

خلاصه مدیریتی

نقدی بر برآورد بیلان منابع آب زیرزمینی در کشور ایران:

راهکارها و پیشنهادات

چکیده

منابع آب زیرزمینی در کشور به‌عنوان یکی از منابع مهم و اصلی برای تأمین نیازها در بخش‌های مختلف از جمله کشاورزی، شرب و صنعت شناخته می‌شود. به جهت حفظ و توسعه پایدار منابع آب زیرزمینی، مدیریت علمی و مناسب این منابع لازم و ضروری است. در این راستا، ارزیابی صحیح و درست از منابع آب زیرزمینی موجود و در دسترس یکی از گام‌های مهم در راستای حرکت به سمت توسعه پایدار این منابع است و این امر مستلزم برآورد دقیق بیلان آب زیرزمینی می‌باشد. شایان ذکر است این برآوردها به‌شدت به محدوده مورد مطالعه و خصوصیات آن وابسته است و منجر به بروز آثار حتی متناقض در رویکرد محاسبات بیلان نیز می‌شود که بر پیچیدگی کار می‌افزاید. اندازه‌گیری و یا برآورد مؤلفه‌های بیلان منابع آب زیرزمینی و متعاقب آن، تخمین آب تجدیدپذیر و آب قابل برنامه‌ریزی؛ همواره با خطا و عدم قطعیت‌هایی همراه است. از این رو ضرورت تدقیق بیلان با هدف ارزیابی صحیح از وضعیت فعلی این منابع و برنامه‌ریزی به جهت توسعه پایدار و متعاقب آن ممانعت از اتلاف سرمایه در برنامه‌چینی مصارف آب را دوچندان می‌کند.

در این مطالعه، ابتدا تاریخچه برآورد بیلان در کشور و همچنین بررسی فرآیندها، مسیرها، ساختار حقوقی و فرآیند کنترل و تضمین کیفیت در برآورد بیلان آب زیرزمینی، ارائه شده است. سپس مطالعات در سطح بین‌المللی از منظر روش‌ها و رویکردهای رایج در برآورد بیلان و همچنین تجربیات کاربردی بیلان در کشورهای مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. با جمع‌بندی دو بخش، اهم مسائل، چالش‌ها و مشکلات برآورد بیلان در کشور معرفی شده و در نهایت راهکار و پیشنهادهایی به جهت تدقیق بیلان آب زیرزمینی ارائه شده است. راهکارهای پیشنهادی در دو سطح ساختاری و علمی مطرح شده است. در بخش ساختاری، نظارت و ارائه ساختاری برای کنترل کیفیت برآورد بیلان مهم و ضروری است. از این رو، پیشنهاد ایجاد یک سازوکار مشخص برای بررسی و کنترل کیفیت برآورد بیلان در گروه «برآورد بیلان» وزارت نیرو ارائه شده است. همچنین پیاده‌سازی و ثبت آنلاین اندازه‌گیری‌ها در برآورد بیلان منابع آب زیرزمینی کشور و تشکیل بانک اطلاعاتی آنلاین و قابل دسترس عموم پیشنهاد شده که این موارد از اهم وظایف وزارت نیرو و سازمان‌های متولی جمع‌آوری، ثبت و اندازه‌گیری داده‌ها است و باید در ردیف‌های بودجه‌ای آنها مورد توجه قرار گیرد. در سطح علمی براساس بررسی مطالعات انجام شده ملی و بین‌المللی، لزوم توجه به دو مقیاس مکانی و زمانی، تحلیل عدم قطعیت‌های موجود در برآورد بیلان، بررسی و امکان‌سنجی استفاده از روش‌ها/رویکردهای نوین از جمله سنجش از دور در برآورد برخی از پارامترهای بیلان با امکان کنترل و واسنجی نتایج کسب شده با داده‌های مشاهداتی و به‌کارگیری چارچوب حسابداری آب، به جهت به حداقل رساندن خطاها، به‌عنوان راهکارهای مهم برای تدقیق برآورد بیلان پیشنهاد شده است. اصلاح روش‌شناسی حاضر با توجه به رویکردهای مدیریتی و در نظرگیری ابعاد اجتماعی، اقتصادی و سیاسی منابع آب، موجب ارزیابی صحیح و شناخت درست منابع خواهد شد و امکان برآورد واقعی‌تر منابع آب زیرزمینی در دسترس جهت برنامه‌ریزی‌های آتی را برای مدیران و برنامه‌ریزان فراهم خواهد کرد. در نهایت می‌توان گفت که دقت برآورد بیلان، ارتباط مستقیم با دقت برآورد مؤلفه‌های بیلان دارد و هرچه در تدقیق تخمین این مؤلفه‌ها، تلاش و هزینه شود منجر به نتایج واقعی‌تر خواهد شد. این موارد باید با تخصیص اعتبارات لازم در شرح وظایف سالانه سازمان‌های متولی مانند وزارت نیرو گنجانده شده و روند پیشبرد آنها کنترل شود.

معاونت پژوهش‌های
زیربنایی و امور
تولیدی
دفتر: مطالعات
زیربنایی

مشخصات گزارش

شماره مسلسل:

۲۵۰۱۵۸۲۰

تاریخ انتشار:

۱۳۹۷/۱/۲۱

ضرورت و اهداف

بهره‌برداری مناسب از منابع آب زیرزمینی نیازمند مدیریتی است که با توجه به ویژگی‌های کمی و کیفی این منابع، بتواند قابلیت آنها را از نظر توسعه یا اعمال محدودیت بهره‌برداری قبل از ایجاد وضعیت نامطلوب یا بحرانی تعیین و از بروز خسارات جبران‌ناپذیر جلوگیری کند. لذا مقوله مهم توسعه پایدار منابع آب زیرزمینی مطرح می‌شود. مسئله کلیدی در توسعه پایدار منابع آب زیرزمینی، مدیریت علمی و مناسب این منابع است. این مهم، نیازمند ارزیابی صحیح و درست از منابع آب زیرزمینی موجود و در دسترس است. برای توسعه پایدار این منابع، بهره‌برداری پایدار ضروری بوده و این امر مستلزم مطالعات برآورد صحیح بیلان آب زیرزمینی است که اهمیت آن را در این حوزه نشان می‌دهد. این مسئله، به‌خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک مانند کشور ایران از اهمیت فراوانی برخوردار می‌باشد. مطالعات برآورد بیلان، نیازمند شناخت و نحوه برآورد مؤلفه‌های آن است. به جهت برآورد صحیح بیلان منابع آب زیرزمینی، با توجه به ورودی‌ها و خروجی‌ها و عدم قطعیت‌هایی که در تخمین برخی از مؤلفه‌ها وجود دارد، لزوم بررسی دقت روش یا روش‌های رایج در کشور و نیز مقایسه آنها با الگوهای بین‌المللی نوین با نگاهی نقادانه و پیشنهادمحور برای بهبود برآوردها ضروری است و باید در برنامه‌ریزی‌های وزارت نیرو مورد توجه قرار گیرد. در این راستا اهداف زیر مدنظر است:

- مرور برآورد بیلان آب زیرزمینی در سطح ملی،
- مرور برآورد بیلان آب زیرزمینی در سطح بین‌المللی،
- نقدی بر روش‌های رایج برآورد بیلان آب زیرزمینی کشور و ارائه راهکارها و پیشنهادها.

بخش اول - مرور برآورد بیلان آب زیرزمینی در سطح ملی

در بخش اول، به اهمیت برآورد بیلان، مؤلفه‌های بیلان آب سطحی و زیرزمینی و جایگاه آن در کارهای مبتنی بر آب در کشور ایران پرداخته می‌شود. همچنین در این بخش، اسناد بالادستی، قوانین و مقررات، ضوابط، آیین‌نامه‌ها، دستورالعمل‌ها، استانداردهای ملی مرتبط با بیلان مورد بررسی قرار گرفته است. تاریخچه برآورد بیلان منابع آب زیرزمینی و همچنین بررسی فرآیندها، مسیرها، ساختار حقوقی، نحوه تعامل بین نهادهای مختلف، مسئولیت‌ها و فرآیند کنترل و تضمین کیفیت در برآورد بیلان آب زیرزمینی در کشور ایران، در این بخش بررسی شده است. خروجی این بخش بررسی مسائل، چالش‌ها و مشکلات برآورد بیلان در کشور ایران است.

در وضعیت حاضر در کشور برحسب مطالعات، سه نوع بیلان آب: ۱. بیلان آب سطحی، ۲. بیلان آب زیرزمینی، ۳. بیلان عمومی، برای محدوده‌های مطالعاتی، براساس اصل بقای جرم و پیوستگی برآورد می‌شود. هرکدام از انواع بیلان، دارای مؤلفه‌های متناسب با شرایط هیدرولوژیکی خود هستند و ارتباط تنگاتنگی میان مؤلفه‌های انواع بیلان وجود دارد. بیلان آب محدوده‌های مطالعاتی کشور در مقیاس حوضه‌های آبریز درجه دو و در قالب پروژه‌های تهیه و یا بهنگام‌سازی اطلس‌های منابع آب تهیه و ارائه می‌شود که برای تهیه بیلان محدوده مطالعاتی، مطالعات پایه منابع آب شامل: مطالعات هواشناسی، آب سطحی و آب زیرزمینی ضروری است.

بررسی اسناد بالادستی، قوانین و دستورالعمل‌های مرتبط با آب زیرزمینی، حاکی از تهیه اولین گزارش بیلان آب زیرزمینی در دهه ۵۰ است. برآورد بیلان آب زیرزمینی مستلزم وجود ساختار نظام‌مند در مسیر حقوقی و اداری سازمان مربوطه است تا در برنامه‌ریزی نهاد مربوطه قرار گرفته و در تعامل با سایر ارگان‌های مرتبط، فرآیند کنترل و تضمین کیفیت هموار اجرا شود. از این‌رو متولی اصلی تهیه بیلان منابع آب زیرزمینی کشور وزارت نیرو است که در این راستا گروه تلفیق و بیلان دفتر مطالعات پایه شرکت مدیریت منابع آب با ارائه دستورالعمل‌های نحوه برآورد بیلان، مطالعات و برآورد بیلان آب کشور را برعهده دارد. به‌رغم وجود یک ساختار نظام‌مند، نظارت و کنترل کیفیت برآورد بیلان به شکل مشخصی در این ساختار گنجانده نشده است و در نظر گرفتن این مهم در اصلاح روش برآورد بیلان می‌تواند نقش مهمی داشته باشد.

در نظر گرفتن جایگاه و اهمیت بیلان آب در کشور به‌منظور برنامه‌ریزی و توسعه پایدار مهم و ضروری است. بررسی‌ها نشان می‌دهد که در سطح ملی درک درستی از اهمیت و جایگاه برآورد دقیق بیلان که پایه و اساس برنامه‌ریزی‌ها برای توسعه کشور است، وجود ندارد که این مهم باید مورد توجه قرار گرفته و تخصیص‌های فنی و مالی لازم برای تجهیز کردن نرم‌افزاری و سخت‌افزاری امکانات برآورد مؤلفه‌های بیلان انجام پذیرد. براساس بررسی مطالعات و ساختار سازمانی گروه تهیه بیلان وزارت نیرو، در روش‌شناسی انجام مطالعات بیلان با توجه به ماهیت داده‌های منابع آبی (که همواره با عدم قطعیت همراه هستند) و همچنین دقت تخمین برخی پارامترها (نفوذپذیری، ضریب ذخیره سفره، قابلیت انتقال و ضرایب آب برگشتی آبخوان)، خطاها و عدم قطعیت‌های زیادی بر محاسبات وارد می‌شود. از این‌رو، باید براساس روش‌های توصیه شده در سطح ملی و بین‌المللی، به برآورد دقیق‌تر این پارامترها/مؤلفه‌های بیلان پرداخت تا حداقل امکان خطاها و عدم

قطعیت‌ها را در حد مطلوبی کاهش داد. این امر مستلزم اعمال فناوری‌های نوین، نصب تجهیزات نرم‌افزاری و سخت‌افزاری میدانی و برخی آزمون‌ها و پایش‌ها در سطح دشت‌های کشور است و وزارت نیرو باید در برنامه‌های سالانه خود به این موارد توجه داشته و اعتبارات لازم را در پیشنهاد بودجه‌ای خود ملحوظ کند. همچنین به نظر می‌رسد بازه‌های زمانی مبادرت به محاسبات بیلان آب زیرزمینی در کشور - که عمدتاً در حدود ۵ سال است - نیازمند بازنگری است و این برآوردها باید در بازه‌های کوتاه‌تری به‌روزرسانی شود و نیز به خصوصیات متفاوت محدوده‌های مطالعاتی در این روند توجه کافی شود.

بخش دوم - مرور بر آورد بیلان آب زیرزمینی در سطح بین‌المللی

در بخش دوم مطالعه، روش‌های برآورد بیلان آب زیرزمینی در سطح بین‌المللی مورد بررسی قرار گرفته است. در این بخش، ابتدا الگوهای پیشنهادی بین‌المللی برای برآورد بیلان آب زیرزمینی مورد بررسی قرار گرفته و سپس رویکردها و اهداف کلان از برآورد بیلان آب زیرزمینی مورد تحلیل قرار می‌گیرد. مزایا و آسیب‌شناسی الگوها در سطح بین‌المللی در برآورد بیلان آب زیرزمینی معرفی و در نهایت خروجی این بخش، الگوهای برتر با قابلیت بومی‌سازی در برآورد بیلان آب زیرزمینی را پیشنهاد می‌دهد.

روش‌ها و الگوهای مورد استفاده در مطالعات مورد بررسی در برآورد بیلان، دارای مزایا و معایب خاص خود هستند و به یقین نمی‌توان از این میان الگوی برتری را معرفی کرد. اما می‌توان به نقاط قوت قابل توجه در طرح‌های انجام شده در زمینه بیلان منابع آب زیرزمینی اشاره کرد:

- تهیه و ارائه گزارش‌ها و اطلس‌های بیلان و یا حسابداری آب به‌صورت سالانه و ارزیابی سالانه منابع آب زیرزمینی در خلال گزارش‌های مورد بررسی در بخش بین‌المللی،
 - برآورد بیلان منابع آب زیرزمینی در مقیاس حوضه‌ای و در سطح آبخوان‌ها جهت کاهش عدم قطعیت‌های موجود در مؤلفه‌های تغذیه و تخلیه و همچنین تدقیق در برآورد ذخیره آبی یک منطقه، کشور و یا قاره،
 - استفاده از مدل‌های منطقه‌ای جهت شبیه‌سازی سیستم‌های آب زیرزمینی با توجه به شرایط خاص منطقه از نظر محدودیت‌های آماربرداری، خصوصیات اقلیمی، خصوصیات زمین‌شناسی و توپوگرافی، نوع مصارف و غیره،
 - توسعه و بهبود روش‌ها در گذر زمان و انعطاف آنها در استفاده از رویکردهای مختلف.
- همچنین این روش‌ها و الگوها نقاط ضعفی نیز دارند که در موارد زیر به برخی از آنها اشاره شده است:
- عدم وجود یکپارچگی در الگوی روش و تجهیزات آماربرداری در نقاط مختلف یک طرح جامع برآورد بیلان،
 - در یک طرح جامع برآورد بیلان، در بعضی محدوده‌های مطالعاتی، برخی مؤلفه‌ها با عدم قطعیت بیشتری نسبت به محدوده‌های دیگر لحاظ شده و یا به کل لحاظ نمی‌شوند که عدم قطعیت برآورد کلی بیلان را در طرح مورد نظر افزایش می‌دهد،
 - عدم تدقیق در تحلیل عدم قطعیت‌های موجود در برآورد بیلان منابع آب زیرزمینی.

بخش سوم - نقدی بر روش‌های رایج برآورد بیلان آب زیرزمینی کشور

براساس یافته‌های بخش اول و دوم، تحلیلی بر آموزه‌های مهم از بررسی روش‌های برآورد بیلان آب زیرزمینی در سطح بین‌المللی انجام شده است. شناسایی معضلات و کاستی‌های موجود در روش‌های رایج برآورد بیلان آب زیرزمینی در کشور براساس تجربیات بین‌المللی، به‌عنوان خروجی اصلی گزارش حاضر، مسیرها و پیشنهادهایی را در جهت تدقیق این برآوردها و کاهش عدم قطعیت‌ها ارائه داده که می‌تواند در اسناد بالادستی کشور و تدوین سیاست‌های کلان حوزه آب زیرزمینی کشور ملحوظ شود.

آمار و اطلاعات منابع آبی به‌جهت ماهیت احتمالی آنها و همچنین تخمین برخی پارامترها همواره با عدم قطعیت‌هایی همراه است. بررسی مستندات و گزارش‌های بیلان منابع آب زیرزمینی در کشور نشان می‌دهد که در روش‌های حاضر به جهت برآورد بیلان آب زیرزمینی، این عدم قطعیت‌ها کمتر مورد توجه قرار گرفته است. به جهت اهمیت برآورد بیلان آب زیرزمینی در کارهای آبی، باید بیلان منابع آب زیرزمینی تدقیق شود. از این‌رو، برخی منابع مانند اندیشکده آب ایران (۱۳۹۳)، رویکرد شبیه‌سازی را برای سفره‌های آب زیرزمینی جهت برآورد بیلان آب زیرزمینی پیشنهاد داده‌اند که رویکردی پرهزینه و نیازمند داده‌ها و اطلاعاتی است که لزوماً در همه آبخوان‌های کشور فراهم نیست. همچنین، در سطح بین‌المللی، رویکردهای مختلفی از جمله حسابداری آب با در نظر گرفتن مدلسازی و رویکرد سنجش از دور برای برآورد بیلان آب زیرزمینی مدنظر قرار گرفته که نتایج خوبی را گزارش داده است. با توجه به اینکه وزارت نیرو متولی اصلی مطالعات و تهیه بیلان منابع آب زیرزمینی است، لذا

می‌تواند از این رویکردها به لحاظ ابعاد علمی، اقتصادی و اجرایی تدقیق و بهبود روش برآورد بیلان آب زیرزمینی در کشور بهره‌بردار. همچنین سایر سازمان‌های مسئول تأمین و ثبت داده‌ها و اطلاعات در کشور، از جمله سازمان نقشه‌برداری، سازمان زمین‌شناسی، وزارت جهاد کشاورزی، سازمان هواشناسی و ... می‌توانند بستر لازم را برای تغییر رویکرد برآورد بیلان آب زیرزمینی در کشور به رویکردهای دقیق‌تر فراهم کنند.

اشکالات، چالش‌ها و نقایص روش‌های رایج برآورد بیلان آب زیرزمینی کشور

بررسی مستندات موجود و همچنین گزارش‌های بیلان انجام شده برای دشت‌های کشور نشان می‌دهد که روش‌های حاضر به جهت برآورد بیلان آب زیرزمینی، منابع عدم قطعیت زیادی را به همراه دارد که در محاسبات بیلان در نظر گرفته نمی‌شود. از جمله این عدم قطعیت‌ها می‌توان به میزان ورودی (تغذیه) به آبخوان، ضریب آب برگشتی مصارف کشاورزی، ورودی و خروجی آبخوان، قابلیت انتقال و ضریب ذخیره آبخوان، آب‌های حساب نشده مانند آب‌زدی‌ها و ... اشاره کرد. 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 را با مشکلات فراوانی از لحاظ دقت و زمان کاربرد مواجه کرده است. در ادامه به مسائل، چالش‌ها و مشکلات برآورد بیلان آب زیرزمینی کشور، براساس بررسی‌های انجام شده اشاره می‌شود که در زمره اصلی‌ترین وظایف وزارت نیرو در زمینه آب‌های زیرزمینی است:

• **میزان ورودی (تغذیه) به آبخوان:** نفوذ ناشی از بارش و همچنین رواناب‌ها به عنوان ورودی به منابع آب زیرزمینی (آبخوان) با عدم قطعیت همراه است که به نوسانات سالانه بارش و روندهای بلندمدت آن بستگی دارد. از این‌رو، استفاده از عدد متوسط بارش موجب ساده‌سازی و اعمال خطا در میزان ورودی طبیعی به آبخوان می‌شود. برای جلوگیری از بروز خطا و همچنین بررسی عدم قطعیت ورودی‌ها به یک سفره آب زیرزمینی باید بارش بلندمدت محدوده تأثیرگذار بر آبخوان مورد بررسی قرار گیرد و به جای ارائه یک عدد قطعی متوسط، ورودی طبیعی به صورت احتمالی بررسی و میزان ورودی طبیعی به آبخوان در شرایط مختلف بارش محاسبه و ارائه شود. همچنین تغییرات درون‌سالی بارش و الگوی بارش، عامل تعیین‌کننده‌ای است که می‌تواند در تدقیق برآوردهای بیلان، نقش مؤثری ایفا کند.

• **ضریب نفوذپذیری:** این پارامتر یکی از عدم قطعیت‌هایی است که در محاسبات ورودی به آبخوان وجود دارد. ضریب نفوذپذیری باید از طریق اندازه‌گیری مستقیم اعتبارسنجی شود، در غیر این صورت ارقام در نظر گرفته شده، دارای عدم قطعیت خواهد بود. در مطالعات برآورد بیلان آب‌های زیرزمینی کشور، جهت محاسبه میزان نفوذ، ابتدا از میزان بارش مربوط به مناطق مختلف، میزان تبخیر و تعرق کسر شده و بدین ترتیب بارش مؤثر محاسبه می‌شود. سپس با استفاده از اطلاعات مربوط به میزان رواناب تولید شده در محدوده مورد نظر، رواناب محاسبه و از بارش مؤثر کسر شده و مقدار باقیمانده، معادل میزان نفوذ خواهد شد. از این‌رو، در محاسبه مقدار نفوذ، عدم قطعیت در محاسبه میزان تبخیر و تعرق نیز می‌تواند وجود داشته باشد که باید در محاسبات در نظر گرفته شود. همچنین این ضریب با ضرایب هیدرودینامیک آبخوان نیز ارتباط دارد که براساس اطلاعات چاه‌های اکتشافی قابل برآورد است که توصیه می‌شود این کنترل در برآوردها انجام شود و در موارد لازم به حفر این چاه‌های اکتشافی و انجام آزمون‌های لازم، مانند آزمون پمپاژ توجه کافی شود.

• **ضریب آب برگشتی مصارف کشاورزی:** آب برگشتی مصارف کشاورزی نیز از دیگر عوامل عدم قطعیت در محاسبات بیلان است که به صورت ضریبی از آب برگشتی کشاورزی محاسبه می‌شود که در این زمینه توجه به عمق سطح ایستابی آب و ضخامت ناحیه غیراشباع بسیار اهمیت دارد. همچنین تأخیر زمانی بین زمان ورود آب به خاک (نفوذ) و رسیدن آن به سفره آب زیرزمینی (تغذیه)، عامل مهمی به خصوص در آبخوان‌هایی که ضخامت ناحیه غیراشباع بزرگ‌تر دارند، محسوب می‌شود. نصب امکانات اندازه‌گیری در آبخوان‌های حساس کشور و آزمون زمان پیمایش آب در ناحیه غیراشباع با روش‌هایی همچون آزمون ردیاب و ایزوتوپ در این زمینه می‌تواند کمک‌کننده باشد. در شرایطی که داده‌های اندازه‌گیری موجود نیست توصیه می‌شود با بهره‌گیری از توصیه مراجع فنی و تجربیات پیشین برای این زمان تأخیر، سری زمانی تغذیه مورد استفاده در محاسبات بیلان را از نظر زمانی واسنجی کرد.

• **ورودی و خروجی زیرزمینی، قابلیت انتقال و ضریب ذخیره آبخوان:** میزان ورودی و همچنین خروجی از محدوده مطالعاتی، یکی از پارامترهای مهم برآورد بیلان آب زیرزمینی است. اهمیت این پارامتر زمانی است که مرز محدوده مطالعاتی به صورت مرزهای نفوذپذیر بوده و موجب ورود و خروج آب زیرزمینی از آبخوان مجاور شود که با عدم قطعیت‌هایی همراه است. میزان ورودی/خروجی به پارامترهایی نظیر عرض ناحیه انتقال، گرادیان هیدرولیکی و ضریب قابلیت انتقال بستگی دارد. بنابراین در نظر گرفتن یک سال معین و تعمیم آن به کل دوره برنامه‌ریزی منجر به ورود عدم قطعیت قابل توجهی می‌شود. علاوه بر این، ضریب ذخیره آبخوان با توجه به نوع آبخوان

و همچنین مشخصه‌های آبخوان، یکی دیگر از منابع عدم قطعیت است. کنترل محاسبات در حوضه‌های آبریز زیرزمینی (بدون ورود و خروج آب زیرزمینی) و همچنین ناحیه‌بندی محدوده مطالعاتی به‌لحاظ داده‌های مورد استفاده ضرایب قابلیت انتقال و ضریب ذخیره (براساس داده‌های حاصل از چاه‌های اکتشافی و آزمون پمپاژ)، می‌تواند به تدقیق نتایج کمک کند:

• **بازه‌های زمانی عمدتاً پنج‌ساله:** برآوردهای بیلان در محدوده‌های مطالعاتی کشور از جمله نقایصی است که توصیه می‌شود به بازه‌های سالانه تغییر یابد.

• **نبود بانک اطلاعاتی مدون و نیز جهت‌گیری ناهمسو در اندازه‌گیری‌ها و ثبت داده‌ها در سازمان‌های مختلف:** این مورد از اشکالات سیستم جاری است و باید اصلاحات لازم برای فراهم‌سازی قابلیت استفاده بانک اطلاعاتی در الزامات برنامه‌ریزی‌های کلان کشور از جمله برآورد بیلان آب زیرزمینی انجام پذیرد.

• مشکل ساختاری به جهت نظارت و کنترل کیفیت برآورد بیلان

• **در نظر گرفتن خصوصیات محدوده‌های مورد مطالعه و نحوه اثرگذاری آنها در برآوردهای بیلان منابع آب زیرزمینی و تحلیل‌های مربوط به عدم قطعیت که لزوماً به نتایج مشابهی نیز ختم نمی‌شود و با پیچیدگی‌های مربوط به خود همراه است.**

جمع‌بندی و ارائه پیشنهادها

آمار و اطلاعات منابع آبی که پایه و اساس مطالعات بیلان آب زیرزمینی است، به جهت ماهیت احتمالی آنها با عدم قطعیت همراه است. از این رو، باید بر این داده‌ها تحلیل عدم قطعیت انجام شود. همچنین حساسیت بیلان آب زیرزمینی به مؤلفه‌های ورودی به آبخوان مانند: نفوذ از بارندگی و جریان سطحی، تغذیه از آب برگشتی مصارف، به جهت وابستگی به دقت تخمین نفوذپذیری، ضریب ذخیره سفره، قابلیت انتقال و ضرایب آب برگشتی آبخوان بسیار زیاد است. به طوری که می‌تواند اختلاف برآوردهایی از چند درصد تا چند برابر را سبب شود. به همین جهت، استفاده از روش‌های کاربردی و صحت‌سنجی این پارامترها ضروری است. همچنین برخی اطلاعات نظیر کاربری اراضی، الگوی کشت و برداشت از آب زیرزمینی در طول زمان متغیر بوده و باید تغییرات زمانی این اطلاعات در محاسبات ملحوظ شود که این امر نیازمند در دسترس بودن اطلاعات زمانی مزبور در تواترهای زمانی منطقی است.

با توجه به مسائل فوق، برآورد بیلان آب زیرزمینی در کشور با چالش‌های متعددی روبه‌رو است. علاوه بر مشکل ساختاری به جهت نظارت و کنترل کیفیت برآورد بیلان، انتخاب مقیاس مکانی و زمانی مناسب، توجه به خصوصیات متفاوت محدوده‌های مطالعاتی، تلفیق و یکپارچه دیدن آن با منابع آب سطحی و همچنین تحلیل عدم قطعیت‌های موجود در این برآوردها لازم است. با توجه به بررسی‌های انجام شده در این مطالعه و نیز تجربیات ملی و بین‌المللی، تدقیق در مقیاس مکانی تا سطح حوضه و آبخوان در کنار تحلیل عدم قطعیت، می‌تواند تا حدود زیادی از عدم قطعیت‌های برآورد بیلان بکاهد که این رویکرد خود نیازمند دستورالعمل تهیه بیلان و نظام داده‌برداری جامع در سطح کشور است. تدقیق در برآورد بیلان با کمترین سطح عدم قطعیت، منوط به تدقیق در برآورد مؤلفه‌های بیلان است که خود منوط به تهیه آمار و اطلاعات پایه و همچنین همگام بودن دوره‌های زمانی این آمار و اطلاعات است. اگرچه احتمال می‌رود این رویکرد از منظر اقتصادی، امری هزینه‌بر باشد، لکن در برآورد بیلان و آب قابل برنامه‌ریزی آب زیرزمینی و اتخاذ تصمیمات و سیاست‌های اثربخش برای مدیریت پایدار این منابع ارزشمند، بسیار راهگشا و مفید خواهد بود. در سطح بین‌المللی استفاده از روش‌های نوین از جمله سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی در تعیین اجزای مختلف بیلان آب و همچنین، استفاده از چارچوب حسابداری آب به جهت به‌کارگیری رویکردهای مدیریتی و در نظرگیری ابعاد اجتماعی، اقتصادی و سیاسی منابع آب در برآورد بیلان منابع آب و به‌طور جزئی‌تر، منابع آب زیرزمینی، نتایج خوبی به همراه داشته است.

بنابراین به‌طور کلی موارد زیر به‌عنوان رسالت‌های ضروری وزارت نیرو پیشنهاد می‌شود:

• توجه به اولویت‌ها در برنامه‌های وزارت نیرو و متعاقب آن تخصیص بودجه‌های لازم برای بالا بردن امکانات سخت‌افزاری، نرم‌افزاری، تجهیزات و فناوری،

• لزوم توجه به عملیات تکمیل و به‌روزرسانی داده‌ها و اطلاعات در حوزه آب زیرزمینی (مانند غنی کردن شبکه چاه‌های مشاهده‌ای و نصب دیتالاگرهای آنلاین روی آنها، پایش‌ها و آزمون‌های میدانی مانند آزمون پمپاژ، ردیاب‌ها، ایزوتوپ‌ها، فناوری‌های سنجش از دور و ... در راستای تدقیق برآورد مؤلفه‌های بیلان آب زیرزمینی) توسط وزارت نیرو،

- نظارت و کنترل کیفیت برآورد بیلان در چارچوب و ساختار نظام‌مند موجود و توجه به ویژگی‌های محدوده مورد مطالعه،
 - ارائه استاندارد و دستورالعمل اجرایی و جامع در سطح کل کشور توسط سازمان‌ها و مراجع ذی‌ربط (وزارت نیرو، سازمان برنامه و بودجه) جهت پایش و برداشت آمار و اطلاعات و داده‌های مورد نیاز برآورد بیلان (مؤلفه‌های بیلان) و تشکیل بانک اطلاعاتی آنلاین،
 - ارائه استاندارد و دستورالعمل اجرایی و جامع در سطح کل کشور توسط سازمان‌ها و مراجع ذی‌ربط (وزارت نیرو، سازمان برنامه و بودجه) جهت برآورد و تهیه بیلان منابع آب و به‌طور خاص، منابع آب زیرزمینی، با تأکید بر مقیاس مکانی، مقیاس زمانی و در نظر گرفتن عدم قطعیت‌های موجود،
 - تهیه دستورالعمل‌های لازم در سازمان‌های مسئول برای فراهم‌آوری داده‌ها و اطلاعات خام پایه مورد نیاز برآورد بیلان در دقت، تواتر زمانی و مقیاس مطلوب و با توجه به خصوصیات متفاوت محدوده‌های مطالعاتی کشور،
 - دسته‌بندی آبخوان‌های کشور براساس یکسری معیار منتخب و برنامه‌ریزی جهت انجام مدل‌سازی (عددی) با انتخاب روش‌شناسی مناسب قابل تعمیم و در راستای برآورد/کنترل بیلان،
 - مطالعه دقیق ابعاد علمی، اجرایی و اقتصادی تدقیق و بهبود روش برآورد بیلان آب زیرزمینی در کشور با توجه به برنامه‌ریزی‌های بیلان آب و همچنین تعیین آب قابل برنامه‌ریزی،
 - برنامه‌ریزی جهت همسان‌سازی تمامی عوامل برای به‌کارگیری چارچوب حسابداری آب در برآورد بیلان منابع آب با توجه به رویکردهای مدیریتی و در نظرگیری ابعاد اجتماعی، اقتصادی و سیاسی منابع آب در این چارچوب،
 - بهره‌گیری از تکنیک‌های جدید نظیر سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی در تعیین اجزای مختلف بیلان آب و استفاده ترکیبی از تصاویر ماهواره‌ای و داده‌برداری‌های زمینی به‌همراه بومی‌سازی دانش مربوطه،
 - تدقیق نقشه‌های کاربری اراضی و الگوی کشت، تدقیق تبخیر و تعرق واقعی و مصارف و در دسترس بودن آنها در طول زمان با تواترهای قابل قبول.
- حوزه‌های سیاستگذار کشور از جمله مجلس شورای اسلامی نیز می‌تواند در این مسیر ایفای نقش کرده و با تخصیص و تصویب بودجه‌های لازم برای سازمان‌های متولی مانند وزارت نیرو، مسیر را هموار سازد. همچنین اصلاح ردیف‌های بودجه‌ای فعالیت‌های سازمان‌های ذی‌ربط، در صورت نیاز، از اموری است که مجلس شورای اسلامی می‌تواند در مورد آن ایفای نقش کند. با برنامه‌ریزی و پیاده‌سازی راهکارهایی مانند آنچه در این نوشتار پیشنهاد شد جای امیدواری است که بتوان در برآوردهای آب زیرزمینی در دسترس و قابل برنامه‌ریزی با دقت بهتری عمل کرد و ضمن رعایت اهداف توسعه پایدار در مورد این منابع، از اتلاف سرمایه‌ها و سیاستگذاری‌های غلط نیز ممانعت کرد. سخن آخر اینکه برآورد دقیق بیلان آب زیرزمینی در هر کشور می‌تواند اطلاعات صحیحی را از میزان آب تجدیدپذیر و آب قابل برنامه‌ریزی در اختیار مدیران و برنامه‌ریزان کشور قرار دهد و این مهم فقط در شرایطی محقق می‌شود که متولیان از جمله مجلس شورای اسلامی با مصوب کردن قوانین و تخصیص بودجه‌های لازم و یا حتی اصلاح ردیف‌های بودجه‌ای برای فعالیت‌های اولویت‌دار (از جمله موارد پیشنهاد شده در این نوشتار) که توسط سازمان‌های متولی نادیده انگاشته شده‌اند، بستر لازم را برای این امر مهیا سازند. همچنین گفتنی است که این روند زمانی به موفقیت خواهد رسید که مشارکت لازم در همه زمینه‌ها از جمله تشکیل بانک اطلاعاتی پویا و برخط، یکسان‌سازی و همسوسازی کیفیت داده‌ها و اطلاعات، پرهیز از موازی‌کاری، بهره‌گیری از تجربیات موفق بین‌المللی (نظیر تکنیک‌های سنجش از دور و رویکرد مدل‌سازی) پس از بومی‌سازی توسط کارشناسان و صاحب‌نظران این حوزه، با توجه به رفتارها و ویژگی‌های متفاوت آبخوان‌های کشور محقق شده و با چشم‌اندازسازی، هدفگذاری و برنامه‌ریزی زمانی روشنی برای طی این روند، تدوین شود.

