

## Groundwater Budget Estimation of an Over-exploited Aquifer Located in the Arid Climate of Iran (Part one: Comparative and Adaptive Analysis Between 1972 and 2019)

DAVOOD MAHMOODZADEH<sup>1</sup>, HAMED KETABCHI<sup>2\*</sup>

1. Research Institute of Water Engineering and Management, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

2. Department of Water Engineering and Management, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

(Received: March. 31, 2021- May. 4, 2021- Accepted: May. 8, 2021)

### ABSTRACT

The existence of uncertainties in the input and output components is one of the major challenges in the water budget estimation due to the limitations in measurement or inaccuracies in the selection of appropriate methods. This leads to fluctuations and multiple differences in the estimation of renewable and programmable water. In this study, comparative and adaptive studies have been performed to identify sources of error and uncertainty on the aquifer of Rafsanjan study area in Kerman province, between 1972 and 2019. A critical review of the approach and method of the groundwater budget estimation was presented by looking at the existing errors and uncertainties. It is presented in the technical analysis form by the perspective of approach estimation and budget estimation methods, infrastructure analysis, institutional and structural analysis, and also, software and hardware facilities. Solutions were presented at two levels to reduce errors and increase accuracy based on national and international experiences. In the first level, the new technologies and approaches such as the remote sensing have been recommended for the estimation of precipitation, evapotranspiration, and recharge rate components. Also, the field data can be used to estimate the recharge rate component. In the second level, the mathematical models as well as the development of decision-making systems are recommended as a combined tool to evaluate different decision-making options according to different requirements. The results of this evaluation can be helped managers to make optimal scientific and practical decisions.

**Keywords:** Groundwater Resources, Rafsanjan Aquifer, Groundwater Budget, Solutions.

---

\* Corresponding Author's Email: [h.ketabchi@modares.ac.ir](mailto:h.ketabchi@modares.ac.ir)

## برآورد بیلان منابع آب زیرزمینی در یک آبخوان با برداشت بی‌رویه واقع در اقلیم خشک ایران (بخش اول: تحلیل مقایسه‌ای و تطبیقی بین سال‌های ۱۳۵۱ و ۱۳۹۸)

داود محمودزاده<sup>۱</sup>، حامد کتابچی<sup>۲\*</sup>

۱. پژوهشکده مهندسی و مدیریت آب، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.
۲. گروه مهندسی و مدیریت آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.  
(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۱۱ - تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۲/۱۴ - تاریخ تصویب: ۱۴۰۰/۲/۱۸)

### چکیده

یکی از چالش‌های مهم پیش روی برآورد بیلان منابع آب زیرزمینی، وجود عدم قطعیت‌ها در مؤلفه‌های ورودی و خروجی است که به دلیل محدودیت‌های موجود در اندازه‌گیری و یا عدم دقت در انتخاب روش‌های مناسب است. این مهم منجر به نوسانات و تفاوت‌های چندبرابری در تخمین آب تجدیدپذیر و قابل برنامه‌ریزی می‌شود. در مطالعه حاضر، برای این موضوع، مطالعات مقایسه‌ای و تطبیقی بین سال‌های ۱۳۵۱ و ۱۳۹۸، در آبخوان محدوده مطالعاتی رفسنجان واقع در استان کرمان انجام شد. بررسی نقادانه رویکرد برآورد بیلان آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه با نگاهی بر خطاها و عدم قطعیت‌های موجود در قالب تحلیل‌های فنی از منظر نحوه برآورد، رویکرد و روش‌های برآورد بیلان، تحلیل‌های نهادی و ساختاری و تحلیل زیرساخت‌ها و امکانات نرم‌افزاری و سخت‌افزاری، ارائه گردید. راهکارهای مدنظر به جهت کاهش خطا و افزایش دقت مبتنی بر تجربیات در سطح ملی و بین‌المللی در دو سطح ارائه شد. در سطح اول، به کارگیری از فناوری‌ها و رویکردهای نوین مانند روش سنجش از دور و استفاده از داده‌های زمینی برای صحت‌سنجی آن‌ها می‌تواند به افزایش دقت مؤلفه‌هایی مانند بارش، تبخیر و تعرق و تغذیه کمک کند که بررسی و امکان‌سنجی آن توصیه شده است. در سطح دوم، استفاده از مدل‌های ریاضی و همچنین توسعه سامانه‌های تصمیم‌یار به عنوان یک ابزار تلفیقی برای ارزیابی گزینه‌های مختلف تصمیم‌گیری با توجه به الزامات گوناگون پیشنهاد شده است. نتایج حاصل از این ارزیابی به مدیران در اتخاذ تصمیمات بهینه علمی و عملی می‌تواند کمک شایانی نماید.

**واژه‌های کلیدی:** آب‌های زیرزمینی، آبخوان رفسنجان، بیلان آب زیرزمینی، راهکارها.

### مقدمه

مسئله کلیدی در توسعه پایدار منابع آب زیرزمینی، مدیریت علمی و مناسب این منابع می‌باشد. این مهم، نیازمند ارزیابی صحیح و درست از منابع آب زیرزمینی موجود و دردسترس است. در جهت توسعه پایدار این منابع، بهره‌برداری پایدار ضروری بوده و این امر مستلزم مطالعات برآورد صحیح بیلان آب زیرزمینی است (Ketabchi *et al.*, 2018). این مهم، بخصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک مانند بسیاری از نقاط ایران از اهمیت فراوانی برخوردار است. برآورد بیلان منابع آب زیرزمینی در مطالعات مختلفی در سطح ملی و بین‌المللی از منظر روش‌ها و رویکردها مورد بحث و بررسی قرار گرفته است. از جمله این پژوهش‌ها می‌توان به مطالعه Alloisio & Smith (2016) اشاره نمود. آنها در مطالعه خود به منظور توسعه یک مدل بیلان آب زیرزمینی در محدوده مطالعاتی کلونا برای ارزیابی منابع آب زیرزمینی موجود، یک مدل

نیمه‌توزیعی عددی به صورت مکانی بر اساس خصوصیات توپوگرافی و تخلیه (زهکشی) را توسعه دادند. نرخ تغذیه به وسیله کسری از آب مازاد و تخلیه به وسیله شبیه‌سازی ساده خطی مخزن (مقادیر برداشت بر اساس آمارهای بهره‌برداری) محاسبه شده است. در این مطالعه، تحلیل‌های عدم قطعیت به صورت عددی و تخمینی ارزیابی نشده است.

در مطالعه Khazaei & Hosseini (2015) اشاره شده است که نبود تجهیزات پایش و اندازه‌گیری مناسب و کافی، نبود روش‌شناسی دقیق برای اندازه‌گیری برخی از مؤلفه‌های بیلان آب در سطح حوضه و وجود خطا و عدم قطعیت در اطلاعات مربوط اندازه‌گیری مانع از برآورد دقیق اجزای بیلان آب می‌شود. مدل مفهومی سیستم آبخوان آبرفتی کربناتی حوضه بزرگ واقع در ایالات نوادا، یوتا و بخشی از کالیفرنیا توسط Heilweil & Brooks (2010) مورد بررسی قرار گرفته است. مؤلفه‌های بیلان

نگرفتند.

در مطالعه بهره‌وری آبیاری و بیلان آب دلتای نیل که Molle *et al.* (2016) انجام دادند، بررسی و برآورد بیلان آب در این محدوده انجام شد و در این راستا، با استفاده از نتایج مطالعات پیشین خود، بیلان آب زیرزمینی محدوده به شکل کلی برآورد گردید. مؤلفه‌های بیلان با استفاده از آمار بلندمدت گذشته به دست آمد و به صورت میانگین بلندمدت در تهیه بیلان اعمال شدند.

در مطالعه Coelho *et al.* (2017) توزیع مکانی تغذیه از تصاویر ماهواره‌ای در حوضه رودخانه ایپانما در ایالت Pernambuco در شمال شرقی برزیل برآورد گردید. داده‌های سنجش از دور بارش، رواناب، تبخیر و تعرق به صورت ماهانه، به‌عنوان ورودی برای روش بیلان آب استفاده شدند. داده‌های بارش از TRMM، داده‌های رواناب از TM و داده‌های تبخیر و تعرق از MODIS استخراج شدند و برآوردهای بیلان منابع آب انجام شد.

در سطح ملی، مطالعات در خصوص بیلان برای محدوده‌های مطالعاتی کشور با دستورالعمل تدوین شده IWRMC (2010) انجام می‌شود. از میان یکی از بحرانی‌ترین مناطق از نظر اضافه برداشت آب زیرزمینی آبخوان رفسنجان در حوضه آبریز درانجیر - ساغند است که تمرکز اصلی این مطالعه است. از سال ۱۳۵۳ این محدوده مطالعاتی از نظر برداشت از منابع آب زیرزمینی از نظر صدور مجوز برداشت جدید چاه، جزء مناطق ممنوعه محسوب می‌شود که این محدودیت مشکلات آن را کاهش نداده است و به دلایل گوناگون شرایط به حد بحرانی رسیده و در حال حاضر اضافه برداشت متوسط آن به بیش از ۱۵۰ میلیون مترمکعب در سال رسیده است (RIWEM, 2019). در محدوده مطالعاتی رفسنجان نیز بر اساس آمار ارائه شده در مطالعه IWRMC (2015)، میزان کل مصارف آب نزدیک به ۸۰۰ میلیون مترمکعب است که حدود ۷۰۰ میلیون مترمکعب آن برای کشاورزی، حدود ۴۰ میلیون مترمکعب برای شرب و حدود ۳۰ میلیون مترمکعب برای صنعت تخصیص می‌یابد که عمده آن از ۱۴۹۵ حلقه چاه و ۱۵۴ رشته قنات برداشت می‌شود. به جهت حفظ پایداری منابع آب زیرزمینی آبخوان رفسنجان، مقوله بهره‌برداری پایدار از منابع آب زیرزمینی مطرح می‌گردد. بر این اساس، حفظ این منابع را برای نسل‌های آینده مهم و ضروری است، از این رو باید در برنامه‌ریزی به جهت بهره‌برداری از این منابع ارزشمند، منافع بلندمدت نیز مدنظر قرار گیرد. یک گام اصلی برای توسعه پایدار، در نظر گرفتن جایگاه و اهمیت بیلان آب به جهت برنامه‌ریزی است. در این راستا، برآورد بیلان منابع

در این مطالعه با استفاده از روش‌های مختلفی همچون مدل‌سازی بیلان منطقه غیراشباع خاک برای برآورد بازه درصد تغذیه، به صورت نمونه در مناطق مختلف و همچنین با استفاده از آمار چاه‌های اکتشافی و مشاهداتی موجود، تخمین زده شدند و بیلان کلی نیز با استفاده از روش مدل‌سازی عددی مورد استفاده محاسبه شده است.

(Marillier 2012) برای مدل‌سازی آب زیرزمینی نامبیلپل که با هدف شناسایی و تهیه ملزومات مدل‌سازی آب زیرزمینی و ارزیابی منابع آب زیرزمینی موجود در محدوده نامبیلپل، از یک مدل مفهومی و روش حل عددی استفاده کرد. مؤلفه‌های بیلان با استفاده از مطالعات پیشین و تعمیم خروجی‌های مدل منطقه‌ای (بر اساس روابطی همچون ریچاردز برای مدل‌سازی ناحیه غیراشباع در یک بعد برای نرخ تغذیه و پنمن‌مانتیس برای تبخیر و تعرق) و همچنین تخمین مجموع برداشت با استفاده از آمارهای موجود، تخمین جریان پایه با استفاده از تحلیل سری‌های زمانی، تعیین شدند. ورودی و خروجی‌های مرزی نیز با استفاده از مدل MIKE SHE برآورد شدند. در این مطالعه، منابع عدم قطعیت فقط معرفی شده‌اند و تنها به واسنجی اکتفا شده است.

مطالعه بیلان آب منطقه لیموستن جنوبی در جنوب شرقی استرالیا با هدف شناسایی و تهیه ملزومات مدل‌سازی آب زیرزمینی، ارزیابی منابع آب زیرزمینی موجود و همچنین توسعه مدل بیلان آب منطقه‌ای و شناخت خلاءهای مطالعاتی موجود انجام شد (Morgan *et al.*, 2015). در این مطالعه جهت برآورد بیلان از MODFLOW استفاده شد. در محاسبه مؤلفه‌های بیلان، برآورد تغذیه حاصل از بارش با استفاده از مدل‌های LEACHM و تصاویر ماهواره‌ای و بیلان آب در سطح با الگوریتم CMRSET انجام شد. مقادیر برداشت بر اساس آمارهای بهره‌برداری و خروجی‌های طبیعی بر اساس آمار جریان‌های موجود در منطقه تعیین شدند. در این مطالعه، عدم قطعیت موجود در محاسبات نرخ نفوذ، هدایت هیدرولیکی و برآورد تبخیر و تعرق به روش پنمن‌مانتیس، با رویکرد تحلیل حساسیت و با نصف و دو برابر نمودن تغذیه، هدایت هیدرولیکی و نرخ تخلیه انجام شد.

مطالعه بیلان آب زیرزمینی چشمه جیتا در لبنان توسط Schuler and Margane (2013) با هدف تأمین پایدار آب شرب بیروت انجام شد. در این مطالعه جهت برآورد بیلان از مدل WEAP استفاده شد. به دلیل نبود اطلاعات کافی از نظر کیفیت و کمیت داده‌ها، بسیاری از مؤلفه‌های تغذیه بیلان با استفاده از تحلیل حساسیت مفروضات تعیین شدند و در مورد مؤلفه‌های تخلیه نیز از آمار و اطلاعات مقادیر بهره‌برداری و جریان‌های پایه ماهانه بهره گرفته شد اما سطح دقت این برآورد مورد بررسی قرار

توسعه پایدار این منابع ارزشمند از طریق ارائه راهکارها و پیشنهادهایی به جهت افزایش دقت برآوردهای بیلان در مسیر ارزیابی درست این منابع ارزشمند باشد.

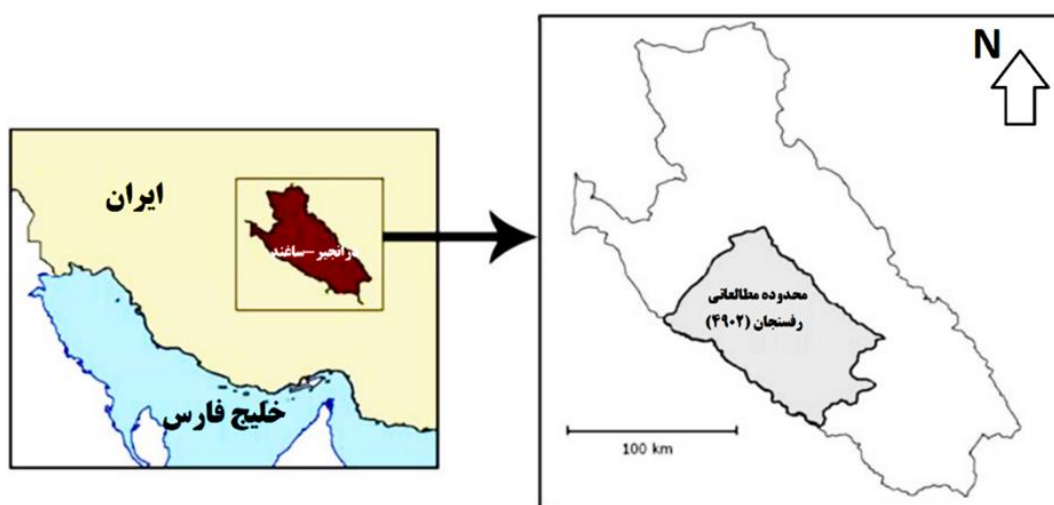
## مواد و روش‌ها

### محدوده مورد مطالعه

شکل (۱) محدوده مطالعاتی رفسنجان واقع در غرب حوضه آبریز درانجیر - ساغند را نشان می‌دهد. بیشترین ارتفاع منطقه ۳۵۶۲ متر و کمترین ارتفاع ۱۰۱۶ متر است. عمده آب مصرفی (آشامیدنی، کشاورزی و صنعتی) در این محدوده، از منابع آب زیرزمینی تأمین می‌گردد. سالانه به طور میانگین نزدیک به ۸۰۰ میلیون مترمکعب از آب زیرزمینی برداشت می‌شود که بیش از مقدار مجاز برداشت از آبخوان است. عمده آب برداشتی در منطقه صرف آبیاری باغات پسته می‌شود که حدود ۱۱۰ هزار هکتار از دشت را پوشش داده است (IWRMC, 2015; RIWEM, 2019).

آب زیرزمینی با هدف ارزیابی وضعیت فعلی این منابع و برنامه‌ریزی برای توسعه پایدار این منابع از اهمیت بسیاری برخوردار است. این مسئله در آبخوان‌هایی که با بهره‌برداری بی‌رویه مواجه هستند، از جمله آبخوان رفسنجان، به جهت داشتن یک تخمین جامع، دقیق و قابل اطمینان از بیلان آنها مهم‌تر است.

جهت شناسایی چالش‌های موجود در برآورد بیلان آب و در راستای افزایش دقت برآوردها، نوآوری مطالعه حاضر تحلیل مقایسه‌ای و تطبیقی برای شناسایی چالش‌های موجود و ارائه راهکارها، با در نظر گرفتن مطالعات گذشته بیلان محدوده مطالعاتی رفسنجان است. انجام این مطالعات، ارکان لازم برای مدیریت صحیح این منابع را در مواجهه با تجربیات بین‌المللی و ملی فراهم می‌آورد. مطالعات بیلان با رویکردهای مختلفی انجام می‌گردد و مطالعات تطبیقی به همراه ارائه روش‌شناسی‌های پیشنهادی مبتنی بر تجربیات بین‌المللی به جهت افزایش دقت بیلان منابع آب زیرزمینی، گام مهمی در جهت تحقق این هدف باشد. این مطالعه می‌تواند نشانگر رؤس گام‌های مهمی برای



شکل ۱- موقعیت قرارگیری محدوده مطالعاتی رفسنجان در حوضه آبریز درانجیر - ساغند

مطالعات حفاظت منابع آب دشت رفسنجان (KCE, 1992) تعداد نه حلقه از چاه‌های مشاهده‌ای در سال ۱۳۷۳، سه حلقه در سال ۱۳۷۷ و ۲۱ حلقه در سال ۱۳۷۸ حفاری شده‌اند. حفاری‌های سال‌های اخیر اغلب به دلیل خشک شدن چاه‌های مشاهده‌ای مجدد انجام شده و در مجموع در حال حاضر سطح آب زیرزمینی از حدود ۵۰ الی ۶۰ حلقه چاه مشاهده‌ای به طور ماهانه اندازه‌گیری می‌شود (KCE, 1992 and 2002).

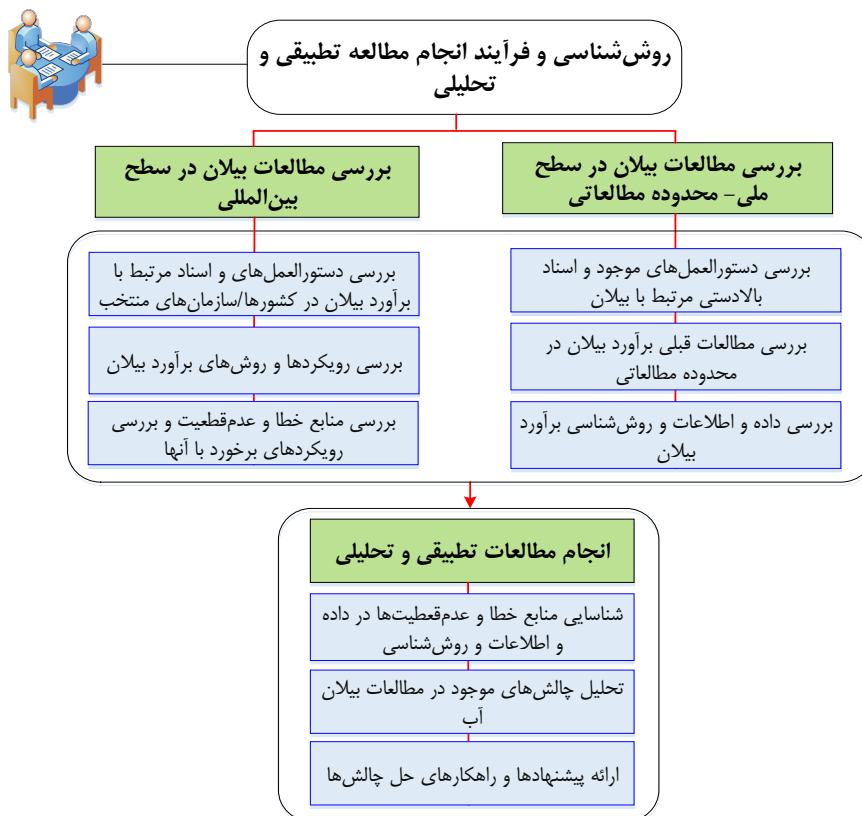
### روش‌شناسی مطالعه تطبیقی و تحلیلی

رویکرد مدنظر در انجام این مطالعه به صورت تطبیقی و تحلیلی

حفاری‌های اکتشافی در محدوده مطالعاتی در سطح دشت اولین بار در سال ۵۰-۱۳۴۹ در شش حلقه چاه انجام گرفته است. عمق این چاه‌ها ۹۳۸ متر و هفت حلقه چاه مشاهده‌ای با مجموع عمق ۶۲۷/۹ متر حفاری شده است. به منظور دستیابی به رقم سطح آب زیرزمینی در نقاط مختلف و همچنین جهت ترسیم نقشه‌های هم‌عمق و هم‌سطح آب زیرزمینی حفر ۶۶ حلقه چاه مشاهده‌ای در سال ۱۳۴۹ انجام شده است. در ادامه در سال ۱۳۶۹، شش حلقه چاه مشاهده‌ای و در سال ۱۳۷۰ حفر ۲۴ حلقه چاه مشاهده‌ای دیگر به انجام رسیده است. همزمان با اجرای

شناسایی منابع خطا و عدم قطعیت انجام شده است. در گام دوم تجربیات بین‌المللی مورد بررسی قرار گرفته است. در این گام، ابتدا تجربیات و اسناد کشورها/سازمان‌های بین‌المللی منتخب مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته و سپس رویکردها و روش‌های برآورد بیلان آب و نحوه برخورد با عدم قطعیت‌ها مطالعه شده است. خروجی این مرحله انجام مطالعات تطبیقی و تحلیلی در محدوده مطالعه، مبتنی بر تجربیات بین‌المللی و ملی است.

و از طریق بررسی و گردآوری اسناد علمی و اسناد بالادستی در سطح ملی و بین‌المللی است. فرآیند انجام مطالعه در شکل (۲)، نشان داده شده است. مطالعه در قالب دو گام مهم انجام شده که در گام اول، بررسی تحلیلی مطالعات بیلان در سطح محدوده مطالعاتی مدنظر بوده است. در این گام، تجربیات در سطح ملی و متمرکز در محدوده مطالعاتی با هدف بررسی اسناد بالادستی، دستورالعمل و قوانین ملی، بررسی تجربیات گذشته و مستندات علمی و ارزیابی رویکردها/روش‌های برآورد بیلان منابع آب و



شکل ۲- روش‌شناسی و فرآیند انجام مطالعه در پژوهش حاضر

منابع آب زیرزمینی با توجه به هدف مورد بررسی، می‌تواند متفاوت باشد. با این رویکرد می‌توان روش‌شناسی‌های ارائه شده جهت تهیه بیلان منابع آب زیرزمینی را از دو منظر مقیاس ارائه و مقیاس ارزیابی (بستن بیلان) بررسی نمود.

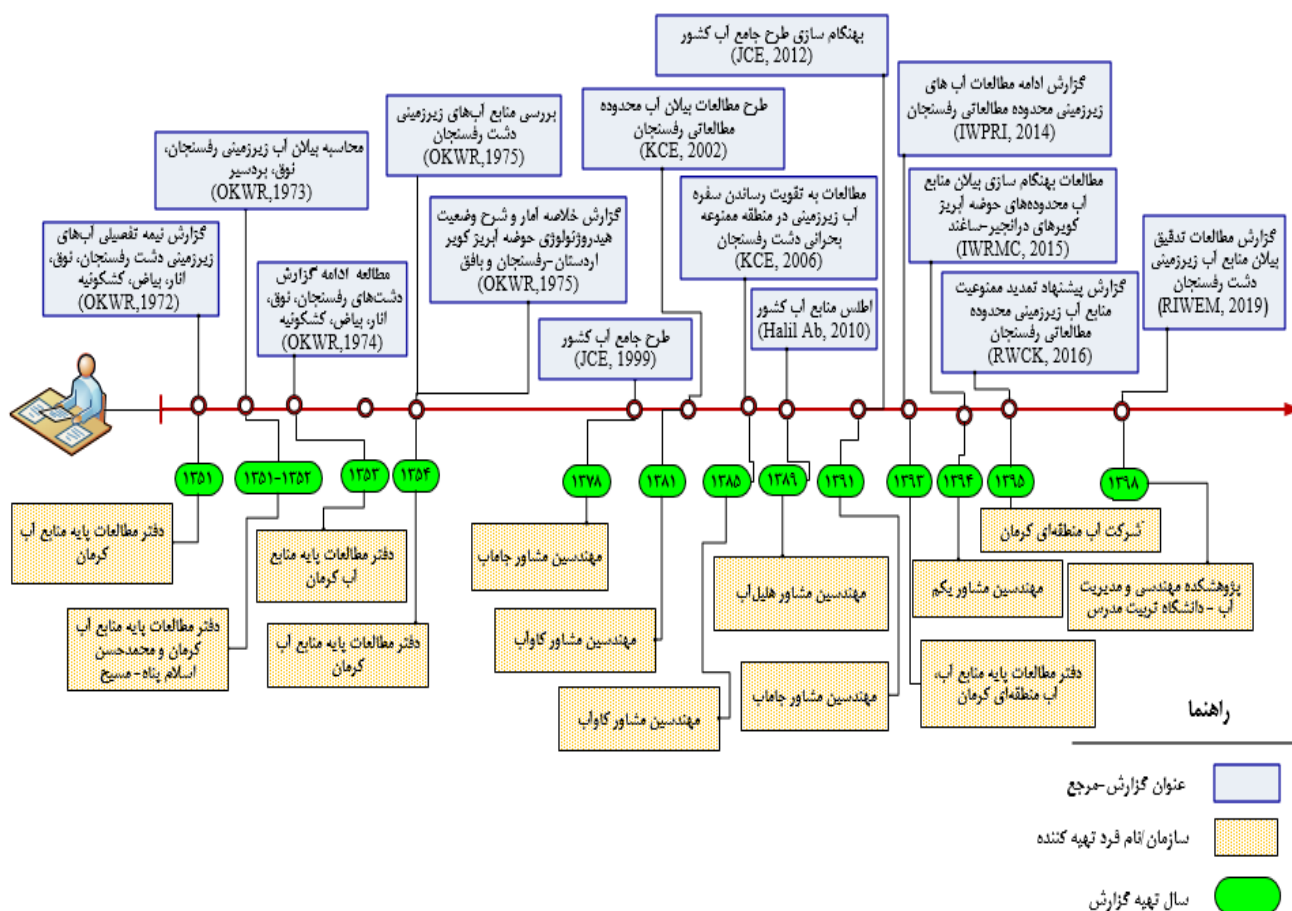
در جدول (۱)، به برخی از راهنماهای بین‌المللی تهیه بیلان در دو دهه اخیر اشاره شده است. برآورد بیلان آب زیرزمینی در حقیقت بخشی از برآورد بیلان عمومی آب یک حوضه، منطقه یا کشور بوده و به طور پیوسته با سایر مؤلفه‌های بیلان عمومی (نظیر مؤلفه‌های مربوط به آب‌های سطحی) محاسبه می‌شود. علیرغم ارائه روش‌های مختلف برآورد برای هر یک از مؤلفه‌های بیلان مانند بارش، تبخیر و تعرق، رواناب، نفوذ، تخلیه و تغذیه آب زیرزمینی در راهنماهای مورد استفاده توسط کشورهای مختلف،

گردآوری اسناد مرتبط با بیلان محدوده مطالعاتی رفسنجان نشان می‌دهد که برآورد بیلان این محدوده از سال ۱۳۵۱ انجام شده است (شکل ۳). بازه زمانی مورد نظر برای برآورد بیلان در هر مطالعه به طور کامل مورد بررسی قرار گرفته و روش‌ها و رویکردهای برآورد بیلان و همچنین منابع خطا و عدم قطعیت‌ها شناسایی شده است. نتایج این بررسی‌ها در ادامه تشریح شده است.

در سطح بین‌المللی روش‌ها و رویکردهای برآورد بیلان در مقیاس‌های قاره‌ای، کشوری، منطقه‌ای و حوضه/محدوده آب زیرزمینی (آبخوان) ارائه شده‌اند. بدین معنا که در محدوده یک قاره، کشور، منطقه و یا آبخوان، یک روش مشخص و جامع برای تهیه بیلان آب زیرزمینی ارائه شده است. اما مقیاس ارزیابی بیلان

جولوگیری می‌کند که در اکثر مراجع به آن تأکید شده است (Ketabchi et al., 2018; IWPRI, 2014).

در نظر گرفتن مقیاس زمانی و مکانی در برآورد منابع آب زیرزمینی مختلف آن کشور، امری بسیار مهم و ضروری در ارائه بیلان کلی آن کشور بوده و از بروز خطاهای مختلف در برآورد آن



شکل ۳- مطالعه‌های بیلان موجود در محدوده مطالعاتی رفسنجان از سال ۱۳۵۱ تا ۱۳۹۸

اولویت قرار دارند. اعمال دقت بیشتر هم با تغییر رویکرد برآورد و هم با بهره‌گیری از تجهیزات بروزتر و نوین سنجش میدانی می‌تواند محقق شود. در روش‌شناسی‌های بین‌المللی مانند روش‌شناسی آب زیرزمینی حسابداری آب NSW کشور استرالیا (Burrell et al., 2017)، روش‌های برگزیده برآورد پارامترهای بیلان دشت‌های مرتفع کشور ایالات متحده آمریکا (Stanton et al., 2011) و روش‌شناسی برآورد منابع آب زیرزمینی کشور هند (MOWR, 2015)، به ضرورت و اهمیت بررسی خطاها و عدم قطعیت‌های موجود در محاسبه بیلان آب زیرزمینی اشاره شده است اما در اکثر مراجع تأکید شده تا لزوم بررسی و انتخاب روش‌های برآورد خطاها و عدم قطعیت‌ها، با توجه به مقیاس زمانی و مکانی و خصوصیات مختلف منطقه و همچنین اهداف مطالعه تعیین شود.

بر اساس بررسی‌های صورت گرفته بر روی این مراجع، مشکلات احتمالی همچون عدم دقت کافی در آماربرداری، نقص داده‌ها، عدم همخوانی بازه‌های زمانی متغیرهای مختلف و کافی نبودن داده‌ها و ایستگاه‌های سنجش پارامترهای مختلف و همچنین تأثیر دیرپا پارامترها در بیلان مانند تغذیه از سطح، برآورد بیلان عموماً با خطاها و عدم قطعیت‌های بسیاری مواجه بوده و با افزایش تعداد مؤلفه‌های بیلان در محاسبات، این خطاها و عدم قطعیت‌ها از چند درصد تا چند برابر افزایش می‌یابند. با اتخاذ رویکرد یکسان در زمینه مقیاس مکانی و زمانی برآورد بیلان آب زیرزمینی، می‌توان گفت که اصلی‌ترین عامل موثر در افزایش دقت بیلان آب زیرزمینی، اعمال دقت بیشتر در برآورد هر کدام از مؤلفه‌های بیلان است و بدیهی است هر کدام از مؤلفه‌ها که دارای عدم قطعیت بالاتری هستند در این روند در

جدول ۱- برخی از راهنماهای بین‌المللی تهیه بیلان (برگرفته از مطالعه Ketabchi et al., 2018)

مرجع	نام راهنما	قاره/ کشور/ منطقه	مقیاس تهیه بیلان
European Commission (2015)	چارچوب آب اتحادیه اروپا (مدیریت یکپارچه منابع حوضه آبریز)	اروپا	کشوری/ منطقه‌ای/ حوضه‌ای
UNESCO (2008)	ارزیابی منابع آب بیلان کامل حوضه‌های آبریز	کشورهای آمریکای لاتین و حوضه دریای کارائیب	حوضه‌ای
Titus et al. (2008)	راهنمای ارزیابی، برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب زیرزمینی آفریقای جنوبی	آفریقای جنوبی	منطقه‌ای/ حوضه‌ای
MOWR (2015)	روش‌شناسی برآورد منابع آب زیرزمینی	هند	حوضه‌ای
BOM (2010)	مرور روش‌های بیلان منطقه‌ای آب در استرالیا	استرالیا	منطقه‌ای/ حوضه‌ای
Stanton et al. (2011)	روش‌های برگزیده برآورد پارامترهای بیلان دشت‌های مرتفع	ایالات متحده آمریکا	حوضه‌ای

## نتایج تحلیل‌های مقایسه‌ای و تطبیقی

سوابق تحلیلی مطالعات بیلان آب زیرزمینی آبخوان رفسنجان مطالعات بیلان در محدوده مطالعاتی رفسنجان از سال ۱۳۵۱ تا ۱۳۹۸ (رجوع به شکل ۳) انجام شده که در ادامه روش‌ها و رویکردهای برآورد بیلان و همچنین منابع خطا و عدم قطعیت‌ها شناسایی و تشریح شده است.

مطالعه نیمه‌تفصیلی آب زیرزمینی دشت رفسنجان، نوق، انار، بیاض و کشکوئیه توسط (OKWR (1972 تهیه شده است. محدوده مطالعاتی برای مساحت حدود ۸۰ کیلومتری، تبخیر از سطح آب زیرزمینی حدود پنج درصد طشتک تبخیر در نظر گرفته شده است. در این مطالعه، ضریب ۱۰ درصد جهت برآورد آب برگشتی از کشاورزی در نظر گرفته شده و با توجه به میزان تخلیه از چاه‌ها (حدود ۱۶۳/۲ میلیون مترمکعب) حجم آب برگشتی معادل ۱۶۳/۳ میلیون مترمکعب برآورد شده است. مقدار تعرق از سطح گیاه در این مطالعه به عنوان مجهول بوده و از معادله بیلان برآورد شده که مقدار آن ۵/۲ میلیون مترمکعب گزارش شده است. در دشت رفسنجان برای مدت زمان یک سال افت سطح سفره حدود ۳۵ سانتیمتر برآورد شده و ضریب ذخیره به طور متوسط برای آبخوان ۱۲/۵ درصد در نظر گرفته شده و کاهش حجم مخزن معادل ۷۲/۶ میلیون مترمکعب محاسبه شده است.

مطالعات بهره‌برداری بهینه از منابع آب زیرزمینی آبخوان رفسنجان توسط (KCE (1992 انجام شده است و بیلان آب زیرزمینی در آبخوان رفسنجان، دشت انار و دشت نوق برای یک دوره یک ساله آبی از مهر ۱۳۷۰ لغایت شهریور ۱۳۷۱ برآورد شده است. مساحت محدوده بیلان در این دوره ۱۷۷۹/۳ کیلومترمربع مدنظر بوده است. بیلان آب زیرزمینی در آبخوان رفسنجان در این دوره برای کنترل ارقام و تدقیق محاسبات این دوره به دو دوره مرطوب که هیدروگراف واحد آن دارای شیب کمتری بوده و دوره خشک که سطح آب منطقه ناشی از برداشت، افزایش افت زیادی دارد، تقسیم شده است. بررسی‌ها نشان

می‌دهد که تغذیه عمدتاً ناشی از جریان ورودی زیرزمینی، آب برگشتی کشاورزی و تغذیه از سنگ کف است.

مطالعات بهنگام‌سازی بیلان منابع آب محدوده‌های حوضه‌های آبریز کویرهای درانجیر - ساغند توسط IWRMC (2015) تهیه شده است. در مطالعه آنها برای برآورد بیلان محدوده مطالعاتی رفسنجان، از داده و اطلاعات سال آبی ۴۶-۱۳۴۵ تا ۹۰-۱۳۸۹ (۴۵ سال) جهت بررسی پارامترهای هواشناسی و هیدرولوژی استفاده شده است. مساحت محدوده بیلان آب زیرزمینی دشت رفسنجان ۴۲۹۸/۶ کیلومترمربع گزارش شده است. همچنین به استناد مطالعه‌های گذشته، ضریب ذخیره خاک ۵ درصد در نظر گرفته شده است. در مطالعه آنها، حجم آبی که از بارش در سطح آبخوان نفوذ می‌شود حدود ۴۰/۴ میلیون مترمکعب و حجم تبادل آب رودخانه‌ها و آبخوان‌های آبرفتی، حدود ۴۵/۵ میلیون مترمکعب گزارش شده است. میزان مصرف از منابع آب زیرزمینی در آبخوان رفسنجان معادل با ۷۶۶/۲ میلیون متر مکعب برآورد شده است که از این حجم ۳۰/۲ میلیون مترمکعب از بردسیر و خاتون‌آباد به رفسنجان انتقال یافته است. بیش از ۹۰ درصد آب استحصال شده در این محدوده برای کشاورزی مصرف می‌شود که حجمی در حدود ۶۹۶ میلیون مترمکعب در سال را در بر می‌گیرد. در مطالعه فوق، ضریب نفوذ برای آب برگشتی در بخش کشاورزی حدود ۳۳ درصد در نظر گرفته شده است. همچنین ضریب نفوذ برای آب برگشتی در بخش شرب و صنعت حدود ۶۰ درصد گزارش شده است. مطالعه پیشنهاد تمديد ممنوعیت منابع آب زیرزمینی محدوده مطالعاتی رفسنجان توسط (RWCK (2016 تهیه است. در این مطالعه بیلان منابع آب زیرزمینی آبخوان رفسنجان با محاسبه هیدروگراف محدوده برآورد شده است. در این مطالعه ضریب ذخیره عدد پنج درصد در نظر گرفته شده است. با توجه به اینکه افت سطح آب زیرزمینی در سال آبی ۹۵-۱۳۹۴ برابر با ۶۰ سانتیمتر گزارش شده است، تغییرات حجم ذخیره مخزن برای این سال آبی حدود ۱۲۳/۲- میلیون مترمکعب برآورد شده است. در محاسبات

**مساحت محدوده بیلان:** از گذشته تاکنون مطالعات مختلف مساحت‌های متفاوتی را برای بیلان محدوده مطالعاتی گزارش نموده‌اند. تا سال ۱۳۵۴ مساحت کوچک‌تر محدوده بیلان به دلیل عدم اطلاعات از بخش انار دشت رفسنجان می‌باشد و از این رو در محاسبات بیلان و همچنین محدوده نوق مدنظر قرار می‌گرفت. اصلی‌ترین تفاوت آن به دلیل متفاوت دیده شدن محدوده بیلان در مطالعات اخیر بوده است. البته متفاوت بودن این عدد نمی‌تواند خدشه‌ای به محاسبات وارد نماید و نکته اصلی این است که این مرز و در نتیجه مساحت منتج از آن طوری باشد که اطلاعات مرزی ورودی و خروجی به محدوده با دقت کافی قابل برآورد باشد.

**ضریب نفوذ از بارش و جریان‌های سطحی:** مطالعات بیلان تا سال ۱۳۵۴ نفوذ از بارش و جریان‌های سطحی را ناچیز گزارش کرده و از آن در محاسبه بیلان صرف‌نظر کرده‌اند و توجیهاتی از جنس ناچیز بودن آن در مقابل آب برگشتی داشته‌اند. البته نکته دیگر این مطالعات که نفوذ از بارش را صفر فرض نموده‌اند، مساحت محدودتر منطقه مورد مطالعه نسبت به کل سطح آبخوان است. از سال ۱۳۵۴ به بعد ضریب نفوذ از بارش و جریان‌های سطحی از ۳ درصد تا ۷۰ درصد در محاسبات در نظر گرفته شده است. همچنین برخی از گزارش‌های اخیر بیلان مانند گزارش مطالعات (IWRMC (2015 از روابط تجربی استفاده کرده‌اند که مرجع آن گزارش‌های FAO می‌باشد. نبود یک رویکرد دقیق علمی به جهت برآورد این ضریب منجر به وارد نمودن عدم قطعیت در محاسبات بیلان می‌نماید.

مساحت محدوده بیلان ۴۱۰۸ کیلومترمربع در نظر گرفته شده است. در مطالعه Babaei and Ketabchi (2020) از یک مدل توزیعی برای برآورد مؤلفه تغذیه آب زیرزمینی استفاده شده است. در این مطالعه مدل در یک دوره زمانی هشت سال اجرا شده و بیلان آب زیرزمینی در آبخوان رفسنجان برآورد شده است. مؤلفه تغذیه در این مطالعه با روابط مدل به کار رفته محاسبه شده است. در ادامه بر اساس بررسی تحلیلی سوابق مطالعات بیلان محدوده مطالعاتی، چالش‌های موجود در قالب خطاها و عدم قطعیت‌های موجود مورد بحث قرار گرفته است.

### تحلیل چالش‌های مطالعات بیلان آب زیرزمینی آبخوان رفسنجان

بررسی نقادانه رویکرد و روش برآورد بیلان آب زیرزمینی آبخوان رفسنجان در ادامه با نگاهی بر خطاها و عدم قطعیت‌های موجود در قالب (۱) تحلیل‌های فنی از منظر پارامترهای مختلف برآورد بیلان، (۲) تحلیل‌های نهادی و ساختاری و (۳) تحلیل زیرساخت‌ها، امکانات نرم‌افزاری و سخت‌افزاری، ارائه شده است.

### تحلیل فنی پارامترهای مختلف برآورد بیلان

برای ارائه تحلیل فنی پارامترهای مختلف بیلان، در جدول (۲) ضرایب مورد استفاده در مطالعات بیلان گذشته محدوده مطالعاتی، و همچنین در جدول (۳ و ۴) به ترتیب مقادیر مؤلفه‌های بیلان (مؤلفه‌های ورودی و خروجی) و تغییرات ذخیره زیرزمینی ارائه شده است. بر اساس جداول فوق در ادامه تحلیل‌های فنی مبتنی بر داده‌های موجود مطالعات بیلان انجام شده است.

جدول ۲- ضرایب مورد استفاده در مطالعات بیلان گذشته محدوده مطالعاتی رفسنجان

مرجع	سال بیلان	مساحت (کیلومترمربع)	ضریب نفوذ (درصد)		ضریب آب برگشتی (درصد)			ضریب ذخیره	
			بارش	سطحی	کشاورزی	شرب	صنعت	مرکز	دامنه
OKWR (1972)	۱۳۵۰	۱۶۶۴	-	-	۱۰	-	-	۰/۰۵	۰/۱۲۵
OKWR (1973)	۱۳۵۱-۵۲	۱۱۷۹	-	-	۲۰	-	-	۰/۰۵	-
OKWR (1974)	۱۳۵۱-۵۳	۱۱۷۹	-	-	۲۰	-	-	۰/۰۵۶	۰/۱۲۵
OKWR (1975)	۱۳۵۱-۵۴	۱۶۶۴	-	-	۱۰	-	-	۰/۱۲۵	-
JCE (1999)	۱۳۷۲-۷۳	۸۲۰۰	-	-	۲۷	-	۶۹	۰/۰۵۶	۰/۱۲۵
KCE (2002)	۱۳۷۰-۸۰	۴۱۰۷/۹	۱۰-۳	۷۰-۱۶	۲۰	۷۵	۷۰	۰/۰۵	-
KCE (2006)	۱۳۸۰-۸۱	۴۱۰۷/۹	۸/۶	۲۰	۲۰	۷۵	۷۰	۰/۰۵	-
Halil Ab (2010)	۱۳۸۴-۸۵	۴۲۵۶	۸	۲۰	۲۸	۶۰-۷۵	-	۰/۰۵	-
JCE (2012)	۱۳۸۵-۸۶	۴۱۰۰	ن	ن	۳۰	۶۰	-	۰/۰۵	-
JCE (2012)	۱۳۷۵-۸۶	۴۱۰۰	ت	ن	۳۰	۶۰	-	۰/۰۵	-
IWRMC (2015)	۱۳۸۹-۹۰	۴۲۹۸/۶	ت	ن	۳۳	۶۱	-	۰/۰۵	-
Babaei and Ketabchi (2020)	۱۳۸۸-۹۵	۴۳۰۰	۲۵	-	۳۴	۴۰ تا ۷۰	-	ن	-

- : ناچیز فرض شده است؛ ن: نامشخص؛ ت: با روابط تجربی و قضاوت کارشناسی برآورد شده

۱۳۵۴، ضریب آب برگشتی برای بخش شرب و صنعت ناچیز بوده و از آن صرف‌نظر شده است. اما برای بخش کشاورزی، این ضریب

**ضرایب آب برگشتی:** براساس مطالعات بیلان تا سال



ضریب قابلیت انتقال نیز به دلیل عدم بروزرسانی داده و اطلاعات از چاه‌های اکتشافی، اعداد در نظر گرفته شده دارای خطاهایی بوده که می‌تواند عدم قطعیت را در برآوردهای بیلان انتشار دهد. با توجه به محدوده تغییرات این ضریب در سال‌های ۱۳۵۰ تا ۱۳۵۴ و همچنین محدوده تغییرات در نظر گرفته شده در سال‌های اخیر (برای مثال مطالعات IWRMC, 2015) می‌توان به این مهم اشاره نمود که بخصوص در سال‌های اخیر نحوه اصلاح این ضریب چگونه انجام شده و همچنین میزان خطایی که می‌تواند به محاسبات بیلان و تغییرات ذخیره منتشر شود به چه میزان است. این ضریب در برآورد مؤلفه‌های ورودی آب زیرزمینی و خروجی از آبخوان تأثیرگذار می‌باشد.

### نفوذ از سنگ بستر، نفوذ از بارش در ارتفاعات و آب

**سطحی:** همانطور از جدول (۳) قابل مشاهده است، در بخش مؤلفه‌های ورودی به آبخوان، تا سال ۱۳۵۳، نفوذ از سنگ بستر و نفوذ از بارش در ارتفاعات و آب سطحی به عنوان دو مؤلفه مهم در نظر گرفته شده و این در حالی است که در مطالعات بیلان اخیر در نظر گرفته نشده است. بررسی گزارش‌های بیلان در این دوره بیانگر این است که با توجه به اینکه مبنای تعیین کمیت‌هایی مانند نفوذ از سنگ بستر و نیز محاسبه آن به عنوان مجهول در روابط بیلان بوده، ابهامات زیادی متوجه مقادیر و نحوه برآورد آن وارد بوده که می‌تواند باعث افزایش خطا و عدم قطعیت گردد. ارائه این نکته ضروری است که در گزارش‌های بیلان از سال ۱۳۸۹ تا به امروز این مؤلفه در برآورد بیلان در نظر گرفته نشده و قبل از آن نیز در مطالعه (KCE (2002)، این مؤلفه فقط به استناد از گزارش‌های ماقبل در نظر گرفته شده که با مجهول قرار دادن آن در معادله بیلان، مقدار آن برآورد شده است.

در محاسبات ارائه شده است. این ضریب ۱۰ درصد یا ۲۰ درصد در نظر گرفته شده است. از سال ۱۳۵۴ به بعد، در همه گزارش‌های ارائه شده برای بیلان، ضرایب آب برگشتی برای بخش شرب، صنعت و کشاورزی در نظر گرفته شده است. برای بخش کشاورزی ضرایب در نظر گرفته شده از ۲۰ درصد تا ۳۳ درصد متفاوت بوده است. برای بخش شرب و صنعت نیز از ۶۰ تا ۷۵ درصد در نظر گرفته شده است. بررسی گزارش‌ها و استخراج ضرایب فوق نشان می‌دهد که یک رویکرد مشخص و روش‌شناسی یکسانی برای تعیین ضرایب محدوده مطالعاتی وجود نداشته است که این موضوع نیز یکی از نقدهای بیلان گذشته می‌باشد و می‌تواند بر روی مؤلفه نفوذ تأثیرگذار باشد. همچنین در هیچ کدام از این مطالعات، رویکرد روشنی برای تخمین مقدار تغذیه به آب زیرزمینی محقق شده از حجم نفوذ گرفته نشده است.

### ضریب ذخیره: استخراج ضرایب ذخیره از گزارش‌های

بیلان محدوده در گذشته نشان می‌دهد که تفاوت قابل توجهی در این گزارش‌ها وجود دارد. محدوده تغییرات این ضریب بین ۳ تا ۱۲/۵ درصد در گزارش‌های بیلان تا سال ۱۳۵۴ به نحوه تعیین این ضریب تا حدودی اشاره شده و دلایل در نظر گرفتن آن نیز ذکر شده است، در گزارش‌های اخیر بیلان یک عدد به استناد مراجع گذشته در نظر گرفته شده است که در حدود پنج درصد است. یکی از اثرات در نظر گرفتن ضریب ذخیره متفاوت، محاسبه تغییرات ذخیره زیرزمینی مختلف به ازای افت سطح آب یکسان می‌باشد. این مهم یکی از عدم قطعیت‌های موجود در برآورد بیلان‌های گذشته است و دلیل آن را می‌توان عدم اندازه‌گیری ضریب ذخیره خاک در سال‌های اخیر دانست.

### ضریب قابلیت انتقال: مشابه با ضریب ذخیره خاک، برای

جدول ۳- مقادیر مؤلفه‌های ورودی بیلان در مطالعات گذشته محدوده مطالعاتی رفسنجان

مرجع	سال بیلان	مساحت (کیلومتر مربع)	مؤلفه‌های ورودی				ورودی زیرزمینی	نفوذ از بارش	نفوذ جریان نفوذ از سنگ بستر	نفوذ از بارش در ارتفاعات	برگشتی	
			کشاورزی	صنعت	برگشتی شرب	مجموع						
OKWR (1972)	۱۳۵۰	۱۶۶۴	۱۱۱/۷	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱۶/۴	۰	
OKWR (1973)	۱۳۵۱-۵۲	۱۱۷۹	۵۳/۵	۰	۰	۰	۰	۴۴/۳	۲۳	۲۹/۸	۰	
OKWR (1974)	۱۳۵۱-۵۳	۱۱۷۹	۵۳/۵	۰	۰	۰	۰	۲۸/۴	۸۴/۷	۴۱/۹	۰	
OKWR (1975)	۱۳۵۱-۵۴	۱۶۶۴	۱۰۹/۶	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۲۰/۱	۰	
JCE (1999)	۱۳۷۲-۷۳	۸۲۰۰	۲۱۰	۷۹/۵	۷۶/۷	۲۱۰	۷۹/۵	۰	۰	۲۱۶/۹	۲۴/۱	
KCE (2002)	۱۳۷۰-۸۰	۴۱۰۷/۹	۱۳۶/۳	۳۸	۳۳/۲	۱۳۶/۳	۳۸	۲۲۲/۹	۰	۱۵۶/۲	۲۷/۴	
KCE (2006)	۱۳۸۰-۸۱	۴۱۰۷/۹	۱۰۷/۱	۵۴/۴	۰	۱۰۷/۱	۵۴/۴	۱۸۳/۵	۳۵/۹	۱۲۹/۱	۲۶/۳	
Haili Ab (2010)	۱۳۸۴-۸۵	۴۲۵۶	۸۷/۷	۵۶/۴	۵۰/۱	۸۷/۷	۵۶/۴	۰	۰	۱۹۷/۷	۱۲/۲	
JCE (2012)	۱۳۸۵-۸۶	۴۱۰۰	۷۶/۲	۶۸/۱	۳۱/۵	۷۶/۲	۶۸/۱	۰	۰	۱۹۷/۷	۱۲/۲	
JCE (2012)	۱۳۷۵-۸۶	۴۱۰۰	۸۷/۷	۵۶/۴	۵۰/۱	۸۷/۷	۵۶/۴	۰	۰	۱۹۷/۷	۱۲/۲	
IWRMC (2015)	۱۳۸۹-۹۰	۴۲۹۸/۶	۲۲۴/۶	۴۰/۴	۴۵/۵	۲۲۴/۶	۴۰/۴	۰	۰	۲۳۲	۴۲/۱	
Babaei and Ketabchi (2020)	۱۳۸۸-۹۵	۴۳۰۰	۸۷/۴	ن	-	۸۷/۴	ن	۰	۰	۳۱۸/۶	ن	

- ناچیز فرض شده است؛ ن: نامشخص؛ ت: با روابط تجربی و قضاوت کارشناسی برآورد شده

گذشته نشان می‌دهد (جدول ۳ و ۴) که دوره زمانی معرف، حجم آب ورودی به آبخوان و خروجی از آن معمولاً با مقیاس زمانی

ورود و خروج آب زیرزمینی: بررسی گزارش‌های بیلان

مصرف آب زیرزمینی (در بخش کشاورزی، شرب و صنعت) از دهه ۱۳۷۰ به بعد نسبت به دهه ۱۳۵۰ بیش از سه برابر شده است. همچنین از دهه ۱۳۷۰ به بعد میزان برداشت آب از منابع آب زیرزمینی کاهش یافته است که می‌تواند به دلیل افت سطح آب زیرزمینی و عدم امکان برداشت از آن باشد. در دوره برآورد بیلان ۹۰-۱۳۸۹ حجم برداشت از آب زیرزمینی نسبت به سه دوره قبل افزایش داشته است. اندازه‌گیری این پارامتر نیز در صورت نبودن کنتور حجمی بر روی چاه‌های بهره‌برداري و نداشتن آمار دقیق از تعداد چاه‌ها می‌تواند خطای زیادی داشته باشد.

دوره بیلان متفاوت بوده است. برخی از مطالعات سطح آب زیرزمینی را به صورت بلندمدت در محاسبات مدنظر قرار داده‌اند و برخی از مطالعات مانند (KCE 2006) یک سال آبی را برای ورود و خروج استفاده نموده‌اند. این مهم با توجه به اینکه به گرادیان هیدرولیکی بستگی دارد می‌تواند بر تعیین جبهه‌های ورودی و خروجی از آبخوان و همچنین حجم آب ورودی و خروجی تأثیر بسزایی باشد.

**تخلیه از منابع آب زیرزمینی:** مطابق با جدول (۴)،

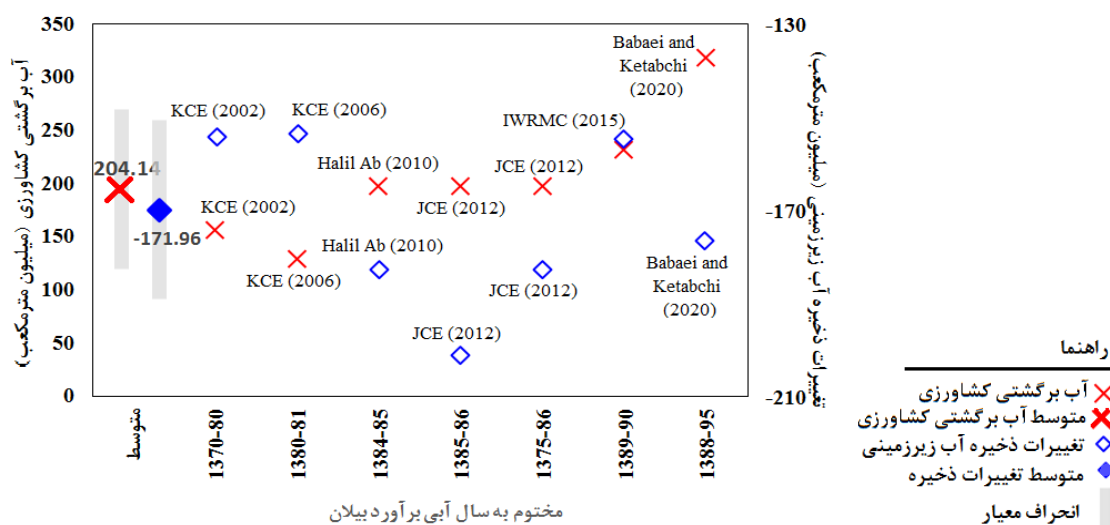
جدول ۴- مقادیر مؤلفه‌های خروجی بیلان و کسری مخزن در مطالعات گذشته محدوده مطالعاتی رفسنجان

مرجع	سال بیلان	مساحت بیلان (کیلومترمربع)	تخلیه زیرزمینی	مؤلفه‌های خروجی					تغییرات ذخیره آب زیرزمینی	
				خروجی زیرزمینی	زهکش	نفوذ از سفره به کف	تبخیر از آب زیرزمینی	تعرق		مجموع خروجی
OKWR (1972)	۱۳۵۰	۱۶۶۴	۱۶۳/۲	۱۶/۵	۰	۰	۱۵/۸	۵/۲	۲۰۰/۷	-۷۲/۶
OKWR (1973)	۱۳۵۱-۵۲	۱۱۷۹	۱۴۹/۱	۱۵/۵	۰	۰	۶/۱	۰	۱۷۰/۷	-۲۰/۱
OKWR (1974)	۱۳۵۱-۵۳	۱۱۷۹	۲۰۹/۲	۱۵/۵	۰	۰	۶/۱	۰	۲۳۰/۸	-۲۲/۳
OKWR (1975)	۱۳۵۱-۵۴	۱۶۶۴	۲۰۰/۷	۲۵/۹	۰	۰	۱۴	۶	۲۴۶/۶	-۱۱۶/۹
JCE (1999)	۱۳۷۲-۷۳	۸۲۰۰	۷۸۰/۳	۰	۲	۰	۳	۰	۷۸۵/۳	-۱۷۸/۱
KCE (2002)	۱۳۷۰-۸۰	۴۱۰۷/۹	۷۳۷/۲	۳۰/۸	۰	۰	۰	۰	۷۶۸	-۱۵۴
KCE (2006)	۱۳۸۰-۸۱	۴۱۰۷/۹	۶۷۲/۳	۱۷/۳	۰	۰	۰	۰	۶۸۹/۶	-۱۵۳/۳
Haili Ab (2010)	۱۳۸۴-۸۵	۴۲۵۶	۵۸۵/۲	۱/۳	۰	۰	۰	۰	۵۸۶/۵	-۱۸۲/۴
JCE (2012)	۱۳۸۵-۸۶	۴۱۰۰	۵۸۵/۲	۱/۵	۰	۰	۰	۰	۵۸۶/۵	-۲۰/۱
JCE (2012)	۱۳۷۵-۸۶	۴۱۰۰	۵۸۵/۲	۱/۳	۰	۰	۰	۰	۵۸۶/۵	-۱۸۲/۴
IWRMC (2015)	۱۳۸۹-۹۰	۴۲۹۸/۶	۷۳۶/۴	۲/۵	۰	۰	۰	۰	۷۳۸/۹	-۱۵۴/۳
Babaei and Ketabchi (2020)	۹۵-۱۳۸۸	۴۳۰۰	۶۸۳/۳	۲/۶	۰	۰	۰	۰	۶۸۵/۹	-۱۷۶/۳

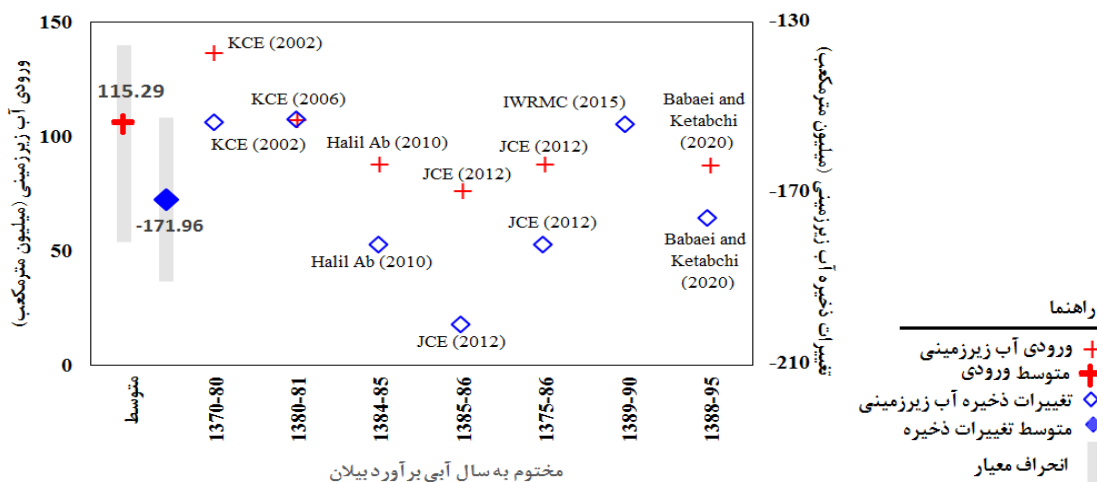
شکل (۶) قابل مشاهده است که با شیب زیادی مقادیر خروجی در دوره بیلان ۸۰-۱۳۷۰ تا ۸۵-۱۳۸۴ نزولی بوده و مقادیر خروجی حدود ۹۶ درصد کاهش را نشان می‌دهد. برای این مؤلفه، مقادیر متوسط و انحراف معیار به ترتیب حدود ۸ و ۱۱/۵ میلیون مترمکعب محاسبه شده است. برای مؤلفه تخلیه آب زیرزمینی، شکل (۷) نشان می‌دهد که در دوره بیلان ۹۰-۱۳۸۹، حجم تخلیه حدود ۷۳۷ میلیون مترمکعب محاسبه شده که بیشترین مقدار تخلیه در دوره‌های بیلان گذشته است و سپس به دلیل کاهش امکان برداشت و خشک شدن چاه‌ها، مقدار آن نزولی شده است. متوسط و انحراف معیار این مؤلفه به ترتیب ۶۵۵ و ۶۹/۵ میلیون مترمکعب محاسبه شده است. مقادیر حجم نفوذ از بارش در دوره‌های مختلف بیلان در شکل (۸) ارائه شده است. همانطور که در این شکل قابل مشاهده است این مؤلفه روندی صعودی و سپس نزولی را داشته و بیشترین مقدار آن در دوره بیلان ۸۶-۱۳۸۵ حدود ۶۸ میلیون مترمکعب برآورد شده و در مقایسه با دوره بیلان ۹۰-۱۳۸۹ حدود ۴۱ درصد کاهش را نشان می‌دهد.

در شکل‌های (۴ تا ۸) به ترتیب مقادیر حجم آب برگشتی کشاورزی، ورودی و خروجی آب زیرزمینی، تخلیه و نفوذ از بارش به همراه مقادیر حجم تغییرات ذخیره آب زیرزمینی نشان داده شده است. همچنین به جهت مقایسه معنادار مقادیر ارائه شده، از داده و اطلاعات دوره‌های بیلان بلندمدت استفاده شده است. همانطور که در شکل (۴) قابل مشاهده است، متوسط حجم آب برگشتی کشاورزی حدود ۲۰۴ میلیون مترمکعب با انحراف معیار ۶۰/۵ میلیون مترمکعب محاسبه شده است. در دوره‌های بیلان‌های اخیر نیز روند افزایشی این مؤلفه قابل مشاهده است. در کنار این مؤلفه، مقدار تغییرات ذخیره آب زیرزمینی نیز با متوسط حدود ۱۷۲- میلیون مترمکعب و با انحراف معیار ۱۸/۵ میلیون مترمکعب برآورد شده است. در رابطه با حجم ورودی آب زیرزمینی همانطور که در شکل (۵) قابل مشاهده است این مؤلفه روند نزولی و سپس صعودی را داشته و به ترتیب مقادیر متوسط و انحراف معیار آن حدود ۱۱۵ و ۵۲ میلیون مترمکعب محاسبه شده است. این روند برای مؤلفه خروجی آب زیرزمینی نیز در

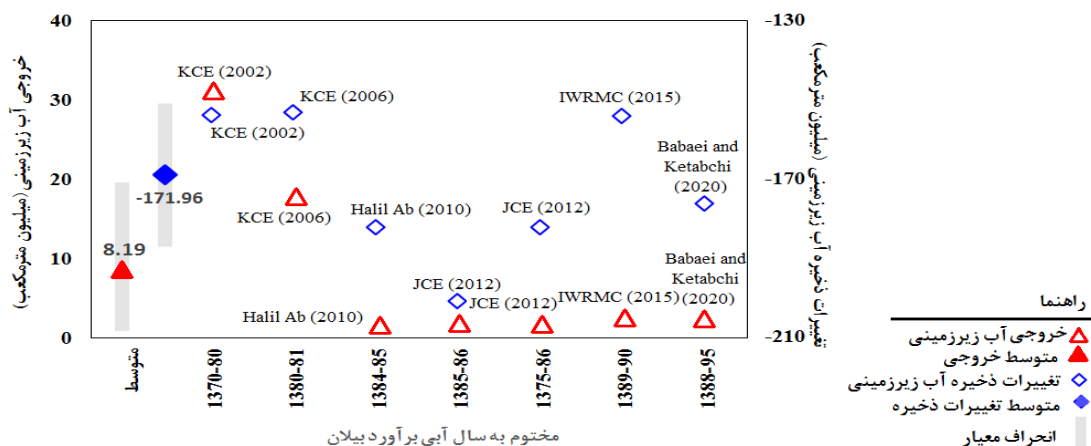
بر اساس اطلاعات بررسی شده در پژوهش حاضر از دوره بیلان‌های گذشته، مقادیر متوسط و انحراف معیار این مؤلفه به ترتیب ۵۲/۳ و ۱۱/۳ میلیون مترمکعب محاسبه شده است.



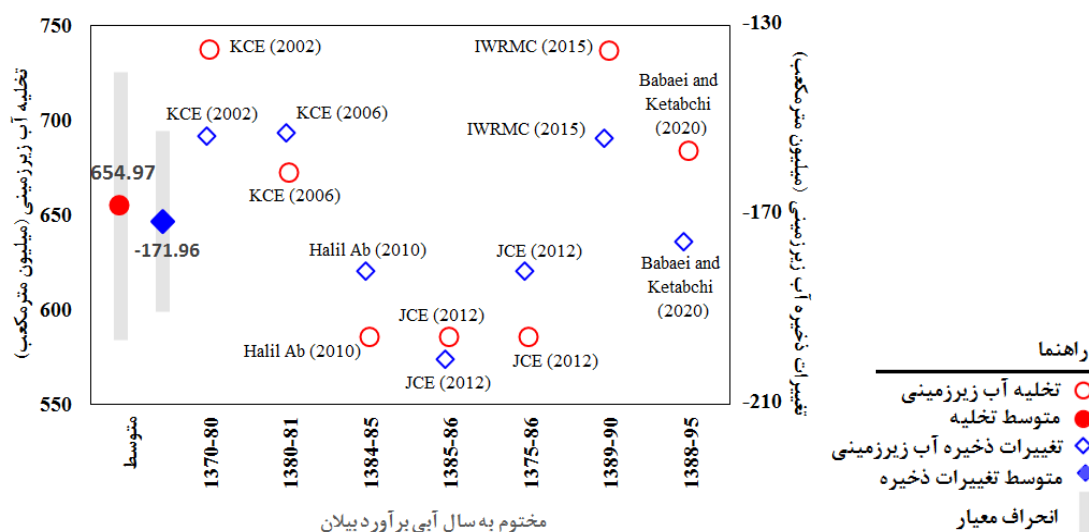
شکل ۴- مقادیر حجم آب برگشتی کشاورزی در دوره‌های مختلف بیلان و به همراه مقادیر تغییرات ذخیره آب زیرزمینی



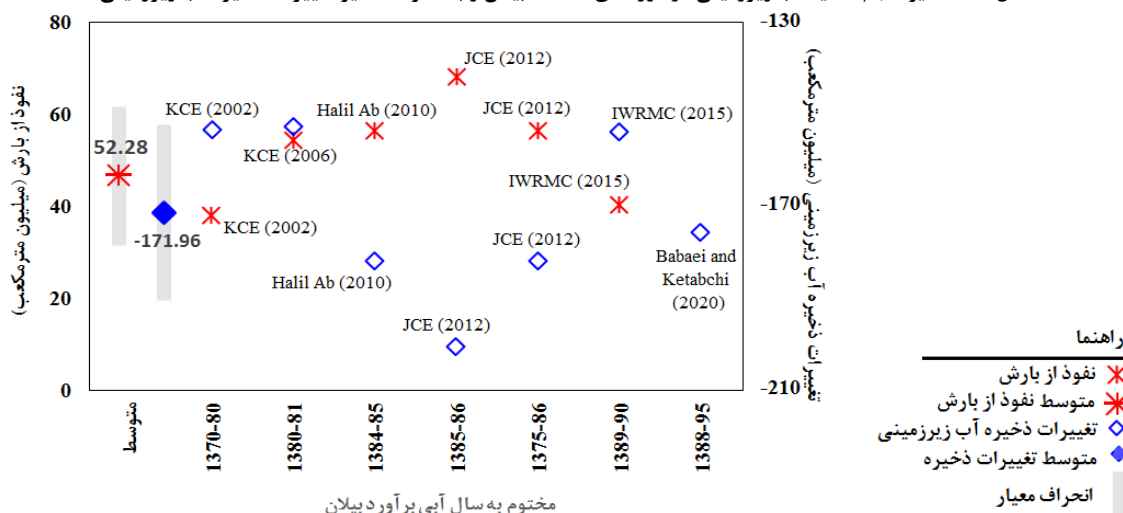
شکل ۵- مقادیر حجم ورودی آب زیرزمینی در دوره‌های مختلف بیلان و به همراه مقادیر تغییرات ذخیره آب زیرزمینی



شکل ۶- مقادیر حجم خروجی آب زیرزمینی در دوره‌های مختلف بیلان و به همراه مقادیر تغییرات ذخیره آب زیرزمینی



شکل ۷- مقادیر حجم تخلیه آب زیرزمینی در دوره‌های مختلف بیلان و به همراه مقادیر تغییرات ذخیره آب زیرزمینی



شکل ۸- مقادیر حجم نفوذ از بارش در دوره‌های مختلف بیلان و به همراه مقادیر تغییرات ذخیره آب زیرزمینی

برعهده گروه تلفیق و بیلان براساس ساختار سابق دفتر مطالعات پایه منابع آب شرکت مدیریت منابع آب کشور بوده که در این زمینه دستورالعمل‌های نحوه برآورد بیلان ارائه شده است. بررسی‌های انجام شده در سطح این پژوهش نشان می‌دهد که نظارت و کنترل کیفیت برآورد بیلان به شکل مشخصی در این ساختار گنجانده نشده و در نظر گرفتن این مهم در اصلاح روش برآورد بیلان می‌تواند نقش مهمی داشته باشد. این موضوع لازم است در دفاتر آب منطقه‌ای‌ها، از جمله آب منطقه‌ای استان کرمان نیز مطرح و در ساختار آنها دیده شود.

#### تحلیل زیرساخت‌ها، امکانات نرم‌افزاری و سخت‌افزاری

یکی از ضعف‌های موجود در محدوده مطالعاتی، تجهیزات و امکانات سخت‌افزاری است که از جمله آنها می‌توان به نبود دیتالاگرها و لایسیترها اشاره نمود. استفاده از لایسیترها برای اندازه‌گیری تبخیر و تعرق و نفوذ و دیتالاگرها برای اندازه‌گیری دمای هوا، رطوبت نسبی، شدت نور، درجه حرارت آب، سطح آب،

#### تحلیل ساختاری و نهادی

براساس بررسی و مطالعات صورت گرفته در محدوده مطالعاتی مورد بررسی، فرآیند کنترل و تضمین کیفیت برآورد بیلان یکی از مسائل مهمی است که کمتر مورد توجه قرار گرفته و خطا در برآورد بیلان‌ها را افزایش داده است. بررسی این فرآیند در وضع حاضر و در مقایسه با دهه ۱۳۵۰ بیانگر این است که در گذشته بیلان‌های برآورد شده توسط کارشناسان سازمان (اداره کل آب‌های زیرزمینی) انجام شده است. بررسی دقیق گزارش‌های دریافتی نشان می‌دهد که با توجه به شناخت کافی و مشارکت کارشناسان سازمان در برآورد بیلان، فرآیند کنترل و تضمین کیفیت گزارش‌های تهیه شده به نوعی انجام شده است. از دهه ۱۳۷۰، مطالعات بیلان توسط مهندسين مشاور زیر نظر وزارت نیرو در قالب گزارش‌های طرح جامع آب کشور، اطلس منابع آب کشور، بهنگام‌سازی طرح جامع آب کشور انجام شده است. موضوع فرآیند کنترل و تضمین کیفیت برآورد بیلان در سطح کلان

دوره‌های بلندمدتی همچون سالانه توصیه شده است. توجه به این نکته ضروری است که در صورتی که منابع آب زیرزمینی در محدوده برآورد بیلان، سهم عمده‌ای از بیلان را داشته باشند، با توجه به تأخیر مذکور در پاسخ سیستم آب زیرزمینی نسبت به تغذیه از سطح و همچنین سرعت کم جریان در آبخوان، پیشنهاد شده است تا برای برآورد بیلان با در نظرگیری بیلان آب زیرزمینی و ذخیره آبخوان، از مقیاس زمانی سالانه و بیشتر (برای نمونه ۱۰ تا ۲۰ سال) استفاده شود.

دو مؤلفه مهم بیلان، برآورد حجم تغذیه و تبخیر و تعرق است. مؤلفه تغذیه دارای دو بخش تغذیه ناشی از بارش و تغذیه ناشی از آب برگشتی است. برای برآورد تغذیه ناشی از بارش در تهیه بیلان آب زیرزمینی کشور، از میزان متوسط درازمدت بارش مربوط به منطقه، میزان تبخیر و تعرق (که اغلب براساس روابط تجربی حساب می‌شود) کسر می‌شود از مقادیر باقی مانده بارش بخشی از آن که تبدیل به رواناب سطحی می‌شود نیز کسر شده و میزان بارش باقیمانده به عنوان تغذیه ناشی از بارش در بیلان لحاظ می‌گردد. از آنجایی که میزان نفوذ آب برای مناطق مختلف حوضه مورد مطالعه باتوجه به نوع خاک، متفاوت می‌باشد لذا تغذیه ناشی از بارش که نسبتی از میزان بارش (ضریب تغذیه ناشی از بارش) است باید بصورت عملی و با روش‌های اندازه‌گیری مستقیم مورد بررسی دقیق قرار گیرد تا مقادیر واقعی برای هر بخش از سطح آبخوان لحاظ گردد. همچنین می‌توان مقدار تبخیر و تعرق واقعی با روش‌های نوین از جمله سنجش از دور را برآورد نمود و در افزایش دقت مؤلفه تغذیه استفاده نمود. براساس بررسی تجربیات بین‌المللی توجه به روش‌های مختلف برآورد تغذیه آبخوان با توجه به ویژگی‌های مکانی و زمانی و همچنین منبع تغذیه (بارش، آب برگشتی و ...) و انطباق آنها با اندازه‌گیری‌های میدانی و مشاهدات در کارهای جهانی توصیه شده است. همچنین توجه به تأخیر زمانی مابین ورود آب به خاک (نفوذ) و رسیدن آن به سفره آب زیرزمینی و تغذیه آن بخصوص در آبخوان‌هایی که سطح آب زیرزمینی در عمق بیشتری قرار دارد نیز ضروری تشخیص داده شده است. مؤلفه‌های ورودی و خروجی آبخوان رفسنجان مهم است چرا که حجم آب ورودی به آبخوان در این محدوده قابل توجه است. عدم اندازه‌گیری‌های جدید برای تعیین ضرایب ذخیره خاک و ضریب قابلیت انتقال و همچنین عدم برزرسانی این اطلاعات در محدوده مطالعاتی رفسنجان، عدم قطعیت‌های زیادی را در برآورد بیلان به‌همراه داشته است.

#### پیشنهاد راهکارهای حل چالش‌ها

پیشنهادها و راهکارهای مدنظر به جهت کاهش خطا و

اکسیژن محلول، رطوبت خاک، میزان بارندگی، سرعت و جهت باد، می‌تواند در برآورد پارامترهای بیلان آبخوان رفسنجان استفاده و نقش مهمی در افزایش دقت آن دارند. بررسی مطالعات گذشته نشان می‌دهد که برای تعیین ضرایب قابلیت انتقال و ضریب ذخیره از تعداد محدودی چاه اکتشافی (فقط چهار حلقه چاه) که مربوط به دهه ۱۳۴۰ بوده استفاده شده و مطالعات بیلان آبخوان رفسنجان با استناد این ضرایب انجام شده است. از این رو هدایت انجام اندازه‌گیری‌ها و کارهای میدانی دوره‌ای در آبخوان‌ها بسوی افزایش دقت برآورد پارامترهایی مانند ضرایب قابلیت انتقال و ضریب ذخیره براساس داده‌های حاصل از چاه‌های اکتشافی و آزمون پمپاژ بروز، می‌تواند نتایج با دقت مناسبی داشته باشد. در مجموع می‌توان گفت که عدم توجه به برزرسانی روش‌ها، فناوری‌ها، تجهیزات سخت‌افزاری و نرم‌افزاری، موجب کاهش دقت تخمین بیلان آب زیرزمینی شده و لازم است سرمایه‌گذاری‌ها و تخصیص منابع مالی به جهت خرید و نصب تجهیزات لازم و همچنین بروز نمودن اطلاعات پایه‌ای استان، انجام شود.

#### مقایسه تطبیقی و تحلیلی با تجربیات بین‌المللی

مطابق با روش‌شناسی تشریح شده برای انجام مطالعات مقایسه‌ای تطبیقی و تحلیلی، در ابتدا بررسی‌ها در سطح ملی انجام شده و بیانگر این است که اولین برآورد بیلان در محدوده مطالعاتی رفسنجان به دهه ۱۳۵۰ بر می‌گردد. اولین دستورالعمل تهیه بیلان آب (IWRMC, 1991)، توسط دفتر بررسی‌های منابع آب وزرات نیرو ارائه شد که شرکت‌های تابعه وزارت نیرو باید از آن پیروی می‌کردند. تمرکز این دستورالعمل بکارگیری روش‌های مرسوم و بدون استفاده از روش‌هایی با اطلاعات وسیع یا روابط دقیق بوده است. در این دستورالعمل نحوه محاسبه بیلان آب حوضه آبریز و بیلان آب زیرزمینی آبخوان تشریح شده است. دستورالعمل اولیه تهیه بیلان آب (IWRMC, 1991) و دستورالعمل تهیه گزارش بیلان آب (IWRMC, 2010)، مورد بازنگری قرار گرفت که در حال حاضر مبنای تهیه گزارش‌های بیلان آبی کشور از جمله آبخوان رفسنجان بوده و در قالب پروژه‌های تهیه و یا بهنگام‌سازی اطلس‌های منابع آب تهیه و ارائه می‌شود. در برخی موارد نیز بیلان محدوده‌های مطالعاتی مستقل از پروژه‌های اطلس منابع آب تهیه می‌شود که نمونه آن بیلان‌های برآورد شده برای محدوده مطالعاتی رفسنجان توسط مهندسين کاوآب و مشاور یکم که هر چند سال یکبار می‌باشد. مقایسه این دستورالعمل با دستورالعمل‌های موجود در اروپا، استرالیا و هند نشان می‌دهد که از نظر مقیاس زمانی، برآورد بیلان برای

عدم قطعیت در مطالعات بیلان برای محدوده مطالعاتی در دو سطح ارائه می‌گردد. در سطح اول تجهیز نمودن محدوده مطالعاتی به امکانات سخت‌افزاری است که از جمله این تجهیزات می‌توان به نصب لایسیمتر و دیتالاگر و بهره‌برداری و نگهداری مناسب از آنها اشاره نمود که در اندازه‌گیری برخی پارامترها شامل تبخیر و تعرق و نفوذ می‌تواند بسیار کمک کننده باشد. همچنین نصب امکانات اندازه‌گیری جبهه رطوبت در محیط غیراشباع و آزمودن زمان پیمایش آب در ناحیه غیراشباع با روش‌هایی همچون آزمون ردیاب می‌تواند در تعیین رابطه همبستگی بین سری زمانی نوسانات سالانه سطح سفره آب زیرزمینی و سری زمانی سالانه مقدار تغذیه سطحی کمک نماید تا زمان تأخیر را برآورد نمود. در صورت دستیابی به این زمان تأخیر، می‌توان آن را در وارد کردن مؤلفه‌های بیلان در معادله بیلان ملحوظ داشت. بکارگیری روش‌های دیگر تکنیک سنجش از دور برای برآورد تبخیر و تعرق (و بطور مستقیم یا غیرمستقیم سایر مؤلفه‌های بیلان) که بدیهی است با فراهم شدن امکانات و پیش‌نیازهای آن می‌تواند منجر به دقت بیشتر محاسبات بیلان گردد. همچنین بکارگیری روش سنجش از دور به جهت تخمین بارش، تبخیر و تعرق و استفاده از داده‌های زمینی برای صحت‌سنجی آنها می‌تواند به افزایش دقت برآورد مؤلفه تغذیه کمک کند که بررسی و امکان‌سنجی آن نیز پیشنهاد می‌گردد. بازنگری و بروزرسانی شبکه پایش چاه‌های مشاهده‌ای منطقه به دلیل کمبود داده‌های اندازه‌گیری سطح آب زیرزمینی بخصوص در نزدیکی مرزهای آبخوان که منجر به دقت کم برآوردهای ورود و خروج آبخوان می‌گردد (طراحی شبکه پایش و رفع نقصان وضع موجود آن). همچنین بروزرسانی اطلاعات هیدرودینامیکی آبخوان که نیازمند حفر چاه‌های اکتشافی جدید و برآورد مقادیر ضریب قابلیت انتقال و ضریب ذخیره لازم است. غنی‌تر نمودن شبکه چاه‌های مشاهده‌ای بخصوص در نواحی نزدیک به مرزهای محدوده آبخوان و اندازه‌گیری سطح آب زیرزمینی در آنها. اندازه‌گیری مقدار تخلیه و برداشت از چاه‌های بهره‌برداری و قنوات هم در تواتر کمتر از پنج سال (حداقل سالانه) و هم با روشی دقیق‌تر به طوری که عدد حاصل، قابل اعتمادتر باشد توصیه می‌شود. در نهایت تدوین چارچوبی به جهت کنترل و تضمین کیفیت برآورد بیلان که لازم است نظارت و کنترل کیفیت برآورد بیلان به شکل مشخصی در ساختار دفتر مطالعات پایه/شرکت آب منطقه‌ای استان مدنظر قرار گیرد.

در سطح دوم استفاده از مدل‌های ریاضی به جهت ارائه نتایج با دقت مناسب است. بر اساس بررسی‌های صورت گرفته و داده و اطلاعات جمع‌آوری شده از محدوده مطالعاتی رفسنجان

می‌توان گفت که مدل‌سازی آبخوان رفسنجان بر اساس داده و اطلاعات جدید و همچنین مسائل و چالش‌های موجود در محدوده لازم و ضروری به نظر می‌رسد. استفاده از مدل به جهت شناخت و ارزیابی وضعیت موجود آبخوان رفسنجان و همچنین افزایش دقت برآورد ضرایبی که عمدتاً به صورت تجربی یا کارشناسی در نظر گرفته می‌شود می‌تواند کمک بسزایی نماید. توسعه سامانه‌های تصمیم‌یار نیز می‌تواند به عنوان یک ابزار تلفیقی برای ارزیابی گزینه‌های مختلف تصمیم‌گیری با توجه به الزامات گوناگون از جمله محدودیت‌های قانونی، مسائل فنی، محیط‌زیست، مسائل اقتصادی و مالی، بکار گرفته شود. نتایج حاصل از این ارزیابی به مدیران در اتخاذ تصمیمات بهینه علمی و عملی کمک می‌نماید. تحقق این امر دارای پیش‌نیازهایی است و در چند مرحله باید نهایی گردد. پیشنهاد به کارگیری از این ابزار بر اساس تجربیات موجود بین‌المللی، بر روی آبخوان رفسنجان امکانپذیر بوده که نیازمند داشتن نگاهی نو در مدیریت منابع آب در آبخوان رفسنجان بخصوص منابع آب زیرزمینی می‌باشد. به جهت پیاده‌سازی این ابزار در محدوده مطالعاتی بر روی سه فاز مهم (۱) امکان‌سنجی پیاده‌سازی سامانه‌های تصمیم‌یار در حوزه مدیریت منابع آب بخصوص آب زیرزمینی محدوده مطالعاتی رفسنجان و هدفگذاری مبتنی بر واقعیت، (۲) طراحی سامانه تصمیم‌یار مبتنی بر سیستم‌های شبیه‌سازی - بهینه‌سازی و (۳) اجرای آن در محدوده مطالعاتی رفسنجان، تمرکز می‌گردد که ارائه مدل مفهومی و طرح سامانه تصمیم‌یار در مدیریت منابع آب زیرزمینی رفسنجان و همچنین طراحی و اجرای سامانه تصمیم‌یار در این محدوده از مهم‌ترین خروجی‌های این رویکرد است.

### نتیجه‌گیری

در مطالعه حاضر رویکرد تحلیلی و تطبیقی با هدف بررسی خطاها و عدم قطعیت‌های برآورد بیلان آبخوان رفسنجان مدنظر قرار گرفت. بر اساس این رویکرد و به جهت تحقق اهداف مدنظر، در ابتدا به جمع‌آوری داده و اطلاعات از طریق آمار و گزارش‌های پیشین پرداخته شد. سپس مطالعات بیلان آبخوان رفسنجان از گذشته تا به امروز به صورت تحلیلی و نقادانه بررسی گردید. در ادامه نیز به مسائل و چالش‌های موجود از بعدهای مختلف از جمله مسائل زیرساختی، مسائل مرتبط با کمبود داده و اطلاعات پرداخته شد. بر اساس بررسی‌های انجام شده از ضعف‌های موجود در محدوده مطالعاتی می‌توان به نبود دیتالاگرها (با اندازه‌گیری داده‌های منظم) و لایسیمترها (بصورت پراکنده در سطح دشت و در شرایط واقعی محدوده) اشاره نمود. همچنین اندازه‌گیری‌های انجام شده به جهت تعیین ضرایب قابلیت انتقال و ضریب ذخیره

از جمله تشکیل بانک اطلاعاتی پویا و آنلاین، یکسان‌سازی و همسوسازی کیفیت داده‌ها و اطلاعات، بهره‌گیری از تجربیات موفق بین‌المللی (نظیر تکنیک‌های سنجش از دور و رویکرد مدل‌سازی) نیاز است که پس از بومی‌سازی توسط صاحب‌نظران این حوزه، می‌تواند انجام پذیرد.

### سپاس‌گزاری

نویسندگان این مقاله از پژوهشکده مهندسی و مدیریت آب دانشگاه تربیت مدرس، شرکت مدیریت منابع آب ایران، شرکت آب منطقه‌ای کرمان و اندیشکده تدبیر آب ایران به جهت در اختیار قرار دادن بخشی از مراجع، داده‌ها و اطلاعات مورد استفاده در این مطالعه تشکر می‌نمایند. همچنین از حمایت مالی طرح (قرارداد پژوهشی شماره ۳۶۰/۴۹۷۶ با پژوهشکده مهندسی و مدیریت آب دانشگاه تربیت مدرس) از سوی اندیشکده تدبیر آب ایران، سپاس و قدردانی به عمل می‌آید. دیدگاه‌ها و تحلیل‌های ارائه‌شده نویسندگان مقاله حاضر، لزوماً دیدگاه‌های تأمین‌کنندگان داده‌ها و اطلاعات لازم و حامیان این تحقیق نیست.

"هیچ‌گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

### REFERENCES

- Alloisio, S. and Smith, H.R. (2016). Monthly groundwater budget for the aquifers in the Kelowna BC Area.
- Babaei, M., Ketabchi, H. (2020). Estimation of groundwater recharge rate using a distributed model (case study of Rafsanjan aquifer, Kerman province). *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 51(6), 1457-1468. (In Farsi).
- BOM (Bureau of Meteorology). (2010). Regional Water Balance: Initial Methods Review 2009, Melbourne, Australia.
- Burrell, M., Moss, P., Petrovic, J., Ali, A. (2017). *General Purpose Water Accounting Report 2015-2016: Murrumbidgee Catchment*, NSW Department of Primary Industries, Sydney
- Coelho, V. H. R., Montenegro, S., Almeida, C. N., Silva, B. B., Oliveira, L. M., Gusmão, A. C. V., ... & Montenegro, A. A. (2017). Alluvial groundwater recharge estimation in semi-arid environment using remotely sensed data. *Journal of Hydrology*, 548, 1-15.
- European Commission. (2015). Guidance document on the application of water balances for supporting the implementation of the WFD. Office for Official Publications of the European Communities.
- Halil Ab (Halil Ab Consulting Engineering). (2010). *Atlas of Iran Water Resources*. Report.
- Heilweil, V. M., & Brooks, L. E. (2010). Conceptual model of the Great Basin carbonate and alluvial aquifer system. *US Geological Survey Scientific Investigations Report*, 5193(2011), 191.
- IWPRI (Iranian water policy research institute). (2014). *Groundwater Sustainability Plan, Case Study of Rafsanjan Plain, Part 1*. (In Farsi).
- IWRMC (Iran Water Resources Management Company). (1991). *Instruction for preparation of water resources balance report*. (In Farsi).
- IWRMC (Iran Water Resources Management Company). (2010). *Instruction for preparation of water resources balance report*. (In Farsi).
- IWRMC (Iran Water Resources Management Company). (2015). *Report of Daranjir and Saghand river basin. Water resources balance report of the Rafsanjan study area*. Yekom Consulting Engineers Company. (In Farsi).
- JCE (Jamab Consulting Engineering). (1999). Report of studies on updating the comprehensive water plan of Daranjir and Saghand basin. Report. (In Farsi).
- JCE (Jamab Consulting Engineering). (2012). Report of studies on updating the comprehensive water plan of the country. Report. (In Farsi).
- KCE (Kavab Consulting Engineering). (1992). Optimal exploitation studies of groundwater resources in Rafsanjan plain, Report. (In Farsi).
- KCE (Kavab Consulting Engineering). (2002). *Report of studies on water balance of Rafsanjan study area*. Report. (In Farsi).
- KCE (Kavab Consulting Engineering). (2006). Strengthening the groundwater aquifer studies in the restricted area of Rafsanjan plain. Report. (In Farsi).

- Ketabchi, H., Mahmoudzadeh, D., Ghadimi, S., Saghi Jadid, M. (2018). *A review of evaluating groundwater balance in Iran: Methods and suggestions*. Islamic Parliament Research Center of the Islamic Republic of Iran, Head of Research and production, Department of Water and Environment. (In Farsi).
- Khazaei, B., Hosseini, S.M. (2015) Improving the performance of water balance equation using fuzzy logic approach. *Journal of hydrology* 524: 538-548.
- Marillier, B. (2012). *Nambeelup groundwater modelling report*, Water science technical series, report no.47, Department of Water, Western Australia.
- Molle, F., Gaafar, I., El-Agha, D. E., Rap, E. (2016). Irrigation efficiency and the Nile Delta water balance. *Water and Salt Management in the Nile Delta Project Report*, (9).
- Morgan, L. K., Harrington, N., Werner, A. D., Hutson, J. L., Woods, J., Knowling, M. (2015). South East Regional Water Balance Project-Phase 2. Development of a Regional Groundwater Flow Model. *Goyder Institute for Water Research Technical Report Series*, (15/38), 138.
- MOWR (Ministry of Water Resources). (2015). Methodology, G.R.E., 1997, 2009, 2015. Report of the groundwater resource estimation committee. Ministry of Water Resources, Government of India, New Delhi.
- OKWR (Office of Kerman basic water resources studies). (1972). *Report of studies on Rafsanjan, Nogh, Anar, Bayaz and Kashkuyeh plains*. Report. (In Farsi).
- OKWR (Office of Kerman basic water resources studies). (1973, 1974). *Continued report of studies on Rafsanjan, Nogh, Anar, Bayaz and Kashkuyeh plains*. Report. (In Farsi).
- OKWR (Office of Kerman basic water resources studies). (1975). Summary of statistics and description of the hydrogeological status of the Ardestan-Rafsanjan-Bafgh basin. Report. (In Farsi).
- RIWEM (Research Institute of Water Engineering and Management, Tarbiat Modares University). (2019). *Study for Accurate Groundwater Resources Balance of Rafsanjan Plain*. Iranian Water Policy Research Institute at Kerman Chamber of Commerce, Industries, Mines & Agriculture. (In Farsi).
- RWCK (Regional Water Company of Kerman). (2016). Proposing an extension of the Prohibition of groundwater resources in the Rafsanjan study area. Report. (In Farsi).
- Schuler, P., Margane, A. (2013). Water Balance for the Groundwater Contribution Zone of Jeita Spring using WEAP-Including Water Resources Management Options & Scenarios. Technical Cooperation Project 'Protection of Jeita Spring'. *German-Lebanese Technical Cooperation Project Protection of Jeita Spring, BGR*.
- Stanton, J.S., Qi, S.L., Ryter, D.W., Falk, S.E., Houston, N.A., Peterson, S.M., Westenbroek, S.M., and Christenson, S.C. (2011). *Selected approaches to estimate water-budget components of the High Plains, 1940 through 1949 and 2000 through 2009*, U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2011-5183, 79 p.
- Titus, R., Pietersen, K., Dennis, I. (2008). A Guideline for the Assessment, Planning and Management of Groundwater Resources in South Africa, Strategy and Guideline Development.
- UNESCO (2008). *Water resources assessment: integral water balance in basins*. UNESCO regional office for science for Latin America and the Caribbean.