2020, Vol.7, No.2, Pages 13 to 22
Journal of Water and Sustainable Development

سال هفتم، شماره ۲، ۱۳۹۹، صفحات ۱۳ تا ۲۲
نشریه آب و توسعه پایدار

Article Type: Technical paper

نوع مقاله: فنی و ترویجی

Challenges of Catchment Water Balance Calculations, Case Study: Kol-Mehran and Helleh Catchment

S. Samani

PhD in Hydrogeology, Research Assistant Professor, Water Research Institute, Ministry of Energy, Tehran, Iran.

E-Mail: s.samani@wri.ac.ir

Received: 23-11-2019
Accepted: 18-03-2020

برخی چالش‌های مرتبط با محاسبات بیلان حوضه‌آبریز (مطالعه موردی حوضه‌آبریز کل- مهران و حله)

سعیده سامانی

دکتری هیدروژئولوژی، استادیار پژوهشی، موسسه تحقیقات آب، وزارت نیرو، تهران.

E-Mail: s.samani@wri.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۹/۰۲
تاریخ پذیرش: ۹۸/۱۲/۲۸

Abstract

In Iran with an arid and semi-arid climate, the optimal use of water resources is a necessity. Due to the increasing population on the one hand and the reduction of groundwater resources on the other hand, quantitative assessment and calculation of the water balance of catchments are of great importance. Water balance reports are one of the most prominent study projects in water resources management in the country. Despite the importance of these studies, there are some issues in the process of preparation of water balances that may lead to errors. The purpose of this study is to evaluate water catchment balance calculations and identify the factors that cause the most uncertainty and error in these calculations. In general, the estimation of the water balance will be reliable, by reducing accidental and systematic uncertainties. These improvements can be achieved through the creation of a reliable data bank and turning it into an effective tool for balance assessment, as well as creating an adequate hydrogeology and hydrology knowledge of the study area, sufficient knowledge of the boundary conditions, an appropriate spatial and temporal resolution of the area, and accurate calculation of the input components such as rainfall, recharge, evaporation, irrigation status, and infiltration coefficients, etc.

Keywords: Watershed balance challenge, Accidental uncertainty, Systematic uncertainty.

چکیده

در کشور ایران با اقلیم خشك و نیمه‌خشک، استفاده بهینه از منابع آب یك امر ضروری به شمار می‌رود. به دلیل افزایش روزافزون جمعیت از یک‌سو و کاهش منابع آب زیرزمینی از سوی دیگر، ارزیابی کمی و محاسبات بیلان حوضه‌های آبریز، اهمیت بالایی دارد. گزارش‌های بیلان منابع آب یکی از شاخص‌ترین پروژه‌های مطالعاتی در مدیریت منابع آب کشور هستند و با وجود اهمیت بالای این مطالعات، مواردی وجود دارند که منجر به بروز خطا در فرآیند تهیه بیلان و نیز نتایج آن می‌گردد. هدف این مطالعه، بررسی چالش‌های محاسبات بیلان حوضه‌آبریز و شناسایی عواملی است که بیشترین عدم‌قطعیت و خطا را در محاسبات بیلان ایجاد می‌نمایند. در کل قابل‌اعتماد بودن برآورد بیلان با کاهش عدم قطعیت تصادفی و عدم قطعیت سیستماتیک همراه خواهد بود. کاهش عدم‌قطعیت تصادفی از طریق ایجاد یك بانك اطلاعاتی قابل‌اعتماد و تبدیل این بانك به یك ابزار مؤثر در ارزیابی بیلان صورت خواهد گرفت. همچنین کاهش عدم‌قطعیت سیستماتیک از طریق ایجاد دانش کافی در حیطه هیدروژئولوژی و هیدرولوژی در محدوده مورد مطالعه، کسب دانش کافی از شرایط مرزی، تفکیك مناسب زمانی-مکانی منطقه و محاسبات دقیق مؤلفه‌های ورودی بیلان از قبیل (بارندگی، تغذیه، تبخیر، برداشت و وضعیت آبیاری منطقه، محاسبه دقیق ضرایب نفوذ و..)، امکان‌پذیر خواهد بود.

واژه‌های کلیدی: چالش‌های محاسبات بیلان حوضه‌آبریز، عدم‌قطعیت تصادفی، عدم‌قطعیت سیستماتیک.

DOI: 10.22067/jwsd.v7i2.84260

مقدمه

مطالعات بیلان آب زیرزمینی، موضوعی اساسی در مدیریت منابع آبی به‌خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک است؛ چرا که برداشت پایدار از منابع آب زیرزمینی نیاز به مطالعات دقیق بیلان آب زیرزمینی دارد. همچنین بیلان آبی دشت‌ها از مهم‌ترین مسائلی است که در تصمیم‌گیری‌ها و برنامه‌ریزی‌های منابع طبیعی، محیط‌زیست و کشاورزی توجه می‌شود. این در حالی است که بررسی بیلان آبی به علت ورودی‌ها و خروجی‌های زیاد و عدم قطعیت‌هایی که در تخمین برخی پارامترها در طبیعت وجود دارد، پیچیدگی‌های زیادی را در محاسبات ایجاد می‌کند. بررسی هم‌زمان بیلان آب سطحی و زیرزمینی به علت افزایش مؤلفه‌های ورودی و خروجی در دشت و حوضه‌های آبریز منتهی به آن، این پیچیدگی را دوچندان می‌نماید. برای رسیدن به تعادل بین این پیچیدگی در ساختار مدل و هدف بیلان، با دو خطا مواجه هستیم: ۱- خطای ناشی از ساده‌سازی و ۲- خطای کالیبراسیون که از داده‌های ناکافی و غیرقابل‌اعتماد حاصل می‌شود (Zhang، ۲۰۰۲).

کاربرد محاسبه بیلان شامل موارد زیر است: شناسایی منابع تحت خطر کمی و شناسایی مناطقی که در آن‌ها نیاز به جمع‌آوری اطلاعات بیشتر است؛ مدیریت شرایط خشک‌سالی و کمبود آب؛ پیدا کردن یک دید کلی از تغییرات زمانی و مکانی منابع آب تحت شرایط کنونی و سناریوهای آینده؛ شناسایی مناطق مستعد برای اعمال طرح‌های مدیریتی پایداری از طریق کاهش برداشت یا افزایش تغذیه و تغییر کاربری؛ فراهم کردن یک چارچوب مستعد برای ادغام اطلاعات هیدروژئولوژیکی با اطلاعات اجتماعی – اقتصادی مرتبط با تغییرات آب و هوایی و کاربری اراضی و غیره؛ ارائه چارچوبی جهت نمایش نتایج وضعیت آبخوان به بهره‌برداران و ذی‌النفعان (EU، ۲۰۱۵).

اندیشکده تدبیر آب ایران در سال ۱۳۹۱ به بررسی عدم‌قطعیت بیلان آب در دشت رفسنجان پرداخته است. تنوع نتایج حاصل از گزارش‌های بیلان در دشت رفسنجان، در این مطالعه بررسی شده است و عوامل اصلی این تفاوت‌ها را در محاسبه میزان آب برگشتی کشاورزی بر اساس درصدهای نفوذ متفاوت معرفی کرده است و این در حالی است که محاسبه این درصد نیاز به درکی از عوامل متعدد، ازجمله جنس خاک، عمق آب زیرزمینی در فصول آبیاری، ارتفاع آب آبیاری در مزرعه و ... دارد. بهترین گزینه برای محاسبه نفوذ، نصب وسایل اندازه‌گیری مانند لیسیمتر و اینفیلترومتر است؛ عامل دیگر میزان تخلیه چاه‌ها است که از طریق سؤال از مالکین در رابطه با ساعت کارکرد آن‌ها محاسبه‌شده است، درحالی‌که از طریق آمار سطح زیر کشت در مناطق مختلف و آب مصرفی گیاه می‌توان این عدد را به‌صورت دقیق‌تر محاسبه نمود؛ تفاوت ضرایب ذخیره آبخوان در گزارش‌های مختلف، وسعت متفاوت محدوده بیلان، مقادیر مختلف نفوذ از بارش و جریان‌های سطحی ازجمله عوامل اختلاف خروجی بیلان در گزارش‌های مختلف در دشت رفسنجان بوده است. در این مطالعه ارائه روش‌شناسی یکسان در محاسبه مؤلفه‌های بیلان، به عنوان موثرترین عامل در کاهش عدم‌قطعیت معرفی شده است.

شفیعی و همکاران نیز در سال ۱۳۹۸ به بیان و معرفی مسائل حوزهٔ تهیه گزارش بیلان آب در کشور پرداخته‌اند و موارد زیر را به‌عنوان پیشنهاد در جهت بهبود محاسبات بیلان بیان داشته‌اند: شناسایی و اجماع در مسائل حل‌نشده بیلان هم در بعد محتوایی (فنی) و هم‌نهادی (ساختارها و ضوابط)؛ تدوین چشم‌انداز مشترک در ایجاد همگرایی و حل مسائل بیلان آب با مشارکت متولیان و ذی‌نفعان؛ تغییر رویکردها از ساختار عمودی، تفکر سنتی و خود آهنگی به ساختار مشارکتی، تفکر نوین و هم‌آهنگی؛ استفاده از فناوری‌های نوین مانند سنجش‌ازدور و داده‌های تکمیلی و در نهایت بهره از تجارب جهانی و تمامی آنچه در قالب مسائل بیلان آب و علاج‌بخشی آن‌ها مطرح گردیده است.

برآورد بیلان آب با توجه به عدم وجود اطلاعات لازم و کافی، عدم امکان اندازه‌گیری برخی از فاکتورهای بیلان آب، وجود خطاهای ناشی از تغییرات شدید توسط عوامل طبیعی یا انسانی و طولانی بودن زمان محاسبات با مشکلات فراوانی ازلحاظ دقت پایین تخمین پارامترها مواجه است که بایستی این مشکل را به نحوی حل کرد. هدف این پژوهش بررسی چالش‌های محاسبات بیلان و ارائه روش‌هایی جهت برآورد دقیق پارامترهای بیلان است. در ضمن لازم به ذکر است جهت ملموس شدن مباحث مطرح‌شده در زمینه مشکلات تهیه بیلان، منابع آب حوضه‌آبریز کل- مهران و حله در قالب مثال در بخش‌های مختلف چالش‌شناسی بیلان آورده شده است و قابل بسط برای محاسبات بیلان در تمام حوضه‌های کشور می‌باشد.

مواد و روش‌ها

۱- نحوه محاسبه بیلان عمومی حوضه‌آبریز:

محاسبات بیلان شامل دو بخش اصلی یعنی عوامل ورودی و عوامل خروجی در حوضه‌آبریز هستند. پارامترهای ورودی شامل بارندگی (در ارتفاعات و دشت)، جریان سطحی و

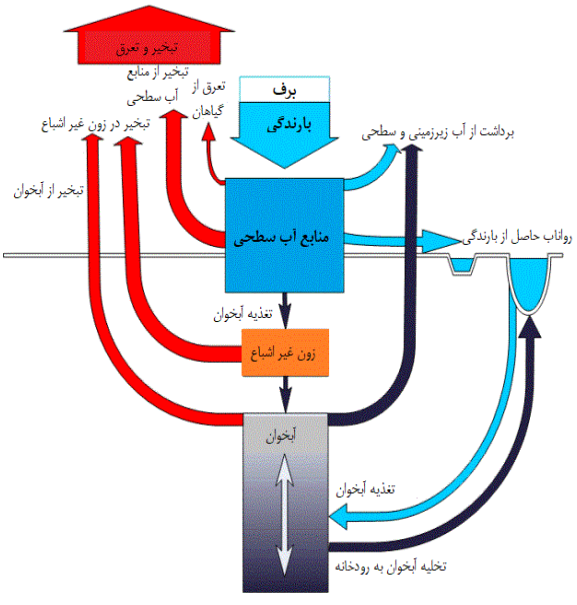
زیرزمینی ورودی و آب‌های سطحی و زیرزمینی انتقالی به محدوده و پارامترهای خروجی نیز شامل تبخیر و تعرق، جریان سطحی و زیرزمینی خروجی و آب‌های انتقالی به خارج محدوده هستند. معادله کلی بیلان بر اساس فرمول زیر است (Todd و Mays، ۲۰۰۴):

$$\Delta S = Inflow - outflow$$

معادله عمومی بیلان نیز به‌صورت زیر نوشته می‌شود:

$$P+(Q_{s,in}-Q_{s,out})+(Q_{g,in}-Q_{g,out})-(E_s+E_g)-(T)-\Delta S = \varepsilon$$

که در آن‌ها P حجم ریزش‌های جوی در سطح حوضه‌آبریز، T تعرق، $Q_{s,in}$ و $Q_{s,out}$ جریان‌های سطحی ورودی و خروجی به حوضه‌آبریز، $Q_{g,in}$ و $Q_{g,out}$ جریان‌های زیرزمینی ورودی و خروجی به حوضه‌آبریز، E_s حجم تبخیر از منابع آب سطحی، E_g حجم تبخیر از آبخوان‌های موجود در سطح حوضه، ΔS حجم تغییرات ذخیره آب در سطح حوضه‌آبریز و ε خطا در معادله بیلان است. پارامترهایی که در بیلان محاسبه می‌شوند در شکل (۱) نمایش داده شده است. همچنین پروسه گام‌به‌گام محاسبات بیلان در جدول (۱) ارائه شده است (EU، ۲۰۱۵).



شکل ۱- شکل شماتیک از پارامترهای بیلان

جدول۱- مراحل گام‌به‌گام محاسبات بیلان

مراحل محاسبات بیلان
۱- تعیین مقیاس مکانی (مرزهای بیلان) و مقیاس زمانی؛
۲- شناسایی مؤلفه‌های بیلان مانند میزان برداشت، میزان تخلیه، تغییرات آب و هوایی، کیفیت آب (پتانسیل تغییر کیفیت آب به‌عنوان‌مثال نفوذ آب‌شور دریا)؛
۳- تهیه ابزارهای موردنیاز (به‌عنوان‌مثال نرم‌افزار) برای توسعه بیلان متناسب با اهداف و سطح محاسبه بیلان؛
۴- جمع‌آوری داده‌های موجود و اطلاعات مربوط به پارامترهای موردنیاز در محاسبه بیلان؛
۵- پردازش داده‌ها و اطلاعات برای برآورد پارامترها در مقیاس زمانی-مکانی مناسب؛
۶- استفاده از روش‌های غیرمستقیم در محاسبه پارامترهایی که داده موردنیاز برای محاسبه آن‌ها موجود نیست؛
۷- توسعه بیلان با استفاده از نرم‌افزار منتخب، صحت‌سنجی خروجی‌های بیلان، شناسایی تناقضات احتمالی در محاسبات بیلان، انجام آنالیز حساسیت برای ایجاد یک معادله بیلان منسجم؛
۸- شناسایی گپ اطلاعاتی، معرفی پارامترهایی که برآورد آن‌ها نیاز به اطلاعات بیشتری دارد؛
۹- استفاده از بیلان برای ارزیابی وضعیت کمی آبخوان، شناسایی فشارهای مهم بر آبخوان، شناسایی فشارهای احتمالی در آینده، محاسبه تغییرات ذخیره منابع آب تحت سناریوهای تغییرات آب و هوایی و فشارهای وارده در آینده؛
۱۰- به‌روزرسانی محاسبات بیلان به‌صورت منظم به دلیل ماهیت دینامیک آبخوان.

در این بخش دو حوضه‌آبریز رودخانه‌های کل-مهران و جزایر خلیج‌فارس و حوضه‌آبریز حله معرفی کلی شده است.

۲- حوضه‌آبریز رودخانه‌های کل-مهران و جزایر خلیج‌فارس:

حوضه‌آبریز رودخانه‌های کل-مهران و جزایر خلیج‌فارس آن با مساحت ۶۲۸۹۵/۷۴ کیلومترمربع در استان فارس، کرمان، هرمزگان و بوشهر واقع‌شده است. ۲۴ محدوده مطالعاتی در استان هرمزگان و ۱۴ محدوده مطالعاتی در استان فارس، ۲ محدوده مطالعاتی در استان کرمان و ۲ محدوده مطالعاتی در استان بوشهر قرارگرفته است. مساحت کل دشت‌های حوضه‌آبریز، ۱۷۷۶۷/۷۸ کیلومترمربع و مساحت کل ارتفاعات، ۴۵۱۲۷/۹۶ کیلومترمربع است. در بیلان عمومی آب این حوضه حجم کل تغذیه ۱۵۲۹۲/۸۹ میلیون مترمکعب و حجم کل تخلیه از آن ۱۵۵۰۳/۷۸ میلیون مترمکعب است. بنابراین میزان تغییرات حجم ذخیره مخزن از نتایج بیلان عمومی نیز برابر با ۲۱۰/۸۹- میلیون مترمکعب در سال است (شرکت مهندسین مشاور فارساب صنعت، ۱۳۹۵ب).

۳- حوضه‌آبریز حله:

حوضه‌آبریز حله و مسیل‌های کوچك دو طرف آن با مساحت ۲۱۳۰۹/۱۳ کیلومترمربع در استان فارس و بوشهر واقع شده است. ۵ محدوده مطالعاتی در استان بوشهر و ۸ محدوده مطالعاتی در استان فارس قرار گرفته است. مساحت کل دشت‌های حوضه‌آبریز، ۷۲۰۳/۳۴ کیلومترمربع، مساحت کل ارتفاعات، ۱۴۰۵۴/۳۹ کیلومترمربع و مساحت کل دریاچه‌ها، ۵۱/۴۰ کیلومترمربع می‌باشد. در بیلان عمومی آب این حوضه، حجم کل تغذیه ۸۱۲۲/۰۰ میلیون مترمکعب و حجم کل تخلیه از آن ۸۱۵۳/۱۴ میلیون مترمکعب است. بنابراین میزان تغییرات حجم ذخیره مخزن از نتایج بیلان عمومی نیز برابر با ۳۱/۱۴- میلیون‌مترمکعب در سال است (شرکت مهندسین مشاور فارساب صنعت، ۱۳۹۵الف).

۴- عدم‌قطعیت‌ها در محاسبات بیلان:

مهمترین کار در برقراری بیلان برای هر منطقه تعیین مؤلفه‌ها و اجزای معادله بیلان است که خود با مشکلات متعددی روبروست. این مشکلات در نهایت منجر به شکل‌گیری یک خطای کلی در معادله بیلان می‌شود. این خطا از سه منبع انسانی، دستگاهی و طبیعی ریشه می‌گیرد. در هر صورت این خطا ناشی از عدم‌قطعیت است که به دو دسته تصادفی و سیستماتیک تقسیم‌بندی می‌شود (Eder و همکاران، ۲۰۰۵؛ Faybishenko، ۲۰۱۰، شفیعی و همکاران، ۱۳۹۸).

• **عدم‌قطعیت تصادفی:** این عدم‌قطعیت زمانی روی می‌دهد که تغییرات ذاتی و طبیعی در ورودی‌ها و پارامترهای مدل وجود دارد و تنها، افزایش اندازه‌گیری‌ها و وجود داده‌های فراوان آن را جبران می‌کند. بهترین راه‌حل برای کاهش عدم‌قطعیت تصادفی و خطای ناشی از آن، افزایش دقت وسایل و روش‌های اندازه‌گیری اجزا و همچنین راه‌های تخمین برآورد آن‌ها است. افزایش دقت اندازه‌گیری، با توزیع و تراکم مناسب ایستگاه‌های اندازه‌گیری و به‌روزرسانی و تجهیز ابزار اندازه‌گیری نمایان می‌شود. آنچه مشخص است، این کار ما را تا حد بسیار زیادی به حقیقت نزدیک خواهد کرد، اما قطعاً هزینه‌بر بوده و زمان و نیروی انسانی زیادی را طلب می‌کند، ولی لازم به ذکر است، درصورتی‌که هدف مطالعات بیلان، اعمال تصمیمات مدیریتی در محدوده مطالعاتی باشد، صرف این هزینه‌ها، کمک شایانی به توقف بحران کمبود آب در آینده خواهد بود.

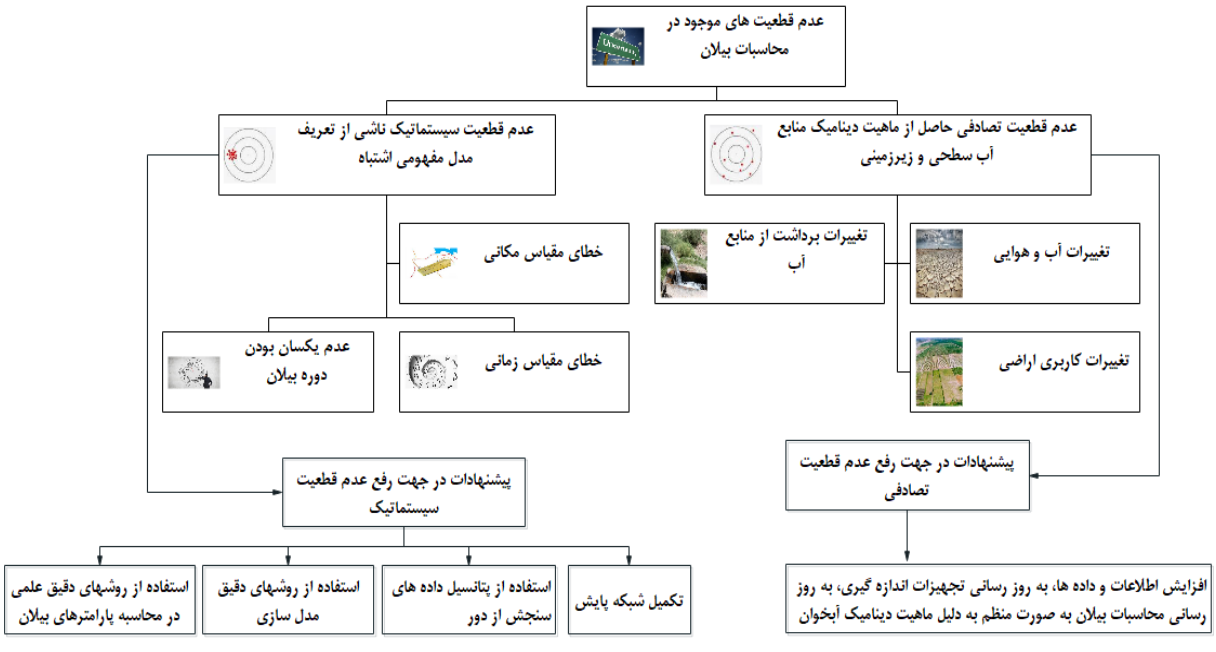
این عدم‌قطعیت همچنین از ماهیت دینامیک منابع آب حاصل می‌شود. سه مورد از عوامل دینامیک مؤثر در محاسبات بیلان در زیر بیان‌شده است: ۱) تغییرات آب و هوایی: این تغییرات از نوسانات بارش و دمایی حاصل می‌گردد. دما و رطوبت هوا در میزان تبخیر و تعرق و میزان بارش در رواناب سطح تأثیرگذار است. تغییرات آب و هوایی بر روی تقاضای آب و میزان ذخایر آب، به‌خصوص منابع آب سطحی تأثیر خواهد گذاشت؛ ۲) برداشت آب: برداشت آب از رودخانه‌ها، دریاچه‌ها یا آب‌های زیرزمینی، به‌عنوان‌مثال برداشت آب در مصارف کشاورزی بر تبخیر و تعرق، تبخیر و میزان نفوذ آب در زیرزمینی تأثیر می‌گذارد و یا برداشت آب برای مصارف صنعت و شهری که ممکن است از طریق تخلیه پساب تصفیه‌شده مجدداً به چرخه آب بازگردد؛ ۳) تغییر کاربری اراضی: از جمله شهرسازی. لازم به ذکر است که به دلیل این ماهیت دینامیک منابع آب، به‌روزرسانی محاسبات بیلان به‌صورت منظم، ضروری است (EU، ۲۰۱۵).

• **عدم‌قطعیت سیستماتیک:** دسته دوم عدم‌قطعیت، یعنی نوع سیستماتیک، وقتی به وجود می‌آید که فقدان اطلاعات در مورد مدل یا فرآیند وجود داشته باشد و یا درک صحیحی از محدوده موردمطالعه وجود نداشته باشد. این عدم‌قطعیت با افزایش اطلاعات در رابطه با نحوهٔ محاسبه پارامترها و ساختار مدل کاهش می‌یابد. در کل می‌توان بیان داشت که این نوع از عدم‌قطعیت از تهیه مدل مفهومی نادرست از محدوده مطالعاتی در محاسبات بیلان ناشی می‌شود. درواقع تهیه مدل مفهومی که از شناخت دقیق محدوده مطالعاتی و پارامترهای بیلان حاصل می‌شود، اولین گام در محاسبات بیلان است.

تهیه یک مدل مفهومی دقیق برای محاسبه بیلان آبرفتی و بیلان عمومی برگرفته از نتایج مطالعات هواشناسی، هیدرولوژی و هیدروژئولوژی است. ازآنجاکه این اطلاعات بر اساس ابزار و وسایل اندازه‌گیری، فرمول‌ها و محاسبات و یا با نظر کارشناسی (با توجه به اطلاعات قبلی و بازدیدهای صحرایی) تهیه‌شده، بنابراین هر بخش از این اطلاعات می‌تواند دارای خطا باشد. در کل آمار و اطلاعات منابع آبی که پایه و اساس مطالعات بیلان آب زیرزمینی است، به دلیل ویژگی احتمالی آن‌ها با عدم‌قطعیت همراه است. ازاین‌رو، لازم است بر این داده‌ها تحلیل عدم‌قطعیت انجام شود و ویژگی‌های محدودهٔ مورد بررسی نیز در این روند مدنظر قرار گیرد. همچنین حساسیت بیلان آب زیرزمینی به مؤلفه‌های ورودی آبخوان، مانند نفوذ از بارندگی و جریان سطحی و تغذیه از آب برگشتی مصارف به جهت وابستگی به‌دقت تخمین نفوذپذیری، ضریب ذخیره سفره، قابلیت انتقال و ضرایب آب برگشتی آبخوان، بسیار زیاد است. به همین دلیل، استفاده از روش‌های کاربردی و صحت‌سنجی این پارامترها، ضروری است. با توجه به مسائل گفته‌شده، برآورد بیلان آب زیرزمینی در کشور با چالش‌های متعددی روبه‌رو است و علاوه بر مشکل ساختاری به جهت نظارت و کنترل کیفیت برآورد بیلان، انتخاب مقیاس مکانی و زمانی مناسب و همچنین تحلیل عدم‌قطعیت‌های موجود در این برآوردها، لازم است. عدم دقت در تعیین بهترین مقیاس زمانی و مکانی جهت محاسبه بیلان آب، مسئله‌ای است که منجر به عدم‌قطعیت نوع سیستماتیک می‌شود. با توجه به اینکه هیچ

قانون و قاعده مشخصی برای تعیین مقیاس زمانی و مکانی در تهیه بیلان محدوده موردنظر وجود ندارد، بنابراین تصمیم‌گیری در این رابطه، به کاربرد بیلان تهیه‌شده در آینده و داده‌های زمانی و مکانی موجود بستگی دارد (خروجی بیلان در چه موردی قرار است مورداستفاده قرار گیرد و بسته به تصمیم مدیریتی که قرار است در رابطه با منطقه اعمال گردد).

در این مطالعه بررسی چالش‌های محاسبات بیلان بر اساس شکل شماتیک ارائه‌شده در زیر صورت خواهد گرفت و در ادامه به ارائه جزییات مرتبط با هرکدام از عناوین پرداخته خواهد شد.



شکل ۲- نمای شماتیک از عدم‌قطعیت‌های موجود در محاسبات بیلان و پیشنهادهایی در رفع این عدم‌قطعیت‌ها

بحث و بررسی

• **در رابطه با کاهش عدم‌قطعیت تصادفی، یک سری پیشنهادهایی در زمینه جمع‌آوری داده‌ها ارائه شده است:**

۱- احداث ایستگاه‌های آب‌سنجی در ابتدا، انتها و طول مسیر رودخانه‌ها.

- به‌عنوان‌مثال احداث ایستگاه آب‌سنجی در انتهای محدوده‌ای مانند برازجان و در مسیر رودخانه حله با توجه به مصارفی که حدفاصل ایستگاه حله تا خروجی محدوده وجود دارد و موقعیت آبخوان‌های محدوده؛ امری ضروری است.

۲- تکمیل شبکه پیزومتری تمام آبخوان‌های موجود در سطح کشور.

- به‌عنوان‌مثال در محدوده مطالعاتی کل- مهران، آبخوان‌های بوشهر، دیلم، گناوه و محدوده مطالعاتی گاوبندی در مرز بوشهر، فاقد شبکه پیزومتری هستند.

۳- حفر یک سری چاه‌های پمپاژ در آبخوان‌های فاقد اطلاعات آزمون پمپاژ با در نظر گرفتن استانداردهای لازم جهت محاسبه ضرایب آبخوان. ازجمله این استانداردها، می‌توان به رعایت فاصله نسبت به چاه‌های بهره‌برداری و مرزهای منطقه، طراحی بخش مشبک در تمام ضخامت آبخوان و حفاری‌های مجزا در مناطقی با آبخوان‌های دولایه، جهت تعیین خصوصیات هر آبخوان به‌صورت مجزا، اشاره نمود.

- در این رابطه قابل‌ذکر است که در حال حاضر، جهت تهیه بیلان در اکثر آبخوان‌های کشور به دلیل کمبود اطلاعات از یک ضریب ذخیره متوسط برای کل آبخوان استفاده می‌شود که در اکثر مواقع این ضریب با واقعیت منطقه همخوانی ندارد. در ضمن عدم دقت محاسبات ضرایب آبخوان مانند هدایت هیدرولیکی و قابلیت انتقال آبخوان، خود منجر به ایجاد خطا در تعیین میزان جریان ورودی و خروجی به آبخوان از طریق معادله دارسی می‌شود.

- در دو حوضه‌آبریز حله و کل مهران بر اساس قانون دارسی و لوله‌های جریان در دشت‌هایی که نقشه‌های هم‌تراز و ضریب قابلیت انتقال موجود بوده است، میزان ورودی و خروجی آب‌های زیرزمینی محاسبه‌شده است. اما بعضاً نتایج حاصل از این روش با سایر پارامترهای بیلان همخوانی ندارد که این امر می‌تواند به علت عدم صحیح بودن قابلیت انتقال در اثر توزیع نامناسب چاه‌های آزمون پمپاژ و چاه‌های مشاهداتی و تجمع

زیاد چاه‌های بهره‌برداری بوده و بنابراین امکان رسم تمامی مقاطع و محاسبه کل جریان زیرزمینی ورودی وجود نداشته باشد. بنابراین در این‌گونه محدوده‌ها و سایر محدوده‌هایی که فاقد شبکه چاه‌های مشاهده‌ای بوده‌اند، جهت محاسبه جریان زیرزمینی ورودی و خروجی در آبخوان‌های این حوضه‌های آبریز، از روش بیلان هیدروکلیماتولوژی ارتفاعات استفاده‌شده است.

۴- در این دو حوضه مطالعاتی ضریب نفوذ رواناب به‌صورت دقیق محاسبه نگردیده است و بسته به وضعیت آبخوان‌ها میزان متوسط نفوذ از حجم رواناب به آبخوان‌های آبرفتی این دو حوضه‌آبریز، ۱۰ درصد در نظر گرفته‌شده است. این در حالی است که برای محاسبه این ضریب نیاز به اطلاعات رطوبت خاک است که متأسفانه در شبکه پایش کشور اندازه‌گیری نمی‌شود.

۵- نصب کنتور در تمام چاه‌های بهره‌برداری جهت اندازه‌گیری برداشت ماهانه صورت گیرد. با توجه به اینکه در اکثر مواقع برداشتی که در واقعیت وجود دارد با آنچه در بانک اطلاعاتی سازمان‌های آب وجود دارد همخوانی ندارد. در حال حاضر آمار تخلیه چاه‌ها از طریق سؤال از مالکین بر اساس ساعات کارکرد سالیانه آن‌ها برآورد می‌شود و خالی از خطا نیست. در حالیکه برآورد میزان تخلیه از طریق آمار سطح زیر کشت و آب مصرفی گیاه، رقمی مطمئن‌تر خواهد بود.

• انواع خطاهایی که منجر به عدم‌قطعیت سیستماتیک می‌شوند:

۱- خطای شعاع مکانی در محاسبات بیلان آب

مشخص است که با تغییر وسعت منطقه موردمطالعه، پیچیدگی روابط بین مؤلفه‌های بیلان تغییر می‌کند. درنتیجه منطقی نخواهد بود که دقت یکسانی برای تحلیل بیلان و مؤلفه‌های آن برای محدوده‌های متفاوت مکانی در نظر گرفت. انتخاب مقیاس مکانی اشتباه به‌عنوان‌مثال ساختن بیلان برای یك حوضه خیلی کوچك و خیلی بزرگ، تغییرات منابع و تقاضای آب در محدوده مطالعاتی را به‌خوبی پوشش نمی‌دهد و درنهایت منجر به عدم شناسایی مسائل بحرانی در رابطه با مدیریت آب می‌شود.

- به‌عنوان‌مثال بزرگ بودن محدوده‌ها یکی دیگر از عوامل ایجاد خطا در برآورد مؤلفه‌های بیلان است. بطوریکه در محدوده مطالعاتی کل- مهران، محدوده‌ای مانند گناوه دارای ارتفاعاتی با بارش و اقلیم کاملاً متفاوت از بخش‌های کم ارتفاع ساحلی است؛ این مسئله با توجه به کم بودن تعداد ایستگاه‌های هواشناسی مستقر در بخش ارتفاعات منجر به خطا در پیش‌بینی مقادیر پارامترهای هواشناسی، حجم بارش، حجم تبخیر، حجم رواناب و ... شده و درنهایت بیلان را دچار مشکل می‌نماید. این محدوده را با توجه به وجود دوشاخه رودخانه (دره گپ و شور) می‌توان به دو محدوده کوچک‌تر تقسیم نمود. این کار را حتی برای محدوده‌های اهرم، بزارجان و دیلم نیز می‌توان انجام داد و در صورت امکان‌پذیر نبودن چنین اقدامی، احداث ایستگاه‌های هواشناسی خودکار در مناطق مرتفع می‌تواند به نحو چشمگیری به کم کردن خطاها کمک کند.

- اعمال دقت بیشتر در تعیین مرز پهنه‌های دشت و ارتفاع در تمام محدوده‌های مطالعاتی در طرح‌های بیلان حوضه‌آبریز ضروری است و برای این منظور پیشنهاد می‌شود بر اساس مقالات موجود و تعاریف ژئومورفولوژیکی، دستورالعمل جامعی برای تشخیص دشت از ارتفاع توسط کارفرمایان محترم تهیه و در اختیار قرار گیرد و صرفاً نقشه‌های زمین‌شناسی و تعیین مرز سازندهای آبرفتی و سایر سازندها، ملاک ترسیم مرز نباشد.

۲- خطای شعاع زمانی محاسبات بیلان آب

اجزاء معادله بیلان عمدتاً تشکیل یک معادله پویا را می‌دهد که چگونگی محاسبه آن‌ها با افزایش دقت موردتقاضا و نیز تغییر دوره زمانی، تغییریافته و مستلزم ارائه راه‌کارهای عملی جهت محاسبه آن‌ها است. در رابطه با مقیاس زمانی، معمولاً بیلان برای دوره یک‌ساله طراحی می‌گردد تا با چرخهٔ داده‌های خاص هیدروژئولوژی موجود مانند سال آبی یا فصل خشك و تر تطابق داشته باشد. تغییر در متغیرهای کلیدی بیلان آب از قبیل تغییر در برداشت آب در طول یك سال، یا تغییر الگوی بارندگی در فصل‌های مختلف، منجر به انتخاب دوره زمانی کوتاه‌تر از قبیل ماه یا هفته می‌شود. درصورتی‌که منابع آب زیرزمینی در یک حوضه، تأمین‌کننده اصلی آب مصرفی در آن حوضه باشد، باهدف مدیریتی امکان انتخاب مقیاس زمانی بزرگ‌تر از یکسال و نهایتاً تا ۱۰ الی ۲۰ سال نیز وجود دارد (EU، ۲۰۱۵). البته لازم به ذکر است در حالتی که یك دوره زمانی طولانی‌مدت استفاده می‌شود، در برخی از محاسبات نیاز به میانگین‌گیری از داده‌ها در طول دوره است. به‌طوری‌که این داده‌ها ممکن است دارای نوسانات فصلی و سالیانه باشند و میانگین‌گیری طی چند سال منجر به حذف تغییر روند در داده‌ها شود. به عنوان مثال تغییرات مثبت و منفی ذخیره آب که برای سال‌های منفرد وجود دارد، مقدار خالص آن‌ها در پایان یک دوره طولانی صفر می‌شود (Kiang، ۲۰۰۲).

به‌عنوان‌مثال در دو حوضه ارائه‌شده، دوره اندازه‌گیری بیلان یک دوره ۴۵ ساله در نظر گرفته‌شده است.

۳- یکسان نبودن دوره بیلان

مسئله دیگر در تهیه بیلان منابع آب، یکسان نبودن دوره شاخص آماری برای مؤلفه‌های مختلف بیلان است. این عدم یکسان بودن در داده‌های طولانی‌مدت آب و هواشناسی و

داده‌های محدود منابع آب سطحی و زیرزمینی مشهود است. به‌طوری‌که دوره‌های آماری تراز آب چاه‌های مشاهداتی عموماً کوتاه‌تر از دوره بیلان است و لذا افت متوسط و تغییرات ذخیره آبخوان متعلق به‌کل دوره بیلان نیست.

- در مطالعات انجام‌گرفته در حوضه‌آبریز حله به جرأت می‌توان گفت که طولانی بودن دوره بیلان، اولین و مؤثرترین عامل ایجادکنندهٔ خطا بوده است. چراکه به نظر می‌رسد اقلیم این حوضه در حال تغییری دائمی است و به‌سوی کاهش بارش و افزایش دما و تبخیر پیش می‌رود و به‌عبارت‌دیگر به دلیل کاهش شدید بارش‌ها در ۱۵ سال اخیر، مقادیر بارش‌های برآورد شده خصوصاً در مواردی که ایستگاه هواشناسی در نیمه دوم دوره تأسیس‌شده است و نیاز به تطویل و تکمیل آماری باشد، خطای زیادی را سبب خواهد شد. از طرف دیگر بسیاری از ایستگاه‌های اداره هواشناسی در حال حاضر به علت کم بودن تعداد سال آماری و یا نقص آماری در دوره ۴۵ ساله، غیرقابل استناد بوده و کم کردن طول دوره بیلان استفاده از آمار این ایستگاه‌ها را امکان‌پذیر می‌نماید. لذا در نظر گرفتن یک دوره ۴۵ ساله برای انجام مطالعه، مناسب و پاسخگو نیست و پیشنهاد می‌شود که محاسبات بیلان برای دوره‌های کوتاه‌تر (حداکثر ۱۰ تا ۲۰ ساله) تهیه گردد.

- طولانی بودن دوره بیلان که در بند قبل ذکر شد بر مطالعات هیدرولوژی نیز تأثیرگذار بوده است. خصوصاً در محدوده مطالعاتی کل- مهران در مناطقی مانند دیلم، گناوه و بوشهر –دلوار که یا ایستگاه آب‌سنجی ندارند و یا ایستگاه‌هایی تازه تأسیس دارند که تعمیم اطلاعات آن‌ها به‌کل دوره ۴۵ ساله بسیار نادرست و پر خطا بوده است و به همین دلیل برای انجام این محاسبات از بسط این اطلاعات خودداری شده و از روش‌های تجربی و یا منطقه‌ای استفاده‌شده که آن‌ها نیز خود خالی از خطا نبوده و اعتبارسنجی مقادیر حاصله از این روش‌ها در مواردی که داده واقعی وجود ندارد، امکان‌پذیر نیست. به‌عنوان نمونه در محدوده‌های دیلم و گناوه مقادیر رواناب و دبی جریان‌های سطحی خروجی بر اساس روش تجربی کتاین (علیزاده، ۱۳۹۰) برآورد شده و همین مقدار رواناب به‌عنوان جریان سطحی خروجی در نظر گرفته‌شده است. حال‌آنکه اگر دوره بیلان کوتاه‌تر در نظر گرفته‌شده بود، استفاده از داده‌های کوتاه‌مدت مطمئن‌تر از روش‌های بکار رفته، بود.

• در رابطه با کاهش عدم‌قطعیت سیستماتیک در یک سفره آب زیرزمینی لازم است تا گام‌هایی که در ادامه می‌آید انجام شود:

۱- تکمیل شبکه پایش منابع آب

پایداری منابع آب زیرزمینی به‌ویژه در مناطقی نظیر مناطق خشک و نیمه‌خشک که وابستگی به آن‌ها به‌عنوان منبع اصلی آب وجود دارد، حائز اهمیت فراوان است. بررسی‌ها نشان می‌دهد که با افزایش برداشت‌ها و درنتیجه افزایش لزوم حفظ پایداری چنین منابعی، ضرورت شناخت و برنامه‌ریزی برای بهره‌برداری مناسب‌تر و پایش مداوم آن‌ها اجتناب‌ناپذیر است. بهینه‌سازی شبکه پایش کنونی از لحاظ مکان‌یابی، پارامترها و تواتر اندازه‌گیری آن‌ها منجر به افزایش دقت در داده‌های ورودی محاسبات بیلان می‌شود. ازجمله پارامترهایی که در شبکه پایش کنونی نیاز به اندازه‌گیری دارد، پارامتر رطوبت خاک است که از طریق آن می‌توان ضریب نفوذپذیری خاک را محاسبه نمود.

توسعه فرمول‌های تجربی با توجه به شرایط کشور برای محاسبه پارامترهای بیلان لازم است. در ایران بیشتر روش‌های تجربی در محاسبه مؤلفه‌های بیلان از کشورهای دیگر با شرایط آب و هوایی متفاوت استخراج گردیده است و درجه اعتبار کافی در تصمیمات مدیریتی را ندارد (به‌عنوان‌مثال روش تجربی بلانی کریدل). بنابراین پیشنهاد می‌گردد که با توجه به موقعیت جغرافیایی و وضعیت آب و هوایی ایران یک سری فرمول‌های تجربی توسط متخصصان هیدرولوژی و هیدروژئولوژی طراحی گردد.

۲- استفاده از پتانسیل داده‌های سنجش از دور در محاسبات بیلان

برنامه‌های کاربردی معمول در سنجش‌ازدور شامل نقشه‌برداری زمین‌شناسی کواترنری، کاربری اراضی، تعیین نوع محصولات، شور شدگی خاک و فرونشست زمین و تخمین میزان واقعی تبخیر در مزرعه و سطح آبخوان و بررسی تغییرات ذخیره آبخوان است (Tuinhof و همکاران، ۲۰۰۶). ادغام شبکه پایش آب زیرزمینی با داده‌های سنجش‌ازدور منجر به ارزیابی دقیق‌تر مؤلفه‌های بیلان خواهد شد.

۳- شبیه‌سازی جهت کاهش عدم‌قطعیت‌ها: مهم‌ترین مرحله برای کاهش عدم‌قطعیت‌های تشریح شده، انجام شبیه‌سازی برای سفره آب زیرزمینی از طریق مدل‌های عدم‌قطعیت و کالیبره کردن پارامترها از طریق فرآیند کالیبراسیون و دریافت مؤلفه‌های بیلان از طریق این مدل‌ها است (Samani و همکاران، ۲۰۱۸).

۴- استفاده روش‌های دقیق علمی برای محاسبه پارامترها

- **برآورد مؤلفه تغذیه آب زیرزمینی:** یکی از نامطمئن‌ترین مؤلفه‌های بیلان، میزان تغذیه منابع آب زیرزمینی از سطح یک دشت در یک محدوده مطالعاتی است. همچنین، برآورد مقدار صحیح تغذیه در تهیه یک مدل مفهومی صحیح در فرآیند مدل‌سازی ریاضی آب زیرزمینی در یک دشت امری مهم و اجتناب‌ناپذیر است. یکی از روش‌های برآورد تغذیه آب زیرزمینی، که مناسب دشت‌های ایران است، روش بیلان آب است. در این روش کلیه مؤلفه‌های معادله بیلان که قابل‌اندازه‌گیری هستند، محاسبه می‌شوند و سپس تغذیه آب زیرزمینی به‌عنوان مؤلفه

مجهول در معادله بیلان برآورد می‌شود. دقت برآورد تغذیه در این روش، به‌دقت برآورد دیگر مؤلفه‌های بیلان وابسته است و خطاهای کوچک در آن‌ها منجر به برآورد اشتباه از تغذیه می‌شود. بدیهی است که در صورت کاهش خطاهای موجود، می‌توان برآورد دقیق‌تری از مقدار تغذیه داشت.

روش‌های دیگری که در تعیین تغذیه آب زیرزمینی مورداستفاده قرار می‌گیرد شامل: روش ردیابی، روش مدل جریان معکوس، روش لیسیمتری و معادله ریچارد است. روش ردیاب یك روش گران است ولی کارایی بالای در محاسبه تغذیه دارد (Rockhold و همکاران، ۲۰۰۹). روش ریچارد یك روش زمان‌بر است و علاوه بر این، برای محاسبه به هدایت هیدرولیکی و ضریب ذخیره خاك نیز نیاز دارد. روش مدل معکوس به دلیل اینکه به داده‌های حرکت آب در ناحیه غیراشباع نیاز ندارد، به‌راحتی قابل‌استفاده است. لازم به ذکر است که در این روش اگر محاسبات عدم‌قطعیت مدل مفهومی و عدم‌قطعیت پارامتر نیز اعمال گردد، یکی از دقیق‌ترین روش‌ها، جهت محاسبه میزان تغذیه آبخوان خواهد بود.

روش بیلان شیمیایی کلرید جهت محاسبه تغذیه از ریزش‌های جوی: این شیوه یک روش توسعه‌یافته جهت محاسبه تغذیه از بارندگی، مخصوصاً در مناطق نیمه‌خشک است. به‌وسیله این شیوه، میزان تغذیه از بارندگی از لحاظ مکانی در حد یک حوضه‌آبریز، و ازلحاظ زمانی از ده‌ها تا هزاران سال را می‌توان محاسبه نمود. برای استفاده از این روش، منطقه موردمطالعه باید فرض‌های زیر را دارا باشد:

۱- هیچ منبعی برای یون کلر غیر از بارندگی در آب زیرزمینی وجود نداشته باشد. ۲- کلر به‌عنوان یک یون پایدار در سیستم باشد. ۳- بارندگی در منطقه مورد مطالعه فاقد رواناب باشد، یعنی یا تبخیر شود و یا اینکه در زمین نفوذ کند. ۴- هیچ چرخه‌ای از کلرید درون منطقه مورد مطالعه روی ندهد. ۵- هیچ تبخیری از آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه صورت نگیرد (Ordens و همکاران، ۲۰۱۱). معادله‌ای که برای ارزیابی تغذیه به شیوه بیلان کلرید به کار می‌رود به‌صورت زیر است:

$$q = \frac{pc_{clp}}{c_{clG}}$$

q: میزان تغذیه از بارندگی برحسب میلی‌متر در سال

P: میزان متوسط بارندگی در دوره بیلان برحسب میلی‌متر

c_{clP}: متوسط غلظت کلر در آب باران برحسب میلی‌گرم در لیتر

c_{clG}: متوسط غلظت کلر در آب زیرزمینی در دوره بیلان برحسب میلی‌گرم در لیتر

محاسبه تغذیه از بارندگی با این روش، از لحاظ هزینه‌ای ارزان است و فقط نیاز به دانستن میزان کلر آب باران و آب زیرزمینی است.

معادله دیگری نیز برای محاسبه تغذیه از بارندگی به‌صورت زیر است:

$$q = \frac{pc_{clp}}{c_{cls}}$$

c_{clS}: غلظت متوسط کلرید در پروفیل خاک برحسب میلی‌گرم در لیتر

برای استفاده از این روش، علاوه برفرض‌های بالا باید به موارد زیر هم توجه شود:

هیچ منبع تولیدکننده کلرید در خاک منطقه وجود نداشته باشد و باید غلظت کلرید در یک پروفیلی از خاک محاسبه شود.

- **برآورد آب برگشتی کشاورزی:** آب برگشتی کشاورزی یکی از مهم‌ترین جریان‌های ورودی آب به آبخوان‌های کشور به‌خصوص در نواحی حاصل‌خیز است. ازجمله روش‌های محاسبه میزان این آب برگشتی روش تجربی بلانی- کریدل است. آب برگشتی کشاورزی به آبخوان، به روش، نوبت، نحوه آبیاری، جنس و نفوذپذیری خاك و نوع گیاه بستگی دارد، که مقدار آن را با تعیین مازاد آب موردنیاز گیاه از آب مصرفی در مزارع می‌توان محاسبه نمود، برای این منظور ابتدا لازم است، مقدار آب مورد نیاز گیاه جهت تبخیر و تعرق مشخص گردد. بنابراین برای محاسبه حجم آب برگشتی، ابتدا میزان نیاز آبی گیاهان زراعی از روش بلانی- کریدل محاسبه می‌گردد (علیزاده، ۱۳۹۰).

با مشخص شدن نوع کشت و تعیین ضرایب K (ضریب نوع کشت)، P (درصد ساعات روشنایی ماه نسبت به سال) و میانگین درجه حرارت ماهانه، میزان آب موردنیاز گیاه در هرماه محاسبه و سپس با مشخص بودن دوره کشت و سطح زیر کشت، مقدار کل آب موردنیاز گیاه معلوم و با کسر آن از آب مصرفی مقدار نفوذ به دست می‌آید.

$$ETC = P\ (0.46T+8.1)\ K$$

ETC: آب مورد نیاز گیاه جهت تبخیر و تعرق، P: درصد ساعات روشنایی ماه نسبت به سال، K: ضریب نوع گیاه، T: میانگین درجه حرارت ماهانه.

جمع‌بندی

منابع آب زیرزمینی به‌عنوان تنها منبع آبی در مناطق خشک و نیمه‌خشک اهمیت ویژه‌ای دارد. به‌منظور شناخت رفتار آبخوان، محاسبه بیلان آب زیرزمینی از جمله ابزارهایی است که استفاده می‌شود. بررسی مستندات موجود و همچنین گزارش مطالعات انجام‌شده برای دشت‌های کشور نشان می‌دهد که روش‌های حاضر در برآورد بیلان آب‌های زیرزمینی و منابع موجود، عدم‌قطعیت زیادی به همراه دارند که در محاسبات بیلان در

نظر گرفته نمی‌شوند. همچنین شدت اثر این عدم‌قطعیت‌ها به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای به محدوده موردمطالعه وابسته است. ازجمله این عدم‌قطعیت‌ها می‌توان به میزان ورودی (تغذیه) به آبخوان، ضریب آب برگشتی مصارف کشاورزی، ورودی و خروجی آبخوان، قابلیت انتقال و ضریب ذخیره آبخوان و حتی آب‌های محاسبه نشده مانند برداشت‌های ثبت‌نشده، دزدی آب و ... اشاره کرد. ارزیابی‌ها نشان می‌دهد طولانی بودن زمان محاسبات مربوط به بیلان آب با توجه به نبود اطلاعات لازم و همچنین عدم امکان اندازه‌گیری برخی از مؤلفه‌های بیلان آب، برآورد بیلان آب زیرزمینی در کشور را با مشکلات فراوانی ازلحاظ دقت و زمان کاربرد مواجه کرده است.

قابل‌اعتماد بودن برآورد بیلان، با کاهش عدم‌قطعیت تصادفی از طریق ایجاد يك بانك اطلاعاتی قابل‌اعتماد و تبدیل این بانك به يك ابزار مؤثر در ارزیابی بیلان، و با کاهش عدم‌قطعیت سیستماتیک از طریق ایجاد دانش کافی در حیطه هیدروژئولوژی و هیدرولوژی در محدوده موردمطالعه، دانش کافی از شرایط مرزی، تفکیك مناسب زمانی مکانی منطقه و محاسبات دقیق مؤلفه‌های ورودی بیلان از قبیل (بارندگی، تغذیه، تبخیر برداشت و وضعیت آبیاری منطقه، محاسبه دقیق ضرایب نفوذ)، امکان‌پذیر خواهد بود. درواقع به‌طورکلی تدقیق در برآورد بیلان با کمترین سطح عدم‌قطعیت، منوط به تدقیق در برآورد مؤلفه‌های بیلان است که خود منوط به تهیه آمار و اطلاعات‌پایه و همچنین همگام بودن دوره‌های زمانی این آمار و اطلاعات است. اگرچه این رویکرد از منظر اقتصادی ممکن است امری هزینه‌بر باشد، اما در برآورد بیلان و آب قابل‌برنامه‌ریزی آب زیرزمینی و اتخاذ تصمیمات و سیاست‌های اثربخش برای مدیریت پایدار این منابع ارزشمند، بسیار راهگشا و مفید خواهد بود. مهم‌ترین پیشنهاد برای کاهش عدم‌قطعیت بیلان، کالیبره کردن پارامترهای مختلف بیلان در مدل‌های قطعی شبیه‌سازی‌شده آب زیرزمینی است.

منابع

شرکت مهندسین مشاور فارساب صنعت. ۱۳۹۵ الف. انجام مطالعات بهنگام‌سازی بیلان منابع آب محدوده‌های مطالعاتی حوضه‌آبریز حله و مسیل‌های کوچك دو طرف آن منتهی به سال آبی ۹۰-۱۳۸۹.

شرکت مهندسین مشاور فارساب صنعت. ۱۳۹۵ب. انجام مطالعات بهنگام‌سازی بیلان منابع آب محدوده‌های مطالعاتی حوضه‌آبریز رودخانه‌های کل- مهران و جزایر خلیج‌فارس منتهی به سال آبی ۹۰-۱۳۸۹.

اندیشکده تدبیر آب ایران. ۱۳۹۱. پایداری منابع آب زیرزمینی: مطالعه موردی دشت رفسنجان با تأکید بر بررسی منابع عدم‌قطعیت در محاسبات بیلان آب زیرزمینی. اتاق بازرگانی، صنایع، معادن و کشاورزی استان کرمان.

شفیعی، م.، قهرمان، ب. و ثقفیان، ب. ۱۳۹۸. مروری بر مفاهیم مدلسازی هیدرولوژی: بخش دوم، مبانی تحلیل عدم‌قطعیت. نشریه آب و توسعه پایدار، ۶(۱): ۳۵-۴۰.

شفیعی، م.، مجیدی، م.، جودوی، ع.، سلیمانیها، س. و پشتوان، ح. ۱۳۹۸. پیش‌درآمدی بر سپمپوزیوم ملی مسائل حل نشده بیلان آب کشور: لزوم مشارکت و هم‌افزایی در علاج‌بخشی مهم‌ترین مولفه برنامه‌ریزی منابع آب ایران. نشریه آب و توسعه پایدار، ۶(۲): ۸۳-۸۶.

علیزاده، امین. ۱۳۹۰. اصول هیدرولوژی کاربردی. چاپ سی و سوم، مشهد: انتشارات آستان قدس رضوی.

Eder G., Nachtnebel P., and Sivapalan M. 2005. Water balance modeling with fuzzy parameterizations: application to an Alpine catchment. John Wiley & Sons Ltd, Chichester, UK. 125-146.

Faybishenko B. 2010. Fuzzy-probabilistic calculations of water-balance uncertainty. Stochastic Environmental Research and Risk Assessment, 24(6): 939-952.

European Union (EU). 2015. Guidance document on the applicationof water balances for supporting the implementation of the WFD (P.126). Technical Report - 2015 – 090. ISBN 978-92-79-52021-1 doi: 10.2779/352735.

Tuinhof A., Foster S., Kemper K., Garduno H., Nanni M. 2006. Groundwater Monitoring Requirements - for managing aquifer response and quality threats. 10.13140/RG.2.1.4530.9529.

Kiang J. E. 2002. Water balance investigations of groundwater depletion in Asia: information needs and uncertainty analysis. Thesis (Ph. D.)-Massachusetts Institute of Technology, Dept. of Civil and Environmental Engineering.

Ordens C. M., Werner A. D., Post V. E. A., Hutson J. L., Simmons C. T., and Irvine B. M. 2011. Groundwater recharge to a sedimentary aquifer in the topographically closed Uley South basin, South Australia, Hydrogeology journal, 20(1): 61–72.

Rockhold M. L., Wachler S. R., Saunders D. L., Clayton R. E., and Strickland C. E. 2009. Soil Water Balance and Recharge Monitoring at the Hanford

drology, 3rd ed. John Wiley & Sons, New York, USA.

Zhang X. 2002. Linking water balance to irrigation scheduling: A case study in the piedmont of Mount Taihang. Regional Water and Soil Assessment for Managing Sustainable Agriculture in China and Australia, ACIAR Monograph No. 84, 57–69.

Site: FY09 Status Report, Rep., PNNL-18807, Pac. Northwest Natl. Lab., Richland, Wash.

Samani S, Moghaddam A. A, and Ye M. 2018. Investigating the effect of complexity on groundwater flow modeling uncertainty. Stochastic environmental research and risk assessment, 32: 643-659. https://doi.org/10.1007/s00477-017-1436-6.

Todd K. D. and Mays L. W. 2004. Groundwater Hy-