مجلّهٔ جغرافیا و توسعهٔ ناحیه‌ای، سال دوازدهم، شمارهٔ بیست و دوم، بهار و تابستان ۱۳۹۳

برآورد آب تجدیدپذیر به کمک مدل بیلان آب در شرایط کمبود داده

فاطمه طالبی حسین‌آباد (کارشناس ارشد هواشناسی کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد)
fa.ta40@gmail.com
مهری شاهدی(کارشناس ارشد هواشناسی کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد)
me.sh40@gmail.com
سعدالله ولایتی(استاد زمین‌شناسی، دانشگاه فردوسی مشهد)
svelayati57@yahoo.com
کامران داوری(دانشیار گروه مهندسی آب دانشکدهٔ کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، نویسندهٔ مسؤول)
k.davary@gmail.com

چکیده

اهداف: کشور ما به دلیل پایین‌بودن ریزش‌های جوی و نامناسب‌بودن پراکنش زمانی و مکانی آن، در زمرهٔ کشورهای خشک و نیمه‌خشک جهان قرار دارد. در چنین وضعیتی منابع آب، گلوگاه توسعه خواهد بود. شرط پایداری کمی منابع آب، عدم تجاوز مصارف سالانه از مقدار آب تجدیدپذیر است. آب تجدیدپذیر، مقدار آبی است که یک حوضه(یا محدودهٔجغرافیایی) طی چرخهٔ آبی سالیانه توانایی بازیابی آن را دارد؛ بنابراین برنامه‌ریزی برای توسعهٔ پایدار نیازمند برآورد صحیح(و حتی محافظه‌کارانه) منابع آب تجدیدپذیر است.

روش: در مطالعهٔ حاضر به بررسی مفهوم آب تجدیدپذیر و برآورد آن، بر اساس بیلان آبی، در زیر حوضه‌های کشف‌رود پرداخته شده است. برقراری بیلان حوضه‌ها مبتنی بر بهینه‌یابی مقادیر پارامترهای بیلان، به روش سعی و خطا و با هدف حداقل‌نمودن عدم تراز آب(به سمت صفر)، بوده است. با توجه به عدم وجود داده‌های کافی و موثق برای تهیهٔ بیلان، «نظر خبره» یکی از منابع مهم اطلاعات بود. همچنین برای به‌دست‌آوردن متوسط آب تجدیدپذیر، عوامل بیلان در دو سال تر و خشک برآورد شد.

یافته‌ها/ نتایج: طبق روش کار این پژوهش، نظر خبره در چارچوب اطلاعات موثق، روابط فیزیکی حاکم بر حوضه‌های آبریز و مقایسه بین حوضه‌های آبریز از نظر شرایط جغرافیایی و منطقه‌ای مختلف مورد استفاده قرار گرفت.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۹/۲۹ تاریخ تصویب:۱۳۹۳/۶/۲٤

نتیجه‌گیری: بر این اساس متوسط آب تجدیدپذیر طبیعی و واقعی حوضه به ترتیب معادل ۸۸۴ و۹۸۸ میلیون متر مکعب و حداکثر و حداقل آب تجدیدپذیر واقعی حوضه نیز به ترتیب معادل ۱۲۲۲ و ۵۴۵ میلیون متر مکعب در دو سال تر و خشک برآورد شده است.

کلیدواژها: آب تجدیدپذیر، بیلان منابع آب، آب برگشتی، حوضهٔ آبریز کشف‌رود.

۱- مقدمه

کمبود آب یکی از بزرگ‌ترین چالش‌های بشر قرن حاضر است که می‌تواند سرمنشأ بسیاری از محدودیت‌ها در جهان شود. خلأ بین توان تأمین آب و شدت تقاضا، بحران‌آفرین است. هنگامی که این عدم تعادل با راهکارهای مدیریتی مهار نشود، زبان چانه‌زنی در بخش آب تبدیل به زبان دشمنی و تعارض خواهد شد. عدم توزیع مناسب بارندگی و عدم تطابق مصارف با زمان نزولات جوی و نیاز شدید به سرمایه‌گذاری در بخش‌های ذخیره، پایش و حفاظت از منابع آب، ابعاد چالش آب را سنگین‌تر و گسترده‌تر می‌کند(سامانی، ۱۳۸۱: ۳).

متوسط سالانه حجم نزولات جوی در استان خراسان رضوی معادل ۲۴میلیارد متر مکعب برآورد شده است(آمایش، ۱۳۹۰: ۷۶). ولایتی در تحقیقی پیرامون بحران آب در خراسان بزرگ، با مقایسه و تحلیل متوسط بارندگی سالانه و هیدورگراف آبخوان دشت‌های آن، نشان داد که در کنار خشکسالی‌ها، اضافه‌برداشت‌های مستمری که به‌وسیلهٔ چاه‌های عمیق از آب‌خانهٔ دشت‌ها صورت می‌گیرد، عامل اصلی بحران آب است(ولایتی، ۱۳۸۶: ۲۱۳)؛ بنابراین باتوجه به نازل‌بودن ریزش‌های جوی و نامناسب‌بودن پراکنش زمانی و مکانی آن، همچنین کاهش شدید منابع آب زیرزمینی ناشی از بهره‌برداری‌های غیر مجاز و بی‌رویهٔ منابع آب و از طرفی رشد جمعیت و افزایش تقاضا در بخش‌های مختلف مصرف، نقش این ماده حیاتی در توسعه و رشد منطقه، شفاف‌تر شده است. ایجاد تعادل در بین مقدار مصرف و میزان آب تجدیدپذیر استان، از بدیهی‌ترین الزامات مدیریت پایدار استان است. استفادهٔ بهینه از منابع آب، در مرحلهٔ بعدی مطرح می‌شود؛ به بیان دیگر، عدم توجه به وضعیت فعلی و نیز رفع تنگناهای موجود، تدوین هر نوع برنامه برای توسعه را در سال‌های آتی با شکست مواجه خواهد کرد.

واژهٔ توسعهٔ پایدار براساس تعریف کمیسیون جهانی محیط زیست و توسعه[1]؛ یعنی«توسعه‌ای که نیاز حال را برآورده می‌سازد، بدون آنکه به توانایی‌هایی که در برآورده‌شدن آن نیازها در آینده وجود دارد، صدمه‌ای وارد شود.» (WCED, 1987:43).

در حوزهٔ منابع آب، واژهٔ توسعهٔ پایدار به این صورت تفسیر می‌شود: منابع آب تجدیدشدنی نمی‌توانند بیشتر از حد ظرفیت تولیدشان بهره‌برداری شوند که این هم در مورد آب‌های سطحی و هم در مورد آب‌های زیرزمینی صدق می‌کند. در سیکل سالانه، منابع غیر قابل تجدید آب، فقط برای نیازهای استراتژیک(مانند شرب)، آن هم در شرایطی قابل بهره‌برداری هستند که قبلاً منابع تجدیدپذیر به اتمام رسیده باشد. اکوسیستم برای حیات، نیاز اکولوژیکی به آب دارد. استفاده از منابع آب باید به گونه‌ای باشد که به محیط زیست ضربه‌ای وارد نشود(WCED, 1987). در اتخاذ یک رویکرد توسعهٔ پایدار برای منابع آب یک منطقه، کمی‌نمودن منابع تجدیدپذیر از اهمیت زیادی برخوردار است. یک گام مهم برای تضمین پایداری و کمی‌نمودن آب تجدیدپذیر، محاسبهٔ صحیح بیلان آب حوضه است(گنجی خرم‌دل و همکاران، ۱۳۸۷: ۳۵۸).

مدل‌های کامپیوتری شناخته‌شده و روش‌های موجود برای برقراری یک معادلهٔ بیلان مناسب و برآورد آب تجدیدپذیر نیازمند اطلاعات زیادی در سطح حوضه هستند. از آنجایی‌که بیشتر این اطلاعات در دسترس نیست، عموماً این مدل‌ها کاربردی نیستند؛ علاوه براین بیشتر این مدل‌ها برای مقیاس‌های زمانی و مکانی کوچک مناسب است؛ بنابراین سعی شده است با ارایهٔ روشی، دستورالعمل تهیه بیلان وزارت نیرو، بهبود یابد تا بتوان در مطالعات کاربردی از آن استفاده کرد.

با توجه به این‌که در استان خراسان رضوی داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز برای محاسبهٔ آب تجدیدپذیر ناقص است، در مطالعهٔ حاضر، عوامل بیلان آبی در زیرحوضه‌های کشف‌رود، با بهینه‌یابی به روش سعی و خطا و با هدف کاهش عدم تراز آب(یا صفرنمودن آن)، برآورد شده است. در روش ارایه شده، قیود و فرضیاتی برای برآورد عوامل مؤثر در بیلان در نظر گرفته شده است. همچنین در مرحلهٔ نهایی با تلفیق زیرحوضه‌های بالادست و پایین‌دست عوامل بیلان آبی در هر یک از زیرحوضه‌ها کنترل شده است. سپس به بررسی مفهوم آب تجدیدپذیر و محاسبهٔ آن پرداخته شده است.

1. World Commission on Environment and Development

۲- پیشینهٔ پژوهش

گنجی، محمدی و منعم(۱۳۸۷) برای محاسبهٔ بیلان آب زیرزمینی از دشت آستانه- کوچصفهان گیلان تغییرات سطح آب زیرزمینی در دو دورهٔ خشک و مرطوب سال، استفاده کردند. در این روش وجود یک شبکهٔ پیزومتریک که سطح آب زیرزمینی را با دقت اندازه‌گیری کند، لازم و ضروری است. در این رابطه، آنها روشی جهت بهینه‌نمودن شبکهٔ پایش(به طوری‌که بتوان بیلان آب زیرزمینی را به دقت مناسب تخمین زد) ارایه کردند. نتایج این تحقیق نشان داد که می‌توان تقریباً با نصف چاه‌های مشاهده‌ای موجود، به دقتی مشابه، بیلان را محاسبه کرد. Rees و همکاران منابع آب تجدیدپذیر در اروپا را با استفاده از داده‌های جریان رودخانه و استفاده از روش ناحیه‌ای وزن‌دار، تخمین زدند. برای به‌کاربردن این روش، نیاز به پوشش ایستگاهی مناسب، در سطح مورد مطالعه است. براساس نتایج حاصل‌شده، این روش برای مقیاس سالانه، مناسب ارزیابی شده است(Rees & et al, 1997: 31-38). لوکاس و همکاران منابع آب زیرزمینی تجدیدپذیر را حجم تغذیهٔ آب زیرزمینی طبیعی در نظر گرفتند و با فرض ناچیزبودن حرکت آب زیرزمینی در دوره‌های ماهانه و دردسترس‌بودن کل تغذیهٔ آب زیرزمینی برای زیرحوضه با مدل UTHBAL[۱] تخمین زدند. آن‌ها منابع آب سطحی قابل استفاده و تجدیدپذیر حوضه را، آب موجود در مخازن کوچک و بزرگ و تالاب‌های واقع در آن، در نظر گرفتند. هدف اصلی در مطالعه مذکور، ارزیابی استراتژی‌های مدیریت منابع آب حوضهٔ تسالی یونان بوده است که برای این منظور باید از میزان آب تجدیدپذیر آگاهی داشت. لذا از روش مذکور برای برآورد آب تجدیدپذیر استفاده کردند(Loukas & et al, 2007: 1673–1702). مایلوپولوسا و همکاران همچنین برای شبیه‌سازی منابع آب تجدیدپذیر قابل استفاده در زیرحوضه-های منطقهٔ تسالی یونان، از مدل مذکور استفاده کردند (Mylopoulosa & et al, 2010: 73-89).

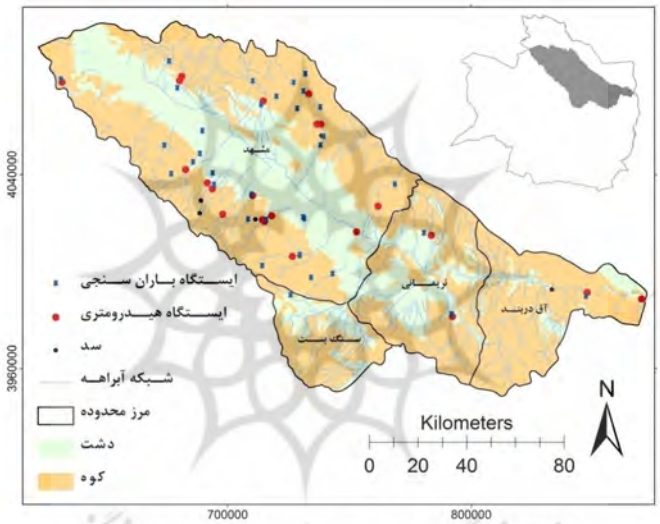
۳- روش تحقیق

۳-۱- منطقهٔ مورد مطالعه

حوضهٔ آبریز کشف‌رود، بخشی از حوضهٔ آبریز قره‌قوم است. این حوضه با مساحت ۱۶۷۸۷ کیلومتر مربع در مختصات جغرافیایی ۲۲-۵۷ تا ۹-۶۱ طول شرقی و ۳۸-۳۵ تا ۰-۳۷ عرض شمالی قرار دارد.

۱. مدلUTHBAL: مدل هیدرولوژیکی- ادراکی ماهانه، جهت محاسبه رواناب سطحی و تغذیه آب زیرزمینی است

رودخانه‌ای که این حوضه را زهکشی می‌کند، کشف‌رود نام دارد. سرشاخهٔ این رودخانه از ارتفاعات خواجه علی، پشتهٔ پر و شاه‌جهان واقع در رشته کوه‌های هزارمسجد و بینالود، در شرق شهرستان قوچان، سرچشمه می‌گیرد و پس از دریافت شاخه‌های متعدد، در جهت غرب به شرق جاری می‌شود. رودخانه کشف‌رود پس از عبور از دشت مشهد، جادهٔ مشهد – سرخس را قطع می‌کند، در جنوب روستای مزدوران وارد دره تنگ(آق دربند) می‌شود و پس از خروج از آن در محلی به نام پل‌خاتون، در مرز کشور ترکمنستان به هریرود می‌پیوندد و رودخانه تجن را تشکیل می‌دهد(دهقان و همکاران، ۱۳۹۲: ۱۶۶۰). این حوضه به ۴ محدودهٔ مطالعاتی تفکیک شده است(شکل ۱).



شکل ۱: موقعیت حوضهٔ قره‌قوم و سرشاخه‌های مهم آن

مأخذ: شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی، ۱۳۸۸

۳-۲- داده‌ها

کلیهٔ داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز موجود، از شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی، دریافت شد که به شرح ذیل است: داده‌های ایستگاه‌های باران‌سنجی، تبخیرسنجی و هیدرومتری، وسعت کوه و دشت، داده‌های پیزومترها، هیدروگراف واحد و کسری مخازن دشت‌ها، حجم برداشت از منابع آب سطحی و زیرزمینی، حجم تنظیمی و آورد سالانهٔ سدها و لایهٔ هم‌تبخیر به‌وسیلهٔ شرکت جام آب تهیه شده است(بی نام. ۱۳۸۸)؛ (سیمای منابع آب خراسان رضوی، ۱۳۸۷)؛ (شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی، ۱۳۸۷).

۳-۳- روش محاسبه آب تجدیدپذیر

انتخاب دورهٔ بیلان: برای برآورد حجم آب تجدیدپذیر حاصل از بارش، در هر حوضهٔ آبریز نیاز به برقراری بیلان آبی برای یک دورهٔ مشخص است. با توجه به تغییرات حجم بارش در سال‌های خشک و مرطوب، حجم آب تجدیدپذیر متغیر است. درصورتی که بخواهیم وضعیت منابع آب و میزان آب تجدیدپذیر منطقهٔ مورد نظر را در یک سال مشخص داشته باشیم، تمامی پارامترها، باتوجه به داده‌های همان سال، معین می‌شوند؛ اما درصورتی که شناخت کلی از وضعیت منابع آب و داشتن متوسط آب تجدیدپذیر منطقه، مد نظر باشد دو راه می‌تواند مفید باشد.

روش اول: یک دورهٔ آماری انتخاب شود که شامل سال‌های خشک، متوسط و مرطوب با نسبت یکسان بوده است و عوامل قابل اندازه‌گیری بیلان در آن دوره، موجود باشند، ازجمله: اندازه‌گیری سطح آب در پیزومترها، آماربرداری از منابع آب. ذکر این نکته ضروری است که فقط انتخاب تعداد سال زیاد، نشان‌دهندهٔ مناسب‌بودن دوره بیلان نیست. به‌عنوان مثال یک دورهٔ آماری ۲۰ ساله که شامل تعداد سال‌های تر و خشک نسبتاً یکسانی باشد و پارامترهای قابل اندازه‌گیری در آن موجود باشد، بهتر از یک دورهٔ آماری ۴۰ ساله است که در آن سال‌های تر و خشک، توازن نداشته است و آمار تمام پارامترها در دورهٔ بیلان موجود نباشد.

روش دوم: در این روش، ۳ سال معرف خشک‌سالی، ترسالی و متوسط، به‌عنوان سال‌های معیار انتخاب می‌شود و بیلان در هر یک از این سال‌ها تهیه می‌شود. برای انتخاب سال‌های معیار، باید در ابتدا وضعیت خشک‌سالی و ترسالی، به کمک یکی از شاخص‌های خشک‌سالی مثل SPI ، مشخص شود. سپس سال‌های معرف به گونه‌ای انتخاب شوند که اندازه‌گیری و آماربرداری از پارامترهای مهم بیلان در آن سال‌ها موجود باشد. از مزیت‌های این روش، به‌دست‌آوردن برآوردی از وضعیت منابع آب حوضه و حجم آب تجدیدپذیر، در شرایط حداقل، حداکثر و متوسط است.

- **جمع‌آوری نظرات خبره:** متخصصان و افراد صاحب‌نظر در مورد موضوعاتی که در آن زمینه، تجربه و تخصص دارند، دارای اطلاعاتی هستند که امکان کسب آن اطلاعات از منابع دیگر میسر نیست؛ به همین جهت مصاحبه با این اشخاص، در امر تحقیق، اهمیت دارد و می‌تواند در پیشبرد تحقیق مؤثر باشد.

پس در مصاحبه با صاحب‌نظران، «مصاحبه‌کننده داده‌ها را از اشخاصی جمع‌آوری می‌کند که دانش یا دیدگاه ویژه‌ای دارند و از طریق دیگران قابل حصول نیست» (گال و همکاران، ۱۳۸۲: ۵۲۵).

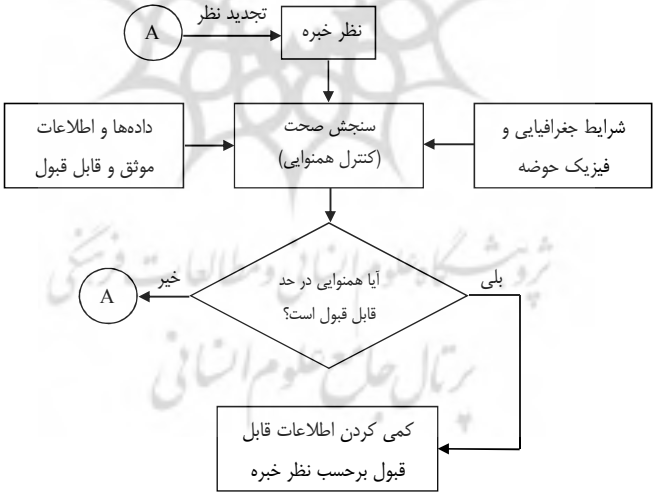
به دلایل زیر نمی‌توان برآورد قابل قبولی از بیلان آب داشت:

۱- کمبود اطلاعات به علت عدم وجود وسایل و دستگاه‌های اندازه‌گیری در مدت زمان مناسب.

۲- غیرممکن بودن اندازه‌گیری برخی از فاکتورهای بیلان آب در حوضه.

۳- وجود خطا در اطلاعات مربوط به فاکتورهای قابل اندازه‌گیری به علت تغییرات شدید آن‌ها که عوامل طبیعی یا انسانی باعث این تغییرات می‌شوند.

در شرایط حاضر با توجه به عدم وجود داده‌های کافی/موثق برای تهیهٔ بیلان«نظر خبره» یکی از منابع مهم اطلاعات است. در اصطلاح، به کارشناسی بومی(دارای شناخت نسبت به محیط بومی) که دارای تجربیات کافی و موفق در امر تهیهٔ بیلان است، خبره گویند. طبق روش کار این مطالعه، نظر خبره در چارچوب اطلاعات موثق و فیزیک حوضه‌ها(و به صورت مقایسه‌ای) کنترل می‌شود(کنترل همنوایی)[1]. شکل(۲) الگوریتم کنترل نظره خبره را نشان می‌دهد.



شکل ۲: الگوریتم کنترل نظر خبره

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۸۸

1. Consistency Evaluation

• **برقراری بیلان محدوده‌های مطالعاتی**: برای برقراری بیلان، یک چارچوب برای سیستم منابع آب، به شرحی که در شکل(۶) نمایش داده شد، تنظیم‌شد؛ که در آن عوامل مؤثر در بیلان منابع آب به صورت شماتیک نشان داده شد. با توجه به کمبود اطلاعات و داده‌ها، جهت تخمین مقادیر اجزای بیلان، نیاز به به‌کاربردن ابتکار عمل بود. از طرفی باید این ابتکارعمل به‌گونه‌ای محدود می‌شد تا بهینه‌ترین نتیجه با توجه به واقعیات فیزیکی و داده‌های موجود به‌دست آید. به این جهت قیود و فرض‌هایی در فرآیند تخمین مقادیر اجزای بیلان درنظر گرفته شد و همان‌طور که گفته شد در کنار آن از نظر خبرگان امر(کارشناسان و اساتید محترم که با منابع و شرایط منطقه آشنایی کامل دارند)، نیز استفاده شد.

تخمین مقادیر اجزای بیلان در زیرحوضه‌ها به قیود و فرضیات زیر محدود شده است:

– جهت ترازکردن بیلان و با توجه به اینکه مجموع ضرایب رواناب، تبخیر و نفوذ، برابر با یک است، هرکدام از این ضرایب به مقادیر ذیل محدود شده است: درصد تبخیر در محدودهٔ ۸۵–۷۰ درصد منظور شده است، همچنین فرض شده است که درصد نفوذ بیش از ۲۰ درصد نباشد. درصد رواناب نیز بین ۲۰– ۵ درصد محدود شده است و با توجه به وسعت محدوده، نسبت کوه به دشت، متوسط ارتفاع و تغییرات ارتفاع نسبت به وسعت محدوده و درصد پوشش گیاهی تعیین شده است.

– در حوضه‌هایی که ایستگاه هیدرومتری در خروجی و یا ورودی آب سطحی آن وجود دارد، با توجه به متوسط رواناب در آن ایستگاه، ورودی یا خروجی آب سطحی محاسبه شده است. در سایر حوضه‌ها مقدار رواناب ورودی یا خروجی به کمک ضرایب رواناب تخمین زده شده است.

– حداکثر برداشت ممکن از آب‌های سطحی با کسر خروجی آب سطحی، از مجموع رواناب و ورودی آب سطحی به محدوده مطالعاتی، به‌دست آمده است. حداقل برداشت موجود از آب‌های سطحی در هر محدودهٔ مطالعاتی، مجموع آب تنظیمی سدها، آب مورد استفاده برای تغذیهٔ مصنوعی، انهار، موتور پمپ و آب‌بندها درنظر گرفته شده است. بخشی از حداکثر

برداشت ممکن که توسط پروژه‌های آبی ذکر شدهٔ موجود، مهار نمی‌شود با بندسارهای احداث شده توسط مردم، استفاده می‌شود. لذا کل برداشت موجود از آب‌های سطحی در هر محدودهٔ مطالعاتی، از مجموع حجم برداشت در این بخش(با درنظرگرفتن درصدی برای آن در هر محدوده) و حداقل برداشت موجود از آب‌های سطحی برآورد شده است. آنچه باقی می‌ماند به عنوان تبادل آب رودخانه‌ها و آبخوان آبرفتی، در نظر گرفته شده است.

– برای برداشت از آب زیرزمینی، با توجه به راندمان کاربرد آب در مزارع بین ۲۰ تا ۴۰ درصد از برداشت کشاورزی و با توجه به الگوی مصرف شهری حدود ۶۰ تا ۸۰ درصد از برداشت شهری(با توجه به سیستم فاضلاب درحال کاهش است)، به عنوان آب برگشتی به سیستم منابع آب، محسوب شده است. فرض شده است تمام برداشت سطحی دارای برگشتی معادل ۲۰ تا ۴۰ درصد باشد.

– چنان‌چه آبخوان آبرفتی محدودهٔ مطالعاتی با آبخوان آبرفتی سایر محدوده‌ها ارتباط داشته باشد، تخمین اولیهٔ حجم آب زیرزمینی ورودی و خروجی، در سال آبی مورد نظر و بازهٔ تغییرات آن(بر مبنای محاسبات و در نهایت نظر خبره) تعیین می‌شود. در خصوص نواحی کوهستانی با ذکر شواهد و دلایل، احتمال وجود جریان زیرزمینی، که از محدوده‌های مجاور وارد ارتفاعات محدودهٔ مطالعاتی شود یا از آن خارج شود، مشخص می‌شود. ورودی و خروجی از آب زیرزمینی نیز با توجه میزان کسری مخزن و سایر عوامل بیلان و درنظرگرفتن ارتباط بین محدودهٔ مطالعاتی‌ها و سطح آب زیرزمینی در آن‌ها، تخمین زده شده است.

– تغییرات ذخیرهٔ سطحی برابر با صفر و تغییرات ذخیره زیرزمینی معادل با تغییرات حجم آبخوان(کسری مخزن) در نظر گرفته شده است.

– در این پژوهش با درنظرگرفتن موقعیت هر زیرحوضه نسبت به زیرحوضه‌های بالادست و پایین‌دست و اطلاعات موجود رواناب ورودی(Ri) و خروجی(Ro) اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های هیدرومتری، سایر عوامل بیلان از قبیل تبخیر–تعرق(ET)، نفوذ(I) و رواناب(R) و همچنین «ورودی به» (Gi) و «خروجی از» (Go) آبخوان با انتخاب مقادیر بهینه و با هدف کاهش عدم تراز آب(یا صفرنمودن آن)، با سعی و خطا تخمین زده شده است.

– در مرحلهٔ نهایی با تلفیق محدوده‌های مطالعاتی بالادست و پایین‌دست، عوامل بیلان آبی در حوضهٔ کشف‌رود به‌دست آمده است.

جهت انجام فرآیند سعی و خطا، یک رده‌بندی برای صحت داده‌ها و عوامل مؤثر در بیلان به شرح ذیل درنظر گرفته شده است:

– عوامل زیر به عنوان دادهٔ مسجل قبول گردید و در عملیات سعی و خطا، ثابت فرض شدند:

داده‌های پیزومترها(آب‌نمود واحد دشت)/ برداشت از منابع آب زیرزمینی و کسری مخازن/ برداشت از آب‌های سطحی توسط سدها/ رواناب ورودی و خروجی در صورت وجود ایستگاه هیدرومتری

– میانگین نزولات جوی با میان‌یابی و مقدار اولیهٔ درصد تبخیر نیز از لایهٔ موجود برآورد شدند.

– با توجه به اینکه برای سایر عوامل مؤثر در بیلان هیچ‌گونه داده‌ای موجود نبود، در این مطالعه، عملیات سعی و خطا، با درنظرگرفتن قیود و فرضیات ذکر شده است و با تغییر این عوامل، با اولویت‌بندی زیر انجام شده است. البته این عوامل در اولویت سعی و خطا برای ترازنمودن بیلان، دارای رتبهٔ تقریباً یکسانی بودند. ۱– درصد رواناب و نفوذ و تبخیر، ۲– برداشت از آب‌های سطحی، ۳– درصد آب برگشتی، ۴– ورودی و خروجی از آب زیرزمینی، ۵– ورودی و خروجی از آب زیرزمینی.

مقادیر اولیه هریک از عوامل قابل اندازه‌گیری برآوردشده و سپس با توجه به قیود و فرضیات ذکرشده، سعی و خطا تا هنگامی که تمام معادلات بیلان برقرار شود، ادامه پیدا می‌کند.

۴- مبانی نظری

۴-۱- مفاهیم پایه

- **توازن هیدرولوژیکی:** معادلهٔ بیلان منابع آب در حوضه به صورت زیر است:

$$P - ET + Ri - Ro + Gi - Go - Cg - Cr = \Delta S \quad (۱)$$

در رابطهٔ فوق، P حجم باران، ET تبخیر- تعرق، Ri و Ro به ترتیب، رواناب‌های ورودی و خروجی، Gi و Go به ترتیب جریان‌های زیرزمینی ورودی و خروجی Cg و Cr به ترتیب مصرف آب‌های زیرزمینی و سطحی و ΔS، معرف تغییرات ذخیره آب در حوضه اشت. با توجه به معادلهٔ بالا، بیلان منابع آب زیرزمینی به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$I + Ir + Gi - Ug - Go = \Delta V \quad (۲), \qquad I = P - ET - R \quad (۳)$$

در روابط فوق، I و R به ترتیب، معرف حجم آب نفوذیافته و رواناب سطحی ناشی از باران، Ugبرداشت از منابع آب زیرزمینی و Ir معرف آب برگشتی و ΔV تغییرات حجم آبخوان است. در این روابط هریک از اجزا برحسب واحد حجم(مثل میلیون‌متر مکعب) هستند.

- **آب تجدیدپذیر**: منبع اصلی **تأمین** آب در خشکی‌ها بارش است. منابع آب یک حوضه به دو بخش آب تجدیدپذیر و آب غیرقابل تجدید تقسیم می‌شوند. منابع آب غیرقابل تجدید[1] قسمت‌هایی از آب زیرزمینی است که سرعت تغذیه در آن(در مقیاس زمانی انسانی) ناچیز است. آب تجدیدپذیر[2] نیز، مقدار آبی است که حوضه، طی چرخهٔ آبی سالیانه توانایی بازیابی آن را دارد. تمام این مقدار برای استفاده در دسترس نیست. براساس تعریف فائو منابع آب قابل مدیریت یا پتانسیل توسعهٔ آب، منابع آب تجدیدپذیر قابل بهره‌برداری هستند(FAO, 2003: 3). منابع آب قابل بهره‌برداری با فاکتورهایی مثل امکان اقتصادی و فیزیکی ذخیره سیلاب پشت سدها یا استخراج آب زیرزمینی، امکان جذب(مصرف و تغذیه) آب جاری در حوضه قبل از خروج از آن و یا رهاسازی حداقل جریان لازم برای پایین‌دست(حقابه، پایداری کیفی منابع آب، نیازهای زیست محیطی) مرتبط‌اند(شکل ۳). در تحقیق حاضر، برای مقیاس حوضه‌ای تفاوت«ورودی ازحوضه‌های مجاور» و «خروجی به حوضه‌های مجاور» در محاسبات آب تجدیدپذیر منظور می‌شود. در واقع بخشی از آب تجدیدپذیر که(به دلایل ذکر-شده) قابل دست‌یابی و برنامه‌ریزی نبوده، در خروجی ظاهر می‌شود. البته چنانچه سهم خاصی به عنوان رهاسازی برای پایین‌دست باید تأمین و تحویل گردد(که در وضعیت موجود برآورده

1. Non-Renewable Water
2. Renewable Water

نمی‌شود)، لازم است در محاسبات مقدار واقعی آب تجدیدپذیر(قابل بهره‌برداری) لحاظ گردند. آب تجدیدپذیر واقعی، پس از برقراری بیلان آبی زیرحوضه‌ها، با توجه به روابط ذیل محاسبه می‌شود:

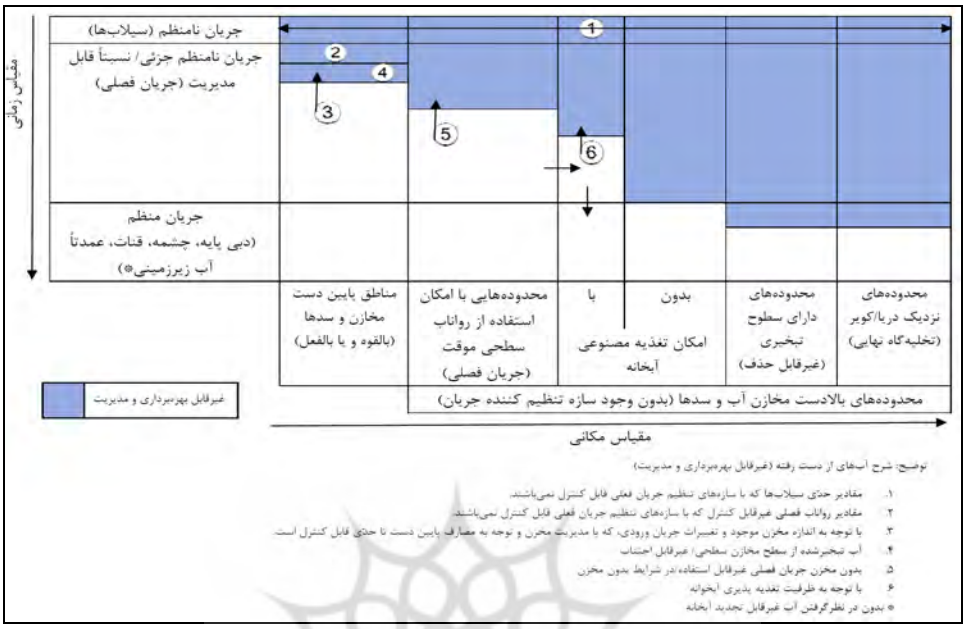
$$RW = (R+I)+(Ri+Gi)-(Ro+Go) \quad (۴)$$

سهم آب‌های سطحی از منابع تجدیدپذیر: $RWr = R+ Ri - Ro$

سهم آب‌های زیرزمینی از منابع تجدیدپذیر: $RWg = I+ Gi - Go$

در روابط فوق RW آب تجدیدپذیر است. جدول(۱) مفاهیم مختلف منابع آب تجدیدپذیر و قابل مدیریت و بهره‌برداری را به استناد فائو ارایه کرده است. در این جدول«کل حجم منابع آب تجدیدپذیر طبیعی» یک حوضه، اعم از سطحی و زیرزمینی(چه داخل حوضه باشند و یا از خارج به حوضه بیایند) به کمک سیکل هیدرولوژی به دست می‌آید. بخشی از این منابع به لحاظ سیاسی(فشارهای قومی و منطقه‌ای) و/یا اقتصادی(هزینهٔ احداث و بهره‌برداری سازه‌های تنظیم و کنترل: سد، بند خاکی، خط انتقال آب و ...) محدود شده است و بهره‌برداری نمی‌شود. به‌علاوه، با توجه به تغییر مقدار بارش‌ها و الگوهای مصرف در زمان لازم است تا هرساله منابع آب تجدیدپذیر واقعی محاسبه شوند. منابع آب تجدیدپذیر قابل بهره‌برداری به نوبهٔ خود قسمتی از منابع آب تجدیدپذیر واقعی هستند که تحت فشارهای اجتماعی، اقتصادی، سیاسی و محیطی تعیین می‌شود.

- **آب سبز و آب آبی:** براساس تعریف آب سبز، آب نگهداشته‌شده در بخش‌های غیر اشباع خاک است که به‌وسیله بارش تأمین می‌شود و قابل دسترس برای گیاه است. (Rockström et al, 2009) آب رودخانه‌ها، دریاچه‌ها و آبخوان‌ها را نیز آب آبی گویند که می‌تواند برای آبیاری و دیگر مصارف انسان برداشت شود(Hoff et al., 2010: 178). مطابق این تعریف، در کشاورزی آبی، علاوه بر آب سبز(از بارش)، آب آبی نیز برداشت می‌شود(با آبیاری) درصورتی‌که در کشاورزی دیم، تنها آب سبز استفاده می‌شود.



شکل ۳: منابع آب طبیعی و منابع آب قابل بهره‌برداری ازنظر تکنیک

مأخذ: برگرفته از FAO,2003

جدول ۱: مفاهیم مختلف منابع آب تجدیدپذیر

منابع آب قابل مدیریت و بهره‌برداری[3]	آب تجدیدپذیر واقعی[2]	آب تجدیدپذیر طبیعی (پتانسیل/ تئوری)[1]	
سیاسی- اجتماعی- اقتصادی- محیطی	سیاسی- اقتصادی	-	**فشارها**
منابع داخلی قابل بهره‌برداری	منابع واقعی داخلی(بدون هیچ قیدی برای حفاظت از منابع آب به نفع مصارف پایین‌دست)	منابع طبیعی داخلی(IRWR)	**منابع داخلی**
منابع خارجی قابل بهره‌برداری	منابع واقعی خارجی(ذخایر آبی مازاد یک حوضه بالادست)	منابع طبیعی خارجی(ERWR)	**منابع خارجی**
کل منابع آب قابل مدیریت و بهره‌برداری	کل آب تجدیدپذیر واقعی(ARWR)	کل آب تجدیدپذیر طبیعی	**منابع آب کل**

مأخذ: برگرفته از FAO,2003

1. Natural water renewable
2. Actual water resources
3. Exploitable or manageable water resources

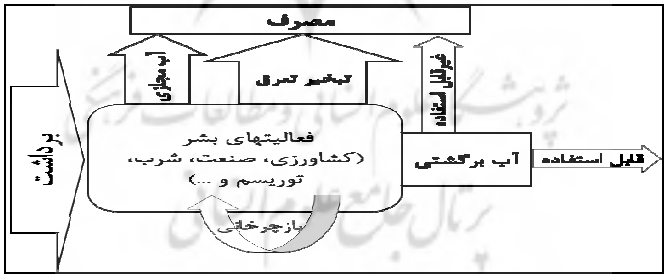
- **برداشت در مقابل مصرف**: در یک سیستم منابع آب، برداشت عبارت است از هرگونه جابه‌جایی آب از محل وقوع طبیعی آن برای استفاده در فعالیت‌های بشر، در حالی‌که آب تبخیرشده(تبخیر- تعرق) و یا مصادره‌شده در کالاهای تولیدی(آب مجازی) و آبی که طی فرآیند تولید، آلوده‌شده است(و باید برای حفظ پایداری سیستم منابع آب، از حوضه خارج شود)، مصرف نامیده می‌شود. بنابراین بین برداشت و مصارف در یک حوضه آبریز تفاوت وجود دارد. در این رابطه، Ug برداشت از منابع آب زیرزمینی، Ur برداشت از منابع آب سطحی و C مصرف است.

$$C = (Ur+Ug) - Ir(۵)$$

- **آب برگشتی**: به آن بخش از آب برداشتی که مصرف نشده است و دوباره به مخازن آب‌های سطحی و یا زیرزمینی بازمی‌گردد، آب برگشتی گویند. در محاسبات مربوط به آب تجدیدپذیر در نظر-گرفتن آب برگشتی(شرب، کشاورزی و صنعت) نقش مهمی را ایفا می‌کند. آن‌چه در محاسبات معمول انجام می‌شود، بدون احتساب، آب برگشتی است؛ یعنی سهم آب‌های زیرزمینی از منابع آب تجدید-پذیر(RWg) از اختلاف مقدار برداشت و تغییرات حجم مخزن به دست آمده است، درصورتی که حجم بسیار زیادی از برداشت‌ها دوباره به سیستم منابع آبی بازمی‌گردند. درنتیجه:

$$Ir - \Delta V + Ug = RWg(۶)$$

شکل‌های(۴) و(۵) مفاهیم برداشت، مصرف و آب برگشتی در سیستم منابع آب را نشان می‌دهند.



شکل ۴: مفاهیم برداشت، مصرف و آب برگشتی در سیستم منابع آب

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۸۸

شکل(۵) نشان می‌دهد که تمام آب برداشتی در یک فعالیت(شهری، صنعتی و یا کشاورزی) در فرآیند تولید استفاده نمی‌شود. به عنوان مثال درصورتی که از ۱۰۰ واحد آب برداشتی، در یک فعالیت

کشاورزی با آبیاری غرقابی، حدود ۴۰ واحد برای تولید محصول تبخیر شود و به علت پایین‌بودن راندمان، ۲۰ واحد آن از سطح خاک تبخیر شود. اگر فرض شود تمام محصول تولیدی در داخل سیستم مصرف شود، آب مجازی برابر با صفر واحد خواهد بود. درصورتی که شوری در زیرمنطقه ریشه و در خروجی حوضه به ترتیب، ۴ و ۱۶ میکروموس بر سانتی‌متر باشد، ۴۰ واحد آب برای کنترل نمک نیاز است که ۳۰ واحد آن قابل استفادهٔ مجدد و ۱۰ واحد دیگر در خروجی حوضه غیر قابل استفادهٔ مجدد خواهد بود. با این حساب در مثال ذکرشده، کسر مصرف‌شده(CF) معادل ۰/۷ و کسر بازگشتی مؤثر(ERF) معادل ۰/۳ خواهد بود.

شکل ۵: تقسیم‌بندی مصارف در دو بخش مفید و غیر مفید و ازدست‌رفته و ازدست‌نرفته

مأخذ: با اقتباس از Allen & et al, 2005: 8

۵- یافته‌های تحقیق

براساس متوسط شاخص خشک‌سالی SPI در ۱۰۴ ایستگاه موجود منطقه، سال آبی ۷۷-۱۳۷۶ به عنوان معرف ترسالی با متوسط SPI برابر ۱/۳۹ و سال آبی ۸۷-۱۳۸۶ به عنوان معرف خشک‌سالی با متوسط SPI برابر ۱/۵۱- انتخاب شدند. در هر یک از زیرحوضه‌های کشف‌رود، عوامل مؤثر در بیلان آبی، برای هرکدام از این ۲ سال، بعد از انجام عملیات سعی و خطا و بهینه‌نمودن مقادیر پارامترها برآورد شدند؛ به نحوی که بیلان در هر زیرحوضه و در کل زیرحوضهٔ کشف‌رود برقرار باشد. نتایج در جدول(۲) ارایه شده است.

جدول۲: بیلان هیدروکلیماتولوژی در هریک از زیرحوضه‌های حوضهٔ آبریز کشف‌رود

نام زیرحوضه	دوره بیلان	درصد دشت	وسعت km^2	متوسط ارتفاع بارش mm	متوسط حجم نزولات جوی MCM	درصد تبخیر از باران	حجم تبخیر از باران MCM	درصد رواناب	حجم رواناب MCM	درصد نفوذ	حجم نفوذ از باران MCM
سنگ بست	سال خشک	۰/۳۳	۱۳۴۱	۱۶۳	۲۱۹	۷۶	۱۶۶	۱۵	۳۳	۹	۲۰
	سال تر			۴۰۰	۵۳۶	۷۶	۴۰۸	۱۸	۹۷	۶	۳۲
مشهد	سال خشک	۰/۳۸	۹۹۰۹	۱۵۵	۱۵۳۶	۷۴	۱۱۳۷	۱۱	۱۶۹	۱۵	۲۳۰
	سال تر			۳۷۷	۳۷۴۰	۷۴	۲۷۶۸	۱۴	۵۲۴	۱۲	۴۴۹
نریمانی	سال خشک	۰/۳۶	۲۹۶۰	۱۳۵	۴۰۰	۸۳	۳۳۲	۹	۳۶	۸	۳۲
	سال تر			۳۴۰	۱۰۰۶	۸۲	۸۲۵	۱۲	۱۲۱	۶	۶۰
آق دربند	سال خشک	۰/۱۲	۲۵۴۱	۱۲۷	۳۲۳	۸۷	۲۸۱	۱۲	۳۹	۱	۳
	سال تر			۳۴۵	۸۷۷	۸۵	۷۴۵	۱۴	۱۲۳	۱	۹

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۸۸؛ اطلاعات دریافتی از شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی، ۱۳۸۸

نتایج نشان می‌دهد درصد نفوذ در سال‌های خشک بیشتر از سال‌های مرطوب و درصد رواناب در سال‌های مرطوب بیش از سال‌های خشک است. بیلان کلی آب حوضهٔ آبریز کشف‌رود پس از تلفیق نتایج زیرحوضه‌های کشف‌رود برای ۲ سال آبی ۷۷-۷۶(سال تر) و ۸۷-۸۶(سال خشک)، در شکل(۶) ارایه شده است. با توجه به اینکه این دو سال از نظر شدت خشکی و تری

تقریباً در نقطهٔ مقابل یکدیگرند، می‌توان چنین فرض کرد که میانگین مقادیر در این دو سال معیاری از متوسط حوضه است. بر این اساس حجم متوسط بارش سالانه حوضهٔ آبریز کشف‌رود(با مساحت ۱۶۷۵۱ کیلومتر مربع) معادل ۴۳۱۸ میلیون‌متر مکعب برآورد می‌شود که به علت خشک‌بودن اقلیم منطقه، حدود ۷۷ درصد آن(۳۳۳ میلیون‌متر مکعب) به صورت ذخیرهٔ رطوبتی خاک(آب سبز)، از طریق تبخیر- تعرق، از دسترس خارج می‌شود. تنها ۹۸۸۰ میلیون متر مکعب از بارش سالانه به عنوان آب آبی در چرخهٔ هیدرولوژی قرار می‌گیرد که آب تجدیدپذیر طبیعی نامیده می‌شود.

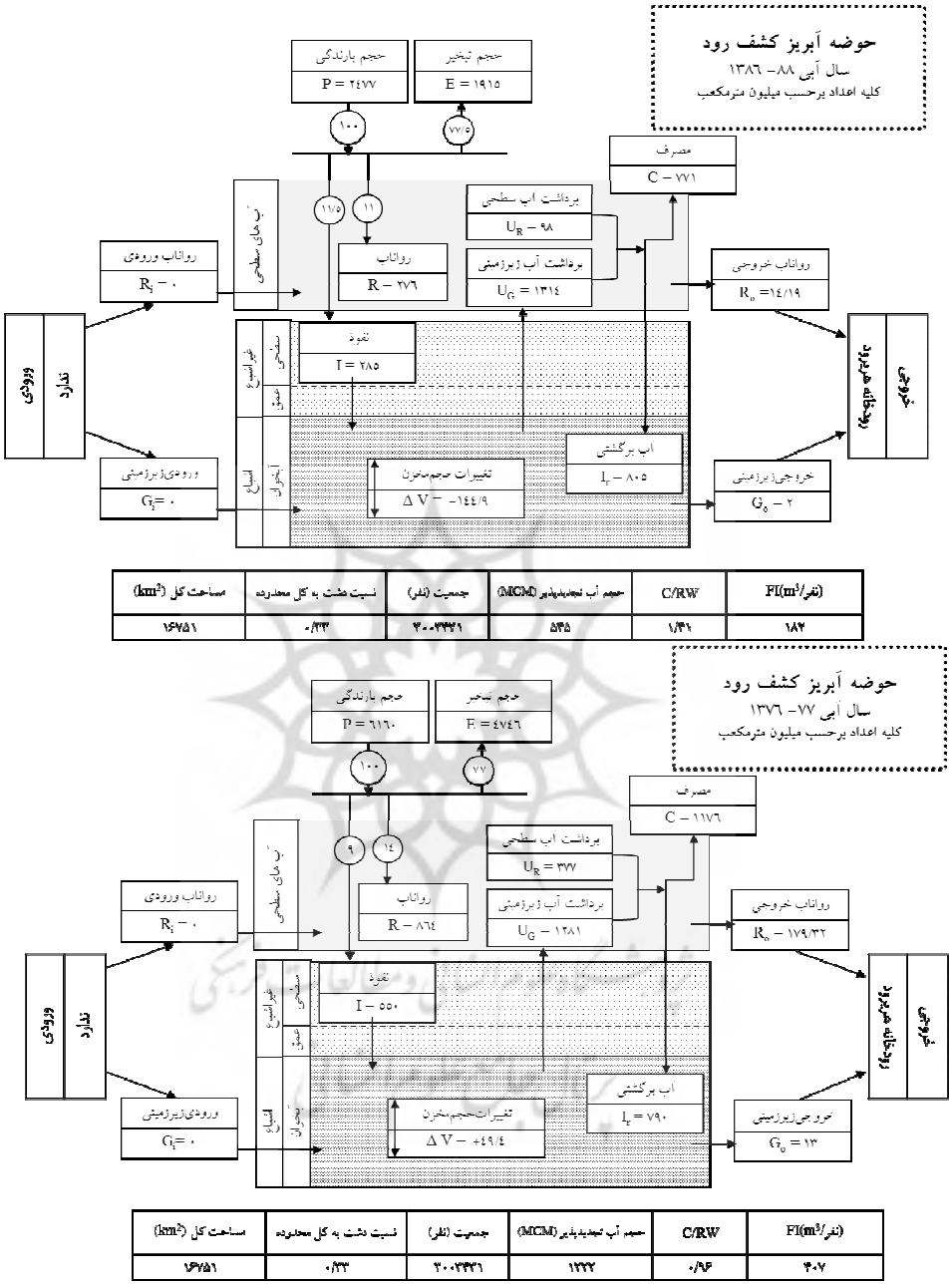
با استفاده از مقادیر عوامل بیلان(شکل ۶) و به‌کارگیری معادلهٔ(۴) مقدار آب تجدیدپذیر واقعی در سال‌های تر و خشک به ترتیب، معادل ۱۲۲۲ و ۵۴۵ میلیون‌متر مکعب به دست آمده است. حجم آب تجدیدپذیر سطحی و زیرزمینی زیرحوضه‌های کشف‌رود در جدول(۳) ارایه شده است. متوسط حجم آب تجدیدپذیر واقعی حوضهٔ آبریز کشف‌رود معادل ۸۸۴ میلیون متر مکعب برآورد می‌شود. در حقیقت این حجم آب را می‌توان، به‌عنوان میانگین درازمدت، سرمایهٔ اصلی این حوضه محسوب کرد، که از این مقدار آب حدود ۶۰۹ میلیون‌متر مکعب آن آبخوان-های زیرزمینی حوضه را تغذیه(RWg) می‌کند.

جدول۳: حجم آب تجدیدپذیر سطحی و زیرزمینی در زیرحوضه‌های کشف‌رود

(کلیه اعداد برحسب میلیون‌متر مکعب)

نام زیر-حوضه	آب تجدیدپذیر در خشکسالی			آب تجدیدپذیر در ترسالی			متوسط آب تجدیدپذیر		
	زیرزمینی	سطحی	مجموع	زیرزمینی	سطحی	مجموع	زیرزمینی	سطحی	مجموع
سنگ‌بست	۱۸	۳۲	۴۹	۳۰	۸۳	۱۱۳	۲۴	۵۷	۸۱
مشهد	۳۳۵	۵۷	۳۹۱	۷۲۷	۲۰۵	۹۳۲	۵۳۱	۱۳۱	۶۶۲
نریمانی	۳۲	۴۴	۷۶	۷۰	۹۶	۱۶۶	۵۱	۷۰	۱۲۱
آق‌دربند	۴	۲۴	۲۹	۲	۹	۱۱	۷	۲۰	۲۷
کشف‌رود	۳۸۸	۱۵۷	۵۴۵	۸۲۹	۳۹۳	۱۲۲۲	۶۰۹	۲۷۵	۸۸۴

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۸۸



شکل ۶: عوامل مؤثر بیلان منابع آب حوضهٔ‌آبریز کشف‌رود

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۸۸

مقایسهٔ برداشت از منابع آب با آب تجدیدپذیر نشان‌دهندهٔ آن است که حتی در سال تر نیز برداشت از منابع آب، بیش از آب تجدیدپذیر است(جدول ۴). البته با توجه به اینکه بخشی از برداشت دوباره به منابع آب بازمی‌گردد در این سال(۷۷-۷۶) در دشت مشهد میزان مصرف کمتر از آب تجدیدپذیر بوده است و شاهد بالاآمدن سطح آب در آبخوان بوده‌ایم. البته به این نکته باید توجه داشت که تمام حجم آب بازگشتی قابل استفاده مجدد نیست و برای برآورد میزان آب قابل استفاده مجدد باید از نظر کیفی نیز بررسی‌هایی انجام شود. به‌طور کلی اگر نسبت آب مصرفی به آب تجدیدپذیر کمتر از ۰/۷ باشد پایداری نسبی حوضه از نظر کمی و کیفی تأمین است(آمایش، ۱۳۹۰: ۱۱۷).

جدول ۴: حجم آب تجدیدپذیر، برداشت و مصرف آب در زیرحوضه‌های کشف‌رود

(کلیه اعداد برحسب ۱۰۰۰۰۰۰متر مکعب)

نام زیرحوضه	دوره بیلان	آب تجدیدپذیر	برداشت از منابع آب	مصرف آب	آب برگشتی	تغییرات حجم مخزن
سنگ‌بست	سال خشک	۴۹	۶۸	۵۱	۱۷	۰
	سال تر	۱۱۳	۱۲۲	۱۱۴	۸	۰
مشهد	سال خشک	۳۹۱	۱۱۶۰	۵۸۱	۵۷۹	-۱۱۰/۷
	سال تر	۹۳۲	۱۳۳۱	۸۸۱	۴۵۰	۵۴/۷
نریمانی	سال خشک	۷۶	۱۵۳	۱۱۱	۴۲	-۳۴/۳
	سال تر	۱۶۶	۱۹۴	۱۷۱	۲۳	-۵/۳
آق دربند	سال خشک	۲۹	۳۰	۲۸	۲	۰
	سال تر	۱۰	۱۱	۱۰	۱	۰
کشف‌رود	سال خشک	۵۴۵	۱۴۱۱	۷۷۱	۶۴۰	-۱۴۴/۹
	سال تر	۱۲۲۱	۱۶۵۸	۱۱۷۶	۴۸۲	۴۹/۴

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۸۸

۶- نتیجه‌گیری و پیشنهادات

نتیجهٔ این پژوهش نشان می‌دهد که روش به‌کاررفته با درنظرگرفتن قیود و فرضیاتی که بتواند به بهترین پاسخ از لحاظ منطقی و جغرافیایی برسد، مؤثر است. با توجه به کمبود

اطلاعات و عدم امکان اندازه‌گیری برخی مؤلفه‌های بیلان استفاده از نظرات خبره در برقراری بیلان منابع آب رایج است؛ ولی هیچ‌گونه چارچوبی برای آن وجود ندارد. لذا این امر موجب نتایج متفاوت و گاه متناقض، در برقراری بیلان می‌شود. برای جلوگیری از این امر ابتدا باید تعریف واضح و روشنی از خبره داشت. براین اساس خبرگان، اشخاصی هستند که ضمن داشتن تخصص و دانش تجربی، شناخت نسبی را به‌تدریج از طریق بازدید میدانی و کار با انواع داده‌ها و اطلاعات هر منطقه، کسب کرده‌اند. طبق روش کار این پژوهش، نظر خبره در چارچوب اطلاعات موثق، روابط فیزیکی حاکم بر حوضه‌های آبریز و مقایسه بین حوضه‌های آبریز، از نظر شرایط جغرافیایی و منطقه‌ای مختلف مورد، به کار گرفته می‌شود. در حقیقت برای رسیدن به فهم صحیح از روابط بین پارامترها، در مناطقی که از نظر وجود داده‌های کافی و موثق در مضیقه هستند، بهینه‌یابی صحیح از طریق استفاده از قیود و فرضیه‌های فیزیکی، جغرافیایی و اقلیمی، وقتی ممکن است که صحت مراحل مختلف از قیود و فرضیه‌ها گرفته تا نتایج، در برآورد هر یک از پارامترها و مقایسهٔ حوضه‌های آبریز با یکدیگر(با توجه به شرایط جغرافیایی و اقلیمی متفاوت)، از دیدگاه اشخاص خبره تایید شود. امید است که پژوهش حاضر، مقدمه‌ای در نحوهٔ به‌کارگیری صحیح، از دانش تجربی افراد خبره برای رسیدن به منطقی‌ترین برآوردها، در بیلان منابع آب باشد. برای افزایش دقت در برقراری بیلان و تعیین مقدار آب تجدیدپذیر موارد ذیل پیشنهاد می‌شود:

۱. بررسی بیشتر در صحت و عدم قطعیت همهٔ داده‌ها از جمله ضریب ذخیرهٔ آبخوان، کسری مخزن و برداشت از منابع آب زیرزمینی.

۲. چیدمان پیزومترها باید به گونه‌ای باشد که بتواند برای بیلان آبی استفاده شود. به این منظور نیاز است پیزومترهایی در محل اتصال کوه به دشت و در انتهای دشت، جهت تعیین جهت جریان(برآورد ورودی و خروجی آب زیرزمینی) احداث شود.

۳. جهت برآورد خروجی آب‌های سطحی نیز باید ایستگاه‌های هیدرومتری در انتهای حوضه، احداث شود. علاوه بر این، احداث ایستگاه‌های هیدرومتری در محل اتصال کوه به دشت برای برآورد بهتر ضریب رواناب، لازم است.

۴. احداث ایستگاه‌های هیدرومتری غیر ثبات در رودخانه‌های فصلی، برای اندازه‌گیری سیلاب‌های این رودخانه‌ها لازم است.

۵. برآورد تبخیر- تعرق با روش‌های جدید از جملهٔ سنجش از دور برای محاسبه بیلان آبی، مؤثر بوده است و به افزایش دقت کمک می‌کند.

۶. اندازه‌گیری و تعیین برداشت از منابع آب سطحی و نوع این مصارف.

۷. انجام مطالعاتی جامع برای برآورد میزان برگشت از برداشت‌ها.

۸. توجه و انجام مطالعات جامع از دیدگاه هیدرولوژی کارست و شناسایی پتانسیل‌های منطقه از این نظر.

۹. برنامه‌نویسی فرآیند سعی و خطا.

۱۰. هرچه کوچک‌ترکردن محدوده‌ها برای برقراری بیلان.

کتابنامه

۱. بی نام. (۱۳۸۸). ***سایت شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی***، مطالعات پایه منابع آب. http://www.khrw.ir/motaleat

۲. دهقان، پوریا؛ حسین پورمقدم، منا؛ لشکری‌پور، غلامرضا؛ غفوری، محمد. (۱۳۹۲). ***بررسی اشکال ژئومورفولوژی حوضهٔ آبریز رودخانهٔ کشف‌رود(شمال شرق ایران)***. هشتمین همایش انجمن زمین‌شناسی مهندسی و محیط زیست ایران: ۱۶۵۹- ۱۶۶۶.

۳. سامانی، جمال محمدولی. (۱۳۸۱). ***مدیریت منابع آب و توسعهٔ پایدار***. دفتر مطالعات زیربنایی. جلد۲۲. شماره مسلسل ۷۳۷۴.

۴. شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی. (۱۳۸۷). ***سیمای منابع آب خراسان رضوی.***

۵. شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی. (۱۳۸۸). ***اطلاعات الکترونیکی دریافتی.***

۶. گال، مردیت؛ بورگ، والتر؛ گال، جویس. مترجمان: نصر، احمدرضا و دیگران. (۱۳۸۲). ***روش‌های کمی و کیفی در علوم تربیتی و روان‌شناسی***. تهران: سازمان مطالعه و تدوین کتب علوم انسانی دانشگاه‌ها(سمت).

۷. گنجی خرم‌دل، ناصر؛ محمدی، کوروش و منعم، محمدجواد. (۱۳۸۷). ***بهینه‌سازی شبکهٔ چاه‌های مشاهده‌ای برای تخمین بیلان با روش نوسان دوگانه سطح آب زیرزمینی***. مجلهٔ آب و خاک(علوم و صنایع کشاورزی). ۲۲(۲): ۳۵۸-۳۷۰.

۸. مطالعات آمایش استان خراسان رضوی. (۱۳۹۰). ***فصل یک: تحلیل وضعیت استان: تحلیل وضعیت منابع طبیعی و محیط زیست.***

۹. ولایتی، سعدالله. (۱۳۸۶). ***بررسی بحران آب استان خراسان(شمالی، رضوی، جنوبی)***. فصل‌نامهٔ مدرس علوم انسانی. ۴۸: ۲۱۳-۲۳۴.

10. Allen R.G., Clemmens, A.J. & Willardson L.S. (2005). ***Agro-hydrology and irrigation efficiency.*** ICID Session on Agrohydrology and Efficiency.
11. Food and Agriculture Organization of the United Nations.(FAO) (2003). ***Review of world water resources by country.*** Rome.
12. Hoff H., Falkenmark, M., Gerten D., Gordon L., Karlberg L. & Rockström J. (2010). ***Greening the global water system***, Journal of Hydrology. 384:177–186.
13. Loukas A., Mylopoulos N. & Vasiliades L. (2007). ***A Modeling System for the Evaluation of Water Resources Management Strategies in Thessaly, Greece.*** Water Resour Manage. 21:1673–1702
14. Mylopoulos N., Kolokytha E., Loukas A. & Mylopoulos Y. (2009). ***Agricultural and water resources development in Thessaly, Greece in the framework of new European Union policies.*** International Journal of River Basin Management. 7(1): 73 – 89.
15. Rees H.G., Croker K.M., Reynard N.S. & Gustard A. (1997). ***Estimation of renewable water resources in the European Union.*** Regional Hydrology: Concepts and Models for Sustainable Water Resource Management, 246: 31-38
16. Rockström, J., Falkenmark, M., Karlberg, L., Hoff, H., Rost, S. & Gerten, D. (2009). ***Future water availability for global food production: the potential of green water for increasing resilience to global change.*** Water Resources Research. 45 (7): 1-16.
17. ***World Commission on Environmental and Development.*** (1987). Our Common Futur. Oxford University Press. Oxford. London.

An Estimation of Renewable Water Using Water Budget Model in the Absence of Adequate Data

Fateme Talebi Hossein Abad
M.Sc in Agricultural Meteorology, Ferdowsi University of Mashhad, Iran
Mehri Shahedi
M.Sc in Agricultural Meteorology, Ferdowsi University of Mashhad, Iran
Sadollah Velaayati
Associate Prof. of Geology, Ferdowsi University of Mashhad, Iran
Kamran Davary[1]
Associate Prof. of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad,Iran

Received 20 December 2013 *Accepted 15 September 2014*

Abstract

Objectives: Given its low precipitations and its inappropriate spatial-temporal distribution, Iran is regarded as an arid to semi-arid country. Under these circumstances, water resources are the main development obstacles. The quantitative sustainability criterion for water resources is to keep annual consumptions of renewable water. Renewable water is defined as the amount of water that a basin (or any geographical region) can regain through a yearly hydrological cycle. Therefore, sustainable development planning needs an accurate (or even conservative) estimate of renewable water resources.

Methods: This study investigates the concept of renewable water, attempting to estimate its quantity based on water budget in Kashaf-Ruod sub-basins. To establish the balance of basins, a methodology based on trial and errors was employed to find optimal values for budget parameter, with the aim of minimizing water balance (toward zero). Given the lack of sufficient and reliable data on water budget, "experts' opinions" were an important source of information. The components of the water budget were estimated in both wet and dry years to obtain average renewable water.

Findings: In this research, experts' opinions on the reliability of the information, physical relationships governing basins, and comparison of basins in terms of different geographic and regionally conditions were sought.

Results: Accordingly, the average natural and actual renewable water at basin were 884 and 988 million m^3 respectively, with the maximum and minimum of basin renewable water being 1222 and 545 million m^3 in both wet and dry years.

Keywords: Renewable water, Water resources budget, Groundwater depletion, Kashaf-Ruod basi.

How to cite this article:
Talebi Hossein Abad, F., Shahedi, M., Velaayati, S., & Davary, K. (2014). An estimation of renewable water using water budget model in the absence of adequate data. *Journal of Geography and Regional Development, 12*(22), 129-150.
URL http://jgrd.um.ac.ir/article/view/42878

1- Corresponding Author: Email : k.davary@gmail.com