰۳ تا ۳۲۰

بررسی روش‌های طبیعی‌سازی جریان آب رودخانه‌ها و معرفی یک روش نوین

راضی خلف[۱]، علی‌محمد آخوند علی[۱]*، سعید سلطانی[۲] و کورش رضازاده[۳]

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۶/۶ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۵)

چکیده

به‌دلیل توسعه برداشت‌ها از منابع آب سطحی، جریان ثبت شده در اغلب ایستگاه‌های آب‌سنجی دارای رژیم طبیعی نبوده و متأثر از فعالیت‌های انسانی است. بنابراین، طبیعی‌سازی رژیم آبدهی رودخانه‌ها و حذف اثر فعالیت‌های انسانی جهت برنامه‌ریزی و مدیریت جامع منابع آب امری اجتناب ناپذیر است. پژوهشگران روش‌های مختلفی جهت طبیعی‌سازی جریان معرفی کرده‌اند که عمدتاً بر پایه بیلان حجمی استوار هستند. این روش‌ها به مقادیر جریان‌های ثبت شده در نقاط برداشت و برگشت آب بسیار وابسته بوده و عدم قطعیت در جریان‌های ثبت شده، دقت این روش‌ها را تعیین می‌کند. در این پژوهش ضمن معرفی اجمالی روش‌های مرسوم و بررسی نقاط ضعف آنها، روشی نوین و ابتکاری مبتنی بر اطلاعات در دسترس جهت طبیعی‌سازی جریان رودخانه‌ها ارائه شد. روش طبیعی‌سازی پیشنهادی بر مبنای روش مصرف خالص طرح‌ریزی شده است. در این فرایند، مقدار انواع نیازهای آبی و مصرف خالص آنها در حوضهٔ بالادست ایستگاه‌های آب‌سنجی به صورت جزء به جزء و در هر ماه به صورت سری درازمدت برآورد و سپس با تجمیع آنها به آبدهی مشاهداتی در ایستگاه‌های آب‌سنجی مبنا، مقدار آبدهی طبیعی حوضه تعیین می‌شود. صحت‌سنجی و اعتبارسنجی نتایج حاصل از این روش از طریق مقایسه آبدهی مشاهداتی و محاسباتی در ایستگاه‌های مبنا انجام می‌شود. به‌منظور عملیاتی کردن این روش، در زیرحوضه‌های تیره و ماربره درحوضه دز و زیرحوضه‌های سولگان و بهشت‌آباد در حوضه کارون این روش مورد استفاده و پیاده‌سازی شد. نتایج نشان داد تأثیر فعالیت‌های انسانی در کاهش متوسط آبدهی درازمدت خروجی در حوضه تیره ۲۳/۲، در حوضه ماربره ۲۸/۷، در حوضه آب‌ونک ۲۶ و در حوضه بهشت آباد ۹/۵ درصد است. صحت‌سنجی و اعتبارسنجی نتایج حاصل از این روش نیز حاکی از تطابق و انطباق خوب داده‌های مشاهداتی و برآوردی در نقاط کنترل است. در این پژوهش با ارائه یک روش کاربردی بر اساس اطلاعات در دسترس در کشور، آبدهی طبیعی بدست می‌آید. روش پیشنهادی در مراحل مقدماتی بوده و به‌منظور تدقیق و فراگیر شدن آن بایستی در پژوهش‌های آتی اندرکنش آب سطحی و زیرزمینی و همچنین از تکنولوژی‌های نوین مانند سنجش از دور در آن استفاده شود.

واژه‌های کلیدی: آبدهی طبیعی، بیلان، مصارف آب، کارون

۱. گروه هیدرولوژی و منابع آب، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.
۲. گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.
۳. بخش مطالعات منابع آب، شرکت مهندسین مشاور دزآب، اهواز، ایران.
*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: aliakh@scu.ac.ir

مقدمه

به‌دلیل توسعه برداشت‌ها از منابع آب‌سطحی طی سال‌های مختلف درحوضه‌های آبریز و اثرات آن بر رواناب سطحی، جریان ثبت شده در اغلب ایستگاه‌های آب‌سنجی دارای رژیم طبیعی نبوده و متأثر از فعالیت‌های انسانی است. بنابراین، طبیعی‌سازی رژیم آبدهی رودخانه‌ها و حذف اثر فعالیت‌های انسانی به‌منظور برآورد پتانسیل واقعی حوضه در تولید رواناب سطحی، برای برنامه‌ریزی و مدیریت جامع منابع آب امری اجتناب‌ناپذیر خواهد بود. به‌طور کلی کاهش آبدهی رودخانه‌ها تحت تأثیر دو دسته از عوامل است. دسته اول عوامل اقلیمی هستند که اثر این عوامل جزء ذات آبدهی بوده و منجر به نوسانات آبدهی در یک دوره درازمدت می‌شوند. دسته دوم عوامل انسانی هستند که در اثر توسعه و رشد برداشت‌های آبی در حوضه، باعث تغییر رژیم و کاهش آبدهی رودخانه‌ها می‌شوند. هدف از طبیعی‌سازی آبدهی رودخانه‌ها حذف اثر عوامل انسانی و تعیین مقدار آبدهی واقعی حوضه قبل از توسعه و برداشت آب در بالادست است.

بطور کلی پژوهشگران روش‌های مختلفی برای طبیعی‌سازی جریان معرفی کرده‌اند که عمدتاً بر پایه بیلان حجمی استوار هستند. این روش‌ها به مقادیر جریآنهای ثبت شده در نقاط برداشت و برگشت آب بسیار وابسته بوده و عدم قطعیت در جریان های ثبت شده، دقت این روش‌ها را تعیین می‌کند. روش‌های ذکر شده بعضاً با موجودی اطلاعات در کشور تطابق ندارند و یا به ندرت یافت می‌شود بنابراین ضرورت دارد که برای حل این معضل، روشی نوین و ابتکاری با اطلاعات در دسترس جهت طبیعی‌سازی جریان رودخانه ها تدوین شود.

مروری بر منابع نشان می‌دهد که روش‌های طبیعی‌سازی جریان رایج در سایر کشورها به صورت کلی شامل روش‌های تخلیه پروژه (Project Depletion Method)، روش تخلیه جریان (Stream Depletion Method)، روش مصرف خالص (Consumptive Use Method)، روش جریان حاشیه‌ای (Flow Method Rim)، روش سازمان زمین‌شناسی آمریکا (USGS) واستفاده ازمدل‌های هیدرولوژیک است. علاوه بر این روش‌ها، در صورت عدم امکان کاربرد روش‌های فوق که مبتنی بر بیلان آب هستند، روش حذف روند توسط معاونت امور آب و آبفا وزارت نیرو توصیه شده است.

روش تخلیه پروژه به اندازه‌گیری مستقیم عوامل مؤثر بر آبدهی طبیعی تکیه دارد و نسبت به سایر روش‌ها وابستگی کمتری به اطلاعات هواشناسی، توپوگرافی و کاربری اراضی دارد. در این روش تبخیر از مخازن و تلفات انتقال در کانال برداشت پروژه، در مصرف آب پروژه لحاظ شده است. در حوضه‌های پیچیده‌تر که شامل مخازن بزرگ با چندین هدف بهره‌برداری و برداشت آب برای چند نوع نیاز باشند، لازم است تبخیر از مخزن، تغییرات حجم ذخیره مخزن و تلفات کانال‌های انتقال آب نیز به حساب آید. در این حالت رواناب طبیعی در داخل محدوده (Q natural runoff) به معادله بیلان اضافه می‌شود (۱۰).

روش تخلیه جریان برای محدوده‌ای که آب در آن مصرف می‌شود و نقطه‌ای در پایین‌دست آن که می‌بایست جریان طبیعی در آن محاسبه شود، به کار می رود. در این روش لازم است نقاطی در بالادست محدوده وجود داشته باشد که جریآنهای طبیعی آنها مشخص یا قابل محاسبه باشند. به‌طور نسبی عدم قطعیت فرآیند طبیعی‌سازی در این روش بیش از روش تخلیه پروژه است (۱۰).

روش مصرف خالص در جاهایی به کار می‌رود که نیاز آبیاری، مصرف عمده آب منطقه را تشکیل می‌دهد. مقادیر ذخیره آب و برداشت آب به وسیله ایستگاه‌های اندازه‌گیری قابل تعیین است. در این روش تبخیر و تعرق واقعی گیاهان به وسیله روش‌های تجربی محاسبه می‌شود. از آنجا که برآورد تبخیر و تعرق وابسته به عوامل متعددی مانند شرایط آب و هوایی، نوع گیاه، توپوگرافی، خاک و عملیات کشاورزی است، داده‌های مورد نیاز این روش زیاد است. این روش شامل محاسبه تبخیر و تعرق و نیاز آبی است. کل نقصان مصرف پروژه با تبخیر و تعرق بعلاوه تلفات انتقال و کاربرد آب برابر است (۱۰).

تبخیر وتعرق ترکیبی از تبخیر از سطح خاک و تعرق گیاهان

است. عوامل مانند منبع انرژی، انتقال بخار آب و وجود رطوبت در سطح تبخیر بر تبخیر و تعرق مؤثر است (۴). محاسبه تبخیر و تعرق در حوضه‌های بزرگ با فرمول های تجربی با محدودیت مواجه است. الگوریتم سبال یکی از الگوریتم‌های سنجش از دور است که تبخیر و تعرق گیاه را براساس تعادل لحظه‌ای انرژی در سطح هر پیکسل از یک تصویر ماهواره‌ای محاسبه می‌نماید. این مدل با دقت بسیار خوبی در زمانی که شرایط جوی به‌نسبت پایدار است و پیکسل سرد و گرم در یک فریم از تصویر موجود باشد عمل می‌کند (۹).

روش جریان حاشیه‌ای نیز بر مبنای معادله رگرسیون است که در آن، جریان طبیعی در پایاب تابعی از جریان ورودی طبیعی در نقاط سراب محدوده مورد نظر است. در روش جریان حاشیه‌ای، فرض بر این است که یک همبستگی با سطح اطمینان قابل قبول بین جریان سراب و پایاب محدوده مورد نظر وجود دارد و این محدوده‌ها از نظر هیدرولوژیک همگن باشند. از دیگر محدودیت‌های این روش، ضرورت وجود جریان‌های طبیعی در پایاب در دوره‌های زمانی قبل از توسعه است، در این صورت امکان برآورد جریان طبیعی در دوره‌های جاری با استفاده از آن رابطه همبستگی ممکن خواهد شد (۱۰).

USGS روش‌هایی را برای تعیین جریان طبیعی رودخانه پیشنهاد کرد که در ایستگاه‌های غیر تنظیمی قابل استفاده است. در این روش تولید داده‌های واقعی و تخمین حجم جریان طبیعی شده بلندمدت را با استفاده از گردآوری اطلاعات برداشت آب ماهانه و مقدار آب بازگشتی برای هر سال و هر ماه دوره آماری ثبت شده و جانمایی آنها در محیط GIS و سپس اضافه کردن این مقادیر برداشت آب ماهانه و کسر آب برگشتی از آنها به اطلاعات آبدهی اندازه‌گیری شده در هر ایستگاه آب‌سنجی، محاسبه می‌کند (۶).

مدل‌های هیدرولوژیکی برای تعیین رفتار هیدرولوژیک درحوضه‌های فاقد اطلاعات هیدرومتری و یا کمبود اطلاعات و همچنین برای بررسی اثرات تغییرات در اقلیم و استفاده از خاک بر رواناب‌های سطحی حوضه مفید هستند (۱۳). در حوضه‌هایی با مصرف آب قابل ملاحظه، وجود جریان طبیعی برای کالیبراسیون مدل‌های بارش رواناب ضروری است (۱۴). هومبرتو و همکاران (۸)، تأثیر مقیاس زمانی بر تعیین جریان طبیعی در حوضه‌های هیدرولوژیک دارای اندازه‌گیری‌های هیدرومتری تاریخی با استفاده از معادله بقای جرم در محدوده‌های بالایی و میانی رودخانه فلوریدو را مورد بررسی قرار دادند. مطالعات آنها نشان داد که برای تعیین جریان طبیعی در حوضه‌هایی که زیرساخت مصرف آب دارند باید از مقیاس زمانی ماهانه استفاده شود. بلیث و اسمیت (۳) رژیم طبیعی شاخه شمالی رودخانه ریوگرانده در مکزیک را با وجود توسعه طولانی‌مدت در حوضه آبریز آن با استفاده از روش موازنه جرم در مقیاس زمانی روزانه تخمین زده‌اند. نتایج پژوهش آنها حاکی از کاهش ۹۵ درصدی جریان رودخانه در شرایط فعلی در مقایسه با شرایط عدم استفاده‌های انسانی (شرایط طبیعی) است.

روش حذف در صورت عدم امکان کاربرد روش‌های مبتنی بر بیلان آب، توصیه شده است. این روش توسط آقازادگان و هوشمندآیینی در ایستگاههای آبسنجی فیروزکوه و بن‌کوه بر روی رودخانه حبله‌رود بکار رفته است (۱). شوبو بایزیدی و همکاران (۲) طی مطالعه‌ای مزایا و معایب روش حذف روند را مورد بررسی قرار داده و با استفاده از روش حذف روند تعدیل شده کاستی‌های این روش مرتفع شد. نتایج بررسی آنها نشان داد که روش حذف روند تعدیل شده نتایج منطقی‌تری را نسبت به روش حذف روند ارائه داده است.

ارزیابی کلی روش‌های مرسوم طبیعی‌سازی جریان حاکی از آن است که برای پیاده‌سازی روش‌های تخلیه پروژه و تخلیه جریان و USGS که به نوعی مطمئن‌ترین و دقیق‌ترین روش‌ها هستند، به آمار و اطلاعات جامع سری زمانی درازمدت ماهانه و سالانه مصارف، برداشت‌ها، آب برگشتی و سایر اطلاعات نیاز است که در کشور ما قابلیت دسترسی به آنها کم بوده و یا به صورت پراکنده و موردی یافت می‌شوند. روش مصرف خالص نیز که مبتنی بر محاسبه نیاز و مصرف خالص آبیاری و سایر تلفات است، مشروط به معلوم بودن اطلاعات کاربری اراضی و سطح زیر کشت، الگوی

کشت و سایر مؤلفه‌ها، قابلیت پیاده‌سازی در بسیاری از محدوده‌های حوضه آبریز که عمده مصارف آن کشاورزی است را دارد. روش جریان حاشیه‌ای در برخی از حوضه‌های آبریز که دارای جریان طبیعی در یک دوره زمانی مشترک در ایستگاه‌های آب‌سنجی بالادست با ایستگاه‌های پایین‌دست، به شرط همگنی هیدرولوژیک این ایستگاه‌ها، قابل استفاده خواهد بود.

روش حذف روند نیز دارای اشکالات ساختاری است. در شرایط مختلف وجود یا عدم وجود روند و برای حالت‌های مختلف روند بارش و آبدهی در مقایسه با یکدیگر، راه حلی ارائه نشده است. تنها فرض شده در یک دوره فاقد روند در بارش (دوره ایستا)، روند در آبدهی کاهشی است و برای بقیه حالات ممکن بین روند در بارش و آبدهی هیچ راه حلی ارائه نشده است. علاوه بر آن افزایش سالانه برداشت آب خطی با یک شیب ثابت بصورت افزایشی فرض شده است درحالی که در برخی سال‌های خشک که محدودیت منابع آبی وجود داشته است امکان تأمین تمام مصارف ممکن نیست، مبنای محاسباتی این روش سالانه است و توزیع ماهانه جریان طبیعی از آبدهی وضع موجود به‌دست می‌آید که متأثر از برداشت‌ها بوده و فاقد توزیع طبیعی است. در شرایط تنظیمی نیز نحوه استفاده از این روش مشخص نشده است به‌ویژه اگر سد مخزنی بالادست ظرفیت برون‌سالی داشته باشد.

با توجه به کلیه موارد فوق و کمبودهای آماری و اطلاعاتی به‌خصوص در رابطه با مقادیر برداشت آب در حوضه‌های کشور، طبیعی‌سازی آبدهی با روش‌های رایج فوق‌الذکر به‌ویژه در حوضه‌های بزرگ به ندرت امکان‌پذیر است. بنابراین، در این پژوهش از روش مبتنی بر مصرف خالص یک متدولوژی پیشنهاد می‌شود که در آن با استفاده از حداقل منابع اطلاعاتی و آمار موجود در دسترس و با ساده‌سازی و استفاده از فرضیات منطقی، پاسخ مسئله طبیعی‌سازی آبدهی با دقت به‌نسبت قابل قبولی به‌دست آید.

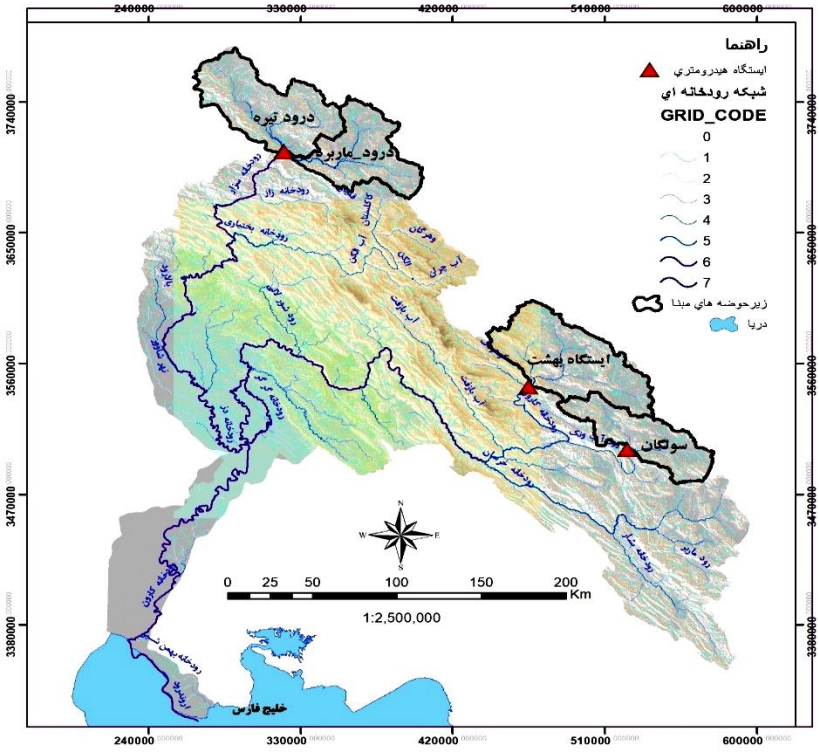
محدوده‌ی مطالعاتی

به‌منظور پیاده‌سازی وعملیاتی کردن روش پیشنهادی در طبیعی کردن آبدهی‌ها، چهار زیرحوضه مهم در حوضه آبریز کارون بزرگ انتخاب گردید. بر این اساس زیرحوضه‌های تیره و ماربره در حوضه دز و زیرحوضه‌های آب ونک و بهشت‌آباد در حوضه کارون انتخاب شد. این زیرحوضه‌ها بر مبنای قرارگیری در سراب حوضه و اهمیت آنها در تأمین بخش قابل ملاحظه‌ای از رواناب‌های سطحی حوضه‌های دز و کارون، تنوع مصارف آب و همچنین قرارگیری مراکز جمعیتی مهم درآنها انتخاب شد. در شکل ۱ موقعیت این زیرحوضه‌ها در کل حوضه کارون نشان داده شده است.

رودخانه ماربره از به هم پیوستن آبراهه‌های متعدد و از جمله رودخانه ازنا در منطقه الیگودرز تشکیل شده و در جهت غرب به طرف شهر درود جریان می‌یابد. رودخانه تیره نیز که از شاخه‌های فرعی گله‌رود، سیلاخور، آبسرده و بیاتون تشکیل می‌شود از منطقه بروجرد سرچشمه گرفته و در جهت شرق به طرف درود جریان می‌یابد و در این محل دو رودخانه به هم می‌پیوندد و رودخانه سزار را تشکیل می‌دهند. رودخانه سزار در محلی به نام تنگ پنج با دریافت رودخانه بختیاری رودخانه دز را تشکیل می‌دهند. در خروجی زیرحوضه‌های تیره و ماربره دو ایستگاه آب‌سنجی به نام درود واقع شده که از سال ۱۳۳۴ تا کنون آمار آبدهی در آنها اندازه‌گیری و ثبت می‌شود (۵).

رودخانه آب ونک از شاخه‌های مهم و اولیه رودخانه کارون بوده و آب‌های مناطق وسیعی از شهرستان‌های سمیرم، لردگان و بخش گندمان شهرستان بروجن را جمع‌آوری و به کارون می‌رساند. در خروجی زیرحوضه آب ونک، ایستگاه آب‌سنجی سولگان قرار گرفته و از سال ۱۳۵۶ تا کنون آمار آبدهی در آن اندازه گیری و ثبت می‌شود (۵).

رودخانه بهشت‌آباد نیز از ارتفاعات سیاه سرد و کوه آیک سرچشمه گرفته و کیار نامیده می‌شود. رودخانه کیار پس از عبور از شهرهای بروجن و سایه‌سرد و دریافت آب‌جهانبین و آب‌شلمزار و سپس رودخانه جونقان، بهشت‌آباد نامیده می‌شود. رودخانه بهشت‌آباد پس ازطی مسافتی کوتاه شاخه کوهرنگ را دریافت کرده و پس ازآن با دریافت شاخه سبزکوه، کارون



شکل ۱. موقعیت زیرحوضه‌های مطالعاتی مبنا در حوضه کارون بزرگ (رنگی در نسخه الکترونیکی)

نامیده می‌شود. در خروجی زیرحوضه بهشت‌آباد ایستگاهی تحت همین نام قرار دارد که از سال ۱۳۶۱ تا کنون آمار آبدهی در آن اندازه‌گیری و ثبت می‌شود (۵).

بر این اساس ایستگاه‌های آب‌سنجی تیره درود، مابره درود، سولگان و بهشت‌آباد به‌عنوان ایستگاه‌های آب‌سنجی مبنا در این پژوهش انتخاب شد. دوره آماری شاخص بر اساس طولانی‌ترین آمار واطلاعات موجود ایستگاه‌های آب‌سنجی مبنا یک دوره ۶۴ ساله از سال آبی ۳۵-۱۳۳۴ لغایت ۹۸-۱۳۹۷ انتخاب و نواقص آماری در این دوره تطویل و تکمیل شد.

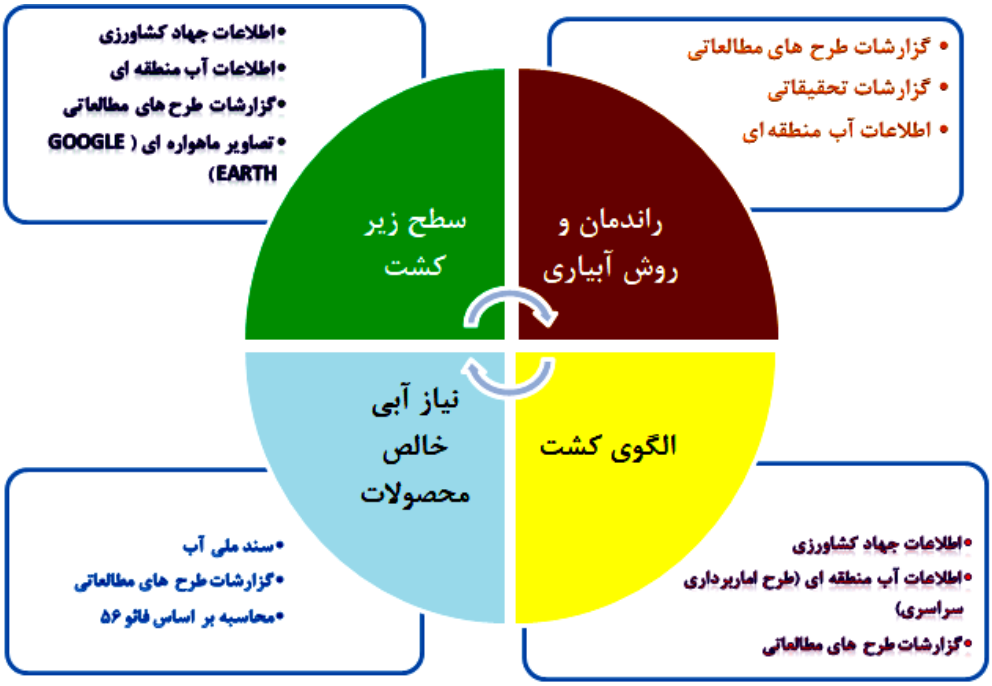
مواد و روش‌ها

روش طبیعی‌سازی پیشنهادی

روش طبیعی‌سازی پیشنهادی بر مبنای روش مصرف خالص طرح ریزی شده است. برآورد مصارف خالص در طول دوره بلندمدت نیازمند داشتن اطلاعات نیازهای شرب، صنعت، آبزی پروری و کشاورزی حوضه در سال‌های مختلف دوره آماری است. در این فرایند، ابتدا مقدار نیازهای آبی در حوضهٔ بالادست ایستگاه‌های آب‌سنجی درطول دوره زمانی به صورت ماهانه برآورد می‌شود. سپس مقدار برداشت آب با توجه به میزان آبدهی رودخانه در محل برداشت آب تعیین می‌شود. میزان واقعی برداشت آب برابر با کمینه میزان نیاز آبی و آبدهی رودخانه در محل اراضی در هر ماه است. میزان مصرف خالص آب نیز از کم کردن مقدار آب بازگشتی به رودخانه از برداشت آب به‌دست می‌آید. این فرایند در هر محدوده به صورت جزءبه‌جزء و در هر ماه از سری زمانی در سطح حوضه انجام می‌شود. به‌طور کلی انواع مختلف نیازها در حوضه شامل نیازهای کشاورزی، شرب، صنعت و آبزی پروری است که در زیر منابع اطلاعاتی و نحوه برآورد هر یک به اختصار ارائه شده است.

الف- مصارف کشاورزی

برآورد مصارف خالص آبی در طول دوره بلندمدت نیازمند داشتن اطلاعات کشاورزی حوضه شامل سطح اراضی، الگوی کشت، نیاز آبی و راندمان آبیاری در سال‌های مختلف و تخمین



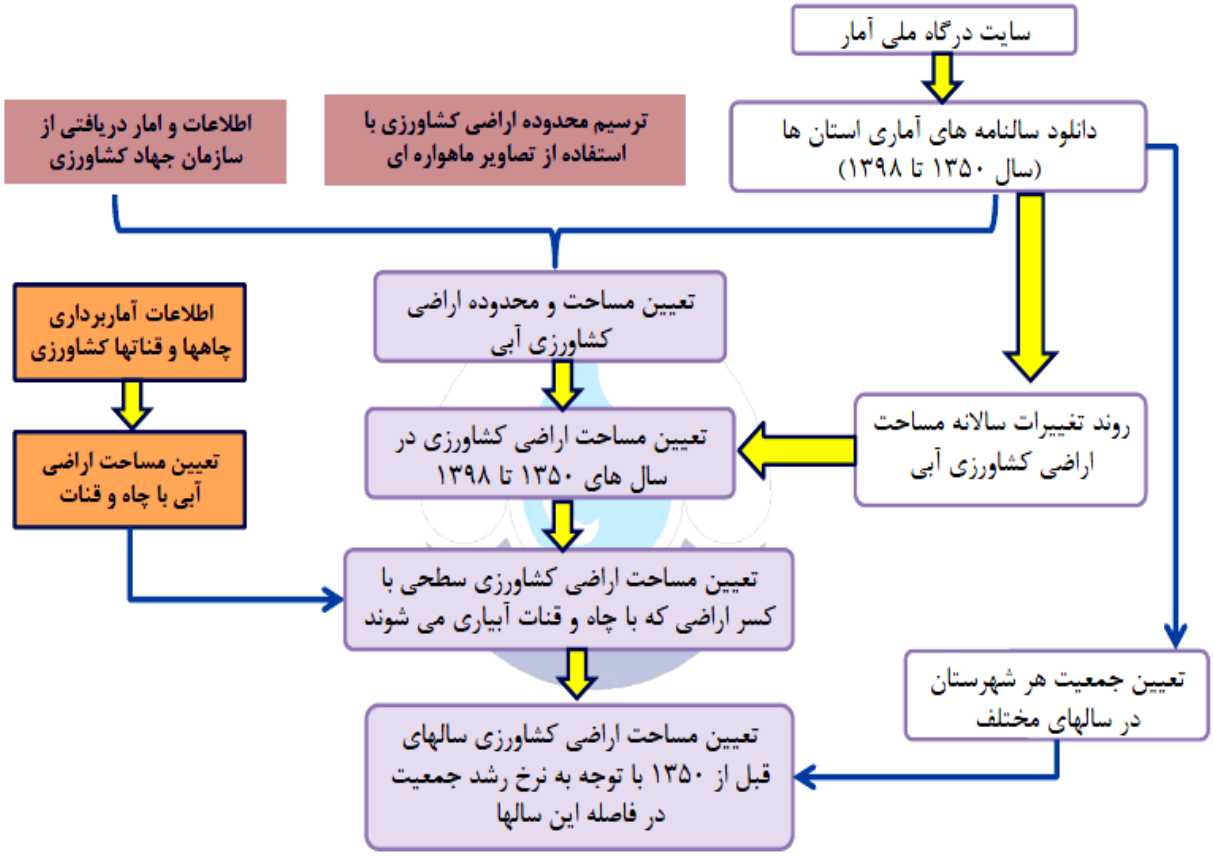
شکل ۲. اجزای چهارگانه برآورد نیاز آبی و منابع اطلاعاتی آنها (رنگی در نسخه الکترونیکی)

مقدار برداشت و برگشت آب در محل‌های برداشت آب است. در شکل ۲ اجزای چهارگانه برآورد نیاز آبی کشاورزی و منابع اطلاعاتی آنها نشان داده شده است.

برای تعیین مساحت اراضی کشاورزی در وضع موجود از تمام اطلاعات و منابع فوق با محوریت اطلاعات دریافتی از سازمان جهاد کشاورزی و شرکت‌های آب منطقه‌ای استفاده می‌شود. در این پژوهش، با توجه به عدم وجود اطلاعات مساحت اراضی مربوط به سال‌های قبل از سال ۱۳۵۰، به صورت تقریبی نرخ رشد جمعیت منطقه با نرخ رشد مساحت اراضی کشاورزی طی سال‌های ماقبل از سال ۱۳۵۰ برابر فرض شده و با این فرض مساحت اراضی کشاورزی آبی قبل از سال ۱۳۵۰ تخمین زده شده است.

برای تفکیک مساحت اراضی کشاورزی که با آب سطحی آبیاری می‌شوند از اراضی که با آب زیرزمینی آبیاری شده‌اند، اطلاعات آماربرداری‌های چاه‌ها و قنات‌های کشور در طول سال‌های گذشته مورد بررسی و استفاده قرار گرفته و سهم منابع آب زیرزمینی از اراضی کشاورزی آبی در هر استان و شهرستان تعیین می‌شود. در شکل ۳ مراحل و فرایند تعیین مساحت اراضی کشاورزی آبی حوضه مورد مطالعه در وضع موجود و در طول دوره آماری گذشته نشان داده شده است.

بعد از تعیین سطح زیرکشت در طی دوره آماری، نیازهای آبی کشاورزی از طریق تعیین الگوی کشت، راندمان آبیاری متناسب با روش آبیاری برآورد می‌شود. نیاز خالص آبی هر محصول در هر ماه بر اساس سند ملی آب در وضع موجود و استخراج مقدار بارش مؤثر فرض شده در محاسبه نیاز آبی در سند ملی آب و جایگزین کردن مقدار واقعی بارش اتفاق افتاده در هر ماه از دوره آماری در هر یک از مناطق مصرف آب کشاورزی با استفاده از نقشه‌های همباران سالانه حوضه آبریز و بارش درازمدت ایستگاه‌های باران‌سنجی معرف منطقه تدقیق می‌شود. نیاز آبی خالص در زمان واقعی در هر ماه از دوره آماری با توجه به میزان بارش مؤثر واقعی در همان زمان با استفاده از رابطه ۱ محاسبه می‌شود. در این رابطه I_n نیاز خالص آبیاری در هر ماه از دوره آماری با اعمال بارندگی واقعی، D_n میانگین نیاز خالص آبی در کل دوره بر اساس سند ملی یا فائو ۵۶، P_{as} بارندگی مؤثر



شکل ۳. مراحل و فرایند تعیین سطح اراضی کشاورزی در طول دوره (رنگی در نسخه الکترونیکی)

مفروض در سند ملی آب در ماه مورد نظر و Pre بارندگی مؤثر واقعی در محل اراضی کشاورزی بر اساس نقشه‌های همباران سالانه و توزیع سری ماهانه بارندگی ایستگاه معرف است.

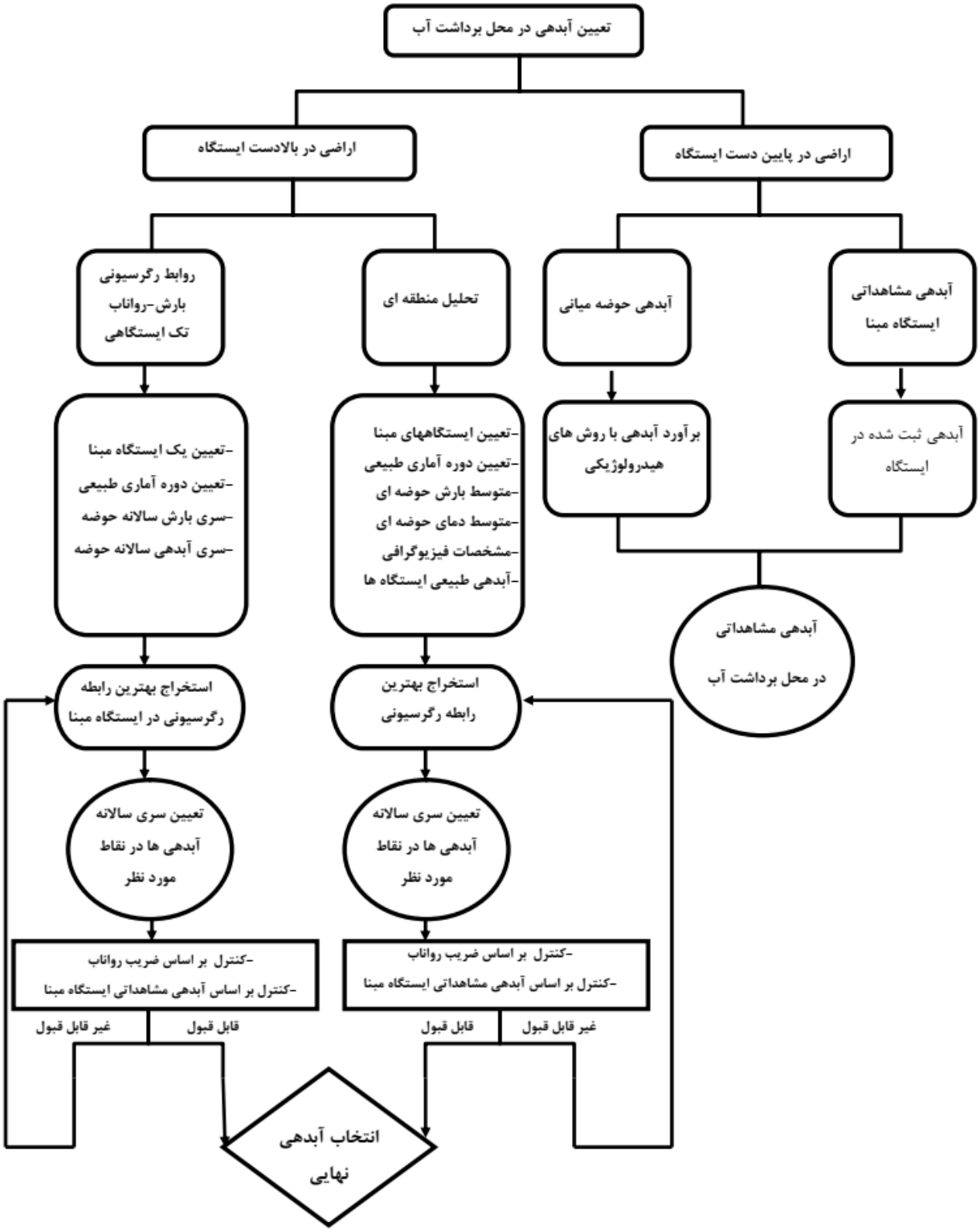
$$I_n = D_n + P_{as} - P_{re} \qquad (۱)$$

نکته حائز اهمیت در اینجا محاسبه مقدار نیاز خالص واقعی در هر ماه با در نظرگرفتن مقدار بارندگی واقعی نظیر همان ماه است و نه بارش مؤثر مفروض در سند ملی که مربوط به میانگین یک دوره ۳۰ ساله است.

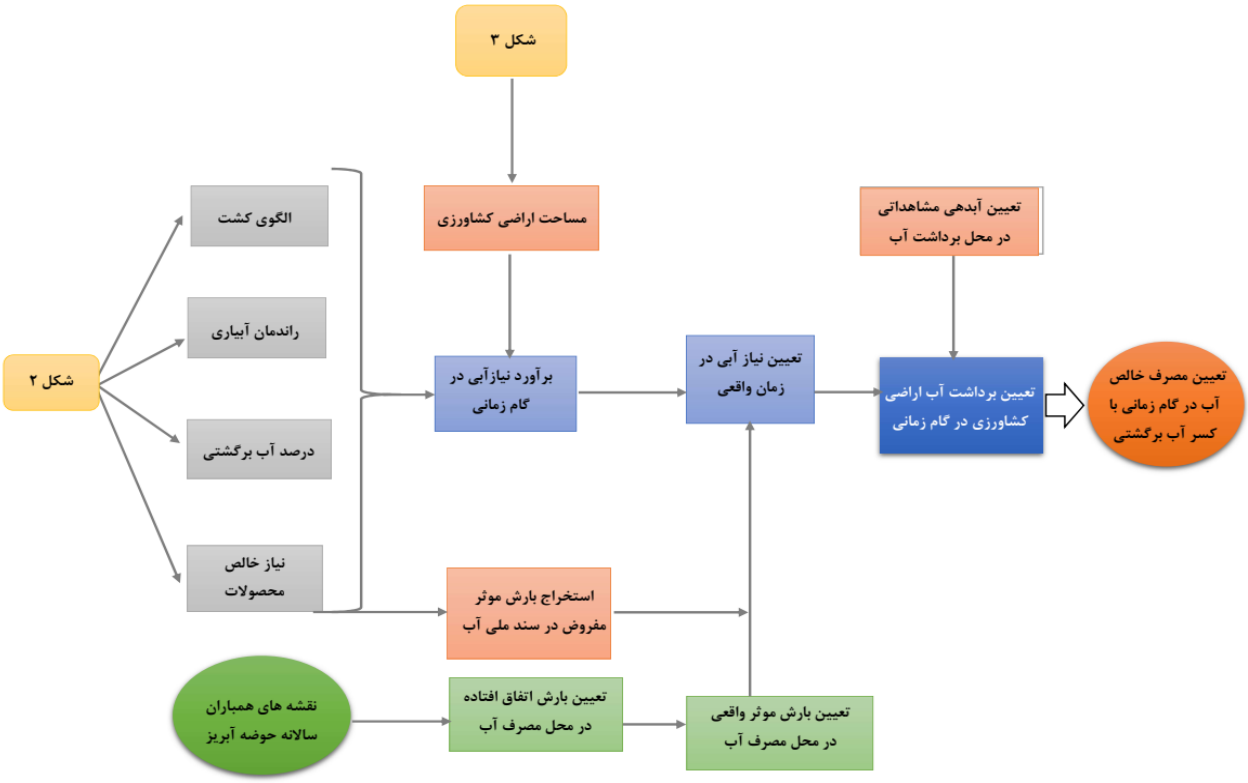
پس از به‌دست آوردن ماتریس نیاز آبی خالص واقعی ماهانه در هر یک از محدوده‌های کشاورزی در دوره آماری، ابتدا مقدار واقعی برداشت آب و سپس مقدار مصرف خالص آب در هر ماه محاسبه می‌شود. برای این منظور سری زمانی ماهانه آبدهی رودخانه در زمان واقعی (آبدهی مشاهداتی) در محل برداشت آب اراضی کشاورزی برآورد می‌شود. در شکل ۴ فرایند و مراحل محاسبه آبدهی واقعی درمحل‌های برداشت آب به صورت شماتیک بسته به موقعیت اراضی نسبت به ایستگاه آب‌سنجی نشان داده شده است. میزان واقعی برداشت آب اراضی کشاورزی برابر با کمینه میزان نیاز آبی واقعی و آبدهی مشاهداتی رودخانه در محل برداشت آب اراضی در هر ماه خواهد بود. مقدار مصرف خالص آب نیز با کسر آب برگشتی از آب برداشت شده مطابق رابطه ۲ به‌دست می‌آید:

$$Cu = DI \times (1 - Re\frac{DI}{Dg}) \qquad (۲)$$

در رابطه ۲ Cu : مصرف خالص آب در اراضی کشاورزی، DI: مقدار برداشت آب از رودخانه (نیاز تأمین‌شده)، Re: نسبت آب برگشتی در شرایط تأمین کامل نیاز آبی و Dg: کل نیاز آبی ناخالص اراضی کشاورزی است. روند کلی برآورد مصارف



شکل ۴. روند کلی تعیین ماتریس آبدهی رودخانه ها در نقاط برداشت آب



شکل ۵. مراحل برآورد میزان مصرف خالص آبیاری اراضی کشاورزی در دوره آماری (رنگی در نسخه الکترونیکی)

خالص اراضی کشاورزی در طول دوره آماری در شکل ۵ نشان داده شده است.

ب- برآورد نیازها و مصارف آب شرب

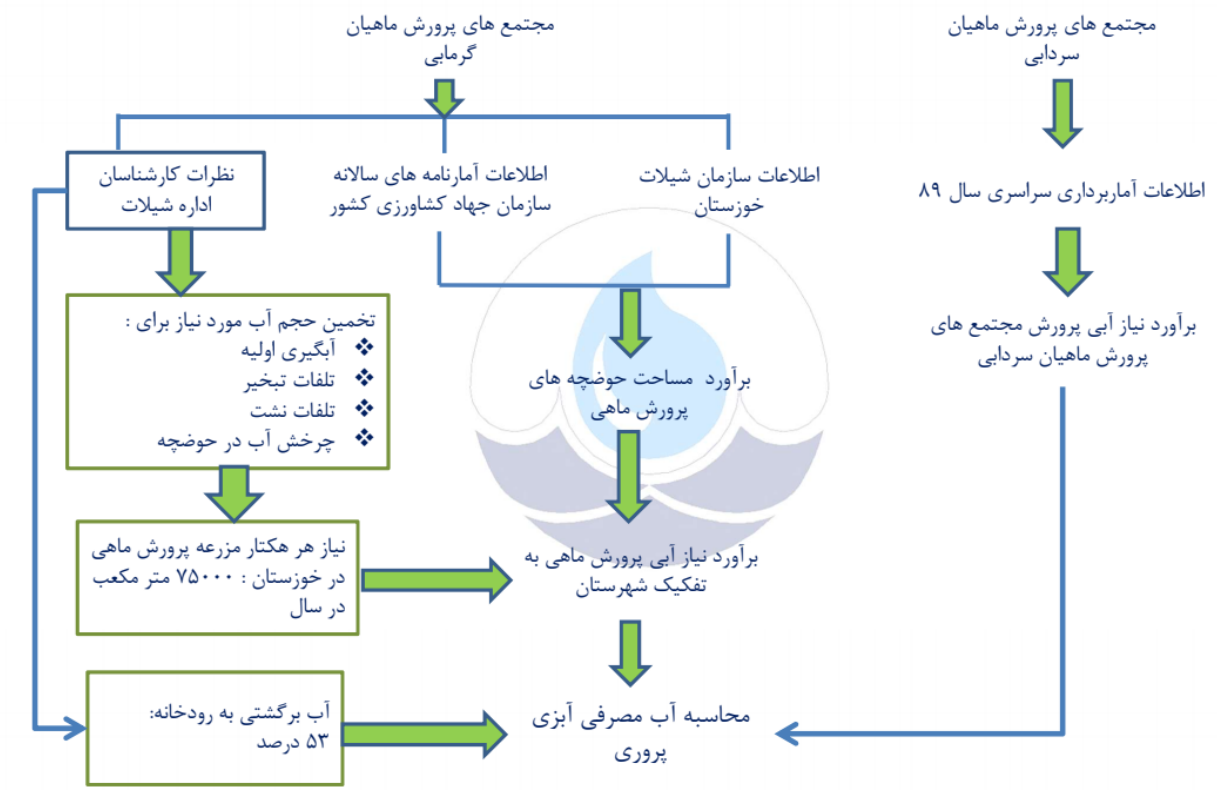
برای برآورد نیازها و مصارف آب شرب در حوضه لازم است جمعیت ساکن در حوضه در وضع موجود و در طول دوره آماری تعیین شود. در این پژوهش برای برآورد جمعیت، از اطلاعات و نتایج سرشماری‌های نفوس و مسکن در سال‌های مختلف استفاده شده است. نخستین «سرشماری عمومی نفوس و مسکن» به‌صورت علمی در سال ۱۳۳۵ خورشیدی توسط مرکز آمار ایران انجام شد. پس از تأسیس مرکز آمار ایران هر ۱۰ سال یکبار سرشماری عمومی نفوس و مسکن را اجرا شد. پس از سرشماری ۱۳۸۵، فاصله زمانی سرشماری کشوری به پنج سال کاهش یافت. برای برآورد جمعیت در سال‌های مابین سرشماری که اطلاعات جمعیتی موجود نیست با استفاده از نرخ رشد جمعیت محاسبه شده شهری و روستایی هر شهرستان برای هر بازه زمانی از رابطه ۳ و با اعمال آن برای هر سال با استفاده از رابطه ۴، جمعیت برای سال مورد نظر برآورد می‌شود (۵).

$$r = \left(\sqrt[n]{\frac{P_{t+n}}{P_t}} - 1\right) \times 100 \qquad (۳)$$

$$P_{t+n} = P_t (1+r)^n \qquad (۴)$$

در فرمول‌های فوق، Pt+n جمعیت در سرشماری دوم، Pt جمعیت در سرشماری اول، n فاصله بین دو سرشماری و r نرخ رشد سالانه جمعیت است.

با استفاده از نتایج محاسبه جمعیت حوضه در سال‌های مختلف و همچنین با توجه به سرانه مصرف جوامع شهری و روستایی، حجم آب مورد نیاز شرب برای هر شهرستان و استان تعیین می‌شود. پس از آن با استفاده از ضرایب پساب آب برگشتی محاسبه شده در طرح جامع آب کشور، مقدار آب



شکل ۶. فلوچارت مراحل برآورد میزان نیاز و مصرف آبزی‌پروری (رنگی در نسخه الکترونیکی)

برگشتی این مصارف برآورد شده و با کم کردن آن از مقدار نیاز، مصرف خالص شرب برای هر شهرستان برآورد می‌شود.

ج- برآورد نیازها و مصارف آبی صنعت

برای برآورد نیازها و مصارف آب صنعت در وضع موجود و در سال‌های گذشته، از منابع اطلاعاتی شرکت های آب منطقه‌ای، وزارت صنایع و معادن و گزارش‌های طرح جامع آب کشور می‌توان استفاده کرد.

د- برآورد نیازها و مصارف آبزی‌پروری

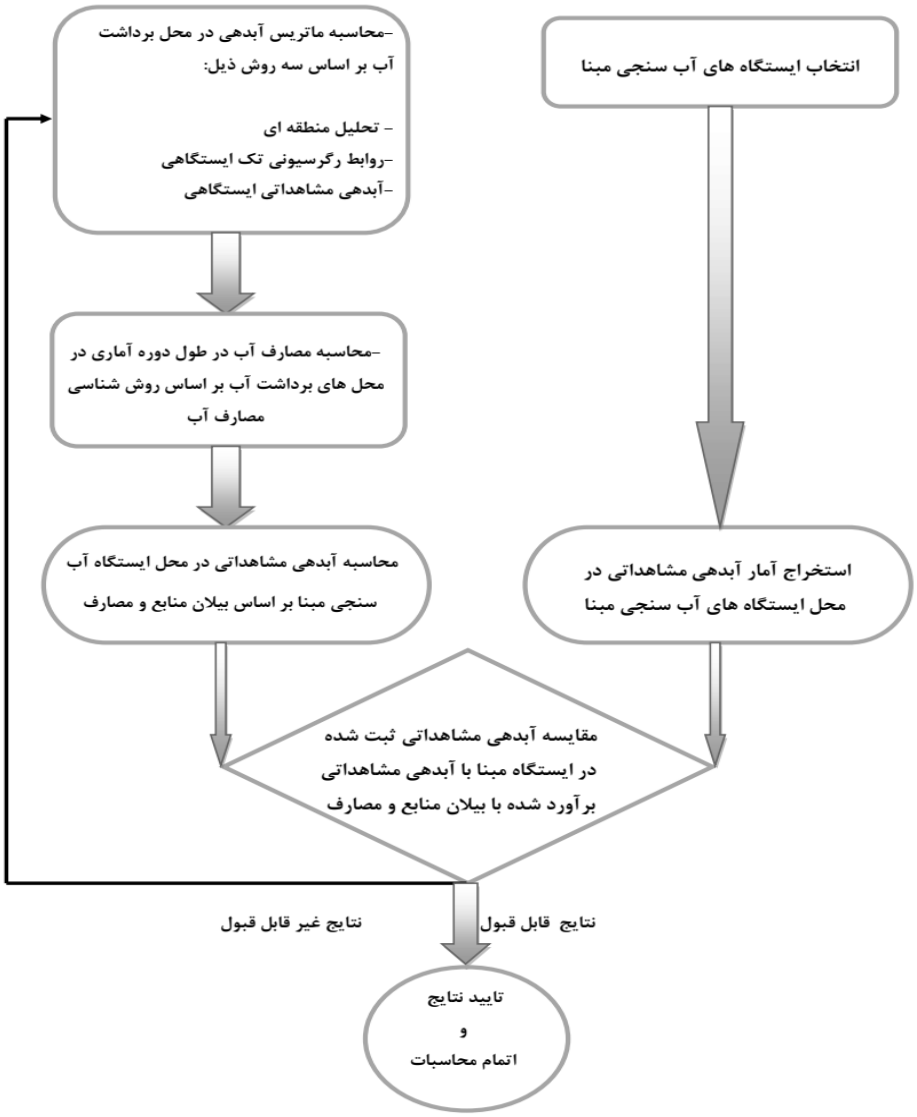
برای برآورد نیازها و مصارف آبزی‌پروری در وضع موجود و در سال‌های گذشته، از منابع اطلاعاتی شرکت‌های آب منطقه‌ای، سازمان شیلات و ادارات شیلات استانی استفاده می‌شود. البته در مجتمع های آبزی پروری مناطق سردسیر با توجه به ورود آب از یک طرف و برگشت آن به رودخانه از طرف دیگر، مقدار مصرف آب ناچیز بوده و می‌توان از آن صرفنظر کرد. ولی این موضوع در مورد مجتمع‌های آبزی‌پروری درمناطق گرمسیری صدق نمی‌کند و برای برآورد نیاز و مصرف آب می‌توان از فلوچارت ارائه شده در شکل ۶ استفاده کرد.

صحت‌سنجی و اعتبارسنجی

با توجه به تعدد متغیرها وعدم قطعیت‌های موجود برای برآورد انواع مختلف مصارف در متدولوژی ارائه شده دراین پژوهش، صحت‌سنجی واعتبارسنجی نتایج حاصل از این روش ضروری به نظر می‌رسد. ارزیابی عملکرد این روش با استفاده از داده‌های آبدهی مشاهداتی و برآوردی در محل ایستگاه‌های آب‌سنجی مبنا مطابق فلوچارت ارائه شده در شکل ۷ و بکارگیری شاخص‌های آماری ضریب تبیین و شاخص توافق انجام می‌شود.

- ضریب تبیین (Coefficient of determination)

ضریب تبیین (R^2) از شاخص‌های آماری رایج در عملکرد مدل‌هاست و نسبت پراکندگی مقادیر پیش‌بینی شده و مقادیر اندازه‌گیری شده را نشان می‌دهد. در صورت تطابق کامل بین



شکل ۷. فلوچارت مراحل صحت‌سنجی و اعتبارسنجی روش پیشنهادی

داده‌های اندازه‌گیری و محاسباتی، مقدار این شاخص برابر ۱ خواهد بود (۱۱).

$$R^2 = \left(\frac{s_{xy}}{s_X \times s_Y}\right)^2 = \left(\frac{\Sigma((o_i - \bar{o}) \times (P_i - \bar{P}))}{\sqrt{\Sigma(o_i - \bar{o})^2 \times \Sigma(P_i - \bar{P})^2}}\right)^2 \quad (۵)$$

- شاخص توافق

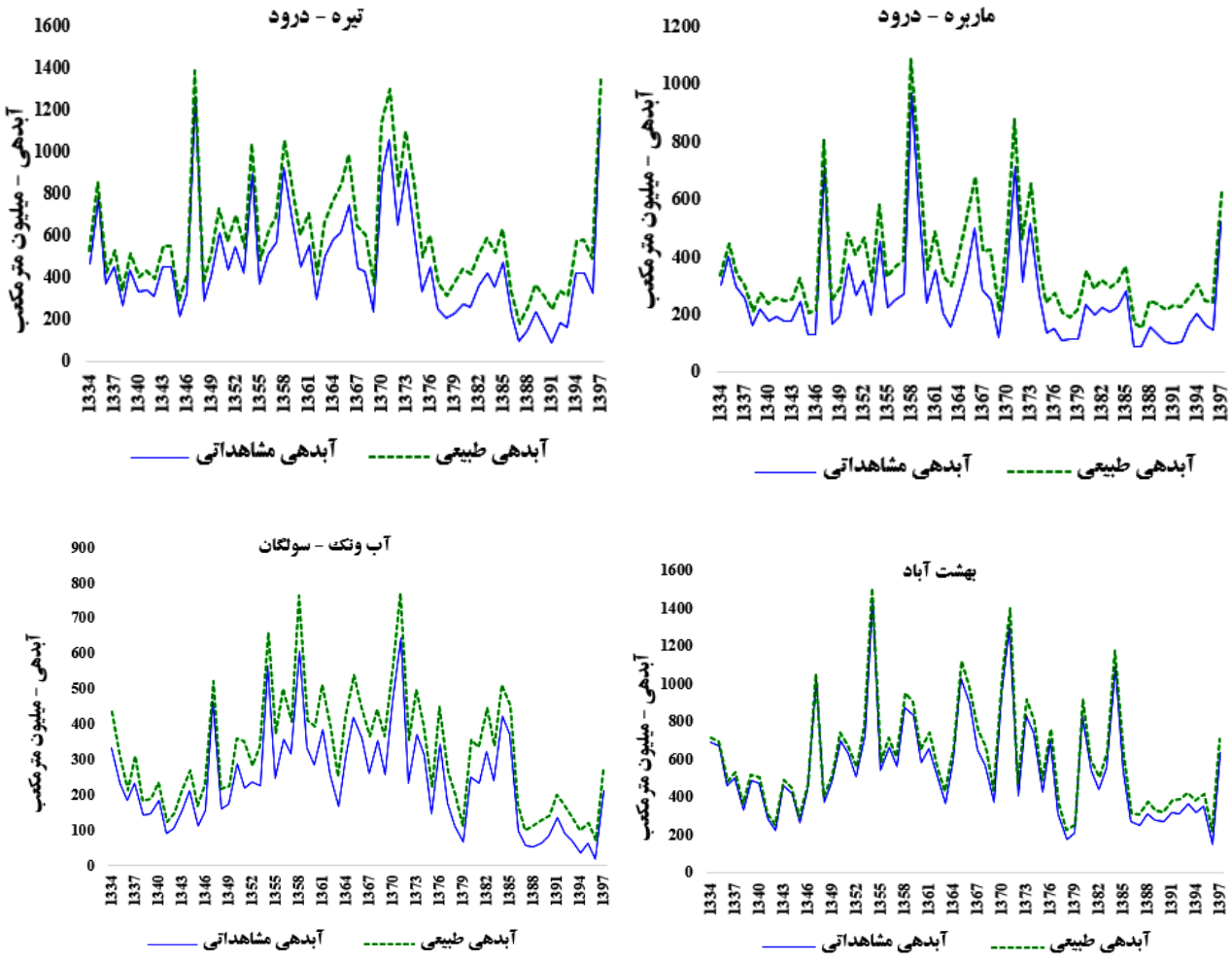
شاخص توافق (d) به شکل وسیعی در بررسی عملکرد مدل‌ها استفاده می‌شود. این شاخص نشان‌دهنده میزان انطباق بین داده‌های مشاهداتی و محاسباتی است. هرچه مقدار به عدد ۱ نزدیک‌تر باشد، میزان انطباق افزایش می‌یابد (۱۲).

$$d = 1 - \left(\frac{\Sigma_{i=1}^{n}(P_i - o_i)^2}{\Sigma_{i=0}^{n}\left[|P_i - \bar{o}| + |o_i - \bar{o}|\right]^2}\right) \quad (۶)$$

O_i و P_i به ترتیب معرف مقادیر مشاهده‌ای و محاسباتی متغیر مورد مطالعه و n نشان دهنده‌ی تعداد داده است.

نتایج و بحث

به‌منظور عملیاتی کردن روش پیشنهادی طبیعی کردن آبدهی‌ها در ابتدا با بکارگیری نرم‌افزار Arc hydro در محیط Arc GIS حوضه آبریز مشرف به هر یک از ایستگاه‌های آب‌سنجی مبنا



شکل ۸. آبدهی مشاهداتی و طبیعی شده ایستگاه‌های آب‌سنجی مبنا (رنگی در نسخه الکترونیکی)

ترسیم شد. در هر زیرحوضه نقاط و محدوده‌های برداشت آب تعیین و پولیگون‌بندی شد. سپس میزان نیاز و مصارف خالص مطابق متدولوژی پیشنهادی در طول دوره آماری شاخص در مقیاس ماهانه و سالانه برآورد شد. با تجمیع کلیه مصارف خالص موجود در هر زیرحوضه با آبدهی مشاهداتی ثبت شده در محل ایستگاه آب‌سنجی، آبدهی طبیعی زیرحوضه‌های مبنا برآورد گردید. در واقع با این روش به نوعی اثرهای فعالیت‌های انسانی در سطح حوضه در درازمدت تعیین و به آبدهی خروجی حوضه که در ایستگاه آب‌سنجی ثبت می‌شود، اضافه می‌شود. بدین ترتیب پتانسیل واقعی تولید رواناب سطحی در حوضه‌ها تعیین می‌شود و اثر فعالیت‌های انسانی بر آبدهی خروجی از حوضه‌ها حذف می‌شود. در شکل ۸ آبدهی مشاهداتی و طبیعی شده ایستگاه‌های آب‌سنجی مبنا در سری درازمدت ارائه شده است. نتیجه این بررسی در زیرحوضه‌های مبنا به شرح زیراست:

در زیرحوضه رودخانه تیره میانگین درازمدت آبدهی مشاهداتی در طول دوره شاخص ۴۶۰ میلیون مترمکعب در سال بوده که با اعمال شیوه نوین طبیعی‌سازی به مقدار ۵۹۹ میلیون متر مکعب در سال افزایش پیدا کرد. بر این اساس متوسط برداشت خالص آب در زیر حوضه تیره، به مقدار ۱۳۹ میلیون متر مکعب در سال برآورد شده که معادل ۲۳/۲ درصد کل آورد زیرحوضه است.

در زیرحوضه رودخانه ماربره میانگین درازمدت آبدهی مشاهداتی در طول دوره شاخص ۲۶۱ میلیون مترمکعب در سال بوده و با اعمال شیوه نوین طبیعی‌سازی به مقدار ۳۶۶ میلیون متر مکعب در سال افزایش پیدا کرد. بر این اساس متوسط برداشت خالص آب در زیرحوضه مابره، به مقدار ۱۰۵ میلیون متر مکعب در سال برآورد شد که معادل ۲۸/۷ درصد کل آورد زیرحوضه است.

در زیرحوضه رودخانه آب ونک میانگین درازمدت آبدهی مشاهداتی در طول دوره شاخص ۲۳۹ میلیون مترمکعب در سال بوده که با اعمال شیوه نوین طبیعی‌سازی به مقدار ۳۲۳ میلیون متر مکعب در سال افزایش پیدا کرد. بر این اساس متوسط برداشت خالص آب در زیر حوضه آب ونک، سالانه به مقدار ۸۴ میلیون متر مکعب برآورد شده که معادل ۲۶درصد کل آورد زیرحوضه است.

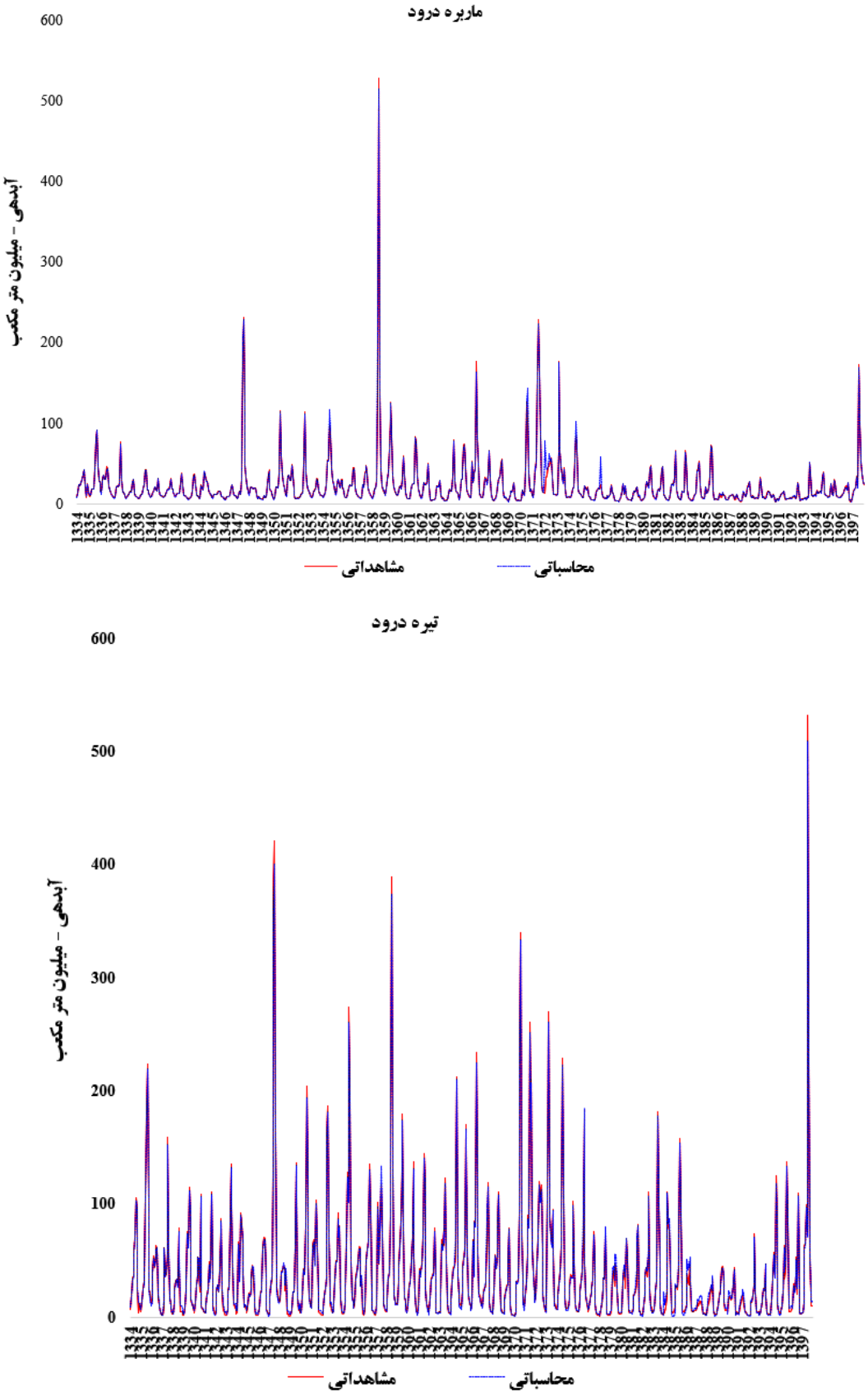
در زیرحوضه رودخانه بهشت‌آباد میانگین درازمدت آبدهی مشاهداتی در طول دوره شاخص ۵۵۰ میلیون مترمکعب در سال بوده که با اعمال شیوه نوین طبیعی‌سازی به مقدار ۶۰۸ میلیون متر مکعب در سال افزایش پیدا کرده است. بر این اساس متوسط برداشت خالص آب در زیر حوضه بهشت‌آباد به مقدار ۵۸ میلیون مترمکعب در سال برآورد شد که معادل ۹/۵ درصد کل آورد زیرحوضه است.

نکته حائز اهمیت در اینجا این است که اختلاف بین منحنی‌های مربوط به آبدهی‌های مشاهداتی و طبیعی ارائه شده در شکل ۸ که مقادیر برداشت آب را نشان می‌دهد، در طول دوره درازمدت مقدار ثابتی نبوده و سال به سال متفاوت است. این امر با توجه به عوامل متعدد مانند وقوع ترسالی و یا خشکسالی، طرح‌های توسعه و بهره‌برداری از منابع آب که به تدریج احداث می‌شوند، تغییرات جمعیتی و نیز سایر فعالیت‌های انسانی در حوضه منطقی به نظر می‌رسد. در این روش سعی شده حتی‌الامکان مقادیر مصارف در حوضه با توجه به تغییرات و واقعیت‌های موجود بر اساس مستندات در دسترس برآورد شود وسپس با افزودن آنها به آبدهی مشاهداتی خروجی حوضه، پتانسیل واقعی تولید رواناب سطحی در حوضه‌ها تعیین شود که درحقیقت این موضوع نقطه قوت این روش است.

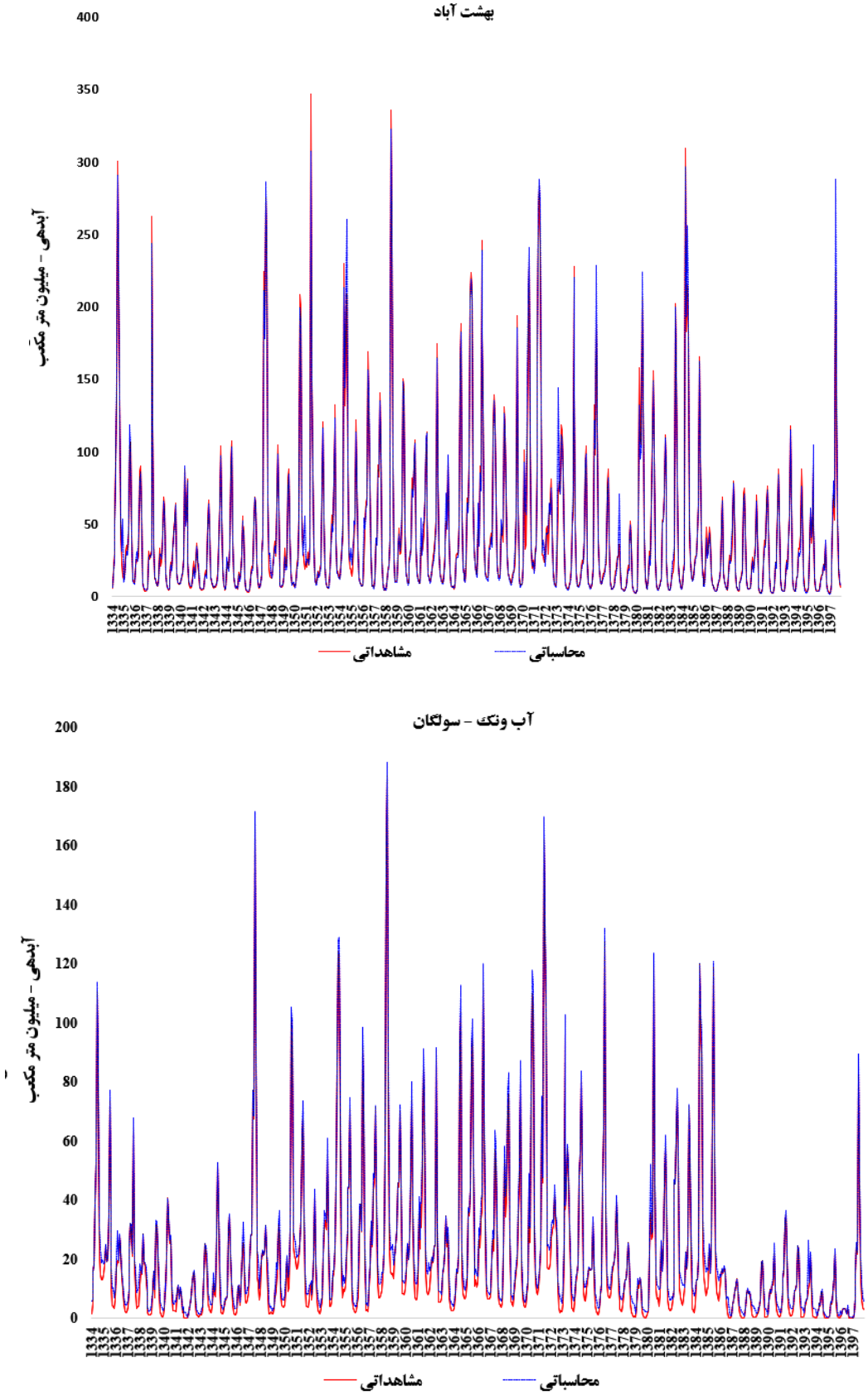
به‌منظور صحت‌سنجی و اعتبارسنجی نتایج حاصل از این روش مطابق روش پیشنهادی عمل شد. بدین‌ترتیب که در هر زیرحوضه با توجه به بیلان حجمی منابع و مصارف بصورت جزء به جزء از بالادست حوضه تا ایستگاه آب‌سنجی مبنا، مقادیر آبدهی مازاد بر مصرف مورد انتظار (آبدهی مشاهداتی) محاسبه و با آبدهی مشاهداتی ثبت شده در ایستگاه آب‌سنجی مبنا نظیر به نظیر در طول دوره آماری به صورت ماهانه مورد مقایسه قرارگرفت. نتایج این بررسی در شکل ۹ با ترسیم سری زمانی تغییرات آبدهی مشاهداتی و محاسباتی نشان داده شده است. مقادیر برآورد شده با مقادیر ثبت شده در تمام زیرحوضه‌ها تطابق بسیار خوبی نشان داده و از انطباق قابل قبولی برخودار هستند. علاوه بر روش ترسیمی، به‌منظور مقایسه بهتر بین رواناب مشاهده‌ای و محاسباتی از شاخص‌های آماری ضریب تبیین (R^2) و شاخص توافق (d) استفاده شد. نتایج حاصل از این روش‌ها در جدول ۱ ارائه شده است. نتایج حاکی از آن است که مقادیر هر دو شاخص به عدد ۱ بسیار نزدیک بوده که بیانگر تطابق و انطباق خوب داده‌های مشاهداتی و برآوردی است. این امر دقت قابل قبول این روش را به خوبی نشان می‌دهد.

نتیجه‌گیری

به‌دلیل توسعه برداشت‌ها از منابع آب سطحی طی سال‌های مختلف درحوضه‌های آبریز و اثرات آن بر رواناب سطحی، جریان ثبت شده در اغلب ایستگاه‌های آب‌سنجی دارای رژیم طبیعی نبوده و متأثر از فعالیت‌های انسانی است. بنابراین، طبیعی‌سازی رژیم آبدهی رودخانه‌ها و حذف اثر فعالیت‌های انسانی به‌منظور برآورد پتانسیل واقعی حوضه در تولید رواناب سطحی جهت برنامه‌ریزی و مدیریت جامع منابع آب امری اجتناب‌ناپذیر است. هدف از طبیعی‌سازی آبدهی رودخانه‌ها،



شکل ۹. روند تغییرات آبدهی مشاهداتی و محاسباتی ماهانه در ایستگاه‌های مبنا (رنگی در نسخه الکترونیکی)


بهشت آباد
آبدهی - میلیون متر مکعب
مشاهداتی
محاسباتی
آب ونک - سولگان
آبدهی - میلیون متر مکعب
مشاهداتی
محاسباتی

ادامه شکل ۹

جدول ۱. نتایج شاخص‌های آماری برای ایستگاه‌های آب‌سنجی مبنا

شاخص های آماری	ایستگاه‌های آب‌سنجی مبنا			
	درود تیره	درود ماربره	سولگان	بهشت آباد
ضریب تبیین(R^2)	۰/۹۹۶	۰/۹۷۹	۰/۹۹۱	۰/۹۸۰
شاخص توافق(d)	۰/۹۹۹	۰/۹۹۵	۰/۹۹۵	۰/۹۹۵

حذف اثر عوامل انسانی و تعیین مقدار آبدهی واقعی حوضه قبل از توسعه و برداشت آب در بالادست است. پژوهشگران روش‌های مختلفی جهت طبیعی‌سازی جریان معرفی کرده‌اند که عمدتاً بر پایه بیلان حجمی استوار هستند. این روش‌ها به مقادیرجریان‌های ثبت شده در نقاط برداشت و برگشت آب بسیار وابسته بوده و عدم قطعیت در جریان‌های ثبت شده، دقت این روش‌ها را تعیین می‌کند. در این پژوهش ضمن معرفی اجمالی روش‌های مرسوم و بررسی نقاط ضعف آنها، روشی نوین و ابتکاری مبتنی بر اطلاعات در دسترس جهت طبیعی‌سازی جریان رودخانه‌ها ارائه شد. این روش بر مبنای برآورد مصرف خالص طرح‌ریزی شده و در آن انواع نیازهای آبی و مصرف خالص آنها در حوضهٔ بالادست ایستگاه‌های آب‌سنجی به صورت جزءبه‌جزء و در هر ماه به صورت سری زمانی برآورد می‌شود. با افزودن مجموع مصارف خالص در حوضه به آبدهی مشاهداتی خروجی اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های آب‌سنجی مبنا، مقدارآبدهی طبیعی حوضه تعیین می‌شود. بدین‌ترتیب با این روش به نوعی اثرات فعالیت‌های انسانی در آبدهی خروجی حوضه لحاظ شده و پتانسیل واقعی تولید رواناب سطحی در حوضه‌ها تعیین می‌شود. به‌منظور عملیاتی کردن این روش، در زیرحوضه‌های تیره و ماربره درحوضه دز و زیرحوضه‌های سولگان و بهشت‌آباد در حوضه کارون این روش مورد استفاده و پیاده‌سازی شد. نتایج حاصل از این روش حاکی از آن است که بطور کلی فعالیت‌های انسانی در سطح حوضه‌ها باعث کاهش میانگین درازمدت آبدهی خروجی از حوضه‌ها شده است. مقدار تأثیر فعالیت‌های انسانی در کاهش متوسط آبدهی خروجی در حوضه تیره ۲۳/۲، در حوضه ماربره ۲۸/۷، در حوضه آب ونک ۲۶ و در حوضه بهشت‌آباد ۹/۵ درصد است. گفتنی است که کاهش آبدهی حوضه‌ها مربوط به میانگین درازمدت ۶۴ ساله بوده و مقادیر این کاهش در سالیان اخیر بسیار بیشتر است. صحت‌سنجی و اعتبارسنجی نتایج حاصل از این روش نیز حاکی از تطابق و انطباق خوب داده‌های مشاهداتی و برآوردی در نقاط کنترل است.

در پایان خاطرنشان می‌شود که این روش در مراحل مقدماتی بوده و بر اساس حداقل اطلاعات در دسترس تدوین شده است. به‌منظور فراگیر شدن و تدقیق آن پیشنهادهایی به شرح زیر ارائه می‌شود:

۱- روش ارائه شده در این پژوهش برای دیگر حوضه‌ها نیز اجرا شود تا نقاط قوت و ضعف روش مشخص شود.

۲- با توجه به تأثیرگذاری برداشت آب زیرزمینی بر منابع آب سطحی بخصوص در چاه‌های حریمی، برای تدقیق کردن این روش می‌توان در پژوهش دیگری با بررسی اندرکنش بین آب سطحی و زیرزمینی و در نظر گرفتن تغییرات سطح ایستابی سفرهای زیرزمینی، مقدار تأثیر برداشت آب زیرزمینی را بر آب سطحی تعیین و آن را در آبدهی طبیعی حوضه لحاظ کرد.

۳- تغییر کاربری اراضی و تعیین مقدار مصارف کشاورزی در سطح حوضه طی سال‌های مختلف با استفاده از تکنیک سنجش از دور و تصاویر ماهواره‌ای از طریق برآورد تبخیر و تعرق واقعی محاسبه و با نتایج ارائه شده در این روش مورد مقایسه قرار گیرد.

۴- در مطالعه جداگانه‌ای، تأثیر تشعشعات خورشیدی و ابرناکی حوضه در مقدار تبخیر و تعریق واقعی بررسی و نتایج آن با نتایج ارائه شده در این پژوهش مقایسه شود.

منابع مورد استفاده

1. Aghazadegan, A. and A. Houshmand Eyini. 2011. Estimation of water resources of drainage basin projects and naturalization of statistics of water gauge stations by method of trend elimination in rainfall mode with trend and non-trend. *In:* First National Conference on Civil Engineering and Development, Zibakennar, Iran (In Farsi).
2. Bayazidi, Sh., H. Morki Aliabad and M. Zafaranizadeh. 2012. Naturalization of hydrometric station reservoirs with Cindex method (removal of modified process). *In:* 9th International Congress of Civil Engineering, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran (In Farsi).
3. Blythe, T. and J. C. Schmidt. 2018. Estimating the natural flow regime of rivers with long standing development: the northern branch of the Rio Grande. *Water Resources Research* 54(2): 1212-1236.
4. Chow, V. T., R. Maidment, D. Mays and W. Larry. 1988. Applied hydrology. McGraw-Hill, New York, USA.
5. Dezab Engineering Co. 2019. Studies on investigation and modernization of water allocation in Dez and Karun watersheds, Hydrology Report (In Farsi).
6. Evaluation of Naturalized Streamflow Methodologies.1997. *Texas Natural Resource Conservation Commission*, Technical paper: (1).
7. Halliday, R., and Associates. 2010. Determination of natural flow for apportionment of the red river. International Join Commission, Saskatoon SK.
8. Humberto, S. H., R. M. D. Ignacio, A. H. María Teresa and G. O. Alfredo. 2008. Natural flows determination in gauged hydrological basins. Part II: The effect of time scale. *In:* World Water Congress. International Water Association, Montpellier, France.
9. Mir Yacoubzadeh, M. H., K. Soleimani, R. Habibnejad, K. Shahidi, K. Abbaspour and S. Akhwan. 2013. Determining and evaluating actual evaporation and transpiration using remote sensing data. *Irrigation and Water Engineering Research Quarterly* 4(3): 89-102 (In Farsi).
10. Prairie provinces water board (PPWB). 1976. Determination of natural flow for apportionment purposes, calgary district office of water survey of canada, committee on hydrology, PPWB Report: (48).
11. Rezaei, A. 1995. Concepts of Probability and Statistics, The Relationship between Variables. Mashhad Publishing Company, Mashhad, Iran (In Farsi).
12. Willmott, C. J., C. M. Rykiel and Y. Mintz. 1985. Climatology of terrestrial seasonal water circle. *Journal of Climatology* (5): 589-606.
13. Xu, C. Y. 2002. Hydrologic Models. Textbooks of Uppsala University, Department of Earth Sciences Hydrology, Uppsala, Sweden.
14. Yoshitani, J. and A. Tianqi. 2007. Development of natural flow hydrological database for PUB studies. *In:* Proceedings of the Kick-Off Meeting, Brasilia, Brazil.

Journal of Water and Soil Science
Vol. 27, No. 1, Spring 2023, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

Investigating River Flow Normalization Methods and Introducing a New Method

R. Khalaf[1], A. M. Akhoond-Ali[1]*, S. Soltani[2] and K. Rezazadeh[3]

(Received: August 28-2022 ; Accepted: December 26-2022)

Abstract

Due to developing abstractions and their impacts on surface runoff, the recorded flow has been changed by human activities in most water gauging stations. Therefore, there is not found natural regime in the catchments. Accordingly, the objective of naturalization is to remove the effect of human activity factors and determine the actual amount of the river flow before the abstraction and the upstream development. Researchers have presented different methods that are mainly based on volume budget. In this way, this research presented the conventional methods as well as investigated their weak points. These new and innovative methods have been applied based on the available data. The methods have been planned based on the net consumption in which, the different types of water demands related to the upstream of each hydrometric station, are estimated for each month of a long-term series. Then, the amount of natural flow is determined by adding them to the observed flow. The accuracy and validation of the results are investigated by comparing the observed and calculated flow. As a case study, this method was utilized and implemented for Tireh and Marbareh sub-basins in Dez as well as Solgan and Beheshtabad sub-basins in the Karun basin. The results showed the role of the human activity factors decreasing the long-term outflow in the Tireh basin a 23.2%, in the Marbareh basin a 28.7%, in the Vanak watershed a 26%, and in the Beheshtabad basin a 9.5%. The results validation indicated the appropriate compatibility of the observational and estimated data for the control points (the stations). In this research, natural flow is obtained by presenting a practical method based on available information in the country. The proposed method has been in the preliminary stages. To verify and comprehend it, it should be used in future research on the interaction of surface and underground water and the use of new technologies such as remote sensing.

Keywords: Natural flow, Volume budget, Water consumption, Karun

1. Department of Hydrology and Water Resources, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.
2. Department of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.
3. Department of Water Resources Studies, Dezab Consulting Engineers Company, Ahvaz, Iran.
*: Corresponding author, Email: aliakh@scu.ac.ir