بسمه تعالی

وزارت نیرو
شرکت مادر تخصصی مدیریت منابع آب ایران
معاون آب و آبفا، رئیس هیئت مدیره و مدیرعامل

تاریخ: ۱۴۰۱/۱۲/۲۴
شماره: ۱۴۰۱/۱۰۰/۳۰۷۷۶
پیوست:

شرکت‌های آب منطقه‌ای، توسعه منابع آب و نیروی ایران و سازمان آب و برق خوزستان

موضوع: ابلاغ راهنمای تهیه بیلان منابع و مصارف آب و تدقیق مولفه‌های آن مبتنی بر روش‌شناسی موجود، نشریه شماره ۲۰۹

با سلام و احترام،

در اجرای وظایف حاکمیتی وزارت نیرو در تهیه و تدوین ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب و آبفا و استقرار نظام فنی و اجرایی کشور در این صنعت، با توجه به اهمیت و نقش تهیه بیلان منابع آب در مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آب و به منظور کاهش خطاهای مترتب بر ارزیابی هریک از مولفه ها و در نهایت افزایش دقت محاسبه بیلان منابع و مصارف آب، به پیوست «راهنمای تهیه بیلان منابع و مصارف آب و تدقیق مولفه‌های آن مبتنی بر روش‌شناسی موجود » (نشریه شماره ۲۰۹)، برای بهره‌برداری لازم ابلاغ می‌شود.

این معاونت با کسب تجربیات اجرایی حاصل از اجرای راهنمای یادشده، در صورت نیاز نسبت به تجدیدنظر و انجام اصلاحات لازم اقدام خواهد نمود. از این رو ضروری است پس از یک سال از ابلاغ، گزارشی از به‌کارگیری ضابطه یاد شده به دفتر توسعه نظام‌های فنی- بهره‌برداری و دیسپاچینگ برق‌آبی شرکت مدیریت منابع آب ایران ارسال نمایید.

شایان ذکر است دسترسی به راهنمای مورد اشاره از طریق وب سایت طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور به نشانی http://waterstandard.wrm.ir نیز امکان‌پذیر می‌باشد.

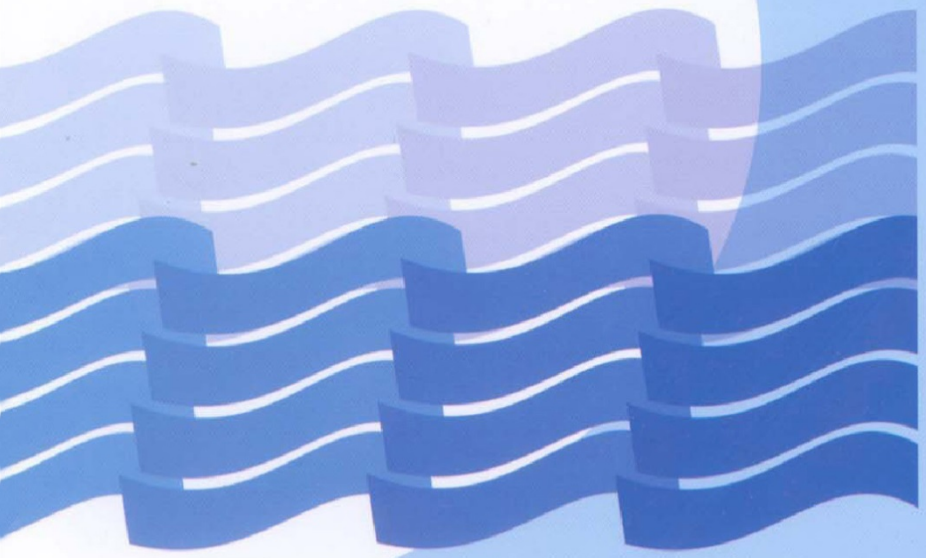
محمد جوان‌بخت

رونوشت:
- معاونت تلفیق و تنظیم گری
- دفتر اطلاعات و داده های آب کشور

تهران، خیابان فلسطین شمالی، پلاک ۵۱۷ . تلفن: ۰۲۱-۴۳۶۸۰۰۰۰ . دورنگار: ۰۲۱-۸۸۹۱۶۶۰۰
شناسه ملی: ۱۰۳۲۰۸۵۸۶۵۰ کد اقتصادی: ۴۱۱۱۱۹۸۴۳۶۸۴ کد پستی: ۱۴۱۵۸۵۴۶۵۱
http://www.wrm.ir

وزارت نیرو
شرکت مدیریت منابع آب ایران
دفتر توسعه نظام‌های فنی، بهره‌برداری
و دیسپاچینگ برق‌آبی

تهیه بیلان منابع و مصارف آب و تدقیق مولفه‌های آن مبتنی بر روش‌شناسی موجود



نشریه شماره ۲۰۹- ن

بهمن ماه ۱۴۰۱

تهیه بیلان منابع و مصارف آب و تدقیق مولفه‌های آن مبتنی بر روش‌شناسی موجود

نشریه شماره ۲۰۹- ن

بهمن ماه ۱۴۰۱

به نام خدا

پیشگفتار

امروزه نقش و اهمیت ضوابط، معیارها و استانداردها و آثار اقتصادی ناشی از به کارگیری مناسب و مستمر آن‌ها در پیشرفت جوامع، تهیه و کاربرد آن‌ها را ضروری و اجتناب‌ناپذیر ساخته است. نظر به وسعت دامنه علوم و فنون در جهان امروز، تهیه ضوابط، معیارها و استانداردها در هر زمینه به مجامع فنی - تخصصی واگذار شده است.

با عنایت به مراتب فوق و با توجه به شرایط اقلیمی و محدودیت منابع آب در ایران، تهیه استاندارد در بخش آب و آبفا به منظور استفاده کارآمد از منابع آب از اهمیت ویژه‌ای برخوردار بوده و از این رو طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور برای نیل به این هدف، با مشخص کردن رسته‌های اصلی صنعت آب و آبفا اقدام به تشکیل مجامع علمی – تخصصی با عنوان کمیته‌های تخصصی نموده که نظارت بر تهیه این استانداردها را به عهده دارند.

- استانداردهای صنعت آب و آبفا با در نظر داشتن موارد زیر تهیه و تدوین می‌گردد:
- استفاده از تخصص‌ها و تجارب کارشناسان و صاحب‌نظران شاغل در بخش عمومی و خصوصی
- استفاده از منابع و مآخذ معتبر و استانداردهای بین‌المللی
- بهره‌گیری از تجارب دستگاه‌های اجرایی، سازمان‌ها، نهادها، واحدهای صنعتی، واحدهای مطالعه، طراحی و ساخت
- ایجاد هماهنگی در مراحل تهیه، اجرا، بهره‌برداری و ارزشیابی طرح‌ها
- پرهیز از دوباره‌کاری‌ها و اتلاف منابع مالی و غیرمالی کشور
- توجه به اصول و موازین مورد عمل سازمان ملی استاندارد ایران و سایر موسسات معتبر تهیه‌کننده استاندارد

طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور به منظور تسهیل در امر استفاده از استانداردها، تدوین و یا ترجمه نشریات و کتب تخصصی مرتبط با استانداردها را نیز در دستور کار خود داشته و نشریه حاضر در راستای نیل به این هدف تهیه شده است.

آگاهی از نظرات کارشناسان و صاحب‌نظرانی که فعالیت آن‌ها به نوعی در ارتباط با تهیه استانداردهای صنعت آب و آبفا می‌باشد، موجب امتنان خواهد بود.

تهیه و کنترل «تهیه بیلان منابع و مصارف آب و تدقیق مولفه‌های آن مبتنی بر روش‌شناسی موجود»

[نشریه شماره ۲۰۹- ن]

مولف اصلی: حسن نقوی شرکت آب منطقه‌ای گیلان فوق لیسانس مهندسی عمران

بدینوسیله از جناب آقای مهندس صالح محمدی که در تنظیم این راهنما همکاری داشته‌انـد، قدردانی می‌شود.

اعضای گروه نظارت:

فضلعلی جعفریان	کارشناس آزاد	لیسانس زمین‌شناسی
نعمت‌اله دهبندی	کارشناس آزاد	فوق لیسانس ژئومورفولوژی- هیدرولوژی
مجتبی شفیعی	مرکز پژوهشی آب و محیط زیست شرق	دکتری علوم و مهندسی آب
فاطمه قبادی حمزه‌خانی	طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنـی صـنعت آب کشور	دکتری مهندسی عمران

اعضای گروه تاییدکننده (کمیته تخصصی مدیریت منابع آب طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور):

جلال ابوالحسنی	وزارت جهاد کشاورزی	فوق لیسانس مهندسی تاسیسات آبیاری
بهرام ثقفیان	دانشگاه آزاد، واحد علوم تحقیقات تهران	دکتری مهندسی عمران
فضلعلی جعفریان	کارشناس آزاد	لیسانس زمین‌شناسی
بهیه جعفری	شرکت مدیریت منابع آب ایران	فوق لیسانس مهندسی منابع آب
علی حیدری	شرکت توسعه منابع آب و نیروی ایران	دکتری مهندسی عمران
رسول ستایشی راد	شرکت مدیریت منابع آب ایران	دکتری زمین‌شناسی
علی شاه حسینی	شرکت مدیریت منابع آب ایران	فوق لیسانس آب زیرزمینی
مهدی شفیعی‌فر	شرکت مهندسین مشاور یکم	فوق لیسانس مهندسی عمران
فاطمه قبادی حمزه‌خانی	طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنـی صـنعت آب کشور	دکتری مهندسی عمران

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
مقدمه	**۱**
فصل اول – کلیات و فرآیند تهیه بیلان	**۳**
۱-۱- مقدمه	۵
۱-۲- فرآیند تهیه بیلان	۷
۱-۲-۱- بیلان هیدروکلیماتولوژی	۸
۱-۲-۲- بیلان آب زیرزمینی آبخوان آبرفتی	۹
۱-۲-۳- بیلان عمومی آب	۱۰
۱-۳- نکات قابل توجه در فرآیند تهیه بیلان	۱۲
فصل دوم - راهنمای تعیین سال شکست و تعیین دوره آماری	**۱۹**
۲-۱- مقدمه	۲۱
۲-۲- سال شکست	۲۱
۲-۳- دوره آماری	۲۴
فصل سوم - راهنمای تکمیل خلاهای آماری در دوره شاخص	**۲۹**
۳-۱- مقدمه	۳۱
۳-۲- مقیاس ماهانه	۳۲
۳-۲-۱- دما	۳۲
۳-۲-۲- باران	۳۲
۳-۲-۳- تبخیر از تشت	۳۲
۳-۲-۴- دبی	۳۲
۳-۲-۵- نوسانات سطح آب زیرزمینی در چاه‌های مشاهده‌ای	۳۳
۳-۳- روش‌های برآورد خلأهای آماری ماهانه	۳۳
۳-۳-۱- روش میانگین‌گیری ساده ایستگاه‌های پیرامون	۳۳
۳-۳-۲- روش تفاضل	۳۳
۳-۳-۳- روش نسبت ماهانه	۳۳
۳-۴- مقیاس سالانه	۳۴
۳-۴-۱- باران سالانه	۳۴

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
۳-۴-۲- دبی سالانه	۳۵
۳-۵- روش‌های براورد خلأهای آماری سالانه	۳۶
۳-۵-۱- روش نسبت‌های سالانه	۳۶
۳-۵-۲- روش همبستگی سالانه	۳۶
فصل چهارم - راهنمای بیلان هیدروکلیماتولوژی (روش تورنت وایت)	**۳۷**
۴-۱- مقدمه	۳۹
۴-۲- روش ماهانه تورنت وایت	۳۹
۴-۲-۱- تبخیر و تعرق پتانسیل	۴۰
۴-۲-۲- ذخیره برف و ذوب برف	۴۲
۴-۲-۳- تبخیر-تعرق واقعی و رطوبت خاک در ناحیه ریشه گیاه	۴۴
۴-۲-۴- اکثر میزان ظرفیت رطوبت خاک	۴۵
۴-۳- روش روزانه تورنت وایت	۴۷
۴-۳-۱- روش شناسی موجود	۴۸
۴-۳-۲- روش شناسی تبخیر دو مرحله‌ای از خاک	۴۹
۴-۴- تفکیک رواناب و نفوذ	۵۱
۴-۵- ملاحظات کلی در خصوص استفاده از روش تورنت وایت	۵۲
فصل پنجم - راهنمای ارزیابی جریان سطحی خروجی از محدوده‌های مطالعاتی	**۵۹**
۵-۱- مقدمه	۶۱
۵-۲- روش‌های استفاده مستقیم از ایستگاه‌های هیدرومتری	۶۲
۵-۲-۱- روش نسبت مساحت‌ها	۶۲
۵-۲-۲- روش انتقالی (مساحت و باران)	۶۲
۵-۲-۳- روش ضریب جریان	۶۳
۵-۲-۴- روش دبی ویژه	۶۳
۵-۳- روش‌های غیرمستقیم مبتنی بر تحلیل منطقه‌ای ایستگاه‌های هیدرومتری	۶۴
۵-۳-۱- روش دبی و مساحت	۶۴
۵-۳-۲- روش دبی ویژه و مساحت	۶۵

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
۵-۳-۳- روش مدل رگرسیونی (دبی با باران و مساحت)	۶۶
۵-۳-۴- روش مدل رگرسیونی (ضریب جریان با باران و مساحت)	۶۶
۵-۳-۵- روش مدل رگرسیونی (دبی ویژه با باران و مساحت)	۶۷
۵-۴- روش‌های مبتنی بر روابط تجربی بومی شده	۶۹
۵-۴-۱- روش جاستین	۶۹
۵-۴-۲- روش ICAR	۷۰
۵-۴-۳- روش دپارتمان آبیاری هندوستان	۷۰
۵-۴-۴- روش تورک	۷۰
۵-۴-۵- روش خوزلا	۷۱
۵-۴-۶- روش SCS	۷۲
۵-۴-۷- روش های تجربی	۷۳
۵-۴-۸- روش کوتاین	۷۴
۵-۴-۹- روش لیسی	۷۴
۵-۵- جریان سطحی خروجی از محدوده‌های مطالعاتی با چندین حوضه آبریز	۷۵
فصل ششم - راهنمای اثر سازه‌های آبی و چاه‌های حریمی درحال بهره‌برداری بر جریان سطحی پایدار	**۷۹**
۶-۱- مقدمه	۸۱
۶-۲- مبانی و فرآیند کلی	۸۲
۶-۳- روش انجام کار	۸۵
فصل هفتم - راهنمای ارزیابی تبخیر از سطح آزاد آب و آبخوان	**۱۰۷**
۷-۱- مقدمه	۱۰۹
۷-۲- تبخیر از سطح آزاد (سدها، آب‌بندان‌ها، تالاب‌ها)	۱۰۹
۷-۳- تبخیر از آب‌های شور	۱۱۱
۷-۴- تبخیر از سطح آب زیرزمینی	۱۱۲
فصل هشتم - راهنمای ترسیم منحنی‌های هم‌باران، هم‌دما و هم‌تبخیر	**۱۱۵**
۸-۱- راهنمای ترسیم منحنی‌های هم‌باران، هم‌دما و هم‌تبخیر	۱۱۷
۸-۱-۱- گرادیان	۱۱۷

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
۸-۱-۲- تراکم ایستگاه‌ها	۱۱۷
۸-۱-۳- استفاده از شیب گرادیان	۱۱۷
۸-۱-۴- پوشش گیاهی	۱۱۸
۸-۱-۵- ضریب جریان	۱۱۸
۸-۱-۶- ارتفاعات مشرف	۱۱۸
۸-۱-۷- استخراج نتایج	۱۱۸
فصل نهم - راهنمای تحلیل روند کیفیت آب در ایستگاه‌های هیدرومتری	**۱۱۹**
۹-۱- راهنمای تحلیل روند کیفیت آب در ایستگاه‌های هیدرومتری	۱۲۱
فصل دهم - تعاریف بیلان، آب تجدیدپذیر و پتانسیل آب منابع آب	**۱۲۵**
۱۰-۱- تعاریف	۱۲۷
۱۰-۱-۱- بیلان آب	۱۲۷
۱۰-۱-۲- آب سبز و آب آبی	۱۲۸
۱۰-۱-۳- آب تجدیدپذیر	۱۲۸
۱۰-۱-۴- منابع آب تجدیدناپذیر	۱۲۹
۱۰-۱-۵- آب تجدیدپذیر طبیعی	۱۲۹
۱۰-۱-۶- آب تجدیدپذیر واقعی	۱۲۹
۱۰-۱-۷- آب تجدیدپذیر قابل مدیریت و بهره‌برداری	۱۳۰
۱۰-۱-۸- آب قابل تخصیص و آب تخصیص داده شده	۱۳۰
۱۰-۱-۹- برداشت و مصرف	۱۳۱
۱۰-۱-۱۰- آب برگشتی	۱۳۱
۱۰-۱-۱۱- پتانسیل منابع آب (سطح و زیرزمینی)	۱۳۲
۱۰-۱-۱۲- زهکشی ارتفاعات (یا خارج ابخوان)	۱۳۳
۱۰-۱-۱۳- آب قابل برنامه‌ریزی سطحی	۱۳۳
۱۰-۱-۱۴- آب قابل برنامه‌ریزی زیرزمینی	۱۳۴
فصل یازدهم - پساب‌ها	**۱۳۵**
۱۱-۱- مقدمه	۱۳۷

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
۱۱-۲- تعیین نقاط جمعیتی دارای طرح فاضلاب و تعداد طرح‌های فاضلاب	۱۳۸
۱۱-۳- تعیین سرانه مصرف شرب و بهداشت، تلفات شبکه توزیع و کنترل حجم تولید آب برای مصرف در نقاط جمعیتی	۱۳۸
۱۱-۴- درصد اجرای شبکه جمع‌آوری فاضلاب و درصد جمعیت متصل به شبکه جمع‌آوری فاضلاب	۱۳۸
۱۱-۵- حجم فاضلاب تولید شده (سرانه تولید فاضلاب) و فاضلاب جمع‌آوری شده (بر اساس درصد جمعیت متصل)	۱۳۹
۱۱-۶- تصفیه‌خانه/های فاضلاب	۱۳۹
۱۱-۷- حجم فاضلاب (جمع‌آوری شده) و رها شده به محیط و مصرف فاضلاب خام و منتقل شده	۱۳۹
۱۱-۸- حجم پساب خروجی تصفیه‌خانه فاضلاب	۱۴۰
۱۱-۹- حجم پساب استفاده مستقیم و رها شده به محیط	۱۴۰
۱۱-۱۰- محل مصرف پساب	۱۴۰
۱۱-۱۱- ملاحظات	۱۴۰
منابع و مراجع	**۱۴۳**

فهرست شکل‌ها

عنوان	صفحه
شکل ۲-۱- نمونه جرم مضاعف دبی و باران در حوضه آبریز دریاچه نمک	۲۵
شکل ۲-۲- نمونه تغییرات دبی و باران سالانه در حوضه آبریز دریاچه نمک در سنوات آماری	۲۶
شکل ۲-۳- نمونه جرم مضاعف دبی در حوضه آبریز سفید رود (ایستگاه‌های گیلوان و لوشان)	۲۶
شکل ۲-۴- نمونه تغییرات دبی سالانه ایستگاه‌های هیدرومتری گیلوان و لوشان در حوضه آبریز سفید رود طی سنوات آماری	۲۷
شکل ۴-۱- روند آب در بیلان هیدروکلیماتولوژی	۴۰
شکل ۴-۱- شماتیک تبخیر از خاک فاقد پوشش گیاهی در مرحله اول و دوم تبخیر از خاک	۵۰
شکل ۵-۱- تصویر رابطه بین مساحت و دبی متوسط و استفاده از شیب تغییرات	۶۵
شکل ۵-۲- تصویر رابطه بین مساحت و دبی ویژه و استفاده از شیب تغییرات	۶۶
شکل ۶-۱- نقشه حوضه آبریز سفیدرود به همراه موقعیت سدها و ایستگاه‌های هیدرومتری مهم برای ارزیابی جریان سطحی خروجی از محدوده‌های مطالعاتی	۱۰۵
شکل ۷-۱- منحنی وایت برای محاسبه درصد تبخیر از تشت به منظور برآورد تبخیر از آب زیرزمینی (وایت، ۱۹۳۲)	۱۱۴
شکل ۹-۱- نمودار دبی– هدایت الکتریکی در ایستگاه هیدرومتری گیلوان	۱۲۲
شکل ۹-۲- نمودار بررسی وضعیت متوسط دبی و متوسط هدایت الکتریکی نمونه‌ها در ایستگاه هیدرومتری گیلوان	۱۲۳

فهرست جدول‌ها

عنوان	صفحه
جدول ۱-۱- بیلان هیدروکلیماتولوژی در نواحی مختلف محدوده مطالعاتی (میلیون مترمکعب در سال)	۱۵
جدول ۱-۲- بیلان عمومی آب در محدوده مطالعاتی (میلیون مترمکعب در سال)	۱۵
جدول ۱-۳- بیلان آب زیرزمینی آبخوان آبرفتی (میلیون مترمکعب در سال)	۱۶
جدول ۱-۴- بیلان آب سطحی در سطح کل محدوده مطالعاتی (میلیون مترمکعب درسال)	۱۶
جدول ۱-۵- بیلان آب زیرزمینی در سطح کل محدوده مطالعاتی (میلیون مترمکعب درسال)	۱۶
جدول ۴-۱- مقادیر ضریب اصلاحی (Nm) در معادله تورنت وایت برای عرض‌های (شمالی) مختلف جغرافیایی در ماه‌های سال	۴۱
جدول ۴-۲- ظرفیت آب قابل دسترس در بافت‌های مختلف خاک	۴۶
جدول ۴-۳- تعیین میانگین عمق ریشه بر اساس نوع پوشش اراضی (متر)	۴۷
جدول ۴-۴- ضریب تبخیر و تعرق از خاک در روزهای بعد از پایان بارندگی	۵۰
جدول ۴-۵- روش پیشنهادی برای تولید سری زمانی باران ماهانه	۵۴
جدول ۴-۶- نمونه محاسبات تبخیر و تعرق واقعی ماهانه	۵۵
جدول ۴-۷- نمونه محاسبات تبخیر و تعرق واقعی ماهانه	۵۶
جدول ۴-۸- نمونه محاسبات تبخیر و تعرق واقعی روزانه	۵۷
جدول ۴-۹- کد کامپیوتری برای محاسبه ساعات روشنایی بر اساس عرض جغرافایی	۵۸
جدول ۵-۱- نمونه ارزیابی اولیه دبی خروجی از محدوده‌های مطالعاتی از روش‌های مختلف برای غرب حوضه هامون جازموریان (دبی مترمکعب بر ثانیه)	۶۸
جدول ۵-۲- رابطه درجه حرارات با تلفات ماهانه در روش خوزلا	۷۲
جدول ۵-۳- مقادیر (F/Z) در معادله لیسی	۷۵
جدول ۶-۱- ارزیابی آب برگشتی در فرآیند تعدیل جریان سطحی	۹۱
جدول ۶-۲- آمار برداشت از آب سطحی از طریق سدها (میلیون مترمکعب)	۹۴
جدول ۶-۳- آمار برداشت از آب سطحی از طریق چاه‌های حریمی (میلیون مترمکعب)	۹۵
جدول ۶-۴- حجم جریان سطحی اولیه و پایدار ایستگاه‌های هیدرومتری بعد از اعمال اثرات سد و چاه‌های حریمی (میلیون مترمکعب)	۹۶
جدول ۶-۵- آمار برداشت آب از سدها و حجم اثرگذاری برروی جریان سطحی (میلیون مترمکعب)	۹۷

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

جدول ۶-۶- جدول تکمیل شده حجم جریان سطحی اولیه و پایدار ایستگاه‌های هیدرومتری بعد از اعمال اثرات برداشت، مصرف و آب برگشتی از سد (میلیون مترمکعب) ۱۰۲
جدول ۷-۱- ضریب تشت تبخیر برای برآورد تبخیر از سطح آزاد آب در ماه‌های سال ۱۱۱
جدول ۹-۱- نمونه اطلاعات هدایت الکتریکی در ایستگاه‌های هیدرومتری گیلوان ۱۲۲
جدول ۱۰-۱- مفاهیم مختلف منابع آب براساس ضوابط (Source: FAO/BRGM, ۱۹۹۶) ۱۲۸
جدول ۱۱-۱- وضعیت تولید آب و فاضلاب در نقاط جمعیتی ۱۴۱
جدول ۱۱-۲- وضعیت جمع‌آوری فاضلاب ۱۴۱
جدول ۱۱-۳- وضعیت تصفیه‌خانه‌های فاضلاب و مصرف پساب ۱۴۱
جدول ۱۱-۴- وضعیت تولید آب و فاضلاب در نقاط جمعیتی ۱۴۱
جدول ۱۱-۵- وضعیت جمع‌آوری فاضلاب ۱۴۲
جدول ۱۱-۶- وضعیت تصفیه‌خانه‌های فاضلاب و مصرف پساب ۱۴۲

مقدمه

آگاهی از وضعیت منابع آب کشور و چگونگی تحولات آتی در تقاضا برای آب و خدمات وابسته به آن جزء پیش شرط‌های اصلی و اساسی برای مدیریت منابع آب محسوب می‌شود. افزایش و تشدید تقاضا برای آب و خدمات مربوط به آن، تنزل کیفیت منابع آب سطحی و زیرزمینی و همچنین تخریب محیط زیست که بر اثر شهرنشینی و صنعتی شدن و تحول در کاربری اراضی ایجاد شده و یا شتاب می‌گیرد، منابع آب موجود هر کشور را تحت فشارهای فزآینده‌ای قرار داده و مدیریت مطلوب آن را بسیار دشوارتر و پیچیده‌تر از سابق نموده است. ارزیابی منابع، مصارف و بیلان آب را یکی از اقدامات اساسی است که برای افزایش آگاهی و شناخت درباره شرایط منابع آب کشور انجام می‌پذیرد که نتایج آن، ضمن تأمین اطلاعات و گسترش آگاهی، زمینه را برای اخذ تصمیمات معقول مدیریتی مهیا می‌سازد. بیلان آب یکی از مهم‌ترین اسناد بالادستی کشور است که می‌توان از آن در تصمیم‌گیری‌های مختلف از جمله ارزیابی آب تجدیدشونده، وضعیت پتانسیل منابع آب سطحی و زیرزمینی، آب قابل برنامه‌ریزی، تخصیص و تسهیم آب و همچنین امکان توسعه بهره‌برداری منابع آب و یا ایجاد ممنوعیت‌ها استفاده نمود.

نظر به اینکه روش‌های مورد استفاده در محاسبه مؤلفه‌های بیلان آب از تنوع و گستردگی و پیچیدگی زیادی برخوردار بوده و از سوی دیگر بسیاری از این مؤلفه‌ها که بعضا به عنوان پتانسیل آب قابل برنامه‌ریزی و قابل تخصیص نیز شمرده می‌شود، اندازه‌گیری نمی‌شود (و یا اساسا امکان اندازه‌گیری آن‌ها فراهم نیست)، لذا وجود خطا و عدم قطعیت جزئی از معادلات بیلان منابع و مصارف آب تلقی می‌شود. به همین دلیل با توجه به گستردگی موضوع و تنوع روش‌های تجزیه و تحلیل، ضروری است برای کاهش خطاهای مترتب بر ارزیابی هریک از مؤلفه‌ها و در نهایت افزایش دقت بیلان منابع و مصارف آب در واحدهای هیدرولوژیکی، نسبت به تدوین تجربیات و ثبت ملاحظات در این مسیر اقدام نمود.

مجموعه حاضر در یازده فصل، تحت عنوان راهنمای تهیه بیلان منابع و مصارف آب و تدقیق مولفه‌های آن، تهیه شده است که به ارائه فرآیند تهیه بیلان، روش‌های برآورد و همچنین تدقیق برخی از مؤلفه‌های بیلان منابع و مصارف آب می‌پردازد.

- هدف

هدف از تهیه این راهنما، تدوین تجربیات و ثبت ملاحظات در محاسبه مولفه‌های بیلان آب به منظور کاهش خطاهای مترتب بر ارزیابی هریک از مولفه‌ها و در نهایت افزایش دقت بیلان منابع و مصارف آب می‌باشد.

- دامنه کاربرد

دامنه کاربرد این راهنما ناظر بر فعالیت‌های دفتر اطلاعات و داده‌های آبی، دفاتر مطالعات پایه شرکت‌های آب منطقه‌ای و شرکت‌های مهندس مشاور ارائه دهنده بیلان می‌باشد.

فصل ۱

کلیات و فرآیند تهیه بیلان

۱-۱- مقدمه

آب به عنوان یک از عوامل اصلی توسعه اقتصادی - اجتماعی در کشور محسوب می‌گردد و کلیه فعالیت‌های مربوط به کشاورزی، صنعتی، شهری و خدمات وابسته به آنها، به نحوی با مسایل آب مرتبط است. دسترسی به آب، یکی از دغدغه‌های مهم در قرن حاضر بوده و اطمینان از دسترسی پایدار به آب، نیازمند درک چرخه آب در واحد هیدرولوژیک خواهد بود. بر اساس تعاریف، چرخه آب به فرآیند جابجایی مستمر آب در بین بخش‌های سه‌گانه جو، سطح زمین و زیرزمین اشاره دارد. بیلان آب ابزاری برای کمی‌سازی مؤلفه‌های چرخه آب است و با استفاده از آن می‌توان نرخ حرکت آب و تغییر در ذخایر آب، درون و بین بخش‌های یاد شده را محاسبه نمود. از آنجاکه تحلیل مسایل آبی با هدف بهره‌برداری صحیح از منابع آب و همچنین ارائه خدمات پایدار و مطمئن به متقاضیان، نیازمند آگاهی و برآورد پتانسیل آبی منطقه بر اساس اصل بقای ماده در چرخه آب می‌باشد، محاسبه بیلان منابع و مصارف آب در سطح حوضه‌های آبریز، آبخوان‌ها و واحدهای هیدرولوژیکی یا حتی واحدهای سیاسی مختلف، ابزاری کارآمد برای ارزیابی میزان آب در دسترس به منظور رفع نیازهای انسان و محیط زیست تلقی می‌گردد.

بیلان آب برگردان دو واژه Water budgetو Water balance بوده و بیان‌گر موجودی آب و تغییرات آن در زمان و مکان مشخص، می‌باشد. در بیلان آب، موجودی آب بنا بر اصل بقای ماده، در قالب چرخه طبیعی رصد می‌شود. هدف از برقراری بیلان یا ترازنامه آب، تعیین و بررسی مقادیر ورودی، مصرفی، ذخیره و خروجی از یک محدوده در زمان مشخص می‌باشد. اگرچه بیلان آب یک مفهوم به ظاهر ساده است، اما برآورد آن به شکل دقیق، کاری پیچیده و همراه با عدم قطعیت خواهد بود.

انجام برنامه‌ریزی صحیح منابع آب و تعیین پتانسیل آبی یک منطقه از اهداف بنیادی است که با شناخت ترازنامه یا بیلان آب آن منطقه میسر می‌شود. اگرچه بیلان آب و یا منابع آب یک مفهوم به ظاهر ساده است، اما برآورد آن به شکل دقیق کاری پیچیده و همراه با عدم‌قطعیت خواهد بود. از این رو مدیران و تصمیم‌گیران باید به این نکته، در برنامه‌ریزی‌ها و اقدامات خود توجه کافی داشته باشند.

بهبود بهره‌برداری، توسعه بهره‌برداری و یا کاهش بهره‌برداری از منابع آب، مستلزم اتخاذ تصمیم‌های صحیح برای مدیریت منابع آب در هر منطقه می‌باشد، در این مسیر باید طوری برنامه‌ریزی نمود که علاوه بر رفع نیاز فعلی، نیاز آیندگان را نیز در نظر گرفت، درگاه این تصمیمات، ارزیابی صحیح از وضعیت کمی و کیفی منابع آب در آن منطقه است. در حال حاضر وزارت نیرو از طریق مطالعات طرح‌های جامع آب و بیلان منابع آب در قالب محدوده‌های مطالعاتی و حوضه‌های آبریز درجه ۲ و ۱ نسبت به مطالعه و ارزیابی پارامترهای مؤثر در معادله بیلان منابع آب اقدام نموده و محاسبات لازم را برای تراز نمودن ورودی و خروجی‌ها در مقیاس‌های زمانی و مکانی انجام می‌دهد. بر اساس نتایج حاصل از مطالعات یادشده امکان توسعه بهره‌برداری و حجم ذخایر آب مورد بررسی قرار گرفته و گزارش می‌گردد. از جمله خروجی‌ها و کاربردهای نتایج بیلان منابع می‌توان به موارد زیر اشاره نمود.

- ارزیابی آب قابل برنامه‌ریزی سطحی و زیرزمینی
- ارزیابی اثر مؤلفه‌های مختلف چرخه آب در مدیریت عرضه و تقاضای منابع آب
- ارزیابی آب تجدیدشونده و وضعیت پتانسیل منابع آب
- ارزیابی امکان تخصیص منابع آب
- ارزیابی محدودیت‌های توسعه بهره‌برداری منابع آب و ایجاد ممنوعیت

تهیه بیلان آب در حوضه‌های آبریز، محدوده‌های مطالعاتی و آبخوان‌ها بر عهده دفتر مطالعات پایه منابع آب شرکت مدیریت منابع آب ایران با همکاری شرکت‌های آب منطقه‌ای است. بیلان آب در قالب مطالعات مختلفی ارائه می‌شود که از آن جمله می‌توان به مطالعات طرح جامع آب، اطلس منابع آب کشور، به هنگام‌سازی بیلان آب، تمدید ممنوعیت بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی و غیره اشاره داشت.

دستورالعمل نحوه تهیه گزارش بیلان آب محدوده‌های مطالعاتی در سطح حوضه‌های آبریز درجه ۲ در سال ۱۳۹۹ توسط شرکت مدیریت منابع آب تدوین شد. این دستورالعمل به تهیه بیلان‌های سه‌گانه اصلی (هیدروکلیماتولوژی، عمومی و آبخوان آبرفتی) و نیز بیلان آب سطحی و بیلان آب زیرزمینی پرداخته است. بیلان هیدروکلیماتولوژی نشان‌دهنده چگونگی تبدیل بارش در منطقه به رواناب، نفوذ و تبخیر و تعرق است. در بیلان آب زیرزمینی بر اساس ویژگی‌های آبخوان آبرفتی، تغییرات سطح آب و برآورد مؤلفه‌های تغذیه (جریان زیرزمینی ورودی، آب برگشتی از مصارف مختلف، بارش، اندرکنش با رودخانه و ...) و تخلیه (زهکش طبیعی و مصنوعی، چاه، چشمه، قنات، جریان زیرزمینی خروجی، تبخیر و ...) ارزیابی و ارائه می‌شود. در نهایت بیلان عمومی آب محاسبه و ارائه می‌شود که در واقع شامل بیلان هیدروکلیماتولوژی و آب زیرزمینی به همراه بررسی انتقال آب به محدوده‌ها و ورودی و خروجی آن‌ها است. در انتهای گزارش بیلان، میزان تغییرات ذخیره آبخوان و میزان آب تجدیدپذیر در محدوده مطالعاتی و امکانات توسعه منابع آب ارائه می‌شود.

هر شکلی از محاسبه بیلان، نهایتاً با عدم قطعیت‌هایی روبرو است. منشأ عدم قطعیت‌ها در محاسبات بیلان به سه منبع شامل تغییرات طبیعی در چرخه آب، خطاهای اندازه‌گیری و برآورد مؤلفه‌های اندازه‌گیری نشده نسبت داده می‌شود. از این رو آنچه که همواره مورد تاکید وزارت نیرو و سایر مراجع مرتبط در مورد بیلان آب بوده، تدقیق برآورد مؤلفه‌های بیلان آب و تا حدی کاهش عدم قطعیت ها در برآورد آن‌ها است. هرچند دستورالعمل تهیه بیلان در وزارت نیرو (نسخه سال ۱۳۷۰)، چهارچوب کلی را برای چگونگی تراز نمودن ورودی‌ها و خروجی‌ها ارائه نموده و در برآورد مؤلفه‌ها، دست استفاده‌کنندگان را باز گذاشته است، لیکن تلاش برای دستیابی به روش‌هایی جهت تدقیق مؤلفه‌های بیلان وکاهش عدم قطعیت‌ها، امری کاملاً ضروری است.

همان‌گونه که گفته شد، اساساً ارزیابی پارامترهای مرتبط با طبیعت دارای خطا است. تمامی مؤلفه‌های بیلان به اشکال مختلف تغییرپذیر هستند، از بارندگی گرفته تا تبخیر و تعرق، مصارف، رواناب و نفوذ همگی تحت تأثیر پارامترهای مختلف تغییر می‌کنند. اگرچه، تهیه بیلان به تبحر کارشناس، شناخت ایشان به منطقه و همچنین تسلط

نسبی به ارتباط مؤلفه‌های چرخه آب بستگی دارد، لیکن برای تسهیل محاسبات بیلان، انجام فرآیند زیر پیشنهاد می‌گردد. ذکر این نکته ضروری است که در راهنمای حاضر، روش‌شناسی جدیدی ارائه نمی‌گردد. در واقع تهیه بیلان منابع آب مبتنی بر روش حاضر در دستور کار است و این راهنما تلاش دارد بر اساس مستندات گردآوری شده از گزارش‌های فنی مختلف و همچنین تجربیات کاری مختصر، به ارائه تکنیک‌هایی برای تراز کردن معادله بیلان آب و برآورد مؤلفه‌های آن بپردازد.

در ادامه راهنمای تهیه بیلان منابع آب، برای تدقیق برخی از مؤلفه‌های مورد استفاده در بیلان منابع آب (علی الخصوص بیلان عمومی، بیلان آب سطحی و بیلان هیدروکلیماتولوژی) و کاهش خطاهای مترتب بر آن، به روش‌های چگونگی ارزیابی و تدقیق پارامترهای مهم همانند تبخیر و تعرق واقعی از بارندگی، تبخیر از سطوح آزاد آب، تدقیق اثر سازه‌های آبی و چاه‌های حریمی بر جریان سطحی خروجی، محاسبه جریان سطحی خروجی، تعیین دوره شاخص و تکمیل خلأهای آماری نیز پرداخته شده است.

راهنمای تهیه شده در این مرحله متمرکز بر تدقیق نسبی برخی از مؤلفه‌های بیلان است. در مراحل بعد مواردی همچون استفاده از منابع آب انتخابی برای تدقیق برداشت و مصارف آب، ضرایب قابلیت انتقال و هیدرودینامیکی، زهکشی آبخوان و نفوذ از جریان سطحی به آن، مقاطع جریان افقی خروجی و ورودی به آبخوان، ترسیم نقشه‌های هیدروژئولوژی (نقشه‌های تراز آب زیرزمینی، هم عمق سطح آب، سطح هم تبخیر از آبخوان و همچنین تغییرات سطح آب زیرزمینی و نقشه هم قابلیت انتقال رسوبات آبرفتی) و ... می‌تواند به آن افزوده گردد.

۱-۲- فرآیند تهیه بیلان

از آنجاکه تولید و تأمین داده‌های متقن و کافی برای بسیاری از مؤلفه‌های بیلان (در سطح حوضه) اساساً یا امکان‌پذیر نبوده و یا بسیار پرهزینه و زمان‌بر است، از این رو معمولاً مؤلفه‌های مربوط به بیلان، ارزیابی، برآورد و بعضاً تخمین زده می‌شود. به طورکلی می‌توان گفت تولید هرگونه داده در طبیعت به دلیل تأثیرپذیری از عوامل ثانویه و پیچیدگی رابطه بین آب، خاک، گیاه، هوا و انسان، به سهولت امکان‌پذیر نیست و حتی در برخی مواقع، داده‌هایی که به طور مستقیم اندازه‌گیری می‌شوند، در مقیاس زمانی و مکانی دیگر، ممکن است با سطوح مختلفی از عدم قطعیت توأم گردد. در دستورالعمل سال ۱۳۷۰ تهیه بیلان آب وزارت نیرو، توازن مؤلفه‌های بیلان و چرخه آب مبتنی بر سعی و خطا توسط قضاوت کارشناسی با شناخت کافی به منطقه و تنظیم بیلان در چند مرحله برای تدقیق مؤلفه‌های بیلان بوده است. اصولاً بیلان منابع و مصارف در یک فرآیند رفت و برگشتی به همراه کنترل مقدار و ارتباط پارامترها و اعمال نظرات کارشناسی در ارزیابی آن‌ها در بیلان‌های ۵ گانه (هیدروکلیماتولوژی، آب سطحی، آب زیرزمینی، آبخوان آبرفتی و عمومی) تدوین می‌گردد. در فرآیند تدقیق مؤلفه‌های بیلان در سطح یک حوضه آبریز یا محدوده مطالعاتی، برای برخی از پارامترها، به منظور همگرایی قابل قبول، این رفت و برگشت‌ها ممکن است تا چند بار تکرار گردد. به طور کلی در روش‌شناسی فعلی، ۵ بیلان که مکمل یکدیگرند به شرح زیر، تهیه می‌گردد:

- بیلان هیدروکلیماتولوژی
- بیلان عمومی
- بیلان آبخوان آبرفتی
- بیلان آب سطحی
- بیلان آب زیرزمینی

روابط بیلان‌های هیدروکلیماتولوژی، آبخوان آبرفتی و عمومی به شرح زیر بوده و جداول هر یک از این بیلان‌ها و بیلان‌های آب سطحی و زیرزمینی در انتهای این فصل آمده است.

۱-۲-۱- بیلان هیدروکلیماتولوژی

بیلان هیدروکلیماتولوژی حوضه‌های آبریز نشان‌دهنده چگونگی تبدیل بارش در منطقه به رواناب، نفوذ و تبخیر و تعرق می‌باشد. به عبارت دیگر از بارش به‌وقوع پیوسته، بخشی نفوذ کرده، بخشی به رواناب تبدیل شده و بخش دیگری نیز به صورت تبخیر در می‌آید که بررسی این روابط را بیلان هیدروکلیماتولوژی می‌گویند. با توجه به اهمیت بیلان هیدروکلیماتولوژی در ارزیابی آب تجدید شونده، یک فصل از این راهنما به این موضوع اختصاص داده شده است.

بیلان هیدروکلیماتولوژی را می‌توان در قالب رابطه زیر بیان کرد:

$$P = AET + (R + I)$$

که در این معادله:

P: ریزش‌های جوی اعم از برف و باران (میلی‌متر)

AET: تبخیر و تعرق حقیقی (میلی‌متر)

R: رواناب (میلی‌متر)

I: نفوذ (میلی‌متر)

نحوه محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل در بیلان آبی ماهانه به روش تورنت‌وایت در روابط زیر آمده است:

$$PE_i = \begin{cases} 0 & T < 0^{o^c} \\ 16\left(\frac{10T_i}{I}\right)^a & 0 \le T < 26.5^{o^c} \\ -41.85 + 32.24T_i - 0.43T_i^2 & T \ge 26.5^{o^c} \end{cases}$$

$$I = \sum_{i=1}^{12} \left(\frac{T_i}{5}\right)^{1.514}$$

$$= N_m * PE_i$$

PE_i : تبخیر و تعرق پتانسیل ماهانه محاسبه شده به روش تورنت‌وایت به میلی‌متر.

T_i : درجه حرارت متوسط ماهانه به درجه سانتی‌گراد.

I: شاخص حرارتی سالانه که از مجموع شاخص‌های حرارتی ماهانه به دست می‌آید.

a: ضریبی است که از نقطه‌ای به نقطه دیگر متفاوت بوده و به شاخص حرارتی سالانه بستگی داشته و از معادله زیر به دست می‌آید.

$$a = 6.7\times10^{-7}\times I^3 - 7.71\times10^{-5}\times I^2 + 1.79\times10^{-2}\times I + 0.49$$

APE_i: تبخیر و تعرق پتانسیل اصلاح شده به میلی‌متر

N_m: ضریب اصلاحی در معادله تورنت‌وایت برای عرض‌های شمالی در ماه‌های مختلف سال تعیین می‌شود.

$$\text{if}\left(W_i + SoilM_{i-1}\right) \geq APE_i \text{ then } AET_i = APE_i$$

$$SoilM_i = \min\left\{\left[\left(W_i - APE_i\right) + SoilM_{i-1}\right]; SoilM_{max}\right\}$$

$$\text{if } \left(W_i + SoilM_{i-1}\right) < APE_i \text{ then } AET_i = W_i + SoilM_{i-1} - SoilM_i$$

$$SoilM_i = SoilM_{i-1}\times\exp\left(-\frac{APE_i - W_i}{SoilM_{max}}\right)$$

W_i: میزان آب در دسترس

$SoilM_i$: میزان رطوبت خاک

$SoilM_{max}$: حداکثر میزان رطوبت خاک

۱-۲-۲- بیلان آب زیرزمینی آبخوان آبرفتی

بیلان آب زیرزمینی شکل ویژه‌ای از بیلان آب می‌باشد که در آن آب ورودی و خروجی و تغییرات ذخیره در منابع آب زیرزمینی در یک آبخوان واحد مورد بررسی قرار می‌گیرد.

$$(Q_{in} + Q_p + Q_i + Q_{sw} + Q_r) - \left(Q_w + Q_e + Q_d + Q_{out}\right) = \Delta V$$

ΔV: تغییر ذخیره ثابت آبخوان

Q_{in}: جریان ورودی به آبخوان از دشت بالادست و ارتفاعات

Q_p: آب نفوذیافته از طریق بارندگی سطح دشت (آبخوان)

Q_i: آب نفوذیافته از طریق آبیاری گیاهان (از سطح مزارع).

Q_{sw}: آب نفوذیافته از طریق پساب‌های آب مصرفی صنعت، شرب و بهداشت

Q_r: آب نفوذ یافته از طریق جریان‌های سطحی که میزان تغذیه مصنوعی احتمالی نیز در این عامل دیده می‌شود.

Q_w: برداشت و تخلیه توسط چاه، قنات و چشمه آبرفتی از آبخوان

Q_e: تبخیر از آب زیرزمینی (نواحی که سطح آب زیرزمینی به سطح زمین نزدیک است)

Q_d: زهکشی از آبخوان توسط زهکش‌های طبیعی یا احتمالا مصنوعی

Q_{out}: جریان زیرزمینی خروجی از آبخوان (به آبخوان دشت پایین‌دست یا پایانه آبی)

۱-۲-۳- بیلان عمومی آب

معادله بیلان آب برای هر ناحیه طبیعی (از قبیل یک حوضه رودخانه‌ای) یا مجموعه آبی (از قبیل یک دریاچه)، مقادیر نسبی جریان ورودی و جریان خروجی و تغییر در ذخیره آب برای ناحیه یا مجموعه را مشخص می‌کند. به طور کلی بخش جریان ورودی معادله بیلان آب شامل ریزش‌های جوی به صورت بارندگی و برف که واقعا در سطح زمین ریزش می‌کند و جریان آب ورودی سطحی و زیرزمینی به داخل حوضه یا مجموعه آبی از سمت بیرون می‌باشد. از طرف دیگر بخش جریان خروجی معادله، تبخیر از سطح مجموعه آبی و جریان خروجی سطحی و زیرزمینی از حوضه یا مجموعه آبی را در بر می‌گیرد. زمانی که جریان ورودی از جریان خروجی فزونی می‌گیرد، کل ذخیره آب در مجموعه (ΔS) افزایش می‌یابد. از دید دیگر، جریان ورودی که از جریان خروجی کمتر باشد، به کاهش در ذخیره منجر خواهد شد. تمامی مولفه‌های بیلان آب در معرض خطای اندازه‌گیری یا برآورد می‌باشند و بنابراین معادله بیلان آب باید شامل یک جمله مغایرت نیز باشد. در نتیجه معادله کلی بیلان عمومی آب به صورت رابطه زیر است.

$$\left(P+QR_{in}+QG_{in}+QI_{m}\right)-\left(QE_{t}+QE_{s}+QE_{g}+QU_{s}+QR_{out}+QG_{out}+QE_{x}\right)=\pm\left(\Delta V_{s}+\Delta V_{g}\right)$$

P: حجم بارش بر سطح محدوده مطالعاتی

QR_{in}: جریان سطحی ورودی (از محدوده بالادست)

QG_{in}: جریان زیرزمینی ورودی به محدوده مطالعاتی

QI_{m}: آب‌های انتقالی از خارج به محدوده مطالعاتی

QE_{t}: تبخیر و تعرق حقیقی (تبخیر از بارندگی)

QE_{s}: تبخیر از سطح آزاد آب (از دریاچه‌های طبیعی و مصنوعی یا سدها)

QE_{g}: تبخیر از آب زیرزمینی

QU_{s}: آب مصرفی کشاورزی، شرب و صنعت (مصرف خالص)

QR_{out}: جریان سطحی خروجی از محدوده مطالعاتی

QG_{out}: جریان زیرزمینی خروجی از محدوده مطالعاتی

QE_{x}: آب انتقال داده شده از محدوده مطالعاتی به خارج

ΔV_{s}: تغییرات حجم ذخایر آب سطحی (مثل دریاچه پشت سدها و دریاچه‌ها)

ΔV_{g}: تغییرات حجم ذخیره آب زیرزمینی

برای تدوین معادله بیلان آب، لازم است تمامی مؤلفه‌های بیلان تا جایی که امکان‌پذیر باشد مستقلاً محاسبه شود. محاسبات مؤلفه‌های بیلان آب به دلیل نواقص موجود در روش‌های مورد استفاده، همواره با خطا توأم است. زمانی که مقادیر اندازه‌گیری شده یک مؤلفه برای برآورد مقدار مؤلفه دیگری به وسیله یک فرمول تجربی یا نیمه تجربی استفاده

می‌شود، بعضا به دلیل نامناسب بودن فرمول، مؤلفه برآورد شده می‌تواند توأم با خطا باشد. برای تهیه بیلان انجام مراحل زیر پیشنهاد می‌گردد (در فصل‌های بعدی این راهنما، تعدادی راهنمای مستقل برای ارزیابی مؤلفه‌های بیلان ارائه شده است).

۱- مجموعه اطلاعاتی که دارای سطح اطمینان بالا می‌باشند، همانند مساحت‌های دشت، ارتفاعات و ارتفاعات مشرف به آبخوان، ارتفاعات غیرمشرف، مساحت آبخوان آبرفتی، حجم برداشت از منابع آب و مصارف، طول و عرض جغرافیایی و باران ماهانه، دمای ماهانه، مصارف، تبخیر از سطوح آزاد و آبخوان، ورودی‌ها و خروجی‌های سطحی و زیرزمینی، تغییرات سطح آب زیرزمینی، قابلیت انتقال و حجم آب‌های انتقالی، گردآوری می‌گردد.

۲- مجموعه اطلاعاتی که برآوردی بوده و از سطح اعتماد پایین‌تری برخوردار هستند همانند آب برگشتی و مصرف خالص، ظرفیت رطوبت خاک (از روی نقشه‌های پوشش گیاهی و خاک شناسی)، رطوبت اولیه خاک و ضریب ذخیره ارزیابی و گردآوری می‌گردد.

۳- هم‌زمان، بیلان هیدروکلیماتولوژی و بیلان عمومی با اطلاعات بندهای قبل تهیه می‌گردد و در صورت عدم تراز شدن، در مرحله نخست ارقام مربوط به اطلاعات بند ۲ در دامنه قابل قبول از نظر سطح اعتماد، تغییر داده می‌شود، چنانچه تمام اقدامات متصور برای بالانس مؤلفه‌ها صورت گرفت، در مرحله بعد می‌توان اطلاعات بند ۱ را در دامنه قابل قبول از نظر سطح اعتماد، تغییر داد تا تراز اولیه معادله بیلان حاصل گردد.

۴- با مراجعه به وضعیت جریان سطحی ایستگاه‌های هیدرومتری و بررسی وضعیت دبی پایه و رواناب، سیلابی بودن رودخانه‌ها، دائمی بودن و ...، برآوردی اولیه از تفکیک نفوذ و رواناب ارائه می‌شود.

۵- بیلان آبخوان آبرفتی با توجه به مجموعه اطلاعات بیلان هیدروکلیماتولوژی دشت و ارتفاعات تهیه می‌گردد. در این مرحله باید در صورت نیاز هم‌زمان مؤلفه‌های بیلان هیدروکلیماتولوژی و مؤلفه‌های مربوط به تغذیه آبخوان (جریان جانبی به آبخوان، نفوذ از جریان سطحی، آب‌های برگشتی و ...) و تخلیه آبخوان (زهکشی و تبخیر و جریان زیرزمینی خروجی و ...) را در دامنه مجاز اصلاح و تعدیل نمود.

۶- لازم است در هر مرحله از اصلاح و تعدیل مؤلفه‌ها، شناخت مناسبی از دامنه قابل قبول و حساسیت آن‌ها در فرآیند کلی بیلان وجود داشته باشد.

۷- بعد از این که مؤلفه‌های مربوط به بیلان آب زیرزمینی بهینه‌سازی گردید و در این مسیر، چنانچه مؤلفه‌های بیلان هیدروکلیماتولوژی تغییر کرد، اثر آن مجدداً بر روی سایر مؤلفه‌ها بیلان هیدروکلیماتولوژی و همچنین بیلان عمومی رصد می‌شود. از آنجاکه برخی از مؤلفه‌ها خود وابسته به پارامترهای دیگری هستند، باید در برآورد و دامنه تغییرات آن‌ها دقت نمود، همانند جریان زیرزمینی ورودی و خروجی که به اطلاعات قابلیت انتقال و شیب هیدرولیکی (تحت تأثیر چگونگی ترسیم تراز آب زیرزمینی)، وابسته است.

۸- پس از بازنگری، تنظیم و منطقی کردن مؤلفه‌های بیلان‌های هیدروکلیماتولوژی، عمومی و آبخوان آبرفتی، دو بیلان جانبی (که جنبه کنترل دارد)، شامل بیلان آب سطحی و بیلان آب زیرزمینی تهیه می‌گردد. در مسیر

تهیه این دو بیلان، ممکن است برخی از مؤلفه‌های بیلان سه‌گانه اصلی (هیدروکلیماتولوژی، عمومی و آبخوان آبرفتی)، نیاز به بازنگری مجدد و تدقیق داشته باشند.

۹- پس از اتمام بیلان یک محدوده مطالعاتی، برای سایر محدوده‌های مطالعاتی حوضه آبریز نیز فرآیند یاد شده انجام می‌گیرد. در این مسیر، ممکن است دو اتفاق بیفتد. نخست آن که ارقام ورودی‌ها و خروجی‌ها در تراز کردن بیلان یک محدوده مطالعاتی به انحراف سایر مؤلفه‌ها منجر گردد و دوم این که رفتار منطقی، هماهنگی نسبی و قابل قبول برای ضرایب و مؤلفه‌های بیلان‌های سه گانه اصلی در سطح کل حوضه آبریز رخ ندهد. به طور مثال درصد تبخیر و تعرق از باران در دشت و ارتفاعات (آبخوان و یا خارج آبخوان) کل محدوده‌ها فاقد هماهنگی نسبی باشد و دامنه تغییرات آن‌ها زیاد باشد، یا این که ضریب میزان آب برگشتی‌ها بین محدوده‌های مطالعاتی تفاوت زیادی نسبت به هم داشته باشند و ... . از این رو می‌توان اطلاعات بندهای ۲ و ۱ را از نظر سطح اعتماد مجددا اصلاح و ترمیم نمود.

۱-۳- نکات قابل توجه در فرآیند تهیه بیلان

- در بیلان، ورودی اصلی، باران (و جریان سطحی و زیرزمینی ورودی و انتقالی) بوده و پارامتر خروجی اصلی نیز شامل تبخیر و تعرق واقعی و جریان سطحی و زیرزمینی خروجی و انتقالی است. باران و دبی خروجی اگر دارای ایستگاه اندازه‌گیری باشد، اطلاعات آن‌ها مبتنی بر سنجش است و اگر ایستگاه نداشته باشد، از سایر روش‌ها قابل برآورد است (در حقیقت باران و دبی نقاط کنترلی اصلی در محاسبات به شمار می‌رود). در ادامه، فعل و انفعالات داخل محدوده مطالعاتی مورد کارشناسی قرار می‌گیرد و سایر مؤلفه‌های بیلان در اندرکنش با یکدیگر، محاسبه و یا برآورد می‌شود.
- در فرآیند تهیه بیلان (چنانچه نیازی به بیلان ارتفاعات نباشد)، می‌توان به منظور تسهیل در بیلان آب سطحی و آب زیرزمینی، ناحیه‌های اصلی (به جای دشت و ارتفاعات)، آبخوان، خارج آبخوان (مشرف و غیرمشرف) انتخاب گردد و منابع و مصارف در این دو ناحیه محاسبه، احصا و برآورد شود.
- از آنجاکه شدت بارندگی بر روی تولید باران مفید اثر زیادی دارد، توصیه می‌گردد به منظور کاهش میزان خطا در بیلان هیدروکلیماتولوژی در مناطقی که تولید رواناب متأثر از رگبار است (دارای مسیل‌های فصلی است)، حتی المقدور روش روزانه به‌کار گرفته شود.
- در روش روزانه چنانچه از اطلاعات سال آبی نزدیک به شرایط متوسط استفاده می‌گردد، ضروری است در سایر نواحی (و محدوده‌های مطالعاتی)، حتی‌الامکان از همان سال آبی برای استفاده از رفتار ریزش‌های جوی سالانه استفاده گردد، چراکه انتخاب سنوات متفاوت در خروجی بسیار اثرگذار است.
- میزان نفوذ از بارندگی در سطح آبخوان و یا دشت و یا آب برگشتی ناشی از مصارف کشاورزی، به سطح آب زیرزمینی آبخوان نیز ارتباط دارد. اگرچه خاصیت موئینگی اثرگذار است.

- برای برآورد زهکشی در ارتفاعات (یا خارج آبخوان) می‌توان میزان حجم نفوذ از ریزش‌های جوی در ارتفاعات (یا خارج آبخوان) را از تخلیه در ارتفاعات (یا خارج آبخوان) مشتمل بر چاه، چشمه و قنات و تغذیه جانبی آبخوان کسر نمود. در این مرحله به نفوذ در ارتفاعات، باید جریان زیرزمینی احتمالی ورودی از محدوده مطالعاتی یا حوضه آبریز و نیز نفوذ آب برگشتی از مصارف مختلف در ارتفاعات (یا خارج آبخوان) افزوده شود. از آنجاکه ممکن است در برخی موارد، آبخوان‌های مربوط به بعضی از محدوده‌های مطالعاتی به یکدیگر متصل باشند، لذا باید توجه داشت که تغذیه جانبی مورد نظر در این قسمت صرفا از ارتفاعات است و شامل تغذیه جانبی آبخوان از محدوده مطالعاتی مجاور نمی‌شود (با توجه به این که جریان زیرزمینی ورودی به آبخوان از طریق محاسبات جبهه‌های ورودی به آبخوان تهیه می‌گردد و این ورودی‌ها توأمان شامل جریان زیرزمینی ورودی احتمالی از آبخوان محدوده مجاور و همچنین ارتفاعات می‌باشد)، چنانچه کل تغذیه جانبی آبخوان (از ارتفاعات و از محدوده مطالعاتی مجاور) را ملاک قرار دهیم، لازم است به ورودی‌های ارتفاعات، حجم جریان زیرزمینی ورودی (از آبخوان مجاور به آبخوان این محدوده مطالعاتی) را نیز اضافه نمود.
- در بحث کنترل بیلان هیدروکلیماتولوژی، باید به نفوذ در ارتفاعات با توجه به میزان تغذیه جانبی آبخوان و تخلیه و برداشت منابع اب زیرزمینی در ارتفاعات (یا خارج آبخوان) و زهکشی رودخانه‌ای ارتفاعات (یا خارج آبخوان) توجه شود تا هماهنگی نسبی و مناسب داشته باشد. البته موضوع مصرف در ارتفاعات (یا خارج آبخوان) و امکان تغذیه مجدد ناشی از آب برگشتی می‌تواند در این زمینه اثرگذار باشد.
- در ترسیم منحنی‌های هم‌تراز و ارزیابی حجم جریان جانبی ورودی به آبخوان، باید توأمان به حجم نفوذ در ارتفاعات (و یا نواحی خارج آبخوان مشرف به آبخوان)، تخلیه‌ها در این ناحیه و همچنین شیب هیدرولیکی و قابلیت انتقال توجه داشت.
- در ارزیابی آب برگشتی از مصارف مختلف و مصرف خالص باید هماهنگی قابل قبولی در بیلان آبخوان آبرفتی و بیلان عمومی (و همچنین بیلان‌های آب سطحی و زیرزمینی)، ایجاد گردد.
- در ارزیابی حجم آب برگشتی از مصارف شرب، صنعت و کشاورزی به آب سطحی و زیرزمینی باید به چگونگی مصرف کشاورزی (داخل شبکه آبیاری واجد زهکشی، خارج شبکه، ارتفاعات، وضعیت سطح ایستابی، تخلخل و همچنین اطلاعات بیلان قبلی و میزان نفوذ از آب برگشتی کشاورزی به آبخوان و همچنین کل آب برگشتی در بیلان عمومی)، شرب (وضعیت چاه‌های جذبی، شبکه جمع‌آوری فاضلاب، زهکش شدن برخی از چاه‌ها به آب سطحی، جمع‌آوری سنتی و تخلیه به آب سطحی و ...) و همچنین صنعت (وضعیت بازچرخانی و دفع آب بازگشتی و توجه به مصارف خالص فرآیندی و غیرفرآیندی)، توجه شود و درصدها با توجه به میانگین وزنی انواع مصرف در ستون‌های مربوطه درج گردد.
- در برخی از محدوده‌های مطالعاتی، منحنی‌های تراز ترسیم شده در خروجی نشان از وجود جریان زیرزمینی خروجی دارد، لیکن به دلیل آنکه پس از آن مقاطع سنگ کف بالا می‌آید، این جریان زیرزمینی خروجی به

عنوان زهکش تلقی می‌گردد. بنابراین این موضوع باید در بیلان آب زیرزمینی و همچنین محاسبات بیلان آب سطحی دیده شود.

- اساساً در سطح یک حوضه آبریز انتظار بر آن است که درصد «تبخیر و تعرق واقعی از باران» با افزایش دما افزایش یابد. لیکن چون این درصد به عوامل دیگری همچون ذخیره رطوبت خاک و باران نیز مرتبط است، انحراف منطقی از پیش‌فرض اولیه تا حدودی ممکن است.
- در دشت‌های دارای اراضی کشاورزی، میزان «تبخیر و تعرق واقعی از باران» از آنچه که محاسبه می‌گردد، می‌تواند کم‌تر باشد؛ چراکه آن قسمت از بارندگی که بر روی اراضی کشاورزی رخ می‌دهد (در فصل کشت)، باید به عنوان بارندگی مفید تلقی گردد و در چرخه قرار داده شود که البته سهم آن ناچیز است، چون بارندگی‌ها عمدتاً در فصل غیرزراعی رخ می‌دهد. (چنانچه باران به‌هنگام داشته باشیم، تبخیر و تعرق از بارندگی کم‌تر می‌شود و در تراز بیلان عمومی سایر مولفه‌های خروجی از جمله مصرف خالص افزایش خواهد یافت و اثر ثانویه بر بیلان‌های دیگر خواهد داشت).
- در مسیر محاسبه زهکشی ارتفاعات و هماهنگی آن با دبی پایه در ایستگاه‌های خروجی از ارتفاعات، حجم جریان نفوذ به ارتفاعات کنترل می‌گردد. در حقیقت این دبی پایه برآورد شده که به عنوان زهکشی ارتفاعات تلقی می‌شود، بخشی از بارندگی مفید است که به ارتفاعات نفوذ کرده و پس از مدتی (بسته به شرایط و ساختار ژئومورفولوژی ارتفاعات)، به صورت چشمه و یا زهکش رودخانه‌ای به شکل جریان سطحی ظهور می‌کند. بنابراین میزان نفوذ در ارتفاعات باید علاوه بر تأمین حجم جریان زیرزمینی ورودی به آبخوان و تخلیه چاه‌ها و قنوات خارج آبخوان (سازند سخت و حاشیه رودخانه و میان‌دشتی)، توان پاسخ به زهکشی ارتفاعات را نیز داشته باشد.
- استناد به اطلاعات ایستگاه‌های هیدرومتری برای:

الف- ارزیابی کل باران مفید: اگر ایستگاه بکر باشد، کل جریان سطحی در مقطع ایستگاه هیدرومتری بکر به‌علاوه جریان زیرزمینی عبوری از مقطع ایستگاه، تقریبا کل بارندگی مفید ارتفاعات را تشکیل می‌دهد. چنانچه ایستگاه بکر نبود (شامل برداشت، مصرف و انتقال بود)، باید اثرات آن‌ها دیده شود و تقریبا بیلان عمومی برای حوضه آبریز ایستگاه بسته شود، هر چه میزان مصرف کم‌تر باشد، عدم قطعیت تبخیر و تعرق واقعی از باران کم‌تر می‌شود.

ب- تفکیک نفوذ و رواناب در بیلان هیدروکلیماتولوژی: نظر به این که در ایستگاه‌های هیدرومتری تفکیک سهم دبی پایه از رواناب از طریق روش‌های متداول و مرسوم، امکان دارد، از نتایج این تحلیل‌ها می‌توان سهم رواناب را برآورد نمود. در ادامه، دبی پایه به علاوه جریان زیرزمینی ورودی به آبخوان (تغذیه جانبی آبخوان) و به‌علاوه مصارف خالص، سهم نفوذ را تشکیل می‌دهد.

جدول ۱-۱- بیلان هیدروکلیماتولوژی در نواحی مختلف محدوده مطالعاتی (میلیون مترمکعب در سال)

ناحیه	وسعت (کیلومترمربع)	حجم بارندگی	تبخیر و تعرق حقیقی	بارندگی مفید		ملاحظات
				رواناب	نفوذ	
دشت						
ارتفاعات						
آبخوان						
خارج آبخوان مشرف به آبخوان						
خارج آبخوان غیر مشرف به آبخوان						
مجموع						

جدول ۱-۲- بیلان عمومی آب در محدوده مطالعاتی (میلیون مترمکعب در سال)

ورودی					خروجی							تغییرات ذخیره		ملاحظات
بارندگی		جریان سطحی ورودی	جریان زیرزمینی ورودی	آب‌های انتقالی به محدوده	جمع	تبخیر و تعرق				جریان سطحی خروجی	جریان زیرزمینی خروجی	آب‌های انتقالی به خارج	جمع	مخازن آب سطحی	مخازن آب زیرزمینی	
ارتفاعات	دشت					از بارندگی	از آب آزاد	از سفره	مصرف خالص							

جدول ۱-۳- بیلان آب زیرزمینی آبخوان آبرفتی (میلیون مترمکعب در سال)

وسعت محدوده بیلان (کیلومترمربع)	تغذیه						تخلیه						تغییرات حجم ذخیره
	جریان زیرزمینی ورودی	نفوذ از بارندگی	نفوذ ازجریان‌های سطحی	نفوذ از آب کشاورزی و فضای سبز	نفوذ از آب شرب	نفوذ از آب صنعت	جمع تغذیه	تخلیه از چاه، چشمه و قنات	زهکشی	تبخیر از آبخوان	خروجی زیرزمینی	جمع تخلیه	

جدول ۱-۴- بیلان آب سطحی در سطح کل محدوده مطالعاتی (میلیون مترمکعب درسال)

ورودی‌ها								خروجی‌ها							تغییرات ذخیره
رواناب دشت (یا آبخوان)	رواناب ارتفاعات (یا خارج آبخوان)	تخلیه قنوات	تخلیه چشمه‌ها	زهکشی در دشت (یا آبخوان)	زهکشی در ارتفاعات (یا خارج آبخوان)	آب سطحی ورودی	آب سطحی انتقالی	آب برگشتی ابه آب سطحی	مجموع	برداشت از چشمه‌ها	برداشت از قنوات	برداشت از آب سطحی	نفوذ از جریان سطحی	تبخیر از آب سطحی	آب سطحی خروجی	آب سطحی انتقالی	مجموع	

جدول ۱-۵- بیلان آب زیرزمینی در سطح کل محدوده مطالعاتی (میلیون مترمکعب درسال)

ورودی‌ها						خروجی‌ها								تغییرات ذخیره
آب زیرزمینی ورودی از محدوده‌های مطالعاتی مجاور	نفوذ باران در دشت (یا آبخوان)	نفوذ از باران در ارتفاعات (یا خارج آبخوان)	نفوذ از مصارف شرب، صنعت، کشاورزی و فضای سبز	نفوذ از جریان سطحی	مجموع	تخلیه از چاه‌ها	تخلیه از چشمه‌ها	تخلیه از قنوات	زهکشی در دشت (یا آبخوان)	زهکشی در ارتفاعات (یا خارج آبخوان)	تبخیر از آب زیرزمینی	خروجی زیرزمینی به محدوده‌های مطالعاتی مجاور	آب زیرزمینی انتقالی	مجموع	

نکته:

- همان‌طور که در نکات قابل توجه در فرآیند تهیه بیلان گفته شد، در برخی از محدوده‌های مطالعاتی، منحنی‌های تراز و مقاطع ترسیم شده، نشان از وجود جریان زیرزمینی خروجی دارد، لیکن به دلیل آنکه پس از آن مقاطع، سنگ کف بالا می‌آید، این جریان زیرزمینی خروجی به عنوان زهکش تلقی می‌گردد. بنابراین این موضوع باید در بیلان آب زیرزمینی و همچنین محاسبات بیلان آب سطحی دیده شود.
- در بیلان آب زیرزمینی، عملا پارامتری مستقل تحت عنوان آب زیرزمینی به انتقالی وجود ندارد و هرگونه انتقال آب زیرزمینی، عموما بعد از پمپاژ و تخلیه از چاه‌ها صورت می‌گیرد، که این موضوع باید مد نظر قرار گیرد.
- در بیلان آب زیرزمینی، پارامتر «خروجی زیرزمینی به محدوده‌های مطالعاتی مجاور» شامل کل خروجی از محدوده مطالعاتی می‌شود و این خروجی مشتمل بر خروجی از آبخوان به آبخوان پایین‌دست (در آبخوان‌های پیوسته)، خروجی از آبخوان از مرز خشکی کشور و همچنین خروجی آب زیرزمینی از ارتفاعات به محدوده مطالعاتی مجاور و یا خارج از مرز خشکی کشور است.

فصل ۲

راهنمای تعیین سال شکست و تعیین دوره آماری

۲-۱- مقدمه

روند کاهش جریان سطحی در مقاطع مختلف رودخانه‌ها به خصوص در مناطق پایاب آن به علت تشدید برداشت آب در بالادست و یا کنترل و تنظیم جریان توسط سدهای ذخیره‌ای، تنظیمی و یا سایر سازه‌ها در دهه‌های اخیر می‌باشد. بنابراین ملاک قرار دادن آبدهی متوسط کل دوره آماری ایستگاه‌های هیدرومتری، برای برآورد جریان ورودی و خروجی می‌تواند منجر به تعیین مقادیری گردد که بعضاً بسیار دور از واقعیت است. از این نظر در برآورد آبدهی ورودی به پایانه‌های آبی به این نکته توجه شده است که شرایط گذشته (عدم وجود سازه‌های کنترل‌کننده جریان، برداشت در حد مقادیر سنتی و ...) تقریبا غیرقابل برگشت بوده و مقادیر برآورد شده باید نشان‌دهنده وضعیت فعلی و آینده نزدیک باشد. برای تعیین دوره بیلان باید توأمان به دو موضوع اهمیت داد؛ از یک سو باید دوره‌ای را تشخیص داد که رفتار حوضه آبریز شرایط تثبیت‌شده‌ای پیدا کرده و تحت عنوان دوره بعد از سال شکست شناخته می‌شود (که اساسا این دوره تحت تاثیر مصارف قرار دارد) و از سوی دیگر با عنایت به اینکه نتایج بیلان برای یک سال (که نماینده یا معدل پارامترهای یک دوره است) گزارش می‌گردد، منابع آب و عوامل موثر بر آب تجدیدپذیر تازه باید محتمل‌ترین شرایط را داشته باشد.

۲-۲- سال شکست

روش‌های متعددی همچون خوشه‌بندی منظم، آزمون پتیت و منحنی جرم مضاعف[۱] برای ارزیابی سال شکست وجود دارد که مبانی تئوریک آن‌ها در منابع مختلف ارائه شده است. در این راهنما، برای تعیین سال شکست از منحنی جرم مضاعف به دلیل سادگی و امکان تشخیص صحیح تغییرات استفاده شده است. وجود یک یا چند شکستگی در خط به معنی آن است که تغییری در نسبت تناسب بین متغیرها رخ داده است. اساسا از روش آزمون منحنی جرم مضاعف برای کشف نقاط تغییر در روند یکنواخت داده‌های هیدروکلیماتولوژی استفاده می‌گردد. علل متعددی ممکن است باعث غیریکنواختی داده‌های ثبت‌شده‌ی یک ایستگاه آب و هواشناسی باشد که برخی تحت تاثیر تغییر در محل و یا تجهیزات ایستگاه است و برخی دیگر مربوط به تغییر در پارامترهای چرخه آب حوضه آبریز می‌باشد.

به عنوان مثال بارها اتفاق افتاده است که محل یک ایستگاه هیدرومتری به پایین‌دست یا بالادست محل سابق آن تغییر داده شده است و به علت اینکه سطح حوضه آبریز در دو محل فعلی و سابق چندان تغییر نکرده است و یا اختلاف آن‌ها کم می‌باشد، این دو محل تحت یک نام آماربرداری شده‌اند. حال اگر سری داده‌های تجمعی این ایستگاه را نسبت به داده‌های تجمعی ایستگاه دیگری که از یکنواختی سری ثبت شده آن اطمینان داریم، با منحنی جرم مضاعف آزمون

۱- Double Mass Curve

نماییم، همین تغییر جزئی در سطح حوضه که باعث تغییر جزئی در میزان آبدهی سالانه گردیده در منحنی تجمعی خود را به صورت یک شکستگی در سالی که این جابجایی رخ داده است، نشان می‌دهد. شدت و ضعف میزان تغییر شیب خط در قبل و بعد از شکستگی نشان‌دهنده شدت و ضعف میزان تغییر در آبدهی است و می‌توان با توجه به همین تغییر شیب نسبت به یکنواخت کردن داده‌ها اقدام نمود.

جابجایی ایستگاه‌های باران‌سنجی نیز ممکن است باعث غیر یکنواخت شدن سری داده‌های تاریخی بارندگی ایستگاه گردد. تغییر در میزان مصرف از آب‌های سطحی یک حوضه، به طور مستقیم سری داده‌های ثبت شده ایستگاه‌های هیدرومتری را تحت تاثیر قرار می‌دهد و همچنین تغییر در میزان تخلیه از منابع آب زیرزمینی به طور غیرمستقیم بر جریان سطحی اثر می‌گذارد و انتقال بین‌حوضه‌ای آب باعث تغییر در یکنواختی سری داده‌های ایستگاه‌هایی در حوضه مبدأ و حوضه مقصد خواهد شد و در نهایت تغییر در شیوه پاسخگویی حوضه به بارش به سبب تولید باران مفید نیز در یکنواختی سری داده‌ها اثرگذار است. این تغییر شیوه می‌تواند متأثر از تغییر کاربری حوضه باشد و یا تحت تأثیر تغییر اقلیم حادث گردد.

در مطالعات بیلان از یک سو باید داده‌های ثبت شده ایستگاه‌های هیدرومتری را طی یک دوره‌ی زمانی مشترک مورد استفاده قرار دهیم و از سوی دیگر این داده‌ها به علت اینکه دستخوش تغییرات تدریجی یا یکباره در حوضه آبریز می‌باشند (تغییرات در مصرف، ایجاد سازه‌های آبی، تغییرات پوشش گیاهی، انتقال آب و ...)، فاقد شرایط یکنواخت بوده و به‌کارگیری مستقیم آن‌ها نمی‌تواند مبین رفتار فعلی و یا آتی رودخانه از نظر آبدهی باشد. این موضوع می‌تواند در ظاهرسازی تغییر رفتار برخی از پارامترهای چرخه آب و تعیین دوره آماری (شاخص) که به عنوان دوره زمانی مشترک انتخاب می‌شود، کمک نماید.

منحنی جرم مضاعف یک روش شناخته شده و معتبر برای آزمون یکنواختی و تصحیح غیریکنواختی در سری داده‌های تاریخی هیدرولوژیکی و هواشناسی است که این غیریکنواختی می‌تواند ناشی از تغییرات محیطی و یا تغییرات در روش‌های پایش و یا پردازش داده‌ها باشد.

اگر داده‌های سالانه ثبت شده در P سال از ایستگاه A را (که قبلاً مورد کنترل قرار گرفته‌اند) با $y_1, y_2, ...y_p$ و مقادیر داده‌های ثبت شده متناظر برای ایستگاه دیگر یا میانگین مجموعه‌ای از ایستگاه‌های دیگر را که الگوی تغییرات آن یکنواخت دانسته شده است با $x_1, x_2, ...x_p$ نام‌گذاری کنیم، دو سری داده‌های محاسبه شده زیر قابل حصول است.

$$Y_k = \sum_{1}^{k} y_t \quad و \quad X_k = \sum_{1}^{k} x_t \qquad (k = 1, 2, ...p)$$

منحنی یا خط برازش داده شده بر مجموعه نقاط (Y_k و X_k) شکلی به دست می‌دهد که به آن «منحنی جرم مضاعف» می‌گویند.

تئوری منحنی جرم مضاعف بر این اصل استوار است که شکل حاصل از مقادیر تجمعی یک کمیت بر حسب مقادیر تجمعی کمیت دیگر در یک پریود زمانی متناظر، در صورتی که داده‌ها متناسب باشند، یک خط راست است و شیب خط بیان کننده نسبت تناسب مورد انتظار بین کمیت‌ها است.

نظر به اینکه اساسا مقادیر باران سالانه حوضه‌های آبریز و همچنین جریان سطحی ایستگاهای هیدرومتری (مهم) در سطح حوضه آبریز توسط شرکت مدیریت منابع آب ایران گزارش می‌گردد، لذا در صورت دسترسی به این اطلاعات می‌توان از آن‌ها استفاده کرد. در صورت عدم دسترسی می‌توان چندین ایستگاه هیدرومتری را در حوضه آبریز که سطح حوضه قابل قبولی نسبت به کل حوضه آبریز داشته باشند انتخاب کرد. در انتخاب ایستگاه‌ها باید دقت شود که ایستگاه‌های منتهی به پایانه اساسا می‌تواند تغییرات شرایط در سطح حوضه را نمایان سازد. ضروری است که این ایستگاه‌ها حوضه آبریز مشترکی نداشته باشند و با جمع کردن سطح حوضه آبریز می‌توان گزارش نمود که چه درصد از زهکشی حوضه مورد سنجش قرار گرفته است. هر چه این درصد بزرگ‌تر باشد، تشخیص رفتار حوضه بهتر خواهد بود. با تجمیع اطلاعات ایستگاه یا ایستگاه‌های هیدرومتری در سنوات مختلف (در دوره آماری مشترک طولانی‌مدت)، می‌توان وضعیت تغییرات جریان سطحی را در سطح حوضه مورد مطالعه قرار داد.

برای به‌کارگیری روش جرم مضاعف (یا آبدهی مورد انتظار)، آبدهی تجمعی ایستگاه‌های هیدرومتری، در مقابل باران و سال آبی ترسیم شده (در این مطالعات فرض بر این است که تغییر میزان باران در مقابل تغییرات آبدهی بسیار کم است) و نتایج آن به صورت شکل (۲-۱) ارائه شده است. همچنین متوسط باران حوضه آبریز و مجموع دبی سالانه در ایستگاه‌های هیدرومتری مورد نظر در شکل (۲-۲) ارائه شده است، این منحنی‌ها نشان می‌دهد که از سال آبی ۷۶-۱۳۷۵ به بعد یک شکستگی واضح در دبی مورد انتظار بروز کرده است و عملاً دیگر دبی‌های گذشته را نمی‌توان انتظار داشت. از این رو این سال آبی به عنوان سال شکست در روند آبدهی برای حوضه آبریز مورد مطالعه معرفی می‌گردد.

در روش ساده‌تر تنها ایستگاه‌های هیدرومتری مهم در منطقه، مورد مطالعه قرار می‌گیرد و احجام تجمعی (مجموع) ایستگاه‌های هیدرومتری ترسیم می‌گردد و از روی روند می‌توان تغییرات را کشف و سال شکست را تعیین نمود. اگر چه این سال برای هر یک از زیرحوضه‌های منتهی به پایانه آبی (به دلیل سال بهره‌برداری از تاسیسات آبی) ممکن است متفاوت باشد، و لیکن در مجموع از سال ۱۳۷۲ تا ۱۳۸۰ سدهای مهمی در سطح حوضه‌های آبریز کشور مورد بهره‌برداری قرار گرفت و همچنین افزایش مصرف مستقیم (سنتی)، در همین سال‌ها افزایش داشته و از سوی دیگر، بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی نیز در طی سال‌های یاد شده شدت گرفته است (به طوری‌که در برخی از محدوده‌های مطالعاتی با مراجعه به آمار سال حفاری چاه‌های‌برداری، مشخص می‌گردد حجم برداشت از آب زیزمینی تا حدود بسیار زیادی افزایش یافته است و این امر سبب کاهش زهکشی رودخانه و افزایش تغذیه آبخوان از طریق رودخانه – به دلیل تغییر در شیب هیدرولیکی- شده است). از این رو در مجموع برای کل حوضه آبریز، یک سال مبنا قرار گرفته است.

۲-۳- دوره آماری

برای تهیه بیلان قبل از برآورد پارامترها مشخص نمودن دوره و محدوده بیلان ضروری بوده و بایستی تمامی پارامترها در محدوده زمانی و مکانی تعیین شده محاسبه و یا برآورد شوند. در حال حاضر در محاسبات بیلان گزارشات مرسوم، عمدتا برای بارش و دما و آبدهی دوره طولانی‌مدت (دوره شاخص آماری) در نظر گرفته شده است. محاسبات تغییرات سطح آب نیز براساس ثبت داده‌های چاه‌های مشاهده‌ای طی دوره شاخص انجام شده و برای برداشت از منابع آب، داده‌های به‌هنگام شده از آخرین آماربرداری استفاده می‌شود. همچنین خروجی‌های بیلان مبتنی بر شرایط پایدار متاثر از مصارف، ارزیابی می‌گردد.

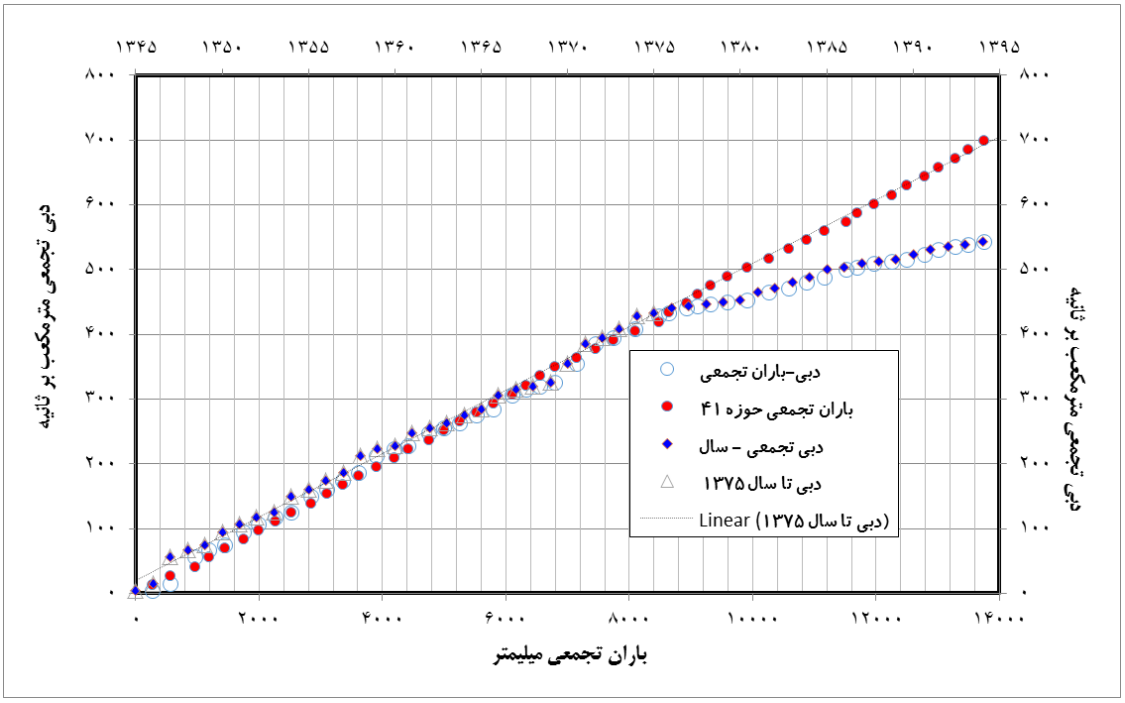
پس از تعیین سال شکست، دوره آماری الزاما باید بعد از این سال انتخاب گردد. البته با توجه به اینکه اساسا گزارش‌های بیلان به طور هم‌زمان و با یک دوره آماری مشترک برای کل حوضه‌های آبریز و محدوده‌های مطالعاتی کشور تهیه می‌گردد، ضروری است با توجه به پتانسیل اطلاعات موجود و تغییرات رخ داده در سال‌های اخیر، محتمل‌ترین شرایط برای تراز نمودن پارامترهای چرخه آب مورد استفاده قرار گیرد.

در سال ۱۳۹۹، بر اساس مطالعات صورت گرفته توسط پژوهشگران مختلف و دریافت نظرات کارشناسان شرکت‌های آب منطقه‌ای و شرکت‌های مهندسین مشاور مرتبط و نیز بازخوردهای دریافت شده از نتایج بیلان منابع آب منتهی به سال آبی ۹۰-۱۳۸۹، مشخص شد که از حدود سال‌های ۱۳۷۵ تا ۱۳۸۰، در بسیاری از مناطق کشور، مصارف آب به صورت چشم‌گیری افزایش یافته است که از این بازه زمانی به عنوان بازه شکست سری زمانی داده‌های آبدهی در منحنی جرم مضاعف ایستگاه‌های هیدرومتری یاد می‌شود. لذا با توجه به مطالب یاد شده، دوره شروع بیلان، منطبق بر بازه وقوع شکست داده‌های دبی ایستگاه‌های هیدرومتری قرار داده می‌شود. این انتخاب سبب خواهد شد تا تناسب نسبی بین این پارامتر که به شدت متاثر از مصارف آب سطحی و در مواردی نیز متاثر از مصارف آب زیرزمینی (به دلیل اندرکنش آب سطحی و زیرزمینی) بوده و همچنین تناسب با تمرکز دوره آماری هیدرورگراف آبخوان‌ها (که این پارامتر هم عمدتا ناظر به وضعیت بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی است)، ایجاد گردد. دوره مذکور برای تمامی داده‌های مورد استفاده مانند بارش، دما، تبخیر از تشتک، دبی، هیدروگراف معرف آبخوان و ... ملاک عمل واقع خواهد شد.

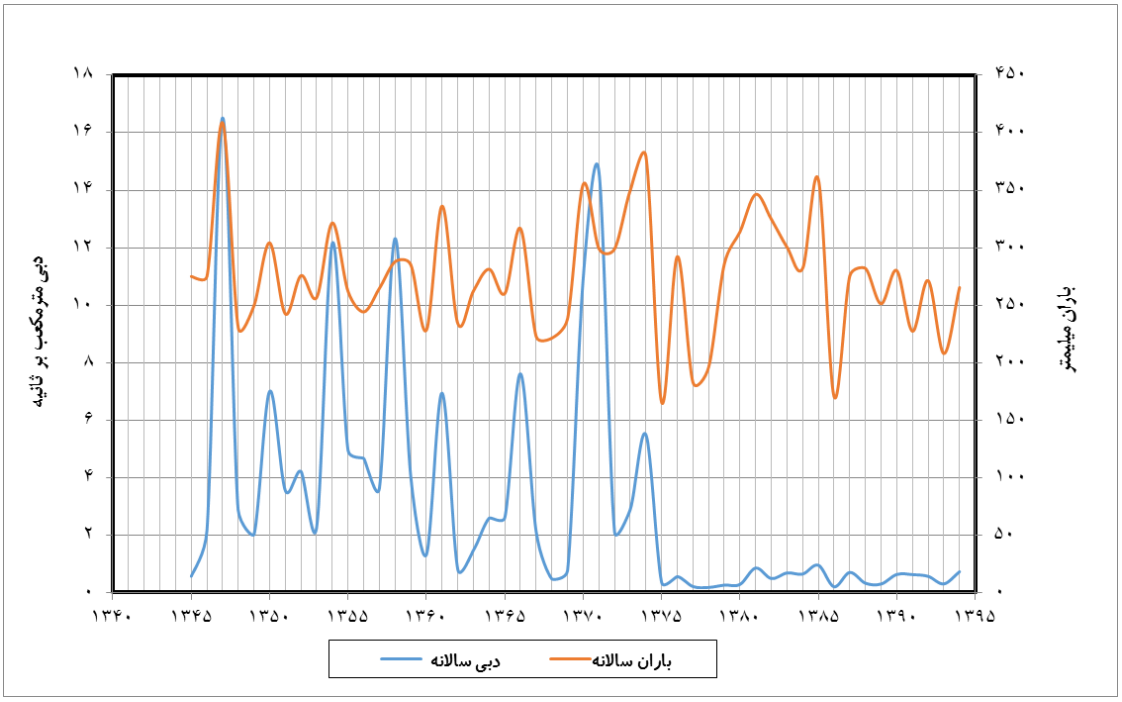
اولویت ۱: چنانچه استخراج اطلاعات مربوط به برداشت و مصارف (سطحی و زیرزمینی به تفکیک شرب، صنعت و کشاورزی) برای سال‌های مختلف دوره آماری فراهم باشد (از طریق روش‌های پیشنهادی مهیا بوده و اطلاعات قابل قبولی از آن بتوان دست یافت) امکان تهیه بیلان برای همه سال‌های دوره آماری وجود دارد و بیلان متوسط سالانه با معدل‌گیری این نتایج قابل احصا است (در حال حاضر از این رویکرد استفاده نمی‌گردد).

اولویت ۲: محتمل‌ترین شرایط، به عنوان مبنای انتخاب دوره آماری تعیین می‌گردد، از این رو برای پارامترهای متاثر از اقلیم همانند باران، دما و تبخیر (از تشت و سطح آزاد) که اساسا ورودی‌ها (مبتنی بر باران مفید) را می‌سازد، از متوسط دوره استخراج می‌گردد، همچنین ورودی و خروجی زیرزمینی در آبخوان‌های فاقد افت مستمر و نیز کسری

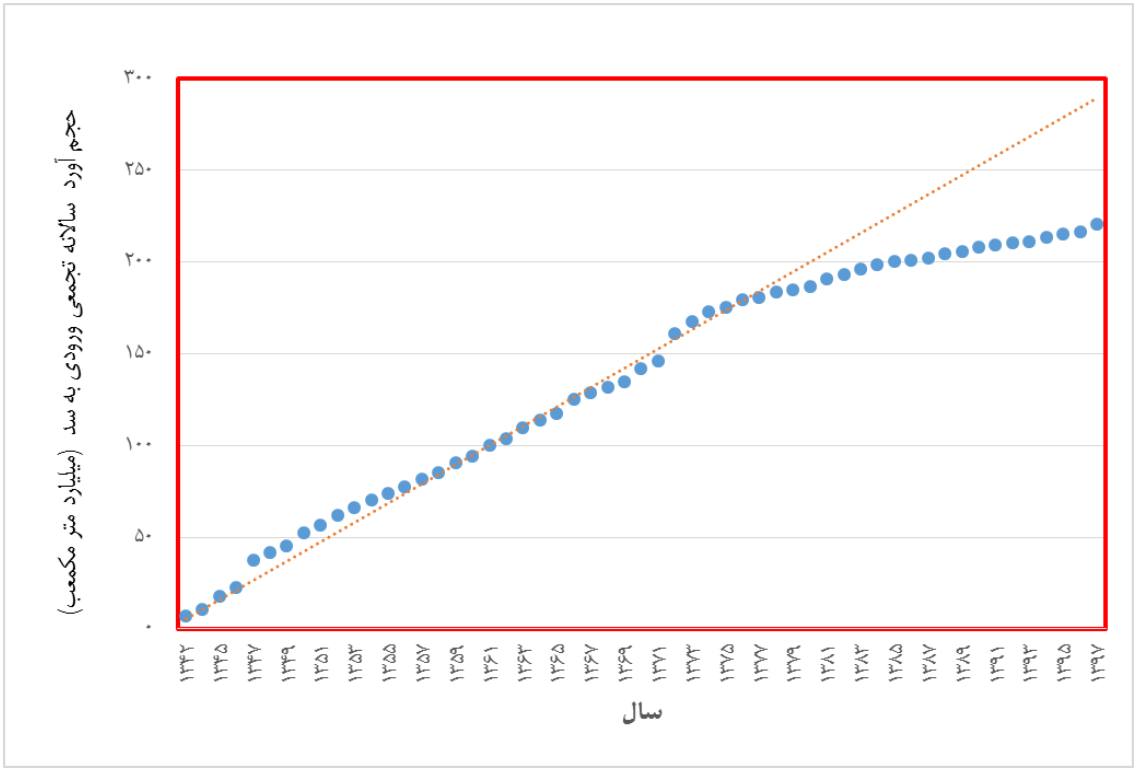
مخزن، بر متوسط دوره استوار است و پارامترهای خروجی (جریان سطحی و زیرزمینی که دارای تغییرات مستمر هستند) و همچنین برداشت و مصرف در قالب شرایط پایدار و تثبیت شده، لحاظ می‌شود. از این رو بعد از تشخیص دوره شکست و تعیین دوره آماری، اطلاعات بیلان هیدروکلیماتولوژی مبتنی بر دوره آماری (متوسط یک سال پارامترها یا معدل نتایج بیلان هیدروکلیماتولوژی سنوات) خواهد بود و اطلاعات خروجی (تعریف شده در بیلان عمومی) مبتنی بر آخرین شرایط (با اعمال اثر پایداری در برداشت‌ها و مصارف) انتخاب می‌گردد. در حال حاضر این رویکرد در روش‌شناسی بیلان‌های منابع و مصارف آب در کشور جاری است و این راهنما بر همین روش‌شناسی استوار است.



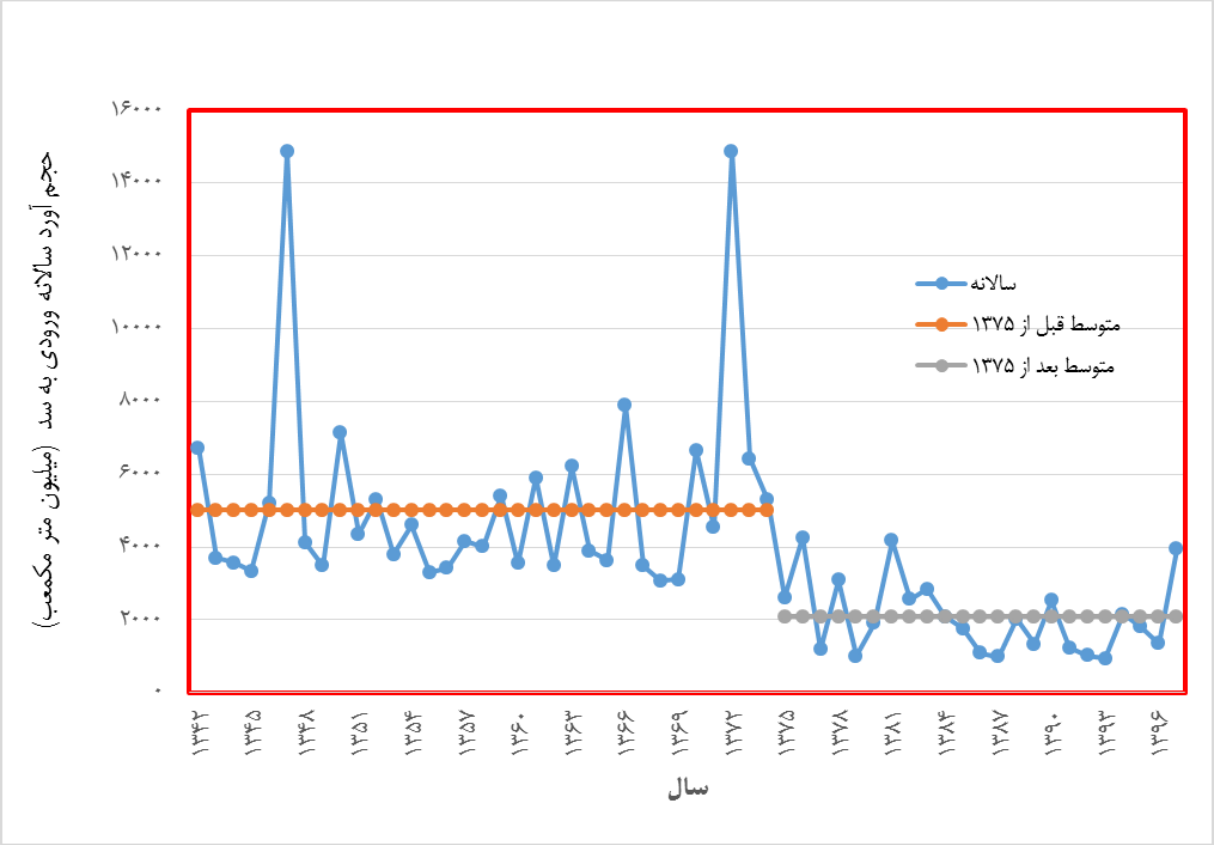
شکل ۲-۱- نمونه جرم مضاعف دبی و باران در حوضه آبریز دریاچه نمک



شکل ۲-۲- نمونه تغییرات دبی و باران سالانه در حوضه آبریز دریاچه نمک در سنوات آماری



شکل ۲-۳- نمونه جرم مضاعف دبی در حوضه آبریز سفید رود (ایستگاه‌های گیلوان و لوشان)



شکل ۲-۴- نمونه تغییرات دبی سالانه ایستگاه‌های هیدرومتری گیلوان و لوشان در حوضه آبریز سفید رود طی سنوات آماری

فصل ۳

راهنمای تکمیل خلأهای آماری در دوره شاخص

۳-۱- مقدمه

اساس و پایه مطالعات منابع آب، داده‌های آماری مورد قبول است. با توجه به خلأهای گسسته و پیوسته در اغلب داده‌های منابع آب همانند باران، دما و آبدهی رودخانه‌ها قدم اولیه در انجام کلیه مطالعات مربوط به منابع آب، دسترسی به داده‌های آماری صحیح و قابل اعتماد می‌باشد. گاهی اوقات به دلایل مختلف از جمله عدم ثبت آمار، خرابی دستگاه‌های اندازه‌گیری و حذف آمار غلط، تخمین و برآورد این داده‌ها ضروری است.

با توجه به اهمیت دسترسی به داده‌های صحیح و پیوسته جهت انجام مطالعات منابع آب دستیابی به یک روش صحیح برآورد بازسازی داده‌ها بسیار ضروری است. زیرا از یک طرف موجب کوتاه‌تر شدن مدت مطالعات و از طرف دیگر موجب برآورد دقیق‌تر پارامترهای هدف و کاهش هزینه‌های اجرایی و خسارات احتمالی بعدی ناشی از اجرای طرح‌های عمرانی می‌گردد. برای رفع خلأهای داده‌های یک ایستگاه اندازه‌گیری معمولا از روش‌های آماری و با کمک گرفتن از داده‌های ایستگاه‌های مجاور با تشابه هیدرولوژیکی، کلیماتولوژی و فیزیوگرافی نسبتا یکسان استفاده می‌گردد. با توجه به اهمیت موضوع اشاره شده، همواره محققین بسیاری نسبت به بازسازی و تخمین داده‌ها اقدام کرده‌اند. در فرآیند مطالعات بیلان، تکمیل خلأهای آماری یکی از اقدامات ضروری شمرده می‌شود. اساسا تکمیل خلأها، مربوط به آماری است که باید به طور مستمر توسط شبکه سنجش منابع آب برداشت شود. این شبکه در اولویت اول، شبکه سنجش هواشناسی (اطلاعات دما، باران و تبخیر، باد، رطوبت و ...)، شبکه سنجش آب سطحی (دبی، سیلاب، رسوب و کیفیت) و شبکه سنجش آب زیرزمینی (داده‌های چاه‌های مشاهده‌ای و داده‌های شبکه کیفی آب زیرزمینی) و در اولویت دوم، منابع آب انتخابی کمی را شامل می‌شود. از آنجا که در مطالعات بیلان ۵ پارامتر اصلی شامل دما، باران، تبخیر، دبی و نوسانات سطح آب زیرزمینی در فرآیند مطالعات مورد استفاده قرار می‌گیرد، لذا در صورت وجود خلأهای آماری در دوره شاخص، ضرورت دارد در حد مجاز نسبت به تکمیل، تطویل و بعضا بازسازی داده‌های اشتباه اقدام نمود. فرآیند تکمیل داده‌ها در مطالعات بیلان، از نظر زمانی، به دو مقیاس ماهانه و سالانه تفکیک می‌گردد. در مرحله نخست، پس از دریافت آمار و پالایش مکانی، خلأهای کوتاه‌مدت ماهانه آمار (جهت تکمیل آمار در یک سال آبی و دستیابی به اطلاعات آن سال)، تکمیل شده و در مرحله بعد به تکمیل خلأها در دوره شاخص در مقیاس زمانی سالانه پرداخته می‌شود. برای تکمیل داده‌ها در مقیاس‌های زمانی مختلف، روش‌های متفاوت و زیادی از میانگین‌گیری ساده تا روش‌های مبتنی بر هوش مصنوعی پیشنهاد شده است. با توجه به اینکه در به‌کارگیری این روش باید حجم و گستردگی مطالعات لحاظ گردد، لذا در مطالعات بیلان که تعداد زیادی ایستگاه مورد بررسی و تحلیل قرار می‌گیرد، روش‌هایی انتخاب می‌گردد که سریع‌تر به نتیجه در حد قابل قبول (با توجه به مقیاس کار)، برسد.

۳-۲- مقیاس ماهانه

تکمیل اطلاعات ایستگاه‌های شبکه سنجش در مقیاس ماهانه حداکثر ۶ ماه در یک سال آبی مجاز می‌باشد. اساسا در مطالعات بیلان، برآورد مقادیر ماهانه پارامترهای شبکه سنجش منابع آب در کل یک سال آبی توصیه نمی‌گردد و تکمیل اطلاعات یک سال آبی از دوره شاخص تنها در مقیاس سالانه مورد تاکید است. لذا تولید هرگونه روابط همبستگی در مقیاس ماهانه برای تکمیل اطلاعات ماهانه یک سال آبی منتفی است (تجربه نشان داده است که سطح اطمینان روابط همبستگی بین پارامترهای هیدروکلیماتولوژی که مقیاس زمانی ثبت کوتاه‌مدت دارند همانند باران روزانه و ماهانه، پائین می‌باشد). روش پیشنهادی برای تکمیل خلأهای ماهانه هر یک از پارامترهای ۵ گانه دما، باران، تبخیر، دبی و نوسانات سطح آب زیرزمینی به شکل زیر است.

۳-۲-۱- دما

تکمیل خلأهای آماری دما تنها برای حداکثر ۴ ماه در یک سال آبی مجاز است. از آنجاکه دمای متوسط ماهانه از معدل‌گیری دمای متوسط حداقل و دمای متوسط حداکثر ماهانه استخراج می‌گردد، ابتدا مقادیر این دو پارامتر اخیر برآورد می‌گردد. برای برآورد مقادیر دمای متوسط حداقل و متوسط حداکثر در ماه‌های فاقد آمار از روش تفاضل استفاده می‌شود.

۳-۲-۲- باران

آمار باران ماهانه حداکثر برای ۲ ماه برای ماه‌های پرباران و ۴ ماه برای ماه‌های کم‌باران از طریق روش نسبت‌ها و یا روش میانگین‌گیری ساده برآورد می‌گردد. در انتخاب ایستگاه‌های مبنا برای تکمیل اطلاعات باران باید به نزدیکی موقعیت و همچنین شرایط اقلیمی و میکرواقلیم توجه داشت.

۳-۲-۳- تبخیر از تشت

برای ماه‌های سرد سال که بعضا تشت‌های تبخیر جمع‌آوری شده و خلأهای آماری وجود دارد با استفاده از روابط همبستگی (توانی و یا نمایی) بین تبخیر هر ماه از دوره آماری موجود با دمای متوسط حداکثر در ماه متناظر (در دو مقطع زمانی شش ماهه اول و شش ماهه دوم و یا در یک مقطع زمانی) خلاها تکمیل می‌گردد. چنانچه تعداد آمار موجود در شش ماهه فصل سرد سال معدود باشد، می‌توان برای کل سنوات یک رابطه همبستگی استخراج کرد.

۳-۲-۴- دبی

آمار دبی ماهانه نیز همانند آمار باران ماهانه حداکثر برای ۲ ماه برای ماه‌های پرآب و ۴ ماه برای ماه‌های کم‌آب از طریق روش نسبت‌ها و یا روش میانگین‌گیری ساده برآورد می‌گردد. در انتخاب ایستگاه مبدأ برای تکمیل اطلاعات باید به موقعیت، همسانی فیزیکی و اقلیمی و همچنین سازه‌های برداشت آب توجه نمود.

۳-۲-۵- نوسانات سطح آب زیرزمینی در چاه‌های مشاهده‌ای

در این ارتباط می‌توان از روش‌های عکس مجذور فاصله‌ها، درون‌یابی خطی بین دو ماه، میانگین‌گیری ساده و یا روش تفاضل‌ها استفاده نمود. در برآورد ارقام مذکور باید به روند تغییرات سطح آب زیرزمینی چاه‌های مجاور و به‌ویژه به نقاط عطف منحنی هیدروگراف چاه‌های مشاهده‌ای توجه نمود.

۳-۳- روش‌های برآورد خلأهای آماری ماهانه

۳-۳-۱- روش میانگین‌گیری ساده ایستگاه‌های پیرامون

این روش در واقع همان روش میانگین‌گیری ساده ریاضی است که در هر زمان که ایستگاه مورد نظر دارای داده گم‌شده است از اعداد متناظر همان زمان در ایستگاه‌های اطراف ایستگاه مورد نظر میانگین گرفته می‌شود و برابر داده مفقود ایستگاه مورد نظر قرار داده می‌شود. این روش درصورتی‌که پراکندگی مناسبی بین ایستگاه مقصد و ایستگاه‌های پیرامون وجود داشته باشد برای دما، باران و نوسانات سطح آب زیرزمینی در مقیاس ماهانه مناسب است.

۳-۳-۲- روش تفاضل

اختلاف دمای متوسط حداقل و متوسط حداکثر و نوسانات سطح آب زیرزمینی در چاه‌های مشاهده‌ای هر ماه بین ایستگاه‌های مبدأ و مقصد در کل سال‌های دوره آماری محاسبه می‌گردد و متوسط این اختلاف‌ها به عنوان تفاضل دمایی یا تغییرات سطح آب زیرزمینی بین دو ایستگاه و یا چاه مشاهده‌ای مبدأ و مقصد برای هر ماه معرفی می‌گردد. در حقیقت ۱۲ تفاضل برای هر یک از پارامترهای دمایی یا چاه مشاهده‌ای در اختیار است. بر اساس این تفاضل‌ها، هر ماه که در ایستگاه مقصد داده دما یا چاه مشاهده‌ای وجود نداشت با اعمال رقم تفاضل مربوط به آن ماه در دمای متوسط حداقل یا متوسط حداکثر و داده سطح آب در چاه مشاهده‌ای ماه نظیر ایستگاه مبدأ، مقدار پارامتر دما و یا سطح برخورد به آب زیرزمینی در ایستگاه مقصد برآورد می‌گردد.

۳-۳-۳- روش نسبت ماهانه

نسبت باران، تبخیر و دبی هر ماه بین ایستگاه‌های مبدأ و مقصد در کل سال‌های دوره آماری محاسبه می‌گردد و متوسط این مقادیر به عنوان نسبت پارامتر مذکور در هر ماه بین دو ایستگاه معرفی می‌شود که با اعمال این نسبت امکان تکمیل خلأ آماری باران، تبخیر یا دبی از طریق ایستگاه مبدأ برای ایستگاه مقصد امکان‌پذیر خواهد بود.

۳-۴- مقیاس سالانه

همان‌طور که گفته شد، تکمیل خلأهای آماری در مقیاس سالانه برای دبی و باران صورت خواهد گرفت. در استخراج روابط همبستگی کل دوره آماری باران و دبی سالانه مد نظر قرار می‌گیرد و تکمیل و ارائه آمار مربوط به دوره شاخص تعیین می گردد. برای رفع خلأهای آماری یک ایستگاه اندازه‌گیری معمولاً از روش‌های آماری و با کمک گرفتن از داده‌های خود ایستگاه و داده‌های ایستگاه‌های مجاور (با دقت نظر بر تشابه هیدرولوژیکی، کلیماتولوژی و فیزیوگرافی نسبتا یکسان) استفاده می‌شود که در این خصوص روش‌های متنوعی نیز پیشنهاد شده است. روش‌های محور مختصات، روش نسبت نرمال، روش رگرسیونی ساده، روش رگرسیونی خطی چند متغیره، روش خود همبستگی و روش استفاده از هوش مصنوعی از روش‌های متداول می‌باشند. به دلیل وجود مرجع کافی در کتاب‌های مهندسی هیدرولوژی و آمار به ذکر جزییات این روش‌ها پرداخته نمی‌شود و به تناسب امکان استفاده و تبحر کارشناسان، می‌توان از این روش‌ها در مطالعات بیلان آب استفاده نمود. لیکن همان‌گونه که گفته شد، به‌کارگیری این روش باید با توجه به گستردگی مطالعات صورت گیرد. لذا در مطالعات بیلان روش‌هایی که در حد قابل قبول (با توجه به مقیاس کار) سریع‌تر به نتیجه خواهد رسید، انتخاب می‌گردد.

انتظار بر این است که لااقل از روش‌های ساده‌ای که در ادامه برای برآورد داده‌های باران سالانه و دبی سالانه معرفی شده است، استفاده شود.

۳-۴-۱- باران سالانه

جهت تکمیل اطلاعات باران، روابط همبستگی برای کل دوره آماری تولید می‌گردد و برای حداکثر سنوات آماری قابل تطویل برای دوره شاخص آماری، لازم است ضریب همبستگی و تعداد سال‌های دارای آمار مشترک (علی‌الخصوص دوره آمار شاخص) به دست آید. با بهره‌گیری از رابطه ذیل تعداد سال‌های آماری مجاز جهت تطویل آمار محاسبه می گردد.

$$Ne = \frac{N}{1 + \frac{N-n}{n-2}(1-r^2)}$$

در این رابطه:

Ne: دوره آماری مجاز برای تطویل آمار (سال)

n: تعداد سال‌های آماری ثبت شده در ایستگاه مقصد (ایستگاه ناقص)

N: تعداد سال‌های آماری ثبت شده در ایستگاه مبنا

r: ضریب همبستگی بین ایستگاه مبنا و ایستگاه مقصد می‌باشد. یعنی اگر r یک باشد، Ne می‌تواند برابر N باشد.

به طورکلی هرچه تراکم ایستگاه‌ها کم باشد و ایستگاهی با توجه به موقعیت خود، اهمیت قابل توجهی در روند منحنی‌های هم‌باران داشته باشد، تعداد سال‌هایی که برای تکمیل آن مجاز در نظر گرفته می‌شود، نسبت به ایستگاه دارای شرایط مشابه می‌تواند بیش‌تر باشد. فاصله و ارتفاع ایستگاه مبدأ و مقصد در این شرایط نیز دارای اهمیت است.

چنانچه در ایستگاه یا ایستگاه‌هایی که دارای اهمیت هستند، شرایط طول دوره آماری به دلیل کوتاه بودن آمار ثبت‌شده فاقد وجاهت کارشناسی برای تکمیل سالانه خلأهای آماری باشد، می‌توان از طریق روش نسبت‌ها (برای سال‌های آماری مشترک از طریق ایستگاه‌های دارای اطلاعات مناسب و نزدیک منطقه)، نسبت به ارزیابی متوسط درازمدت ایستگاه مهم با طول دوره آماری کوتاه اقدام نمود. در ادامه در زمان تهیه منحنی هم‌باران باید به میزان دقت آن (برآورد متوسط در دوره شاخص) توجه نمود و منحنی می‌تواند انعطاف بیش‌تری در آن نواحی داشته باشد.

۳-۴-۲- دبی سالانه

جهت تکمیل اطلاعات دبی متوسط سالانه، روابط همبستگی برای کل دوره آماری تولید می‌گردد و برای تعیین حداکثر سنوات آماری قابل تطویل در دوره شاخص ۲۰ ساله، لازم است به موارد زیر توجه گردد. با بهره‌گیری از رابطه ارائه شده قبلی، تعداد سال‌های آماری مجاز جهت تطویل آمار محاسبه می‌شود. براساس این رابطه و محاسبه سنوات آماری مجاز جهت تطویل دبی متوسط سالانه، از آنجاکه داده‌های دبی متوسط سالانه، در دوره شاخص ۲۰ ساله، اهمیت قابل توجه دارد، لذا با نگاه کارشناسی، می‌توان تعداد سال‌های مجاز نسبت به تکمیل آمار دبی متوسط سالانه اقدام نمود.

- با توجه به تغییرات دبی متوسط سالانه در سال‌های اخیر، وجود دوره‌های تر و خشک قابل توجه و بعضاً تغییر در واکنش حوضه آبریز نسبت به بارندگی و تولید باران مفید و در نهایت رواناب و جریان سطحی و همچنین تغییرات در میزان مصرف با احداث سازه‌های آبی، لازم است زمان بهره‌برداری از سازه‌های آبی و یا شکست در روند پاسخگویی حوضه آبریز به ریزش‌های جوی، مورد توجه قرار گیرد. در این مرحله باید به شیوه‌نامه تعدیل جریان سطحی تحت تاثیر سازه‌های آبی توجه داشت و اساساً بهتر است تعدیل‌های لازم بعد از تکمیل خلأهای آماری، انجام گیرد. از این رو باید به همسان بودن شرایط زمانی از نظر تاثیرات بهره‌برداری، برای ایجاد روابط همبستگی بین ایستگاه‌ها توجه لازم شود.
- به طورکلی چنانچه موقعیت ایستگاه نسبت به خروجی (و یا ورودی) محدوده مطالعاتی دارای اهمیت باشد، تعداد سال‌هایی که برای تکمیل آمار آن مجاز در نظر گرفته می‌شود، نسبت به ایستگاه دارای شرایط مشابه می‌تواند بیش‌تر باشد.
- چنانچه ایستگاه یا ایستگاه‌هایی که دارای اهمیت بوده (موضوع بند بالا)، ولی شرایط طول دوره آماری آن به دلیل کوتاه بودن آمار ثبت شده، فاقد وجاهت کارشناسی جهت تکمیل سالانه خلأهای آماری است، می‌توان از طریق روش نسبت‌ها (برای سال‌های آماری مشترک از طریق ایستگاه‌های دارای اطلاعات مناسب و نزدیک منطقه) نسبت به ارزیابی متوسط درازمدت، ایستگاه مهم با طول دوره آماری کوتاه اقدام نمود و در ادامه در زمان ارزیابی ورودی و خروجی، به میزان دقت آن (برآورد متوسط در دوره شاخص) توجه نمود.

۳-۵- روش‌های برآورد خلأهای آماری سالانه

۳-۵-۱- روش نسبت‌های سالانه

در این روش، میانگین داده‌های موجود در ایستگاه مقصد و ایستگاه مجاور (نزدیک‌ترین ایستگاه و یا میانگین ایستگاه‌های مجاور) به عنوان ایستگاه یا ایستگاه‌های مرجع، در دوره آماری مشترک که واجد آمار هستند، محاسبه شده و سپس نسبت میانگین داده‌ها در ایستگاه مقصد به ایستگاه مجاور تعیین می‌گردد. در نهایت، نسبت به دست آمده در مقدار متوسط دراز مدت ایستگاه مجاور در دوره مورد نیاز به بازسازی، ضرب شده و داده‌ی بازسازی‌شده ایستگاه مقصد برای دوره دراز مدت به دست می‌آید.

۳-۵-۲- روش همبستگی سالانه

یکی از روش‌های بازسازی داده‌های ناقص، روش استفاده از همبستگی بین داده‌های کلیماتولوژی با داده‌های ایستگاه‌های مجاور است. از مزایای این روش سادگی نسبی آن در مقایسه با روش‌های دیگر است و معمولاً در بازسازی داده‌های مربوط به ایستگاه‌های کلیماتولوژی واقع در یک منطقه با ویژگی‌های هیدروکلیماتولوژی مشابه، نتایج قابل قبولی ارائه می‌دهد.

همبستگی می‌تواند یک متغیره (شامل یک ایستگاه) و یا چند متغیره (شامل چند ایستگاه)، باشد. اساسا در ایجاد رابطه همبستگی به خطی، لگاریتمی و توانی بودن آن باید توجه کرد و ادامه منحنی حاصل از رابطه در مقادیر حداقل و حداکثر، کنترل گردد (به طور مثال برای یک ایستگاه که باران متوسط سالانه آن حدود ۱۰۰ میلی‌متر بوده و انحراف معیار آن بیش از ۵۰ میلی‌متر است، رابطه خطی با عرض از مبدأ بیش از ۵۰ میلی‌متر نمی‌تواند رابطه خوب تلقی گردد).

فصل ۴

راهنمای بیلان هیدروکلیماتولوژی (روش تورنت وایت)

۴-۱- مقدمه

تعیین اجزای مختلف بیلان آب در بررسی فرآیندهای هیدرولوژیکی در سطح یک حوضه آبریز و یا محدوده مطالعاتی اهمیت فراوانی دارد؛ زیرا مدیریت منابع آب براساس نتایج این گونه مطالعات صورت می‌گیرد. به همین سبب لازم است کلیه اجزاء و مؤلفه‌های بیلان با دقت مناسبی تعیین گردد.

بارندگی به عنوان مهم‌ترین عامل بیلان محسوب می‌گردد. از بارش به وقوع پیوسته، بخشی نفوذ کرده، بخشی به رواناب تبدیل شده و بخش دیگری نیز به صورت تبخیر در می‌آید. بررسی روابط بارش با نفوذ، رواناب و تبخیر را بیلان هیدروکلیماتولوژی گویند. این بیلان را می‌توان در قالب معادله زیر بیان نمود:

$$PP = AET + R + I$$

در این رابطه PP ریزش‌های جوی اعم از برف و بارن در سطح محدوده برحسب میلی‌متر، AET تبخیر و تعرق واقعی بر حسب میلی‌متر، R رواناب برحسب میلی‌متر و I نفوذ بر حسب میلی‌متر می‌باشد.

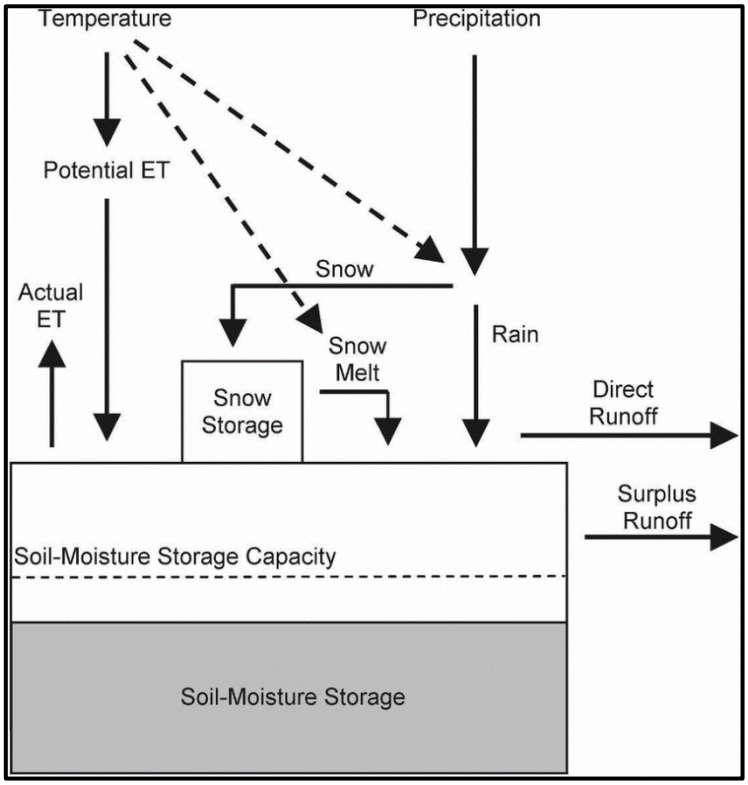
محاسبه میزان تبخیر و تعرق واقعی و بارندگی مفید (مجموع رواناب و نفوذ از بارش)، بسیار مهم بوده و برای محاسبه این پارامترها از روش‌های مختلفی استفاده می‌گردد. اندازه‌گیری مستقیم تبخیر و تعرق حقیقی در عمل بسیار مشکل و پرهزینه بوده و به همین جهت استفاده از این روش منحصر به ایستگاه‌های تحقیقاتی است. در این ایستگاه‌ها برای اندازه‌گیری از دستگاهی به نام لیسیمتر استفاده می‌شود. علاوه بر اندازه‌گیری مستقیم، روش‌های تجربی و محاسباتی دیگری برای تعیین تبخیر و تعرق حقیقی وجود دارد که عمدتا شامل روش‌های ماهانه تورنت وایت و بیلان آبی روزانه می‌باشد. این روش به طور وسیع در سطح دنیا مورد استفاده قرار می‌گیرد و مقبولیت خوبی نیز دارد. در کشور ما نیز این روش در اکثر مطالعات برای تهیه بیلان منابع آب به طور گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرد و اخیرا نیز با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور میزان تبخیر و تعرق واقعی برآورد می‌گردد. البته در سطح یک حوضه و یا محدوده مطالعاتی استفاده از تکنیک سنجش از دور با محدودیت‌هایی مواجه است. به همین منظور از روش‌های بیلان هیدروکلیماتولوژی در سطح حوضه‌های آبریز و محدوده‌های مطالعاتی استفاده می‌گردد.

۴-۲- روش ماهانه تورنت وایت[۱]

همان‌گونه که گفته شد این روش جزء روش‌هایی است که به طور وسیع در سطح دنیا مورد استفاده قرار گرفته است. در این دستورالعمل ابتدا روش Thornthwaite and Mather (۱۹۵۵) ارائه خواهد شد. در این روش، ذوب برف و رطوبت

[۱] Thornthwaite

خاک به صورت تابعی از میزان بارش و تبخیر و تعرق پتانسیل لحاظ شده است. در سطح کشور به طور معمول در مطالعات بیلان برای محاسبه میزان تبخیر- تعرق واقعی و بارش مفید از فرضیات ساده شده از روابط آب و خاک استفاده می‌گردد؛ به طوری‌که در دستورالعمل‌های فعلی، مباحث مربوط به برف در نظر گرفته نمی‌شود. همچنین در ماه‌هایی که میزان آب در دسترس، کم‌تر از تبخیر- تعرق پتانسیل است، رطوبت خاک بدون هیچ محدودیتی در اختیار تبخیر-تعرق قرار می‌گیرد و این موضوع که با کاهش رطوبت خاک میزان تخلیه رطوبت کم‌تر شده و جذب رطوبت مشکل‌تر می‌شود، در نظر گرفته نمی‌شود. شکل زیر روند آب را در بیلان هیدروکلیماتولوژی یک ناحیه نشان می‌دهد.



شکل ۴-۱- روند آب در بیلان هیدروکلیماتولوژی

۴-۲-۱- تبخیر و تعرق پتانسیل

محققان هیدرولوژی روش‌های مختلفی برای محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل ارائه نموده‌اند. تبخیر و تعرق پتانسیل حداکثر مقدار تبخیر- تعرقی است که در یک وضعیت آب و هوایی مشخص در صورتی که محدودیتی از نظر آب وجود

نداشته باشد صورت می‌گیرد. در هیدرولوژی برای محاسبه تبخیر- تعرق پتانسیل بیش‌تر از روش تورنت وایت[۱] و پنمن[۲] و روش هامون[۳] استفاده می‌گردد. برای تعیین تبخیر-تعرق با استفاده از روش پنمن باید پارامترهای نسبتا زیادی در دست باشد ولی در روش تورنت وایت با استفاده از پارامتر دما می‌توان تبخیر-تعرق پتانسیل را محاسبه نمود.

$$PE_i = \begin{cases} 0 & T < 0^{o^c} \\ 16\left(\frac{10T_i}{I}\right)^a & 0 \le T < 26.5^{o^c} \\ -41.85 + 32.24T_i - 0.43T_i^2 & T \ge 26.5^{o^c} \end{cases}$$

$$I = \sum_{i=1}^{12} \left(\frac{T_i}{5}\right)^{1.514}$$

$$a = 6.7\times10^{-7}\times I^3 - 7.71\times10^{-5}\times I^2 + 1.79\times10^{-2}\times I + 0.49$$

برای هر سال ابتدا شاخص I محاسبه شده سپس مقدار پارامتر a تعیین می‌گردد. تبخیر- تعرق هر ماه نیز با استفاده از رابطه زیر برآورد می‌شود. محاسبه PE_i با استفاده از معادله فوق برای هر یک از ماه‌ها، با این فرض است که هر ماه ۳۰ روز و هر روز ۱۲ ساعت روشنایی داشته باشد؛ حال آن که تعداد روزهای هر ماه و تعداد ساعات روشنایی در ماه‌های مختلف سال، متفاوت است. بنابراین لازم است APE_i با اعمال ضریب Nm، که مقادیر آن برای ماه‌های مختلف مطابق جدول زیر است، اصلاح گردد.

$$APE_i = Nm \times PE_i$$

جدول ۴-۱- مقادیر ضریب اصلاحی (Nm) در معادله تورنت وایت برای عرض‌های (شمالی) مختلف جغرافیایی در ماه‌های سال

عرض جغرافیای شمالی (درجه)	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	June	July	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.
۰	۱/۰۴	۰/۹۴	۱/۰۴	۱/۰۱	۱/۰۴	۱/۰۱	۱/۰۴	۱/۰۴	۱/۰۱	۱/۰۴	۱/۰۱	۱/۰۴
۱۰	۱/۰۰	۰/۹۱	۱/۰۳	۱/۰۳	۱/۰۸	۱/۰۶	۱/۰۸	۱/۰۷	۱/۰۲	۱/۰۲	۰/۹۸	۰/۹۹
۲۰	۰/۹۵	۰/۹۰	۱/۰۳	۱/۰۵	۱/۱۳	۱/۱۱	۱/۱۴	۱/۱۱	۱/۰۲	۱/۰۰	۰/۹۳	۰/۹۴
۳۰	۰/۹۰	۰/۸۷	۱/۰۳	۱/۰۸	۱/۱۸	۱/۱۷	۱/۲۰	۱/۱۴	۱/۰۳	۰/۹۸	۰/۸۹	۰/۸۸
۳۵	۰/۸۷	۰/۸۵	۱/۰۳	۱/۰۹	۱/۲۱	۱/۲۱	۱/۲۳	۱/۱۶	۱/۰۳	۰/۹۷	۰/۸۶	۰/۸۵
۴۰	۰/۸۴	۰/۸۳	۱/۰۳	۱/۱۱	۱/۲۴	۱/۲۵	۱/۲۷	۱/۱۸	۱/۰۴	۰/۹۶	۰/۸۳	۰/۸۱
۴۵	۰/۸۰	۰/۸۱	۱/۰۲	۱/۱۳	۱/۲۸	۱/۲۹	۱/۳۱	۱/۲۱	۱/۰۴	۰/۹۴	۰/۷۹	۰/۷۵

۱- Thornthwaite

۲- Penman

۳- Hamon

درصورتی‌که نخواهیم از جدول مقادیر ضریب اصلاحی (Nm) در معادله تورنت وایت استفاده گردد، با استفاده از رابطه ذیل تبخیر-تعرق ماهانه اصلاح می‌شود.

$$APE_i = PE_i \times \left[\left(\frac{d_i}{30}\right)\left(\frac{D_i}{12}\right)\right]$$

PE_i: تبخیر-تعرق پتانسیل محاسبه شده از رابطه تورنت وایت به میلی‌متر

APE_i: تبخیر-تعرق پتانسیل اصلاح شده به میلی‌متر

d_i: تعداد روزهای ماه i

D_i: متوسط ساعات روشنایی روزانه ماه i برحسب ساعت

پارامتر متوسط ساعات روشنایی روزانه هر ماه در عرض‌های جغرافیایی مختلف را می‌توان از جداولی که قبلا تهیه شده است به دست آورد و یا از رابطه زیر محاسبه نمود.

$$P = Asin\left[0.39795 \times \cos\left(0.2163108 + 2 \times Atan\left\{0.9671396 \times \tan\left[0.00860 \times (J - 186)\right]\right\}\right)\right]$$

$$D = 24 - \left(\frac{24}{Pi}\right) \times Acos\left(\frac{\sin\left(0.8333 \times \frac{Pi}{180}\right) + \sin\left(L \times \frac{Pi}{180}\right) \times \sin(P)}{\cos\left(L \times \frac{Pi}{180}\right) \times \cos(P)}\right)$$

D: ساعات روشنایی روز J برحسب ساعت

L: عرض جغرافیایی برحسب درجه (Decimal Degree)

J: شماره روز مورد نظر در تقویم میلادی

Pi: عدد پی

برای محاسبه متوسط ساعات روشنایی روزانه ماه مورد نظر باید برای هر روز آن ماه ساعت روشنایی را با استفاده از رابطه بالا محاسبه نمود. میانگین ساعات روشنایی محاسبه شده، متوسط ساعات روشنایی روزانه ماه مورد نظر می‌باشد.

۴-۲-۲- ذخیره برف[۱] و ذوب برف[۲]

در مناطق سرد، کوهستانی و مرتفع بخش اعظم بارندگی به شکل برف نازل می‌شوند. منابع آبی موجود در این قبیل مناطق، متأثر از میزان بارش برف بوده و غالبا از طریق آب‌های حاصل از ذوب برف تغذیه می‌شوند و وضعیت بیلان آبی و

۱- Snowpack

۲- Snowmelt

رژیم منابع آب موجود در این قبیل مناطق به میزان و سرعت ذوب برف و یا ماندگاری آن بر روی زمین و سطوح آبگیر و تغذیه آن‌ها بستگی دارد. بارش در این مناطق با توجه به درجه حرارت هوا به صورت برف، باران و یا مخلوطی از برف و باران می‌باشد. با استفاده از فرمول زیر بارش ماهانه براساس درجه حرارت متوسط ماهانه به دو بخش باران و برف تقسیم می‌شود. این فرمول براساس درجه-روز می‌باشد و بر اساس آن، بارش در درجه حرارت زیر صفر درجه سانتی‌گراد به صورت کامل به حالت برف می‌باشد و ذوب برف در دمایی بالای صفر درجه شروع می‌گردد[۱].

$$Rain_i = F_i \times PP_i$$

$$Snow_i = (1 - F_i) \times PP_i$$

$$F_i = \begin{cases} 0 \text{ if } T_i \le 0^{o^c} \\ 0.16 \times T_i \text{ if } 0^{o^c} < T_i < 6^{o^c} \\ 1 \text{ if } T_i \ge 6^{o^c} \end{cases}$$

$Rain_i$: مقدار باران ماه i

$Snow_i$: مقدار برف ماه i

F_i: ضریب ذوب برف[۲] ماه i

براساس روابط فوق در هر ماه میزان بارش بر اساس درجه حرارت به دو بخش برف و باران تقسیم می‌گردد. مقدار ذوب برف در هر ماه با توجه به میزان ذخیره برف از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$Melt_i = F_i \times (Pack_{i-1} + Snow_i)$$

$Melt_i$: مقدار ذوب برف در ماه i

$Pack_{i-1}$: مقدار ذخیره برف در انتهای ماه i-۱

مقدار ذخیره برف[۳] در انتهای هر ماه نیز با استفاده از رابطه زیر به دست می‌آید.

۱- Physical Hydrology, Part ۲,S. L. Dingman.Prentice Hall, ۲۰۰۲

۲- به طور کلی اگر دما بیش‌تر از یک آستانه اضافی باشد، آن‌گاه تمام بارش‌ها باران در نظر گرفته می‌شود، در محدوده تعریف شده توسط Tsnow و Train میزان بار ش برف به صورت خطی از صد درصد به صفر درصداز کل ریزش‌های جوی کاهش می‌یابد، Train در برخی منابع معادل ۳.۳ و Tsnow نیز برای نواحی با ارتفاع کم‌تر از ۱۰۰۰ متر معادل ۱۰- و برای نواحی بیش‌تر از ۱۰۰۰ معادل ۱- پیشنهاد شده است. ضریب به شرح زیر است، در روش‌شناسی حاضر بیلان‌ها مقادیر Train و Tsnow معادل ۳ و ۳- پیشنهاد می‌گردد.

سهم برف $F_i = \dfrac{T_{rain} - T_i}{T_{rain} - T_{snow}}$

۳- ماندگاری برف بر روی زمین ارتباط مستقیم با شدت ذوب برف داشته و شدت ذوب برف نیز به دمای محیط (دمای هوا، دمای سطح زمین) و تداوم گرما (طول و مدت روز)، بستگی دارد. از طرفی دمای محیط به جهت شیب و ارتفاع منطقه و دمای سطح زمین نیز به جنس و رنگ آن وابسته است. معمولا

$$Pack_i = (1-F_i)^2 \times PP_i + (1-F_i) \times Pack_{i-1}$$

در ماه‌های سرد سال بخشی از بارش به صورت باران می‌باشد و بخشی نیز به صورت برف ذخیره می‌گردد. سهمی از بارش که به صورت باران است می‌تواند در اختیار تبخیر-تعرق، ذخیره رطوبتی خاک، نفوذ و رواناب قرار گیرد. بنابراین آب در دسترس هر ماه به صورت زیر محاسبه می‌گردد.

$$W_i = Rain_i + Melt_i$$

W_i: آب در دسترس در ماه i

۴-۲-۳- تبخیر- تعرق واقعی و رطوبت خاک در ناحیه ریشه گیاه

میزان تبخیر- تعرق واقعی ماهانه بر اساس مقدار تبخیر- تعرق پتانسیل و آب در دسترس هر ماه تعیین می‌گردد. اگر میزان آب در دسترس (W_i) بیش‌تر از تبخیر-تعرق پتانسیل (APE_i) باشد مقدار تبخیر- تعرق واقعی (AETi) برابر با تبخیر- تعرق پتانسیل خواهد بود و میزان رطوبت خاک ناحیه ریشه (SoilMi) افزایش می‌یابد و در صورت وجود آب، به حداکثر میزان رطوبت خاک ناحیه ریشه (Soilmax) خواهد رسید.

$$\text{if } (W_i + SoilM_{i-1}) \geq APE_i \text{ then } AET_i = APE_i$$

$$SoilM_i = \min\left\{\left[(W_i + SoilM_{i-1} - APE_i)\right]; SoilM_{max}\right\}$$

در میزان آب در دسترس (W_i) کم‌تر از تبخیر- تعرق پتانسیل (APE_i) باشد در این صورت میزان تبخیر- تعرق واقعی به صورت زیر محاسبه می‌گردد.

$$\text{if } (W_i + SoilM_{i-1}) < APE_i \text{ then}$$

$$AET_i = W_i + SoilM_{i-1} - SoilM_i$$

در این حالت که آب در دسترس کم‌تر از تبخیر-تعرق پتانسیل است میزان تخلیه رطوبت با کاهش میزان رطوبت خاک کاهش می‌یابد و جذب رطوبت مشکل‌تر می‌شود. در این حالت میزان رطوبت خاک در هر ماه با استفاده رابطه زیر تعیین می‌گردد.

$$SoilM_i = SoilM_{i-1} \times \exp\left(-\frac{APE_i - W_i}{SoilM_{max}}\right)$$

اجسام تیره و کدر مقدار بیش‌تری گرمای ناشی از تابش خورشید را جذب می نمایند و طبیعتا در شرایط مشابه گرم‌تر از سطوح روشن می‌گردند. تراکم و عمق انباشته برف نیز در این فرایند بی تأثیر نبوده و به دلیل پایین بودن سرعت انتقال گرما، برف های متراکم انباشته سرعت ذوب کم‌تری خواهند داشت.

در هر ماه پس از محاسبه میزان تبخیر- تعرق واقعی و رطوبت خاک، میزان بارش مفید (مجموع رواناب و نفوذ) با استفاده از روابط زیر محاسبه می‌گردد.

$$\Delta SoilM_i = SoilM_i - SoilM_{i-1}$$

$$WS_i = W_i - AET_i - \Delta SoilM_i$$

$\Delta SoilM_i$: تغییر رطوبتی خاک در ماه i

WS_i: میزان بارش مفید در ماه i

واحد کلیه پارامترهای بارش، برف، تبخیر- تعرق، رطوبت خاک برحسب میلی‌متر می‌باشد.

۴-۲-۴- حداکثر میزان ظرفیت رطوبت خاک[۱]

برای محاسبات بیلان، باید کل ظرفیت نگهداری آب در دسترس در پروفیل خاک معلوم گردد. این مقدار را می‌توان از جمع ظرفیت نگهداری آب در عمق مؤثر لایه خاک به دست آورد. تورنت وایت و ماتر روش تعیین مقادیر ظرفیت رطوبتی خاک را بر اساس جنس بافت خاک (مانند شنی، لومی، سیلتی و رسی) و نوع پوشش گیاهی (مانند زراعت، مراتع با عمق ریشه مختلف، جنگل‌های ریشه‌دار و باغ‌ها) پیشنهاد داده‌اند. البته در برخی منابع علاوه بر ارتباط ظرفیت نگهداشت رطوبت خاک با جنس بافت خاک و نوع پوشش گیاهی با شماره منحنی (CN) هم مرتبط نموده‌اند. به طور کلی دو روش زیر برای ارزیابی ظرفیت نگهداشت رطوبت خاک پیشنهاد می‌گردد، در فرآیند تهیه بیلان باید توجه داشت که ظرفیت نگهداری خاک اساسا یکی از پارامترهای مهم شناخته می‌شود که عدم قطعیت بالایی دارد و برای این پارامتر، دامنه تغییرات زیادی در مقیاس مکانی و زمانی متصور است. از آنجا که اصولاً بیلان منابع و مصارف در یک فرآیند رفت و برگشتی به همراه کنترل مقدار و ارتباط پارامترها و اعمال نظرات کارشناسی در ارزیابی آن‌ها در بیلان‌های ۵ گانه (هیدروکلیماتولوژی، آب سطحی، آب زیزمینی، آبخوان آبرفتی و عمومی) تدوین می‌گردد. لذا ممکن است در ظرفیت نگهداشت رطوبت خاک تعدیل‌هایی صورت گیرد.

۴-۲-۴-۱- روش شماره منحنی CN

بر اساس اطلاعات پوشش گیاهی، زمین شناسی و جنس خاک مقدار شماره منحنی در هر محدوده مطالعاتی به تفکیک دشت و ارتفاعات ارزیابی می‌گردد و در نهایت به کمک رابطه زیر میزان Soilmax، بر حسب میلی‌متر برآورد اولیه می‌شود. برای ارزیابی CN می‌توان به کتب مرجع هیدرولوژی مراجعه کرد و عملا برای محاسبه میانگین وزنی میزان CN

۱- Soilmax

از روش‌شناسی‌های معمول (مبتنی بر درصد مساحت‌ها با جنس خاک و کاربری‌های مختلف) و یا از طریق تولید و انطباق نقشه‌های رستر جنس خاک و کاربری اقدام کرد.

$$Soilmax = \frac{۲۵۴۰۰}{CN} - ۲۵۴$$

۴-۲-۴-۲- روش AWC

برای کارهای بیلان آب ظرفیت نگهداری آب به معنی ظرفیت نگهداری آب در دسترس کل در واحد میلی‌متر می‌باشد. مقدار ظرفیت آب در دسترس خاک[۱] از روی بافت خاک حوضه که از نقشه‌های خاک‌شناسی و قابلیت اراضی موجود تهیه شده به دست آمد. مقدار AWC برای خاک‌های مختلف از جدول مقادیر پارامترهای آب-خاک در بافت‌های مختلف خاک استفاده می‌شود. عمق ریشه نیز از روی نقشه پوشش اراضی و جدول میانگین عمق ریشه بر اساس نوع پوشش اراضی تعیین می‌شود (نقشه پوشش اراضی قابل دسترس است). با استفاده از مقدار AWC (ظرفیت آب قابل دسترس) و نقشه عمق ریشه، مقدار ظرفیت آب موجود در خاک (WHC) یا Soilmax بر حسب میلی‌متر از طریق رابطه زیر قابل محاسبه است. شایان ذکر است در برآورد Soilmax استفاده از نقشه‌های کاربری اراضی (برای احصای عمق ریشه) و نقشه بافت خاک، می‌تواند فرآیند را تسریع نماید.

$$Soilmax = AWC \times Rooting\ Depth$$

جدول ۴-۲- ظرفیت آب قابل دسترس در بافت‌های مختلف خاک

کلاس بافت خاک	AWC (ظرفیت آب قابل دسترس) بر حسب m/m
شنی	۰.۱۰
لومی شنی	۰.۱۲
شنی لومی	۰.۱۳
لومی	۰.۱۸

ادامه جدول ۴-۲- ظرفیت آب قابل دسترس در بافت‌های مختلف خاک

کلاس بافت خاک	AWC (ظرفیت آب قابل دسترس) بر حسب m/m
سیلت لومی	۰.۲۰
سیلت	۰.۲۱
لومی رسی سیلتی	۰.۲۴
سیلتی رسی	۰.۲۸
رسی	۰.۳۰

۱- Available Water Capacity

جدول ۴-۳- تعیین میانگین عمق ریشه بر اساس نوع پوشش اراضی (متر)

نوع پوشش اراضی	حداکثر	حداقل	متوسط
مناطق جنگل‌کاری شده	۱.۲	۱	۱.۱
اراضی کشاورزی	۱	۰.۴	۰.۷
اراضی بایر	۰.۲	۰.۱	۰.۲
باغ‌ها	۱.۵	۱	۱.۳
مراتع	۰.۳	۰.۱	۰.۲
مناطق سنگی	۰.۲	۰.۱	۰.۲
اراضی شور و مرطوب	۱	۰.۷۵	۰.۹
اراضی مسکونی	۰.۲۵	۰.۱۵	۰.۲

۴-۳- روش روزانه تورنت وایت

به منظور تعیین تبخیر و تعرق حقیقی در محدوده مورد مطالعه از روش روزانه (دوره‌های بارندگی) استفاده شده است. در نواحی خشک استفاده از آمار بارندگی ماهانه و روش ماهانه تورنت وایت به‌دلیل پراکندگی بارش جوابگو نبوده و در این مناطق از روش روزانه (دوره‌های بارندگی) برای محاسبه تبخیر و تعرق حقیقی استفاده شده است. اساسا در این نواحی تبخیر و تعرق حقیقی مبتنی بر تبخیر از خاک است. تبخیر از خاک فاقد پوشش گیاهی غالبا به دو مرحله تقسیم می‌شود که شکل یا ماهیت کنترل فرآیند تبخیر و میزان آن را توصیف می‌کند. این دو مرحله عبارتند از:

الف- تبخیر با شدت ثابت: در شرایطی که خاک مرطوب است و متناسب با نیاز تبخیر اتمسفر، قابلیت هدایت آب از خاک به ناحیه تبخیرشونده وجود دارد، این مرحله از تبخیر از خاک اتفاق می‌افتد. در این مرحله شرایط حاکم و عوامل مؤثر بر تبخیر از خاک، مشابه تبخیر از سطح آزاد آب است. شدت تبخیر در این مرحله توسط شرایط اقلیمی (تشعشع، باد، دما، رطوبت نسبی و ...) و به طور کل با موجودیت انرژی، کنترل می‌شود. مدت زمان این مرحله بستگی به خصوصیات هیدرودینامیکی خاک (هدایت هیدرولیکی، ظرفیت نگهداری آب در خاک) و شرایط تبخیرپذیری اتمسفر بستگی دارد. در اقلیم‌های خشک، مدت زمان این مرحله کوتاه بوده و ممکن است به چند ساعت و یا چند روز محدود شود.

ب- تبخیر با شدت کاهشی: در این مرحله، رطوبت لایه سطحی خاک تا حدی کاهش می‌یابد که ظرفیت هیدرولیکی خاک قادر به تأمین آب برای تبخیر نیست. در این مرحله رطوبت لایه‌های پایین‌تر بر اثر صعود موئینگی به سطح خاک آمده تا کاهش رطوبت خاک سطحی را تا جایی که شرایط اقلیمی و خاک اجازه می‌دهد، جبران کند. این مرحله عمدتا طولانی‌تر از مرحله اول است. شدت تبخیر در این مرحله به تدریج با زمان کاهش می‌یابد.

با استفاده از نتایج مطالعات هواشناسی در محدوده مطالعاتی و با در نظر گرفتن نقشه هم‌باران، موقعیت کلی منطقه، میانگین سالانه و توزیع ماهانه بارش در نواحی مختلف محدوده مطالعاتی و پراکندگی ایستگاه‌های موجود، یک ایستگاه، به عنوان ایستگاه معرف بارش انتخاب می‌گردد. پس از انتخاب ایستگاه معرف بارش از بین آمار بارش سالیانه آن ایستگاه

معرف، یک سال آبی که دارای توزیع و میانگین بارندگی مشابه با بارش منطقه محاسبه شده برای محدوده مطالعاتی به عنوان سال معرف بارش و مبنای محاسبات جهت محاسبه تبخیر و تعرق حقیقی برای هر ناحیه انتخاب می‌شود. توصیه می‌گردد توزیع دمای ماهانه نیز منطبق بر همان سال آبی مشابه متوسط باشد.

۴-۳-۱- روش شناسی موجود

۴-۳-۱-۱- بارندگی (ریزش‌های جوی)

به طور کلی روش روزانه برای مناطق خشک و کم‌باران مناسب است و بهتر است اطلاعات بارندگی (ریزش‌های جوی) یک سال آبی که وضعیت آن مشابه متوسط دوره شاخص است (برای نواحی دشت و ارتفاعات)، انتخاب گردد. از اطلاعات همان سال برای توزیع دوره‌های ریزش‌های جوی و همچنین تعداد روزهای بارندگی و تعداد روزهای داری تبخیر استفاده می‌گردد. از آنجاکه در مناطق کم‌باران و خشک (با بارش کم‌تر از ۲۰۰ میلی‌متر در سال)، تعداد روزهای باران پیوسته محدود است، بعضاً انتخاب سال آبی متفاوت در سطح حوضه آبریز، برای محدوده‌های مطالعاتی مختلف و همچنین دشت و ارتفاعات، منجر به عدم همگرایی نتایج می‌گردد. لذا پیشنهاد مؤکد آن است که حتی‌الامکان برای کل حوضه آبریز یک سال آبی (که مشابه با شرایط متوسط است)، به عنوان سال آبی معرف انتخاب شود.

۴-۳-۱-۲- تامین رطوبت خاک در روزهای بارانی

در روش روزانه، ابتدا باید ریزش‌های جوی را به دوره‌های بارش تفکیک نمود. چنانچه ریزش‌های جوی در چند روز متوالی مستمر باشد، یک دوره انتخاب می‌گردد، به ازای هر دوره ۲ میلی‌متر، به عنوان تأمین رطوبت خاک در نظر گرفته می‌شود. چنانچه بارش کم‌تر از ۲ میلی‌متر باشد، همان میزان بارش به عنوان رطوبت خاک لحاظ می‌گردد.

۴-۳-۱-۳- تعداد روزهای دارای تبخیر

برای ارتفاعات اگر مجموع بارندگی در دوره بیش از ۱۰ میلی‌متر باشد ۴ روز به روزهای بارندگی اضافه شده و به عنوان تعداد روزهای دارای تبخیر لحاظ می‌گردد. اگر میزان بارندگی بین ۵ تا ۱۰ میلی‌متر بود ۲ روز به روزهای بارندگی اضافه شده و برای بارش بین ۲ تا ۵ میلی‌متر، ۱ روز به تعداد روزهای بارندگی به عنوان تعداد روزهای دارای تبخیر اضافه می‌گردد و بارندگی کم‌تر از ۲ میلی‌متر نیز صرف تأمین رطوبت خاک می‌شود.

برای دشت نیز اگر مجموع بارندگی در دوره بیش از ۱۰ میلی‌متر باشد ۶ روز به روزهای بارندگی اضافه شده و به عنوان تعداد روزهای دارای تبخیر لحاظ می‌گردد. اگر میزان بارندگی بین ۵ تا ۱۰ میلی‌متر بود ۵ روز به روزهای بارندگی اضافه شده و برای بارش بین ۲ تا ۵ میلی‌متر، ۱ روز به تعداد روزهای بارندگی به عنوان تعداد روزهای دارای تبخیر اضافه می‌گردد و بارندگی کم‌تر از ۲ میلی‌متر نیز صرف تأمین رطوبت خاک می‌شود.

۴-۳-۱-۴- تبخیر و تعرق پتانسیل در روزهای دارای تبخیر

بعد از آنکه تبخیر و تعرق پتانسیل ماهانه محاسبه شد و تعداد روزهای دارای تبخیر مشخص گردید، میزان تبخیر و تعرق پتانسیل ماهانه برتعداد روزهای همان ماه (۳۰ یا ۳۱ روز) تقسیم می‌گردد و در حقیقت تبخیر و تعرق پتانسیل هر روز ارزیابی می‌گردد و این رقم (تبخیر و تعرق پتانسیل روزانه) در تعداد روزهای دارای تبخیر ضرب می‌گردد. چنانچه رقم حاصل شده از میزان بارندگی درج شده برای باران آن ماه، کم‌تر بود، این رقم (حاصل ضرب تبخیر و تعرق پتانسیل روزانه در تعداد روزهای دارای تبخیر)، به عنوان تبخیر و تعرق واقعی در روزهای دارای تبخیر آن ماه لحاظ می‌گردد. در غیر این صورت کل باران آن ماه، به عنوان تبخیر و تعرق واقعی در روزهای دارای تبخیر درج می‌شود. در ادامه بارش مازاد از کسر باران ماهانه از تبخیر و تعرق واقعی در روزهای دارای تبخیر، حاصل می‌گردد که این رقم مازاد، صرف تأمین رطوبت خاک (۲ میلی‌متر برای هر دوره باران) و باران مفید خواهد شد.

۴-۳-۱-۵- تبخیر و تعرق حقیقی

مجموع تامین رطوبت خاک در دوره‌های بارانی (حداکثر ۲ میلی‌متر اولیه) و تبخیر- تعرق در روزهای دارای تبخیر به عنوان تبخیر- تعرق حقیقی در نظر گرفته می‌شود. شایان ذکر است چنانچه میزان بارش در هر دوره بعد از کسر حداکثر ۲ میلی‌متر برای رطوبت اولیه خاک، کم‌تر از نتیجه حاصل‌ضرب تبخیر و تعرق در تعداد روزهای دارای تبخیر باشد، کل ریزش‌های جوی آن دوره برای تبخیر و تعرق واقعی لحاظ می‌گردد و چنانچه بیش‌تر بود، مازاد آن به عنوان بارندگی مفید آن دوره در نظر گرفته می‌شود.

۴-۳-۲- روش شناسی تبخیر دو مرحله‌ای از خاک

۴-۳-۲-۱- دوره بارندگی

روزهایی که به طور مستمر داری بارندگی باشد، مورد بررسی قرار می‌گیرد. اگر در استمرار روزهای بارندگی، یک روز، میزان ریزش جوی آن از تبخیر و تعرق پتانسیل کم‌تر باشد، انقطاع دوره در نظر گرفته می‌شود و دوره جدید برای آن روز از بارندگی اطلاق می‌گردد. به طور مثال اگر سه روز باران مستمر و هر روز به میزان ۱ میلی‌متر بارندگی داشته باشیم و میزان تبخیر و تعرق پتانسیل آن روزها نیز روزانه به میزان ۳ میلی‌متر باشد، سه دوره بارندگی لحاظ می‌گردد.

۴-۳-۲-۲- تبخیر مرحله اول

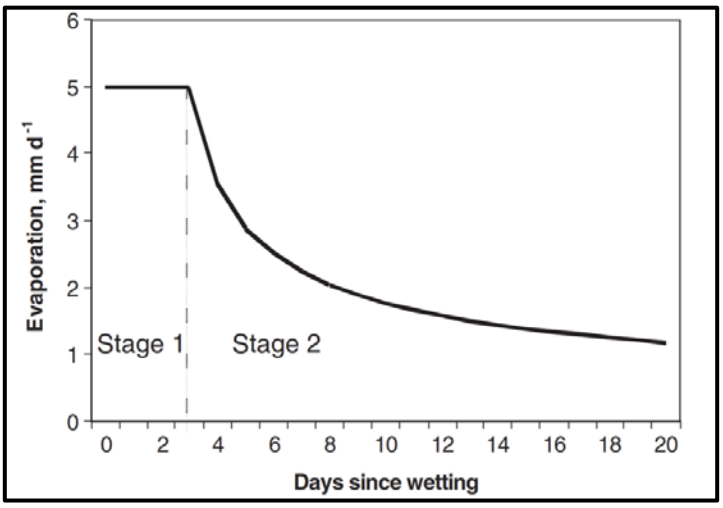
تبخیر ثابت برای هر روز بارانی کم‌ترین مقدار بین دو پارامتر یعنی تبخیر و تعرق پتانسیل آن روز و باران آن روز لحاظ می‌گردد. تبخیر ثابت برای هر روز بارانی عبارت است از کم‌ترین مقدار بین تبخیر و تعرق پتانسیل آن روز و یا باران آن روز، یعنی اینکه تبخیر و تعرق روز i ام و بارندگی روز i ام با هم مقایسه می‌گردد و هر کدام کم‌تر بود به عنوان تبخیر ثابت از باران لحاظ می‌گردد.

۴-۳-۲-۳- تبخیر مرحله دوم

پس از پایان یک دوره بارندگی (اتمام تعداد روزهای بارانی در هر دوره)، تبخیر از لایه‌های پایین‌تر شروع می‌گردد و این تبخیر به صورت تابعی نمایی کاهشی خواهد بود. بنابراین بعد از پایان بارش، میزان تبخیر و تعرق از حاصلضرب ضریب روز i ام به شرح جدول زیر در میزان تبخیر و تعرق پتانسیل همان روز حاصل می‌گردد (این ضرایب برآوردی است).

جدول ۴-۴- ضریب تبخیر و تعرق از خاک در روزهای بعد از پایان بارندگی

روز i ام پس از باران دوره	ضریب ارتفاعات	ضریب دشت
۱	۰.۵۰	۰.۷۵
۲	۰.۲۵	۰.۵۶
۳	۰.۱۳	۰.۴۲
۴	۰.۰۶	۰.۳۲
۵	۰.۰۳	۰.۲۴
۶	۰.۰۲	۰.۱۸



شکل ۴-۱- شماتیک تبخیر از خاک فاقد پوشش گیاهی در مرحله اول و دوم تبخیر از خاک

۴-۳-۲-۴- الزامات

- ضرایب تبخیر ثانویه برای ۶ روز بعد از پایان باران دوره لحاظ می‌گردد و چنانچه دوره بعدی مشمول ضریب شود، ضرایب دوره قبلی قطع می‌گردد. برای مثال اگر در ۳ روز بعد از باران دوره قبل (که دارای تبخیر ثانویه است)، یک دوره باران جدید شروع شود که توان تبخیر ثانویه را دارد، تبخیر ثانویه در شروع دوره جدید در همان روز شروع باران دوره جدید قطع می‌شود.
- مجموع تبخیر اولیه از دوره جدید و تبخیر ثانویه از دوره قبل در هر روز از تبخیر و تعرق پتانسیل آن روز بیش‌تر نشود.

- مجموع تبخیر اولیه و ثانویه هر دوره نباید از کل ریزش جوی (باران) بیش‌تر شود، بنابراین در روز i ام پس از باران، باقی مانده باران بعد از کسر تبخیرهای اولیه و ثانویه تا i-۱ مورد محاسبه قرار می‌گیرد و شرایط کنترل می‌شود.
- ضریب تبخیر (در ارتفاعات/ دشت) بعد از بارندگی دوره، صرفا در انتهای دوره‌هایی که بارندگی آن‌ها بیش‌تر از تبخیر و تعرق آن روز است، درج می‌گردد، به طور مثال اگر بارندگی یک دوره کم‌تر از تبخیر و تعرق باشد، همه آن برای تبخیر اولیه صرف می‌گردد و چیزی برای تبخیر ثانویه باقی نمی‌ماند. بنابراین برای این دوره‌ها تبخیر ثانویه معنی‌دار نیست که ضریب برای آن‌ها در نظر گرفته شود.
- مجموع تبخیر اولیه و ثانویه در هر روز به عنوان تبخیر و تعرق واقعی آن روز لحاظ می‌گردد.
- از آنجاکه برخی از دوره‌ها در روز پایانی ماه شروع می‌گردد و تبخیر ثانویه آن در ماه‌های بعد هم جریان دارد، برای آنکه اطلاعات باران و تبخیر و تعرق واقعی در هر ماه هماهنگی داشته باشد (آن طور نباشد که در یک ماه باران نداشته باشیم ولی تبخیر داشته باشیم)، باران و تبخیر و تعرق کل دوره برای روز شروع لحاظ می‌شود.

۴-۴- تفکیک رواناب و نفوذ

به منظور تفکیک سهم رواناب و نفوذ در نواحی مختلف باید به سایر پارامترهای چرخه آب توجه کافی داشت و عملا در مسیر رفت و برگشت، سهم این دو پارامتر را از یکدیگر تفکیک کرد. در این فرآیند، برای ارزیابی میزان نفوذ در ارتفاعات مشرف به آبخوان باید به مقادیر جریان زیرزمینی ورودی به آبخوان‌های آبرفتی، تخلیه چشمه‌ها در ارتفاعات، حجم زهکشی رودخانه‌ای در ارتفاعات و همچنین مقادر برداشت‌ها از مقادیر نفوذ کرده در ارتفاعات که مشتمل بر چاه‌ها و قنوات در این ناحیه است توجه کرد. همچنین از سوی دیگر مجموع میزان زهکشی رودخانه‌ای و نیز مازاد مصرف چشمه‌ها و مازاد مصرف قنوات باید هماهنگی نسبی با دبی پایه رودخانه داشته باشد. هم‌زمان با ارزیابی سهم نفوذ در ارتفاعات، می‌توان برآوردی نیز از سهم رواناب داشت. این سهم با مراجعه به اطلاعات دبی روزانه و ماهانه و جداکردن سهم رواناب از کل جریان اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های هیدرومتری قابل برآورد است.

در خصوص تفکیک سهم نفوذ در دشت و آبخوان نیز احجام در تعامل با سایر پارامترهای بیلان آبخوان آبرفتی و بیلان آب زیرزمینی همانند نفوذ آب برگشتی از مصارف مختلف و حجم ورودی از مقاطع تراز آب زیرزمینی و همچنین نفوذ از آب سطحی، برآورد می‌شود. با این نگاه، در مرحله نخست ارزیابی اولیه از سهم نفوذ و رواناب انجام می‌گیرد و در مراحل بعدی در فرآیند بیلان آب سطحی، بیلان آب زیرزمینی و بیلان عمومی، مقادیر ارزیابی شده تدقیق می‌گردد. عوامل موثر بر نفوذپذیری را می‌توان به صورت زیر برشمرد.

الف- عوامل فیزیکی

- **شیب:** هر چه شیب بیش‌تر باشد، امکان تولید رواناب بیش‌تر بوده و شرایط برای نفوذ کم‌تر فراهم است.

- **وضعیت زمین شناسی و نفوذپذیری سازندها و درز و شکاف آن‌ها:** نوع سازندها مشخص می‌کند که وضعیت نفوذپذیری هر یک از آن‌ها در چه حدودی است.
- **وضعیت خاک و پوشش گیاهی:** چنانچه پوشش گیاهی زیاد باشد و ضخامت توده خاکی قابل توجه باشد، شرایط برای افزایش تبخیر و تعرق بیش‌تر فراهم شده و سهم بارندگی مفید نسبت به شرایطی که ضخامت خاک کم بوده، کم‌تر است (عملاً می‌توان گفت ظرفیت نگهداشت رطوبت خاک به ضخامت خاک ارتباط دارد و هرچه خاک ضخامت بیش‌تری داشته باشد، رطوبت بیش‌تری نگهداری کرده و امکان در اختیار قرار دادن رطوبت برای تبخیر و تعرق از بارندگی بیش‌تر فراهم است). از سوی دیگر همین افزایش خاک و پوشش گیاهی، باعث کاهش تولید رواناب خواهد شد.

ب- عوامل اقلیمی

- **شدت بارندگی‌ها:** هر چه شدت بارندگی‌ها بیش‌تر باشد، امکان تولید بارندگی مفید (مجموع رواناب و نفوذ) افزایش می‌یابد و با افزایش شدت بارندگی‌ها، سهم تولید رواناب به طور غیرخطی افزایش یافته و سهم نفوذ کاهش می‌یابد.
- **رژیم بارندگی‌ها:** نوع ریزش‌های جوی که مشتمل بر بارندگی یا برف است، هر یک کارکرد مختلفی بر میزان نفوذپذیری خواهد داشت. در مواقعی که ریزش‌های جوی به صورت برف است، شرایط برای نفوذ، بیش‌تر فراهم است. بنابراین در مناطق برفی ضریب نفوذپذیری بیش‌تری متصور است.
- **تغییرات دمایی:** تغییرات دمایی سبب می‌گردد نوع ریزش‌های جوی از برف به باران و یا بالعکس تغییر نماید و از این رو شرایط نفوذپذیری متأثر شود و از سوی دیگر تغییرات دمایی سریع که سبب ذوب شدن برف گردد، امکان نفوذ را کم‌تر می‌کند و درصورتی‌که دما با شیب ملایم افزایش پیدا کرده و ذوب برف به طور آهسته انجام شود، امکان نفوذپذیری افزایش می‌یابد.
- **میزان تبخیر و تعرق واقعی از باران**

۴-۵- ملاحظات کلی در خصوص استفاده از روش تورنت وایت

- در روش ماهانه بیلان هیدروکلیماتولوژی در اولویت اول بهتر است به جای استفاده از میانگین مقادیر باران و دمای ماهانه، از سری آماری باران و دمای ماهانه در دوره شاخص استفاده گردد تا شرایط باران و دما برای محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل هر ماه از سال‌های دوره شاخص و همچنین باران مفید به طور مستقل ارزیابی گردد و معدل این مقادیر به عنوان بیلان هیدروکلیماتولوژی معرفی شود. در ادامه روش پیشنهادی برای چگونگی تولید سری داده باران ماهانه در واحدهای بیلان (آبخوان، دشت، ارتفاعات، خارج آبخوان مشرف به آبخوان و خارج ابخوان غیر مشرف) شرح داده شده است. چنانچه از باران ماهانه در کل دوره آماری استفاده

شود، چالش‌ها و عدم قطعیت‌ها در خصوص انتخاب باران متوسط/ باران ماهانه با احتمال وقوع ۵۰ درصد/ یک سال آبی مشابه متوسط کاهش می‌یابد.

- استفاده از توزیع متوسط ریزش‌های جوی ماهانه دوره شاخص توأم با خطا است. بهتر است یا از احتمال وقوع ریزش‌های جوی با فرکانس ۵۰ درصد ماهانه و یا از توزیع ماهانه ریزش‌های جوی در یک سال آبی که مقدار سالانه آن مشابه متوسط سالانه دوره شاخص است، استفاده شود (همراه با تعدیل). اگر از روش توزیع ماهانه باران در یک سال خاص استفاده می‌گردد، بهتر است دمای متوسط ماهانه همان سال نیز استفاده شود.
- استفاده از روش روزانه تورنت وایت برای مناطق خشک که دارای بارندگی کم‌تر از ۱۵۰ میلی‌متر است توصیه می‌گردد، چرا که در روش ماهانه، به دلیل اینکه ریزش‌های جوی برای کل ۳۰ روز ماه لحاظ می‌گردد، نمی‌تواند خروجی منطقی داشته باشد و اساسا کل بارندگی صرف تأمین رطوبت خاک می‌شود.
- به طور کلی استفاده از ارقام متوسط دما و باران برای نواحی (دشت، ارتفاعات، آبخوان و سایر ارتفاعات)، به دلیل آنکه این نواحی در دامنه‌ای از مقادیر دما و باران قرار دارند (به طور مثال ۵+ تا ۵- دما و ۲۰۰+ تا ۲۰۰- باران)، ممکن است اگر به صورت رستری (توزیعی یا نیمه توزیعی) و در واحدهای کوچک‌تر محاسبات تبخیر و تعرق واقعی صورت گیرد، نتایج حاصله متفاوت از آنچه در حال ارائه است، گردد.
- در روش روزانه به دلیل سهولت دسترسی، از دمای ماهانه سال آبی معرف (که تقریبا بارندگی آن سال، مشابه متوسط دوره آماری باشد) استفاده می‌گردد. به دلیل آنکه عموما بعد از ریزش باران، در میزان دما تغییری ایجاد می‌گردد، با توجه به اینکه دما خود متوسط یک ماه است، می‌توان در ماه‌های دارای بارندگی در روش روزانه تا حدود ۲ درجه سانتی‌گراد از دمای متوسط کسر نمود.
- در تکمیل روش روزانه، می‌توان از دمای روزانه و همچنین پوشش گیاهی برای تدقیق روابط استفاده نمود. به طوری‌که میزان تبخیر و تعرق پتانسیل هر روز وابسته به دما و باران همان روز باشد و همچنین ضریب تبخیر مرحله دوم از خاک نیز تحت تاثیر پوشش گیاهی و ظرفیت خاک متغیر باشد.
- در روش ماهانه به نظر می‌رسد ظرفیت رطوبت خاک در ماه‌های مختلف متفاوت بوده و حتی در ماه‌های سرد سال ظرفیت رطوبت خاک تا ۲۰ درصد کم‌تر از شرایط متوسط باشد. البته اثر یخزدگی سطحی نیز موثر است.
- میزان (سهم) رواناب و نفوذ می‌تواند در ماه‌های مختلف بر اساس شدت ریزش‌های جوی و تراکم برف و ذوب برف متفاوت باشد.
- اگرچه شدت بارندگی بر روی تولید باران مفید اثر زیادی دارد، توصیه می‌گردد در مناطقی که تولید رواناب متأثر از رگبار است (دارای مسیل‌های فصلی است)، برای کاهش خطا حداقل به سمت روش روزانه رفت.
- با توجه به اینکه ترسیم منحنی هم‌باران در مقیاس ماهانه و برای هر سال از سری آماری کاری بسیار سخت و طولانی است (به جهت اعمال کنترل‌ها و عدم امکان استفاده صرف از روش‌های درون‌یابی)، روش زیر برای

تولید سری داده باران ماهانه در واحدهای بیلان (آبخوان، دشت، ارتفاعات، خارج آبخوان مشرف بـه آبخـوان و خارج آبخوان غیرمشرف) ارائه می‌گردد:

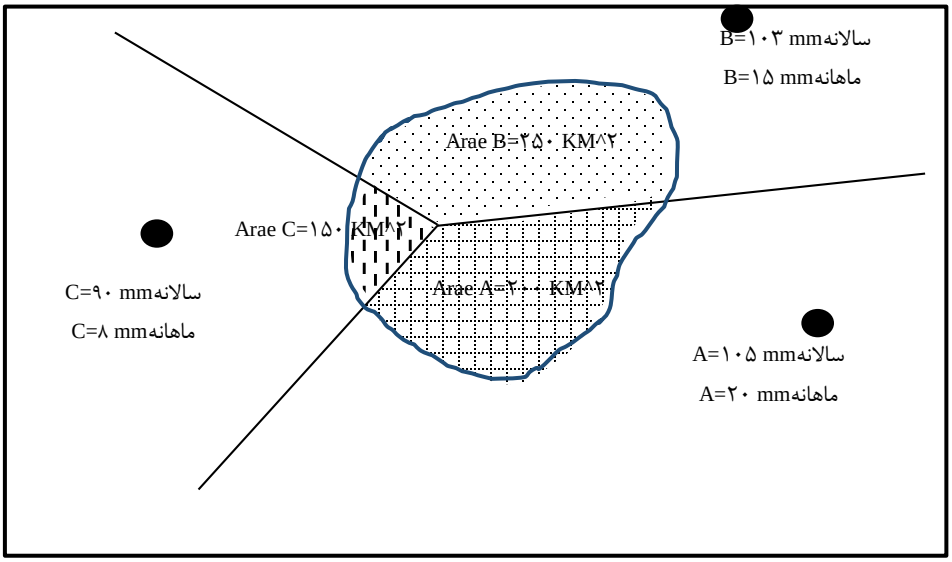
- ابتدا منحنی هم‌باران سالانه متوسط بلندمدت ترسیم می‌شود و کلیه نظرات کارشناسی در صـحت و سـقم آن اعمال می‌گردد.
- شبکه تیسن ایستگاه‌های مهم در محدوده بیلان ترسیم می‌گردد.
- علاوه بر مساحت شبکه تیسن، رفتار منحنی همباران نیز در شبکه تیسن اثر دارد (ممکن است در برخی از شبکه‌های تیسن تحت تاثیر موقعیت مکانی ایستگاه در تیسن نسبت به ارتفاعات و روند تغییرات همبـاران، خود ایستگاه معرف قابل قبولی برای کل تیسن نباشد)، از این رو باران هر شبکه از رستر منحنی همبـاران استخراج می‌گردد.
- هر تیسن دارای دو ضریب است، یکی نسبت باران سالانه تیسن (مبتنـی بـر منحنـی هـم‌بـاران) بـه بـاران سالانه ایستگاه و دیگری نسبت مساحت تیسن به مساحت کل محدوده بیلان.
- ضریب مساحت و ضریب باران هر تیسن در هم ضرب می‌گردد و در نهایـت یـک ضـریب یکنواخـت بـرای توزیع باران در هر ماه حاصل می‌گردد.
- با اعمال مقادیر باران ماهانه در هر ماه از سری آماری، و تجمیع آن‌هـا، بـاران ماهانـه ناحیـه بـیلان تولیـد می‌شود.

جدول ۴-۵- روش پیشنهادی برای تولید سری زمانی باران ماهانه

تیسن	باران سالانه درازمدت ایستگاه Py میلی‌متر	باران سالانه درازمدت پلیگون تیسن (از طریق رستر هم‌باران) میلی‌متر	مساحت (کیلومتر مربع)	ضریب نسبت مساحت تیسن به مساحت محدوده	ضریب نسبت باران تیسن به باران ایستگاه K	ضریب شبکه	باران ماهانه ایستگاه Pm میلی‌متر	اعمال ضریب
A	۱۰۵	۱۱۰.۰*	۲۰۰	۰.۳۳۳	۱.۰۴۸	۰.۳۴۹	۲۰	۶.۹۸
B	۱۰۳	۱۰۰	۲۵۰	۰.۴۱۷	۰.۹۷۱	۰.۴۰۵	۱۵	۶.۰۷
C	۸۵	۹۰	۱۵۰	۰.۲۵۰	۱.۰۵۹	۰.۲۶۵	۸	۲.۱۲
مجموع		۱۰۰.۸**	۶۰۰	۱.۰۰۰			ارتفاع باران	۱۵.۱۷

* این رقم ایستگاه نیست، رقمی است که در شبکه تیسن از منحنی هم‌باران (رستر شده)، استخراج شده است.

** همان رقم متوسطی است که از هم‌باران استخراج می‌شود (هم با اعمال وزن وسعت و هم منحنی هم‌باران همسان خواهد بود).



$$Pm_{total} = \frac{KA \times Arar\ A * PmA + KB \times Arar\ B * PmB + KC \times Arar\ C * PmC}{Arar\ A + Arar\ B + Arar\ C}$$

Pm_{total} باران ماهانه ناحیه، pm باران ماهانه ایستگاه‌ها، Area مساحت تیسن ایستگاه‌های باران سنجی و K ضـرایب تیسن ایستگاه‌ها می‌باشد.

جدول ۴-۶- نمونه محاسبات تبخیر و تعرق واقعی ماهانه

پارامتر		مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	سال
ریزش جوی	PP	۲۰	۰	۱۲۰	۲۵۰	۱۲	۲۰۰	۹	۵۰	۰	۰	۳۵	۰	۶۹۶
دما	TEMP	۲۰.۰	۱۵.۰	۱۰.۰	۵.۰	۳.۰	۳.۰	۱۰.۰	۱۵.۰	۲۰.۰	۳۰.۰	۴۰.۰	۳۰.۰	۱۷
فاکتور دما	F	۱.۰۰	۱.۰۰	۱.۰۰	۰.۸۳	۰.۵۰	۰.۵۰	۱.۰۰	۱.۰۰	۱.۰۰	۱.۰۰	۱.۰۰	۱.۰۰	-
سهم باران	RAIN	۲۰	۰	۱۲۰	۲۰۸	۶	۱۰۰	۹	۵۰	۰	۰	۳۵	۰	۵۴۸
سهم برف	SNOW	۰	۰	۰	۴۲	۶	۱۰۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱۴۸
برف فشرده	PACK	۰	۰	۰	۷	۶	۵۳	۰	۰	۰	۰	۰	۰	-
ذوب برف	MELT	۰	۰	۰	۳۵	۶	۵۳	۵۳	۰	۰	۰	۰	۰	۱۴۸
آب در دسترس در ماه	INPUT (Wm)	۲۰	۰	۱۲۰	۲۴۳	۱۲	۱۵۳	۶۲	۵۰	۰	۰	۳۵	۰	۶۹۶
رطوبت هر ماه	Aw	۲۰	۰	۱۲۰	۳۲۵	۱۱۲	۲۳۹	۱۶۲	۱۵۰	۷۴	۲۵	۳۹	۰	-
تبخیر و تعرق پتانسیل	PET	۸۲	۵۵	۳۸	۲۸	۲۷	۳۰	۵۲	۷۶	۱۰۷	۱۸۴	۲۹۲	۱۶۰	۱۱۳۲
بالانس رطوبتی	W - PET	-۶۲	-۵۵	۸۲	۲۱۵	-۱۵	۱۲۳	۱۰	-۲۶	-۱۰۷	-۱۸۴	-۲۵۷	-۱۶۰	-
رطوبت خاک	SOIL	۰.۰	۰.۰	۸۱.۶	۱۰۰.۰	۸۵.۴	۱۰۰.۰	۱۰۰.۰	۷۳.۷	۲۵.۴	۴.۰	۰.۳	۰.۱	-
تغییرات رطوبت خاک	ΔSOIL	۰.۰	۰.۰	۸۱.۶	۱۸.۴	-۱۴.۶	۱۴.۶	۰.۰	-۲۶.۳	-۴۸.۳	-۲۱.۴	-۳.۷	-۰.۲	-

پارامتر		مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	سال
تبخیر و تعرق واقعی	AET	۲۰.۰	۰.۰	۳۸.۴	۲۸.۴	۲۷.۱	۲۹.۹	۵۲.۰	۷۶.۳	۴۸.۳	۲۱.۴	۳۸.۷	۰.۲	۳۸۱
باران مفید	W-ET-ΔSOIL	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۱۹۶.۲	۰.۰	۱۰۸.۷	۱۰.۲	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۳۱۵

جدول ۴-۷- نمونه محاسبات تبخیر و تعرق واقعی ماهانه

عرض جغرافیایی				۳۷.۶۰										
ظرفیت رطوبت		۱۲۵		دمای باران		۳.۰۰	وسعت به کیلومترمربع					۲۲۲۲		
رطوبت اولیه		۰.۰		دمای برف		-۳.۰۰	درصد رواناب از کل بارندگی مفید					۵۰.۰۰		
پارامتر		مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	سالانه
متوسط دما		۱۱.۲۶	۸.۴۷	۳.۰۶	-۱.۴۹	-۱.۰۵	۲.۶۴	۸.۱۰	۱۲.۲۰	۱۵.۵۶	۱۷.۹۳	۱۸.۲۹	۱۴.۰۹	۹.۰۹
ریزش جوی		۱۸.۱	۴۹.۶	۳۶.۱	۲۸.۶	۴۵.۳	۳۹.۴	۵۷.۷	۶۴.۷	۲۱.۲	۶.۶	۳.۵	۴.۹	۳۷۵.۶
باران		۱۸.۱۰	۴۹.۶۳	۳۶.۰۶	۷.۱۹	۱۴.۷۱	۳۷.۰۷	۵۷.۶۷	۶۴.۷۳	۲۱.۲۲	۶.۵۸	۳.۵۳	۴.۸۵	۳۲۱.۳
برف		۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۲۱.۳۷	۳۰.۵۵	۲.۳۷	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۵۴.۳
برف فشرده شده		۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۱۵.۹۹	۳۱.۴۲	۲.۰۳	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰
ذوب برف		۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۵.۳۸	۱۵.۱۳	۳۱.۷۶	۲.۰۳	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۵۴.۳
رطوبت در اختیار		۱۸.۱۰	۴۹.۶۳	۳۶.۰۶	۱۲.۵۷	۲۹.۸۴	۶۸.۸۳	۵۹.۷۰	۶۴.۷۳	۲۱.۲۲	۶.۵۸	۳.۵۳	۴.۸۵	۳۷۵.۶
ساعات آفتابی در روز (D)		۱۱.۵۹	۱۰.۴۷	۹.۷۲	۹.۶۹	۱۰.۴۳	۱۱.۵۳	۱۲.۷۳	۱۳.۸۷	۱۴.۶۲	۱۴.۶۳	۱۳.۹۱	۱۲.۸۰	۱۴۶.۰
PET اصلاح شده		۵۱.۸	۳۴.۴	۱۰.۷	۰.۰	۰.۰	۱۰.۵	۴۱.۲	۶۹.۸	۹۵.۶	۱۱۱.۵	۱۰۸.۴	۷۵.۲	۶۰۹.۱۳
ذخیره رطوبت خاک		۰.۰	۱۵.۲	۴۰.۶	۵۳.۲	۸۳.۰	۱۲۵.۰	۱۲۵.۰	۱۱۹.۹	۴۵.۵	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۱۲۵.۰
تبخیر و تعرق حقیقی		۱۸.۱	۳۴.۴	۱۰.۷	۰.۰	۰.۰	۱۰.۵	۴۱.۲	۶۹.۸	۹۵.۶	۵۲.۱	۳.۵	۴.۹	۳۴۰.۸
تغییر ذخیره خاک		۰.۰	۱۵.۲	۲۵.۴	۱۲.۶	۲۹.۸	۴۲.۰	۰.۰	-۵.۱	-۷۴.۴	-۴۵.۵	۰.۰	۰.۰	۰.۰
رواناب + نفوذ		۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۱۶.۳	۱۸.۵	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۳۴.۸
ذخیره رطوبت خاک محدود		۰.۰	۱۵.۲	۴۰.۶	۵۳.۲	۸۳.۰	۱۲۵.۰	۱۲۵.۰	۱۱۹.۹	۴۵.۵	۱۹.۶	۸.۵	۴.۸	۱۲۵.۰
تبخیر و تعرق حقیقی محدود		۱۸.۱	۳۴.۴	۱۰.۷	۰.۰	۰.۰	۱۰.۵	۴۱.۲	۶۹.۸	۹۵.۶	۳۲.۴	۱۴.۷	۸.۵	۳۳۶.۰
تغییر ذخیره خاک		۰.۰	۱۵.۲	۲۵.۴	۱۲.۶	۲۹.۸	۴۲.۰	۰.۰	-۵.۱	-۷۴.۴	-۲۵.۹	-۱۱.۲	-۳.۷	۴.۸
رواناب + نفوذ محدود		۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۱۶.۳	۱۸.۵	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۳۴.۸

جدول ۴-۸- نمونه محاسبات تبخیر و تعرق واقعی روزانه

عرض جغرافیایی	۳۴.۵۰												
وسعت به کیلومترمربع	۴۹۹.۲۰												
درصد رواناب از کل بارندگی مفید	۲۰.۰۰												
پارامتر	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	سالانه
متوسط دما	۱۹.۶	۱۴.۲	۹.۰	۶.۱	۷.۰	۱۱.۰	۱۶.۲	۲۲.۱	۲۶.۴	۲۹.۸	۲۷.۷	۲۵.۲	۱۷.۹
بارندگی	۱۲.۰	۴.۷	۰.۰	۰.۰	۲۵.۰	۴۰.۰	۱۲.۷	۶.۱	۰.۲	۰.۲	۰.۰	۰.۰	۱۰۰.۹
تعداد دوره‌های بارانی	۲.۰	۱.۰	۰.۰	۰.۰	۲.۰	۳.۰	۱.۰	۱.۰	۱.۰	۱.۰	۰.۰	۰.۰	۱۲.۰
ساعات آفتابی در روز (D)	۱۱.۶	۱۰.۷	۱۰.۰	۱۰.۰	۱۰.۶	۱۱.۶	۱۲.۷	۱۳.۷	۱۴.۳	۱۴.۳	۱۳.۷	۱۲.۷	۱۴۵.۹
PET اصلاح شده	۷۲.۵	۳۵.۵	۱۳.۷	۶.۴	۸.۹	۲۲.۹	۵۶.۳	۱۱۱.۲	۱۶۴.۷	۲۰۸.۶	۱۷۲.۹	۱۳۳.۵	۱۰۰۷.۰
تامین رطوبت خاک در دوره‌های بارانی	۴.۰	۲.۰	۰.۰	۰.۰	۴.۰	۶.۰	۲.۰	۲.۰	۲.۰	۲.۰	۰.۰	۰.۰	۲۴.۰
تامین رطوبت خاک	۴.۰	۲.۰	۰.۰	۰.۰	۴.۰	۶.۰	۲.۰	۲.۰	۰.۲	۰.۲	۰.۰	۰.۰	۲۰.۴
بارش مازاد پس از کسر تامین اولیه رطوبت خاک	۸.۰	۲.۷	۰.۰	۰.۰	۲۱.۰	۳۴.۰	۱۰.۷	۴.۱	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۸۰.۵
تعداد روزهای دارای تبخیر	۶.۰	۲.۰	۰.۰	۰.۰	۶.۰	۷.۰	۵.۰	۳.۰	۱.۰	۱.۰	۰.۰	۰.۰	۳۱.۰
PET در روزهای دارای تبخیر	۸.۰	۲.۴	۰.۰	۰.۰	۱.۸	۵.۳	۹.۴	۴.۱	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۳۱.۰
بارش مازاد پس از کسر تبخیر و تعرق	۰.۰	۰.۳	۰.۰	۰.۰	۱۹.۲	۲۸.۷	۱.۳	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۴۹.۵
تبخیر و تعرق حقیقی	۱۲.۰	۴.۴	۰.۰	۰.۰	۵.۸	۱۱.۳	۱۱.۴	۶.۱	۰.۲	۰.۲	۰.۰	۰.۰	۵۱.۴

جدول ۴-۹- کد کامپیوتری برای محاسبه ساعات روشنایی بر اساس عرض جغرافیایی

```
D = daylength
L = latitude
J = day of the year
P = asin[.۳۹۷۹۵*cos(.۲۱۶۳۱۰۸ + ۲*atan{.۹۶۷۱۳۹۶*tan[.۰۰۸۶۰*(J-۱۸۶)]})]
_ _
/ sin(۰.۸۳۳۳*pi/۱۸۰) + sin(L*pi/۱۸۰)*sin(P) \
D = ۲۴ - (۲۴/pi)*acos{ ---------------------------------------- }
\_ cos(L*pi/۱۸۰)*cos(P) _/
*/

$dayofyear = date("z"); //current day of the year
$longitude = ۴۷.۲۱۶۷; //longitude of Rapperswil in Switzerland

$P = asin(۰.۳۹۷۹۵*cos(۰.۲۱۶۳۱۰۸ + ۲*atan(۰.۹۶۷۱۳۹۶*tan(۰.۰۰۸۶۰*($dayofyear-۱۸۶)))));
$daylength = ۲۴ - (۲۴/pi())*acos( (sin(۰.۸۳۳۳*pi()/۱۸۰) + sin($longitude*pi()/۱۸۰)*sin($P)) / (cos($longitude*pi()/۱۸۰)*cos($P)) );

$sunTransitTime = ۱۲.۳۸۹۱۶۶۶۶۶۶۶۶۶; //would have expected midday == ۱۲ o'clock o.O
$sunriseTime = $sunTransitTime-$daylength/۲;
$sunsetTime = $sunTransitTime+$daylength/۲;

echo "<h۱>Rapperswil: </h۱>on day " . $dayofyear . "<br>";
echo "day length: " . $daylength . "<br>";
echo "sunrise at: " . $sunriseTime . "<br>";
echo "sunset at: " . $sunsetTime . "<br>";

?>
```

فصل ۵

راهنمای ارزیابی جریان سطحی خروجی از محدوده‌های مطالعاتی

۵-۱- مقدمه

از آنجاکه مشخص نمودن میزان جریان‌های سطحی ورودی به محدوده‌های مطالعاتی و خروجی از آن‌ها در بیلان عمومی منابع آب نقش مهمی دارد، لذا در مطالعات هیدرولوژی با بهره‌گیری از آمار و اطلاعات آبدهی در ایستگاه‌های هیدرومتری نسبت به ارزیابی آبدهی در محل ورودی و خروجی محدوده‌های مطالعاتی اقدام می‌شود.

وجود ایستگاه‌های هیدرومتری که عهده‌دار اندازه‌گیری اطلاعات مربوط به آبدهی و جریان سطحی رودخانه در محل‌های خاص (مقطع ایستگاه هیدرومتری) است، می‌تواند ابزار مهمی در تهیه بیلان منابع آب باشد. با استفاده از اطلاعات این ایستگاه‌ها شرایط برای ارزیابی حجم جریان سطحی ورودی به محدوده‌های مطالعاتی و خروجی از آن‌ها فراهم می‌شود. محل نصب و بهره‌برداری از ایستگاه‌های هیدرومتری تاسیس شده بر روی رودخانه‌ها معمولا منطبق بر مرز ورودی و خروجی محدوده‌های مطالعاتی نمی‌باشد و لذا برای محاسبه میزان آبدهی جریان‌های سطحی ورودی به محدوده‌های مطالعاتی و خروجی از آن‌ها (که از نیازهای اساسی در تهیه بیلان آب در محدوده‌های مطالعاتی به شمار می‌رود) از روش‌های مختلفی استفاده می‌شود که در ادامه به تشریح آن‌ها پرداخته می‌شود.

خاطر نشان می‌سازد با توجه به شرایط آماری ایستگاه‌های هیدرومتری و موقعیت نصب و بهره‌برداری از آن‌ها امکان دارد نیازی به به‌کارگیری این روش‌ها نباشد و فقط در تعداد محدودی از محدوده‌های مطالعاتی از برخی روش‌ها استفاده شود. ذکر این نکته لازم می‌باشد که برخی از این روش‌ها ممکن است دقت مناسبی برای برآورد حجم آبدهی در نقاط مورد نظر را نداشته باشد که در محاسبات مربوط به بیلان با توجه به وضعیت بارش، تغذیه آبخوان، تبخیر و به طور کلی سایر عوامل چرخه آب، نسبت به تجدید نظر در خصوص میزان حجم جریان سطحی (به خصوص در نقاط فاقد ایستگاه هیدرومتری) اقدام می‌شود. با توجه به اینکه مصرف از آب‌های سطحی (شامل برداشت از رودخانه توسط سدها، انهار، موتور پمپ‌ها، ایستگاه‌های پمپاژ و آب‌بندان‌ها) نیز در بیلان منابع آب تحت عنوان مصرف و مصرف خالص نقش مهمی دارد. در ارزیابی جریان سطحی خروجی، موقعیت این نقاط مصرف و همچنین آب برگشتی آن‌ها و نیز زهکشی رودخانه، تغذیه و بالاآمدگی سنگ کف در انتهای محدوده‌های مطالعاتی باید مورد توجه قرار گیرد.

به طور کلی روش‌های ارزیابی جریان سطحی خروجی در چهار دسته اصلی زیر دسته‌بندی می‌گردد:

۱- استفاده مستقیم از ایستگاه‌های هیدرومتری،

۲- استفاده غیرمستقیم مبتنی بر تحلیل منطقه‌ای ایستگاه‌های هیدرومتری،

۳- استفاده غیرمستقیم مبتنی بر روش‌های تجربی بومی شده

۴- روش‌های پیشنهادی برای حوضه‌های فاقد هرگونه اطلاعات سنجش.

با توجه به اهمیت ارزیابی جریان سطحی خروجی از محدوده‌های مطالعاتی با چندین حوضه آبریز، در ادامه به این موارد پرداخته شده است.

۵-۲- روش‌های استفاده مستقیم از ایستگاه‌های هیدرومتری

در این روش‌ها به طور مستقیم، از اطلاعات یک ایستگاه هیدرومتری استفاده می‌گردد و با لحاظ کردن برخی پارامترهای دیگر همانند سطح و باران (که مهم‌ترین نقش در تولید رواناب و جریان سطح دارند)، اطلاعات مقطع ایستگاه به مقطع دیگری از رودخانه منتقل می‌گردد.

۵-۲-۱- روش نسبت مساحت‌ها

برای بهره‌گیری از روش نسبت‌ها از داده‌های آبدهی ایستگاه‌های هیدرومتری بالادست و یا پایین‌دست محل ورودی و خروجی و مساحت حوضه آبریز آن استفاده می‌گردد. در استفاده از این روش باید توجه داشت که مساحت حوضه آبریز ایستگاه هیدرومتری و مساحت حوضه آبریز محل ورودی و خروجی دارای اختلاف چندانی نباشد؛ البته قید مشخص و یا عدد مشخص برای این اختلاف وجود ندارد و بسته به شرایط داده‌های هیدروکلیماتولوژی و میزان امکان استفاده از سایر روش‌ها می‌تواند تغییر کند.

به طور کلی در روش نسبت مساحت‌ها، نسبت مقادیر دبی و مساحت مورد ارزیابی قرار می‌گیرد و رابطه کلی آن به شکل زیر است:

$$\frac{Q_2}{Q_1}=\frac{A_2}{A_1}$$

که در آن $Q_۲$ آبدهی حوضه آبریز فاقد آمار (ورودی یا خروجی محدوده مطالعاتی مورد نظر) و $A_۲$ نیز مساحت محدوده مطالعاتی یاد شده می‌باشد. $A_۱$ و $Q_۱$ نیز به ترتیب مساحت و آبدهی ایستگاه هیدرومتری مورد نظر است.

۵-۲-۲- روش انتقالی (مساحت و باران)

برای بهره‌گیری از روش انتقالی از داده‌های آبدهی، مساحت و باران ایستگاه هیدرومتری بالادست و یا پایین‌دست محل ورودی و خروجی استفاده می‌گردد. تفاوت این روش با روش نسبت مساحت‌ها در اختلاف نسبی بین مساحت ایستگاه هیدرومتری و مساحت حوضه آبریز محل ورودی و خروجی است که این اختلاف با وارد کردن نقش باران در رابطه نسبت‌ها تدقیق می‌گردد.

به طور کلی در روش انتقالی، نسبت مقادیر بارندگی، مساحت و آبدهی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد و به عبارت دیگر پارامترهای ایستگاه هیدرومتری را به نقطه دیگری منتقل می‌کند که رابطه کلی آن به شکل زیر است:

$$\frac{Q_2}{Q_1}=\frac{A_2}{A_1}\times\frac{P_2}{P_1}$$

که در آن $Q_۲$ آبدهی حوضه آبریز فاقد آمار (ورودی و خروجی محدوده مطالعاتی) و $P_۲$ به ترتیب میزان بارندگی در ارتفاعات و یا دشت محدوده مطالعاتی مذکور و $A_۲$ نیز مساحت محدوده مطالعاتی یاد شده است. $P_۱$، $A_۱$ و $Q_۱$ نیز به ترتیب باران، مساحت و آبدهی ایستگاه هیدرومتری مورد نظر است.

۵-۲-۳- روش ضریب جریان

در این روش با استفاده از منحنی هم‌باران ترسیم شده در مطالعات هواشناسی، میزان بارندگی متوسط سالانه درازمدت (دوره شاخص همسان با مطالعات آب‌های سطحی) در سطح برخی از حوضه‌های آبریز ایستگاه‌های هیدرومتری (دارای اطلاعات آبدهی سالانه درازمدت دوره شاخص) که عموماً در بالادست آن‌ها استفاده از منابع آب صورت نمی‌گیرد و یا به صورت محدود انجام می‌شود محاسبه می‌گردد. با توجه به حجم بارندگی در سطح حوضه ایستگاه هیدرومتری و حجم جریان سطحی در محل همان ایستگاه، ضریب رواناب از تقسیم حجم جریان سطحی بر حجم بارندگی محاسبه می‌گردد.

برای ارزیابی آبدهی در محل ورودی و خروجی هر محدوده مطالعاتی، با توجه به بارندگی و مساحت حوضه آبریز بالادست آن‌ها و اعمال ضریب رواناب ایستگاه هیدرومتری همسان با حوضه آن (از نظر وضعیت پوشش گیاهی، کاربری اراضی، وضعیت ریزش‌های جوی، شرایط فیزیکی حوضه و ...) شرایط ارزیابی حجم رواناب فراهم می‌گردد. شکل عمومی رابطه به صورت $V=C\times P\times A$ می‌باشد که در آن V حجم رواناب سالانه حوضه آبریز و C، P و A نیز به ترتیب ضریب رواناب، بارندگی سالانه حوضه آبریز و مساحت حوضه آبریز است.

۵-۲-۴- روش دبی ویژه

برای محاسبه جریان سطحی خروجی حوضه از اطلاعات دبی ویژه ایستگاه هیدرومتری که دارای شرایط همسان با حوضه مورد نظر (از نظر وضعیت پوشش گیاهی، کاربری اراضی، وضعیت ریزش‌های جوی، شرایط فیزیکی حوضه و ...) می‌باشد نیز می‌توان استفاده کرد. نظر به اینکه عموما با افزایش سطح حوضه آبریز دبی ویژه کاهش می‌یابد، لذا در شرایط ارزیابی حجم رواناب باید اختلاف سطح و اختلاف بارندگی و همچنین محل‌های عمده برداشت را مورد توجه قرار داد.

نکته حائز اهمیت آن است که در برخی از محدوده‌های مطالعاتی تعدادی رودخانه به طور مستقل از سطح محدوده مطالعاتی خارج می‌شود و بر روی برخی از آن‌ها، ایستگاه هیدرومتری تاسیس شده است، لذا برای ارزیابی جریان سطحی خروجی مبتنی بر روش‌های استفاده مستقیم از ایستگاه‌های هیدرومتری، درصورتی‌که تفاوت اقلیمی و شرایط فیزیکی قابل توجه ایجاد نشده باشد، مجموع آبدهی ایستگاه‌ها، مجموع مساحت ایستگاه‌های هیدرومتری و همچنین حجم باران در مجموع سطح حوضه آبریز بالادست ایستگاه‌ها در محاسبات اعمال می‌گردد.

نکته دیگر آن‌که در روش‌های استفاده مستقیم از ایستگاه‌های هیدرومتری، باید به شرایط حد فاصل ایستگاه هیدرومتری و خروجی از محدوده مطالعاتی توجه کافی داشت و چنانچه در این فاصله سازه و یا نقاط برداشت قابل توجه و اثرگذار بر روند جریان وجود داشته باشد، باید اثر آن لحاظ گردد. به طور کلی زمانی که قبل و بعد از ایستگاه در میان‌حوضه، مصرف وجود داشته باشد به‌کارگیری روش بیلان سطحی بعد از ایستگاه پیشنهاد می‌گردد. در بیلان آب سطحی هفت مؤلفه دارای اهمیت است که شامل موارد زیر است:

- جریان سطحی ورودی به میان حوضه (شامل اطلاعات ایستگاه هیدرومتری و آب انتقالی)
- رواناب تولید شده در ناحیه میان حوضه

- آب برگشتی به آب سطحی از مصارف
- زهکشی آبخوان
- چشمه‌ها و قنوات
- برداشت از آب سطحی، چشمه‌ها و قنوات (و بعضا چاه‌های موجود در حاشیه رودخانه)
- تغذیه آبخوان

با توجه به اینکه محاسبه اطلاعات مربوط به زهکشی آبخوان و تغذیه آبخوان در تعامل با سایر مؤلفه‌های بیلان (هیدروکلیماتولوژی، آبخوان آبرفتی و عمومی) تدقیق می‌گردد، لذا برای محاسبه مؤلفه‌های رواناب، زهکشی آبخوان و تغذیه آبخوان و آب برگشتی به آب سطحی می‌توان از اطلاعات بیلان قبل استفاده کرد (در بیلان قبل چون کل مؤلفه‌های بیلان در حد قابل قبول با یکدیگر بالانس شده است، می‌توان برای ارزیابی مؤلفه‌های یاد شده از آن استفاده کرد) و البته بعد از تهیه بیلان محدوده مطالعاتی، نسبت به تدقیق آن‌ها اقدام نمود.

۵-۳- روش‌های غیرمستقیم مبتنی بر تحلیل منطقه‌ای ایستگاه‌های هیدرومتری

در این روش‌ها از مجموعه اطلاعات ایستگاه‌های هیدرومتری حوضه آبریز و پیرامون آن استفاده می‌گردد و با استخراج اطلاعات مساحت، دبی ویژه، ضریب جریان (و همچنین سایر اطلاعات فیزیکی حوضه همانند شیب) رابطه‌ای منطقه‌ای بین دبی (آبدهی)، با مشخصات یادشده تولید می‌گردد. در تولید این رابطه باید به اثرات مصرف (برداشت‌های اصلی) و همچنین اندرکنش آب سطحی و زیرزمینی توجه کرد و در صورت نیاز تعدیل‌های لازم را انجام داد.

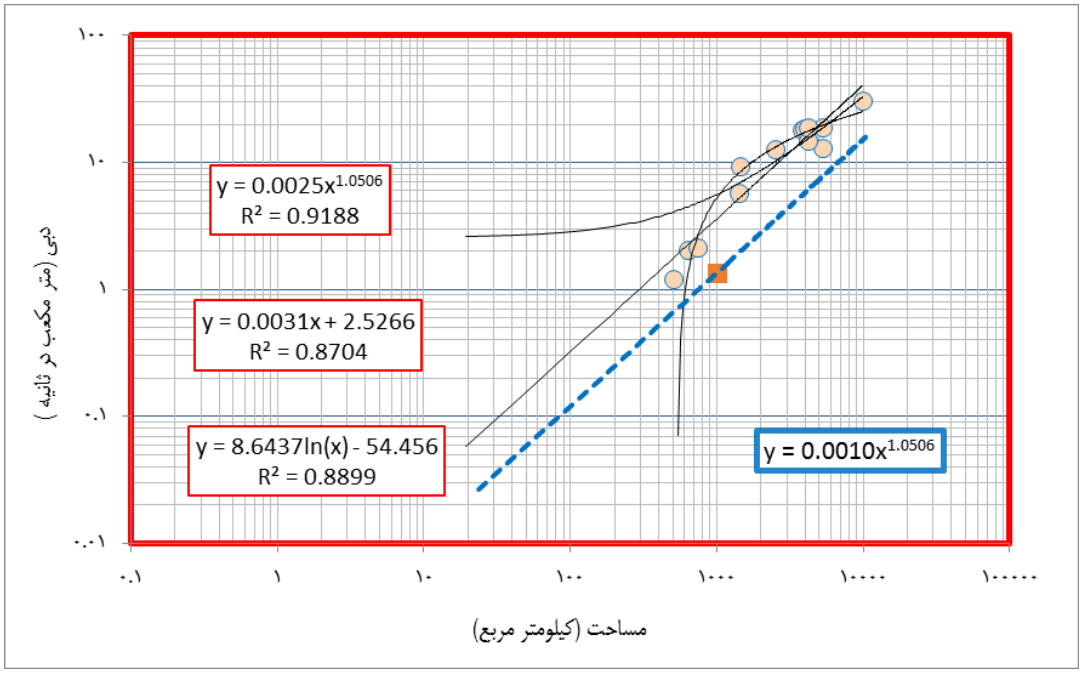
نکته مهم آن‌که چنانچه روابط خطی و غیرخطی (یک، دو و سه متغیره) مد نظر قرار گرفت (با توجه به دامنه مساحت حوضه‌های هدف)، باید به دو موضوع حتما توجه داشت، اول مقدار عرض از مبدأ برای حوضه‌های آبریز کوچک باید منطقی باشد و دوم اینکه ضرایب پارامترها از نظر کارکرد مثبت و منفی باید همسو با افزایش یا کاهش جریان باشد.

۵-۳-۱- روش دبی و مساحت

این روش نیز همانند روش دبی ویژه- مساحت است، لیکن بجای دبی ویژه از دبی متوسط سالانه درازمدت استفاده می‌شود. شکل عمومی رابطه دبی- مساحت به صورت توانی $Q=a\times A^b$ و خطی یا نمایی و یا ... می‌باشد که در آن Q و A دبی و مساحت بوده و a و b نیز ضرایب رابطه است. در استفاده از رابطه دبی ویژه- مساحت یا دبی- مساحت، ضریب همبستگی و سطح معنی‌دار بودن روابط استخراج شده اهمیت ویژه‌ای دارد. استفاده از این روش نیز همانند روش دبی ویژه و مساحت برای حوضه‌های بزرگ که از جریان سطحی استفاده زیادی صورت می‌گیرد باید با احتیاط باشد.

نکته آن‌که در برخی موارد نزدیک‌ترین ایستگاه در سطح حوضه آبریز که تقریبا شرایط همسان با حوضه مورد نظر (از نظر وضعیت پوشش گیاهی، کاربری اراضی، وضعیت ریزش‌های جوی، شرایط فیزیکی حوضه و...) دارد، در رابطه کلی دبی و مساحت موقعیت این ایستگاه شرایط مناسبی ندارد (پرت تلقی شده و انحراف دارد). لذا برای تولید رابطه

مناسب‌تر در سطح حوضه آبریز مورد نظر، از شیب کلی نمودار استفاده می‌گردد و عملا منحنی طوری ترسیم می‌شود که از ایستگاه همسان با منطقه عبور کند (شکل ۵-۱).



شکل ۵-۱- تصویر رابطه بین مساحت و دبی متوسط و استفاده از شیب تغییرات

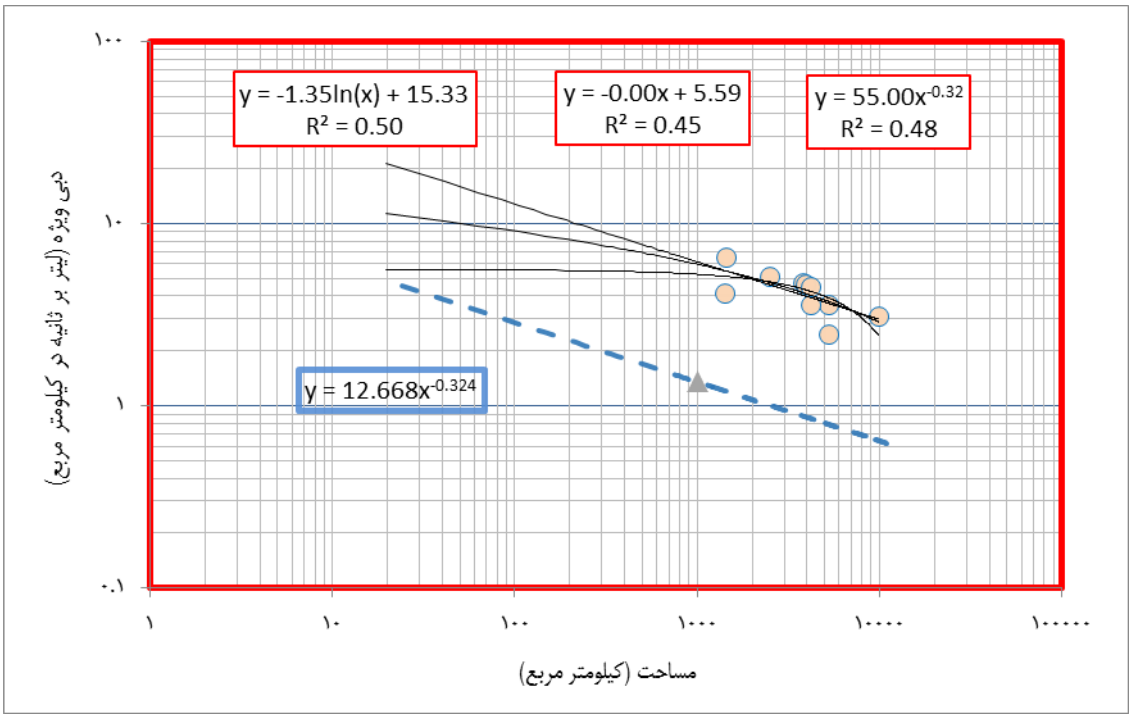
۵-۳-۲- روش دبی ویژه و مساحت

در این روش وضعیت آبدهی متوسط سالانه درازمدت ایستگاه‌های هیدرومتری موجود مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. سپس با توجه به مساحت حوضه آبریز هریک از ایستگاه‌ها، دبی ویژه آن‌ها که عبارت است از دبی بر واحد سطح (لیتر بر ثانیه بر کیلومترمربع) محاسبه می‌گردد. با استفاده از این اطلاعات، رابطه‌ای که متغیر مستقل آن مساحت حوضه آبریز و تابع آن دبی ویژه است در سطح هر یک از زیرحوضه‌ها برقرار می‌گردد. شکل عمومی رابطه دبی ویژه- مساحت به صورت توانی $q=a\times A^b$ و خطی یا نمایی و یا ... می‌باشد که در آن q و A دبی ویژه و مساحت بوده و a و b نیز ضرایب رابطه است. با توجه به مساحت در محل ورودی و یا خروجی محدوده مطالعاتی، امکان ارزیابی دبی ویژه و در نهایت آبدهی وجود دارد.

خاطر نشان می‌سازد استفاده از روش دبی ویژه و مساحت عموما برای حوضه‌های بالادست توصیه می‌گردد که برداشت و بهره‌برداری از جریان سطحی در آن‌ها انجام نشده و یا به صورت محدود انجام می‌شود. چراکه استفاده از جریان سطحی باعث کاهش دقت در ارزیابی جریان سطحی در حوضه‌های بزرگی می‌گردد که در پایین‌دست آن از جریان سطحی استفاده می‌شود.

ذکر این نکته حائز اهمیت است که در برخی موارد نزدیک‌ترین ایستگاه در سطح حوضه آبریز که تقریبا شرایط همسان با حوضه مورد نظر (از نظر وضعیت پوشش گیاهی، کاربری اراضی، وضعیت ریزش‌های جوی، شرایط فیزیکی

حوضه و...) دارد، در رابطه کلی دبی ویژه و مساحت موقعیت این ایستگاه شرایط مناسبی ندارد (پرت تلقی شده و انحراف دارد). لذا برای تولید رابطه مناسب‌تر در سطح حوضه آبریز مورد نظر، از شیب کلی نمودار استفاده می‌گردد و عملا منحنی طوری ترسیم می‌شود که از ایستگاه همسان با منطقه عبور کند (شکل ۵-۲).



شکل ۵-۲- تصویر رابطه بین مساحت و دبی ویژه و استفاده از شیب تغییرات

۵-۳-۳- روش مدل رگرسیونی (دبی با باران و مساحت)

برای تدقیق بیش‌تر روابط دبی- مساحت از میزان بارندگی درازمدت در سطح حوضه آبریز ایستگاه‌های هیدرومتری نیز بهره گرفته می‌شود و بر این اساس با برقراری رابطه رگرسیونی دو متغیره $Q = f(A,P)$ بین دبی متوسط سالانه ایستگاه‌ها با مساحت و باران حوضه آن رابطه‌ای دو متغیره استخراج می‌شود. که در آن، Q، P و A به ترتیب دبی بر حسب مترمکعب بر ثانیه، باران سالانه حوضه بر حسب میلی‌متر در سال و مساحت حوضه بر حسب کیلومترمربع خواهد بود.

۵-۳-۴- روش مدل رگرسیونی (ضریب جریان با باران و مساحت)

نظر به اینکه وسعت حوضه و میزان باران در تغییر ضریب جریان نقش مهمی دارد، لذا با استفاده از ضریب جریان در حوضه آبریز ایستگاه‌های هیدرومتری، مساحت و باران در آن‌ها رابطه‌ای به شرح $C = f(A,P)$ استخراج شده است. در این رابطه C، P و A به ترتیب ضریب جریان، باران سالانه حوضه بر حسب میلی‌متر در سال و مساحت حوضه بر حسب کیلومترمربع است. در ادامه پس از برآورد ضریب جریان در مقطع خروجی محدوده مطالعاتی، از رابطه $V = C \times P \times A$ حجم جریان سطحی ارزیابی می‌گردد.

۵-۳-۵- روش مدل رگرسیونی (دبی ویژه با باران و مساحت)

برای تدقیق روابط دبی ویژه - مساحت از میزان بارندگی درازمدت در سطح حوضه آبریز ایستگاه‌های هیدرومتری نیز بهره گرفته می‌شود و بر این اساس با برقراری رابطه رگرسیونی دو متغیره $q = f(A,P)$ بین دبی ویژه متوسط سالانه ایستگاه‌ها با مساحت و باران حوضه آن رابطه‌ای دو متغیره استخراج می‌شود.

که در آن، q، P و A به ترتیب دبی ویژه بر حسب لیتر بر ثانیه در کیلومترمربع، باران سالانه حوضه بر حسب میلی‌متر در سال و مساحت حوضه بر حسب کیلومترمربع خواهد بود.

نکته:

از آنجا که در برخی از محدوده مطالعاتی، از تعدادی رودخانه مستقل تشکیل شده و به پایانه‌های آبی منتهی می‌گردد، بر اساس آنچه که در ادامه تشریح خواهد شد، ابتدا حوضه آبریز این رودخانه‌های مستقل شناسایی شده و در قالب فرایندی به شرح زیر نسبت به ارزیابی و تعدیل جریان سطحی (مبتنی بر ایستگاه و بدون ایستگاه خروجی)، اقدام می‌گردد.

الف- رودخانه‌هایی که فاقد ایستگاه هیدرومتری بوده و مصرف قابل توجهی در بالادست آن‌ها ثبت نشده است، با استفاده از رابطه‌های دو متغیره بالا (با به کارگیری مساحت و باران حوضه آبریز آن)، مقدار دبی/ ضریب جریان/ دبی ویژه آن‌ها ارزیابی شده و از طریق دبی/ ضریب جریان/ دبی ویژه و استفاده از مساحت و باران حوضه آبریز هریک از این رودخانه‌ها، جریان سطحی (بدون اثر مصرف) تا پایانه آبی محاسبه شده است.

ب- در رودخانه‌هایی که ایستگاه اندازه گیری جریان وجود داشت، اطلاعات ایستگاه مقدم بر رابطه‌های دو متغیره دانسته شده است، از آنجا که عموما مساحت و باران حوضه آبریز ایستگاه هیدرومتری با مساحت و باران حوضه آبریز کل رودخانه تا خروجی به پایانه، یکسان نیست، نمی‌توان به طور مستقیم از اطلاعات دبی/ ضریب جریان/ دبی ویژه ایستگاه برای کل رودخانه استفاده کرد و مستلزم آن است که دبی/ ضریب جریان/ دبی ویژه ایستگاه برای کل رودخانه به شرح زیر تعدیل شود.

- برای این تعدیل دبی/ ضریب جریان/ دبی ویژه در ایستگاه‌های هیدرومتری از رابطه دو متغیره استفاده شده و qEs/ CEs/ QEs، یعنی دبی/ ضریب جریان/ دبی ویژه برآوردی ایستگاه نامگذاری می‌گردد.
- مقدار دبی/ ضریب جریان/ دبی ویژه کل رودخانه تا پایانه آبی نیز از طریق رابطه دو متغیره ارزیابی شده و تحت عنوان qER/ CER/ QER دبی/ ضریب جریان/ دبی ویژه برآوردی رودخانه نامیده می‌شود.
- دبی/ ضریب جریان/ دبی ویژه محاسباتی ایستگاه q/ C/ Q نامیده شده است.
- نظر به اینکه در رابطه دو متغیره به ازای تغییر در مقادیر باران و مساحت از محل ایستگاه هیدرومتری به محل خروج به پایانه، مقادیر دبی/ ضریب جریان/ دبی ویژه آن‌ها نیز از QES به QER/ CES به CER و qES به qER تغییر کرده است، لذا همین نسبت تغییر یعنی QES/QER یا CES/CER و یا qER/qES ملاک تعدیل قرار می‌گیرد و با ضریب این نسبت در q/C/Q، در حقیقت q/C/Q جدید کل رودخانه (تعدیل شده تا خروجی)، برآورد می‌شود.

- برای حوضه‌های آبریز فاقد ایستگاه مقدار q/C/Q از همان رابطه دو متغیره استخراج می‌گردد و در صورت نیاز، ضریب تعدیل خروجی رابطه (با توجه به ایستگاه‌های دیگر) برای این نواحی در نظر گرفته می‌شود.
- با اعمال q/C/Q تعدیل شده در مساحت و باران حوضه آبریز کل رودخانه (هایی که دارای ایستگاه هیدرومتری هستند)، مقدار دبی خروجی به پایانه (بدون اثر مصرف) محاسبه می‌گردد.

ج- با توجه به اینکه محاسبات جریان سطحی مبتنی بر عدم مصرف می‌باشد، باید به نحو مقتضی اثر مصرف (و آب برگشتی) در این ارزیابی‌ها لحاظ شود. شایان ذکر است با اندکی اغماض فرض می‌گردد، اندرکنش آب سطحی و زیرزمینی در روند تغییرات دبی در قالب روابط دو متغیره دیده شده است.

جدول ۵-۱- نمونه ارزیابی اولیه دبی خروجی از محدوده‌های مطالعاتی از روش‌های مختلف برای غرب حوضه هامون جازموریان (دبی مترمکعب بر ثانیه)

محدوده مطالعاتی	مساحت کل در خروجی کیلومترمربع	باران متوسط خروجی میلی‌متر	نام ایستگاه شاهد	ضریب جریان ایستگاه درصد	خطا برآوردی در ایستگاه از طریق رابطه دو متغیره ضریب جریان به درصد	خطا برآوردی در ایستگاه از طریق رابطه تک متغیره ضریب جریان به درصد	دبی ایستگاه مترمکعب بر ثانیه	خطا برآوردی از طریق رابطه دو متغیره دبی باران مساحت به درصد	ضریب جریان در خروجی محدوده مطالعاتی	دبی خروجی بر اساس ضریب جریان دو متغیره (اصلاحی رابطه دو متغیره بر اساس ایستگاه)	ضریب جریان در خروجی محدوده مطالعاتی (برآوردی از طریق رابطه تک متغیره)	ضریب جریان در خروجی محدوده مطالعاتی (اصلاحی رابطه تک متغیره بر اساس ایستگاه)	دبی خروجی بر اساس ضریب جریان تک متغیره	دبی خروجی بر اساس رابطه دو متغیره دبی با باران و مساحت	دبی اصلاحی خروجی دو متغیره دبی با باران و مساحت بر اساس ایستگاه
رودبار جیرفت	۲۵۹۹۳	۱۹۷	کهنک شیبانی	۲.۳۳	۹۵.۶	۱۰۰.۶	۲.۳۱	۹۵.۶	۲.۷۵	۱.۴۰	۲.۲۸	۳.۳۴	۱.۶۶	۲.۷۰	۴.۴۵	۲.۲۷
فاریاب شرقی	۱۷۴۲	۲۶۱	ندارد						۱۱.۴۷	۱۱.۴۷	۱.۶۵	۱۱.۸۰	۱۱.۸۰	۱.۷۰	۱.۶۵	۱.۶۵
جیرفت	۱۵۲۰۴	۲۴۵	کهنک شیبانی	۲.۳۳	۹۵.۶	۱۰۰.۶	۲.۳۱	۹۵.۶	۴.۴۰	۲.۲۵	۲.۶۶	۴.۲۹	۲.۱۴	۲.۵۳	۵.۱۸	۲.۶۵
رامون - بحرآسمان	۸۰۵۰	۲۴۵	ورودی سد جیرفت	۸.۴۶	-۳۵.۸	-۳۱.۸	۵.۲۸	-۳۵.۸	۵.۶۹	۸.۸۷	۵.۵۴	۵.۷۷	۸.۴۶	۵.۲۸	۳.۵۴	۵.۵۲
اسفندقه	۸۲۲	۲۱۵	ندارد						۱۲.۵۰	۱۲.۵۰	۰.۷۰	۱۶.۷۶	۱۶.۷۶	۰.۹۴	۰.۷۰	۰.۷۰
پایاب دهوج	۳۸۵۱	۲۲۶	ندارد						۷.۰۳	۷.۰۳	۱.۹۴	۸.۱۵	۸.۱۵	۲.۲۵	۱.۹۳	۱.۹۳
بزنجان	۵۰۱	۲۲۹	ندارد						۱۶.۵۱	۱۶.۵۱	۰.۶۰	۲۱.۱۲	۲۱.۱۲	۰.۷۷	۰.۶۰	۰.۶۰
بافت	۵۱۹	۲۵۱	پل بافت	۱۵.۴۸	۷۹.۹	۸۲.۷	۰.۳۹	۷۹.۹	۱۸.۰۶	۱۰.۰۴	۰.۴۲	۲۰.۷۶	۱۱.۳۶	۰.۴۷	۰.۷۵	۰.۴۱
دشتاب	۱۹۲۰	۲۳۷	ندارد						۹.۸۹	۹.۸۹	۱.۴۳	۱۱.۲۸	۱۱.۲۸	۱.۶۳	۱.۴۲	۱.۴۲
سلطانی	۹۸۱	۲۵۸	سلطانی	۱۱.۱۰	۳۵.۴	۴۶.۹	۰.۸۲	۳۵.۴	۱۴.۳۴	۱۰.۶۰	۰.۸۵	۱۵.۴۳	۱۰.۵۰	۰.۸۴	۱.۱۵	۰.۸۵
رابر	۵۰۳	۲۹۳	هنجان	۲۵.۷۲	۱۶.۵	۱۳.۱	۰.۶۴	۱۶.۵	۲۱.۸۴	۱۸.۷۵	۰.۸۸	۲۱.۰۷	۱۸.۶۳	۰.۸۷	۱.۰۲	۰.۸۷
سراب هلیل	۱۸۸۵	۲۵۵	میدان	۱۶.۵۰	۱۱.۱	۷.۰	۱.۱۴	۱۱.۱	۱۰.۸۳	۹.۷۵	۱.۴۹	۱۱.۳۷	۱۰.۶۳	۱.۶۲	۱.۶۵	۱.۴۸
قلعه گنج و کم سفید	۵۴۳۱	۱۲۹	ندارد						۳.۲۰	۳.۲۰	۰.۷۱	۶.۹۴	۶.۹۴	۱.۵۴	۰.۷۱	۰.۷۱
چاه هاشم	۳۲۷۵	۱۵۵	ندارد						۴.۸۸	۴.۸۸	۰.۷۹	۸.۷۹	۸.۷۹	۱.۴۲	۰.۷۸	۰.۷۸

۵-۴- روش‌های مبتنی بر روابط تجربی بومی شده

برای مطالعات ارزیابی جریان سطحی روابط تجربی مختلفی وجود دارد. این روش‌ها برآوردی در خصوص رواناب (نه جریان سطحی) دارند. در بین این روش‌ها روش جاستین، انجمن تحقیقات کشاورزی هند (ICAR)، کوتاین، دپارتمان آبیاری هندوستان و لیسی معمول‌ترین روش‌ها می‌باشند. لازم به ذکر است چون اکثر این روش‌ها دارای ضرایب منطقه‌ای هستند، در استفاده از آن‌ها باید توجه خاص صورت گیرد و بر اساس اطلاعات ایستگاه‌های پیرامون، نسبت به بومی کردن ضرایب اقدام نمود.

با توجه به آن‌که این روابط رواناب را برآورد می‌کنند، برای بومی‌سازی ضریب آن‌ها، لازم است ابتدا مقادیر رواناب از دبی پایه در ایستگاه‌های هیدرومتری تفکیک گردد و سایر پارامترهای اقلیمی و فیزیکی حوضه آبریز ایستگاه هیدرومتری که در رابطه دخیل است استخراج شود و بر اساس سهم رواناب و سایر پارامترهای استخراج شده، نسبت به برآورد ضریب روابط اقدام نمود.

همچنین، در مناطق خشک، تولید اطلاعات جریان سطحی محدود بوده و معمولا ایستگاه‌های هیدرومتری بر روی خروجی چشمه‌ها و یا رودخانه‌های دایمی نصب شده و بر روی رودخانه‌های فصلی و سیلابی کم‌تر اطلاعات اندازه‌گیری کمی جریان ثبت می‌گردد. لذا در انتخاب ایستگاه برای استفاده از اطلاعات آن برای بومی‌سازی روابط تجربی باید به شرایط ایستگاه توجه گردد که آیا می‌تواند معرف حوضه فاقد آمار باشد یا خیر.

۵-۴-۱- روش جاستین[۱]

جاستین، برای برآورد رواناب سطحی سالیانه، با استفاده از سه پارامتر بارندگی، درجه حرارت و شیب حوضه فرمولی به شکل زیر ارائه نموده است:

$$R = K \times S^{0.155} \frac{P^2}{1.8T + 32}$$

$$S = \frac{H_{max} - H_{min}}{\sqrt{A}}$$

R: ارتفاع رواناب سالیانه (سانتی‌متر)

P: ارتفاع بارندگی سالیانه (سانتی‌متر)

S: شیب حوضه ($^{m}/_{m}$)

۱- Justin

T: میانگین درجه حرارت سالیانه (درجه سانتی‌گراد)

A: مساحت حوضه (کیلومترمربع)

H_{max}: ارتفاع حداکثر حوضه (کیلومتر)

H_{min}: ارتفاع حداقل حوضه (کیلومتر)

K: ضریب جاستین که مقدار اولیه آن ۰/۲۸۴ می‌باشد.

دقت برآورد رواناب بستگی به میزان دقت در تعیین ضریب K دارد. مقدار این ضریب به دو روش نقطه‌ای و منطقه‌ای و با استفاده از اطلاعات ایستگاه‌های هیدرومتری اطراف منطقه قابل برآورد است.

۵-۴-۲- روش ICAR

انجمن تحقیقات کشاورزی هند برای تخمین رواناب سالیانه در حوضه‌های آبریز کوچک فرمولی را به شرح زیر ارائه نموده است:

$$R = \frac{1.115 \times P^{1.44}}{T^{1.34} \times A^{0.0613}}$$

در این رابطه پارامترها به صورت زیر تعریف می‌شود:

R: ارتفاع رواناب سالیانه (سانتی‌متر)

P: میانگین بارندگی سالیانه (سانتی‌متر)

T: میانگین درجه حرارت سالیانه (درجه سانتی‌گراد)

A: مساحت حوضه (کیلومترمربع)

در این رابطه ضریب ۱/۱۱۵ را می‌توان با توجه به اطلاعات ایستگاه‌های هیدرومتری همسان اصلاح نمود.

۵-۴-۳- روش دپارتمان آبیاری هندوستان

مدیریت طرح ریحاند از دپارتمان آبیاری کشور هندوستان رابطه زیر را بین میزان بارندگی سالانه و رواناب سالانه مورد انتظار ارائه نمود.

$$R = P - 1.17 \times P^{0.86}$$

P: بارندگی سالانه بر حسب سانتی‌متر

R: رواناب سالانه بر حسب سانتی‌متر

در این رابطه ضریب ۱/۱۷ را می‌توان با توجه به اطلاعات ایستگاه‌های هیدرومتری همسان اصلاح نمود.

۵-۴-۴- روش تورک

تورک پس از بررسی‌هایی که در ۲۵۴ حوضه آبریز در نقاط و اقلیم‌های دنیا انجام داد موفق شد رابطه زیر را پیشنهاد نماید.

$$D=\frac{P}{\sqrt{0.9+(P^2/L^2)}}$$

D: کمبود اشباع (میلی‌متر)

P : بارندگی سالانه بر حسب سانتی‌متر

مقدار L نیز ار رابطه زیر حاصل می‌شود:

$L=۳۰۰+۲۵T+۰.۰۵T^3$

T: درجه حرارت متوسط سالانه بر حسب درجه سانتی‌گراد

۵-۴-۵- روش خوزلا

خوزلا درجه حرارت متوسط سالانه را به عنوان نمایان‌گر عواملی همانند تبخیر- تعرق، تابش آفتاب و سرعت باد بر روی تلفات آب دانسته و رابطه‌ای به صورت زیر ارائه داده است.

$$R=P-\frac{T}{3.74}$$

P: بارندگی سالانه بر حسب سانتی‌متر

R: رواناب سالانه بر حسب سانتی‌متر

T: میانگین درجه حرارت سالیانه (درجه سانتی‌گراد)

خوزلا در سال ۱۹۶۰نیز داده‌های درجه حرارت، بارندگی و رواناب را برای حوضه‌های مختلفی در هند و آمریکا تجزیه و تحلیل کرد و برای رواناب ماهانه رابطه زیر را پیشنهاد نمود:

$R_m=P_m-L_m$

$L_m=۰.۴۸T_m$ به شرطی که $T_m>۴.۵\ ^{\circ}C$

R_m: رواناب ماهانه بر حسب سانتی‌متر تا زمانی که $R_m>۰$

P_m: بارندگی ماهانه بر حسب سانتی‌متر

L_m: تلفات ماهانه بر حسب سانتی‌متر

T_m: میانگین درجه حرارت ماهانه (درجه سانتی‌گراد)

برای مواردی که T_m کوچک‌تر از ۴/۵ درجه سانتی‌گراد باشد می‌توان از جدول زیر استفاده کرد.

جدول ۵-۲- رابطه درجه حرارات با تلفات ماهانه در روش خوزلا

T درجه سانتی‌گراد	۴.۵	-۱	-۶.۵	-۱۲	-۱۸
L_m	۲.۱۷	۱.۷۸	۱.۵۲	۱.۲۵	۱

۵-۴-۶- روش SCS

در برخی از مطالعات از روش SCS به عنوان روشی برای ارزیابی جریان سطحی استفاده می‌گردد، باید به محدودیت‌های این روش به شرح زیر باید توجه داشت. ارزیابی بارش‌موثر در این روش، به میزان بارش، پارامتر S تحت عنوان حداکثر توان نگهداری رطوبت در خاک و پارامتر Ia تحت عنوان جذب اولیه مرتبط است. از سوی دیگر پارامتر S به شماره منحنی CN حوضه آبریز و پارامتر Ia به ضریب λ که نسبتی از S است، وابسته می‌باشد. روابط این روش در کتب مرجع در مبحث سیلاب، به تفصیل ارائه شده است که در اینجا از ارائه آن‌ها صرف نظر می‌گردد.

- این روش عموما برای مدل‌های بارش- رواناب (تک واقعه) مناسب است و از طریق آن شکل هیدرگراف سیل بیش‌تر مد نظر است.
- این روش باران مفید را ارائه می‌دهد و در حقیقت تولید رواناب را محاسبه می‌کند و به لحاظ عدم دخالت دبی پایه، تفاوت معنی‌داری با جریان سطحی دارد.
- مقیاس زمانی برای گام‌های زمانی محاسبه بارش مفید که به صورت تجمعی انجام می‌گیرد، دارای اهمیت است. با توجه به اینکه در محاسبات بیلان جریان سطحی خروجی از محدوده‌های مطالعاتی مد نظر است، عموما گام‌های زمانی روزانه (و برای یک سال متوسط یا کل سال‌های دوره آماری) اختیار می‌گردد.
- در استفاده از این روش، پیوستگی یا منفرد بودن ریزش‌های جوی به سبب اثر S حداکثر توان نگهداری رطوبت در خاک و Ia جذب اولیه (که ضریبی از S می‌باشد)، بسیار حائز اهمیت است، چنان‌چه یک واقعه بارندگی (رگبار) با هر تداومی رخ دهد، یک بار رطوبت خاک برای کل تداوم عمل می‌کند و پس از قطع ریزش و شروع بارش جدید (و طی زمان کافی برای احیای توان نگهداری رطوبت خاک)، مجددا امکان محاسبه باران مفید جدید برای واقعه جدید امکان‌پذیر است و اگر زمان قطع دو واقعه ریزش مورد توجه قرار نگیرد خطای فاحش نتایج در محاسبات بروز خواهد نمود.

به طور مثال چنانچه ۳ روز بارندگی پیاپی (روزانه ۲۰ میلی‌متر و در مجموع ۶۰ میلی‌متر) رخ داده باشد و به عنوان یک واقعه باشد، مجموع باران مفید آن (با انتخاب $CN = 90$ و $Ia = 0.2$) در حدود ۳۶ میلی‌متر خواهد شد و چنانچه این باران، برای ۳ روز منفرد و برای هر روز ۲۰ میلی‌متر لحاظ شود، مقدار باران مفید برای آن سه روز با همان CN و Ia، روزانه کم‌تر از ۵ میلی‌متر (در مجموع کم‌تر از ۱۵ میلی‌متر) خواهد شد. لذا انتخاب دوره بارش و فاصله دو یا چند دوره ریزش بسیار با اهمیت است. به همین دلیل است که در برخی از مطالعات

برای کالیبره کردن λ و Ia، مقادیرکوچکی برای آن‌ها انتخاب می‌کنند، تا باران مفید مناسبی حاصل شود که اساسا این موضوع متاثر از اشتباه در اجرای روش‌شناسی آن است.

- در روش روش SCS تشخیص فاصله دوره‌های ریزش جوی برای تعیین میزان شماره منحنی در شرایط رطوبتی خاک در فصول رشد و غیر رشد دارای اهمیت فراوان است.

انتخاب CN براساس وضعیت رطوبت پیشین	ارتفاع ریزش‌های جوی ۵ روزه پیشین (میلی‌متر)	
	فصل خشک	فصل رشد
CN-۱	<۱۲.۷	<۳۵.۶
CN-۲	۱۲.۷-۲۷.۹	۳۵.۶-۵۳.۳
CN-۳	>۲۷.۹	>۵۳.۳

- در روش‌های بیلان که در مقیاس سالانه نتایج ارائه می‌گردد بهتر است روش‌هایی برای ارزیابی جریان سطحی خروجی مورد توجه قرار گیرد که در تبدیل ریزش جوی به بارش مفید و در نهایت رواناب و جریان سطحی، علاوه بر ظرفیت رطوبت خاک، اثر دما به عنوان عامل تبخیر از باران نیز دخالت داده شود. روش SCS به دلیل اینکه مناسب باران (رگبار) تک واقعه بوده و در کوتاه مدت (سیلابی)، دما عامل اثر گذار مهمی نیست، لذا این پارامتر دخالت داده نشده است، بنابراین در محاسبات جریان سطحی خروجی، روش یاد شده باید همراه با احتیاط و توجه به محدودیت‌های آن به‌کار گرفته شود.

۵-۴-۷- روش های تجربی

علاوه بر روش‌های فوق، روش‌های دیگری همچون کوتاین و لیسی نیز وجود دارد که عموما برای حوضه‌های آبریز فاقد آمار قابل استفاده است. چنان‌چه در سطح حوضه آبریز ایستگاه هیدرومتری قابل قبول از نظر موقعیت وجود نداشت، برای ارزیابی جریان سطحی خروجی (به دلیل آن‌که این روابط عموما در مناطق خشک کارایی دارند رواناب تقریبا همان جریان سطحی است)، می‌توان همان روش‌های تجربی را به کار گرفت و مقدار ضرایب بومی شده را با استفاده از چندین ایستگاه هیدرومتری واقع در حوضه آبریز درجه ۲ برآورد نمود. البته برای افزایش دقت برآوردها (و بررسی امکان وجود روند منطقی) رابطه‌ای بین ضریب با مساحت و باران ایستگاه‌ها استخراج می‌شود و چنان‌چه این رابطه معنادار نبود متوسط وزنی مقادیر (با اعمال نظرات کارشناسی در خصوص شرایط همسانی نسبی حوضه واجد ایستگاه و یا فاصله قابل قبول تحت تاثیر پارامترهای اقلیمی)، به عنوان ضریب رابطه انتخاب می‌گردد. استفاده از چندین رابطه تجربی و مقایسه نتایج می‌تواند در انتخاب رابطه مناسب کمک نماید. به طور کلی در این مناطق که با فقر اطلاعات سنجش همراه است نواحی خشک و کم‌باران بوده و در ادامه باید حتما با نتایج بیلان (به خصوص بیلان هیدروکلیماتولوژی و بیلان آب سطحی) هماهنگی لازم صورت گیرد.

۵-۴-۸- روش کوتاین[۱]

اساس کار این روش بر مبنای میزان کمبود جریان (D) در حوضه‌های آبریز استوار می‌باشد. این مقدار از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$D = P - \lambda P^2$$

$$\lambda = \frac{1}{0.8 + 0.14T}$$

$$R = P - D$$

P: بارندگی سالانه حوضه (متر)

T: دمای متوسط حوضه (سانتی‌گراد)

D: کمبود جریان سالانه (متر)

R: رواناب (متر)

رابطه بالا تا زمانی مصداق دارد که P بین λ ۰/۵ و λ ۰/۱۲۵ باشد، اگر p کم‌تر از λ ۰/۱۲۵ باشد، کمبود جریان برابر بارندگی P است و هیچ روانابی متصور نیست و چنانچه بیش‌تر از λ ۰/۵ باشد، کمبود جریان مستقل از P بوده و به وسیله رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

D=۰.۲ +۰.۰۳۵T

۵-۴-۹- روش لیسی

لیسی دانشمند هندی بر اساس بررسی‌هایی که در چندین حوضه آبریز به عمل آورد، رابطه زیر را جهت برآورد رواناب سالانه ارائه نمود:

$$R = \frac{P}{\left[1 + \left(\frac{304.8}{P} \times (\frac{F}{Z})\right)\right]}$$

R: رواناب سالانه بر حسب سانتی‌متر

P: متوسط بارندگی سالانه بر حسب سانتی‌متر

F: پارامتر مربوط به دوام بارش

Z: ضریب مربوط به مشخصات فیزیوگرافی حوضه

۱- Cotaigne

لیسی مقادیر $\frac{F}{Z}$ را به صورت جدول زیر ارائه نمود. لازم به توضیح است که بر اساس مجموعه اطلاعات شدت بارش منطقه، پوشش گیاهی و همچنین شیب حوضه و اعمال نظرات کارشناسی با توجه به بازدیدهای میدانی، ضریب $\frac{F}{Z}$ در هر حوضه آبریز قابل ارزیابی است.

جدول ۵-۳- مقادیر $\frac{F}{Z}$ در معادله لیسی

نوع اراضی حوضه آبریز	دوام بارش		
	کوتاه	متوسط	طولانی
فلات‌ها، دشت‌های مسطح با خاک‌های عمیق و پوشش گیاهی مناسب	۲/۰	۴/۰	۶/۰
تا حدودی مسطح با خاک نیمه عمیق و پوشش گیاهی مرتعی	۰/۸۳	۱/۶۷	۲/۵
تپه های نسبتا مرتفع با خاک کم عمق و پوشش گیاهی نسبتا ضعیف	۰/۵	۱/۰	۱/۵
اراضی شنی همراه با مقدار زیادی سنگریزه با شیب زیاد در ارتفاعات	۰/۲۳	۰/۵۸	۰/۸۸
اراضی سنگلاخی با ارتفاع و شیب بسیار زیاد و بدون پوشش گیاهی	۰/۱۴	۰/۲۸	۰/۴۳

۵-۵- جریان سطحی خروجی از محدوده‌های مطالعاتی با چندین حوضه آبریز

برای محاسبه جریان سطحی خروجی در برخی از محدوده‌های مطالعاتی که از تعدادی رودخانه موازی تشکیل شده و به صورت مستقل وارد پایانه آبی می‌گردد و از سوی دیگر به دلیل موقعیت ایستگاه‌های هیدرومتری که برداشت و مصرف آب بعد از آن تا خروجی وجود دارد، روش‌شناسی زیر پیشنهاد می‌گردد:

- میزان جریان سطحی تا محل آخرین ایستگاه یا ایستگاه‌های هیدرومتری ورود به پایانه، بر اساس اطلاعات دوره شاخص محاسبه می‌شود.
- مساحت و بارندگی این ایستگاه یا ایستگاه‌های هیدرومتری مشخص می‌گردد.
- مساحت و بارندگی هر یک از رودخانه‌های موازی به پایانه آبی تا پایانه محاسبه شده و به عنوان میان‌حوضه ایستگاه تا پایانه نام‌گذاری می‌گردد.
- شرایط ایستگاه یا ایستگاه‌های هیدرومتری بعد و قبل از آن باید مشخص گردد. چهار دسته شرایط به شرح زیر وجود دارد که برای ارزیابی جریان سطحی تولیدی در میان‌حوضه ایستگاه تا پایانه و در نهایت خروجی به پایانه، روش‌های متفاوتی برای هریک باید به کار گرفته شود:
  - قبل از ایستگاه/ ایستگاه‌ها مصرف ندارد و میان‌حوضه بعد از ایستگاه هم مصرف ندارد.
  - قبل از ایستگاه/ ایستگاه‌ها مصرف ندارد ولی میان‌حوضه بعد از ایستگاه مصرف دارد.
  - قبل از ایستگاه/ ایستگاه‌ها مصرف و میان‌حوضه بعد از ایستگاه مصرف دارد.
  - بر روی رودخانه‌های موازی، ایستگاهی وجود ندارد.

- چنان‌چه قبل از ایستگاه هیدرومتری و بعد از آن تا پایانه آبی مصرف وجود ندارد، می‌توان از روش‌های متداول همانند روش‌های استفاده مستقیم از ایستگاه‌های هیدرومتری و روش‌های غیرمستقیم مبتنی بر تحلیل منطقه‌ای ایستگاه‌های هیدرومتری (که قبلا ذکر شد) استفاده کرد.
- درصورتی‌که در بالادست ایستگاه هیدرومتری مورد نظر مصرف وجود نداشته باشد و شرایط بعد از ایستگاه (فارغ از اینکه مصرف دارد یا ندارد) نیز مشابه بالادست ایستگاه باشد (تشابه یعنی شرایط اندرکنش آب سطحی و زیرزمینی در آبدهی ایستگاه لحاظ شده است)، می‌توان از روش‌های مختلف از جمله انتقالی و نسبت مساحت‌ها، ضریب جریان، دبی ویژه و ... (با اعمال روند کاهشی ضریب جریان و دبی ویژه[1])، حجم جریان سطحی تا خروجی به پایانه را ارزیابی نمود و سپس در میان‌حوضه، برداشت‌های سطحی را کسر کرده و آب برگشتی‌ها به آب سطحی را به آن اضافه نمود. بدیهی است جریان سطحی انتقالی بعد از ایستگاه نیز باید مورد توجه قرار گیرد. درصورتی‌که شرایط بعد از ایستگاه از نظر اندرکنش آب سطحی و زیرزمینی همسان نباشد (به طور مثال ایستگاه هیدرومتری در ناحیه ورود به دشت قرارداشته باشد و میان حوضه بعد از ایستگاه دشت و آبخوان باشد)، در این صورت باید روش بیلان سطحی به کار گرفته شود که در ادامه به آن اشاره می‌گردد.
- نکته: چنانچه محدوده مطالعاتی تعداد زیادی ایستگاه داشته باشد (سطح حوضه آبریز ایستگاه‌ها بیش‌تر از ۷۵ درصد محدوده مطالعاتی باشد) و همگی آن‌ها فاقد مصرف در بالادست باشد و شرط تشابه نسبی نیز حاکم باشد، می‌توان تجمیعی برخورد کرد، به طوری‌که از اطلاعات مجموع آبدهی ایستگاه‌ها، متوسط باران در حوضه ایستگاه‌ها و مجموع مساحت ایستگاه‌ها را در مقابل کل مساحت و متوسط باران محدوده استفاده کرد (تنها روش‌های انتقالی و نسبت مساحت‌ها اعتبار دارد و از روابط منطقه‌ای با تجمیع اطلاعات باران، مساحت نمی‌توان استفاده نمود). اما اگر شرایط تشابه هیدرولوژیکی (بین ایستگاه و میان حوضه) از نظر اندرکنش آب سطحی و زیرزمینی حاکم نبود، بیلان آب سطحی، پیشنهاد می‌گردد.
- زمانی که قبل و بعد از ایستگاه در میان‌حوضه، مصرف وجود داشته باشد، به‌کارگیری روش بیلان سطحی بعد از ایستگاه پیشنهاد می‌گردد. در بیلان آب سطحی ۷ مؤلفه دارای اهمیت است که شامل جریان سطحی ورودی به میان حوضه (شامل اطلاعات ایستگاه هیدرومتری و انتقالی است)، رواناب در ناحیه میان‌حوضه، تخلیه چشمه‌ها و قنوات، آب برگشتی به آب سطحی از مصارف، زهکشی آبخوان (و خروجی آب زیرزمینی در آبخوان‌های مستقل به آب سطحی)/زهکشی ارتفاعات (اگر در ناحیه ارتفاعی باشد)، برداشت/انتقال از آب

۱- با توجه به اینکه عموما روابط دبی ویژه و یا ضریب جریان با افزایش مساحت کاهش می‌یابد، لذا از روند شیب کاهشی آن‌ها، برای ارزیابی و تعدیل دبی ویژه و ضریب جریان برای سایر نقاط حوضه (با افزایش یا کاهش مساحت) استفاده می‌گردد.

سطحی و چشمه و قنوات (و بعضاً چاه‌های موجود در حاشیه رودخانه) و همچنین کسر تغذیه آبخوان از آب سطحی می‌باشد.

- با توجه به اینکه محاسبه اطلاعات مربوط به زهکشی آبخوان و تغذیه آبخوان در تعامل با سایر مؤلفه‌های بیلان (هیدروکلیماتولوژی، آبخوان آبرفتی و عمومی) تدقیق می‌گردد، لذا برای محاسبه مؤلفه‌های رواناب، زهکشی آبخوان و تغذیه آبخوان و آب برگشتی به آب سطحی می‌توان از اطلاعات بیلان قبل استفاده کرد (در بیلان قبل چون کل مؤلفه‌های بیلان در حد قابل قبول با یکدیگر بالانس شده است، می‌توان از آن‌ها برای ارزیابی مؤلفه‌های یاد شده استفاده کرد) و البته بعد از تهیه بیلان محدوده مطالعاتی، نسبت به تدقیق آن‌ها اقدام نمود.

برای رودخانه‌هایی که به طور موازی به پایانه آبی ملحق می‌گردند و همچنین ایستگاهی بر روی آن‌ها احداث نشده، چنان‌چه از روش تجمیعی نتوان استفاده کرد و یا اینکه شرایط کاملا متفاوتی داشته باشد، با استفاده از روش‌های پیش‌گفته، مقدار جریان سطحی خروجی به دریا مبتنی بر ایستگاه یا ایستگاه‌های هیدرومتری (با مد نظر قرار دادن عدم مصرف در بالادست، وضعیت اندرکنش‌های آب سطحی و زیرزمینی) محاسبه شده و بسته به شرایط مصارف و آب برگشتی (و در صورت نیاز اندرکنش‌های آب سطحی و زیرزمینی) تعدیل‌های لازم اعمال می‌گردد.

فصل ۶

راهنمای اثر سازه‌های آبی و چاه‌های حریمی درحال بهره‌برداری بر جریان سطحی پایدار

۶-۱- مقدمه

مطالعات به‌هنگام‌سازی بیلان منابع آب در حوضه‌های آبریز درجه ۲ و محدوده‌های مطالعاتی کشور بر اساس برنامه سراسری وزارت نیرو و شرکت مدیریت منابع آب ایران، توسط شرکت‌های آب منطقه‌ای در حال انجام است. از آنجاکه مؤلفه «جریان سطحی خروجی از محدوده‌های مطالعاتی و حوضه‌های آبریز تحت شرایط پایدار» در دوره شاخص آماری، نقش محوری برای محاسبه آب تجدیدپذیر، پتانسیل منابع آب و آب قابل برنامه‌ریزی دارد و از سوی دیگر، ارزیابی این مؤلفه، متأثر از زمان و حجم بهره‌برداری، نوع مصرف و موقعیت مکانی سازه‌های آبی و چاه‌های حریمی در دوره شاخص آماری می‌باشد، ضروری است در فرآیند تهیه بیلان اثر این سازه‌های آبی و چاه‌های حریمی که در دوره شاخص آماری مورد بهره‌برداری قرار گرفته‌اند، بر جریان سطحی در مقاطع مختلف رودخانه اعمال گردد.

فصل ششم به «اثر سازه‌های آبی و چاه‌های حریمی در حال بهره‌برداری بر جریان سطحی پایدار» می‌پردازد که در حوضه آبریز سفیدرود بزرگ اجرا شده است و می‌تواند نگرش واحدی برای محاسبه اثرات سازه‌های موثر بر جریان سطحی و در نهایت، تدقیق حجم آب تجدیدشونده به همراه داشته باشد.

بر اساس دستورالعمل کلی تهیه بیلان منابع آب محدوده‌های مطالعاتی و حوضه‌های آبریز درجه ۲ کشور، تحلیل و ارزیابی جریان سطحی و پارامترهای هواشناسی در دوره آماری شاخص در نظر گرفته شده است. از آنجا که ممکن است در دوره شاخص منتخب، سازه‌های آبی مختلفی در سطح حوضه آبریز احداث و مورد بهره‌برداری قرار گرفته باشند و یا اینکه چاه‌هایی در حریم رودخانه‌ها حفر و در حال بهره‌برداری بوده و شعاع تاثیر آن‌ها با جریان رودخانه در ارتفاعات و آبخوان تداخل داشته باشد، به طور یقین این سازه‌ها و چاه‌ها در کاهش و افزایش جریان سطحی عبوری از ایستگاه‌های هیدرومتری اثرگذار خواهند بود. اگرچه در محاسبات بیلان درازمدت، آخرین اطلاعات برداشت و مصارف آب مورد استفاده قرار می‌گیرد، اما ضرورت دارد به منظور محاسبه جریان سطحی ورودی و خروجی پایدار و مورد انتظار در محدوده‌های مطالعاتی و حوضه‌های آبریز درجه ۲، اثر سازه‌های آبی با توجه به حجم بهره‌برداری، نوع مصرف و سال شروع بهره‌برداری مورد توجه قرار گیرد.

شایان ذکر است در این روش اجرایی برای تهیه بیلان منابع آب، از اثر اقلیم بر تغییر در میزان مصرف، صرف نظر شده است. همچنین باید توجه داشت که در دوره بهره‌برداری از سازه‌های آبی، ممکن است آب‌های برگشتی ناشی از مصارف، منجر به افزایش تغذیه آب زیرزمینی گردد. لیکن عموما، در تهیه بیلان آبخوان آبرفتی (و سایر بیلان‌ها)، از جدیدترین اطلاعات مصارف (و نیز آب برگشتی) استفاده می‌شود، بنابراین اثر این برداشت‌ها بر منابع آب زیرزمینی به نوعی لحاظ می‌گردد. به طورکلی در ارزیابی آب جریان سطحی ورودی و خروجی پایدار عوامل دیگری همچون روند تغییرات در برداشت‌های سنتی از آب سطحی، زهکشی آبخوان، تغذیه آبخوان از آب سطحی و تخلیه پساب تصفیه‌خانه فاضلاب به محیط پذیرنده ممکن است موثر باشد لیکن با توجه به اینکه دوره آماری کوتاه مدت در نظر گرفته شده، فرض گردیده است که این تغییرات به ثبات رسیده باشد.

۶-۲- مبانی و فرآیند کلی

الف- برای مشخص کردن اثر سازه‌های آبی و چاه‌های حریمی در حال بهره‌برداری بر روی جریان سطحی، لازم است بر اساس مراحل زیر و با اعمال تحلیل‌های کارشناسی، میزان جریان سطحی پایدار خروجی از محدوده مطالعاتی و یا ورودی به آن طی دوره آماری شاخص محاسبه گردد. لازم به ذکر است سدهایی که قبل از دوره‌ی آماری شاخص مورد بهره‌برداری قرار گرفته‌اند، مسلما در کل دوره مذکور بر روی جریان سطحی اثر گذاشته‌اند. بنابراین در مورد بهره‌برداری‌های صورت گرفته از این سدها، صرفا بر اساس شیوه‌نامه‌ها و دستورالعمل‌های موجود، عمل خواهد شد. بر این اساس، آن دسته از سدها و چاه‌های حریمی که در دوره‌ی آماری شاخص مورد بهره‌برداری قرار گرفته‌اند، مشمول این راهنما شده و باید اثرات سازه‌های آبی در جریان سطحی پایین‌دست آن‌ها اعمال گردد.

ب- چاه‌های حریمی به چاه‌هایی گفته می‌شود که در حریم رودخانه‌ها واقع گردیده و ارتباط مستقیم با جریان سطحی رودخانه‌ها دارند. به عبارتی دیگر، در واقع برداشت صورت گرفته از این چاه‌ها به منزله برداشت از جریان رودخانه‌ها می‌باشد. چنانچه میزان افزایش بهره‌برداری از چاه‌های حریمی در محدوده بیلان مورد نظر دارای روند باشد، این روند مد نظر قرار گرفته و در قالب روش اجرایی اثر آن بر کاهش جریان سطحی و ارزیابی جریان سطحی پایدار در بیلان لحاظ خواهد شد. معمولا چاه‌های واقع در حاشیه رودخانه‌ها در خارج آبخوان (ارتفاعات) و همچنین چاه‌های حفر شده در سطح آبخوان که در شعاع هیدرولیکی رودخانه واقع شده‌اند و تحت تاثیر مستقیم آب رودخانه قرار دارد، به عنوان چاه حریمی شناخته می‌شوند. تشخیص چاه‌های حریمی نیاز به تدوین دستورالعمل مستقل دارد.

- نکته مهم: این راهنما به وضعیت تعدیل جریان سطحی در ایستگاه‌های هیدرومتری برای مشخص کردن اثر سازه‌های آبی در حال بهره‌برداری و چاه‌های حریمی و ارزیابی میزان جریان سطحی پایدار خروجی از محدوده مطالعاتی و یا ورودی به آن طی دوره آماری شاخص می‌پردازد. انتخاب ایستگاه‌هایی که مشمول انجام این تعدیل‌ها می‌شوند، به روش‌های ارزیابی محاسبه جریان سطحی خروجی و یا ورودی به محدوده مطالعاتی بر می‌گردد. چنان‌چه برای این ارزیابی‌ها، از روابط منطقه‌ای استفاده گردد، آمار کلیه ایستگاه‌های دخیل، باید شرایط همسان داشته باشند[1] و در صورتی که روش ارزیابی، مبتنی بر استفاده مستقیم از یک ایستگاه (روش

۱- با توجه به اینکه در روابط منطقه‌ای، از چند ایستگاه هیدرومتری بهره گرفته می‌شود و ممکن است برخی از ایستگاه‌ها تحت تاثیر سد قرار داشته و برخی دیگر شرایط طبیعی داشته باشند، عملا استخراج چنین روابطی از پیچیدگی برخوردار است و بهتر است شرایط همسانی ایستگاه‌ها از نظر بهره‌برداری در

نسبت مساحت، باران و دبی) برای محدوده مطالعاتی مورد نظر باشد، در همان ایستگاه اثرات مثبت و یا منفی سازه یا سازه‌های آبی واقع در بالادست آن ایستگاه لحاظ می‌گردد. در فرآیند ارزیابی جریان سطحی خروجی، باید شرایط انطباق و یا عدم انطباق میان‌حوضه (حد فاصل بین ایستگاه هیدرومتری تا خروجی یا حد فاصل خروجی تا ایستگاه هیدرومتری) از لحاظ کانون برداشت، مصرف و همچنین تزریق آب برگشتی مد نظر قرار داده شود.

ج- در ابتدا باید محل استقرار سازه‌های آبی موجود، سال شروع بهره‌برداری، حجم و محل مصرف آب برداشتی توسط این سازه‌ها و چاه‌های حریمی، نوع و یا انواع مصرف، درصد آب برگشتی از مصارف مختلف در محل مصرف و همچنین محل دریافت آب برگشتی (آب سطحی یا زیرزمینی)، مشخص گردد.

نکته: با توجه به این که با احداث سد، بخشی از مصارف قبلی با دیدگاه بهبود تأمین آب در (بخش) اهداف احداث سدها لحاظ و به عنوان عملکرد سالانه در سامانه سدهای ایران (Irandams) وارد می‌شود، می‌توان از اطلاعات این سامانه بهره‌گیری نمود.

د- اطلاعات میزان حجم برداشت آب سطحی توسط سازه‌های آبی مورد نظر و همچنین چاه‌های حریمی در سال‌های مختلف بعد از شروع بهره‌برداری، جمع‌آوری و متوسط آن برای سال‌های قبل اعمال می‌گردد. به عبارت دیگر، اثر کاهشی یا افزایشی جریان مربوط به احداث یک سازه آبی که در سال‌های پس از احداث قابل برآورد است، باید برای سال‌های قبل از بهره‌برداری از سازه و در تمام ایستگاه‌های هیدرومتری پایین‌دست اعمال شود (البته این اثرگذاری برای سال‌های قبل از دوره شاخص بیلان نیز مصداق دارد، لیکن به دلیل این که در بیلان اخیر، دوره آماری شاخص مورد تأکید بوده است، اثر آن برای همین دوره اعمال می‌شود). اگرچه میزان برداشت از آب سطحی در سال‌های مختلف می‌تواند متأثر از وضعیت ریزش‌های جوی و آب به‌هنگام نیز باشد،

بالادست آنها، مورد توجه قرار گیرد. در چنین مواردی پیشنهاد می‌گردد، در مرحله اول، برعکس تعدیل جریان (روش‌شناسی حاضر که به ارزیابی میزان جریان سطحی پایدار خروجی از محدوده مطالعاتی می‌پردازد)، اثر کاهشی جریان سطحی در ایستگاه‌های هیدرومتری متاثر (با همین روش ارائه شده مبنی بر ارزیابی برداشت، آب برگشتی به آب سطحی و حجم تاثیر گذاری) به دلیل بهره‌برداری از سازه‌های آبی و چاه‌های بهره‌برداری، از روی دبی سال‌های بعد از بهره‌برداری، برداشته شود (در حقیقت نوعی طبیعی‌سازی دبی در سال‌های بعد از احداث سازه و یا بهره‌برداری چاه انجام شود و کاهش‌های صورت گرفته در سال‌های بعد از بهره‌برداری از سازه‌های آبی و چاه‌های بهره‌برداری به ایستگاه‌های هیدرومتری پایین‌دست اضافه شود و یا به عبارت دیگر حجم اثر گذاری در جدول (۶-۴) تحت عنوان آمار برداشت آب از سدها و حجم اثرگذاری برروی جریان سطحی که به رنگ قرمز مشخص شده است، فقط برای سال‌های بعد از بهره‌برداری و با کارکرد اثر افزایشی در دبی سالانه ایستگاه‌های پایین‌دست آن استفاده گردد) و در مرحله دوم روابط منطقه‌ای با به‌کارگیری اطلاعات ایستگاه‌های طبیعی شده، استخراج گردد. در مرحله سوم، با استناد به روابط منطقه‌ای (طبیعی شده)، جریان سطحی خروجی از هر محدوده مطالعاتی محاسبه شده و در نهایت در مرحله چهارم، متوسط حجم اثر گذاری ناشی از بهره‌برداری سازه‌های آبی و چاه‌های بهره‌برداری از جریان سطحی خروجی (متناسب با سازه‌های بالادست آن) کسر می‌گردد و در واقع جریان سطحی خروجی پایدار محاسبه و ارائه می‌گردد.

لیکن در این رهنما از این عامل (تأثیر ریزش‌های جوی بر تغییرات میزان برداشت) برای سال‌های قبل از بهره‌برداری صرف نظر گردیده و فقط متوسط میزان برداشت (و آب برگشتی) در نظر گرفته می‌شود.

نکته: از آنجایی که احداث و توسعه شبکه‌های آبیاری معمولا پس از احداث سد و بهره‌برداری از آن به صورت تدریجی انجام می‌شود، اطلاعات مصارف در شبکه‌های آبیاری معمولا در ابتدای سال بهره‌برداری بسیار کم‌تر از سال‌های بعد می‌باشد، از این رو مناسب است در اعمال میانگین‌گیری از اطلاعات مصارف، به تشخیص کارشناس، از اطلاعات سال‌های اولیه بهره‌برداری از شبکه صرف نظر گردد.

هـ- نظر به این که هرگونه برداشت و مصرف از آب سطحی، با توجه به نوع مصرف، دارای آب برگشتی به محل دریافت و یا شبکه جمع‌آوری فاضلاب خواهد بود، لذا لازم است با توجه به میزان و نوع مصرف در سال‌های بعد از بهره‌برداری از سازه‌های آبی، حجم آب برگشتی، تعیین شده و محل تخلیه آن (به آب سطحی و یا آب زیرزمینی) مشخص و مورد ارزیابی قرار گیرد. پس از تعیین سهم و محل آب برگشتی به آب سطحی (از انواع مصارف)، سهم به دست آمده باید به جریان سطحی ایستگاه‌های هیدرومتری متأثر اضافه گردد.

نکته: در برخی از موارد، بهره‌برداری از سازه‌های آبی علاوه بر توسعه طرح‌های منابع آب، بهبود شرایط عرضه آب را نیز دنبال می‌کنند و در حقیقت منبع تأمین فعلی مصرف (از منابع آب زیرزمینی و یا منابع سنتی آب سطحی) به منابع مدرن آب سطحی (از سازه آبی) تغییر می‌کند، در چنین شرایطی باید به کاهش و افزایش آب برگشتی با توجه به منبع تأمین اهمیت داد. به طور مثال چنانچه سدی ساخته شده تا آب شرب شهری را که قبلا از محل آب زیرزمینی تأمین می‌شده، از محل آب سطحی تأمین و بهبود ببخشد، حال چنانچه الگوی جمع‌آوری فاضلاب همانند قبل در نظر گرفته شود، آب برگشتی از منابع آب سطحی جدید جایگزین آب برگشتی از منابع آب زیرزمینی قبلی می‌گردد، در حقیقت در این منطقه، افزایش آب برگشتی وجود نخواهد داشت و اگر هم افزایشی برای آب برگشتی به آب سطحی باشد، ناشی از افزایش مصرف نسبت به قبل خواهد بود.

و- با توجه به این که در برخی از حوضه‌های آبریز (و یا محدوده‌های مطالعاتی)، سازه‌های انتقال آب احداث شده است، باید تأثیر این سازه‌ها در محل انتقال مورد توجه قرار گرفته و اثر بهره‌برداری از منابع آب سطحی در ایستگاه‌های هیدرومتری پایین‌دست (مبدأ برداشت) نیز لحاظ گردد. در واقع باید اثر این سازه‌ها در جریان سطحی حوضه مبدأ به صورت کاهشی و در جریان سطحی حوضه مقصد به صورت افزایشی در نظر گرفته شود. اثر افزایشی ایجاد شده در حوضه مقصد به صورت حجم آب برگشتی از مصارف (به آب سطحی) است که باید برای ایستگاه‌های هیدرومتری این حوضه در نظر گرفته شود. بنابراین، در صورتی که در طرح‌های انتقال آب، ایستگاه‌های هیدرومتری تحت تأثیر آب برگشتی ناشی از آب انتقال یافته قرار داشته باشند، اعمال اثر افزایش بر روی جریان سطحی در این ایستگاه‌های هیدرومتری به منظور محاسبه جریان سطحی پایدار و مورد انتظار ورودی به محدوده‌های مطالعاتی و خروجی از آن، با توجه به موقعیت مصرف و ایستگاه هیدرومتری، صورت خواهد گرفت.

ز- بر اساس بندهای قبل، اثر کاهشی و افزایشی جریان سطحی (ناشی از آب برگشتی)، در ایستگاه‌های هیدرومتری واقع در سطح حوضه آبریز لحاظ خواهد شد. بنابراین در کلیه تحلیل‌ها و روش‌های محاسبه جریان سطحی، از اطلاعات تعدیل شده ایستگاه‌های هیدرومتری بهره گرفته می‌شود. در کلیه مراحل، تعدیل جریان سطحی باید بر اساس اهداف بهبود و توسعه سد، احجامی که به صورت سنتی و در سال‌های قبل از احداث سازه از رودخانه برداشت می‌شده و عملا (قبل از بهره‌برداری از سد نیز) بر روی آبدهی ایستگاه‌های هیدرومتری اثرگذار بوده است، مورد توجه قرار گیرد. به عبارت دیگر سهم توسعه ناشی از احداث سد در تعدیل‌ها اعمال گردد. در قسمت روش انجام کار، این مسأله به شکل دقیق‌تری تشریح شده است.

ح- در طول سال‌های بهره‌برداری از سدهای مخزنی، مشاهده می‌شود که تغییراتی در حجم ذخیره (مثبت یا منفی نسبت به سال قبل) وجود دارد. این تغییرات در دوره‌های بلندمدت تقریبا ناچیز شده و در نهایت می‌توان از تغییرات ذخیره مخزن چشم‌پوشی کرد. چنانچه حجم آب سطحی ذخیره شده توسط سازه‌های آبی مخزنی در آبگیری اولیه (به شرطی که سازه در دوره شاخص آماری به بهره‌برداری رسیده باشد) قابل توجه باشد، این حجم باید به عنوان تغییرات مخازن آب سطحی (مثبت) که از تقسیم کل ذخیره بر سنوات دوره آماری بیلان به دست می‌آید، لحاظ شود. بعد از آنکه آب ذخیره شده وارد چرخه مصرف گردد و به عنوان مصرف معرف (متوسط) دوره آماری لحاظ شود، از آن پس باید اثر مصرف را بر روی کاهش جریان سطحی خروجی برای شرایط پایدار اعمال نمود.

ط- در محاسبات ارزیابی اثر جریان سطحی خروجی، در صورت وجود سطح آزاد قابل توجه و اثرگذار بر حجم جریان سطحی، لازم است میزان تبخیر از سطح آزاد مخازن در تراز غالب مربوط به آخرین سال‌های بهره‌برداری که به تعادل رسیده است مورد ارزیابی قرار گیرد (عموما سد در این تراز نوسان دارد) و اثر آن بر روی کاهش جریان سطحی در سال‌های قبل از بهره‌برداری در نظر گرفته شود (البته میزان تبخیر در ماه‌های مختلف، تحت تأثیر تراز متفاوت و همچنین تغییرات تبخیر از سطح آزاد متغیر است).

ی- در سدهای در حال آبگیری و یا سدهایی که تازه مورد بهره‌برداری قرار گرفته‌اند، آبگیری، تأثیر مستقیمی بر روی کاهش دبی در ایستگاه‌های پایین‌دست خواهد داشت. در برآورد تعدیل جریان سطحی، لازم است به ابعاد مخزن، ظرفیت رودخانه و میزان حجم تنظیم شده توجه کافی شود. این موضوع در سدهای ذخیره سیلاب با حجم مخزن بیش از متوسط جریان سالانه، نمود بیش‌تری داشته و به این سبب، اعمال نظرات کارشناسی در تعدیل جریان سطحی برای ارزیابی شرایط پایدار با حساسیت بالا ضرورت می‌یابد.

۶-۳- روش انجام کار

برای اعمال احجام مربوط به اثرگذاری ناشی از بهره‌برداری از سازه‌های آبی (مخزنی و یا انحرافی) و یا چاه‌های حریمی در دوره شاخص آماری، سه جدول تحت عناوین آمار برداشت از آب سطحی از طریق سدها و آمار برداشت از

طریق چاه‌های حریمی و همچنین حجم جریان سطحی اولیه و پایدار ایستگاه‌های هیدرومتری بعد از اعمال اثرات برداشت، مصرف و آب برگشتی از سد و چاه‌های حریمی به شرح زیر تکمیل می‌گردد.

۱- سال شروع بهره‌برداری هر سد مشخص می‌گردد. چنان‌چه سال شروع بهره‌برداری سد یا سدها A باشد، لازم است حجم سالانه برداشت‌های صورت گرفته (برای مصارف مختلف) توسط این سد یا سدها بعد از سال A در جدول شماره (۶-۲) درج گردد. در ادامه این جدول، متوسط احجام تفکیکی این برداشت‌ها برای مصارف مختلف شامل شرب، صنعت و کشاورزی (و فضای سبز) محاسبه و اعمال می‌گردد.

۲- در مورد چاه‌های حریمی، با توجه به سال حفر و سال بهره‌برداری، میزان برداشت موثر از آب سطحی به تفکیک نوع مصرف در جدول (۶-۳) لحاظ گردد.

نکته: در مورد چاه‌های بهره‌برداری، مجموع تخلیه سالانه در سطح محدوده مطالعاتی بالادست ایستگاه در نظر گرفته می‌شود.

۳- متوسط سالانه حجم برداشت توسط سازه‌های آبی بعد از بهره‌برداری (به تفکیک شرب، صنعت و کشاورزی) محاسبه و برای سال‌های قبل از شروع بهره‌برداری از سد در جدول (۶-۲) درج گردد.

- نکته ۱: لازم است در این مرحله فرآیند افزایش و توسعه بهره‌برداری از طریق سازه‌های آبی بعد از سال تأسیس آن سازه (سال A)، مورد توجه قرار گیرد و برای تکمیل متوسط میزان برداشت توسط سازه‌های آبی و یا چاه‌ها (به تفکیک شرب، صنعت و کشاورزی)، سال‌های آخر که حجم بهره‌برداری به تعادل رسیده را ملاک عمل قرار داد. بنابراین، اگر سال‌های ابتدایی بهره‌برداری از یک سازه آبی اختلاف معناداری با متوسط حجم بهره‌برداری از آن سازه داشته باشد، باید متوسط بهره‌برداری از سازه آبی بدون در نظر گرفتن سال‌های اولیه محاسبه گردد. جهت محاسبه برداشت در سال‌های ابتدایی بهره‌برداری از سازه آبی باید بر اساس نکته ۲ عمل شود.
- نکته ۲: در جدول (۶-۲)، احجامی که تحت تأثیر توسعه قرار دارند باید مورد توجه قرار گیرد. به طور مثال، در صورتی که در سال خاصی پیش از احداث سد، حجمی معادل X میلیون مترمکعب مورد بهره‌برداری قرار می‌گرفته است و متوسط حجم سالانه بهره‌برداری پس از احداث سد به Y میلیون مترمکعب افزایش یافته باشد، ضروری است در این جدول حجم بهره‌برداری برای آن سال خاص برابر با Y-X میلیون مترمکعب لحاظ گردد و در قسمت توضیحات، مطالب لازم درج شود.

۴- در جدول (۶-۳)، مقادیر تجمعی تخلیه چاه‌های حریمی طی سال‌های دوره شاخص آماری محاسبه و در سطر مربوط درج می‌شود.

۵- میزان برداشت پایدار از اب سطحی از طریق چاه‌های مشاهده‌ای، از مابه‌التفاوت آخرین ستون حجم تجمعی تخلیه چاه‌ها (حجم مربوط به سال آخر دوره شاخص)، از حجم تجمعی تخلیه در هر سال محاسبه و در جدول (۶-۳) درج می‌شود.

۶- در این مرحله باید درصد آب برگشتی کل و درصد آب برگشتی به آب سطحی برآورد شود. محاسبه درصد آب برگشتی حاصل از انواع مصارف در یک محدوده مطالعاتی دشوار بوده و عوامل مختلفی در آن تأثیر دارند. به طور کلی برای برآورد درصد آب برگشتی کل و درصد آب برگشتی به آب سطحی باید اطلاعات مربوط به چگونگی مصرف کشاورزی (داخل شبکه آبیاری و زهکشی، خارج شبکه، ارتفاعات، وضعیت سطح ایستابی، تخلخل و همچنین اطلاعات بیلان قبلی و میزان نفوذ از آب برگشتی کشاورزی به آبخوان و همچنین کل آب برگشتی در بیلان عمومی)، شرب (وضعیت چاه‌های جذبی، شبکه جمع‌آوری فاضلاب، زهکش شدن برخی از چاه‌ها به آب سطحی، جمع‌آوری سنتی و تخلیه به آب سطحی و ....) و همچنین صنعت (وضعیت بازچرخانی و دفع آب بازگشتی و همچنین توجه به مصارف خالص فرآیندی و غیر فرآیندی) گردآوری شده و مورد توجه قرار گیرد.

جهت محاسبه درصد آب برگشتی کل در یک محدوده مطالعاتی، ابتدا باید اطلاعات اولیه مورد نیاز شامل حجم مصارف سد در دوره آماری از سامانه سدهای ایران و اطلاعات شبکه توزیع و انتقال جریان، مکان مصرف، وجود و عدم وجود آبخوان در محل مصرف و ویژگی‌های آبخوان (در صورت وجود) و غیره گردآوری شود. سپس برای محاسبه درصد آب برگشتی کل باید روشی متناسب با ویژگی‌های آن محدوده برگزید. در مراحل اولیه تهیه بیلان می‌توان درصد آب برگشتی هر کدام از مصارف را بر اساس گزارش‌های بیلان قبلی تهیه شده در منطقه مورد نظر، استخراج کرد و سپس در مراحل بعدی تهیه بیلان، اقدام به تدقیق درصد آب برگشتی هر کدام از مصارف نمود. به منظور استخراج درصد آب برگشتی از گزارش‌های بیلان موجود، می‌توان از روش زیر بهره گرفت.

ابتدا از گزارش بیلان عمومی قبلی، مقدار کل آب برگشتی استخراج شده و سپس از طریق سعی و خطا درصدهای معقولی از میزان آب برگشتی مصارف مختلف (شرب، صنعت و کشاورزی) در کل محدوده مطالعاتی برآورد می‌گردد. در حقیقت، درصد آب برگشتی از مصارف شرب و صنعت و همچنین آب برگشتی از مصارف کشاورزی بر اساس نتایج بیلان عمومی قبلی استخراج می‌شود.

به منظور انجام فرآیند سعی و خطا، در صورتی که عدد معقولی برای درصد کل برگشتی مصارف شرب و صنعت، $\alpha_{total}^{D\&I}$، فرض شود، می‌توان درصد کل برگشتی مصارف کشاورزی، α_{total}^{Agri}، را بر اساس رابطه‌ی زیر تخمین زد:

$$\alpha_{total}^{Agri} = \frac{Ret_{total} - \alpha_{total}^{D\&I} W_{total}^{D\&I}}{W_{toal}^{Agri}}$$

که در این معادله $\alpha_{total}^{D\&I}$ درصد فرض شده برای آب برگشتی شرب و صنعت (در حدود ۷۰ تا ۸۰ درصد که این رقم می‌تواند با توجه به شرایط شبکه جمع‌آوری فاضلاب و فرآیندهای صنعتی متفاوت باشد)، W_{total}^{Agri} حجم کل برداشت کشاورزی در محدوده مطالعاتی مورد نظر بر اساس گزارش بیلان آن محدوده، $W_{total}^{D\&I}$ حجم کل برداشت شرب و صنعت در محدوده مطالعاتی مورد نظر براساس گزارش بیلان آن محدوده و Ret_{total}

حجم کل آب برگشتی در محدوده مورد نظر بر اساس بیلان عمومی طبق گزارش بیلان محدوده مطالعاتی مورد نظر است.

- نکته: چنانچه در یک محدود مطالعاتی برداشت و مصرف غالب شرب و صنعت باشد، می‌توان فرآیند بالا را برای $\alpha_{total}^{D\&I}$ با فرض اولیه α_{total}^{Agri} ارزیابی نمود.

پس از برآورد درصدهای برگشتی کل کشاورزی و شرب و صنعت، درصد کل برگشتی براساس رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\alpha_{total} = \frac{\alpha_{total}^{Agri} \times W_{total}^{Agri} + \alpha_{total}^{D\&I} \times W_{total}^{D\&I}}{W_{total}^{Agri} + W_{total}^{D\&I}}$$

در نهایت به منظور کنترل صحت محاسبات می‌توان α_{total} به دست آمده از معادله‌ی فوق را در تساوی زیر قرار داده و برقرار بودن تساوی را کنترل کرد، البته این ارقام برآوردی بوده و می‌تواند در مراحل بعدی با نظر کارشناسی تعدیل گردد (ماهیت بیلان تدقیق مؤلفه‌ها و تراز معادله می‌باشد).

$$\alpha_{total} = \frac{Ret_{total}}{W_{total}^{Agri} + W_{total}^{D\&I}}$$

نظر به این که عموم مصارف اصلی در سطح آبخوان و دشت‌های محدوده مطالعاتی صورت می‌گیرد و اساسا روند مصارف و همچنین الگوی آب برگشتی (به آب سطحی و زیرزمینی) به جز موارد خاص همانند ایجاد و یا توسعه شبکه جمع‌آوری فاضلاب تغییر ملموسی نسبت به چند سال قبل نمی‌کند، لذا پس از آنکه در آبخوان‌های آبرفتی میزان آب برگشتی از شرب، صنعت و کشاورزی به آب زیرزمینی برآورد گردید، مابه‌التفاوت حجم آب برگشتی به آبخوان نسبت به کل آب برگشتی را می‌توان برای سه مؤلفه به عنوان آب برگشتی به آب سطحی در آبخوان، آب سطحی به خارج آبخوان و نفوذ در خارج آبخوان در نظر گرفت. به این منظور می‌توان از معادلات زیر بهره گرفت:

$$\alpha_{Ground-aq}^{Agri} = \frac{Ret_{Ground-aq}^{Agri}}{W_{total-aq}^{Agri}}$$

$$\alpha_{Ground-aq}^{D\&I} = \frac{Ret_{Ground-aq}^{D\&I}}{W_{total-aq}^{D\&I}}$$

$$\alpha_{sur-aq}^{Agri} = \frac{Ret_{total-aq}^{Agri} - Ret_{Ground-aq}^{Agri}}{W_{total-aq}^{Agri}} \quad OR \quad \alpha_{sur-aq}^{Agri} = \alpha_{total}^{Agri} - \alpha_{Ground-aq}^{Agri}$$

$$\alpha_{sur-aq}^{D\&I} = \frac{Ret_{total-aq}^{D\&I} - Ret_{Ground-aq}^{D\&I}}{W_{total-aq}^{D\&I}} \quad OR \quad \alpha_{sur-aq}^{D\&I} = \alpha_{total}^{D\&I} - \alpha_{Ground-aq}^{D\&I}$$

که در این معادلات $\alpha_{Ground-aq}^{Agri}$ و $\alpha_{Ground-aq}^{D\&I}$ به ترتیب درصد آب برگشتی به آب زیرزمینی در سطح آبخوان آبرفتی از مصارف کشاورزی و درصد آب برگشتی به آب زیرزمینی در سطح آبخوان آبرفتی از شرب و

صنعت و α_{sur-aq}^{Agri} و $\alpha_{sur-aq}^{D\&I}$ نیز به ترتیب درصد آب برگشتی به جریان سطحی از مصارف کشاورزی و نیز درصد آب برگشتی به جریان سطحی از شرب و صنعت در سطح آبخوان هستند. همچنین $Ret_{Ground-aq}^{Agri}$ حجم برگشتی به آب زیرزمینی از مصارف کشاورزی در سطح آبخوان و $Ret_{Ground-aq}^{D\&I}$ نیز حجم برگشتی به آب زیرزمینی از مصارف شرب و صنعت در سطح آبخوان است. $Ret_{total-aq}^{Agri}$ و $Ret_{total-aq}^{D\&I}$ نیز نشان دهنده حجم کل آب برگشتی در سطح آبخوان به ترتیب از مصارف کشاورزی و مصارف شرب و صنعت می‌باشد که از طریق اعمال ضرایب $\alpha_{total}^{D\&I}$ و α_{total}^{Agri} بر برداشت‌های آبخوان محاسبه می‌گردد و $W_{total-aq}^{Agri}$ و $W_{total-aq}^{D\&I}$ برداشت (مصارف) کشاورزی و شرب و صنعت در سطح آبخوان است.

- اگرچه ضریب آب برگشتی $\alpha_{total}^{D\&I}$ و α_{total}^{Agri} در آبخوان و خارج آبخوان ممکن است متفاوت باشد لیکن در مرحله نخست همسان فرض شده و در ادامه محاسبات، حسب نیاز برای هر یک از نواحی آبخوان و خارج آبخوان اصلاح می‌گردد.
- درصد آب برگشتی به آب سطحی در ناحیه خارج آبخوان و نفوذ در ناحیه خارج آبخوان نیز می‌تواند در قالب همین محاسبات و با اعمال نظر کارشناسی برآورد گردد، در بسیاری موارد، آب برگشتی به آب سطحی در سطح آبخوان کم‌تر از نواحی خارج آبخوان است، که باید در محاسبه α_{sur-aq}^{Agri} و $\alpha_{sur-aq}^{D\&I}$ مورد توجه قرار گیرد (در صورت منفی شدن این ضرایب، صفر لحاظ گردد).
- چنان‌که گفته شد این درصدهای برگشتی تخمین اولیه هستند و در مراحل نهایی تهیه بیلان که درصد آب برگشتی انواع برداشت‌ها تدقیق گردید، باید مجددا به روزرسانی شده و در محاسبات اعمال شوند.

نکته: تفکیک درصد کل آب برگشتی هر محدوده مطالعاتی به جریان سطحی و آبخوان، با توجه به محل مصرف، وجود یا عدم وجود آبخوان، ویژگی‌های آبخوان و عمق سطح آب زیرزمینی، موقعیت محل مصرف (جدید از سد یا چاه) نسبت به آبخوان آبرفتی و یا رودخانه (که در میزان جذب و تغذیه آبخوان بسیار موثر است) و سایر اطلاعات موجود، نیازمند قضاوت کارشناسی می‌باشد. بدیهی است در صورتی که محل مصرف بر روی سطح آبخوانی واقع نشده باشد، سهم آب برگشتی به جریان سطحی نسبت به برآوردهای اولیه افزایش خواهد داشت، اما در صورتی که مصرف بر روی سطح آبخوان آبرفتی واقع شده باشد، باید با توجه به عمق سطح آب در آبخوان و سایر اطلاعات مورد اشاره، نسبت به تفکیک درصد کل آب برگشتی به جریان سطحی و آب زیرزمینی اقدام شود. همچنین آب برگشتی به آب زیرزمینی صرفا در آبخوان رخ نمی‌دهد و ممکن است قسمتی از آب برگشتی مصارف در خارج آبخوان به همان نواحی (خارج آبخوان)، نفوذ نماید و در حقیقت آب نفوذ یافته در ارتفاعات را تقویت کند، که این مسایل باید با قضاوت کارشناسی تحلیل شود (در حقیقت آب برگشتی به آب زیرزمینی صرفا در آبخوان اتفاق نمی‌افتد).

- برای مثال چنان‌چه آب برگشتی از کل مصارف، در قالب بیلان عمومی (قبل) ۱۰۰۰ واحد برای کل محدوده مطالعاتی محاسبه شده باشد، در گام اول براساس درصد آب برگشتی و میزان مصارف کشاورزی و شرب و صنعت از کل مصرف، مقدار آب برگشتی کشاورزی به میزان ۷۰۰ واحد و شرب و صنعت ۳۰۰ واحد برآورد می‌گردد. حال باید ۷۰۰ واحد آب برگشتی کشاورزی به آب سطحی و زیرزمینی تفکیک شود، برای این کار، ابتدا سهم آب برگشتی به آب زیرزمینی (آبخوان) از طریق بیلان آبخوان آبرفتی محاسبه می‌گردد (از طریق $\alpha_{Ground-aq}^{Agri}$ به طور مثال ۵۰۰ واحد)، بنابراین ۲۰۰ واحد دیگر آن به آب سطحی در آبخوان، آب سطحی خارج آبخوان و همین‌طور نفوذ در ارتفاعات ملحق خواهد شد و از طریق رابطه α_{sur-aq}^{Agri} میزان آب برگشتی به آب سطحی در آبخوان ارزیابی می‌گردد (به طور مثال ۱۵۰ واحد، که از مابه‌التفاوت کل آب برگشتی آبخوان- از طریق اعمال ضریب α_{total}^{Agri} در کل برداشت‌های کشاورزی آبخوان- با آب برگشتی به آب زیرزمینی در سطح آبخوان -۵۰۰- محاسبه می‌شود). با توجه به محاسبات، از ۷۰۰ واحد آب برگشتی کشاورزی، ۵۰ واحد آن در سطح خارج آبخوان رخ خواهد داد که با نظر کارشناسی بین برگشت به آب سطحی و یا نفوذ در خارج آبخوان تفکیک می‌گردد. از سوی دیگر در همین بیلان آبخوان آبرفتی، آب برگشتی از مصارف شرب و صنعت به آب زیرزمینی (آبخوان) از طریق بیلان آبخوان آبرفتی محاسبه می‌شود، به طور مثال از طریق رابطه $\alpha_{Ground-aq}^{D\&I}$ معادل ۲۵۰ واحد)، مابقی ۵۰ واحد دیگر به آب سطحی در آبخوان، آب سطحی خارج آبخوان و همین‌طور نفوذ در ارتفاعات وارد می‌شود. در ادامه از طریق $\alpha_{sur-aq}^{D\&I}$ حجم آب برگشتی به آب سطحی در ناحیه آبخوان مورد ارزیابی قرار گرفته (به طور مثال ۴۰ واحد که همانند آب برگشتی کشاورزی برآورد می‌گردد) و در مراحل بعد با نظر کارشناسی ۱۰ واحد دیگر بین برگشت به آب سطحی و یا نفوذ در خارج آبخوان تفکیک می‌گردد، درصدهای استخراج شده برای مصارف فعلی تسری داده می‌شود. اگرچه ممکن است این مراحل تا حدودی زمان‌بر و پیچیده باشد لکن برآورد درصدهای قابل قبول، در فرآیند بیلان محدوده‌های مطالعاتی (مطالعات فعلی) اجتناب ناپذیر است و از نتایج آن در موازنه مولفه‌های بیلان آبخوان آبرفتی، بیلان آب سطحی، بیلان آب زیرزمینی و بیلان عمومی استفاده خواهد شد. در جدول (۶-۱) مولفه‌های تشریح شده ارزیابی آب برگشتی در فرآیند تعدیل جریان سطحی، آمده است.

جدول ۶-۱- ارزیابی آب برگشتی در فرآیند تعدیل جریان سطحی

	نوع مصرف	کل محدوده (میلیون مترمکعب)	آبخوان (میلیون مترمکعب)
در گزارش منابع و مصارف	کشاورزی	۲۲۳۲	**۲۰۷۲**
	شرب و صنعت	۴۰۰	**۳۸۶**
	جمع	**۲۶۳۲**	**۲۴۵۸**

اخذ اولیه اطلاعات	آب برگشتی	درصد	حجم (میلیون مترمکعب)
از گزارش بیلان عمومی و منابع و مصارف و محاسباتی	کل	۳۸	۱۰۰۰
	کل کشاورزی	۳۱/۴	۷۰۰
	کل شرب و صنعت	۷۵	۳۰۰
از بیلان آبخوان و محاسباتی	به آبخوان از کشاورزی در سطح آبخوان	(۵۰۰×۱۰۰)/۲۰۷۲=۲۴/۱	۵۰۰
	به آبخوان از شرب و صنعت در سطح آبخوان	(۲۵۰×۱۰۰)/۳۸۶=۶۴/۸	۲۵۰
محاسباتی	به آب سطحی از کشاورزی در سطح آبخوان	۳۱/۴-۲۴/۱=۷/۲	(۷/۲×۲۰۷۲)/۱۰۰=۱۵۰
	به آب سطحی از شرب و صنعت در سطح آبخوان	۷۵-۶۴/۸=۱۰/۲	(۱۰/۲×۳۸۶)/۱۰۰=۴۰
محاسباتی	به خارج آبخوان از کشاورزی (سطحی و نفوذ)	۳۱/۴	۷۰۰-۵۰۰-۱۵۰=۵۰
	به خارج آبخوان از شرب و صنعت (سطحی و نفوذ)	۷۵	۳۰۰-۲۵۰-۴۰=۱۰

۷- در جدول (۶-۳)، حجم مقادیر اضافه شده به برداشت از آب سطحی در شرایط پایدار به تفکیک نوع مصرف، بر اساس درصد نوع مصارف سال آخر دوره شاخص تعیین می‌گردد. شایان ذکر است مجموع احجام هر سال، با ارقام مندرج بارگذاری پایدار بر روی آب سطحی (سطر قبلی)، همسان است.

۸- با مد نظر قرار دادن درصد کل آب برگشتی به آب سطحی و زیرزمینی از انواع مصرف، مصرف خالص در سال‌های قبل از دوره بهره‌برداری محاسبه و در جداول (۶-۲) و (۶-۳) درج می‌گردد.

۹- با اعمال درصد آب برگشتی به آب سطحی، مقادیر افزایش جریان سطحی ناشی از آب برگشتی مصارف مختلف آب ارزیابی و در سطر مشخص شده در جداول (۶-۲) و (۶-۳) درج می‌شود.

۱۰- در جدول (۶-۲)، حجم اثرگذاری سازه بر روی جریان سطحی مربوط به سال‌های قبل از A می‌باشد که از برداشت منهای آب برگشتی به آب سطحی محاسبه می‌گردد.

نکته: چنانچه متوسط مصارف مد نظر قرار داده شده (بر اساس آنچه در بندهای قبلی ذکر شده است)، مربوط به سال‌های تعادل مصرف باشد، برای سال‌های ابتدایی بعد از A (شامل سال‌های A۱، A۲ و ...) نیز باید سهم اثرگذاری ناشی از لحاظ کردن افزایش مصرف ملاک قرار گیرد. به طور مثال، چنان‌چه جمع میانگین مصارف

برابر M میلیون مترمکعب بوده و این رقم از متوسط ۵ سال آخر که توسعه بهره‌برداری به پایان رسیده باشد، حاصل شده باشد، لازم است اثر مابه‌التفاوت رقم M میلون مترمکعب نسبت به ارقام مربوط به A۱ تا Ax (x انتهای سال‌های قبل از تعادل مصرف است)، بر روی کاهش جریان سطحی لحاظ گردد. لذا در سطر حجم اثرگذاری، علاوه بر سال‌های قبل از D برای سال‌های بعد از D تا Dx این مقادیر اثرگذاری برآورد و درج می‌شود.

۱۱- در جدول (۶-۳)، حجم اثرگذاری بر روی جریان سطحی مابه‌التفاوت حجم برداشت توسط چاه‌های حریمی (مجموع برای مصارف مختلف) منهای آب برگشتی به آب سطحی (عموما کل آب برگشتی چاه‌های حریمی به آب سطحی است) برای سنوات آماری دوره شاخص محاسبه می‌گردد.

۱۲- نکته ۱: برای برآورد اثرگذاری محل یا محل‌های برداشت، مصرف و دریافت آب برگشتی نسبت به ایستگاه (ایستگاه‌های مهم)، حائز اهمیت است. ممکن است برداشت بر روی ایستگاه اثر داشته باشد اما آب برگشتی به دلیل محل مصرف بر روی ایستگاه اثر نداشته باشد و یا برعکس، در برخی از حوضه‌ها مصرف ناشی از انتقال آب از حوضه مجاور است و در حقیقت برداشت‌ها بر روی ایستگاه‌های هیدرومتری حوضه مورد مطالعه اثرگذار نیست اما آب برگشتی آن به دلیل محل مصرف، بر روی ایستگاه‌ها اثر مثبت خواهد داشت.

- نکته ۲: در مورد چاه‌ها، قاعدتا محل آب برگشتی در همان منطقه است، مگر آنکه شواهدی مبنی بر انتقال آب برای شرب (و به ندرت کشاورزی) از یک ناحیه به ناحیه دیگر وجود داشته باشد(همانند انتقال آب چاه‌های کارستی از ارتفاعات برای شرب مناطق دشتی)، از این رو عموما آب برگشتی چاه‌های حریمی، به آب سطحی لحاظ می‌گردد.

۱۳- بعد از تکمیل جداول (۶-۲) و (۶-۳)، برداشت‌ها از طریق سازه‌های آبی و چاه‌های حریمی و اثر آن‌ها متناسبا بر روی هر ایستگاه هیدرومتری (با توجه به موقعیت سازه / سازه‌های آبی و مجموعه چاه‌های حریمی) لحاظ می‌گردد، برای این امر، جریان اولیه که در ایستگاه ثبت شده است در سطر اول درج می‌شود و در سطر دوم، کل برداشت‌ها برای تمام سازه‌ها و چاه‌های حریمی موثر بر ایستگاه (برای کل دوره) لحاظ می‌گردد. باید مجموع اثر تمامی سدها و چاه‌های موجود در بالادست ایستگاه را با توجه به سنوات لحاظ نمود.

۱۴- مجموع مقادیر آب برگشتی (برای کل دوره) و همچنین مجموع حجم اثرگذاری (با توجه به سال شروع بهره‌برداری و محل مصرف هر سازه) برای سال‌های قبل از بهره‌برداری لحاظ می‌گردد.

نکته ۱: در سطر میزان اثرگذاری ممکن است سدهای مختلف در سال‌های متفاوتی به بهره‌برداری رسیده باشند که باید مجموع اثر آن‌ها بر روی ایستگاه هیدرومتری متأثر اعمال گردد و مقادیر اثرگذاری که در جدول (۶-۲) ارائه شده است، مربوط به کل هر سد است و برای هر ایستگاه ممکن است این رقم متفاوت باشد (قسمتی از اثرگذاری یا کل اثرگذاری را شامل شود).

نکته ۲: حجم جریان پایدار با کسر حجم اثرگذاری از حجم جریان اولیه، محاسبه گردیده و در جدول (۶-۴) ثبت می‌شود.

نکته ۳: ممکن است آب برگشتی از یک نوع مصرف در ایستگاه‌های مختلفی اثرگذار باشد.

نکته ۴: ملاحظات مربوط به افزایش بهره‌برداری سنتی از منابع آب سطحی و چشمه‌ها مورد توجه قرار گیرد، اگرچه به طور کلی برداشت و مصارف از منابع آب سنتی، بر اساس اطلاعات آخرین دوره آماربرداری خواهد بود، لیکن در صورت افزایش (وجود روند معنی‌دار) در میزان برداشت از آب سطحی نسبت به دوره‌های قبل، اثر آن برای ارزیابی جریان سطحی پایدار لحاظ می‌گردد.

نکته مهم: در برخی از مطالعات از روش حذف ترند برای ارزیابی دبی پایدار استفاده می‌گردد. این روش محاسنی همانند لحاظ کردن اثر افزایش برداشت‌های سنتی را در خود دارد، لیکن به دلیل اینکه مطالعات بیلان در سال‌های اخیر برای دوره‌های کوتاه مدت (بعد از شکست) تدوین می‌گردد، برای استفاده از روش یادشده رعایت نکات زیر الزامی است:

- به انتخاب دوره ایستا برای ریزش‌های جوی توجه گردد، اهمیت این موضوع برای دوره‌های کوتاه مدت دوچندان می‌گردد.
- روش مناسب با توجه به ویژگی‌های جریان رودخانه (فصلی، دائمی) و مصارف آن جهت حذف ترند (دفتر برنامه‌ریزی یا روش شاخص C و یا روش جرم مضاعف) انتخاب شود.
- به طور کلی در روش حذف ترند هرچه دوره آماری بیش‌تر باشد و شامل دوره‌های ترسالی و خشکسالی متعددی باشد، کارکردش بهتر است، از این رو در استفاده از روش حذف ترند، باید دوره آماری بلند مدت را مد نظر قرار داد و شیب این دوره (پس از کنترل ایستایی بارش و روش مناسب) را اعمال نمود و در نهایت پس از استخراج دبی پایدار طولانی مدت، متوسط مقادیر ۲۰ ساله دوره شاخص را لحاظ کرد. این افزایش دوره، شیب استخراج شده را منطقی‌تر می کند. البته قسمتی از سهم شیب کاهشی دبی (علی‌رغم انتخاب شرایط ایستا برای باران سالانه) مربوط به عوامل اقلیمی از جمله دما، الگو/شدت و رژیم ریزش‌های جوی است) که احصا سهم هریک از آن دشوار می‌باشد.
- اثر افزایش تغذیه آبخوان در ایستگاه‌های هیدرومتری مناطق آبرفتی (کاهش جریان در این ایستگاه‌ها، بعضا به دلیل کاهش تراز آب زیرزمینی و افزایش شیب هیدرولیکی آب زیرزمینی می‌باشد)، که البته این موضوع از محاسن روش حذف ترند است که مصارف چاه‌ها (حریمی) را نیز لحاظ می‌کند.
- در برخی مواقع، باید به سال شکست ناگهانی جریان ایستگاه تحت تاثیر سازه آبی، دقت کرد. محل شکست (با توجه به شرایط ایستا ریزش‌های جوی) در شیب ترند و انتخاب روش مناسب موثر است و این حساسیت‌ها برای سنوات آماری کوتاه از حساسیت بالایی برخوردار است.
- در روش حذف ترند اثر مثبت بر روی جریان سطحی آب منتقل شده به دلیل آب برگشتی به آب سطحی، قابل ارزیابی نیست.

در استفاده از روش حذف ترند، باید هماهنگی قابل قبولی از بالادست به پایین‌دست بین ایستگاه‌های هیدرومتری برقرار باشد و اصولا ایستگاه‌های پایین‌دست تاثیر پذیر ترند، مگر آن‌که آبی به آن منطقه منتقل شده باشد و آب برگشتی به آب سطحی داشته باشد.

۱۵- در جداول (۶-۵) و (۶-۶) به طور نمونه برای حوضه آبریز سفیدرود بزرگ، محاسبات تعدیل جریان سطحی مشتمل بر آمار برداشت آب از سدها و حجم اثرگذاری روی جریان سطحی و همچنین مقادیر حجم جریان سطحی اولیه و پایدار ایستگاه‌های هیدرومتری بعد از اعمال اثرات برداشت، مصرف و آب برگشتی از سدها، انجام و ارائه شده است.

جدول ۶-۲- آمار برداشت از آب سطحی از طریق سدها (میلیون مترمکعب)

نام سد	برداشت و مصرف خالص	۱۳۷۸-۷۹	۱۳۷۹	۱۳۸۰	۱۳۸۱	۱۳۸۲	۱۳۸۳	۱۳۸۴	۱۳۸۵	۱۳۸۶	۱۳۸۷	۱۳۸۸	۱۳۸۹	۱۳۹۰	۱۳۹۱	۱۳۹۲	۱۳۹۳	۱۳۹۴	۱۳۹۵	۱۳۹۶	۱۳۹۷-۹۸	میانگین برداشت‌ها و مصارف خالص: شرب	صنعت	کشاورزی	جمع	تخمین درصد آب برگشتی: کل	به آب سطحی	به آب زیرزمینی	محل برگشت به آب سطحی	توضیحات
	برداشت											A	A ۱	A ۲	A ۳	A ۴	A ۵	.	.	.	Ax									
	مصرف خالص											B																		
	آب برگشتی به سطحی											C																		
	حجم اثرگذاری	D	D ۱	D ۲	D ۳	D ۴	D ۵	.	.	.	Dx																			
	برداشت																													
	مصرف خالص																													
	آب برگشتی به سطحی																													
	حجم اثرگذاری																													

جدول ۶-۳- آمار برداشت از آب سطحی از طریق چاه‌های حریمی (میلیون مترمکعب)

پارامتر		۱۳۷۸-۷۹	۱۳۷۹	۱۳۸۰	۱۳۸۱	۱۳۸۲	۱۳۸۳	۱۳۸۴	۱۳۸۵	۱۳۸۶	۱۳۸۷	۱۳۸۸	۱۳۸۹	۱۳۹۰	۱۳۹۱	۱۳۹۲	۱۳۹۳	۱۳۹۴	۱۳۹۵	۱۳۹۶	۱۳۹۷-۹۸	جمع
تخلیه چاه	شرب	۱.۰	۱.۲	۰.۲	۰.۰	۱.۰	۲.۰	۰.۰	۴.۰	۱.۰	۰.۰	۰.۰	۱.۰	۰.۰	۱۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۵	۰.۵	۲۲.۴
	صنعت	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۱.۰	۱.۰	۰.۲	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۱	۲.۳
	کشاورزی	۲.۰	۰.۰	۰.۰	۱.۰	۲.۰	۱.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۲	۱.۰	۷.۲
	جمع	۳.۰	۱.۲	۰.۲	۱.۰	۴.۰	۴.۰	۰.۲	۴.۰	۱.۰	۰.۰	۰.۰	۱.۰	۰.۰	۱۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۷	۱.۶	۳۱.۹
تخلیه تجمعی		۳.۰	۴.۲	۴.۴	۵.۴	۹.۴	۱۳.۴	۱۳.۶	۱۷.۶	۱۸.۶	۱۸.۶	۱۸.۶	۱۹.۶	۱۹.۶	۲۹.۶	۲۹.۶	۲۹.۶	۲۹.۶	۲۹.۶	۳۰.۳	۳۱.۹	-
برداشت پایدار از آب سطحی		۲۸.۹	۲۷.۷	۲۷.۵	۲۶.۵	۲۲.۵	۱۸.۵	۱۸.۳	۱۴.۳	۱۳.۳	۱۳.۳	۱۳.۳	۱۲.۳	۱۲.۳	۲.۳	۲.۳	۲.۳	۲.۳	۲.۳	۱.۶	۰.۰	-
اضافه شده به برداشت از آب سطحی در شرایط پایدار به تفکیک نوع مصرف	شرب	۲۱.۴	۲۰.۲	۲۰.۰	۲۰.۰	۱۹.۰	۱۷.۰	۱۷.۰	۱۳.۰	۱۲.۰	۱۲.۰	۱۲.۰	۱۱.۰	۱۱.۰	۱.۰	۱.۰	۱.۰	۱.۰	۱.۰	۰.۵	۰.۰	-
	صنعت	۲.۳	۲.۳	۲.۳	۲.۳	۱.۳	۰.۳	۰.۱	۰.۱	۰.۱	۰.۱	۰.۱	۰.۱	۰.۱	۰.۱	۰.۱	۰.۱	۰.۱	۰.۱	۰.۱	۰.۰	-
	کشاورزی	۵.۲	۵.۲	۵.۲	۴.۲	۲.۲	۱.۲	۱.۲	۱.۲	۱.۲	۱.۲	۱.۲	۱.۲	۱.۲	۱.۲	۱.۲	۱.۲	۱.۲	۱.۲	۱.۰	۰.۰	-
مصرف خالص		۱۰.۴	۱۰.۱	۱۰.۱	۹.۳	۷.۱	۵.۳	۵.۲	۴.۲	۴.۰	۴.۰	۴.۰	۳.۷	۳.۷	۱.۲	۱.۲	۱.۲	۱.۲	۱.۲	۰.۹	۰.۰	-
آب برگشتی به آب سطحی از مصارف اضافه شده		۱۸.۵	۱۷.۶	۱۷.۵	۱۷.۲	۱۵.۵	۱۳.۲	۱۳.۱	۱۰.۱	۹.۴	۹.۴	۹.۴	۸.۶	۸.۶	۱.۱	۱.۱	۱.۱	۱.۱	۱.۱	۰.۷	۰.۰	-
حجم اثرگذاری بر روی جریان سطحی		۱۰.۴	۱۰.۱	۱۰.۱	۹.۳	۷.۱	۵.۳	۵.۲	۴.۲	۴.۰	۴.۰	۴.۰	۳.۷	۳.۷	۱.۲	۱.۲	۱.۲	۱.۲	۱.۲	۰.۹	۰.۰	-

جدول ۶-۴- حجم جریان سطحی اولیه و پایدار ایستگاه‌های هیدرومتری بعد از اعمال اثرات سد و چاه‌های حریمی (میلیون مترمکعب)

نام ایستگاه	وضعیت	حجم جریان (میلیون مترمکعب)																				سدهای اثرگذار					
		۱۳۷۸-۷۹	۱۳۷۹	۱۳۸۰	۱۳۸۱	۱۳۸۲	۱۳۸۳	۱۳۸۴	۱۳۸۵	۱۳۸۶	۱۳۸۷	۱۳۸۸	۱۳۸۹	۱۳۹۰	۱۳۹۱	۱۳۹۲	۱۳۹۳	۱۳۹۴	۱۳۹۵	۱۳۹۶	۱۳۹۷-۹۸						
	حجم جریان اولیه																										
	کل برداشت																										
	مصرف خالص																										
	آب برگشتی به سطحی																										
	حجم اثرگذاری																										
	حجم جریان پایدار																										
	حجم جریان اولیه																										
	کل برداشت																										
	مصرف خالص																										
	آب برگشتی به سطحی																										
	حجم اثرگذاری																										
	حجم جریان پایدار																										

جدول ۶-۵- آمار برداشت آب از سدها و حجم اثرگذاری برروی جریان سطحی (میلیون مترمکعب)

نام سد	برداشت و مصرف خالص	۷۹-۱۳۷۸	۱۳۷۹	۱۳۸۰	۱۳۸۱	۱۳۸۲	۱۳۸۳	۱۳۸۴	۱۳۸۵	۱۳۸۶	۱۳۸۷	۱۳۸۸	۱۳۸۹	۱۳۹۰	۱۳۹۱	۱۳۹۲	۱۳۹۳	۱۳۹۴	۱۳۹۵	۱۳۹۶	۹۸-۱۳۹۷	میانگین برداشت‌ها و مصارف خالص*				تخمین** درصد آب برگشتی			محل برگشت به آب سطحی
																						شرب	صنعت	کشاورزی	جمع	کل	به آب سطحی	به آب زیرزمینی	
سوراال	برداشت	۰.۲	۰.۲	۰.۲	۰.۲	۰.۲	۰.۲	۰.۲	۰.۲	۰.۲	۰.۲	۰.۲	۰.۲	۰.۲	۰.۱	۱.۴	۰.۰	۰.۰	۰.۲	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۲	۰.۲	۳۲	۹	۲۳	
	مصرف خالص	۰.۲	۰.۲	۰.۲	۰.۲	۰.۲	۰.۲	۰.۲	۰.۲	۰.۲	۰.۲	۰.۲	۰.۲	۰.۲	۰.۱	۱.۱	۰.۰	۰.۰	۰.۲	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۲	۰.۲				
	آب برگشتی به سطحی	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۱	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰				
	حجم اثرگذاری	۰.۲	۰.۲	۰.۲	۰.۲	۰.۲	۰.۲	۰.۲	۰.۲	۰.۲	۰.۲	۰.۲	۰.۲	۰.۲	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰							
سنگ سیاه	برداشت	۱.۲	۱.۲	۱.۲	۱.۲	۱.۲	۱.۲	۱.۲	۱.۲	۱.۲	۱.۲	۱.۲	۰.۵	۰.۸	۰.۹	۰.۶	۰.۵	۰.۵	۰.۵	۴.۸	۱.۷	۰.۰	۰.۰	۱.۲	۱.۲	۳۲	۱۲	۲۰	
	مصرف خالص	۰.۸	۰.۸	۰.۸	۰.۸	۰.۸	۰.۸	۰.۸	۰.۸	۰.۸	۰.۸	۰.۸	۰.۴	۰.۵	۰.۶	۰.۴	۰.۴	۰.۳	۰.۴	۳.۳	۱.۲	۰.۰	۰.۰	۰.۸	۰.۸				
	آب برگشتی به سطحی	۰.۱	۰.۱	۰.۱	۰.۱	۰.۱	۰.۱	۰.۱	۰.۱	۰.۱	۰.۱	۰.۰	۰.۰	۰.۱	۰.۱	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۳	۰.۱	۰.۰	۰.۰	۰.۱	۰.۱				
	حجم اثرگذاری	۱.۱	۱.۱	۱.۱	۱.۱	۱.۱	۱.۱	۱.۱	۱.۱	۱.۱	۱.۱	۱.۱	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰							
تالوار	برداشت	۲.۸	۲.۸	۲.۸	۲.۸	۲.۸	۲.۸	۲.۸	۲.۸	۲.۸	۲.۸	۲.۸	۲.۸	۲.۸	۲.۷	۴.۷	۴.۵	۳.۹	۲.۳	۱.۲	۰.۳	۰.۰	۰.۰	۲.۸	۲.۸	۲۵	۲۰	۵	
	مصرف خالص	۲.۱	۲.۱	۲.۱	۲.۱	۲.۱	۲.۱	۲.۱	۲.۱	۲.۱	۲.۱	۲.۱	۲.۱	۲.۱	۱.۹	۳.۳	۳.۳	۲.۸	۱.۶	۰.۸	۰.۲	۰.۰	۰.۰	۲.۰	۲.۸				
	آب برگشتی به سطحی	۰.۶	۰.۶	۰.۶	۰.۶	۰.۶	۰.۶	۰.۶	۰.۶	۰.۶	۰.۶	۰.۶	۰.۶	۰.۶	۰.۶	۱.۰	۱.۰	۰.۹	۰.۵	۰.۳	۰.۱	۰.۰	۰.۰	۰.۶	۲.۸				
	حجم اثرگذاری	۲.۲	۲.۲	۲.۲	۲.۲	۲.۲	۲.۲	۲.۲	۲.۲	۲.۲	۲.۲	۲.۲	۲.۲	۲.۲	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰							
گلابر	برداشت	۲.۳	۲.۳	۲.۳	۲.۳	۲.۳	۲.۳	۲.۳	۲.۳	۲.۳	۳.۲	۲.۱	۲.۱	۲.۱	۳.۰	۲.۳	۱.۷	۱.۷	۱.۷	۱.۶	۳۶	۰.۰	۰.۰	۲.۳	۲.۳	۱۵	۹	۶	
	مصرف خالص	۱.۹	۱.۹	۱.۹	۱.۹	۱.۹	۱.۹	۱.۹	۱.۹	۱.۹	۲.۷	۱.۸	۱.۸	۱.۸	۲.۵	۱.۹	۱.۵	۱.۵	۱.۴	۱.۴	۳.۱	۰.۰	۰.۰	۱.۹	۱.۹				
	آب برگشتی به سطحی	۰.۲	۰.۲	۰.۲	۰.۲	۰.۲	۰.۲	۰.۲	۰.۲	۰.۲	۰.۳	۰.۲	۰.۲	۰.۲	۰.۳	۰.۲	۰.۲	۰.۲	۰.۲	۰.۱	۰.۳	۰.۰	۰.۰	۰.۲	۰.۲				
	حجم اثرگذاری	۲.۱	۲.۱	۲.۱	۲.۱	۲.۱	۲.۱	۲.۱	۲.۱	۲.۱	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰							

ادامه جدول ۶-۵- آمار برداشت آب از سدها و حجم اثرگذاری برروی جریان سطحی (میلیون مترمکعب)

نام سد	برداشت و مصرف خالص	۱۳۷۸-۷۹	۱۳۷۹	۱۳۸۰	۱۳۸۱	۱۳۸۲	۱۳۸۳	۱۳۸۴	۱۳۸۵	۱۳۸۶	۱۳۸۷	۱۳۸۸	۱۳۸۹	۱۳۹۰	۱۳۹۱	۱۳۹۲	۱۳۹۳	۱۳۹۴	۱۳۹۵	۱۳۹۶	۱۳۹۷-۹۸	میانگین برداشت‌ها و مصارف خالص*				تخمین** درصد آب برگشتی			محل برگشت به آب سطحی
																						شرب	صنعت	کشاورزی	جمع	کل	به آب سطحی	به آب زیرزمینی	
تهم	برداشت	۱۹.۲	۱۹.۲	۱۹.۲	۱۹.۲	۱۹.۲	۱۹.۱	۱۸.۸	۱۸.۹	۱۷.۹	۱۲.۲	۱۲.۵	۹.۱	۲۱.۲	۲۴.۱	۲۳.۱	۱۶.۱	۱۲.۸	۱۸.۶	۱۸.۳	۱۹.۲	۱۸.۷	۰.۰	۰.۵	۱۹.۲	۷۵	۳۵	۴۰	حجم جریان شبکه فاضلاب شهر زنجان به حجم آب برگشتی برای محاسبه درصد آب برگشتی افزوده شد.
	مصرف خالص	۴.۸	۴.۸	۴.۸	۴.۸	۴.۸	۴.۸	۴.۷	۴.۷	۴.۵	۳.۰	۳.۱	۲.۳	۵.۳	۶.۰	۵.۸	۴.۰	۳.۲	۴.۷	۴.۶	۴.۸	۴.۱	۰.۰	۰.۲	۴.۳				
	آب برگشتی به سطحی	۶.۷	۶.۷	۶.۷	۶.۷	۶.۷	۶.۷	۶.۶	۶.۶	۶.۳	۴.۳	۴.۴	۳.۲	۷.۴	۸.۴	۸.۱	۵.۷	۴.۵	۶.۵	۶.۴	۶.۷	۵.۷	۰.۰	۰.۲	۶.۰				
	حجم اثرگذاری	۱۲.۵	۱۲.۵	۱۲.۵	۱۲.۵	۱۲.۵	۱۲.۴	۱۲.۲	۱۲.۳	۱۱.۶	۷.۹	۸.۲	۵.۹	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰							
آبدوغموش	برداشت	۲۲.۸	۲۲.۸	۲۲.۸	۲۲.۸	۲۲.۸	۲۲.۸	۲۲.۸	۲۱.۹	۸.۸	۲۱.۲	۲۰.۶	۱۶.۸	۱۲.۲	۲۱.۷	۲۳.۳	۲۳.۱	۲۱.۳	۲۸.۸	۲۹.۷	۳۲.۳	۰.۰	۰.۰	۲۲.۸	۲۵	۱۵	۱۰	آب برگشتی در دو ایستگاه اثر دارد
	مصرف خالص	۱۷.۱	۱۷.۱	۱۷.۱	۱۷.۱	۱۷.۱	۱۷.۱	۱۷.۱	۱۶.۴	۶.۶	۱۵.۹	۱۵.۵	۱۲.۶	۹.۱	۱۶.۳	۱۷.۵	۱۷.۳	۱۶.۰	۲۱.۶	۲۲.۳	۲۴.۲	۰.۰	۰.۰	۱۷.۱				
	آب برگشتی به سطحی	۳.۴	۳.۴	۳.۴	۳.۴	۳.۴	۳.۴	۳.۴	۳.۳	۱.۳	۳.۲	۳.۱	۲.۵	۱.۸	۳.۳	۳.۵	۳.۵	۳.۲	۴.۳	۴.۵	۴.۸	۰.۰	۰.۰	۳.۴				
	حجم اثرگذاری	۱۹.۴	۱۹.۴	۱۹.۴	۱۹.۴	۱۹.۴	۱۹.۴	۱۹.۴	۱۸.۶	۷.۴	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰							
سهند	برداشت	۲۴.۹	۲۴.۹	۲۴.۹	۲۴.۹	۲۴.۹	۲۴.۹	۲۴.۹	۲۳.۰	۲۰.۵	۱۱.۴	۱۸.۶	۲۲.۰	۲۲.۰	۲۹.۱	۳۱.۸	۲۸.۵	۲۷.۵	۲۷.۶	۲۳.۲	۱۸.۹	۳.۸	۰.۰	۲۱.۱	۲۴.۹	۳۱	۲۳	۸	
	مصرف خالص	۱۷.۲	۱۷.۲	۱۷.۲	۱۷.۲	۱۷.۲	۱۷.۲	۱۷.۲	۱۵.۹	۱۴.۲	۷.۹	۱۲.۸	۱۵.۲	۱۵.۲	۲۰.۱	۲۱.۹	۱۹.۶	۱۹.۰	۱۹.۱	۱۶.۰	۱۳.۱	۲.۸	۰.۰	۱۴.۴	۱۷.۲				
	آب برگشتی به سطحی	۵.۷	۵.۷	۵.۷	۵.۷	۵.۷	۵.۷	۵.۷	۵.۳	۴.۷	۲.۶	۴.۳	۵.۱	۵.۱	۶.۷	۷.۳	۶.۵	۶.۳	۶.۴	۵.۳	۴.۴	۰.۹	۰.۰	۴.۸	۵.۷				
	اثرگذاری	۱۹.۲	۱۹.۲	۱۹.۲	۱۹.۲	۱۹.۲	۱۹.۲	۱۹.۲	۱۷.۷	۱۵.۸	۸.۸	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰								
طالقان	برداشت	۱۳۰	۱۳۰	۱۳۰	۱۳۰	۱۳۰	۱۳۰	۱۳۰	۳۴۷	۲۹۳	۳۱۱	۴۰۲	۴۳۱	۴۵۱	۳۹۶	۲۴۹	۲۶۷	۳۵۰	۴۴۲	۳۴۱	۴۶۵	۱۳۰	۰	۲۳۵	۳۶۵	۳۴	۳۴	۰	مصارف کشاورزی این سد برای استان قزوین و مصارف شرب برای استان تهران در محدوده‌های خارج از حوضه سفیدرود بزرگ انتقال داده می‌شود. آب برگشتی آن از حوضه خارج می‌شود.
	مصرف خالص	۱۳۰	۱۳۰	۱۳۰	۱۳۰	۱۳۰	۱۳۰	۱۳۰	۳۳۶	۲۸۴	۳۰۲	۳۹۰	۴۱۸	۴۳۷	۳۸۴	۲۴۱	۲۵۹	۳۳۹	۴۲۹	۳۳۱	۴۵۱	۱۳۰	۰	۲۲۸	۳۵۸				
	آب برگشتی به سطحی	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰				
	حجم اثرگذاری	۱۳۰	۱۳۰	۱۳۰	۱۳۰	۱۳۰	۱۳۰	۱۳۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰								

ادامه جدول ۶-۵- آمار برداشت آب از سدها و حجم اثرگذاری برروی جریان سطحی (میلیون مترمکعب)

نام سد	برداشت و مصرف خالص	۱۳۷۸-۷۹	۱۳۷۹	۱۳۸۰	۱۳۸۱	۱۳۸۲	۱۳۸۳	۱۳۸۴	۱۳۸۵	۱۳۸۶	۱۳۸۷	۱۳۸۸	۱۳۸۹	۱۳۹۰	۱۳۹۱	۱۳۹۲	۱۳۹۳	۱۳۹۴	۱۳۹۵	۱۳۹۶	۱۳۹۷-۹۸	میانگین برداشت‌ها و مصارف خالص*				تخمین** درصد آب برگشتی			محل برگشت به آب سطحی
																						جمع	کشاورزی	صنعت	شرب	کل	به آب سطحی	به آب زیرزمینی	
سفیدرود (مجموع سه گانه)	برداشت	۱۵۶۱	۱۲۰۲	۱۵۰۳	۵۴۴	۱۴۵۳	۱۷۶۸	۱۹۶۴	۱۹۴۳	۱۲۳۲	۱۰۸۵	۱۴۴۷	۱۳۰۳	۱۶۱۳	۱۳۳۹	۱۰۸۱	۱۰۰۷	۱۵۸۸	۱۶۰۳	۱۱۴۹	۱۹۲۴	۱۳۹۴	۱۳۶۸	۱۰	۱۶	۳۰	۲۴	۶	
	مصرف خالص	۱۰۹۳	۸۴۱	۱۰۵۲	۳۸۱	۱۰۱۷	۱۲۳۸	۱۳۷۵	۱۳۶۰	۸۶۲	۷۶۰	۱۰۱۳	۹۱۲	۱۱۲۹	۹۳۸	۷۵۷	۷۰۵	۱۱۱۱	۱۱۲۲	۸۰۴	۱۳۴۷	۹۹۱	۹۷۳	۷	۱۱				
	آب برگشتی به سطحی	۳۷۵	۲۸۸	۳۶۱	۱۳۱	۳۴۹	۴۲۴	۴۷۱	۴۶۶	۲۹۶	۲۶۰	۳۴۷	۳۱۳	۳۸۷	۳۲۱	۲۵۹	۲۴۲	۳۸۱	۳۸۵	۲۷۶	۴۶۲	۳۴۰	۳۳۳	۲	۴				
	حجم اثرگذاری	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰							
سنگر	برداشت	۱۲۱۰	۹۳۰	۱۱۲۰	۱۲۳۴	۱۱۲۲	۱۳۶۰	۱۴۶۰	۱۵۳۰	۹۳۰	۹۱۰	۱۰۰۸	۱۰۲۳	۱۳۱۸	۹۵۲	۸۵۰	۸۰۱	۱۳۶۲	۱۲۴۵	۹۰۹	۱۴۶۰	۱۱۳۳	۴	۰	۳۰	۲۴	۶	
	مصرف خالص	۸۴۷	۶۵۱	۷۸۴	۸۶۴	۷۸۶	۹۵۲	۱۰۲۲	۱۰۷۱	۶۵۱	۶۳۷	۷۰۶	۷۱۶	۹۲۲	۶۶۶	۵۹۵	۵۶۱	۹۵۳	۸۷۱	۶۳۶	۱۰۲۲	۷۹۶	۷۹۳	۳	۰				
	آب برگشتی به سطحی	۲۹۰	۲۲۳	۲۶۹	۲۹۶	۲۶۹	۳۲۶	۳۵۰	۳۶۷	۲۲۳	۲۱۸	۲۴۲	۲۴۵	۳۱۶	۲۲۸	۲۰۴	۱۹۲	۳۲۷	۲۹۹	۲۱۸	۳۵۰	۲۷۳	۲۷۲	۱	۰				
	حجم اثرگذاری	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰								
تاریک	برداشت	۲۴۹	۱۴۷	۲۶۴	۲۷۶	۲۴۹	۲۷۷	۳۵۰	۲۵۰	۱۸۱	۱۵۴	۲۴۵	۲۲۷	۳۲۷	۲۴۴	۱۹۷	۲۰۵	۳۴۶	۳۰۴	۲۳۹	۳۰۴	۲۵۲	۲۵۲	۰	۰	۲۵	۲۰	۵	
	مصرف خالص	۱۸۷	۱۱۰	۱۹۸	۲۰۷	۱۸۷	۲۰۷	۲۶۳	۱۸۸	۱۳۶	۱۱۶	۱۸۴	۱۷۱	۲۴۵	۱۸۳	۱۴۸	۱۵۴	۲۵۹	۲۲۸	۱۷۹	۲۲۸	۱۸۹	۱۸۹	۰	۰				
	آب برگشتی به سطحی	۵۰	۲۹	۵۳	۵۵	۵۰	۵۵	۷۰	۵۰	۳۶	۳۱	۴۹	۴۵	۶۵	۴۹	۳۹	۴۱	۶۹	۶۱	۴۸	۶۱	۵۰	۵۰	۰	۰				
	حجم اثرگذاری	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰								
گله رود	برداشت	۱۰۷	۱۳۵	۱۳۳	۱۶۳	۱۳۵	۱۳۳	۱۶۰	۱۶۴	۱۵۷	۱۵۳	۲۰۰	۱۵۰	۱۷۵	۱۸۱	۱۵۶	۹۳	۱۲۲	۱۲۳	۱۱۶	۱۶۵	۱۴۶	۱۲۴	۶	۱۶	۳۶	۳۰	۶	
	مصرف خالص	۶۹	۸۶	۸۵	۱۰۴	۸۶	۸۵	۱۰۲	۱۰۵	۱۰۱	۹۸	۱۲۸	۹۶	۱۱۲	۱۱۶	۱۰۰	۵۹	۷۸	۷۹	۷۴	۱۰۶	۹۳	۸۰	۴	۱۰				
	آب برگشتی به سطحی	۳۲	۴۰	۴۰	۴۹	۴۰	۴۰	۴۸	۴۹	۴۷	۴۶	۶۰	۴۵	۵۲	۵۴	۴۷	۲۸	۳۷	۳۷	۳۵	۵۰	۴۴	۳۷	۲	۵				
	حجم اثرگذاری	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰								

ادامه جدول ۶-۵- آمار برداشت آب از سدها و حجم اثرگذاری برروی جریان سطحی (میلیون مترمکعب)

نام سد	برداشت و مصرف خالص	۱۳۷۸-۷۹	۱۳۷۹	۱۳۸۰	۱۳۸۱	۱۳۸۲	۱۳۸۳	۱۳۸۴	۱۳۸۵	۱۳۸۶	۱۳۸۷	۱۳۸۸	۱۳۸۹	۱۳۹۰	۱۳۹۱	۱۳۹۲	۱۳۹۳	۱۳۹۴	۱۳۹۵	۱۳۹۶	۱۳۹۷-۹۸	میانگین برداشت‌ها و مصارف خالص*				تخمین** درصد آب برگشتی			محل برگشت به آب سطحی
																						شرب	صنعت	کشاورزی	جمع	کل	به آب سطحی	به آب زیرزمینی	
شهر بیجار	برداشت	۹۷.۲	۹۷.۲	۹۷.۲	۹۷.۲	۹۷.۲	۹۷.۲	۹۷.۲	۹۷.۲	۹۷.۲	۹۷.۲	۹۷.۲	۹۷.۲	۹۷.۲	۹۷.۲	۹۷.۲	۷۰.۷	۱۰۶.۰	۱۱۸.۴	۱۱۷.۷	۱۲۶.۷	۹۷.۲	۰.۰	۱۰.۸	۱۰۷.۹	۷۰	۲۵	۴۵	آب مصرفی سد شهر بیجار ۲۴ درصد برای مصارف شرب محدوده لاهیجان-چابکسر، ۱۰ درصد برای مصارف کشاورزی پایین‌دست محدوده ۱۳۰۱، ۱۰ درصد برای مصارف شرب محدوده ۱۳۰۱ و ۵۶ درصد برای مصرف شرب محدوده ۱۲۰۲ انتقال می‌یابد. براساس اطلاعات جمع‌آوری شده قبل از احداث سد شهر بیجار نیز از این محدوده عدد ۱۰.۷۶ میلیون مترمکعب آب برای مصارف کشاورزی ۱۳۰۱ تأمین می‌شده است که در محاسبات لحاظ شده است، همچنین فقط قسمتی از آب برگشتی شرب در محدوده آستانه – کوچصفهان باقی می‌ماند
	مصرف خالص	۲۹.۱	۲۹.۱	۲۹.۱	۲۹.۱	۲۹.۱	۲۹.۱	۲۹.۱	۲۹.۱	۲۹.۱	۲۹.۱	۲۹.۱	۲۹.۱	۲۹.۱	۲۹.۱	۲۹.۱	۲۱.۲	۳۱.۸	۳۵.۵	۳۵.۳	۳۸.۰	۲۷.۰	۰.۰	۳.۰	۳۰.۰				
	آب برگشتی به سطحی	۲.۴	۲.۴	۲.۴	۲.۴	۲.۴	۲.۴	۲.۴	۲.۴	۲.۴	۲.۴	۲.۴	۲.۴	۲.۴	۲.۴	۲.۴	۱.۸	۲.۶	۳.۰	۲.۹	۳.۲	۲.۴	۰.۰	۰	۲.۴				
	حجم اثرگذاری	۹۴.۷	۹۴.۷	۹۴.۷	۹۴.۷	۹۴.۷	۹۴.۷	۹۴.۷	۹۴.۷	۹۴.۷	۹۴.۷	۹۴.۷	۹۴.۷	۹۴.۷	۹۴.۷	۹۴.۷	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰	۰.۰								

* ارقام مربوط به برداشت سدها در سنوات مختلف از سامانه سدهای ایران، IranDams گرفته شده است.

* چنان‌چه مصارف از یک سد به یکباره وارد مدار نشده باشد و در سنوات مختلف، مصرف آن به دلیل تکمیل سازه‌های مصرفی، روند افزایشی داشته باشد، در میانگین مصرف پایدار نظرات کارشناسی اعمال می‌شود (سلول‌هایی که در ردیف برداشت، زیر رقم آن خط کشیده شده است اثر افزایش مصرف با توجه به شرایط مصرف در همان زمان لحاظ شده است. به طور مثال در سد طالقان سال‌های قبل از بهره‌برداری از آن، ۲۳۵ م م م، توسط یک بند، برداشت می‌شده است که بعدا از سال ۱۳۸۵ با احداث سد، به ۳۶۵ م م م افزایش یافته و از این رو ۱۳۰ م م م برای سال‌هایی که این برداشت (۱۳۰ م م م) وجود نداشت اضافه شده است و یا در سد تهم که بهره‌برداری آن، از سال ۱۳۸۴ شروع شده ولی به تدریج تا سال ۱۳۸۹ به سقف حدود ۱۹/۲ م م م رسیده بود، برای آنکه در سال‌های ۱۳۸۴ تا ۱۳۸۹ نیز حداکثر بهره‌برداری لحاظ گردد، به مصارف ثبت شده قبلی در این سال‌ها تا سقف ۱۹/۲ م م م اضافه شده است یعنی به طور مثال در سال ۱۳۸۹ قبلا ۱۰/۱ م م م ثبت شده بود بتابراین تا سقف ۱۹/۲ م م م معادل ۹/۱ م م م به عنوان برداشت در سال ۱۳۸۹ درج گردید)

** حجم آب برگشتی از مصارف مختلف (سازه‌های مدرن) به آب سطحی و زیرزمینی در این مرحله تخمینی بوده و در مرحله تهیه بیلان، این احجام مورد بازنگری قرار گرفته و اصلاح می‌شود.

* مقادیر برداشت سدهای سنگر، گله رود و تاریک از مقادیر آب تحویلی به شبکه‌های آبیاری گیلان گرفته شده است. لازم به ذکر است مجموع مقادیر برداشت سالانه سه مذکور باید از مقدار برداشت سالانه سد سفیدرود در همان سال بیش‌تر باشد و در سال‌هایی که این عدد مجموع کم‌تر از مقدار برداشت سالانه سد سفیدرود در همان سال بود بنا به نظر کارشناسان محترم آب منطقه ای گیلان عدد برداشت سالانه سدهای کوچک در آن سال‌ها افزایش داده شد.

برای سد تهم: حجم جریان شبکه فاضلاب شهر زنجان به حجم آب برگشتی برای محاسبه درصد آب برگشتی افزوده شد.

برای سد طالقان: مصارف کشاورزی این سد برای استان قزوین و مصارف شرب برای استان تهران در محدوده‌های خارج از حوضه سفیدرود بزرگ انتقال داده می‌شود. آب برگشتی آن از حوضه خارج می‌شود.

برای سد شهر بیجار: آب مصرفی سد شهر بیجار ۲۴ درصد برای مصارف شرب محدوده لاهیجان-چابکسر، ۱۰ درصد برای مصارف کشاورزی پایین دست محدوده ۱۳۰۱، ۱۰ درصد برای مصارف شرب محدوده ۱۳۰۱ و ۵۶ درصد برای مصرف شرب محدوده ۱۲۰۲ انتقال می‌یابد. براساس اطلاعات جمع‌آوری شده قبل از احداث سد شهر بیجار نیز از این محدوده عدد ۱۰.۷۶ میلیون مترمکعب آب برای مصارف کشاورزی ۱۳۰۱ تامین می‌شده است که در محاسبات لحاظ شد. ضمنا حدود ۱۰ میلیون مترمکعب از شرب در حوضه مورد مصرف قرار می‌گیرد. مابقی آن خارج می‌شود و معادل مصرف شرب در این حوضه آب برگشتی لحاظ شده است.

جدول ۶-۶- جدول تکمیل شده حجم جریان سطحی اولیه و پایدار ایستگاه‌های هیدرومتری بعد از اعمال اثرات برداشت، مصرف و آب برگشتی از سد (میلیون مترمکعب)

نام ایستگاه	وضعیت	حجم جریان (مبلبون مترمکعب)																			سدهای اثرگذار								
		۱۳۷۸-۷۹	۱۳۷۹	۱۳۸۰	۱۳۸۱	۱۳۸۲	۱۳۸۳	۱۳۸۴	۱۳۸۵	۱۳۸۶	۱۳۸۷	۱۳۸۸	۱۳۸۹	۱۳۹۰	۱۳۹۱	۱۳۹۲	۱۳۹۳	۱۳۹۴	۱۳۹۵	۱۳۹۶	۱۳۹۷-۹۸	گلابر	تهم	سفید رود	شهر بیجار	تالوار	سپهند	آیدوغموش	سورال	سنگ سیاه	طالقان
پل آستانه	حجم جریان اولیه	۸۹۲	۸۶۷	۹۴۷	۳۷۹۴	۲۴۳۵	۲۶۸۸	۱۳۱۶	۲۷۴۳	۷۳۴	۱۱۱۱	۱۳۴۶	۹۹۸	۲۵۱۱	۱۰۱۱	۹۰۷	۱۱۸۹	۱۲۵۹	۱۴۳۴	۵۱۰	۲۷۳۶	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	حجم جریان پایدار	۶۱۱	۵۸۶	۶۶۶	۳۵۱۳	۲۱۵۴	۲۴۰۷	۱۰۳۵	۲۵۹۴	۵۹۹	۹۹۶	۱۲۴۰	۸۹۵	۲۴۱۴	۹۱۶	۸۱۲	۱۱۸۹	۱۲۵۹	۱۴۳۴	۵۱۰	۲۷۳۶									
بین راه رودبار	حجم جریان اولیه	۱۴۲۶	۹۸۴	۱۴۳۲	۳۶۳۰	۳۵۹۸	۲۹۷۸	۲۱۵۲	۳۰۵۳	۱۱۶۴	۹۲۵	۱۹۵۵	۱۵۱۴	۲۶۰۷	۱۷۱۵	۱۲۱۰	۱۱۵۹	۲۴۴۲	۲۰۰۶	۱۳۴۲	۳۰۴۹	*	*	*		*	*	*	*	*
	حجم جریان پایدار	۱۲۴۰	۷۹۸	۱۲۴۶	۳۴۴۴	۳۴۱۲	۲۷۹۲	۱۹۶۶	۲۹۹۹	۱۱۲۴	۹۰۵	۱۹۴۳	۱۵۰۶	۲۶۰۵	۱۷۱۵	۱۲۱۰	۱۱۵۹	۲۴۴۲	۲۰۰۶	۱۳۴۲	۳۰۴۹									
لوشان	حجم جریان اولیه	۳۸۸	۲۶۰	۵۵۶	۱۱۰۲	۸۰۹	۸۳۵	۶۲۷	۹۲۸	۲۴۰	۳۵۱	۶۲۲	۵۱۶	۸۰۵	۳۵۰	۲۷۷	۳۲۹	۷۱۰	۶۶۸	۵۲۷	۱۱۶۱									*
	حجم جریان پایدار	۲۵۸	۱۳۰	۴۲۶	۹۷۲	۶۷۹	۷۰۵	۴۹۷	۹۲۸	۲۴۰	۳۵۱	۶۲۲	۵۱۶	۸۰۵	۳۵۰	۲۷۷	۳۲۹	۷۱۰	۶۶۸	۵۲۷	۱۱۶۱									
گیلوان	حجم جریان اولیه	۱۱۵۴	۷۵۰	۱۳۵۲	۳۰۷۰	۱۷۵۶	۲۰۱۴	۱۴۶۲	۲۱۰۲	۸۳۶	۶۳۰	۱۴۰۴	۸۱۷	۱۷۳۰	۸۸۰	۷۶۰	۶۱۶	۱۴۶۳	۱۱۲۸	۸۱۳	۲۷۸۹	*	*			*	*	*	*	
	حجم جریان پایدار	۱۰۹۷	۶۹۳	۱۲۹۵	۳۰۱۳	۱۶۹۹	۱۹۵۷	۱۴۰۶	۲۰۴۸	۷۹۶	۶۱۰	۱۳۹۲	۸۰۹	۱۷۲۸	۸۸۰	۷۶۰	۶۱۶	۱۴۶۳	۱۱۲۸	۸۱۳	۲۷۸۹									
موتورخانه	حجم جریان اولیه	۶۲	۵۳	۶۴	۱۲۸	۱۶۰	۷۲	۸۲	۴۶	۱۶	۱۰	۸۱	۷۲	۱۳۶	۹۹	۵۱	۲۱	۵۱	۹۰	۶۱	۵۶							*		
	حجم جریان پایدار	۳۹	۳۰	۴۱	۱۰۵	۱۳۷	۴۹	۵۹	۲۴	۶	۱۰	۸۱	۷۲	۱۳۶	۹۹	۵۱	۲۱	۵۱	۹۰	۶۱	۵۶									

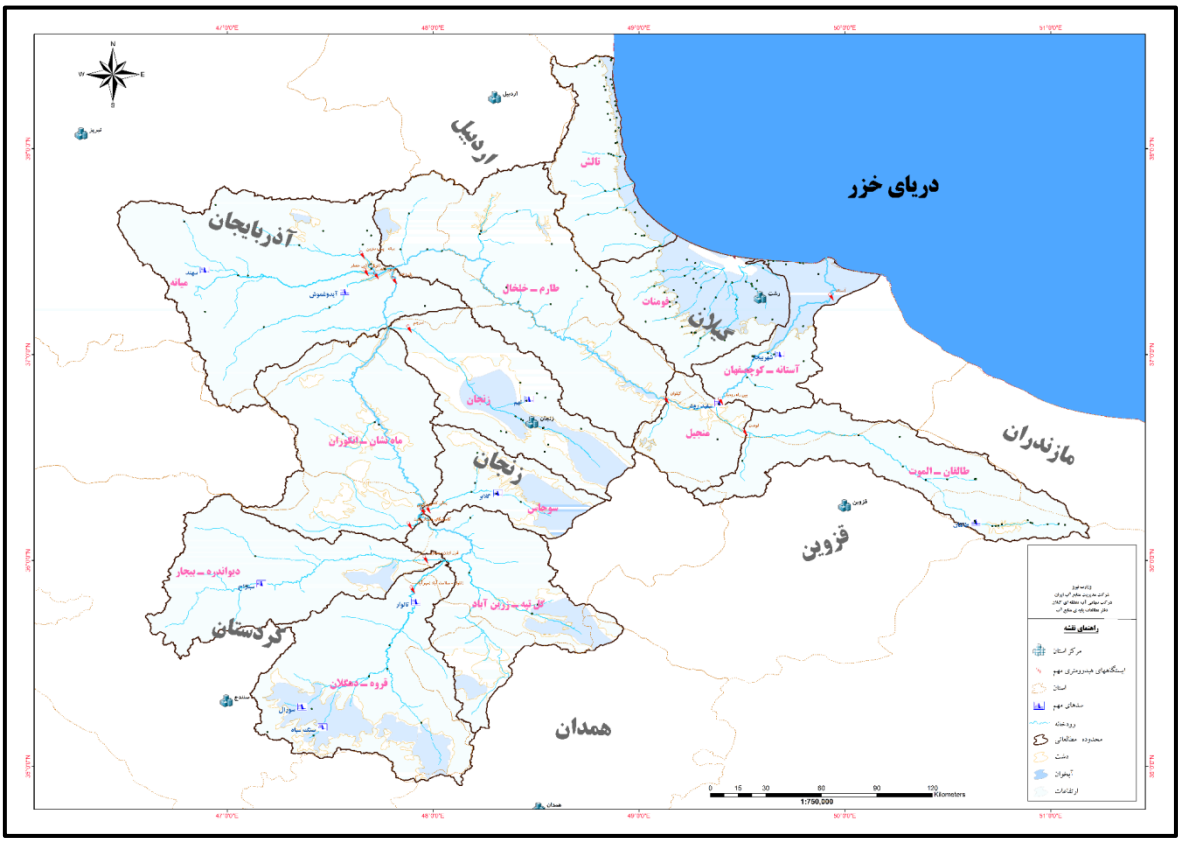
ادامه جدول ۶-۶- جدول تکمیل شده حجم جریان سطحی اولیه و پایدار ایستگاه‌های هیدرومتری بعد از اعمال اثرات برداشت، مصرف و آب برگشتی از سد (میلیون مترمکعب)

نام ایستگاه	وضعیت	حجم جریان (مبلبون مترمکعب)																				سدهای اثرگذار									
		۱۳۷۸-۷۹	۱۳۷۹	۱۳۸۰	۱۳۸۱	۱۳۸۲	۱۳۸۳	۱۳۸۴	۱۳۸۵	۱۳۸۶	۱۳۸۷	۱۳۸۸	۱۳۸۹	۱۳۹۰	۱۳۹۱	۱۳۹۲	۱۳۹۳	۱۳۹۴	۱۳۹۵	۱۳۹۶	۱۳۹۷-۹۸	گلابر	تهم	سفید رود	شهر بیجار	تالوار	سهند	آیدوغموش	سورال	سنگ سیاه	طالقان
تونل ۷ پل حصار	حجم جریان اولیه	۱۶۳	۱۴۲	۲۰۵	۳۷۸	۳۳۲	۲۵۳	۱۸۵	۳۶۵	۹۴	۷۵	۴۰۳	۱۲۰	۱۹۶	۲۵۲	۲۸۳	۱۱۴	۱۰۶	۱۸۸	۱۱۳	۱۱۳						*				
	حجم جریان پایدار	۱۴۴	۱۲۳	۱۸۶	۳۵۹	۳۱۳	۲۳۴	۱۶۶	۳۴۷	۷۸	۶۶	۴۰۳	۱۲۰	۱۹۶	۲۵۲	۲۸۳	۱۱۴	۱۰۶	۱۸۸	۱۱۳	۱۱۳						*				
میانه- پمپ بنزین	حجم جریان اولیه	۴۳	۲۴	۹۱	۲۱۱	۱۲۱	۱۱۴	۱۲۸	۹۴	۴۹	۲۸	۷۷	۸۸	۹۳	۳۹	۲۹	۶۶	۴۹	۶۸	۴۵	۱۴۰						*	*			
	حجم جریان پایدار	۴۷	۲۸	۹۵	۲۱۵	۱۲۵	۱۱۸	۱۳۲	۹۷	۵۲	۲۸	۷۷	۸۸	۹۳	۳۹	۲۹	۶۶	۴۹	۶۸	۴۵	۱۴۰						*	*			
پل دختر	حجم جریان اولیه	۵۹۱	۴۲۳	۵۴۳	۱۱۶۰	۶۵۷	۷۹۲	۶۴۹	۹۳۶	۲۴۱	۱۶۱	۴۲۶	۲۶۸	۷۵۹	۵۴۳	۳۲۳	۲۰۶	۵۴۷	۳۵۸	۳۳۶	۱۷۷۸	*	*			*			*	*	
	حجم جریان پایدار	۵۷۳	۴۰۵	۵۲۵	۱۱۴۲	۶۳۹	۷۷۴	۶۳۱	۹۱۸	۲۲۴	۱۵۰	۴۱۴	۲۶۰	۷۵۷	۵۴۳	۳۲۳	۲۰۶	۵۴۷	۳۵۸	۳۳۶	۱۷۷۸	*	*			*			*	*	
سرچم	حجم جریان اولیه	۵۶	۲۰	۱۵	۲۵۹	۳۷	۱۹	۱۳	۴۴	۳۷	۱۳	۱۱	۷	۱۲۰	۸	۱۲	۱۴	۱۹	۱۴	۳۶	۱۰۴		*								
	حجم جریان پایدار	۴۴	۸	۳	۲۴۷	۲۵	۷	۱	۳۲	۲۵	۵	۳	۱	۱۲۰	۸	۱۲	۱۴	۱۹	۱۴	۳۶	۱۰۴		*								
بینگی کند	حجم جریان اولیه	۱۰۱	۵۹	۵۱	۶۰	۵۶	۷۹	۵۴	۵۷	۳۵	۴۸	۲۸	۸	۱۲	۲۴	۴۰	۳۰	۳۲	۱۲	۸	۵۰	*									
	حجم جریان پایدار	۹۹	۵۷	۴۹	۵۸	۵۴	۷۷	۵۲	۵۵	۳۳	۴۸	۲۸	۸	۱۲	۲۴	۴۰	۳۰	۳۲	۱۲	۸	۵۰	*									

ادامه جدول ۶-۶- جدول تکمیل شده حجم جریان سطحی اولیه و پایدار ایستگاه‌های هیدرومتری بعد از اعمال اثرات برداشت، مصرف و آب برگشتی از سد (میلیون مترمکعب)

نام ایستگاه	وضعیت	حجم جریان (مبلبون مترمکعب)																			سدهای اثرگذار									
		۱۳۷۸-۷۹	۱۳۷۹	۱۳۸۰	۱۳۸۱	۱۳۸۲	۱۳۸۳	۱۳۸۴	۱۳۸۵	۱۳۸۶	۱۳۸۷	۱۳۸۸	۱۳۸۹	۱۳۹۰	۱۳۹۱	۱۳۹۲	۱۳۹۳	۱۳۹۴	۱۳۹۵	۱۳۹۶	۱۳۹۷-۹۸	گلابر	تهم	سفید رود	شهر بیجار	تالوار	سهند	آیدوغموش	سورال	سنگ سیاه	طالقان
قره گونی	حجم جریان اولیه	۶۲۰	۳۲۷	۴۳۷	۸۲۹	۴۸۳	۶۵۹	۳۳۸	۴۰۸	۱۷۹	۱۵۹	۲۸۵	۱۴۳	۳۷۹	۲۲۱	۲۳۴	۱۷۵	۳۸۵	۲۴۵	۲۳۳	۸۲۲					*			*	*	
	حجم جریان پایدار	۶۱۶	۳۲۳	۴۳۳	۸۲۵	۴۷۹	۶۵۵	۳۳۴	۴۰۴	۱۷۵	۱۵۵	۲۸۱	۱۴۱	۳۷۷	۲۲۱	۲۳۴	۱۷۵	۳۸۵	۲۴۵	۲۳۳	۸۲۲										
پساول - بیانلو	حجم جریان اولیه	۲۲۴	۱۴۰	۲۹۶	۵۹۵	۴۲۴	۴۴۸	۲۱۸	۳۷۳	۱۵۷	۲۹۸	۱۶۶	۱۲۱	۴۰۹	۱۸۹	۲۰۱	۱۰۶	۳۷۶	۲۰۸	۱۹۲	۴۵۸					*					
	حجم جریان پایدار	۲۲۲	۱۳۸	۲۹۴	۵۹۳	۴۲۲	۴۴۶	۲۱۶	۳۷۱	۱۵۵	۲۹۶	۱۶۴	۱۱۹	۴۰۷	۱۸۹	۲۰۱	۱۰۶	۳۷۶	۲۰۸	۱۹۲	۴۵۸										
سلامت آباد-مهرآباد	حجم جریان اولیه	۱۳۳	۶۸	۷۹	۱۰۲	۸۶	۱۲۴	۸۹	۱۴۹	۸۰	۶۰	۵۲	۳۶	۴۷	۳۲	۱۴	۱۷	۲۴	۹	۵	۱۱۶					*			*	*	
	حجم جریان پایدار	۱۲۹	۶۴	۷۵	۹۸	۸۲	۱۲۰	۸۵	۱۴۵	۷۶	۵۶	۴۸	۳۴	۴۵	۳۲	۱۴	۱۷	۲۴	۹	۵	۱۱۶										

* ارقام برآوردی است



شکل ۶-۱- نقشه حوضه آبریز سفیدرود به همراه موقعیت سدها و ایستگاه‌های هیدرومتری مهم برای ارزیابی جریان سطحی خروجی از محدوده‌های مطالعاتی

فصل ۷

راهنمای ارزیابی تبخیر از سطح آزاد آب و آبخوان

۷-۱- مقدمه

تبخیر از پیکره‌های آبی مانند دریاچه‌ها و مخازن سدها همانند سایر سطوح تبخیرکننده مانند گیاهان و خاک‌های مرطوب، تاثیر محسوسی بر بیلان آب و انرژی بین زمین و اتمسفر دارد. از طرفی دانش تبخیر در طراحی و مدیریت مخازن سدها و دریاچه‌ها، عاملی اساسی محسوب می‌گردد چراکه میزان تبخیر بر ذخیره و بهره‌برداری بهینه از این منابع، نقش بسزایی دارد. لذا نقش تبخیر در برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب و مصارف مختلف بسیار حایز اهمیت است.

برآورد تبخیر از دریاچه‌ها و مخازن سدها، به دلیل عوامل مختلف تاثیرگذار بر آن، فرایند پیچیده‌ای است. اصولا شدت تبخیر از پیکره‌های آبی بیش‌تر با انرژی در دسترس و مورد نیاز تبخیر و امکان پخشیدگی بخار آب به اتمسفر کنترل می‌گردد. به دلیل پیچیدگی اندازه‌گیری مستقیم تبخیر، عمدتا از میزان تبخیر آب از تشت در مجاورت دریاچه یا مخزن سد به عنوان معیاری جهت برآورد تبخیر از دریاچه استفاده می‌شود و با استفاده از ضرایب تشت، تبخیر از تشت به دریاچه تعمیم داده می‌شود.

۷-۲- تبخیر از سطح آزاد (سدها، آب‌بندان‌ها، تالاب‌ها)

با توجه به اینکه برای تعیین شرایط پایدار، متوسط مصارف از طریق سازه‌های آبی ملاک خواهد بود، لازم است پهنه سطوح تبخیری از سطح آزاد نیز متناسب با حجم قابل کنترل برای این مصارف ملاک عمل قرار گیرد. یعنی اینکه چنان‌چه شبکه آبیاری سدی در پایین‌دست در حال توسعه است و عملا (به منظور ارزیابی دبی در شرایط پایدار) مصارف سال‌های آخر ملاک قرار می‌گیرد و بر همین اساس احجام جریان سطحی خروجی بر اساس همین مصارف تعدیل می‌گردد، سطح تبخیر نیز باید با همین ارتفاع بهره‌برداری از سد تناسب داشته باشد و تبخیر شرایط پایدار مورد ارزیابی قرار گیرد و در خصوص آب‌بندان‌های جدید الاحداث نیز سطوح تبخیری، از طریق اطلاعات آماربرداری‌ها در سال‌های اخیر و یا از تصاویر ماهواره‌ای قابل استخراج است. شایان ذکر است به دلیل آنکه پهنه آبی در ماه‌های مختلف در سازه‌های آبی متأثر از شیوه بهره‌برداری متفاوت است، در ارزیابی حجم تبخیر این تغییرات حتی الامکان باید مدنظر قرار گیرد.

- در مورد پایانه‌های آبی، شرایط متفاوت است، از آنجاکه جریان سطحی با توجه به افزایش مصرف از طریق سازه‌های آبی (یا چاه‌های حریمی و یا برداشت‌های مستقیم گسترش سطح آبی سازه‌های کنترل آب) بعضا کاهش یافته است (و بر اساس راهنمای تعدیل جریان‌های سطحی، دبی ورودی به پایانه‌ها آبی اصلاح شده است)، لذا شرایط سطوح پهنه‌های آبی در شرایط متوسط (دوره آماری) نمی‌تواند ملاک عمل قرار گیرد و ضروری است سطح انتخاب شده جهت ارزیابی میزان تبخیر از سطح آزاد پایانه‌های آبی، تناسبی با شرایط پایدار مصارف و جریان سطحی داشته باشد. از این نظر معمولا پهنه‌های آبی در پایانه‌ها که امکان تبخیر از سطح آزاد (و یا رطوبت باقی مانده در خاک) را دارند، تا حدودی نسبت به متوسط کاهش می‌یابد.

- از یک سو سطوح تبخیری با توجه به وضعیت بهره‌برداری از سدها یا آب‌بندان‌ها و همچنین وضعیت اقلیمی در تالاب‌ها طی ماه‌های مختلف (یک سال آبی) ممکن است متفاوت باشد و از سوی دیگر ارتفاع تبخیر ماهانه از سطح آزاد (و تشت تبخیر) نیز در ماه‌های مختلف، همسان نیست. لذا در صورت وجود اطلاعات ماهانه (برای سازه‌های با وسعت سطح تبخیر بالا و همچنین تالاب‌ها)، مقادیر تبخیر از سطح آزاد در مقیاس ماهانه مورد ارزیابی قرار می‌گیرد و جمع سالانه آن در فرآیند بیلان به کار گرفته می‌شود و در صورت عدم وجود اطلاعات وسعت سطوح در ماه‌های مختلف، برای سدها و آب‌بندان‌ها وسعت دریاچه در تراز نرمال ملاک قرار می‌گیرد و نتیجه محاسبات تبخیر سالانه، با اعمال ضریبی بین ۰/۷۵ تا ۰/۹۰ با توجه به دامنه تغییرات وسعت در ماه‌های مختلف و همچنین ارتفاع تبخیر از تشت، تعدیل می‌گردد. این ضریب کاهشی به دلیل آن است که در برخی از ماه‌ها (که عموما قسمتی از زمان آن منطبق بر فصل سرد است)، وسعت دریاچه کم‌تر از وسعت در تراز نرمال است. شایان ذکر است در سامانه Irandams مقدار تبخیر از سطح دریاچه سدها مشخص شده است، که رقم متوسط و یا رقم سال‌های آخر با توجه به میزان برداشت پذیرفته شده در نظر گرفته می‌شود و در خصوص تالاب‌های (با وسعت بالا) نیز باید ضریب کارشناسی با توجه به دامنه تغییرات اعمال نمود.
- در برخی از ماه‌های سال به دلیل وجود اراضی شالیزاری، مزارع دارای پهنه‌های آبی هستند که امکان تبخیر از سطح آزاد آن‌ها وجود دارد. نظر به اینکه این مقادیر تبخیر می‌تواند جزئی از فرآیند مصرف خالص گیاه (تبخیر و تعرق) باشد، لذا اعمال تبخیر از سطح تبخیری برای این مناطق صحیح نیست.

- روش تشت تبخیر

با استفاده از تشت‌های تبخیر استاندارد می‌توان میزان تبخیر را اندازه‌گیری کرد. روش تشت تبخیر به دلیل سادگی عموما در بررسی‌های منابع آب کاربرد گسترده‌ای دارد. مهم‌ترین نوع این تشت‌ها که در ایران نیز به طور گسترده‌ای استفاده می‌شود، تشت استاندارد کلاس A می‌باشد. معمولا مقادیر اندازه‌گیری شده تبخیر از سطح تشت با کمک ضریب تشت، به تبخیر از سطح آب مرتبط می‌شود. این ضریب وابسته به اقلیم منطقه، ابعاد و سایر خصوصیات منطقه متغیر است. از روی آمار تشت تبخیر می‌توان مقدار تبخیر از سطح آب را از معادله زیر تخمین زد.

$$E = K(E_{Pan})$$

در این معادله E تبخیر از سطح آزاد آب در مخازن یا دریاچه‌ها، E_{Pan} مقدار تبخیر از تشت و K ضریب ثابتی است که مقدار آن برای تشت تبخیر استاندارد کلاس A بین ۰/۶ تا ۰/۷۸ (به طور متوسط ۰/۷) می‌باشد. ضریب تشت تبخیر برای ماه‌های مختلف سال را می‌توان از جدول زیر تخمین زد. ملاحظه می‌شود که مقدار ضریب تشت در ماه‌های زمستان کم و در ماه‌های گرم سال به دلیل جذب حرارت خورشید توسط توده آب دریاچه‌ها و در نتیجه بالا رفتن مقدار تبخیر از سطح آزاد آب این ضریب بزرگ‌تر می‌شود که این تفاوت زیاد چشم‌گیر نیست.

جدول ۷-۱- ضریب تشت تبخیر برای برآورد تبخیر از سطح آزاد آب در ماه‌های سال

Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	June	July	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.
۰/۶۰	۰/۷۰	۰/۷۲	۰/۷۳	۰/۷۴	۰/۷۶	۰/۷۷	۰/۷۷	۰/۷۷	۰/۷۰	۰/۶۳	۰/۶۰

آنچه در مورد معادله بالا گفته شد مربوط به تبخیر از تشت کلاس A می‌باشد و اگر آمار تبخیر مربوط به نوعی دیگری از تشت باشد برای آن صادق نخواهد بود. هر چند در ایستگاه‌های هواشناسی ایران تبخیر تنها با استفاده از تشت کلاس A اندازه‌گیری می‌شود، اما در مطالعات هیدرولوژی داده‌های تشت ممکن است از سه نوع باشد که عبارتند از: تشت استاندارد انگلیسی، تشت کلاس A استاندارد امریکایی و تشت استاندارد روسی.

تشت نوع انگلیسی و روسی در داخل خاک نصب می‌شوند، حال آنکه تشت کلاس A روی سکوی چوبی و در سطح زمین کار گذاشته می‌شود. مزیت تشت کلاس A این است که اگر تشت سوراخ شده باشد به سادگی قابل رویت و تعمیر است، ولی چون سطح آب در آن در فاصله‌ای بالاتر از سطح زمین قرار گرفته است به دلیل بیش‌تر بودن سرعت باد در ارتفاع بالاتر، تبخیر حاصله از تشت کمی بیش‌تر از مقدار واقعی تبخیر است. جنس این تشت از آهن گالوانیزه است و به دلیل گرم شدن باعث افزایش درجه حرارت آب می‌شود که آن نیز موجب افزایش تبخیر می‌گردد. تجربه نشان داده است که نسبت تبخیر از تشت روسی یا انگلیسی به مقدار تبخیر از تشت کلاس A امریکایی حدود ۰/۷۸ می‌باشد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که مقدار تبخیر از تشت روسی یا انگلیسی تقریبا معادل مقدار تبخیر از سطح آزاد آب است. مشکل اساسی در این تشت‌ها آن است که به دلیل قرار گرفتن در زیر زمین نمی‌توان از سوراخ نبودن آن‌ها اطمینان پیدا کرد.

- روش تجربی محاسبه تبخیر از سطح آزاد

در صورت عدم وجود و یا دسترسی به اطلاعات تبخیر از تشت، می‌توان از فرمول دفتر عمران امریکا (USBR) به شرح زیر استفاده کرد.

$$E = 0.833(4.57t + 43.3)$$

در این معادله t متوسط ماهانه دمای هوا بر حسب درجه سانتی‌گراد و E تبخیر بر حسب میلی‌متر در ماه می‌باشد. مشاهده می‌شود که این فرمول بسیار کلی و فقط بر اساس درجه حرارت است.

۷-۳- تبخیر از آب‌های شور

با افزایش غلظت املاح موجود در آب به هر دلیل، به دلیل کاهش انرژی آزاد مولکول‌های آب ناشی از این املاح و نیز کاهش فشار بخار آب اشباع حاصل از آن، میزان تبخیر از سطح آزاد آب در مقایسه با آب‌های شیرین، کاهش می‌یابد. ضمن اینکه وجود املاح سبب می‌گردد که سهم کم‌تری از انرژی رسیده به سطح آب به صورت گرمای نهان تبخیر تبدیل گردد و بیش‌تر این انرژی صرف گرم شدن آب شود (احمدزاده، ۲۰۰۷). در این شرایط و برای محاسبه میزان تبخیر از

سطح آزاد آب، تقریبا همان روش‌های متداول مطرح شده استفاده می‌گردد؛ با این تفاوت که با در نظر گرفتن اثر شوری بر فشار بخار آب که بستگی به میزان شوری آب دارد، اثر املاح موجود بر میزان تبخیر اعمال می‌شود.

نتایج تحلیل داده‌ها نشان می‌دهد که نسبت تغییرات میانگین تبخیر سالیانه در آب شور دریاچه به آب شیرین معمولی از رابطه خاصی پیروی نمی‌کند. لذا با این بررسی نتیجه مناسبی را نمی‌توان به دست آورد. البته این موضوع حاکی از پیچیدگی برآورد دقیق میزان تبخیر در دریاچه است و لذا بایستی اندازه‌گیری‌های دیگری نیز به داده‌های موجود اضافه شوند.

از مقایسه منحنی‌های تغییرات میانگین اندازه‌گیری دما و تبخیر برای آب شیرین معمولی و آب شور دریاچه، ملاحظه می‌شود که دو منحنی، روند یکسانی ندارند. این موضوع بیان‌گر آن است که تغییرات شرایط اقلیمی بر روی میزان تبخیر در هر دو نوع آب به یک صورت اثر نمی‌کند. بنابراین، بایستی در اندازه‌گیری‌های مربوط به برآورد دقیق تبخیر، سایر پارامترهای اقلیمی مثل باد، تابش خورشید، مقدار مواد محلول، غلظت و غیره نیز برداشت شوند.

غلظت مایع رابطه معکوس با میزان تبخیر دارد. این موضوع در مورد آب‌های شور سبب کاهش میزان تبخیر نسبت به آب‌های شیرین معمولی می‌شود. چنین بیان می‌شود که به ازای هر ۱٪ نمک موجود در آب، ۱٪ از شدت تبخیر کاسته می‌شود ولی در آب‌های دارای پلانکتون (مانند آرتمیای دریاچه‌ی ارومیه)، جذب انرژی بیش‌تری صورت گرفته و میزان تبخیر افزایش پیدا می‌کند. لذا موضوع بررسی میزان تبخیر از سطح دریاچه‌ی ارومیه کار چندان ساده‌ای نیست و تا به حال روش مطمئنی برای این منظور ارائه نشده است.

بررسی تغییرات میزان متوسط ماهیانه تبخیر در سال‌های آبی ۱۳۶۸ تا ۱۳۸۰ برای متوسط ماهیانه (در سال‌های مختلف) نشان می‌دهد که روند میزان متوسط تبخیر در آب شیرین معمولی و آب شور دریاچه از یک معادله خطی پیروی می‌نماید. با استفاده از این معادله می‌توان تنها با اندازه‌گیری تبخیر در آب شیرین، به میزان تبخیر در آب شور دریاچه دست یافت.

بررسی نتایج نشان می‌دهد که میزان متوسط تبخیر در آب شیرین معمولی بیش از مقدار آن برای آب شور دریاچه است و از طرفی روند تغییرات میزان تبخیر تا حدودی تابع درجه حرارت می‌باشد. این نتیجه مؤید آن است که املاح و نمک موجود در آب دریاچه سبب کاهش مقدار تبخیر در آن می‌شود. نتایج حاصل نشان می‌دهد، آب دریاچه‌ی ارومیه به میزانی حدود ۱/۷۴ درصد کم‌تر از آب تبخیر یافته از تشتک تبخیرسنج آب شیرین معمولی، تبخیر می‌یابد.

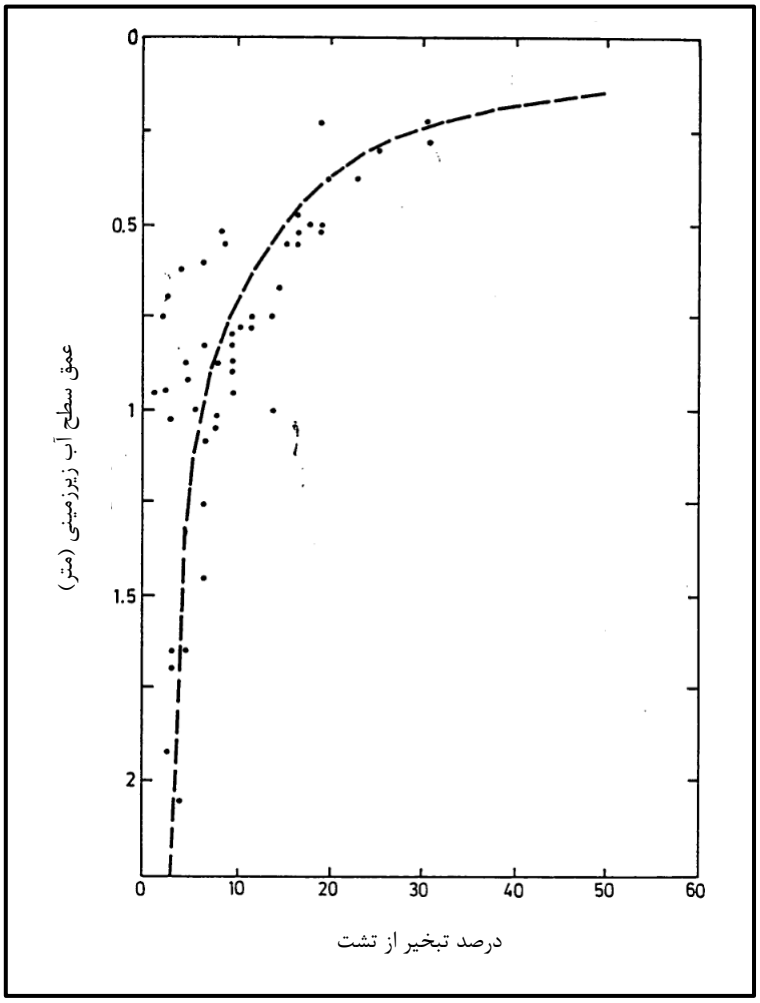
۷-۴- تبخیر از سطح آب زیرزمینی

در این روش، وایت برای برقراری رابطه بین تبخیر از سطح آب زیرزمینی و عمق سطح ایستابی، از لایسی‌متر و اندازه‌گیری سطح آب در چاهک استفاده کرد. نتایج حاصله از این تحقیق، منجر به تولید منحنی‌ای شد که در آن بسته به عمق آب زیرزمینی، تبخیر از آب زیرزمینی به صورت درصدی از مقدار تبخیر از تشت، حاصل می‌شود. در این روش، با آگاهی از عمق سطح آب زیرزمینی (از طریق چاه‌های مشاهده‌ای و یا هر روش دیگر)، می‌توان درصد تبخیر از تشت برای

منطقه مورد نظر را از منحنی وایت استخراج نمود. در این شرایط باید نقشه‌های حداقل نیم‌متری هم‌عمق آب زیرزمینی در دسترس و یا تولید گردد. محاسبه حجم تبخیر از آب زیرزمینی در منطقه مورد نظر، با حاصل‌ضرب میزان تبخیر از آب زیرزمینی (که به صورت درصدی از تبخیر از تشت برآورد شده است) در مساحت منطقه (که از نقشه‌های هم‌عمق آب زیرزمینی حاصل شده است)، صورت می‌پذیرد. لازم است اعماق کمتر از ۵ متر آب زیرزمینی به عنوان مناطق تبخیری لحاظ شود.

به منظور محاسبه تبخیر در آبخوان باید منحنی هم‌عمق سطح آب زیرزمینی بر اساس آمار چاه‌های مشاهده‌ای ترسیم شده و مساحت نواحی تبخیری مختلف با فواصل مناسب استخراج شود و بر اساس منحنی وایت درصد تبخیر از تشت معادل تعیین شود. به طور متوسط می‌توان گفت در اعماق بالاتر از ۵ متر تبخیر از آبخوان تقریبا متوقف می‌شود. در عمق ۵-۳ متر ارتفاع تبخیر از آبخوان حدود ۱ درصد از تبخیر تشت و در عمق ۳-۱متر حدود ۳ درصد از تبخیر تشت است.

- برای مناطقی که عمق آب زیرزمینی در ماه‌های مختلف نوسان دارد و نواحی کم‌عمق هستند به دلیل اینکه منحنی وایت برای نواحی کم عمق از حساسیت بالایی برخوردار بوده و عملا بر میزان تبخیر از آب زیرزمینی اثر تصاعدی دارد، لذا در پهنه‌بندی نواحی تبخیری باید دقت عمل داشت. بر اساس دستورالعمل‌های موجود، در مناطقی که سطح آب زیرزمینی افت مستمر ندارد، نقشه‌های هم‌عمق بر اساس متوسط داده‌های سطح آب زیرزمینی در ماه حداقل (در دوره شاخص آماری) ترسیم می‌گردد. نظر به این که عمق آب زیرزمینی در ماه حداقل نمی‌تواند شاهد مناسبی برای متوسط باشد، پیشنهاد می‌گردد برای عمق سطح آب زیرزمینی، از متوسط داده‌های ماه‌های سال آخر استفاده گردد. یا این که علاوه بر منحنی هم‌عمق برای ماه حداقل، منحنی هم‌عمق در ماه حداکثر نیز ترسیم گردد و سطوح تبخیری و حجم تبخیر در این دو مقطع زمانی (با توجه به میزان تبخیر از تشت در هر دوره) تعیین گردد.
- همان‌طور که در مبحث تبخیر از سطح آزاد گفته شد در برخی از ماه‌های سال به دلیل وجود اراضی شالیزاری، مزارع دارای پهنه‌های آبی هستند. این پهنه‌های آبی بعضا بر روی پهنه‌های تبخیر از سطح آب زیرزمینی قرار دارد، نظر به اینکه این مقادیر تبخیر (از سطح آب زیرزمینی در فصول کشت) می‌تواند جزیی از فرآیند مصرف خالص گیاه (تبخیر و تعرق) باشد، لذا اعمال تبخیر از سطح تبخیری برای این مناطق در ماه‌های کشت صحیح نیست و عملا تبخیر از سطوح تبخیری آبخوان، باید در فصل غیرکشت باشد.



شکل ۷-۱- منحنی وایت برای محاسبه درصد تبخیر از تشت به منظور برآورد تبخیر از آب زیرزمینی (وایت، ۱۹۳۲)

فصل ۸

راهنمای ترسیم منحنی‌های هم‌باران، هم‌دما و هم‌تبخیر

۸-۱- راهنمای ترسیم منحنی‌های هم‌باران، هم‌دما و هم‌تبخیر

ترسیم منحنی‌های هم‌ارزش اعم از باران، دما و تبخیر در مطالعات تهیه بیلان دارای اهمیت است. در حقیقت این پارامترها ورودی‌های ناحیه بیلان را در قالب حجم باران و حجم باران مفید و حجم تبخیر و تعرق واقعی مورد ارزیابی قرار می‌دهند. عموما برای ترسیم منحنی‌های هم‌ارزش از روش‌های درون‌یابی و مراجعه به روندها و روابط یک تا چند متغیره و همچنین مدل‌های معروف برای درون‌یابی در ArcMap استفاده می‌شود که مطالب مرتبط با این موضوع در متون مختلف قابل دسترسی است. ملاحظاتی در خصوص چگونگی تدقیق منحنی‌های هم ارزش در ادامه بیان می‌گردد.

۸-۱-۱- گرادیان

در ترسیم گرادیان باید تا حد ممکن به ناحیه‌بندی و سطح معنی‌دار بودن و شعاع تاثیر گرادیان اهمیت داده شود. در برخی از نقاط ایران (مانند مناطق شمالی) از یک ارتفاع به بعد، شیب گرادیان باران تغییر می‌کند. در خصوص گرادیان تبخیر از تشت و سطح آزاد نیز این موضوع وجود دارد. به طور کلی، بین افزایش تبخیر و دما رابطه مستقیم برقرار است لیکن در برخی نقاط، علی‌رغم کاهش دما، میزان تبخیر به دلیل شدت و یا میزان رطوبت و یا باد در این نواحی افزایش نشان می‌دهد و یا بالعکس. این موضوع در نواحی ساحلی با میزان رطوبت بالا و همچنین مناطق بسیار مرتفع قابل مشاهده است. به طور کلی تبعیت روند تغییرات دما از توپوگرافی نسبت به باران و تبخیر بیش‌تر است، لکن در ترسیم منحنی‌ها باید به میزان ضریب همبستگی گرادیان توجه کرد.

۸-۱-۲- تراکم ایستگاه‌ها

اگرچه برای ترسیم منحنی هم‌ارزش در یک منطقه از اطلاعات ایستگاه‌ها در یک دوره آماری استفاده می‌گردد، لیکن در برخی نواحی، تراکم ایستگاه‌ها مناسب نیست و استفاده مستقیم از گرادیان می‌تواند در تهیه نقشه هم‌ارزش انحراف ایجاد نماید. لذا مراجعه و استفاده از سایر ایستگاه‌ها با سنوات آماری کم (که در مراحل اولیه تحلیل مورد توجه قرار نگرفته و به اصطلاح تکمیل و تطویل نشده است)، می‌تواند در بهبود منحنی‌های هم‌ارزش در این نواحی کمک نماید. البته باید با استفاده از روش‌های مناسب (همانند روش نسبت‌ها)، اطلاعات این ایستگاه‌ها را برای دوره آماری شاخص تطویل نمود.

۸-۱-۳- استفاده از شیب گرادیان

در برخی نواحی نتایج حاصله از گرادیان با ارقام ایستگاه، تفاوت معنی‌داری دارد. لذا در این نواحی باید به شیب تغییرات گرادیان رجوع شود، یعنی افزایش یا کاهش پارامتر مورد نظر از روند گرادیان تبعیت نماید.

۸-۱-۴- پوشش گیاهی

در بسیار از نقاط ایستگاه برای ارزیابی وضعیت باران، دما و تبخیر وجود ندارد. علاوه بر گرادیان می‌توان با مراجعه به نوع پوشش گیاهی و تراکم پوشش، میزان ریزش‌های جوی، رطوبت و دمای منطقه را برآورد کرد. به طور مثال در ارتفاعات البرز و زاگرس، پوشش جنگلی و تراکم آن، با یک روند کم شده و به مناطق مرتعی تبدیل می‌گردد و در مناطقی که پوشش مرتعی دارند حسب آنکه از نظر تراکم به سه دسته اصلی فقیر، متوسط و عالی تقسیم می‌شود، می‌تواند تا حدودی میزان ریزش‌های جوی سالانه را در مقایسه با چنین مناطقی مورد برآورد قرار داد.

۸-۱-۵- ضریب جریان

در صورت وجود ایستگاه هیدرومتری در حوضه آبریز، باید هماهنگی قابل قبولی بین باران و جریان سطحی وجود داشته باشد که این موضوع با ارزیابی ضریب جریان قابل کنترل است.

۸-۱-۶- ارتفاعات مشرف

تاثیر ارتفاعات مشرف به مناطق کوهپایه‌ای در ترسیم منحنی هم‌دما حائز اهمیت است. به طور مثال در دو دامنه که از ارتفاعات یکسان برخوردار هستند، آن ناحیه‌ای که ارتفاعات مشرف بلندتری دارد، دمای کم‌تری را تجربه می‌کند. بنابراین در ترسیم منحنی‌های هم‌دما (و هم‌تبخیر) که عموما از توپوگرافی تبعیت می‌کنند، باید به موقعیت و رفتار دمایی چنین مناطقی توجه نمود.

۸-۱-۷- استخراج نتایج

برای استخراج ارقام باران، دما و تبخیر در پلیگون‌های آبخوان، دشت، ارتفاعات مشرف به دشت و سایر ارتفاعات، از رستر کردن منحنی‌های هم ارزش استفاده می‌گردد، از آنجا که این روند ادامه منحنی‌های هم ارزش در خطالراس حوضه آبریز، به دلیل محدودیت در فاصله خطوط هم ارزش (اینتروال‌ها)، بعضا قابل دسترس نبوده و در مدل رستر به این روندها توجه نمی‌گردد، لذا لازم است در تولید رستر، از خطوط هم ارزش کمکی (با فاصله معین از خطوط اصلی) و یا نقاط هم ارزش کمکی در خطالراس‌ها (و یا هر ناحیه دیگری که روندها منطقی طی نشده است)، استفاده گردد.

فصل ۹

راهنمای تحلیل روند کیفیت آب در ایستگاه‌های هیدرومتری

۹-۱- راهنمای تحلیل روند کیفیت آب در ایستگاه‌های هیدرومتری

در آبخوان‌های آبرفتی بر اساس اطلاعات چاه‌های انتخابی، روند تغییرات کیفیت آب زیرزمینی از لحاظ هدایت الکتریکی تحت عنوان کموگراف مورد سنجش قرار می‌گیرد. لیکن در ایستگاه‌های هیدرومتری یک خلأ در خصوص تحلیل روند تغییرات هدایت الکتریکی با توجه به تغییرات کمی جریان سطحی دیده می‌شود. از این رو بر اساس فرآیند زیر، نمودار تحلیل کیفیت جریان سطحی در ایستگاه‌های هیدرومتری ترسیم می‌گردد.

۱- در هریک از ایستگاه‌های هیدرومتری مورد مطالعه، بر اساس مقادیر هدایت الکتریکی و دبی متناظر آن در کل نمونه‌های برداشت شده، نمودار دبی- هدایت الکتریکی ترسیم می‌گردد (در ترسیم این نمودار داده‌های پرت حذف می‌شود).

۲- مقادیر متوسط، حداقل و حداکثر هدایت الکتریکی نمونه‌های برداشت شده در هریک از ایستگاه‌های هیدرومتری مورد مطالعه، برای هر سال آبی استخراج می‌شود و در ادامه دبی متوسط نمونه‌ها و دبی متناظر حداقل و حداکثر هدایت الکتریکی نیز ارائه می‌شود.

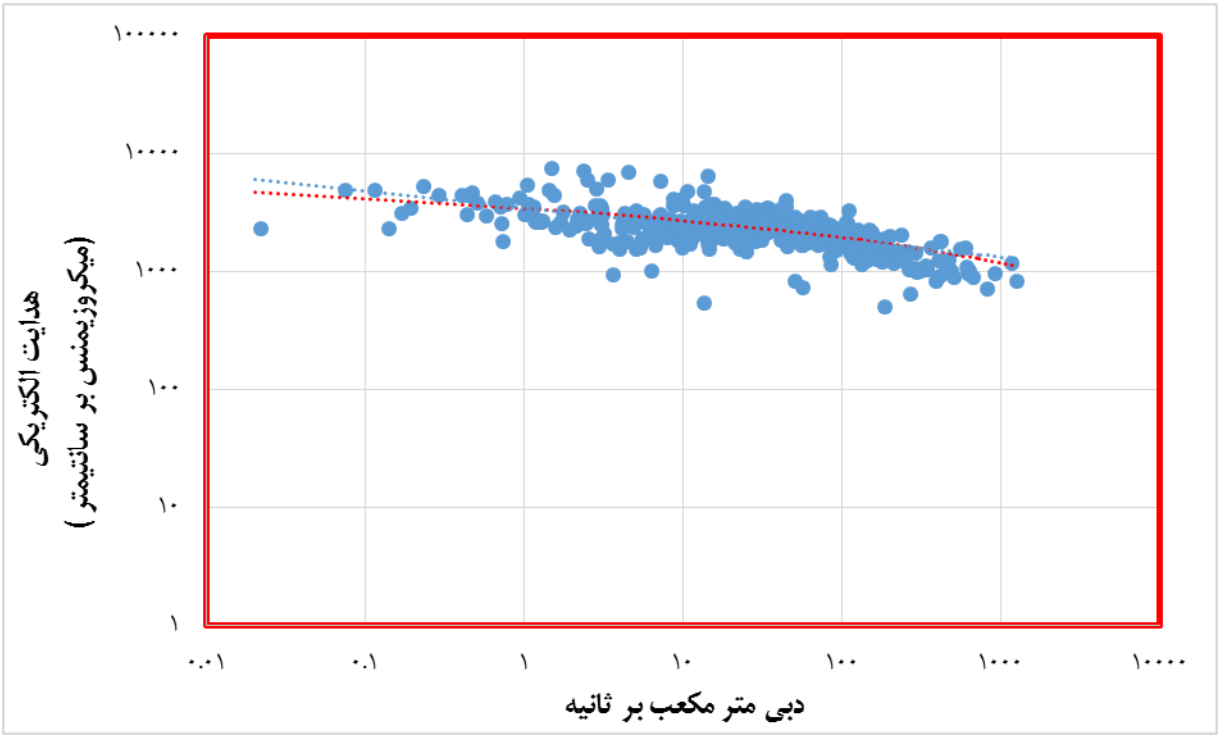
۳- برای ارزیابی وضعیت مقدار کمی نمونه‌های اندازه‌گیری شده در مقایسه با دبی متوسط سالانه، دبی متوسط سالانه ایستگاه هیدرومتری از بانک اطلاعات دریافت می‌گردد.

۴- برای دبی متوسط هر سال برای هریک از ایستگاه‌های هیدرومتری مورد مطالعه، از روی منحنی Q-EC مقدار EC متناظر نیز استخراج و درج می‌شود.

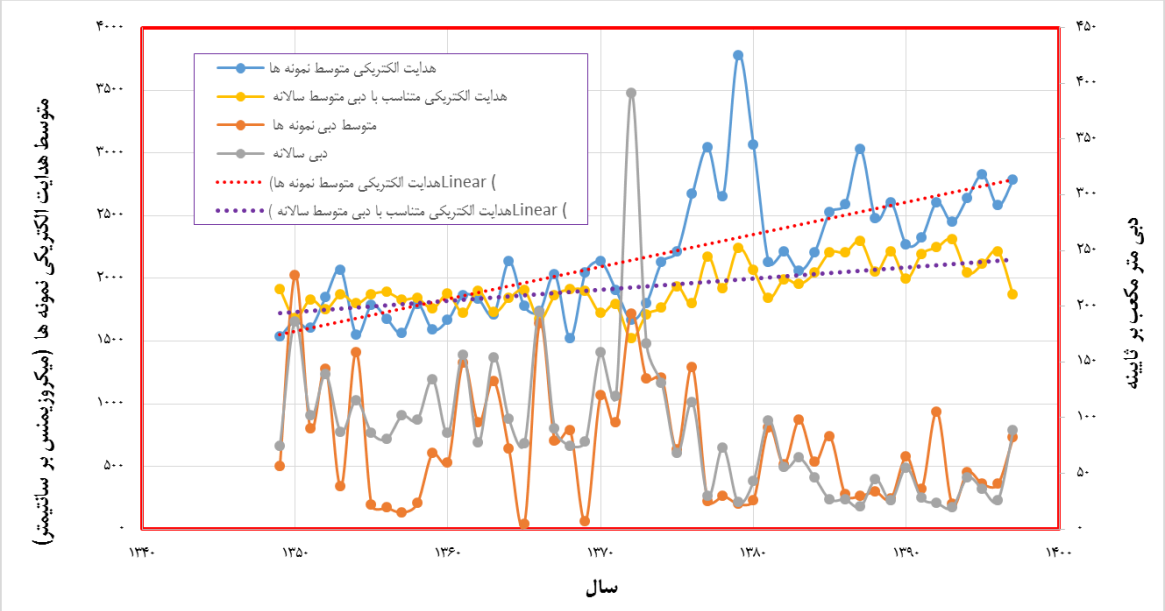
- **نکته:** چنانچه از دبی روزانه و رابطه دبی- هدایت الکتریکی استفاده شود و متوسط سالانه آن روی نمودار قرار گیرد، انطباق بهتر با روند واقعی تغییرات قابل مشاهده است، البته باید در مورد نحوه استخراج رابطه از نظر دوره آماری دقت بیش‌تری نمود.
- **نکته:** در تحلیل‌ها باید به تناسب دبی‌های نمونه‌های برداشت شده و متوسط سالانه دبی‌ها دقت گردد. به طور مثال در نمودار زیر در سال‌های بعد از ۱۳۷۰ تناسب قابل قبولی بین متوسط دبی نمونه‌ها و دبی سالانه حاکم است و از این رو می‌توان به روند اطلاعات مربوط به هدایت الکتریکی اعتنا کرد.

جدول ۹-۱- نمونه اطلاعات هدایت الکتریکی در ایستگاه هیدرومتری گیلوان

سال آبی	متوسط دبی نمونه‌ها مترمکعب بر ثانیه	متوسط EC نمونه‌ها میکروزیمنس بر سانتی‌متر	دبی سالانه مترمکعب بر ثانیه	هدایت الکتریکی متناسب با دبی متوسط سالانه میکروزیمنس بر سانتی‌متر
۱۳۸۲	۵۸	۲۲۱۴	۵۶	۱۹۹۱
۱۳۸۳	۹۸	۲۰۶۱	۶۴	۱۹۵۳
۱۳۸۴	۶۰	۲۲۰۸	۴۶	۲۰۴۲
۱۳۸۵	۸۳	۲۵۲۶	۲۷	۲۲۰۷
۱۳۸۶	۳۱	۲۵۹۰	۲۷	۲۲۰۷
۱۳۸۷	۳۰	۳۰۲۶	۲۰	۲۲۹۵
۱۳۸۸	۳۳	۲۴۷۴	۴۵	۲۰۵۴
۱۳۸۹	۲۷	۲۶۰۶	۲۶	۲۲۱۵
۱۳۹۰	۶۵	۲۲۷۱	۵۵	۱۹۹۵
۱۳۹۱	۳۶	۲۳۲۴	۲۸	۲۱۹۳
۱۳۹۲	۱۰۵	۲۶۰۵	۲۳	۲۲۴۷
۱۳۹۳	۲۳	۲۴۵۱	۱۹	۲۳۰۷
۱۳۹۴	۵۱	۲۶۴۱	۴۶	۲۰۴۴
۱۳۹۵	۴۰	۲۸۲۵	۳۶	۲۱۱۶
۱۳۹۶	۴۰	۲۵۷۹	۲۶	۲۲۱۵
۱۳۹۷	۸۲	۲۷۸۲	۸۸	۱۸۶۷



شکل ۹-۱- نمودار دبی– هدایت الکتریکی در ایستگاه هیدرومتری گیلوان



شکل ۹-۲- نمودار بررسی وضعیت متوسط دبی و متوسط هدایت الکتریکی نمونه‌ها در ایستگاه هیدرومتری گیلوان

فصل ۱۰

تعاریف بیلان، آب تجدیدپذیر و پتانسیل آب منابع آب

۱۰-۱- تعاریف

در سال‌های اخیر استفاده از برخی مفاهیم مرتبط با چرخه آب از سوی تصمیم‌گیران افزایش یافته است و بعضا به دلیل عدم تعریف یکسان، منجر به برداشت‌های مختلف از یک مفهوم گردیده است. لذا با هدف همسان‌سازی ادبیات و درک یکنواخت از عبارت‌های متداول در مسایل چرخه آب، در ادامه به ارائه تعاریف و تعیین پارامترهای بیلان آب، مرتبط با مفاهیم آب سبز، آب آبی، آب خاکستری، آب تجدیدپذیر، آب تجدیدناپذیر، برداشت، مصارف، پتانسیل منابع آب سطحی و زیرزمینی، زهکشی ارتفاعات، آب برگشتی و آب قابل برنامه‌ریزی سطحی و زیرزمینی پرداخته می‌شود.

۱۰-۱-۱- بیلان آب[۱]

بررسی تبادلات آب در یک محدوده که بر اصل بقای ماده در چرخه آب تاکید دارد، بیلان آب خوانده می‌شود. به عبارت دیگر، برآورد کلیه آب‌هایی که در یک زمان معین وارد یک محدوده خاص می‌گردد، یا به مصرف می‌رسد یا ذخیره شده و یا به صورت‌های مختلف از محدوده خارج می‌گردد، بیلان آب نام دارد. مطالعات بیلان آب یکی از ارکان مدیریت و سیاست‌گذاری در مدیریت منابع آب و ابزاری برای ارزیابی کمی منابع آب و تغییرات آن در اثر فعالیت‌های انسانی می‌باشد، همچنین یکی از موضوعات دیرین در هیدرولوژی پی بردن به موجودیت آب در یک حوضه و تحلیل و بررسی روش‌های محاسبه پارامترهای بیلان آب می‌باشد. اهداف مطالعات بیلان در ایران عمدتا مدیریتی بوده و برای تخصیص آب به مصارف گوناگون و وضع محدودیت‌های جدید در بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی می‌باشد. از جمله خروجی‌ها و کاربردهای نتایج بیلان می‌توان به موارد زیر اشاره کرد.

- ارزیابی آب تجدید شونده و وضعیت پتانسیل منابع آب
- ارزیابی اثر مؤلفه‌های مختلف چرخه آب در مدیریت عرضه و تقاضای منابع آب
- ارزیابی محدودیت‌های توسعه بهره‌برداری منابع آب و ایجاد ممنوعیت
- ارزیابی آب قابل برنامه‌ریزی سطحی و زیرزمینی
- ارزیابی امکان تخصیص منابع آب

۱- Water Balance

۱۰-۱-۲- آب سبز[۱] و آب آبی[۲]

در چرخه هیدرولوژی، منابع آب به دو دسته «آب آبی» و «آب سبز» تقسیم‌بندی می‌شوند. کل آب‌های زیرزمینی و آب‌های سطحی، آب آبی را تشکیل می‌دهند که می‌تواند برای آبیاری و دیگر مصارف انسان برداشت شود.

ریزش‌های جوی بعد از نفوذ در خاک و قبل از اینکه به منطقه اشباع برسد، آب سبز را تشکیل می‌دهد. بر اساس تعریف:

- **آب سبز:** آب نگهداشته شده در بخش‌های غیراشباع خاک است که توسط ریزش‌های جوی تأمین می‌شود و قابل دسترس برای گیاه بوده و در نهایت توسط تبخیر و تعرق از دسترس خارج می‌شود.
- **آب آبی:** مجموع منابع آب تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر در یک حوضه آبریز، آب آبی نامیده می‌شود.

۱۰-۱-۳- آب تجدیدپذیر[۳]

مقدار آبی است که حوضه، طی چرخه آبی سالیانه توانایی بازیابی آن را دارد. در تعیین مقدار آب تجدیدپذیر بایستی هدف و فشارهای وارد شده در نظر گرفته شود. از همین رو آب تجدیدپذیر تحت تاثیر عواملی همانند فشارها، منابع داخلی و منابع خارجی به دسته‌های مختلف همانند طبیعی، واقعی و قابل بهره‌برداری تقسیم‌بندی می‌گردد. مفاهیم مختلف منابع از آب تجدیدپذیر در جدول (۱۰-۱) آمده است.

جدول ۱۰-۱- مفاهیم مختلف منابع آب براساس ضوابط (Source: FAO/BRGM, ۱۹۹۶)

عوامل موثر	آب تجدیدپذیر طبیعی (تئوری)	آب تجدیدپذیر واقعی	منابع آب قابل مدیریت و بهره‌برداری
فشارها	-	سیاسی- اقتصادی- دانش و تکنولوژی	سیاسی- اقتصادی- دانش و تکنولوژی- اجتماعی- محیط زیستی
منابع داخلی	رواناب و نفوذ داخل حوضه	منابع واقعی داخلی (بدون هیچ قیدی برای حفاظت از منابع آب به نفع مصارف پایین‌دست)	منابع داخلی قابل بهره‌برداری (با رهاسازی حداقل جریان لازم به عنوان حقابه پایین‌دست)
منابع خارجی	آب ورودی به داخل حوضه	منابع واقعی خارجی (ذخایر آبی مازاد یک حوضه بالادست)	منابع خارجی قابل بهره‌برداری (به شرط تحویل حقابه حوضه توسط بالادست)

۱- Green Water

۲- Blue Water

۳- Renewable Water

۱۰-۱-۴- منابع آب تجدیدناپذیر[۱]

آب موجود در آبخوان‌ها از گذشته‌های دور ذخیره شده‌اند و سرعت تغذیه در آن‌ها (در مقیاس زمانی انسانی) ناچیز است. به عبارتی تغذیه حاصل از بارش سالانه در مقایسه با حجم نسبتا بالای آب ذخیره‌شده در لایه‌های زیرین زمین اندک می‌باشد. به طور تقریبی هر ۲۵ تا ۵۰ سانتی‌متر افت آب زیرزمینی معادل یک سال تغذیه آب زیرزمینی از طریق نفوذ است. اگر برداشت سالانه از منابع آب تجدیدشونده زیرزمینی صورت گیرد، سطح آب زیرزمینی ثابت باقی می‌ماند، ولی اگر برداشت سالانه بیش‌تر از میزان تجدیدشوندگی آن باشد، افت سطح آب زیرمینی رخ می‌دهد. با وقوع افت مستمر سطح آب زیرزمینی، برگشت به حالت قبل برای تغذیه آبخوان تقریبا غیرممکن است. زیرا افت مستمر سطح آب زیرمینی موجب افزایش تراکم آبرفت در اثر تحکیم و کاهش ضریب ذخیره آب در آبخوان شده و فرونشست ناهمگن سطح زمین را به دنبال خواهد داشت که خود خسارتی غیرقابل‌برگشت است.

۱۰-۱-۵- آب تجدیدپذیر طبیعی[۲]

در واقع قسمت اصلی و قابل اتکای آب آبی (آب زیرزمینی و سطحی، چه داخل حوضه تولید شده باشد و چه از خارج، به حوضه وارد شود)، می‌باشد که به کمک پارامترهای بیلان هیدروکلیماتولوژی و چرخه آب قابل محاسبه است. آب تجدیدپذیر طبیعی علاوه بر ۴ پارامتر اصلی بیلان هیدروکلیماتولوژی مشتمل بر رواناب در دشت و ارتفاعات و نفوذ در دشت و ارتفاعات، منابع آب سطحی و زیرزمینی مازاد یک حوضه بالادست و یا انتقالی (لاجرم و به طور آگاهانه وارد می‌گردد) را نیز شامل می‌شود. آب تجدیدپذیر طبیعی، با توجه به تغییر مقدار بارش‌ها از سالی به سال دیگر در نوسان است، اما تمام این مقدار برای استفاده در دسترس نیست.

۱۰-۱-۶- آب تجدیدپذیر واقعی[۳]

آب تجدیدپذیر واقعی، بحشی از آب تجدیدپذیر طبیعی است. از آنجاکه عموما یک قسمت از منابع آب تجدیدپذیر که به دلیل محدودیت ناشی از دانش و تکنولوژی و همچنین حقابه پایین‌دست ناشی از فشارهای سیاسی و اقتصادی (معاهدات بین‌المللی و همچنین هزینه بالای احداث و بهره‌برداری سازه‌های تنظیم و کنترل مانند: سد، بند خاکی، خط انتقال آب و ...)، نمی‌تواند مورد بهره‌برداری قرار گیرد، لاجرم بدون هیچ‌گونه اثر تنظیمی و آگاهانه از حوضه آبریز و یا محدوده مطالعاتی

۱- Non-renewable Water

۲- Natural Water Renewable

۳- Actual Water Resources

بیرون می‌رود (فرار می‌کند). چنانچه این بخش آب که به ناچار از دسترس بهره‌برداری خارج می‌شود، از آب تجدیدپذیر طبیعی کسر گردد، آب تجدیدپذیر واقعی حاصل خواهد شد. در برآورد آب تجدیدپذیر واقعی هیچ قیدی برای حفاظت از منابع آب به نفع مصارف پایین‌دست وجود ندارد ولی معاهدات سیاسی و بین‌المللی باید رعایت شود.

۱۰-۱-۷- آب تجدیدپذیر قابل مدیریت و بهره‌برداری[۱]

آب تجدیدپذیر قابل مدیریت و بهره‌برداری نیز به نوبه خود قسمتی از منابع آب تجدیدپذیر واقعی می‌باشد که علاوه بر فشارهای سیاسی و اقتصادی، تحت تاثیر فشارهای اجتماعی و محدودیت‌های محیط زیستی نیز می‌باشد. در واقع در تعریف این نوع آب تجدیدپذیر، پایداری سیستم‌های اجتماعی و بوم زیستی نیز لحاظ می‌گردد. این کار با رهاسازی حداقل جریان لازم برای پایین‌دست (در نظر گرفتن حقابه) انجام خواهد شد. به عبارتی چنان‌چه سهم خاصی به عنوان رهاسازی برای پایین‌دست باید تأمین و تحویل گردد (که در وضعیت موجود برآورده نمی‌شود)، لازم است در محاسبات مقدار آب تجدیدپذیر قابل مدیریت و بهره‌برداری لحاظ گردد. طبق تعریف عوامل محدودکننده آب تجدیدپذیر قابل مدیریت و بهره‌برداری از آب تجدیدپذیر طبیعی عبارتند از: عدم امکان اقتصادی و فیزیکی برای ذخیره سیلاب با احداث سدها یا استخراج آب زیرزمینی (تجدیدپذیر)، ضرورت رهاسازی حداقل جریان لازم برای پایین‌دست (حقابه ساکنین، معاهدات سیاسی و بین‌المللی و نیازهای زیست محیطی پایین‌دست) و الزام حفظ پایداری کیفی منابع آب با تخلیه و خارج نمودن آب شور و آلوده از حوضه. البته قسمتی از حجم غیرقابل‌کنترل در آب تجدیدپذیر واقعی می‌تواند صرف سهم حقابه‌های زیست‌محیطی و اجتماعی و همچنین معاهدات سیاسی و بین‌المللی گردد.

۱۰-۱-۸- آب قابل تخصیص[۲] و آب تخصیص داده شده[۳]

مطابق تعریف بالا، آب تجدیدپذیر قابل مدیریت و بهره‌برداری همان میزان آب تجدیدپذیری است که باید بر اساس آن برنامه‌ریزی و تخصیص منابع آب صورت گیرد (آب قابل تخصیص). در یک تعریف، ظرفیت باقیمانده برای آب قابل تخصیص در هر حوضه و در هر زمان از اختلاف آب تجدیدپذیر قابل مدیریت و بهره‌برداری و میزان آب تخصیص داده شده به دست می‌آید.

اگر ظرفیت باقیمانده برای آب قابل تخصیص مثبت باشد، یعنی هنوز بخشی از ظرفیت آب تجدیدپذیر قابل مدیریت و بهره‌برداری مورد تخصیص قرار نگرفته و پتانسیل برای توسعه بیش‌تر وجود دارد. اما اگر در حوضه‌ای باقیمانده آب قابل

۱- Exploitable or Manageable Water Resources

۲- Allocable Water

۳- Allocated Water

تخصیص منفی باشد، یعنی بیش‌تر از منابع آب تجدیدپذیر قابل مدیریت و بهره‌برداری، تخصیص صورت گرفته است. در چنین حوضه‌ای، منابع آب غیرتجدیدشونده در حال مصرف بوده و تعارضات و تنش‌های اجتماعی بین بالادست و پایین‌دست و مشکلات زیست‌محیطی مشاهده خواهد شد.

۱۰-۱-۹- برداشت[۱] و مصرف[۲]

باید به این نکته توجه شود که بین برداشت و مصارف در یک حوضه آبریز تفاوت وجود دارد. بین برداشت و مصارف در یک حوضه آبریز رابطه زیر وجود دارد:

$$C = W - Re$$

- **برداشت:** در یک سیستم منابع آب هرگونه جابجایی آب از محل وقوع طبیعی آن (منابع آب سطحی و زیرزمینی) برای استفاده در فعالیت‌های بشر را برداشت گویند.
- **مصرف:** آب تبخیرشده (تبخیر- تعرق) و یا مصادره شده در کالاهای تولیدی (آب نهان) و آبی که طی فرآیند تولید، آلوده شده است (و باید برای حفظ پایداری سیستم منابع آب، از حوضه خارج شود) که می‌توان گفت از «چرخه هیدرولوژی حوضه آبریز مورد نظر» خارج شده، مصرف نامیده می‌شود. آنچه در چرخه منابع آب یک حوضه (محدوده) اثر مهمی دارد، مصارف (C) است و نه برداشت‌ها (W)، زیرا بخشی از آب برداشتی با توجه به نوع بهره‌برداری، به منابع آب برگشته و قابل تخصیص مجدد است. حال توجه به این نکته ضروری است که بالابردن راندمان آب در بخش کشاورزی سبب کاهش جریان آب بازگشتی شده و اگر افزایش راندمان در کنار کاهش برداشت از منابع نباشد منجر به افزایش مصرف می‌شود و مضر به حال بیلان منابع آب است.

۱۰-۱-۱۰- آب برگشتی[۳]

به آن بخش از آب برداشتی که مصرف نشده و دوباره به مخازن آب‌های سطحی و یا زیرزمینی بازمی‌گردد، آب برگشتی گویند. به عبارتی تمام آب برداشتی در یک فعالیت (شهری، صنعتی و یا کشاورزی و ...) در فرآیند تولید مورد استفاده قرار نمی‌گیرد. در ایران به طور متوسط حدود ۷۵٪ برداشت‌ها در مصارف شهری و ۲۰٪ در کشاورزی سنتی آب برگشتی در نظر گرفته می‌شود. نکته قابل توجه دیگر این است که تمام آب برگشتی قابل استفاده مجدد نیست؛ چرا که بخشی از آن به دلیل آلودگی ایجاد شده در فرآیند تولید از حیز انتفاع خارج شده و باید از حوضه خارج گردد.

۱- Withdrawal

۲- Consumption Water

۳- Return

۱۰-۱-۱۱- پتانسیل منابع آب (سطح و زیرزمینی)

در اینجا پتانسیل تحت عنوان حداکثر آب در دسترس تعریف می‌گردد و پتانسیل آب سطحی و آب زیرزمینی قابل تفکیک از یکدیگر است. ولی پتانسیل کل منابع آب از جمع آن‌ها به دلیل سهم اندرکنش منابع آب سطحی و زیرزمینی محاسبه نمی‌گردد. پتانسیل منابع آب همان آب تجدیدشونده طبیعی به انضمام آب‌های برگشتی از مصارف مختلف است. در حقیقت پتانسیل منابع آب به همه آب قابل دسترس در چرخه آب گفته می‌شود، خواه این منابع قابل کنترل باشد و خواه غیرقابل کنترل (البته با دانش فعلی). بر این اساس تعریف پتانسیل آب سطحی، پتانسیل آب زیرزمینی و پتانسیل منابع آب براساس مؤلفه‌های بیلان آب به شرح زیر می‌باشد.

۱۰-۱-۱۱-۱- پتانسیل آب سطحی

مجموع مؤلفه‌های رواناب دشت و ارتفاعات (بیلان هیدروکلیماتولوژی)، زهکشی ارتفاعات (یا خارج آبخوان)، تخلیه چشمه‌ها و قنوات در ارتفاعات و دشت، آب برگشتی از مصارف مختلف به آب سطحی (آبخوان و خارج آبخوان)، زهکشی آبخوان و آب‌های سطحی ورودی و انتقالی به محدوده مطالعاتی یا حوضه آبریز منهای نفوذ از آب سطحی به آب زیرزمینی را شامل می‌گردد. در ایستگاه‌های هیدرومتری چنانچه آبدهی اندازه‌گیری شده با برداشت‌های صورت گرفته در بالادست جمع گردد، حاصل آن پتانسیل آب سطحی خواهد بود.

نکته مهم آنکه نظر به اینکه در بسیاری از محدوده‌های مطالعاتی تفاوت قابل توجهی بین دشت و آبخوان وجود دارد و از سوی دیگر بسیاری از مؤلفه‌های ارزیابی آب تجدیدشونده و پتانسیل منابع آب وابسته به مؤلفه‌های بیلان آبخوان آبرفتی است، لذا برای تجمیع اطلاعات در دو سطح آبخوان و ارتفاعات، باید به سطح حد فاصل آبخوان تا ارتفاعات (میان‌دشتی) نیز توجه داشت. برای سهولت کار پیشنهاد می‌گردد در تولید اطلاعات (بیلان هیدروکلیماتولوژی و همچنین برداشت و مصارف) یک ناحیه تحت عنوان خارج آبخوان (مشرف و غیرمشرف به آبخوان) انتخاب گردد و در ادامه می‌توان با اطلاعات این ناحیه و اطلاعات آبخوان، به پوشش کاملی برای کل محدوده مطالعاتی دست یافت.

۱۰-۱-۱۱-۲- پتانسیل آب زیرزمینی

مجموع مؤلفه‌های نفوذ از باران در دشت و ارتفاعات (بیلان هیدروکلیماتولوژی) به‌علاوه جریان زیرزمینی ورودی، نفوذ از آب سطحی به آب زیرزمینی، نفوذ از مصارف مختلف به آب زیرزمینی (آبخوان و خارج آبخوان) منهای مجموع مؤلفه‌های زهکشی ارتفاعات، تخلیه چشمه‌ها و قنوات در ارتفاعات و دشت و همچنین زهکشی آبخوان را شامل می‌گردد.

ذکر این نکته لازم است که مقدار تخلیه چاه در ارتفاعات و خارج آبخوان جزو پتانسیل آب زیرزمینی است؛ به دلیل آنکه این تخلیه، در میزان باقی مانده از نفوذ در ارتفاعات (یا خارج آبخوان) پتانسیل آب زیرزمینی مستتر است، لذا در پتانسیل آب سطحی و زیرزمینی به صورت مستقل درج نشده است. به عبارت دیگر پتانسیل آب زیرزمینی شامل تفاضل مجموعه مؤلفه‌های تخلیه چاه‌ها در ارتفاعات (خارج آبخوان)، جریان زیرزمینی ورودی به آبخوان، نفوذ از باران و آب

سطحی به آبخوان، نفوذ از مصارف مختلف به آب آبخوان با مجموعه مؤلفه‌های تخلیه چشمه‌ها و قنوات در آبخوان و همچنین زهکشی آبخوان می‌باشد.

۱۰-۱-۱۱-۳- پتانسیل منابع آب

با مراجعه به مؤلفه‌های تعریف شده برای پتانسیل منابع آب مشخص می‌گردد، مؤلفه‌های زهکشی ارتفاعات، تخلیه چاه، چشمه‌ها و قنوات در ارتفاعات و دشت، زهکشی آبخوان و نفوذ از آب سطحی به آب زیرزمینی (آبخوان)، بین پتانسیل آب سطحی و پتانسیل آب زیرزمینی مشترک است. بنابراین پتانسیل منابع آب مجموع چهار مؤلفه اصلی مشتمل بر نفوذ در دشت و ارتفاعات و همچنین رواناب دشت و ارتفاعات (بیلان هیدروکلیماتولوژی)، به انضمام دو مؤلفه جریان سطحی ورودی و جریان زیرزمینی ورودی و همچنین دو مؤلفه آب برگشتی به آب سطحی و زیرزمینی می‌باشد. چهار مؤلفه اول همان آب تجدیدشونده داخلی است و با منضم نمودن دو مؤلفه بعدی، آب تجدیدشونده طبیعی محدوده مطالعاتی یا حوضه آبریز را شامل می‌گردد و در نهایت با اضافه نمودن ۲ مؤلفه آخر پتانسیل منابع آب (در چرخه) تعریف خواهد شد.

۱۰-۱-۱۲- زهکشی ارتفاعات (یا خارج آبخوان)

با توجه به اینکه در ارزیابی پتانسیل آب سطحی و زیرزمینی اطلاع از میزان زهکشی آب در ارتفاعات (خارج آبخوان) حائز اهمیت است، به طور کلی حجمی از آب نفوذیافته از باران و سایر مؤلفه‌ها که با تاخیر بنا به شرایط ساختار فیزیکی حوضه آبریز به سطح ظهور کرده و در نهایت به شکل جریان سطحی در می‌آید، زهکشی نامیده می‌شود. چشمه‌ها و زهکشی آبخوان نیز نوعی زهکشی از حوضه آبریز می‌باشد. در ارتفاعات (یا خارج آبخوان)، نفوذ شامل مجموع مؤلفه‌های نفوذ از باران، نفوذ از آب برگشتی مصارف مختلف (به زیر سطح در ارتفاعات یا خارج آبخوان) و جریان زیرزمینی ورودی به ارتفاعات (یا خارج آبخوان) از محدوده یا حوضه آبریز مجاور می‌باشد، چنانچه این حجم را از مؤلفه‌های تخلیه چاه‌ها، چشمه‌ها و قنوات در ارتفاعات (یا خارج آبخوان) و جریان زیرزمینی ورودی به آبخوان (با توجه به اینکه جریان زیرزمینی ورودی به آبخوان از طریق محاسبات جبهه‌های ورودی به آبخوان تهیه می‌گردد و این ورودی‌ها تامان شامل جریان زیرزمینی ورودی احتمالی از آبخوان محدوده مجاور و همچنین ارتفاعات می‌باشد، لذا صرفا جبهه‌های مرتبط به ارتفاعات مد نظر است) و همچنین جریان زیرزمینی خروجی از ارتفاعات به محدوده‌های مطالعاتی مجاور کسر نمائیم، برآوردی از میزان زهکشی در ارتفاعات (خارج آبخوان) صورت می‌گیرد. میزان زهکشی در ارتفاعات همان جریان پایه است که برداشت و مصرفی از آن صورت نگرفته باشد و از طریق اطلاعات ایستگاه‌های هیدرومتری قابل برآورد می‌باشد.

۱۰-۱-۱۳- آب قابل برنامه‌ریزی سطحی

«آب قابل برنامه‌ریزی سطحی عبارت از مجموع برداشت‌های مستقیم، حجم آب تنظیمی طرح‌های توسعه منابع آب در شرایط فعلی (طرح‌های در دست بهره‌برداری) و حجم آب تنظیمی طرح‌های توسعه منابع آب در شرایط آتی و

پس از به بهره‌برداری رسیدن آن‌ها در افق‌های آتی است (طرح‌های اجرایی و مطالعاتی که در قالب سهم تخصیص آب سطحی استان مجوز تخصیص آب خواهند گرفت). برداشت‌های مستقیم نیز میزان آبی است که از طریق انهار، موتورپمپ‌ها، ایستگاه‌های پمپاژ، آب‌بندان‌ها و چشمه‌ها توسط بهره‌برداران برداشت شده و به مصرف می‌رسد[۱]».

۱۰-۱-۱۴- آب قابل برنامه‌ریزی زیرزمینی

برای ارزیابی حجم آب زیرزمینی قابل برنامه‌ریزی از طریق چاه‌ها، پیشنهادی بر مبنای بند ۳ مصوبه پانزدهمین جلسه شورای عالی آب ارائه شده است و بر اساس آن برآوردهای اولیه از آب قابل برنامه‌ریزی صورت گرفته است. در این پیشنهاد، با توجه به میزان پتانسیل تجدید شونده آب زیرزمینی (به انضمام آب کل برگشتی‌ها) و کسر آن میزان از آب برگشتی از مصارف شرب و صنعت به سبب اجرای شبکه جمع‌آوری فاضلاب و همچنین کسر تخلیه چشمه‌ها، قنوات و تخلیه‌های طبیعی (مشتمل بر زهکشی، خروجی زیرزمینی و تبخیر از آبخوان آبرفتی)، آب قابل برنامه‌ریزی جهت بهره‌برداری از طریق چاه‌ها با اعمال ضریب تعدیل (که به درصد کسری مخزن به حجم برداشت فعلی از طریق چاه‌ها مرتبط است)، ارزیابی می‌گردد.

---

[۱] تعریف ارائه شده در ابلاغ حجم آب قابل برنامه‌ریزی برای مصرف مختلف به شماره ۹۴/۳۰۷۹۹/۳۱/۱۰۰ مورخ ۱۳۹۴/۰۶/۲۳ وزیر محترم نیرو

فصل ۱۱

پساب‌ها

۱۱-۱- مقدمه

در دو دهه اخیر اجرا و بهره‌برداری از طرح‌های فاضلاب در کشور افزایش قابل توجهی داشته است و اجرای شبکه جمع‌آوری فاضلاب، انتقال آن به تصفیه‌خانه‌های فاضلاب و تصفیه آن، عملا بر تغذیه آبخوان‌ها ناشی از آب برگشتی شرب (و صنعت) اثر گذار بوده است. پساب همان فاضلاب تصفیه شده در خروجی از تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهری و روستایی (و صنعتی) می‌باشد و در حقیقت آن را می‌توان به عنوان بخشی از یکی از مولفه‌های چرخه آب (آب برگشتی از مصارف شرب و صنعت) دانست. اطلاع از آخرین وضعیت میزان اجرای شبکه جمع‌آوری فاضلاب در سطح شهرها (و بعضا روستاها)، جمعیت تحت پوشش شبکه آن، میزان فاضلاب جمع‌آوری شده، حجم فاضلاب انتقال داده شده به تصفیه‌خانه فاضلاب و در نهایت میزان فاضلاب تصفیه شده و میزان استفاده از پساب برای مصارف مختلف در تحلیل وضعیت آب برگشتی از مصارف شرب و صنعت از اهمیت برخوردار است. لذا در مطالعات بیلان که از آخرین اطلاعات مصارف بهره-گرفته می‌شود و حتی برخی از مولفه‌های دیگر همانند جریان سطحی خروجی بر اساس آخرین مصارف تعدیل می‌گردد، جمع‌آوری اطلاعات و ارزیابی حجم جمع‌آوری فاضلاب و تصفیه آن حائز اهمیت است. در این فرآیند از مراجع ذیربط همانند شرکت‌های آب و فاضلاب استان و یا شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور و در صورت نیاز شرکت شهرک‌های صنعتی و یا با هماهنگی کارفرما از طریق ادارات صنعت، معدن و تجارت (در خصوص تصفیه‌خانه‌های واحدها و شهرک‌های صنعتی)، اطلاعات مربوط به طرح‌های فاضلاب دریافت می‌گردد. با توجه به وضعیت قبلی کارکرد آب برگشتی از مصارف شرب و صنعت که عموما شامل تغذیه آبخوان آبرفتی می‌گردیده است، در مطالعات حاضر، اثر میزان فاضلاب جمع‌آوری شده و تصفیه شده در چرخه آب، مصارف و آب برگشتی دیده خواهد شد.

- قسمتی از آب برگشتی از مصارف شرب و صنعت، به دلیل عدم اجرای شبکه جمع‌آوری، کماکان به صورت سنتی به تغذیه آبخوان می‌پردازد.
- قسمتی از فاضلاب جمع‌آوری شده ممکن است قبل از ورود به تصفیه‌خانه فاضلاب به آب‌های سطحی تخلیه گردد یا در محیط رهاسازی و در نتیجه تبخیر و قسمتی از آن نفوذ نماید.
- قسمتی از فاضلاب جمع‌آوری شده وارد تصفیه‌خانه فاضلاب شده و تصفیه می‌گردد و در نهایت پساب (البته با کیفیت‌های مختلف) تولید می‌شود. این پساب تولید شده نیز در ادامه می‌تواند کارکردهای مختلف در چرخه آب داشته باشد. بنابراین مشخص گردد پساب خروجی از تصفیه‌خانه فاضلاب چه سرنوشتی دارد. عموما این پساب‌ها در شرایط زیر قرار می‌گیرند.
  - مصرف صنعتی، کشاورزی، فضای سبز و یا خدماتی
  - تخلیه به آب‌های سطحی
  - تغذیه آب زیرزمینی

از آنجاکه در مطالعات بیلان، از آخرین اطلاعات مصارف استفاده می‌گردد و همچنین جریان‌های سطحی خروجی از محدوده‌های مطالعاتی بر اساس شرایط آخرین اطلاعات مصرف تعدیل شده است، لذا آگاهی از سرنوشت آب برگشتی بر اساس آخرین وضعیت مصارف شرب و صنعت، چه به صورت فاضلاب خام و یا پساب (تصفیه شده) در یک محدوده مطالعاتی و نیز محل مصرف آن از اهمیت برخوردار می‌باشد. از این رو لازم است در خصوص میزان پساب مصرف شده (نوع مصرف) و یا انتقال داده شده به سایر محدوده‌های مطالعاتی، اطلاعات لازم جمع‌آوری و ارائه شود. ضمنا در جداول مربوط به مصارف، (ضمن انطباق با نتایج آماربرداری)، بهره‌برداری از پساب گنجانده خواهد شد.

۱۱-۲- تعیین نقاط جمعیتی دارای طرح فاضلاب و تعداد طرح‌های فاضلاب

طرح‌های فاضلاب شهری و صنعتی عموما در محدوده نقاط جمعیتی با اولویت‌های کنترل آلودگی و استفاده مجدد از آب برگشتی اجرا می‌گردد. در برخی از محدوده‌های مطالعاتی چندین کانون جمعیتی شهری، روستایی و یا صنعتی وجود دارد که طرح‌های فاضلاب در آن‌ها در حال اجرا و یا قسمتی و یا کل آن به بهره‌برداری رسیده است. لازم است نام هر نقطه جمعیتی واجد طرح فاضلاب درج شده و تعیین گردد که مربوط به کدام محدوده مطالعاتی می‌باشد.

۱۱-۳- تعیین سرانه مصرف شرب و بهداشت، تلفات شبکه توزیع و کنترل حجم تولید آب برای مصرف در نقاط جمعیتی

اگرچه در آماربرداری، میزان مصرف شرب و بهداشت را می‌توان برای هر نقطه جمعیتی با دقت قابل قبول احصاء نمود لیکن کنترل ارقام آماربرداری با اطلاعات متولی توزیع آب (شرکت‌های آب و فاضلاب) می‌تواند دقت مصرف شرب و بهداشت و تولید آب را افزایش دهد. از این رو اطلاعات مربوط به سرانه مصرف شرب و بهداشت، تلفات شبکه توزیع و کنترل حجم تولید آب برای مصرف در نقاط جمعیتی جمع‌آوری و با اطلاعات آماربرداری همسو می‌گردد.

۱۱-۴- درصد اجرای شبکه جمع‌آوری فاضلاب و درصد جمعیت متصل به شبکه جمع‌آوری فاضلاب

عموما طرح‌های فاضلاب دارای دو پروژه اصلی با موضوع احداث شبکه جمع‌آوری و انتقال فاضلاب و احداث تصفیه‌خانه فاضلاب می‌باشند که هر یک از این پروژه‌ها فازهای مختلف برای اجرا و بهره‌برداری دارند، بنابراین در یک کانون جمعیتی، در پروژه احداث شبکه جمع‌آوری و انتقال، درصد پیشرفت فیزیکی آن ممکن است با درصد جمعیت متصل به شبکه جمع‌آوری متفاوت باشد. لذا در جدول مربوطه از هر دو دیدگاه اطلاعات پروژه احداث شبکه جمع‌آوری و انتقال فاضلاب درج می‌گردد.

۱۱-۵- حجم فاضلاب تولید شده (سرانه تولید فاضلاب) و فاضلاب جمع‌آوری شده (بر اساس درصد جمعیت متصل)

بررسی‌ها نشان می‌دهد در کشور ما معمولا متوسط سرانه مصرف آب در جوامع شهری بین ۱۵۰ تا ۲۲۰ و در روستاها بین ۸۰ تا ۱۲۰ لیتر در روز است که این اعداد به صورت تیپیکال می‌باشد و ممکن است در برخی مناطق بیش‌تر و یا کم‌تر از این مقدار باشد. سرانه تولید فاضلاب عبارت است از مقدار فاضلابی که توسط هر نفر در روز تولید می‌گردد. برای محاسبه سرانه تولید فاضلاب از روی میزان مصرف آب، ضریبی تحت عنوان ضریب تبدیل مصرف آب به فاضلاب تعریف می‌گردد. مقدار این ضریب با توجه به شرایط زندگی و منطقه جغرافیایی و نوع ساختمان‌ها متفاوت است. مقدار ضریب تبدیل را می‌توان به طور دقیق و واقعی محاسبه نمود، ولی از آنجا که معمولا در اکثر شهرها اطلاعات کاملی در این رابطه وجود ندارد، بر اساس تجربیات، مقدار ضریب را می‌توان بین ۷۰ تا ۹۰ درصد و به طور متوسط ۸۰ درصد در طراحی در نظر گرفت. یعنی حدود ۸۰ درصد از آب مصرفی تبدیل به فاضلاب می‌شود. فصل دوم نشریه شماره ۵۳۵ معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور تحت عنوان «ضوابط زیست‌محیطی استفاده مجدد از آب‌های برگشتی و پساب‌ها» می‌تواند در ارزیابی این درصد کمک نماید. شایان ذکر است قسمت عمده‌ای از تلفات شبکه (یا آب به‌حساب نیامده) مجددا به چرخه آب برمی‌گردد. لذا در ضریب تبدیل مصرف آب به پساب باید به آن توجه داشت. یعنی ضریب ۸۰ درصد صرفا بر روی آب مصرفی اعمال می‌گردد نه آب تولیدی. در جدول وضعیت تولید آب و فاضلاب در نقاط جمعیتی، اطلاعات مربوط به تولید آب و تولید فاضلاب ارائه می‌گردد.

۱۱-۶- تصفیه‌خانه فاضلاب

محلی است که فاضلاب از طریق شبکه جمع‌آوری فاضلاب برای انجام عملیات تصفیه و حذف آلاینده‌های موجود در آن جمع‌آوری می‌گردد. برای یک نقطه جمعیتی ممکن است چند تصفیه‌خانه فاضلاب در مقیاس‌ها و فرآیندهای مختلف احداث شود و یا برعکس برای چند نقطه جمعیتی یک تصفیه‌خانه فاضلاب طراحی، اجرا و بهره‌برداری شود. بنابراین در جداول وضعیت تصفیه‌خانه‌های فاضلاب، اسامی تصفیه‌خانه‌ها (شهری و صنعتی) و مصرف پساب ارائه می‌گردد.

۱۱-۷- حجم فاضلاب (جمع‌آوری شده) و رها شده به محیط و مصرف فاضلاب خام و منتقل شده

در برخی از نقاط جمعیتی ممکن است شبکه جمع‌آوری فاضلاب اجرا شده باشد لیکن به دلیل عدم تکمیل تصفیه‌خانه فاضلاب، فاضلاب جمع‌آوری شده در محیط (منابع آب سطحی، زیرزمینی و ...) رها گردد. در برخی نقاط جمعیتی نیز قسمتی از فاضلاب خام جمع‌آوری شده در مسیر انتقال به تصفیه‌خانه، به صورت غیرمجاز برداشت و مورد استفاده قرار می‌گیرد، لذا جمع‌آوری اطلاعات مربوط به رهاسازی و یا مصرف فاضلاب خام می‌تواند به تدقیق اطلاعات آب برگشتی کمک نماید. در جدول وضعیت جمع‌آوری فاضلاب اطلاعات مربوط به حجم فاضلاب جمع‌آوری شده، حجم

فاضلاب منتقل شده به تصفیه‌خانه فاضلاب، حجم فاضلاب جمع‌آوری شده رها شده و حجم فاضلاب خام جمع‌آوری و مصرف شده ارائه می‌گردد.

۱۱-۸- حجم پساب خروجی تصفیه‌خانه فاضلاب

میزان پسابی که از تصفیه‌خانه فاضلاب خارج می‌گردد، در جدول وضعیت تصفیه‌خانه‌های فاضلاب و مصرف پساب درج خواهد شد. عموما میزان پساب خروجی با فاضلاب خام ورودی به تصفیه‌خانه درصد کوچکی به دلیل تلفات و خروج مواد اختلاف دارند.

۱۱-۹- حجم پساب استفاده مستقیم و رها شده به محیط

عموما پساب با توجه به کیفیت آن، برای مصارف کشاورزی، فضای سبز و صنعتی به طور مستقیم استفاده می‌گردد و برای موضوعاتی همانند تعادل بخشی کمی و کیفی منابع آب (از طریق نفوذ و یا تغذیه مصنوعی آبخوان‌ها، رهاسازی به برخی از رودخانه‌های آلوده برای ارتقاء کیفیت شرایط فعلی آن رودخانه و همچنین تخلیه به پهنه‌های آبی برای بهبود وضعیت آن‌ها و ...) به صورت غیرمستقیم استفاده می‌گردد. در موارد محدودی نیز پساب رها شده در طبیعت استفاده نشده و تبخیر می‌شود.

۱۱-۱۰- محل مصرف پساب

نظر به اینکه در بسیاری موارد، محل مصرف خارج از نقاط جمعیتی و حتی خارج از محدوده مطالعاتی که طرح فاضلاب در آن اجرا شده است، می‌باشد، ضروری است اطلاعات صحیح در خصوص محل مصرف و شرایط انتقال فاضلاب خام و یا پساب به خارج از محدوده مطالعاتی مشخص گردد.

۱۱-۱۱- ملاحظات

- در جداول مصرف، میزان مصارف صنعتی، کشاورزی و فضای سبز از پساب قابل محاسبه است که باید هماهنگی قابل قبولی با اطلاعات جدول وضعیت تصفیه‌خانه‌های فاضلاب و مصرف پساب داشته باشد.
- بهتر است در قسمت باکس مصارف چرخه آب، باکسی تحت عنوان استفاده مجدد یا پساب لحاظ شود.
- هر چه میزان استفاده از پساب بیش‌تر باشد، در جدول بیلان عمومی درصد مصرف خالص افزایش پیدا می‌کند.
- مقادیر فاضلاب خام منتقل شده و یا پساب منتقل شده از محدوده‌های مطالعاتی مبدأ به مقصد، در بیلان عمومی به عنوان جریان سطحی انتقالی در نظر گرفته شود.

جدول ۱۱-۱- وضعیت تولید آب و فاضلاب در نقاط جمعیتی

نقاط جمعیتی دارای طرح فاضلاب	جمعیت نفر	محدوده مطالعاتی	وضعیت مصرف آب			درصد اجرای شبکه فاضلاب		وضعیت تولید فاضلاب		
			سرانه مصرف لیتر در روز	درصد تلفات (آب به‌حساب نیامده)	آب تولید شده میلیون مترمکعب	درصد فیزیکی	درصد جمعیت	سرانه تولید فاضلاب لیتر در روز	حجم فاضلاب تولید شده میلیون مترمکعب	فاضلاب جمع‌آوری شده میلیون مترمکعب

جدول ۱۱-۲- وضعیت جمع‌آوری فاضلاب

نقاط جمعیتی دارای طرح فاضلاب	محدوده مطالعاتی	حجم فاضلاب میلیون مترمکعب			
		جمع‌آوری شده	منتقل شده به تصفیه‌خانه فاضلاب	فاضلاب جمع‌آوری شده رها شده	فاضلاب جمع‌آوری مصرف شده

جدول ۱۱-۳- وضعیت تصفیه‌خانه‌های فاضلاب و مصرف پساب

نقاط جمعیتی دارای طرح فاضلاب	نام تصفیه‌خانه فاضلاب	محدوده مطالعاتی	تصفیه‌خانه میلیون مترمکعب			مصرف								توضیحات در خصوص محل مصرف
			ظرفیت فعلی	ظرفیت افق	حجم پساب خروجی فعلی تصفیه‌خانه(های) فاضلاب	بدون مصرف مستقیم				دارای مصرف مستقیم				
						تبخیر	نفوذ	رودخانه	تغذیه مصنوعی	کشاورزی	فضای سبز	صنعت	سایر	

جدول ۱۱-۴- وضعیت تولید آب و فاضلاب در نقاط جمعیتی

نقاط جمعیتی دارای طرح فاضلاب	جمعیت نفر	محدوده مطالعاتی	وضعیت مصرف آب			درصد اجرای شبکه فاضلاب		وضعیت تولید فاضلاب		
			سرانه مصرف لیتر در روز	درصد تلفات (آب به‌حساب نیامده)	آب تولید شده میلیون مترمکعب	درصد فیزیکی	درصد جمعیت	سرانه تولید فاضلاب لیتر در روز	حجم فاضلاب تولید شده میلیون مترمکعب	فاضلاب جمع‌آوری شده میلیون مترمکعب

جدول ۱۱-۵- وضعیت جمع‌آوری فاضلاب

نقاط جمعیتی دارای طرح فاضلاب	محدوده مطالعاتی	حجم فاضلاب میلیون مترمکعب			
		جمع‌آوری شده	منتقل شده به تصفیه‌خانه فاضلاب	فاضلاب جمع‌آوری شده رها شده	فاضلاب جمع‌آوری مصرف شده

جدول ۱۱-۶- وضعیت تصفیه‌خانه‌های فاضلاب و مصرف پساب

نقاط جمعیتی دارای طرح فاضلاب	نام تصفیه‌خانه فاضلاب	محدوده مطالعاتی	تصفیه‌خانه میلیون مترمکعب			مصرف								توضیحات در خصوص محل مصرف
			ظرفیت فعلی	ظرفیت افق	حجم پساب خروجی فعلی تصفیه‌خانه (های) فاضلاب	بدون مصرف مستقیم				دارای مصرف مستقیم				
						تبخیر	نفوذ	رودخانه	تغذیه مصنوعی	کشاورزی	فضای سبز	صنعت	سایر	

منابع و مراجع

۱- دستورالعمل تهیه بیلان آب، سازمان تحقیقات منابع آب (تماب)، محمد ناسوتی، ۱۳۷۰.

۲- یاداشت تحلیل در نشریه آب و توسعه پایدار، سال سوم، شماره ۲ تحت عنوان آشنایی با مفاهیم پایه در سیستم منابع آب، ۱۳۹۵.

۳- اقتباس از مفاهیم مختلف منابع آب ارائه شده توسط FAO/BRGM، ۱۹۹۶ (http://www.fao.org/).

۴- دستورالعمل نحوه تهیه گزارش بیلان آب محدوده‌های مطالعاتی در سطح حوضه‌های آبریز درجه ۲، شرکت مادر تخصصی مدیریت منابع آب ایران، ۱۳۹۱ و ۱۳۹۹.

۵- مطالعات تهیه سامانه بیلان سالانه آب درحوضه‌های آبریز درجه ۲، هیدروتک توس، ۱۳۹۷.

۶- بررسی پارامترهای بیلان هیدروکلیماتولوژی آب منطقه ای گلستان، گروه تلفیق و بیلان دفتر مطالعات، ۱۳۹۶.

۷- SWB—A Modified Thornthwaite-Mather Soil-Water-Balance Code for Estimating Groundwater Recharge, Techniques and Methods ۶-A۳۱, Groundwater Resources Program.

۸- A Monthly Water-Balance Model Driven by a Graphical User Interface, U.S. Department of the Interior & U.S. Geological Survey, U.S. Geological Survey, Reston, Virginia: ۲۰۰۷.

۹- Randall K. Kolka and Ann ۲'. Wolf Estimating Actual, Evapotranspiration for Forested Sites: Modifications to the Thornthwaite Model, September ۱۹۹۸.

۱۰- Physical Hydrology, Part ۲,S. L. Dingman.Prentice Hall, ۲۰۰۲.