# پایداری منابع آب زیرزمینی: مطالعه موردی دشت رفسنجان

## قسمت اول

با تأکید بر بررسی منابع عدم قطعیت در محاسبات بیلان آب زیرزمینی

اندیشکده تدبیر آب ایران از آبان ماه، سال ۱۳۹۱، به عنوان یکی از زیرمجموعه های کمیسیون کشاورزی و آب اتاق بازرگانی و صنایع و معادن و کشاورزی کرمان به منظور توسعه ظرفیت ها و ایجاد فضای تعامل و گفتگو میان ارکان مختلف جامعه، محیط کسب و کار و تشکیلات بخشی و فرابخشی مدیریت آب در کشور در مسیر بهبود حکمرانی آب، تأسیس گردیده است.

کلیه حقوق این مقاله محفوظ و متعلق به اندیشکده تدبیر آب ایران می‌باشد.

آدرس: تهران، کریم‌خان، خیابان نجات الهی شمالی، بالاتر از بیمارستان جامع زنان، پلاک۲۱۲، طبقه چهارم، واحد چهارم.

تلفن: ۸۸۹۴۷۴۰۰-۸۸۹۴۷۳۰۰-۰۲۱

تارنمای اندیشکده: WWW.IWPRI.COM

# فهرست مطالب


سخن آغازین..... ۴

۱. مقدمه..... ۷

۲. بررسی سابقه تحولات مفهومی و سیاستی..... ۸

۲-۱-تجربه کانزاس و هفت ایالت دیگر..... ۹

۲-۲-تجربه ایالت کالیفرنیا..... ۱۹

۲-۳-نتیجه‌گیری و جمع‌بندی..... ۲۲

۳. بررسی گزارش های بیلان قبلی در دشت رفسنجان..... ۲۴

۴. روش‌شناسی انجام کار..... ۵۲

۵. جمع‌بندی..... ۵۹

۶. مراجع :..... ۶۱


# فهرست اشکال


شکل ۱: تغییرات سطح آب زیرزمینی در دره سنتا کلارا- کالیفرنیا از دهه ۱۹۲۰ تاکنون..... ۲۱

شکل ۲: موقعیت سوندا‌ژهای انجام شده در دشت مرکزی رفسنجان..... ۲۶

شکل ۳: روند افزایش تخلیه و برداشت از منابع آب زیرزمینی دشت رفسنجان..... ۴۹

شکل ۴: تغذیه‌ی طبیعی و آب قابل برنامه‌ریزی منتج از گزارش‌های بیلان دشت رفسنجان..... ۵۱

شکل ۵: نحوه شکل‌گیری ذخیره‌ی آب در سفره‌های آب زیرزمینی..... ۵۳

# فهرست جداول

جدول ۱: فهرست گزارش های مورد بررسی در خصوص تهیه بیلان آب زیرزمینی در دشت رفسنجان ..۲۴

جدول ۲: مولفه‌های بیلان آب زیرزمینی دشت رفسنجان (سال ۱۳۵۰) .....۲۹

جدول ۳: مولفه‌های بیلان آب زیرزمینی دشت نوق (سال ۱۳۵۰).....۲۹

جدول ۴: مولفه های بیلان آب زیرزمینی دشت رفسنجان (سال آبی ۵۲-۱۳۵۱).....۳۳

جدول ۵: مولفه های بیلان آب زیرزمینی دشت نوق (سال آبی ۵۲-۱۳۵۱).....۳۳

جدول ۶: مولفه های بیلان آب زیرزمینی دشت رفسنجان (سال آبی ۵۳-۱۳۵۲).....۳۵

جدول ۷: مولفه‌های بیلان آب زیرزمینی دشت نوق (سال آبی ۵۳-۱۳۵۲) .....۳۵

جدول ۸: مولفه های بیلان آب زیرزمینی دشت رفسنجان (سال آبی ۷۳-۱۳۷۲).....۳۷

جدول ۹: تلفات عمقی نسبت به راندمان آبیاری و بافت خاک (به نقل از گزارش اطلس منابع آب).....۳۹

جدول ۱۰: مولفه های بیلان آب زیرزمینی دشت رفسنجان (سال آبی ۸۵-۱۳۸۴) .....۴۱

جدول ۱۱: محاسبات نفوذ از بارندگی در دشت رفسنجان .....۴۳

جدول ۱۲: مولفه‌های بیلان آب زیرزمینی دشت رفسنجان (دوره‌ی ۷۵ تا ۸۶ و سال آبی ۸۶-۱۳۸۵) .....۴۴

جدول ۱۳: نتایج بیلان محاسبه شده در گزارش‌های مختلف.....۴۶

## سخن آغازین

پدیده افت آب زیرزمینی در سراسر کشور به عنوان یک معضل مشترک در اکثر محدوده‌های مطالعاتی آبخوان‌های کشور که اصطلاحاً از آن‌ها به عنوان «دشت» یاد می‌شود، نمود پیدا کرده است.این معضل که به دنبال خود پدیده‌ی نشست زمین، کاهش کیفیت، افزایش شوری آب و کاهش آبدهی چاه‌ها را نیز در پی دارد، به عنوان یک تهدید جدی برای حفظ معیشت، پایداری جوامع محلی و سرمایه‌گذاری‌های اقتصادی بخصوص در بخش کشاورزی و باغداری از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در حال حاضر گسترش این پدیده و پیوند آن با موضوع و مباحث «بحران آب» برای عموم مردم کشور تامل برانگیز شده است. از این رو، شناخت آن و بررسی و تدوین راهکارهای جلوگیری از ادامه‌ی این روند، حتی از دید افراد غیرمتخصص نیز با علاقمندی پیگیری می‌شود. اندیشکده تدبیر آب ایران نیز به سهم خود تلاش‌هایی را در این زمینه برنامه‌ریزی و سازماندهی کرده است و نتایج آن را درشماره‌های مختلف فصلنامه گفت‌وگوی آب منتشر کرده است. در یک شماره از فصلنامه (فصلنامه شماره ۴) به همین موضوع پرداخته و یکی از مقالات پایه‌ای سیاست‌پژوهی خود را نیز با عنوان «آشنایی با منابع آب زیرزمینی» به همین امر اختصاص داده است. در مقاله ارزیابی مقدماتی حکمرانی آب کشور نیز شکاف‌های اطلاعاتی به عنوان یکی از شکاف‌های اصلی حکمرانی آب موجود مورد توجه قرار گرفته که بخشی از آن به موضوعات مهم آب زیرزمینی در این زمینه معطوف شده است. در این بررسی در خصوص ارزیابی منابع آب و ضرورت آن در کشور آمده است: «مدیریت آب مستلزم تشخیص طبیعت و دامنه مسئله‌ای است که باید مدیریت شود و این مهم از طریق ارزیابی منابع حاصل می شود. این ارزیابی ذخایر آبی و محدودیت‌های طبیعی مدیریت آن‌ها را مشخص می‌کند. هدف از این بررسی حل مسائل نیست، بلکه با تشخیص و فهرست کردن مسائل و تعیین محدوده‌های اولویت‌دار، امکان بررسی‌های تفصیلی‌تر فراهم شود.»

در مقاله فوق همچنین توضیح نسبتاً کاملی درباره ضرورت توجه به جمع‌آوری و تصحیح اطلاعات آمده است که پیرامون آب زیرزمینی از نظر ارزیابی ظرفیت‌ها و تاثیر آن در تخصیص و تعیین حقوق بهره‌برداران و کنترل افت آب زیرزمینی با توجه به عدم قطعیت‌ها آمده است: «بدلیل دشواری های برآورد ظرفیت مطمئن بهره‌برداری در شروع توسعه بهره‌برداری از آبخوان‌ها ممکن است صدور پروانه‌های مجاز بیش از ظرفیت مخزن باشد. ارزیابی صحیح منابع آب زیرزمینی از اقدامات عاجل مورد نیاز کشور است. برای رسیدن به شناخت صحیح از این منابع لازم است تا حد امکان با اصلاح روش‌شناسی انجام کار، چنین عدم‌قطعیت‌هایی را کاهش داد. بعلاوه، مسئله‌ی کنترل افت سطح آب زیرزمینی موضوعی پیچیده است و فقط به مباحث هیدرولوژیکی وابسته نیست، بلکه به ملاحظات اقتصادی، اجتماعی و قانونی نیز نیاز دارد. بررسی‌ها نشان می‌دهد که با افزایش

برداشت‌ها و در نتیجه افزایش لزوم حفظ پایداری چنین منابعی، ضرورت شناخت، برنامه‌ریزی برای بهره‌برداری مناسب‌تر و پایش مداوم آنها اجتناب‌ناپذیر می‌باشد.»

دشت رفسنجان یکی از مناطقی است که بشدت با مشکل افت تراز آب زیرزمینی مواجه شده است. از آن جایی که در منطقه‌ای کویری مانند دشت رفسنجان، آب زیرزمینی به عنوان تنها منابع آب قابل دسترس محسوب می‌شود، روند افت آبخوان حیات اجتماعی و اقتصادی منطقه را مورد تهدید جدی قرار داده است. به دنبال اهمیت توجه به منابع آب زیرزمینی در دشت رفسنجان، در تاریخ ۱۲ تیرماه ۱۳۹۲ نشست هم‌اندیشی با موضوع «راه‌های برون‌رفت از بحران آب دشت رفسنجان»، با همکاری «خانه کشاورز رفسنجان» و مشاوره و تسهیل گری «اندیشکده تدبیر آب ایران» در شهر رفسنجان، در سالن اجتماعات مؤسسه تحقیقات پسته کشور برگزار گردید. در این نشست بیش از ۵۰ نفر از گروه‌های مختلف اقتصادی-اجتماعی منطقه و استان کرمان، شامل پژوهشگران، باغداران پسته، صاحبان ترمینال‌های فرآوری پسته، صادرکنندگان پسته، صاحبان شرکت‌های حفاری، مسئولان منطقه و ... مشارکت کردند. زمینه های اصلی گفت‌وگو عبارت بودند از: «وضعیت آبخوان»، «ابعاد خسارت‌های مختلف بحران آب»، «راه‌های برون‌رفت از بحران» و «پیش‌نیازهای برون‌رفت از بحران».

بر این اساس در ابتدا وضعیت منابع و مصارف آب محدوده مطالعاتی رفسنجان، با توجه به نتایج مطالعات موجود درباره روند تخلیه و برداشت آب زیرزمینی در رفسنجان ارائه شد. در ادامه، ابعاد خسارت های مختلف بحران آب در منطقه مورد بحث و تبادل نظر قرار گرفت. سپس حاضرین به بررسی پیشنهادهای مطرح به عنوان راه‌های برون‌رفت از بحران آب پرداختند. در پایان نیز پیش‌شرط‌های اجرای راه‌حل‌ها مورد توجه قرار گرفت.

توضیحات ارائه شده درباره ویژگی های هیدروژئولوژیکی و بیلان آبخوان دشت رفسنجان در این نشست نشان می‌داد که پیچیدگی‌ها و عدم قطعیت‌های مهمی در برآورد موجودی آب آبخوان رفسنجان وجود دارد. علاوه بر این، بررسی سوابق مطالعات گذشته درباره بیلان آب و برآورد میزان آبدهی مطمئن در این دشت تفاوت‌های قابل ملاحظه‌ای را نمایان ساخت. بر این اساس ضرورت ارزیابی جدید و روشمند بیلان آب دشت رفسنجان با در نظرگرفتن عدم قطعیت‌ها بیش از پیش نمایان شد و شرکت کنندگان بر انجام چنین ارزیابی تأکید داشتند.

با توجه به ضرورت پیش گفته و تأکید شرکت کنندگان، پروژه «ارزیابی منابع و مصارف آب دشت رفسنجان » با حمایت مالی شرکت احیاء آب کویر و اندیشکده تدبیر آب ایران تعریف گردید.

در این پروژه مطالعاتی، توجه شده است که شناخت بیلان صحیح آب در مناطق خشک و نیمه‌خشک، یکی از الزامات مهم برای پایداری منطقه و مدیریت منابع آب زیرزمینی به شمار می‌آید. چنین شناختی مستلزم برآورد مؤلفه‌های بیلان، با در نظرگرفتن عدم قطعیت‌ها است. بررسی گزارش‌های قبلی مطالعات مربوط به

محاسبه بیلان در دشت رفسنجان بیانگر وجود عدم قطعیت های فراوان در انجام چنین محاسباتی است که جهت رسیدن به شناخت صحیح از این منابع لازم است تا حد امکان چنین عدم قطعیت‌هایی را کاهش داد.

بر این اساس هدف‌های مطالعه حاضر عبارت است از:

- بررسی منابع مختلف عدم قطعیت‌ها در محاسبات بیلان؛
- بررسی و تبیین عدم قطعیت در گزارش های قبلی بیلان منابع و مصارف آب در محدوده مطالعاتی رفسنجان؛
- شناسایی آسیب‌های احتمالی ناشی از روش انجام کار و در نظرگرفتن فرضیات در این گزارش‌ها،
- تدوین چارچوب کلی روش‌شناسی مطالعه بیلان در راستای کاهش عدم قطعیت‌ها.
- انجام مطالعات تکمیلی با هدف اعمال روش‌شناسی پیشنهادی برای کاهش عدم قطعیت‌ها

محتوای گزارش حاضر برای ارائه نتایج ۴ هدف اول از اهداف مطالعه به شرح فوق، تدوین شده و در دو بخش اصلی سازماندهی شده است. در بخش اول، روند تکاملی مفهوم آبدهی مطمئن در سفره های آب زیرزمینی و اثرات نامطلوب استفاده از این تعریف تشریح می شود. بخش دوم با بررسی گزارش های مطالعات انجام‌شده قبلی در دشت رفسنجان، با فرضیات و عدم قطعیت ها در محاسبات آبدهی مطمئن آغاز می‌شود. در ادامه به منظور مقابله با عدم قطعیت های موجود در برآورد مؤلفه‌های بیلان آب زیرزمینی، رفع کاستی‌های گذشته، و برآورد آب قابل برنامه‌ریزی در دشت‌ها چارچوب کلی روش‌شناسی انجام کار با ذکر جزئیات مربوط به هرکدام از عدم قطعیت‌ها ارائه می گردد. جمع‌بندی و پیشنهادها برای ادامه کار، بخش پایانی مطالعه را تشکیل می‌دهد.

این مطالعه با مدیریت سرکار خانم دکتر صدیقه ترابی و با همکاری خانم سعیده موسوی پور و آقای افشین رضایی انجام گرفته است. در اینجا اندیشکده تدبیر آب ایران از این همکاری و حمایت شرکت احیاء آب کویر برای انجام این مطالعه صمیمانه تشکر دارد. قسمت دوم این مطالعه که نتایج اعمال روش شناسی پیشنهادی برای کاهش عدم قطعیت هاست در مقاله مستقلی ارائه خواهد شد. امید است این گام کوچک مورد توجه جامعه متخصص و غیرمتخصص، مسئولین اجرایی و سیاستگذار و بویژه گروه های مختلف بهره‌بردار منابع آب قرار گیرد و با ارسال نظرات اصلاحی خود مایه دلگرمی و مساعدت ما را در پیمودن این مسیر فراهم کنند.

اندیشکده تدبیر آب ایران

## ۱. مقدمه

پایداری به عنوان اصل مهمی در مدیریت منابع طبیعی در سال‌های اخیر مطرح شده است. در پیاده‌سازی این اصل در مدیریت منابع آب زیرزمینی، مفهوم آبدهی مطمئن از گذشته تاکنون مورد توجه بوده است. بطور مثال ارزیابی انجام شده در استرالیا برای ۵۳۸ سفره آب زیرزمینی در سطح ملی در سال ۲۰۰۰ نشان می‌دهد که ۵۷ سفره از ظرفیت درازمدت شان بیشتر برداشت می‌کنند(Kalf and woolley). همچنین، مطابق با نشریه ۹۲ دفتر حفاظت و بهره‌برداری منابع آب و امور مشترکین شرکت مدیریت منابع آب ایران از ۶۰۹ محدوده مطالعاتی، ۲۹۴ محدوده ممنوعه هستند یعنی برداشت در آنها از پتانسیل‌شان فراتر رفته است. هرچند اغلب تعریف‌هایی که در خصوص پایداری مطرح می‌شود دارای ابهام بوده و نمی‌توان آنها را به آسانی به معیارهای کمی و قابل اندازه‌گیری تبدیل نمود، اما تلاش‌های زیادی برای بیان این ابهام‌ها و همچنین کمی نمودن آنها به ویژه در زمینه مدیریت منابع آب شده است.

با وجود تلاش مدیران منابع آب برای نزدیک کردن وضعیت برداشت از منابع آب زیرزمینی به سطحی پایدار با کاهش حجم آب تخصیص داده شده اما این موضوع منجر به بحث جدی پیرامون نحوه محاسبه‌ی ظرفیت یا پتانسیل یک سفره آب زیرزمینی شد بگونه‌ای که بتوان بصورت پایدار از آن استفاده نمود. در این راستا تاکنون دو مفهوم اصلی مورد بحث قرار گرفته است: مفهوم آبدهی مطمئن و با فاصله زمانی زیادی پس از آن مفهوم آبدهی پایدار. این مفاهیم به همراه تعدادی محدودیت‌های کاربردی بعنوان توسعه پایدار منابع آب زیرزمینی نامیده شدند (Hiscock و سایرین، ۲۰۰۲). تعریف مفهوم آبدهی مطمئن سیر تاریخی بسیار طولانی دارد که از سال ۱۹۱۵ توسط لی آغاز و تاکنون ادامه دارد. اما مشکل اینجاست که همواره ابهاماتی در این تعاریف وجود دارد که منجر به تفسیرهای مختلف می‌شود. به طوریکه آرمکانز (۱۹۹۷- به نقل از مرجع) در مقاله‌اش می‌نویسد: «درک واحد یا تعریف واحدی از آبدهی مطمئن در استرالیا وجود ندارد. کمیته ملی آب‌های زیرزمینی استرالیا آن را این گونه تعریف می‌کند: الگوی برداشت آب زیرزمینی در چارچوب زمانی برنامه‌ریزی معین که سطح قابل قبولی از تنش را مجاز می‌داند و ارزش‌های اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی وابسته را حفظ می‌کند. هرچند همراه این تعریف دو صفحه برای شروط آن نیز وجود دارد اما تعریف به گونه‌ای نوشته شده است که تفسیرهای مختلفی از آن می‌توان داشت. اگرچه اغلب ادارات امور آب استرالیا برای ارزیابی منابع آب از مدل‌های عددی یا روش‌های بیلان آب استفاده می‌کنند، ولی این عدم قطعیت به قوت خود باقی است.»

هدف از این مقاله، ارائه‌ی روش‌شناسی انجام کار جهت کاهش عدم قطعیت‌هایی می‌باشد که در گزارش‌های قبلی بیلان منابع و مصارف آب در محدوده‌ی مطالعاتی رفسنجان مشاهده می‌شود. برای انجام این

مهم مقاله‌ی حاضر پس از مرور تجربیات مرتبط با تحولات مفهومی و سیاستی به بررسی گزارش‌های مطالعات انجام شده‌ی قبلی در محدوده مطالعاتی رفسنجان ادامه می‌پردازد. در بررسی مطالعات قبلی، روش‌شناسی انجام کار، بیان فرضیات و نتایج حاصل در گزارش‌های بیلان تهیه شده، بررسی پایداری در سفره‌ی آب زیرزمینی مربوط و بررسی و بیان عدم قطعیت‌ها در محاسبات آبدهی مطمئن و آسیب‌های احتمالی ناشی از روش انجام مورد توجه قرار می‌گیرد. سپس روش‌شناسی انجام کار برای کاهش عدم قطعیت و پوشش دادن کاستی‌های فعالیت های انجام شده قبلی ارائه خواهد شد و در نهایت نتیجه گیری، پیشنهادات برای ادامه کار و جمع بندی، تشکیل دهنده بخش پایانی مقاله خواهد بود.

## ۲. بررسی سابقه تحولات مفهومی و سیاستی

آبدهی مطمئن به طور معمول از قانون بقای جرم در آب‌های زیرزمینی و به شکل زیر به دست می‌آید:

**جریان ورودی- جریان خروجی = تغییر در ذخیره آبخوان**

اگر خروجی‌ها بیش از ورودی‌ها باشد، آنگاه بخشی از ذخیره استاتیک آبخوان تخلیه می‌شود و سطح آب زیرزمینی اُفت می‌کند، در حالیکه اگر جریان ورودی بیش از جریان خروجی باشد، در آن صورت سطح آب زیرزمینی افزایش می‌یابد و در صورتی سطح آب زیرزمینی ثابت باقی می‌ماند که جریان ورودی با جریان خروجی مساوی باشد. جریان ورودی به طور معمول شامل تغذیه از بارندگی، تغذیه از رواناب سطحی و رودخانه‌ها می‌باشد، در حالی که جریان خروجی شامل تخلیه از چشمه‌ها، تبخیر و تعرق، جریان پایه رودخانه‌ها، زهکشی و تخلیه از طریق چاه‌ها می‌باشد. در صورتی که محدوده مورد نظر شامل یک سفره آب زیرزمینی محدود به مرزهای غیرقابل نفوذ نباشد، ورودی به محدوده از طریق منابع آب زیرزمینی و خروجی زیرزمینی به محدوده‌های دیگر نیز جزء ورودی‌ها و خروجی‌ها در نظر گرفته می‌شود. مجموع این محاسبات برای یک سال خاص یا به طور متوسط برای یک دوره آماری در نظر گرفته می‌شود.

بارش می‌تواند به مقدار زیادی از سالی به سال دیگر تغییر نماید و تغییرات روندهای منحنی تجمعی باقیمانده بارش نسبت به متوسط می‌تواند طی ده‌ها سال یا بیشتر به طور قابل ملاحظه‌ای تغییر نماید. این تغییرات میزان رواناب و میزان منابع آب بدنه‌های آب سطحی را که اجزای تغذیه طبیعی برای یک سیستم آب زیرزمینی هستند تغییر می‌دهد. بنابراین فرض جریان ثابت (و ثابت‌بودن باقیمانده رواناب) در بحث قبلی به طور قطعی قابل کاربرد نیست. هرچند تغییرپذیری جریان ورودی و رواناب حوضه، اصل بقای جرم را نقض نمی‌کند. در شرایط نرمال، سال‌های با تغذیه کمتر با سال‌های با تغذیه بیشتر متعادل می‌شوند و بنابراین برآیند متوسط قابل بحث خواهد بود- در این شرایط نیز طول دوره آماری و ایستابودن آن و تعادل بین سال‌های خشک و تر در این دوره

بسیار حائز اهمیت می‌باشد. در چنین شرایطی تحت برداشت ثابت از سفره، در صورتی که کاهش تغذیه اتفاق بیفتد کمبود حاصله از ذخیره استاتیک سفره برداشت می‌شود که در شرایط پرآبی و افزایش تغذیه آبخوان جبران خواهد شد. اما وقتی که خشکسالی‌های طولانی اتفاق بیفتد و از برداشت‌های آب زیرزمینی کاسته نشود، برداشت مستمر از ذخیره استاتیک آبخوان تبدیل به تهی‌سازی آبخوان و اُفت غیرقابل جبران خواهد شد. با توجه به اینکه پیش‌بینی چنین خشکسالی‌هایی در حال حاضر امکان‌پذیر نیست، لذا وقوع چنین شرایطی به عنوان عدم قطعیت محاسبه آبدهی مطمئن محسوب می‌شود. بنابراین برای برخورد با این عدم قطعیت، پیشنهاد می‌شود به جای استفاده از عدد متوسط به عنوان آبدهی مطمئن سفره آب زیرزمینی، از مدل‌های عددی و تحلیل‌های آماری برای تعیین رفتار سفره در شرایط مختلف اقلیمی استفاده گردد (Kalf and woolley).

اما موضوع آبدهی پایدار وقتی مطرح شد که استفاده از نتایج محاسبات آبدهی مطمئن منجر به پیامدهای مختلفی نظیر خشک‌شدن رودخانه‌ها و اثرات زیست‌محیطی مانند اُفت قابل ملاحظه سطح آب زیرزمینی، تغییر کیفیت منابع آب سطحی و زیرزمینی، خشک‌شدن تالاب‌ها و دریاچه‌ها و از بین‌رفتن گونه‌های گیاهی و جانوری در مناطق مختلف گردید که در ادامه به ارائه برخی از تجارب دنیا در خصوص پیامدهای استفاده از تعریف آبدهی مطمئن، تحول در تعریف آبدهی مطمئن و روش هایی پرداخته می‌شود که برای مقابله با این پیامدها اتخاذ شده است.

### ۲-۱- تجربه کانزاس و هفت ایالت دیگر

به طور مثال تجربه کانزاس بیانگر این است که امور آب این ایالت به همراه هشت ایالت دیگر که در سفره‌های آب زیرزمینی مشترکند، طی چند دهه گذشته مجبور به ارزیابی سیاست‌های پایداری در توسعه منابع آب شده‌اند. اُفت سطح آب در سفره‌های آب زیرزمینی منجر به تشکیل امور مدیریت منابع آب زیرزمینی در این مناطق در دهه ۱۹۷۰ شد. به این دلیل که اُفت سطح آب زیرزمینی در این مناطق سبب کاهش جریان پایه رودخانه‌ها کمتر از میزان مطلوب و استاندارد شده بود و با کم‌شدن جریان آب سطحی رودخانه‌ها، غلظت آلاینده‌ها در منابع آب سطحی افزایش یافت. مطابق با (Ratzalff، ۱۹۹۴- به نقل از مرجع) رواناب رودخانه‌ها در غرب کانزاس به نصف منابع آب مشاهداتی از سال ۱۹۵۹ کاهش یافت. به همین دلیل سیاست‌های آبدهی مطمئن برای درنظرگرفتن سهم تخلیه آب زیرزمینی در جریان‌های پایه رودخانه‌ها و حفظ آستانه حداکثر بار آلودگی مجاز در منابع آب سطحی مورد بازنگری قرار گرفت. دلیل این بازنگری این گونه ذکر شده است که آبدهی مطمئن مفهومی شناور بوده و پایداری ایده‌ای است که به طور گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرد، در حالیکه به نظر می‌رسد درست درک نشده است. در حالت کلی، آبدهی پایدار یک سفره ی آب زیرزمینی باید

به میزان قابل توجهی از میزان تغذیه ی آن کمتر باشد تا مقدار مناسبی آب برای پایداری کمی و کیفی رودخانه‌ها، چشمه‌ها، تالاب‌ها و اکوسیستم‌های وابسته به آب زیرزمینی وجود داشته باشد. **در حالیکه اگر از اصول هیدرولوژیکی آبدهی مطمئن پیروی شود یعنی میزان برداشت از آب زیرزمینی معادل تغذیه صورت گیرد، اثرات مطلوب تخلیه‌ی طبیعی آب زیرزمینی به اکوسیستم های وابسته نظیر آب سطحی بطور کلی مختل می شود.** اگرچه با ایجاد هر تغییر در وضعیت حوضه آبریز نظیر تغییر در پوشش گیاهی، کاربری اراضی، شهری‌شدن، موقعیت چاه‌های آب، ایجاد تأمین آب جدید یا تغییر اقلیم، نیاز به محاسبه آبدهی پایدار خواهد بود (M. Sophecleous، ژانویه ۲۰۰۰).

طی دهه‌های گذشته فلسفه مدیریت آب به تدریج از دنیای قطعی به دنیایی غیر قطعی تغییر نمود. این تشخیص جدید بدین معنا است که مدیریت باید برای تغییر و پیچیدگی صورت گیرد، یعنی مدیریت باید منطبق بر شرایط متغیر محیطی باشد و بدون توجه به هشدارها نمی‌توان از یک سیستم استفاده نمود و استفاده شدیدتر یعنی هشداری بزرگتر. بنابراین باید معین شود که چه چیزی باید حفاظت شود و چه چیزی باید پایدار باشد. اکنون سوال اینجا است که آیا پیش از آنکه دیر شود پاسخی به این سوالات وجود دارد؟ اگرچه دانش ممکن است نتواند به همه سوالات پاسخ دهد، اما باید بهترین دانش موجود به کارگرفته شود و انعطاف‌پذیری کافی در مدیریت وجود داشته باشد تا اجازه تغییر برای شرایط نامعلوم ایجاد گردد. در شفاف‌نمودن چالش‌های موجود برای اکولوژی، مایر (۱۹۹۳- به نقل از مرجع) در مورد آبدهی پایدار پیشنهاد می‌نماید که برای فراهم‌آوردن امکان مدیریت در شرایط تغییر باید از مدیریت در چارچوب احتمالی به همراه ارزیابی ریسک استفاده نمود. در چنین وضعیتی، طبیعت غیر قابل پیش‌بینی ذاتی تشخیص داده می‌شود و به جای اینکه آبدهی پایدار تعیین گردد، مدیر تشخیص می‌دهد که میزان برداشت باید در طول زمان و با تغییر شرایط محیطی تغییر نماید و بدین ترتیب در درازمدت میزان برداشت به دست آمده پایدارتر خواهد بود. این نوع مدیریت نیاز به داده‌های بیشتر و درک عملی از حوضه و پایش پیوسته از وضعیت موجود دارد (M. Sophecleous، می ۲۰۰۰).

در تجربه کانزاس پیامدهای محلی و منطقه‌ای ناشی از تعریف نادرست آبدهی مطمئن این گونه تشریح شده است: «تخلیه بیش از حد از آب زیرزمینی باعث خشک‌شدن رودخانه‌ها، تالاب‌ها و زمین‌های دیم شده است و همچنین مصرف بیش از حد آب سبب ورود نمک حل شده در آب رودخانه آرکانزاس شده و سفره آب زیرزمینی را در منطقه کانزاس تحت تأثیر قرار داده است. علاوه بر این ذکر شده است که جانمایی چاه‌ها در مدت زمان به تعادل رسیدن سفره در شرایط برداشت اضافی اثر قابل ملاحظه‌ای دارد. در مسیر ارزیابی و بازنگری سیاست‌های مربوط به مدیریت آب زیرزمینی در این منطقه، قوانینی برای حداقل فاصله بین چاه‌ها، محدودکرن حداکثر برداشت چاه‌ها به میزان تغذیه هر چاه در شعاع تأثیرش و همچنین محدودکردن حداکثر

کاهش ضخامت لایه آبدار وضع شد. هرچند در مناطق مختلف کانزاس سیاست‌های مختلفی در مواجه با اُفت سطح آب زیرزمینی اتخاذ گردید. در بخشی از این مناطق که دارای تغذیه اندکی بودند، سیاست استفاده از ذخیره استاتیک آبخوان طی یک دوره برنامه‌ریزی ۲۰ تا ۲۵ ساله و حداکثر تا ۴۰ درصد ذخیره استاتیک آبخوان را پذیرفتند. در بخش‌هایی از منطقه نرخ استفاده از ذخیره استاتیک آبخوان و اُفت سطح آب زیرزمینی را کاهش دادند و در نواحی دیگر سیاست‌گذاری کردند که اُفت سطح آب زیرزمینی را به صفر برسانند. این سیاست‌ها نرخ اُفت سطح آب زیرزمینی را کند نمود اما مانع از تخلیه ذخایر استاتیک آبخوان‌ها نشد. برداشت بی‌رویه از آبخوان‌ها منجر به اُفت ۶۰ متری سطح آب زیرزمینی در ضخامت لایه اشباع طی ۵۰ سال شد. بنابراین در نهایت امور منابع آب مجبور شد تا بسیاری از مناطق را به لحاظ توسعه برداشت از آب زیرزمینی ممنوعه نماید (M. Sophecleous، می ۲۰۰۰).

بدین ترتیب امور منابع آب کانزاس دریافت که مسئله‌ی کنترل افت سطح آب زیرزمینی موضوعی پیچیده است و فقط به مباحث هیدرولوژیکی وابسته نیست، بلکه به ملاحظات اقتصادی، اجتماعی و قانونی نیز نیاز دارد. بنابراین برنامه های مدیریتی مناسبی برای برداشت های جدید، کنترل برداشت های موجود، فاصله ی مورد نیاز بین چاهها، پایش سالانه مصارف، سنجش مصرف آب برای کلیه ی چاهها، برنامه های کنترل مصرف آب، افزایش آگاهی عمومی و برنامه های مشارکتی تدوین شد. همه ی این موارد سبب تغییر تعریف آبدهی مطمئن برای منطقه شد که در آن هم تلفیق آب سطحی و زیرزمینی و هم حداقل جریان پایه رودخانه‌ها و آب مورد نیاز تالاب‌ها در نظر گرفته شد و همه این موارد منجر به تعریف برنامه مدیریت جامع حوضه آبریز با مشارکت ذینفعان شد. اما سفره آب زیرزمینی در دشت‌های مشترک که بین هشت ایالت امریکا مشترک است به عنوان یکی از بزرگترین سیستم‌های منابع آب زیرزمینی دنیا همچنان در حال اُفت است و قابلیت اقتصادی مبتنی بر آبیاری منطقه را تهدید می‌کند. شایان ذکر است که این منطقه با وسعتی حدود ۴۵۰۰۰۰ کیلومترمربع در هشت ایالت از تگزاس تا داکوتای جنوبی را در برگرفته و در سال ۲۰۰۰ حدود ۲۳,۵ میلیارد مترمکعب از منابع آب زیرزمینی منطقه برای آبیاری بیش از ۵ میلیون هکتار مصرف شده است (M. Sophecleous، ۲۰۰۹).

هرکدام از هشت ایالت رویکردهای متفاوتی را برای مدیریت و توسعه برداشت از منابع آب زیرزمینی اتخاذ می‌کنند که مبتنی بر قانون آب ایالتی آنها است. این ایالت‌ها دارای دکترین قانونی متفاوتی هستند و طبق قانون اساسی، قوانین فدرال بر قوانین ایالتی حاکم است. اما به طور تاریخی، دولت امریکا در موضوع تخصیص آب، مصرف و مدیریت آب تسلیم ایالت‌ها شده است. این موضوع باعث ایجاد مشکلاتی در مدیریت به هم‌پیوسته منابع آب منطقه‌ای می‌شود. هرچند تنش‌های تجمعی هیدرولوژیکی و نیازهای رقابتی برای منابع آب زیرزمینی، مدیریت این منابع را به طور فزاینده‌ای پیچیده نموده است. اگرچه برخی از مناطق نظیر کانزاس و

نبراسکا و کلرادو گام‌هایی را برای کاهش نرخ اُفت سطح آب زیرزمینی طراحی کرده‌اند اما اغلب مناطق به جای اینکه روی مبنای پایداری آب زیرزمینی متمرکز شوند، به برنامه‌های مدیریت به هم‌پیوسته بعنوان مانعی بر سر راه اقتصاد وجود فعلی منطقه نگاه می‌کردند. بدین مفهوم که شرایط ایجادشده برای منابع آب زیرزمینی مشترک بین این مناطق، همان تراژدی منافع مشترک هاردین (۱۹۶۸- به نقل از مرجع) را به تصویر می کشد. . این تئوری بیان می‌کند که بعید به نظر می‌رسد که استفاده‌کنندگان از منابعی مشترک - زمانی که منافع اقتصادی فعالیت‌هایشان به خودشان مربوط است، اما هزینه‌ها به صورت کلی به جامعه بر می‌گردد- رفتارشان را مهار کنند. زیرا منافع درازمدت حاصل از خودداری شخص برای استفاده از منافع کنونی، دارای تأثیر نامعلوم و غیر قابل تشخیص است. از فلسفه زیر می‌توان دریافت که چرا مردم این منطقه هر چه بیشتر از منابع آب زیرزمینی استفاده می‌کنند:

«مرتعی را تصور کنید که برای همه آزاد است. انتظار می رود که هر چوپان سعی کند تا جایی که ممکن است گوسفندان بیشتری را روی این منبع مشترک داشته باشد ... به صورت منطقی هر چوپان تلاش می‌کند تا سودش را حداکثر نماید ... با جمع‌کردن تخصیص‌های جزئی، به طور منطقی به این نتیجه می‌رسد که تنها راه محسوس برای او جهت ادامه این است که حیوان دیگری را به گله‌اش اضافه نماید. و یکی دیگر و یکی دیگر ... اما این نتیجه را همه چوپانانی که در این منبع مشترکند نیز به آن می‌رسند. و تراژدی همین جاست. هر مرد به سیستمی وصل شده است که او را وادار می‌کند تا گله اش را بدون محدودیت زیاد کند —در دنیایی که محدود است.» اگرچه برخی بین تراژدی منافع مشترک و برداشت از آب زیرزمینی بدلیل اینکه مجوز لازم است و هرکسی نمی تواند از آن استفاده کند، تفاوت قائلند، اما بنظر می رسد باز همان تراژدی منافع مشترک در خصوص برداشت از آب زیرزمینی وجود دارد. گر چه براساس قوانین، مصرف‌کنندگان جدید تعریف نمی‌شوند (ممنوعه‌کردن منطقه) اما مصرف‌کنندگان فعلی به میزان قابل توجهی آب را از سفره پمپ می‌کنند. هرچند هنوز سیمایی برای حفاظت کامل منابع از مشکل تراژدی منابع مشترک تدوین نشده است اما اوسترم (۱۹۹۰- به نقل از مرجع) و سایرین نشان دادند که جوامعی در دنیا توانسته‌اند از طریق ایجاد نهاد مدیریت محلی بر این تراژدی فائق آیند.

برخی از قوانین حاکم بر تخصیص آب زیرزمینی این ایالت‌ها بدین ترتیب است که به طور مثال در تگزاس قانون مالکیت زمین برای برداشت آب حاکم است، در نبراسکا و اوکلاهاما قانون مصرف بهینه مطرح است و در بخش‌هایی از نبراسکا و داکوتای جنوبی قانون حقابه ی نسبی رعایت می شود، یعنی هر وقت آب کافی نباشد همه باید مصرف‌شان را کم کنند. در نیومکزیکو، کلرادو و بخش‌هایی از کانزاس زمان، اولویت استفاده از آب را تعیین می‌کند، یعنی حق با حقابه بران قدیمی تر است. تجربه نشان داده است که هیچ کدام از این قوانین و

حتی ترکیبی از آنها نمی‌تواند همه مشکلات آب زیرزمینی را حل کند. با توجه به این تجربه، مناطق بحرانی توسط ایالت‌ها تعریف شد. در این مناطق برداشت‌ها بیش از تغذیه بود. پس از تعریف این مناطق امکان کنترل پمپاژها، محدودشدن آنها و حتی حذف آنها فراهم شد و این در حالی است که همه کنترل‌ها بصورت محلی صورت می‌گیرد.

علاوه بر بحث منابع آب زیرزمینی به صورت مستقیم، نحوه استفاده از این منابع تضادهایی را برای این ایالت‌ها در بخش منابع آب سطحی نیز به وجود آورده است. کانزاس و کلرادو که در منابع آب رودخانه آرکانزاس مشترکند با احداث سد جان مارتین در کلرادو، دو ایالت در سال ۱۹۴۸ در خصوص نحوه استفاده از منابع آب این رودخانه با یکدیگر تفاهم کردند. اما کانزاس در سال ۱۹۸۵ علیه کلرادو شکایت کرد که برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی در کلرادو باعث خشک‌شدن رودخانه شده و دادگاه پس از بررسی رأی داد که برداشت‌های زیاد توسط پمپاژ از آبخوان در ایالت کلرادو باید حذف شوند یا برداشت‌هایشان را کاهش دهند. نزاع دیگر در مورد رودخانه رپابلیکن بود. این رودخانه از کلرادو شروع می‌شود سپس در کانزاس جریان می‌یابد، در ادامه به نبراسکا می‌رود و سپس به کانزاس بر می‌گردد. بدلیل چند ایالتی‌بودن، تفاهمی برای نحوه استفاده از آب این رودخانه در سال ۱۹۴۲ بین چند ایالت امضا می‌شود. این تفاهم‌نامه که سهم استفاده از آب توسط هر ایالت را مشخص نموده است براساس نسبت یا تناسب کار می‌کند. کانزاس در سال ۱۹۹۰ شکایت کرد که نبراسکا به دلیل تخصیص آب زیرزمینی، از سهم خود بیشتر استفاده می‌کند. در سال ۱۹۹۹ وقتی که مذاکرات به نتیجه نرسید کانزاس، کلرادو و نبراسکا را به دادگاه امریکا کشاند. نبراسکا مدعی شد که تفاهم‌نامه در مورد آب زیرزمینی نیست اما دادگاه ادعای نبراسکا را رد کرد و ذکر نمود که برداشت بی‌رویه از آب زیرزمینی باعث خشک‌شدن رودخانه می‌شود. در نهایت در سال ۲۰۰۳، ایالت‌ها بر سر موارد دیگری نظیر چگونگی پمپاژ از منابع آب زیرزمینی (شامل استفاده از مدل‌سازی سیستم منابع آب زیرزمینی جهت محاسبه اثر مصارف آب)، حل اختلافات، حفر چاه‌های جدید، اثر برداشت‌ها در شرایط آتی، محاسبه مقادیر مصرف برای دوره‌های ۵ ساله و چارچوبی برای کارکردن با هم در جهت بهبود بهره‌برداری در حوضه رودخانه به توافق رسیدند (M. Sophecleous، ۲۰۰۹).

پیامد ایجاد تنش در منابع آب مشترک در این ناحیه، علاوه بر نزاع‌ها در خصوص منابع آب سطحی، خلاقیت‌هایی بود که توسط ایالت‌های مختلف جهت رفع مشکلات مدیریت منابع آب زیرزمینی اتخاذ گردید. یکی از این نوآوری‌ها تدوین برنامه مدل‌سازی تعیین میزان آب زیرزمینی در تگزاس بود. این مدل تعیین می‌کند که در سفره آب زیرزمینی در آینده چقدر آب وجود دارد. این برنامه براساس اصول هیدرولوژیکی، اندازه‌گیری‌های واقعی از سفره و راهنمایی‌های ذینفعان کار می‌کند. این موضوع در سال ۲۰۰۴ توسط مجلس به

امور منابع آب تگزاس تکلیف شد که باید برای ۹ سفره این برنامه را تدوین نماید و این اداره برای ارائه هرگونه برنامه مدیریت آب زیرزمینی باید از این مدل استفاده کند. برنامه مذکور علاوه بر برآورد میزان آب قابل برنامه‌ریزی در زمان‌های مختلف می‌تواند نتیجه و اثر استراتژی‌های متفاوت را بررسی نماید. این مدل‌ها قابلیت به‌روز شدن با داده‌های جدید را دارند. تجربه نشان داده است که وجود این مدل‌ها موجب ارتقای برنامه‌ریزی منطقه‌ای، بالارفتن آگاهی عمومی و بهبود مدیریت منابع آب شده است.

مکانیزم بعدی تعریف منطقه کنترل برای نواحی با استفاده شدید از منابع آب زیرزمینی در ایالت کانزاس است. بر اساس این سیاست هرگاه در منطقه‌ای سطح آب زیرزمینی اُفت نماید، یا برداشت از تغذیه بیشتر باشد یا برداشت آب زیرزمینی بر جریان پایه رودخانه اثر بگذارد، مناطق کنترل تعریف می‌شوند. در این مناطق، مجوز جدیدی برای برداشت صادر نمی‌شود (ممنوعه) و میزان آب مجاز قابل برداشت بین دارندگان پروانه یا حقابه‌بران تقسیم می‌شود. مصرف در درون منطقه به صورت چرخشی انجام می‌شود. این سیاست باعث شد تا مصرف‌کنندگان به سه دسته از نظر داشتن حقابه به لحاظ زمانی تقسیم‌بندی شوند، دسته اول حقابه‌بران قبل از سال ۱۹۴۵ (سال تصویب قانون آب که همه استفاده‌کنندگان از آب پیش از این زمان را حقابه‌بر می‌داند) که کاهشی برای این دسته لحاظ نشد، دسته دوم حقابه‌بران قبل از سال ۱۹۶۵ (و بعد از سال ۱۹۴۵) که از ۲۲ تا ۳۳ درصد کاهش برای آنها لحاظ شد و دسته سوم کسانی که بعد از سال ۱۹۶۵ شروع به بهره‌برداری کرده بودند که از ۶۴ تا ۷۱ درصد کاهش برای آنها در نظر گرفته شد. لازم به ذکر است که سیاست تعیین منطقه کنترل تنها و قدرتمندترین ابزار در ایالت کانزاس است که براساس آن برداشت‌های مجاز (پروانه‌داران و حقابه‌بران) به صورت رسمی کاهش می‌یابد.

از دیگر نوآوری‌های ایجادشده در منطقه، بازنگری سیاست‌های آبدهی مطمئن توسط امور آب‌های زیرزمینی در کانزاس بود. همه این امور سیاست‌هایی را برای کنترل برداشت آب زیرزمینی اعمال کردند. شعاع تأثیر هر چاه ۳,۲ کیلومتر و با مساحتی حدود ۳۲,۵ کیلومترمربع تعریف شد که نشان دهنده وضعیت محلی چاه بود. مناطق مختلف دارای بارش‌های متفاوتی بودند، بنابراین بخش‌هایی که دارای بارش بیشتری بودند راحت‌تر امکان جبران اضافه‌برداشت را داشتند و در نتیجه روی رسیدن به حالت پایدار و جلوگیری از نفوذ آب شور متمرکز شدند. در حالیکه بخش‌های با بارش کمتر روی کاهش سرعت اُفت تمرکز کردند. بر اساس این برنامه در محدوده هر چاه میزان تغذیه محاسبه شد و سپس میزان برداشت‌ها باید محدود به این تغذیه می‌شد. به همین دلیل کل منطقه به دو بخش با تغذیه کم (نصف تغذیه در منطقه پربارش) و منطقه با تغذیه بیشتر تقسیم بندی شد. هر چند به علت اعتراض کشاورزان این قانون فقط برای چاه‌های جدید اعمال شد اما دوباره به دلیل ادامه روند اُفت سطح آب زیرزمینی به طور کلی حفر چاه جدید در منطقه ممنوع شد. همچنین پس از مدتی معلوم شد که

اگر برداشت‌ها را به تغذیه محدود کنند میزان جریان پایه رودخانه در حال کاهش است. بنابراین حداقل جریانی را برای رودخانه‌ها در نظر گرفتند و سپس مجدداً آبدهی مطمئن برای چاه‌ها را تعریف کردند. بدین مفهوم که جریان پایه رودخانه‌ها به عنوان منابع آب زیرزمینی در نظر گرفته شد (در حالیکه این بخش نیز قبلاً تخصیص داده شده بود) و آبدهی مطمئن سفره‌های آب زیرزمینی در اندرکنش با آب‌های سطحی مورد بازنگری قرار گرفت. برای تعیین جریان پایه نیز از منحنی تداوم جریان رودخانه‌ها، جریان با اطمینان‌پذیری ۹۰ درصد (Q۹۰) محاسبه گردید. با اعمال این فعالیت‌ها، میزان پمپاژ آب زیرزمینی در کانزاس پس از دهه‌ها افزایش، کاهش یافت. گزارش‌ها حاکی از آن است که اگرچه برداشت‌ها به شرایط اقلیمی نیز بستگی دارند اما استفاده از سیستم‌های آبیاری با کارایی بیشتر موجب این کاهش شده است و گزارش‌های کنترل پایش سطح آب زیرزمینی که به طور مداوم برای عموم منتشر می‌شود نیز اثرگذاری فعالیت‌ها را تأیید می‌نماید. ذکر این نکته ضروری است که برای مناطقی که با کاهش جریان رودخانه‌ها، افزایش غلظت آلاینده‌ها به میزان قابل توجهی افزایش یافت، پارامتر دیگری که بعد از در نظر گرفتن جریان پایه برای رودخانه‌ها از منابع آب زیرزمینی مد نظر قرار گرفت، لحاظ آستانه حداکثر غلظت آلاینده‌ها در رودخانه‌ها بود که در هیچ شرایطی میزان غلظت آلاینده‌ها در زمان‌های کم‌آبی نباید از این آستانه فراتر رود. این موضوع نیز در برخی مناطق منجر به بازنگری مجدد آبدهی مطمئن (پایدار) گردید.

یکی دیگر از فعالیت‌ها، برنامه بازیابی سفره ویچیتا بود. این سفره برای تأمین آب شرب شهر ویچیتا و آبیاری اراضی مورد استفاده قرار می‌گیرد. برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی باعث اُفت متوسط ۱۳ متر در این سفره و تخلیه بخشی از ذخایر استاتیک آن شد. یکی از مشکلات مربوط به این سفره وجود لایه شور در زیر لایه آب شیرین بود که با افزایش برداشت از منابع آب زیرزمینی، منابع آب شور به سمت چاه‌های شرب حرکت کردند. در برنامه بازیابی این سفره، به جای انحراف آب از رودخانه کانزاس تصمیم گرفته شد تا از منابع آب مازاد رودخانه محلی که در نزدیکی سفره قرار داشت استفاده شود و از طریق چاه‌های تزریق به سفره تغذیه گردد. برای این منظور از طرح‌های ارائه‌شده توسط مردم استقبال شد. هرچند این تصمیم ابتدا دارای مشکل قانونی بود اما امور آب به همراه مسئولان شهر این مشکل قانونی را برطرف کردند. در این راستا هر شخصی می‌تواند طرحی برای انحراف آب و تزریق به سفره را داشته باشد و سپس اجازه مصرف از آب زیرزمینی را دریافت نماید یا اینکه منابع آب سطحی مازاد منحرف‌شده را مورد استفاده قرار دهد. اما در صورتی که از آب منحرف‌شده برای تزریق استفاده شود حتماً باید مجوز کیفیت آب از اداره سلامت و بهداشت دریافت نماید. این برنامه در چهار فاز کلان طراحی شده است که حداکثر می‌تواند در مجموع سالانه ۱۳۸ میلیون متر مکعب در سال آب را منحرف و برای کمک مستقیم یا غیرمستقیم به سفره استفاده نماید.

از جمله برنامه‌های دیگر در منطقه، تهیه گزارش مصرف آب در کانزاس بود. یکی از موارد کلیدی برای تنظیم و مدیریت بهینه آب وجود اطلاعات دقیق در باره مصرف آب است که براساس آن تصمیمات مدیریتی و تدوین مقررات انجام می‌شود. در سال ۱۹۹۸ مستندسازی مصارف در کانزاس اجباری شد. هم اکنون گزارش مصرف آب در سطح ایالت شامل مصارف شهری توسط دفاتر امور آب منتشر می‌شود. همه دفاتر امور آب ملزم به داشتن وسایل اندازه‌گیری در هر نقطه برداشت آب در منطقه خود هستند. در این راستا مشوق‌های مالیاتی موجب ایجاد انگیزه برای مصرف‌کنندگان آب زیرزمینی شده تا ادوات اندازه‌گیری را در چاه‌های خود نصب کنند و دفاتر امور آب در نصب و بررسی عملکرد این سیستم‌ها به مصرف‌کنندگان کمک می‌کنند. بدین ترتیب هر ساله بیش از ۹۹,۹ درصد از مصرف‌کنندگان فایل‌هایشان را ارائه می‌نمایند. در نهایت گزارش مصرف سالانه به صورت مشترک بین امور منابع آب- یعنی دفتر تنظیم حقابه ها در کانزاس- و اداره آب کانزاس- یعنی آژانس برنامه‌ریزی منابع آب کانزاس- تدوین و منتشر می‌شود.

در کنار برنامه مستندسازی مصارف، برنامه پایش سالانه سطح آب زیرزمینی نیز در ایالت کانزاس انجام می‌شود. در این برنامه حدود ۱۴۰۰ چاه در مناطق مرکزی و غربی به طور سالانه در ژانویه هر سال- یعنی زمانی که آبیاری در حداقل مقدار خود است- اندازه‌گیری می‌شود و از سیستم GPS و نقشه دیجیتال برای جانمایی صحیح چاه‌ها استفاده می‌شود. فرآیند کنترل کیفیت آمار یکی از بخش‌های مهم برنامه اندازه‌گیری سطح آب می‌باشد. هم نتیجه پایش سالانه و هم اندازه‌گیری درازمدت پس از پردازش، توسط اداره زمین‌شناسی کانزاس از طریق انتشار در وب‌سایت در اختیار عموم قرار می‌گیرد.

تشکیل بانک آب کانزاس مرکزی از دیگر فعالیت‌های انجام‌شده در مواجهه با اُفت سطح آب زیرزمینی در منطقه بود. بانک آب بنگاهی خصوصی و غیر انتفاعی است که آب را از حقابه‌هایی که در بانک پس‌انداز شده‌اند، به نفع پس‌اندازکننده آن اجاره می‌دهد. این مفهوم به عنوان روشی جهت توزیع مجدد آب در منطقه‌ای که دارای نیاز روزافزون است یا برای تکمیل آب سطحی و تشویق به حفاظت از منابع آب زیرزمینی از طریق سازوکار بازار آب ایجاد گردید. بانک مذکور در کانزاس مرکزی در سال ۲۰۰۵ که در برگیرنده حوزه۵ اداره امور آب می‌باشد، تأسیس شد. بنا به دلایل زیر، این بانک پتانسیل تبدیل‌شدن به مهم‌ترین ابزار مدیریت آب در منطقه را دارد: ۱) بانک باعث می‌شود تا حقابه‌ها بین مناطق پرتنش و کم‌تنش جابجا شوند، ۲) وجود بانک می‌تواند باعث مدیریت اثرات دوره‌های خشک بر آبیاری شود، ۳) بانک باعث ایجاد انگیزه در مصرف‌کنندگان برای مصرف کمتر و در عوض ذخیره در بانک برای استفاده در زمان‌های دیگر و یا اجاره آنها به نفع صاحب آب می‌شود. آب می‌تواند تا ۵ سال در بانک ذخیره شود و سپس به دیگران تحت نظر صاحب آب اجاره داده شود. بدین ترتیب حساب‌های ذخیره مطمئن می‌تواند آب ذخیره‌شده مصرف‌نشده را برای

برداشت در شرایط آتی حفظ کند، این موضوع باعث می‌شود تا مجموع مصرف آب بیشتر از قبل نشود. همچنین قوانین بانک به گونه‌ای است که بیلان حساب باید موجب کاهش ده درصدی شود. پیشنهاد ارزیابی‌کنندگان بانک این بود که هرچه قوانین بانک ساده‌تر باشد، افراد بیشتری از این مکانیزم استفاده خواهند کرد.

علاوه بر فعالیت‌های عملیاتی ویژه برای مناطق مختلف، سیاست‌هایی نیز برای حفاظت منابع آب زیرزمینی به ویژه در ایالت کانزاس اتخاذ گردید که به برخی از آنها اشاره می‌شود. ارزش تأمین منابع آب زیرزمینی برای بقای منطقه به ندرت درک می‌شود و به طور معمول سه راه‌حل در برخورد با اُفت سطح آب زیرزمینی منطقه مورد بحث قرار می‌گیرد: حفاظت داوطلبانه، تنظیم اجباری و انتقال آب بین‌حوضه‌ای. در حال حاضر موضوع انتقال آب بین‌حوضه‌ای به دلیل هزینه‌های بالا، حساسیت‌های سیاسی و اثرات زیست‌محیطی، کمتر مورد بحث قرار می‌گیرد. اتفاق نظر بر این است که راه‌حلی که ارائه می‌شود باید شامل سیاست‌های جایگزین باشد تا برنامه‌ها مبتنی بر انگیزه بوده و جلب مشارکت اختیاری را به همراه داشته باشد. اگرچه که کاهش اجباری برای مناطق بحرانی الزامی است.

در این راستا به منظور حل مشکلات متعدد آب زیرزمینی، همکاری بین ایالت‌ها برای تحقیق در زمینه سفره‌های آب زیرزمینی با پشتیبانی مالی دولت فدرال افزایش پیدا کرد. دانشگاه‌های محلی در تگزاس و کانزاس و سایر ایالت‌ها برای پیداکردن راه‌حلی برای سفره‌هایی که برداشت آب زیرزمینی در آن‌ها بیش از تغذیه بود، مشارکت کردند. از طرف دیگر با افزایش آب زیرزمینی در این منطقه توسعه سطح زیرکشت و افزایش تولیدات زراعی در کانزاس و سایر ایالت‌ها اتفاق افتاد که به مفهوم مصرف بیشتر بود اما در مقابل کارآیی سیستم‌های آبیاری نیز افزایش یافته است. برای این منظور از اوایل دهه ۱۹۸۰ هم تحقیقات و هم سیاستگذاری‌ها بر بهبود راندمان آبیاری متمرکز شد و کمیسیون حفاظت ایالت کانزاس برای ارتقای راندمان آبیاری از نظر مالی با مردم مشارکت نمود. اما اکنون معلوم شده است که به علت افزایش راندمان آبیاری، کشاورزان به توسعه اراضی پرداخته‌اند و این روش موجب کاهش مصرف آب نشده است و به نظر می‌رسد خرید حقابه‌ها از نتایج بهتری برخوردار باشد. بنابراین شیوه دیگری که اتخاذ شد این بود که افراد به صورت اختیاری می‌توانند زمین‌هایشان را از آبیاری خارج کنند و مبلغ معادلی را دریافت نمایند. تحلیل‌ها نشان می‌دهد که این برنامه منجر به کاهش مصرف آب و افزایش طول عمر منابع آبی سفره‌های آب زیرزمینی می‌شود. اگرچه که این روش در کوتاه‌مدت موجب کاهش کارآیی اقتصادی در منطقه شود اما باعث پایداری سفره و حفظ محیط‌زیست بدنه‌های آبی وابسته به آب زیرزمینی از جمله رودخانه‌ها و تالاب‌ها می‌شود.

بدین ترتیب با توجه به مجموع فعالیت‌های انجام‌شده، این گونه جمع‌بندی شد که به جای وضع مقررات فقط برای مصرف‌کنندگان جدید، باید قوانین به گونه‌ای تغییر نماید که بتوان حقابه حقابه‌بران قدیمی را حتی در صورت استفاده بهینه از آب، کم نمود تا امکان جبران اُفت سطح آب زیرزمینی فراهم آید. به جای امکان استفاده از آب برای مالکین، باید مجوز استفاده از آب برای مصارف اقتصادی در مدت زمانی معین و مشروط به وجود آب و با درنظرگرفتن امکان پایداری آب و حفظ آن برای هدف های محیط زیستی و نسل های آینده صادر شود. همچنین مشخص گردید که سیستم‌هایی که منابع آب سطحی و زیرزمینی را با هم می‌بینند، نسبت به مکانیزهایی که در مورد منابع آب سطحی و زیرزمینی به صورت جداگانه تصمیم‌گیری می‌کنند از کارآیی بهتری برخوردارند. علاوه بر این، مشخص شد که بزرگترین چالش در زمینه کاهش برداشت‌ها، اثرات اقتصادی کاهش آب آبیاری است. بنابراین برای رسیدن به این هدف باید برنامه‌هایی تدوین شود که ایجاد انگیزه نموده تا افراد به صورت اختیاری در آنها مشارکت نمایند. همچنین با توجه به ممنوع‌شدن صدور مجوز برای برداشت‌های جدید، لازم است تا سیستم‌هایی برای تسهیل انتقال اختیاری آب بین مصرف‌کنندگان مختلف با قوانین و مقررات روشن و شفاف به صورت منطقه‌ای و محلی ایجاد شود و این قوانین باید فراگیر بوده و برای همه کسانی که از منابع آبی مشترک استفاده می‌کنند یکسان باشد.

در حال حاضر، جهت مدیریت بهتر سفره‌های آب زیرزمینی در مناطق مختلف، دفاتر امور آب در حال در حال تفکیک سفره‌ها به بخش‌های همگن هستند که درهریک ویژگی‌های سفره مشترک بین هشت ایالت (سفره اوگالالا) یکسان است و از نظر اُفت نیز دارای ویژگی‌های یکسان هستند و قرار است اولویت‌بندی برای حفاظت و افزایش طول عمر سفره در این بخش‌ها انجام شود. در شرایطی که امکان مصرف آب بیشتری در بخشی وجود نداشته باشد، حفاظت آنها برای پایداری آنچه از سفره باقی مانده است، انجام خواهد شد. این نوع مدیریت، دشوار اما امیدوارکننده است و برای رسیدن به پایداری، تعریف اهداف محلی، ارزش‌ها و مصارف متغیر از منابع آب زیرزمینی حیاتی خواهد بود. در این راستا نقش فعالی برای هیدروژئولوژیست‌ها جهت استفاده از روش‌های نوین برای پایش، مدل‌سازی و شبیه‌سازی اثرات سیاست‌های مدیریتی و تدوین معیارهای سنجش اهداف درازمدت پایداری و همچنین ارزیابی کارآیی سیاست‌های اجرایی پیش‌بینی شده است.

بنابراین همان گونه که در فوق ذکر گردید، مدیریت آب در کانزاس از سال ۱۹۴۵ مراحل کامل قانونی و حقوقی خود را طی کرده و هنوز نیز در حال توسعه‌یافتن و ارتقا می‌باشد. در ارتباط با مشکلات مدیریت منابع آب با وضع قانون حفظ حقابه‌ها و باتوجه به شناخت کم و یا فشارها برای توسعه، سفره‌های آب زیرزمینی تخلیه شدند و زمانی فرا رسید که سیاست‌مداران خود را با شرایط به وقوع پیوسته ناپایدار مواجه دیدند. اکنون برای رسیدن به پایداری سفره‌ها یا باید حقابه‌ها خریداری شوند یا اینکه باید بتوان آنها را کاهش داد. اگرچه

برنامه‌های مدیریتی زیادی برای کاهش اُفت سطح آب زیرزمینی تعریف شده است اما برای اجرای آن مهم‌ترین نقص، وجود قانون حفظ حقابه‌ها است. مادامی که حقابه‌بران به صورت بهینه از حقابه‌شان استفاده می‌کنند، موانع قانونی و سیاسی برای کاهش آنها وجود دارد. به همین دلیل پیشنهادهایی برای بهبود وضعیت مدیریت تا رسیدن به پایداری در آینده ارائه شده است. ۱) بدلیل اینکه اگر کسی از تخصیصی که در اختیار دارد به صورت بهینه مصرف نکند باید جریمه پرداخت نماید، مثل «یا مصرفش کن یا تلفش کن» بین مصرف‌کنندگان رواج دارد، که باید کم‌رنگ شود، ۲) تعریف مصرف بهینه گسترده‌تر شده و به نیازهای زیست محیطی، حفظ گونه‌های ماهی، کنترل آلودگی و نظیر آن نیز اطلاق شود. به عبارت دیگر حقابه‌بران بخشی از تخصیص‌هایشان را به نفع اهداف ذکرشده مصرف نکنند و برای آنها به عنوان مصرف بهینه تلقی شود (تا مشمول پرداخت جریمه نشوند)، ۳) چاه‌های شهری و سایر چاه‌های معاف از کاهش نیز تحت کنترل و قانون کاهش قرار گیرند. چون تعداد آنها زیاد و مصرف آنها اثرگذار است، ۴) الزامات قانونی مربوط به انتقال و بازار حقابه‌ها و تغییر نوع مصارف انعطاف‌پذیرتر شود، ۵) انجام مطالعات حقوقی درباره طبیعت حقابه‌ها برای تعیین اینکه تا چه اندازه اختیارات قانونی می‌تواند حقابه‌ها را در راستای منافع عمومی بدون پرداخت خسارت کنترل نماید و سپس در ارتباط با آنها تصمیم‌گیری شود، ۶) انگیزه‌هایی برای ایجاد تفاهم جهت تسهیم کمبودها بین بخش‌های خصوصی و سازمان‌های دولتی و محلی ایجاد شود، ۷) هر زمان که امکان‌پذیر است، تغذیه مصنوعی یا ذخیره آب برای جبران برداشت از سفره آب زیرزمینی در شرایط سیلابی یا در سایر شرایط منابع آبی صورت گیرد تا هرچقدر که امکان دارد، مشکل تهی‌شدن سفره آب زیرزمینی جبران شود (M. Sophecleous، ۲۰۰۹ و ۲۰۱۲).

### ۲-۲- تجربه ایالت کالیفرنیا

علاوه بر تجربه هشت ایالت ذکرشده در فوق، در کالیفرنیا، ACWA[۱] که مسئولیت سیاست‌گذاری منابع آب را بر عهده دارد، پایداری در مدیریت منابع آب را با یکسان‌شمردن اولویت‌های پایداری اقتصادی و زیست‌محیطی این گونه تعریف می‌کند: مدیریت فعال منابع در سطح محلی به گونه‌ای که نیازهای زیست‌محیطی و اقتصادی پاسخ داده شود در حالیکه از ادامه پایداری حوضه اطمینان حاصل شود. اگر چه کالیفرنیا سیستم اداری متمرکز برای تنظیم مقررات و صدور مجوز برای مصرف آب زیرزمینی ندارد و در واقع مالکین، طبق قانون حاکم بر این ایالت (این قانون برای همه ایالت ها یکسان نیست) و مطابق با میزانی که تحت عنوان تغذیه طبیعی به ازای واحد سطح مشخص شده است، می‌توانند در محدوده زمین خود اقدام به برداشت

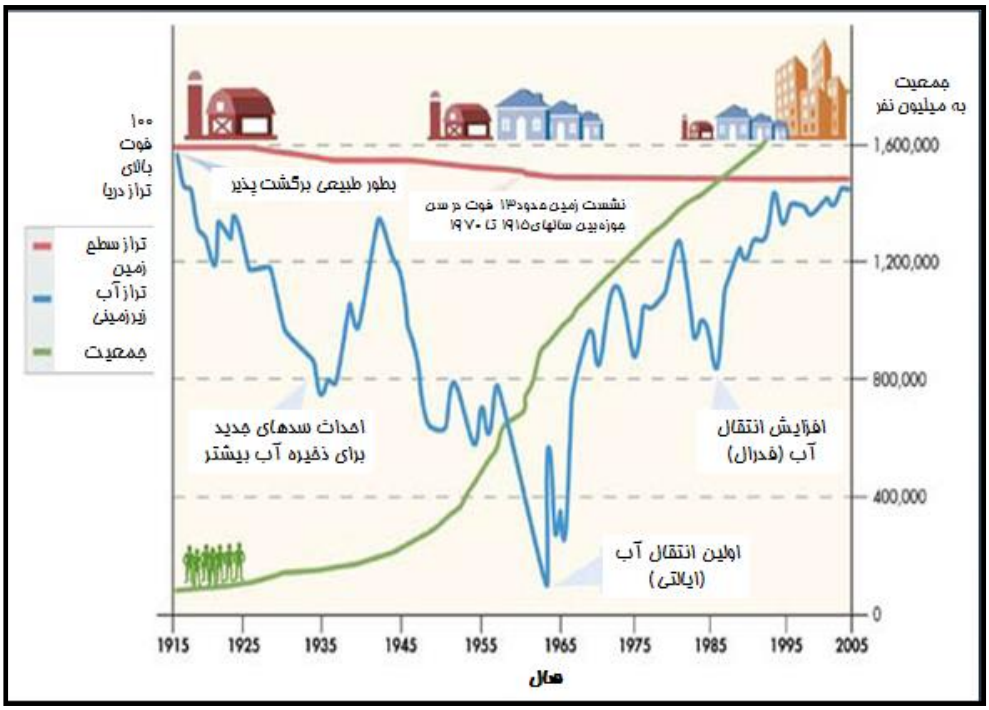
[۱] موسسه آژانس های آب کالیفرنیا: Association of California Water Agencies

آب زیرزمینی نمایند. اما این ایالت دارای تاریخ طولانی مدیریت منابع آب زیرزمینی از طریق برنامه‌های کنترل محلی است که طی قرن گذشته تدوین شده و به اجرا درآمده اند.

مطابق با این روند چالش‌هایی در مناطق مختلف ایجاد شده است که نمونه آن را می‌توان در دلتای ساکرامنتو- سن جوکین جستجو نمود که شامل افزایش نیازهای ناشی از رشد جمعیت، خشکسالی، تغییر اقلیم، برداشت بی‌رویه از آب زیرزمینی و پیامدهای زیست‌محیطی می‌باشد. به همین دلیل با توجه به چالش‌های تجمعی که برای آب زیرزمینی منطقه پیش آمده طرحی برای موضوع حاکمیت آب، حفاظت آب، انحراف آب سطحی و پایش سطح آب زیرزمینی برای تشخیص روندهای فصلی و درازمدت تعریف شده است. یکی از اهداف مهم این طرح تعریف پایداری است که موجب ارتقای مدیریت مؤثر در حوضه آب زیرزمینی می‌شود. باتوجه به اینکه ماهیت منابع آب زیرزمینی در مناطق مختلف ایالت کالیفرنیا بسیار با هم متفاوتند، لذا مدیریت منابع آب زیرزمینی به صورت محلی کنترل و نظارت می‌شود و در واقع یک مدل واحد برای همه سفره‌ها حاکم نیست. شایان ذکر است که منابع آب حاصل از نفوذ باران و برف و همچنین نفوذ آب سطحی، منابع اصلی تشکیل‌دهنده منابع آب زیرزمینی در مناطق مختلف این ایالت است که شامل ۱۱۵ محدوده آب زیرزمینی بوده و علاوه بر سفره‌های آبرفتی، دربرگیرنده سازندهای سخت نیز می‌باشد. هرچند بارش در کالیفرنیا بسیار متغیر است و از مکانی به مکانی دیگر و از فصلی به فصلی و از سالی به سالی دیگر تغییر می‌کند. سال‌های تر مشکلات سیلاب را ایجاد می‌کند و در سال‌های خشک میزان آب در دسترس بسیار کم می‌شود. این هیدرولوژی غیر قابل پیش‌بینی نه تنها موجب کاهش منابع آب‌های سطحی در سال‌های خشک می‌شود بلکه مقدار آب زیرزمینی را نیز برای برداشت محدود می‌نماید. به همین دلیل مهم‌ترین روش این ایالت برای برخورد با این تغییرات استفاده از بانکداری آب زیرزمینی است. بانکداری آب زیرزمینی ابزاری برای مدیریت آب است که برای افزایش اطمینان‌پذیری تأمین آب طراحی شده است به گونه‌ای که از فضای خالی تخلیه‌شده از سفره‌های آب زیرزمینی برای ذخیره آب در سال‌های تر (هنگامی که بارش زیاد است و رواناب مازاد وجود دارد) استفاده می شود و سپس در سال‌های خشک مورد استفاده قرار می گیرد. ذخیره‌سازی به دو صورت انجام می‌شود: از طریق مستقیم و با استفاده از طرح‌های تغذیه مصنوعی (چاه‌های تزریق و ...) و از طریق جایگزینی. در روش جایگزینی به جای آب زیرزمینی از آب سطحی استفاده می‌شود و به همان میزان از آب زیرزمینی برداشت نمی‌شود، یعنی در واقع ذخیره می‌شود. بنابراین تلفیق آب سطحی و زیرزمینی بخش حیاتی مدیریت پایدار در این منطقه را تشکیل می‌دهد.

به عنوان مثال، امور آب دره سنتا کلارا داده‌های ثبت‌شده طولانی از مدیریت آب تلفیقی (سطحی و زیرزمینی) را دارد. این اداره از اواخر دهه ۱۹۲۰ برای رسیدگی به مشکل اضافه‌برداشت آب زیرزمینی و نشست

زمین تشکیل شد و در سال ۱۹۳۵ هفت سد را جهت ذخیره آب سطحی برای تغذیه در تأسیسات نفوذ اجرا نمود. همان گونه که از شکل ۱ ملاحظه می‌شود، رشد سریع بعد از جنگ موجب افزایش نیازها برای آب شد و باعث گردید تا مجدداً ناپایداری یعنی اُفت تراز آب زیرزمینی اتفاق بیفتد. ظرفیت مخازن آب سطحی با ساختن چهار سد دیگر در دهه ۱۹۵۰ چهار برابر شد و در سال ۱۹۶۵ این اداره شروع به انتقال آب سطحی از پروژه آب ایالتی کرد. تراز آب زیرزمینی شروع به بالاآمدن نمود و نرخ نشست زمین به طرز قابل توجهی کند شد. تشکیل دره سیلیکون دوباره نیازها را افزایش داد و این اداره انتقال آب از پروژه‌های دره مرکزی را به برنامه تأمین‌اش در اواخر دهه ۱۹۸۰ اضافه کرد. در اواسط دهه ۱۹۹۰ تراز آب زیرزمینی به تراز مشاهداتی در آغاز قرن بیستم برگشت.




**شکل ۱: تغییرات سطح آب زیرزمینی در دره سنتا کلارا- کالیفرنیا از دهه ۱۹۲۰ تاکنون**

اما جالب اینجا است که در سال‌های اخیر به دلیل شرایط اقلیمی ناشی از خشکسالی و تغییر اقلیم، منابع آب حاصل از انتقال‌ها کاهش یافت و در گزارش اخیری که توسط ACWA تهیه و منتشر شد چالش‌های توسعه پایدار منابع آب زیرزمینی را در ایالت کالیفرنیا این گونه گزارش می‌نماید:

- اُفت دلتای ساکرامنتو- سن جوکین: کاهش منابع آب سطحی انتقالی باعث بروز مشکل می‌شود و بنابراین این دلتا برای پایداری به این آب وابسته است.
- خشکسالی‌های دوره‌ای

- تغییر اقلیم: افزایش فراوانی وقوع خشکسالی‌های دوره‌ای، کاهش ذخیره برفی، افزایش درجه حرارت در نتیجه افزایش نیازها و تغییر الگوی بارندگی که موجب تولید سریع‌تر رواناب‌ها و کاهش تغذیه به آب زیرزمینی شده است.

بدین ترتیب به دلیل وابستگی مناطق به آب‌های انتقالی برای پایداری، توصیه شده است که تلاش شود تا با افزایش برنامه‌های مصرف تلفیقی از فواید ظرفیت ذخیره سفره آب زیرزمینی برای ذخیره‌کردن منابع آب سطحی از طریق تغذیه طبیعی یا مصنوعی استفاده شود. همچنین ذکر گردیده است که در بسیاری از مناطق پتانسیل قابل توجهی برای تأمین نیازهای محلی از طریق تخصیص جریان های سیلابی و باز چرخانی آب برای افزایش تغذیه آب زیرزمینی وجود دارد. به همین دلیل در حال حاضر از برنامه‌هایی که موجب کاهش وابستگی به آب‌های انتقالی شود و همچنین برنامه‌های کاهش مصرف و صرفه‌جویی حمایت می‌شود (چارچوب پایداری منابع آب زیرزمینی کالیفرنیا، ۲۰۱۱).

### ۲-۳- نتیجه‌گیری و جمع‌بندی

با توجه به مجموعه تجارب ارائه‌شده در فوق در خصوص روند تکاملی تعریف آبدهی مطمئن در سفره‌های آب زیرزمینی و اثرات نامطلوب استفاده از تعریف این پارامتر از یک طرف و همچنین مشاهده کاهش رواناب‌های سطحی در رودخانه‌های مختلف در ایران (گزارش کاهش رواناب‌های سطحی، دفتر مطالعات پایه شرکت مدیریت منابع آب ایران، ۲۰۱۳) از طرف دیگر، این فرضیه را به ذهن متبادر می‌کند که آیا استفاده از این تعریف برای تعیین میزان آب قابل برداشت از سفره‌های آب زیرزمینی در ایران و نیز تصمیم‌گیری‌ها و مدیریت‌های منفردی که برای منابع آب سطحی و زیرزمینی در کشور انجام می‌شود، منجر به کاهش رواناب‌های قابل توجه در رودخانه‌ها شده است یا خیر؟ یعنی همان تجربه‌ای که در دهه‌های ۱۹۷۰ و ۱۹۸۰ برخی از ایالت‌های امریکا با آن مواجه شدند و همین امر موجب تغییر روند مدیریت منابع آب از مدیریت مجزا به مدیریت تلفیقی آب سطحی و زیرزمینی گردید و مفاهیم پایداری در تعریف میزان آب قابل برداشت از منابع آب زیرزمینی (آبدهی مطمئن) وارد شد. در این زمینه اطلاعات ماهواره GRACE[2] در دوره آماری ژانویه ۲۰۰۳ تا نوامبر ۲۰۰۹ برای منطقه شمال مرکزی خاورمیانه شامل بخش‌هایی از حوضه آبریز رودخانه دجله و فرات و ناحیه غربی ایران نشان می‌دهد که نرخ هشداردهنده‌ای از کاهش در مجموع ذخیره آب این منطقه، معادل ۱۴۳٫۶ میلیارد مترمکعب در طول دوره مطالعات اتفاق افتاده است. اطلاعات سنجش از دور و خروجی مدل‌ها در سطح زمین نشان داد که کاهش منابع آب زیرزمینی دلیل اصلی این روند بوده، به طوریکه ۹۱٫۳

[2]Gravity Recovery and Climate Experiment

میلیارد مترمکعب از کاهش منابع مربوط به کاهش حجم ذخیره منابع آب زیرزمینی می‌باشد. کاهش آب معادل برف و کاهش رطوبت خاک به دلیل خشکسالی‌ها به ویژه پس از سال ۲۰۰۷ که منعکس‌کننده اثرات خشکسالی است، مجموعاً حدود یک پنجم کاهش ذخیره را به خود اختصاص می‌دهد. همچنین بررسی منابع آب سطحی نشان‌دهنده ۲۰ درصد کاهش می‌باشد. بدین ترتیب بررسی‌ها نشان داد که کاهش منابع آب در طول دوره مطالعات برای محدوده ی مورد بررسی به دلیل خشکسالی و افزایش مصرف آب زیرزمینی رخ داده است که حدود ۶۰ درصد از این کاهش به افزایش برداشت از منابع آب زیرزمینی بر می‌گردد (Voss, et. all، ۲۰۱۳). بنابراین می‌توان به این واقعیت رسید که برای بررسی دلایل کاهش رواناب‌های سطحی در رودخانه‌ها، به اثر برداشت‌های منابع آب زیرزمینی (ناشی از تعریف آبدهی مطمئن و اضافه‌برداشت های موجود) باید به عنوان یک فرضیه قوی نگاه کرد و آن را مورد بررسی قرار داد.

در خاتمه این بخش باتوجه به تجارب ارائه‌شده در فوق موضوع توسعه پایدار از منابع آب زیرزمینی را می‌توان این گونه جمع‌بندی نمود:

- به دلیل عدم قطعیت‌هایی که در عوامل اثرگذار بر منابع آب زیرزمینی وجود دارد، تعریف برداشت ثابت و یکسان تحت عنوان برداشت مجاز برای سفره‌های آب زیرزمینی صحیح نبوده و لازم است در بررسی‌ها به ماهیت غیر قطعی این منابع پرداخته شود و میزان برداشت‌ها در شرایط مختلف و با احتمال وقوع‌های متفاوت مشخص گردد.
- در صورتی می‌توان از منابع آب زیرزمینی در شرایط خشکسالی و در پاسخگویی به کمبودهای منابع آب سطحی استفاده نمود که امکان برگشت‌پذیری سفره به شرایط تعادل در دوره زمانی قابل قبول محرز شده باشد. بدیهی است در صورتی که به لحاظ اقلیمی منطقه‌ای با خشکسالی‌های مداوم مواجه می‌شود، فرض برگشت‌پذیری سفره در دوره زمانی کوتاه‌مدت (یعنی دوره ترسالی بلافاصله پس از خشکسالی‌ها) فرضی غیرمنطقی است.
- مدیریت و تصمیم‌گیری در مورد منابع آب سطحی و زیرزمینی باید به صورت تلفیقی صورت گیرد زیرا همواره بخشی از منابع آب زیرزمینی که عملاً به صورت جریان پایه در رودخانه ها جریان دارند، در آمار درازمدت ثبت‌شده ایستگاه‌های هیدرومتری لحاظ شده‌اند و به عنوان آب سطحی تلقی می‌شوند. از طرف دیگر به طور معمول بررسی‌ها، گزارش‌ها و تصمیم‌گیری‌ها در خصوص منابع آب سطحی و زیرزمینی به صورت جداگانه انجام می‌شود، بنابراین ضروری است این رویکرد تغییر نموده و رویکرد بررسی و تصمیم‌گیری در مورد منابع آب سطحی و زیرزمینی به صورت همزمان انجام شود. بدیهی است در این راستا تغییر پارامترهایی نظیر آبدهی مطمئن نیز الزامی خواهد بود.

- در بررسی دلایل کاهش رواناب سطحی در رودخانه‌ها و خشک‌شدن دریاچه‌ها و تالاب‌ها، باید به اثر افزایش برداشت از آبخوان‌ها و در نتیجه کاهش خروجی سفره‌های آب زیرزمینی به بدنه‌های آب سطحی و افزایش تغذیه از رودخانه‌ها به سفره‌های آب زیرزمینی به عنوان عواملی که می‌توانند نقش تعیین‌کننده‌ای داشته باشد، در کنار عواملی نظیر تغییر اقلیم و افزایش برداشت‌ها آب سطحی توجه نمود.

برای تعریف پایداری در یک حوضه آبریز، پرداختن به منابع آب سطحی و منابع آب زیرزمینی به صورت مستقل موجب بروز خطا در مقادیر منابع آب قابل بهره‌برداری می‌شود. بنابراین لازم است در تعریف پایداری یک حوضه آبریز مجموعه عوامل سطحی، زیرزمینی، نیاز های زیست‌محیطی و مسائل مربوط به کیفیت بدنه‌های آبی با یکدیگر دیده شود تا بتوان آبدهی پایدار یا منابع آب پایدار قابل برنامه‌ریزی در یک حوضه را با ماهیت غیر قطعی و به صورت احتمالی در نظر گرفت.

## ۳. بررسی گزارش های بیلان قبلی در دشت رفسنجان

یکی از مسائلی که موجب ایجاد ضرورت برای انجام پژوهش حاضر گردید، تنوع نتایج حاصل از گزارش‌های انجام‌شده قبلی در خصوص تهیه بیلان منابع آب زیرزمینی در دشت رفسنجان و برآورد میزان آبدهی مطمئن در این دشت می‌باشد. بررسی مطالعات انجام‌شده قبلی منجر به گردآوری ۱۴ گزارش مختلف در خصوص محاسبات مربوط به تهیه بیلان آب زیرزمینی مطابق با جدول شماره ۱ گردید.

همان گونه که از این جدول ملاحظه می‌شود، از مجموع گزارش‌های مورد بررسی-که بین سال‌های ۴۸ تا ۸۸ تهیه شده‌اند- تنها مطالعات انجام‌شده در ۶ گزارش (ردیف‌های ۴، ۶، ۹ و ۱۲ تا ۱۴ از جدول شماره ۱) منجر به تهیه بیلان آب زیرزمینی برای دشت رفسنجان شده‌اند. بنابراین در ادامه به بررسی روش انجام کار، نتایج حاصله و در نهایت مقایسه نتایج به دست‌آمده از این گزارش‌ها و تحلیل آنها پرداخته می‌شود. لازم به ذکر است که اطلاعات مربوط به سال تهیه گزارش، تهیه‌کننده و موضوع گزارش‌ها نیز در جدول مذکور ارائه شده است.

**جدول ۱: فهرست گزارش های مورد بررسی در خصوص تهیه بیلان آب زیرزمینی در دشت رفسنجان**

| ردیف | نام گزارش | سال تهیه | تهیه‌کننده | موضوع |
|---|---|---|---|---|
| ۱ | گزارش مطالعات شناسایی آب‌های زیرزمینی دشت رفسنجان | ۴۸ | اداره کل آب‌های زیرزمینی | اطلاعات کیفی، آماربرداری |
| ۲ | مطالعات هیدروژئولوژی توسط اکتشافات الکتریکی در ناحیه رفسنجان (مرحله اول- دشت مرکزی رفسنجان) | ۴۹ | کمپانی ژنرال ژئوفیزیک- شعبه تهران | اجرای سوندژهای الکتریکی- نقشه‌های مقاومت مخصوص- مقاومت عرضی- سنگ کف- مقاطع |

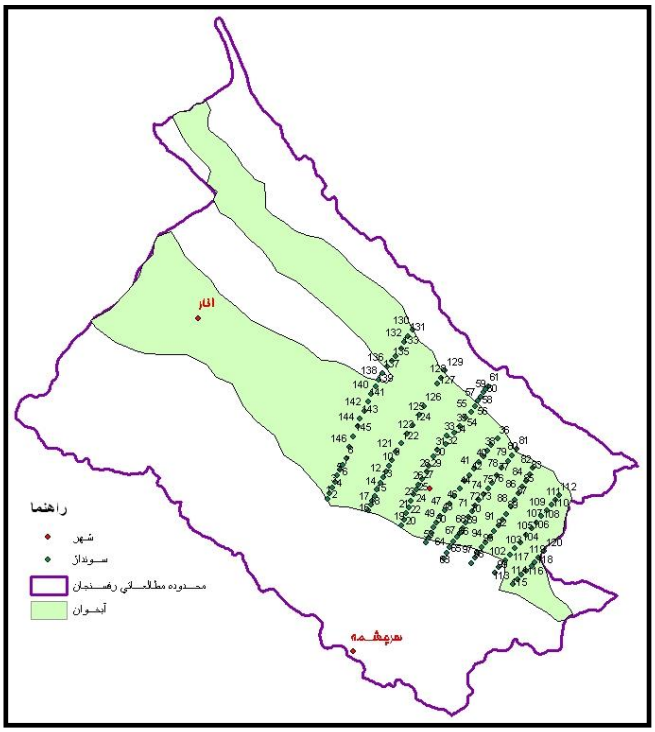
| ردیف | نام گزارش | سال تهیه | تهیه‌کننده | موضوع |
|---|---|---|---|---|
| ۳ | مطالعات و بررسی‌های ژئوالکتریکی در منطقه رفسنجان (مرحله دوم- دشت‌های نوق، انار و بیاض) | ۵۰ | گروه مهندسین مشاور آب و خاک | اجرای سونداژهای الکتریکی- نقشه‌های مقاومت مخصوص- مقاومت عرضی- سنگ کف- مقاطع |
| ۴ | گزارش نیمه‌تفصیلی آب‌های زیرزمینی دشت‌های رفسنجان، نوق، انار، بیاض، کشکوئیه | ۵۱ | اداره کل آب‌های زیرزمینی | تقریباً کامل‌ترین گزارش موجود: آماربرداری، کیفی، اکتشافی، پیزومتر، T، هم‌عمق و بیلان سال ۵۰ |
| ۵ | خلاصه گزارش مطالعات نیمه‌تفصیلی آب‌های زیرزمینی منطقه رفسنجان شامل دشت‌های | ۵۱ | اداره کل آب‌های زیرزمینی | گزارش کلی- بیلان سال ۵۰ |
| ۶ | محاسبه بیلان آب زیرزمینی رفسنجان- نوق- بردسیر | ۵۱-۵۲ | محمدحسن اسلام‌پناه- مسیح | بیلان آب زیرزمینی سال ۵۲-۵۱ |
| ۷ | گزارش بیلان آب زیرزمینی رفسنجان، نوق، بردسیر | ۵۱-۵۲ | اداره کل آب‌های زیرزمینی | بیلان آب زیرزمینی سال ۵۲-۵۱ |
| ۸ | گزارش آماری دشت‌های رفسنجان- نوق- انار- بیاض- کشکوئیه (جلد دوم) | ۵۲-۵۳ | اداره کل آب‌های زیرزمینی | آماربردار یچاه و قنات |
| ۹ | گزارش ادامه مطالعه دشت‌های رفسنجان- نوق- انار- بیاض- کشکوئیه در سال ۵۳ | ۵۳ | اداره کل آب‌های زیرزمینی | بیلان آب زیرزمینی سال ۵۳-۵۲ و پارامترها اندازه‌گیری شده است. |
| ۱۰ | گزارش خلاصه آمار و شرح وضعیت هیدروژئولوژی حوزه آبریز کویر اردستان- | ۵۴ | اداره کل آب‌های زیرزمینی | گزارش کلی- بیلان سال ۵۰ |
| ۱۱ | تعیین وضعیت آب‌های زیرزمینی رفسنجان و نحوه بهره‌برداری از ان | ۵۶ | شرکت سهامی آب و برق منطقه‌ای کرمان | نامه‌ای محرمانه به آقای توکلی (وزیر نیروی وقت)- شرح وضعیت کلی هیدروژئولوژی منطقه |
| ۱۲ | طرح جامع آب کشور | ۷۸ | مهندسین مشاور | سال تهیه بیلان ۷۳-۷۲ |
| ۱۳ | اطلس منابع آب کشور | ۸۹ | مهندسین مشاور هلیل‌آب | دوره ۴۶-۴۵ تا ۸۵-۸۴ |
| ۱۴ | بهنگام‌سازی طرح جامع آب کشور | ۹۲ | مهندسین مشاور | دوره ۷۵ تا ۸۶ و بیلان سال ۸۶-۸۵ |

**گزارش شماره ۱-گزارش مطالعات شناسایی آب‌های زیرزمینی دشت رفسنجان، سال ۱۳۴۸**

در این گزارش یک دوره آماربرداری کمی و کیفی در سال ۴۸-۴۷ صورت گرفته است. طبق این گزارش تعداد قنوات ۱۰۸ رشته بوده با تخلیه حدوداً ۷۹ م.م.م در سال، تعداد چاه‌های عمیق ۵۹ حلقه با تخلیه ۴۱ م.م.م در سال و تعداد چاه‌های نیمه‌عمیق ۱۰۶ حلقه با تخلیه ۲۹ م.م.م در سال می‌باشد. بدین ترتیب مجموع تخلیه از منابع آب زیرزمینی در دشت رفسنجان در سال آبی ۴۸-۴۷ معادل ۱۴۹ میلیون مترمکعب در سال بوده است. لازم به ذکر است که در این گزارش در خصوص محاسبه بیلان اقدامی صورت نگرفته است.

**گزارش شماره ۲- مطالعات هیدروژئولوژی توسط اکتشافات الکتریکی در ناحیه رفسنجان، ۱۳۴۹**

در این گزارش تعداد ۱۴۸ سونداژ الکتریک انجام و نتایج حاصله شامل نقشه‌های مقاومت مخصوص، مقاومت عرضی، نقشه سنگ کف و مقاطع می‌باشد. شکل شماره۲ موقعیت سوندا‌ژهای انجام‌شده در دشت مرکزی رفسنجان را نشان می‌دهد.




شکل ۲: موقعیت سوندا‌ژهای انجام شده در دشت مرکزی رفسنجان

**گزارش شماره ۳- مطالعات و بررسی‌های ژئوالکتریکی در منطقه رفسنجان (مرحله دوم- دشت‌های نوق - انار و بیاض)، ۱۳۵۰**

در این گزارش تعداد ۲۲۸ سونداژ الکتریک که تعداد ۲۶ سونداژ آن در دشت انار، ۸۴ سونداژ در دشت نوق و ۱۸ سونداژ در امتداد دو مقطع در دشت رفسنجان انجام گردیده است و نتایج حاصله شامل نقشه‌های موقعیت سوندا‌ژها، تغییرات مقاومت‌های ظاهری AB=300m ، AB=1000m ، نقشه تغییرات مقاومت‌های عرض R.T و نقشه مقاطع ژئوالکتریک می‌باشد.

**گزارش شماره ٤- گزارش نیمه‌تفصیلی آب‌های زیرزمینی دشت‌های رفسنجان، نوق، انار- بیاض کشکوئیه- سال ۱۳۵۱**

بیلان آب زیرزمینی دشت رفسنجان در این گزارش برای مساحتی معادل ۱۶۶۴ کیلومتر مربع و برای سال ۱۳۵۰ محاسبه شده است. روش محاسبه مؤلفه‌های بیلان آب زیرزمینی و نتایج حاصل از آن در این گزارش به شرح زیر بوده است:

۱- جریان‌های ورودی و خروجی: محاسبه جریان‌های ورودی و خروجی آبخوان با استفاده از خطوط هم‌تراز آب زیرزمینی، محاسبه عرض مقاطع کانال‌های ورودی یا خروجی و قابلیت انتقال آب در این مقاطع به دست آمده است. قسمت عمده ورودی آب زیرزمینی از دره کمال‌آباد (ورودی بردسیر) و ارتفاعات جنوب شرقی و همچنین از طریق دشت کبوترخان (کرمان) به طرف رودخانه سفید (خشک) صورت می‌گیرد. در دامنه ارتفاعات شمالی دشت‌های رفسنجان و نوق در حوالی چاه دریا دفعتاً گرادیان آب زیرزمینی افزایش می‌یابد که علت آن تزریق آب از سنگ کف آهک‌های کرتاسه می‌باشد- این نظر تنها در گزارش‌های قدیمی ذکر گردیده و در گزارش‌های جدید بیلان اشاره‌ای به این مطلب نشده است. از نظر کارشناسان قدیمی تغذیه از سنگ کف با توجه به استدلال زیر صورت می‌گیرد:

به نظر می‌رسد که تزریق آب زیرزمینی از سنگ کف در محل شکستگی باعث انحلال سنگ‌های آهکی و ایجاد غارهای آهکی می‌باشد که به تدریج آبرفت در محل چاه دریا بر روی غارهای مذکور نشست کرده و سطح آب زیرزمینی توسط حفره چاه دریا به ابعاد ۴۰*۳۶,۵ متر و به عمق ۹۸ متر نمایان شده است که به مرور زمان در اثر ریزش ماسه‌های روان به داخل چاه دریا عمق آن کم شده است. در فاصله ۳۸ کیلومتری شمال غرب چاه دریا (بهرمان نوق) نیز در داخل آبرفت فضایی به ابعاد ۵۰*۵۰ بارتفاع ۳ متر دیده شده است که در کف آن آب زیرزمینی رویت شده است. در این منطقه مانند چاه دریا که در منطقه شکستگی قرار دارد بر اثر نشست آبرفت روی غارهای آهکی فضای خالی مذکور در داخل آبرفت به وجود آمده است که از خارج قابل رویت نیست. با توجه به پایین بودن ضریب نفوذپذیری رسوبات رسی سیلتی دریاچه‌ای مرکز دشت، آب زیرزمینی از محل شکستگی به داخل رسوبات دریاچه‌ای کم بوده و جریان آب زیرزمینی به ناچار در امتداد گسیختگی

مذکور به طرف دشت نوق برابر نقشه تراز آب جریان دارد. قسمت اعظم تغذیه جانبی این دشت توسط دهانه‌های چنگو- بیاض و انار (ارتفاعات جنوبی) صورت می‌پذیرد.

آب زیرزمینی در مقطع خروجی دشت رفسنجان وارد دشت کشکوئیه شده و در انتهای دشت انار در حوالی دهکده جوادیه آب زیرزمینی در سطح ظاهر گردیده و به طرف انتهای دشت نوق جریان یافته که به نام رودخانه شور نوق معروف است. همچنین آب‌های زیرزمینی از بخش شمال غربی دشت نوق خارج می‌گردد و توسط رود شور نوق به طرف حوضه کویری بافق زهکشی می‌گردد.

۲- تبخیر از سطح آب زیرزمینی: میزان تبخیر از آب زیرزمینی برای سطحی منظور می‌گردد که عمق آب زیرزمینی کمتر از ۳ متر باشد. سطح حوضه تبخیری ۸۰ کیلومتر مربع می‌باشد. مقدار کل تبخیر از سطح آب زیرزمینی بر اساس ۵ ٪ تبخیر از تشتک برابر ۱۹۷/۸۶ میلیمتر برای مدت ۲۷۶ روز در سال برآورد گردیده است.

۳- مقدار نفوذ از باران در دشت: به علت تبخیر شدید منطقه و بارندگی کم- به طور متوسط سالیانه ۹۵/۵ میلیمتر- از نفوذ باران در دشت صرف نظر شده است.

۴- آب برگشتی کشاورزی: آب برگشتی حاصل از آبیاری سطوح زیر کشت، برابر ۱۰ درصد منظور گردیده است. براساس آمار موجود در گزارش مورد نظر، تخلیه چاه‌های عمیق و نیمه‌عمیق برابر ۱۶۳/۲۶ میلیون متر مکعب بوده و بدین ترتیب میزان آب برگشتی به سفره معادل ۱۶,۶۲ میلیون متر مکعب در سال محاسبه گردید.

۵- مقدار تعریق درختان در مساحت ۹۶ کیلومتر مربع به عنوان مجهول در معادلات بیلان در نظر گرفته شد که پس از حل معادل بیلان این عدد معادل ۵,۲ میلیون مترمکعب محاسبه گردید.

۶- تغییرات سطح آب زیرزمینی: با توجه به وسعت دشت که برابر ۱۶۶۴ کیلومتر مربع و اُفت ۰/۳۵ متر برای مدت زمان یکسال و ضریب ذخیره متوسط ۱۲/۵ ٪ مقدار کاهش حجم مخزن معادل ۷۲,۸ میلیون مترمکعب محاسبه گردید.

۷- جریان‌های سطحی ورودی: میزان تخلیه سالیانه رودخانه شور رفسنجان در دوره بیلان برابر ۱/۳۸ میلیون متر مکعب در سال و رودخانه لاله زار ۹/۶۱ میلیون متر مکعب در سال اندازه‌گیری شده است. با توجه به پائین‌بودن سطح آب زیرزمینی (حدود ۱۰۰ متر) فرض شده است که جریان‌های سطحی مذکور نفوذی به سفره آب زیرزمینی نداشته و از تمامی حجم مذکور در امر کشاورزی استفاده می‌گردد، لذا در محاسبات بیلان دشت رفسنجان از نفوذ جریان‌های سطحی صرف نظر شده است.

بدین ترتیب بیلان دشت‌های رفسنجان و نوق به صورت مجزا محاسبه که نتایج در جدول‌های شماره ۲ و ۳ ارائه گردیده است.

جدول ۲: مولفه‌های بیلان آب زیرزمینی دشت رفسنجان (سال ۱۳۵۰)

| سطح بیلان | سال | ورودی | | | | | | خروجی | | | | | | تغییرات حجم ذخیره آبخوان |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | جریان زیرزمینی ورودی | نفوذ از بارندگی | نفوذ از جریان‌های سطحی | نفوذ از پساب کشاورزی | نفوذ از پساب شرب و صنعت | جمع | تخلیه (چاه و قنات) | جریان زیرزمینی خروجی | زهکش | تبخیر | تعرق (X) | جمع | |
| ۱۶۶۴ | ۵۰ | ۱۱۷,۷ | ۰,۰ | ۰,۰ | ۱۶,۳ | ۰,۰ | ۱۲۸,۱ | ۱۶۳,۲ | ۱۶,۵ | ۰,۰ | ۱۵,۸ | ۵,۲ | ۲۰۰,۷ | -۷۲,۶ |

جدول ۳: مولفه‌های بیلان آب زیرزمینی دشت نوق (سال ۱۳۵۰)

| سطح بیلان | سال | ورودی | | | | | | خروجی | | | | | تغییرات حجم ذخیره آبخوان |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | جریان زیرزمینی ورودی | نفوذ از بارندگی | نفوذ از جریان‌های سطحی | نفوذ از پساب کشاورزی | نفوذ از پساب شرب و صنعت | جمع | تخلیه (چاه و قنات) | جریان زیرزمینی خروجی | زهکش | تبخیر از آبخوان (X) | جمع | |
| ۱۰۸۸ | ۵۰ | ۵۲,۲ | ۰,۰ | ۰,۰ | ۵,۰ | ۰,۰ | ۵۷,۲ | ۴۹,۹ | ۳,۳ | ۰,۰ | ۱۰۸ | ۶۴,۰ | -۶۸ |

همان گونه که از این جداول ملاحظه می‌گردد، مطابق با گزارش بیلان سال ۵۰، مجموع ورودی‌ها به دشت‌های رفسنجان و نوق به ترتیب معادل ۱۲۸,۱ و ۵۷,۲ میلیون مترمکعب بوده و کسری مخزن در این سال برای دشت رفسنجان ۷۲,۶ میلیون مترمکعب گزارش شده است. لازم به ذکر است که بخشی از ورودی‌ها به دشت نوق (حدود ۸,۱ میلیون مترمکعب) در واقع همان خروجی از دشت رفسنجان می‌باشد. بنابراین می‌توان به این جمع‌بندی دست یافت که از دیدگاه این گزارش، منابع آب تجدیدپذیر (که عبارت است از مجموع منابع آب تغذیه‌کننده آبخوان) در دشت رفسنجان، معادل ۱۷۷ میلیون مترمکعب در سال می‌باشد که سهم تغذیه طبیعی از این منابع ۱۵۵,۷ میلیون متر مکعب در سال می‌باشد. بر همین اساس میزان منابع آب قابل برنامه‌ریزی یا همان آبدهی مطمئن برای دشت‌های رفسنجان و نوق (که عبارت است از تخلیه چاه و قنات منهای کسری مخزن) معادل ۱۳۳,۷ میلیون مترمکعب محاسبه می‌گردد.

با توجه به انجام مطالعات در این گزارش، چنین نتیجه‌گیری شد که با توجه به برداشت ۷۲ میلیون مترمکعب در سال از ذخیره آب زیرزمینی، باید نسبت به حفر چاه جدید در منطقه جلوگیری به عمل آید و فقط در موارد کم‌آبی، اجازه عمیق‌نمودن چاه‌های نیمه‌عمیق با شرایط نصب کنتور حجمی و ادامه حفر پیشکار

قنوات را نسبت به بهره‌برداری به مأخذ سابق صادر نمود. اما در مورد دشت نوق چون حالت متعادلی بین تغذیه و تخلیه وجود دارد باید سعی شود که حالت مذکور را حفظ نمود و مواردی را که در مورد دشت رفسنجان رعایت خواهد شد در این مورد نیز اجرا نمود. در خصوص دشت انار نیز چون شبکه چاه‌های مشاهده‌ای دشت انار تکمیل نگردیده بود محاسبات مربوط به بیلان آب زیرزمینی این دشت انجام نگردید.

علاوه بر این، گزارش شده است که آب زیرزمینی به طور کلی در دامنه‌ها دارای وضعیت کمی و کیفی بسیار بهتری نسبت به مراکز دشت است و این منابع ضمن عبور از مسیر و رسیدن به مراکز دشتها شور می‌گردد. بنابراین بهتر و مناسب‌تر خواهد بود که پروانه‌های حفر و بهره‌برداری جدید برای چاه‌های عمیق در حوالی دامنه‌ها انتخاب شود تا از نفوذ هر چه بیشتر آب شیرین به مراکز دشت و شور شدن آن جلوگیری شود.

مطابق با این مطالعات در سال ۱۳۵۰ دو رودخانه تقریباً دائمی شور و لاله‌زار وارد دشت رفسنجان می‌شدند که به طور کامل از آب آن‌ها با احداث کانال توسط اهالی استفاده می‌گردید و سایر مسیل‌های سیلابی موقتی بوده و با آشنایی اهالی نسبت به مسیر سابق آنها پیش‌بینی‌های لازم جهت استفاده از آب سیلابی ناگهانی آنها گردیده است.

سنگ بستر در مراکز دشت‌های مورد مطالعه از نهشته‌های دانه‌ریز رسی، سیلتی دریاچه‌ای تشکیل یافته که به علت دارابودن خلل و فرج زیاد مقدار قابل توجهی آب شور در خود نگهداشته‌اند از طرفی چون دشت‌ها به صورت گرابن بوده و نیز دشت رفسنجان دائماً در حال نشست می‌باشد، نشست مذکور موجب افزایش فشار وارد بر لایه‌های آبدار رسی زیرین می‌گردد و سبب می‌شود که ذرات آب از حفره‌های زیر به بیرون تراوش نماید و حالتی نظیر تزریق از کف ایجاد شود. آبدهی لایه‌های رسی مذکور در طول زمان، در محاسبات بیلان منطقه اثر دارد و بایستی به آن توجه شود. بنابراین پیشنهاد شده است که جهت شناسایی سنگ کف در حوالی چاه دریا و شمال دشت نوق دو حلقه چاه اکتشافی عمیق حفر گردد تا مسئله تزریق از کف در نواحی مذکور بهتر روشن شود و خصوصیات هیدرودینامیکی لایه‌های آبدار این نواحی مورد مطالعه قرار گیرد. همچنین حفر دو حلقه چاه اکتشافی دیگر به منظور بررسی و تشخیص سنگ کف در قسمت جنوب رفسنجان در انتهای مسیل‌های گیودری و چنگو و محاسبات دقیق‌تر بیلان پیشنهاد گردید.

علاوه بر موارد فوق پیشنهاد شده است که نمونه‌برداری از آب چاه‌های نیمه‌عمیق و قنوات انتخابی منطقه به صورت فصلی جهت آزمایش کامل شیمیایی صورت گیرد. کنترل حفاری چاه‌های عمیق خصوصی به منظور جمع‌آوری هر چه بیشتر اطلاعات زمین‌شناسی از آبرفت و سنگ کف و حفظ و نگهداری چاه‌های مشاهده‌ای حفرشده به وسیله یک گروه سه نفری کارگر مقنی در تمام ایام سال نیز از دیگر پیشنهادهای مطالعات ذکرشده می‌باشد.

**گزارش شماره ۵- خلاصه گزارش مطالعات نیمه‌تفضیلی آب‌های زیرزمینی منطقه رفسنجان شامل دشت‌های رفسنجان- نوق- انار، بیاض، کشکوئیه: ۱۳۵۱**

این گزارش دقیقاً خلاصه گزارش شماره ۴ می باشد و همه اعداد و ارقام از گزارش ۴ گرفته شده است.

**گزارش شماره ٦- محاسبه بیلان آب زیرزمینی رفسنجان- نوق- بردسیر: سال ۵۲-۵۱**

در این گزارش برای جلوگیری از ورود خطای ناشی از محاسبه تغییرات حجم ذخیره، ابتدا دوره محاسبه بیلان به دو دوره تقسیم شده است که در یکی از آنها تغییرات ذخیره صفر بوده و در دوره دیگر تغییرات حجم ذخیره ( $\Delta V$) از رابطه زیر محاسبه گردید:

$$\Delta V = A.h.s$$

A: وسعت محدوده‌ای که تغییرات سطح آب در آن ملاحظه شده است.

h: اُفت یا بالاآمدگی سطح آب

S: ضریب ذخیره دشت که با توجه به نوع تشکیلات حوالی سطح آب زیرزمینی و بررسی لاگ زمین‌شناسی چاه‌های اکتشافی، مقدار متوسط آن در دشت رفسنجان ۵ درصد و در دشت نوق معادل ۳ درصد تعیین گردید.

علاوه بر این، خروجی رودخانه شور نوق با دبی ۱ میلیون متر مکعب در سال به صورت زهکش به عنوان خروجی محدوده بیلان در نظر گرفته شد. همچنین با آنالیز آمار آب و هواشناسی و مقایسه مقادیر متوسط بارندگی و تبخیر سالیانه بر حسب ارتفاع در نقاط مختلف استان کرمان با استفاده از ایستگاه‌های هواشناسی، رابطه خطی زیر بین میزان نفوذ و رواناب سطحی (پتانسیل منابع آب تجدیدپذیر حوضه) و ارتفاع حاصل گردید:

$$y=2.82X+2600$$

که در آن مقدار X مقدار نفوذ به اضافه رواناب سطحی و Y ارتفاع از سطح دریا می‌باشد. بنابراین بر اساس رابطه حاصله، میزان پتانسیل منابع آب تجدیدپذیر در محدوده مورد مطالعه برای مناطقی با ارتفاع پائین‌تر از ۲۶۰۰ متر صفر خواهد بود و برای مناطق با ارتفاع بالاتر می‌توان مقادیر آن را محاسبه نمود. در مرحله اول فاکتور نفوذ حاصل از ریزش در ارتفاعات + نفوذ حاصل از منابع آب سطحی و مسیل‌ها، در فرمول بیلان مجهول در نظر گرفته شد.

محاسبه جریان‌های ورودی و خروجی آبخوان با استفاده از خطوط هم‌تراز آب زیرزمینی و قابلیت انتقال آب در این مقاطع (همانند گزارش ۴) محاسبه گردید. بر این اساس، بخشی از جریان ورودی به نوق از طریق

گسل چاه دریا (به موازات ارتفاعات شمال شرقی منطقه) تأمین می‌شود و قسمت دیگر آن از جریان خروجی دشت مرکزی رفسنجان تأمین می گردد. در دشت مرکز رفسنجان نیز، قسمتی از جریان ورودی از ارتفاعات جنوبی منطقه تأمین می‌شود. هرچند به علت ناقص‌بودن شبکه چاه‌های مشاهده‌ای در حاشیه این ارتفاعات و عدم امکان ترسیم دقیق خطوط تراز، میزان این تغذیه به طور مستقیم از طریق فرمول دارسی قابل محاسبه نبوده است.

علاوه بر تغذیه از ارتفاعات، در این مطالعه به آبدهی ناشی از سنگ کف رسی در اثر نشت به دلیل برداشت از لایه‌های آب‌دار سفره اشاره شده است. بدین معنا که در اثر استخراج زیاد آب زیرزمینی، نشت آب از سنگ کف و گسل‌های موجود در آن افزایش می‌یابد و به موازنه بیلان کمک می کند. موارد اخیر در سفره‌های نوق و رفسنجان به دلایل زیر مورد توجه قرار گرفته است:

الف- عدم موازنه در معادله بیلان در صورت در نظر نگرفتن عامل فوق، به عبارت دیگر ناچیزبودن اُفت سطح آب به نسبت تخلیه سالیانه.

ب- شوری زیاد از حد آب زیرزمینی نوق و مغایربودن کیفیت آب اواسط دشت با آب ورودی زیرزمینی. به این معنا که منبع تأمین قسمتی از آب مورد بهره‌برداری این منطقه، آب محبوس درون رس‌های تحت فشار است که در اثر استخراج آب زیرزمینی و کم‌شدن فشار پیزومتریک و خاصیت فشار پذیری لایه‌های رس به تدریج آب خود را از دست داده و قابل جانشین‌شدن هم نخواهد بود.

ج- نشست زمین‌هایی که بهره‌برداری آب زیرزمینی در آنجا زیاد بوده و علت آن فرونشستن طبقات بالایی سفره تحت فشار در اثر کم‌شدن فشار پیزومتریک است که باید مورد مطالعه دقیق‌تر قرار گیرد.

آب اضافی حاصل از فشرده‌شدن ممکن است در مقادیر کم به وسیله تغذیه منابع آب زیرزمینی دوباره جبران و جانشین گردد. ولی ترزاقی در کارهای تجربی خود به این نتیجه می‌رسد که مقادیر قابل ملاحظه‌ای از چنین منابع آبی به صورت مداوم از تشکیلات آب‌دار خارج شده و قابلیت جایگزینی از طریق مصنوعی و یا طبیعی را ندارد.

آب برگشتی ناشی از مصارف کشاورزی در این گزارش معادل ۲۰ درصد تخلیه سالیانه قنوات و چاه‌ها در نظر گرفته شده است. همچنین تبخیر و تعریق از آب زیرزمینی در مناطق با عمق کمتر از ۲ متر و معادل ۷ درصد تبخیر از تشتک تبخیر در نظر گرفته شده است. وسعت چنین مناطقی در رفسنجان (در قسمتی از خروجی انار) ۲۵ کیلومتر مربع و در نوق ۳۰ کیلومتر مربع است. بنابراین میزان تبخیر از آب زیرزمینی برای رفسنجان و نوق به ترتیب معادل ۵,۹۵ میلیون متر مکعب و ۸,۲ میلیون متر مکعب در سال برآورد گردید.

بدین ترتیب بیلان دشت‌های رفسنجان و نوق به صورت مجزا محاسبه که نتایج در جداول شماره ۴ و ۵ ارائه گردیده است.

جدول ٤: مولفه های بیلان آب زیرزمینی دشت رفسنجان (سال آبی ۵۲-۱۳۵۱)

| سطح بیلان | سال | ورودی | | | | | | | | خروجی | | | | | | تغییرات حجم ذخیره آبخوان |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | جریان زیرزمینی ورودی | نفوذ از بارندگی | نفوذ از جریان‌های سطحی | نفوذ از پساب کشاورزی | نفوذ از پساب شرب و صنعت | نفوذ از باران در ارتفاعات و نفوذ از آب‌های سطحی | نفوذ از سنگ کف به سفره | جمع | تخلیه (چاه و قنات) | جریان زیرزمینی خروجی | زهکش | تبخیر | نفوذ از سفره به سنگ کف | جمع | |
| ۱۱۷۹ | ۵۱-۵۲ | ۵۳,۵ | ۰,۰ | ۰,۰ | ۲۹,۸ | ۰,۰ | ۲۳,۰ | ٤٤,۳ | ۱۵۰,٦ | ۱٤۹,۰ | ۱۵,۵ | ۰,۰ | ٦,۱ | ۰,۰ | ۱۷۰,٦ | -۲۰,۱ |

جدول ٥: مولفه های بیلان آب زیرزمینی دشت نوق (سال آبی ۵۲-۱۳۵۱)

| سطح بیلان | سال | ورودی | | | | | | | | خروجی | | | | | | تغییرات حجم ذخیره آبخوان |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | جریان زیرزمینی ورودی | نفوذ از بارندگی | نفوذ از جریان‌های سطحی | نفوذ از پساب کشاورزی | نفوذ از پساب شرب و صنعت | نفوذ از باران در ارتفاعات و نفوذ از آب‌های سطحی | نفوذ از سنگ کف به سفره | جمع | تخلیه (چاه و قنات) | جریان زیرزمینی خروجی | زهکش | تبخیر | نفوذ از سفره به سنگ کف | جمع | |
| ۸۰۹ | ۵۲-۵۱ | ۳٤,٤ | ۰,۰ | ۰,۰ | ۱۱,۲ | ۰,۰ | ۰,۰ | ۱۱,٤ | ۵۷,۰ | ۵٦,۵ | ٤,۳ | ۱,۰ | ۸,٤ | ۰,۰ | ۷۰,۱ | -۱۳,۱ |

همان گونه که از این جداول ملاحظه می گردد، مطابق با گزارش بیلان سال آبی ۵۲-۵۱ مجموع ورودی‌ها به دشت‌های رفسنجان و نوق به ترتیب معادل ۱۵۰,۶ و ۵۷ میلیون مترمکعب بوده و کسری مخزن در این سال برای دشت رفسنجان ۲۰,۱ و برای دشت نوق ۱۳,۱ میلیون مترمکعب گزارش شده است. لازم به ذکر است که بخشی از ورودی‌ها به دشت نوق (حدود ۷,۵ میلیون مترمکعب) در واقع همان خروجی از دشت رفسنجان می‌باشد. بنابراین می‌توان به این جمع‌بندی دست یافت که از دیدگاه این گزارش، منابع آب تجدیدپذیر (که عبارت است از مجموع منابع آب تغذیه‌کننده آبخوان) در دشت رفسنجان معادل ۲۰۰,۱ میلیون مترمکعب در سال می‌باشد که سهم تغذیه طبیعی از این منابع ۱۵۹,۰۶ میلیون متر مکعب در سال می‌باشد. بر همین اساس میزان منابع آب قابل برنامه‌ریزی برای دشت‌های رفسنجان و نوق (که عبارت است از تخلیه چاه و قنات منهای کسری مخزن) معادل ۱۷۲,۸ میلیون مترمکعب محاسبه می گردد. شایان ذکر است که علت اختلاف بین سهم تغذیه

طبیعی و آب قابل برنامه‌ریزی در این مطالعات، در نظرگرفتن آب برگشتی قابل توجه و محاسبه کسری مخزن پائین در آن (باتوجه به فرض ضریب ذخیره اندک برای دشت) می‌باشد.

علاوه بر انجام محاسبات بیلان، در این گزارش نیز پیشنهادهایی جهت افزایش دقت انجام محاسبات به شرح زیر ارائه شده است:

- تکمیل شبکه چاه‌های مشاهده‌ای در منطقه انار برای تکمیل منحنی‌های خطوط تراز آب زیرزمینی در حوالی ارتفاعات و تعیین بیلان آب زیرزمینی در این منطقه.
- حفر چند حلقه چاه اکتشافی جهت تعیین ضرائب ثابت هیدروژئولوژیکی در جبهه‌های ورودی و خروجی دشت‌ها شامل حاشیه ارتفاعات جنوبی رفسنجان و مخروط‌افکنه رودخانه‌های شور و گیودری، حاشیه ارتفاعات غربی دشت انار و جبهه خروجی دشت انار- بیاض
- با توجه به فرض ناچیزبودن نفوذ باران در دشت، لازم است تا با در دست‌داشتن شدت بارندگی هر ریزش و منظورنمودن تبخیر بالقوه و کسر آن از بارندگی، صحت این فرضیه مورد ارزیابی قرار گیرد.
- آب برگشتی کشاورزی به سفره، معادل ۲۰ درصد تخلیه در نظر گرفته شده است. در حالیکه این مقدار به عوامل متعددی نظیر جنس خاک، عمق آب زیرزمینی در فصول آبیاری و ارتفاع آب آبیاری در مزرعه و غیره دارد. بنابراین لازم است با در نظرگرفتن این عوامل برای هر منطقه، درصد آب برگشتی محاسبه گردد و بهترین راه برای برآورد مقدار نفوذ نصب وسائل اندازه‌گیری مستقیم نظیر «لیسیمتر و اینفیلترومتر» می‌باشد.
- تخلیه چاه‌ها به طریقه سؤال از مالکین و موتورچی‌ها در مورد ساعات کارکرد سالیانه آنها برآورد شده است و بنابراین خالی از خطا نیست، در حالیکه اگر آمار سطح زیرکشت در مناطق مختلف و آب مصرفی گیاه در دست باشد، مصرف کلی آب از این طریق به دست خواهد آمد که رقمی مطمئن‌تر بوده و برای مقایسه اهمیت زیادی خواهد داشت.

**گزارش شماره ۷- گزارش بیلان آب زیرزمینی رفسنجان، نوق، بردسیر: سال ۵۲-۵۱**

این گزارش دقیقاً کپی گزارش شماره ۶ می‌باشد و همه اعداد و ارقام از گزارش ۶ گرفته شده است.

**گزارش شماره ۸- گزارش آماری دشت‌های رفسنجان- نوق- انار- بیاض- کشکوئیه (جلد دوم): سال ۵۳-۵۲**

در این گزارش، اطلاعات مربوط به آماربرداری کمی و کیفی سال ۵۳-۵۲ ارائه شده است. بر اساس نتایج حاصل از این آماربرداری، در سال آبی ۵۳-۵۲، تعداد ۱۳۶ حلقه چاه در دشت نوق، ۳۶۳ حلقه چاه در منطقه انار، بیاض و کشکوئیه و ۲۸۷ حلقه چاه در دشت رفسنجان وجود داشته و تعداد قنوات در دشت‌های رفسنجان،

نوق و انار-کشکوئیه- بیاض در این سال به ترتیب ۱۳۳، ۷۳ و ۴۶ رشته بوده است. اما خلاصه نتایج آماربرداری مربوط به این سال آبی در گزارش مذکور وجود ندارد.

### گزارش شماره ۹- ادامه مطالعه دشتهای رفسنجان- نوق- انار- بیاض کشکوئیه: سال ۵۳

این گزارش دقیقاً مشابه گزارش شماره ۶ می‌باشد و تنها تفاوت این گزارش با گزارش شماره ۶، میزان تخلیه از منابع آب زیرزمینی (مربوط به سال آبی ۵۳-۵۲) است که منجر به تغییر ارقام در محاسبه بیلان شده است. بدین ترتیب نتایج محاسبه بیلان برای دشت‌های رفسنجان و نوق در جداول ۶ و ۷ ارائه گردیده‌اند.

**جدول ٦: مولفه های بیلان آب زیرزمینی دشت رفسنجان (سال آبی ۵۳-۱۳۵۲)**

| سطح بیلان | سال | ورودی | | | | | | | | خروجی | | | | | | تغییرات حجم ذخیره آبخوان |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | جریان زیرزمینی ورودی | نفوذ از بارندگی | نفوذ از جریان‌های سطحی | نفوذ از پساب کشاورزی | نفوذ از پساب شرب و صنعت | نفوذ از باران در ارتفاعات و نفوذ از آب‌های سطحی | نفوذ از سنگ کف به سفره | جمع | تخلیه (چاه و قنات) | جریان زیرزمینی خروجی | زهکش | تبخیر | نفوذ از سفره به سنگ کف | جمع | |
| ۱۱۷۹ | ۵۳-۵۲ | ۵۳,۵ | ۰,۰ | ۰,۰ | ٤۱,۹ | ۰,۰ | ۸٤,۷ | ۲۸,۵ | ۲۰۸,۵ | ۲۰۹,۲ | ۱۵,۵ | ۰,۰ | ٦,۱ | ۰,۰ | ۲۳۰,۸ | -۲۲,۳ |

**جدول ۷: مولفه‌های بیلان آب زیرزمینی دشت نوق (سال آبی ۵۳-۱۳۵۲)**

| سطح بیلان | سال | ورودی | | | | | | | | خروجی | | | | | | تغییرات حجم ذخیره آبخوان |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | جریان زیرزمینی ورودی | نفوذ از بارندگی | نفوذ از جریان‌های سطحی | نفوذ از پساب کشاورزی | نفوذ از پساب شرب و صنعت | نفوذ از باران در ارتفاعات و نفوذ از آب‌های سطحی | نفوذ از سنگ کف به سفره | جمع | تخلیه (چاه و قنات) | جریان زیرزمینی خروجی | زهکش | تبخیر | نفوذ از سفره به سنگ کف | جمع | |
| ۸۰۹ | ۵۳-۵۲ | ۳٤,٤ | ۰,۰ | ۰,۰ | ۱۳,۵ | ۰,۰ | ۲۵,۲ | ۰,۰ | ۷۳,۱ | ٦۷,۲ | ٤,۳ | ۱,۰ | ۸,٤ | ۰,۰ | ۸۰,۹ | -۷,۸ |

همان گونه که از این جداول ملاحظه می گردد، مطابق با گزارش بیلان سال آبی ۵۳-۵۲ مجموع ورودی‌ها به دشت‌های رفسنجان و نوق به ترتیب معادل ۲۰۸,۵ و ۷۳,۱ میلیون متر مکعب بوده و کسری مخزن در این سال برای دشت رفسنجان ۲۲,۳ و برای دشت نوق ۷,۸ میلیون مترمکعب گزارش شده است. لازم به ذکر است که بخشی از ورودی ها به دشت نوق (حدود ۷,۵ میلیون مترمکعب) در واقع همان خروجی از دشت رفسنجان می‌باشد. بنابراین می‌توان به این جمع‌بندی دست یافت که از دیدگاه این گزارش، منابع آب تجدیدپذیر (که عبارت است از مجموع منابع آب تغذیه‌کننده آبخوان) در دشت رفسنجان معادل ۲۷۴,۱ میلیون متر مکعب در سال می‌باشد که سهم تغذیه طبیعی از این منابع ۲۱۸,۸ میلیون متر مکعب در سال می‌باشد. بر همین اساس میزان منابع آب قابل برنامه‌ریزی برای دشت‌های رفسنجان و نوق (که عبارت ست از تخلیه چاه و قنات منهای کسری

مخزن) معادل ۲۴۶٫۸ میلیون متر مکعب محاسبه می‌گردد. شایان ذکر است که علت اختلاف بین سهم تغذیه طبیعی و آب قابل برنامه‌ریزی در این مطالعات، در نظرگرفتن آب برگشتی قابل توجه و محاسبه کسری مخزن پائین در آن (باتوجه به فرض ضریب ذخیره اندک برای دشت) می‌باشد.

**گزارش شماره ۱۰- گزارش خلاصه آمار و شرح وضعیت هیدروژئولوژی حوزه آبریز کویر اردستان- رفسنجان – بافق: سال ۱۳٥٤**

در این گزارش بخش بیلان مربوط به رفسنجان و نوق دقیقاً برگرفته و عیناً از گزارش شماره ۴ می‌باشد و همه اعداد و ارقام از این گزارش استخراج شده است. ولی بخش ضرایب هیدرودینامیکی برآورد جدید می‌باشد اما علی‌رغم این تغییرات، هیچ تغییری در نتایج محاسبات بیلان لحاظ نشده است.

**گزارش شماره ۱۱- تعیین وضعیت آب‌های زیرزمینی رفسنجان و نحوه بهره‌برداری از آن: سال ۱۳٥٦**

این گزارش در واقع خلاصه‌ای از وضعیت کلی هیدروژئولوژیک و تعداد و تخلیه چاه‌ها و قنوات منطقه رفسنجان، نوق، انار، بیاض و کشکوئیه می‌باشد که به صورت پیوست به همراه نامه‌ای محرمانه به آقای توکلی (وزیر نیروی وقت) ارائه شده است. بر اساس این گزارش، تعداد چاه‌ها ۱۰۳۴ با تخلیه ۳۲۸٫۳ م.م.م و تعداد ۲۶۰ رشته قنات با تخلیه ۱۳۴٫۱ م.م.م در سال ۵۶ ذکر شده است. بدین ترتیب مجموع تخلیه از منابع آب زیرزمینی در این منطقه در سال ۵۶ معادل ۴۵۲٫۴ میلیون مترمکعب گزارش شده است.

**گزارش شماره ۱۲- گزارش طرح جامع آب کشور – ۱۳۷۸**

در این گزارش نیز همانند سایر گزارش‌هایی که برای محاسبه بیلان تهیه می‌شود، مؤلفه‌های ورودی و خروجی محاسبه گردیده است. هر چند در این گزارش با توجه به اینکه در مقیاس طرح جامع و برای کلیه محدوده‌های مطالعاتی کشور انجام شده است، جزئیات کمتری از محاسبات نسبت به سایر گزارش‌ها ارائه گردیده است. مؤلفه‌های تغذیه (ورودی) به آبخوان دشت رفسنجان (که شامل دشت‌های مرکزی رفسنجان، نوق و انار) می‌باشد شامل تغذیه از قسمت جانبی (ارتفاعات) و سطح دشت در نظر گرفته شده است که نتایج حاصل از این محاسبات به شرح زیر می‌باشد:

- جریان زیرزمینی ورودی به آبخوان آبرفتی از دشت‌های مجاور و از سازندهای سخت ارتفاعات در محدوده مطالعاتی رفسنجان معادل ۲۱۰ میلیون مترمکعب در سال
- تغذیه از بارندگی در سطح دشت رفسنجان معادل ۷۹/۵ میلیون مترمکعب در سال با لحاظ ضریب نفوذ (نسبت نفوذ به بارندگی روی دشت) بین حداقل ۰/۰۳ تا حداکثر ۰/۱
- نفوذ از طریق بستر رودخانه‌ها (جریان‌های سطحی و سیلاب‌ها) ۷۶/۷ میلیون متر مکعب در سال با لحاظ ضریب نفوذ (نسبت نفوذ به جریان‌های سطحی) بین حداقل ۰/۱۶ تا حداکثر ۰/۷

- تغذیه از آب آبیاری (کشاورزی) در دشت‌های حوزه آبریز برابر ۲۱۶/۹ میلیون متر مکعب با لحاظ ضریب آب برگشتی ۲۷٪ از کل آب مصرفی کشاورزی (سطحی و زیرزمینی)
- تغذیه از پساب شرب و صنعت حدود ۲۴/۱ میلیون متر مکعب در سال با لحاظ ضریب ۶۹٪ از کل آب مصرفی در این بخش‌ها

همچنین مؤلفه‌های تخلیه (خروجی) از آب زیرزمینی شامل تخلیه از طریق چاه، چشمه قنات، زهکشی و تبخیر از سفره در نظر گرفته شده است که نتایج حاصل از این محاسبات به شرح زیر می‌باشد:

- برداشت از آبخوان‌ها توسط چاه، قنات و چشمه‌های آبرفتی که عامل اصلی تخلیه از آبخوان‌های آبرفتی هستند برابر ۷۸۰/۳ میلیون مترمکعب در سال
- زهکشی از سفره آب زیرزمینی از طریق زهکش‌ها و رودخانه‌ها معادل ۲ میلیون متر مکعب در سال
- تبخیر از آب زیرزمینی در بخش‌هایی از آبخوان با سطح آب زیرزمینی نزدیک به سطح زمین و معادل ۳ میلیون مترمکعب در سال
- جریان زیرزمینی خروجی از محدوده مطالعاتی رفسنجان به دشت‌های مجاور وجود ندارد.

علاوه براین تغییرات حجم ذخیره برای آبخوان‌های دارای اُفت سالانه سطح آب، با توجه به وسعت آنها و ضریب ذخیره متوسط آبخوان، محاسبه و یا تفاضل بین مجموع تغذیه و مجموع تخلیه مقایسه و یکسان گردید. بر این اساس، کاهش حجم ذخیره برای دشت رفسنجان معادل ۱۷۸/۱ میلیون متر مکعب در سال محاسبه شده است. بدین ترتیب نتایج محاسبه بیلان برای دشت رفسنجان در جدول ۸ ارائه گردیده است.

**جدول ۸: مولفه های بیلان آب زیرزمینی دشت رفسنجان (سال آبی ۷۳-۱۳۷۲)**

| سطح بیلان | سال | ورودی | | | | | | خروجی | | | | | تغییرات حجم ذخیره آبخوان |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | جریان زیرزمینی ورودی | نفوذ از بارندگی | نفوذ از جریان‌های سطحی | نفوذ از پساب کشاورزی | نفوذ از پساب شرب و صنعت | جمع | تخلیه (چاه و قنات) | جریان زیرزمینی خروجی | زهکش | تبخیر | جمع | |
| ۸۲۰۰ | ۷۳-۷۲ | ۲۱۰ | ۷۹,۵ | ۷۶,۷ | ۲۱۶,۹ | ۲۴,۱ | ۶۰۷,۲ | ۷۸۰,۳ | ۰,۰ | ۲ | ۳ | ۷۸۵,۳ | -۱۷۸,۱ |

همان گونه که از این جدول ملاحظه می گردد، مطابق با گزارش بیلان سال آبی ۷۳-۷۲ مجموع ورودی‌ها به دشت رفسنجان معادل ۶۰۷,۲ میلیون مترمکعب بوده و کسری مخزن در این سال برای این دشت ۱۷۸,۱ گزارش شده است. بنابراین می‌توان به این جمع‌بندی دست یافت که از دیدگاه این گزارش منابع آب تجدیدپذیر (که عبارت است از مجموع منابع آب تغذیه‌کننده آبخوان) در دشت رفسنجان معادل ۶۰۷,۲ میلیون مترمکعب در سال می‌باشد که سهم تغذیه طبیعی از این منابع ۳۶۶,۲ میلیون متر مکعب در سال می‌باشد. بر همین اساس میزان منابع آب قابل برنامه‌ریزی برای دشت مذکور (که عبارت است از تخلیه چاه و قنات منهای کسری

مخزن) معادل ۶۰۲٫۲ میلیون مترمکعب محاسبه می گردد. شایان ذکر است که علت اختلاف بین سهم تغذیه طبیعی و آب قابل برنامه‌ریزی در این مطالعات در نظرگرفتن آب برگشتی قابل توجه می‌باشد.

**گزارش شماره ۱۳- اطلس منابع آب کشور: سال ۱۳۸۹**

در تهیه این گزارش که عبارت از بیلان درازمدت منابع آب زیرزمینی دشت رفسنجان می‌باشد، برای داده‌های هیدروکلیماتولوژی از متوسط داده‌ها در دوره شاخص (۴۶-۱۳۴۵ لغایت ۸۵-۱۳۸۴) استفاده شده است. در حالیکه جهت محاسبه مؤلفه‌های ورودی و خروجی زیرزمینی، تخلیه و برداشت‌ها و همچنین تبخیر از سطح آبخوان از اطلاعات مربوط به سال آبی ۸۵-۱۳۸۴ استفاده گردیده و مؤلفه‌های ورودی، خروجی و کسری مخزن به شکل زیر محاسبه شده است:

برای محاسبه مؤلفه‌های ورودی و خروجی زیرزمینی، از نقشه‌های تراز آب زیرزمینی که مقاطع ورودی و خروجی آب زیرزمینی روی آن مشخص شده باشد و نقشه هم قابلیت انتقال (T) استفاده گردید. بدین ترتیب که جریان‌های زیرزمینی ورودی و خروجی از آبخوان با مشخص‌نمودن مقاطع ورودی و خروجی بر روی نقشه‌های تراز آب زیرزمینی و با استفاده از معادله دارسی محاسبه شده است. بر این اساس ورودی آب زیرزمینی در محدوده مطالعاتی رفسنجان برابر ۲۱۲/۲ میلیون متر مکعب و خروجی آب زیرزمینی معادل ۱/۱ میلیون متر مکعب در سال برآورد شده است.

براساس بیلان هیدروکلیماتولوژی دشت، نفوذ از بارندگی در سطح دشت معادل ۲۷/۷ میلیون متر مکعب محاسبه شد. علاوه بر این، میزان تغذیه از آب‌های سطحی در محدوده مطالعاتی رفسنجان با توجه به شکل منحنی تراز آب زیرزمینی و وضعیت رودخانه‌های محدوده مطالعاتی نسبت به دشت شامل برآورد نفوذ از سیلابهای مسیل‌های دیگر، معادل ۳۵ میلیون متر مکعب در سال به دست آمد. قابل ذکر است که در این محدوده مطالعاتی هیچ گونه زهکشی از آب‌های زیرزمینی در سطح دشت وجود ندارد.

در این گزارش اشاره شده است که نفوذ از مصرف کشاورزی یا تغذیه از مزارع به نوع آبیاری، دانه‌بندی خاک، وضعیت کرت‌بندی مزرعه و حتی کیفیت آب مصرفی بستگی دارد. بر اساس تحقیقات تجربی سازمان خوار و بار جهانی (FAO) که در نقاط مختلف آب و هوایی و با شیوه‌های متفاوت آبیاری از طریق لایسیمتر انجام گرفته نفوذ عمقی از مصرف آبیاری را طبق جدول ۹ به دست آورده است.

**جدول ۹: تلفات عمقی نسبت به راندمان آبیاری و بافت خاک (به نقل از گزارش اطلس منابع آب)**

| روش آبیاری | نحوه انجام آبیاری | درصد راندمان آبیاری | | درصد میانگین تلفات عمقی نسبت به آب ورودی به مزرعه | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | بافت سنگین | بافت سبک | بافت سنگین | بافت سبک |
| بارانی | آبیاری روزانه با باد نسبتاً شدید | ۶۰ | ۶۰ | ۳۰ | ۳۰ |
| | آبیاری شبانه | ۷۰ | ۷۰ | ۲۵ | ۲۵ |
| قطره‌ای | | ۸۰ | ۸۰ | ۱۵ | ۱۵ |
| کرتی | تسطیح و کرت‌بندی نامنظم | ۶۰ | ۴۵ | ۳۰ | ۴۰ |
| | به خوبی تسطیح و کرت‌بندی | ۷۵ | ۶۰ | ۲۰ | ۳۰ |
| نشتی- نواری | شیب و اندازه نامناسب | ۵۵ | ۴۰ | ۳۰ | ۴۰ |
| | شیب و اندازه مناسب | ۶۵ | ۵۰ | ۲۵ | ۳۵ |

بنابراین با توجه به نفوذپذیری خاک زراعی و آبرفت و باتوجه به وضعیت سطح آب زیرزمینی و میزان تغذیه آبخوان از طرق مختلف، جمع‌بندی گردید که حدود ۲۸ درصد از حجم آب زراعی برای نفوذ عمقی به آبخوان منظور شود و بدین ترتیب میزان آب برگشتی کشاورزی حدود ۱۷۸ میلیون متر مکعب در نظر گرفته شد. همچنین ذکر گردیده است که نفوذ از مصارف شرب و صنعت بر حسب نوع دفع پساب بسیار متفاوت است. طبق بررسی‌های تجربی انجام‌شده، چنانچه دفع پساب توسط چاه‌های جذبی صورت گیرد، میزان تغذیه آبخوان بین ۶۰ تا ۷۵ درصد آب مصرفی شرب و صنعت خواهد بود و در شهرهایی که طرح جمع‌آوری فاضلاب اجرا می‌شود بر حسب نواحی تحت پوشش طرح میزان نفوذ کاهش می‌یابد و در حالت اجرای کامل، میزان تغذیه به آبخوان به حدود ۱۰ درصد این مصارف کاهش می‌یابد. براین اساس، میزان آب نفوذیافته از

مصارف شرب و صنعت (باتوجه به دفع پساب از طریق چاه‌های جذبی) معادل ۲۵/۱ میلیون متر مکعب برآورد گردید.

میزان تخلیه و برداشت از طریق چاه، چشمه و قنات در محدوده مطالعاتی نیز بر اساس آخرین اطلاعات در زمان تهیه گزارش ۶۲۵/۱ میلیون مترمکعب بوده است. در این گزارش اشاره شده است که تبخیر و تعرق از آب زیرزمینی به عمق سطح آب، نوع و بافت خاک و درجه حرارت محیط، پوشش گیاهی، شدت باد، رطوبت نسبی هوا و غلظت املاح آب بستگی دارد و طبق اصل کشش لوله‌های موئینه انجام می‌گیرد. همچنین بیان شده است که عمق سطح آب زیرزمینی عامل اصلی تبخیر از آب زیرزمینی می‌باشد و هر چه سطح آب زیرزمینی به سطح زمین نزدیک‌تر باشد تبخیر از آن بیشتر است. با استفاده از عمق سطح آب زیرزمینی و تبخیر از تشت تحقیقات تجربی توسط وایت انجام گرفته که نتایج آن به صورت یک منحنی پوشش‌دهنده نقاطی در یک محور مختصات منعکس شده است که محور افقی آن سطح آب و محور عمودی آن درصد تبخیر از تشت در ناحیه می‌باشد. در حقیقت رابطه بین این دو، نقاطی ایجاد نموده که با رسم خطی منحنی به نام منحنی وایت حاصل شده است. این منحنی زمانی که عمق سطح آب به سطح زمین نزدیک‌تر است نسبت به محور عمودی شیب ملایمی دارد و تقریباً از عمق ۰/۵ متری به بعد شیب منحنی به تدریج شدید شده و از عمق ۳ متری به بعد تقریباً به سمت صفر درصد (از تبخیر تشت) میل می‌نماید. بر این اساس، میزان تبخیر از آبخوان آبرفتی رفسنجان ۴/۶ میلیون متر مکعب در سال در نظر گرفته شده است.

جهت محاسبه کسری مخزن یا تغییرات حجم مخزن، آبنمود (هیدروگراف) معرف تغییرات سطح آب زیرزمینی مورد بررسی قرار گرفته است. این هیدروگراف از متوسط مجموع تغییرات سطح آب طولانی‌مدت چاه‌های مشاهده‌ای برای یک آبخوان رسم می‌گردد و معرف تغییرات عمومی سطح آب زیرزمینی آن آبخوان در طول زمان می‌باشد. آبنمود معرف تغییرات سطح آب در سال‌های پرباران که تغذیه آبخوان بیشتر است، حالت بالاروندگی را نشان می‌دهد و در سال‌های خشک که از تغذیه آبخوان توسط بارندگی کاسته می‌شود و معمولاً بهره‌برداری از آب زیرزمینی هم برای جایگزینی کمبود آب مصرفی سطحی افزایش می‌یابد، حالت اُفت را مشخص می‌نماید. شکل نوسانات سالانه آبنمود نیز برای ماه‌های مرطوب (دارای بارش) حالت بالاروندگی را نشان می‌دهد، در طولانی‌مدت، صرف نظر از سال‌های خشک و مرطوب چنانچه هیدروگراف معرف تغییرات سطح آب زیرزمینی یک آبخوان در یک ماه معین برای اولین سال و آخرین سال آماری یکسان باشد و یا تغییرات جزئی داشته باشد، آبنمود حالت تعادل سطح آب زیرزمینی را نشان می‌دهد و اگر در طول زمان کاهش تدریجی داشته باشد آبنمود حالت اُفت سطح آب در آبخوان را مشخص می‌نماید. در محدوده مطالعاتی رفسنجان از ۶۳ حلقه چاه مشاهده‌ای که دارای آمار تقریباً کاملی بوده‌اند در ترسیم هیدروگراف استفاده شده است که از مهر ماه ۱۳۷۰ لغایت شهریور ماه ۱۳۸۵ تهیه شده است. بررسی هیدروگراف مذکور نشان می‌دهد

که در همان سال آبی شروع دوره یک اُفت و خیز متوالی رخ داده است و پس از آن روند نزولی (افت سطح آب) تا سال پایان دوره ادامه یافته است. به طور کلی می‌توان گفت در طی دوره ۱۵ ساله سطح آب زیرزمینی ۱۰/۷۷ متر اُفت را نشان می‌دهد. به عبارت دیگر در طی این دوره، به طور متوسط سالانه ۰/۷۲ متر اُفت در آبخوان ایجاد شده است.

بدین ترتیب نتایج محاسبه بیلان برای دشت رفسنجان در جدول شماره ۱۰ ارائه گردیده است.

**جدول ۱۰: مولفه های بیلان آب زیرزمینی دشت رفسنجان (سال آبی ۸۵-۱۳۸٤)**

| سطح بیلان | سال | ورودی | | | | | | خروجی | | | | | تغییرات حجم ذخیره آبخوان |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | جریان زیرزمینی ورودی | نفوذ از بارندگی | نفوذ از جریان‌های سطحی | نفوذ از پساب کشاورزی | نفوذ از پساب شرب و صنعت | جمع | تخلیه (چاه و قنات) | جریان زیرزمینی خروجی | زهکش | تبخیر | جمع | |
| ٤٢٥٦ | دوره ٤٦-٤٥ تا ٨٥-٨٤ | ۲۱۲,۲ | ۲۷,۷ | ۳۵,۰ | ۱۷۸,۰ | ۲۵,۱ | ٤٧٨,٠ | ٦٢٥,١ | ١,١ | ٠,٠ | ٤,٦ | ٦٣٠,٨ | -۱۵۲,۸ |

همان گونه که از این جدول ملاحظه می گردد، مطابق با گزارش بیلان سال آبی ۸۵-۸۴، مجموع ورودی‌ها به دشت رفسنجان معادل ۴۷۸ میلیون مترمکعب بوده و کسری مخزن در این سال برای این دشت ۱۵۲,۸ میلیون مترمکعب گزارش شده است. بنابراین می‌توان به این جمع‌بندی دست یافت که از دیدگاه این گزارش، منابع آب تجدیدپذیر (که عبارت است از مجموع منابع آب تغذیه‌کننده آبخوان) در دشت رفسنجان معادل ۴۷۸ میلیون متر مکعب در سال می‌باشد که سهم تغذیه طبیعی از این منابع ۲۷۴,۹ میلیون متر مکعب در سال می‌باشد. بر همین اساس میزان منابع آب قابل برنامه‌ریزی برای دشت مذکور (که عبارت است از تخلیه چاه و قنات منهای کسری مخزن) معادل ۴۷۲,۳ میلیون مترمکعب محاسبه می گردد. شایان ذکر است که علت اختلاف بین سهم تغذیه طبیعی و آب قابل برنامه‌ریزی در این مطالعات در نظر گرفتن آب برگشتی قابل توجه می‌باشد.

**گزارش شماره ١٤- گزارش بهنگام سازی طرح جامع آب، سال ۱۳۹۲**

در این گزارش، یک دوره کامل تر و خشک برای مدت بیلان انتخاب گردید. این دوره معمولاً از یک حداقل یا یک حداکثر سطح آب شروع شده و تا حداقل یا حداکثر بعدی ادامه پیدا می‌نماید. بر این اساس بیلان آب زیرزمینی رفسنجان به صورت درازمدت در دوره ۷۵ تا ۸۶ و همچنین در سال آبی ۸۶-۱۳۸۵ در محدوده‌ای به وسعت ۴۱۰۰ کیلومتر مربع محاسبه شد. محاسبه مولفه‌های ورودی و خروجی بیلان آب زیرزمینی در این گزارش به شرح زیر انجام گردید.

بر پایه معادله دارسی میزان جریان ورودی از هر مقطع زیرزمینی به عرض مقطع، ضریب قابلیت انتقال و گرادیان هیدرولیک بستگی دارد. با توجه به نقشه تراز آب زیرزمینی، تعداد ۴۰ مقطع ورودی در محدوده بیلان

تعیین شد که بر این اساس حجمی معادل ۷۶/۲ میلیون مترمکعب به عنوان ورودی زیرزمینی وارد محدوده بیلان می‌گردد. لازم به ذکر است که جزئیات مربوط به جریان‌های ورودی در گزارش ذکر شده ارائه شده است.

جهت محاسبه نفوذ مستقیم از بارش، از روش سازمان خواربار ملل متحد (F.A.O) استفاده شده است. در این روش با استفاده از نشریات F.A.O و پارامترهای بارندگی، تبخیر پتانسیل و درجه حرارت و طبق معادله زیر اقدام به محاسبه میزان نفوذ مستقیم از ریزش‌های جوی می‌گردد:

$$R_r = 0.8 \times \sqrt{(R - C\log E)}$$

که در آن Rr: میزان آب نفوذی که به طور مستقیم از بارش به آبخوان اضافه می‌گردد، R میزان بارندگی به میلیمتر، C ضریب ثابت متناسب با درجه حرارت و E میزان تبخیر و تعرق پتانسیل می‌باشد.

با استفاده از فرمول فوق و اطلاعات هواشناسی در محدوده طرح، مقادیر ارتفاع نفوذ از بارندگی مورد محاسبه قرار گرفت و با منظور نمودن سطح بیلان، ارتفاع نفوذ عمقی آب معادل ۶۸/۱ میلیون مترمکعب محاسبه گردید. جدول شماره ۱۱، محاسبات مذکور را نشان می‌دهد.

## جدول ۱۱: محاسبات نفوذ از بارندگی در دشت رفسنجان

| | مهر | آبان | آذر | دی | بهمن | اسفند | فروردین | اردیبهشت | خرداد | تیر | مرداد | شهریور |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| درجه حرارت (سانتی‌گراد) | ۲۱/۴۰ | ۱۴/۴۰ | ۱۰/۴۰ | ۵/۱۰ | ۱۱/۹۰ | ۱۲/۰۰ | ۱۷/۲۰ | ۲۳/۵۰ | ۲۳/۶۰ | ۲۹/۴۰ | ۲۶/۸۰ | ۲۲/۴۰ |
| ضریب تصحیح بارندگی | ۲/۲۴ | ۱/۹۰ | ۱/۶۷ | ۱/۳۳ | ۱/۷۶ | ۱/۷۶ | ۲/۰۵ | ۲/۳۳ | ۲/۳۳ | ۲/۵۳ | ۲/۴۵ | ۲/۲۸ |
| بارندگی (میلی‌متر) (R) | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۲۰/۰۰ | ۳/۰۰ | ۲/۰۰ | ۱۷/۴۰ | ۱۴/۹۰ | ۱۴/۴۰ | ۱۳/۱۰ | ۱۲/۶۰ | ۱۰/۷۰ |
| تبخیر و تعرق پتانسیل (میلی‌متر) (E) | ۳۴۴/۹۰ | ۱۹۲/۷۰ | ۹۶/۸۰ | ۵۶/۳۰ | ۱۲۶/۱۰ | ۱۷۰/۲۰ | ۲۶۹/۹۰ | ۴۴۳/۱۰ | ۴۳۵/۹۰ | ۴۷۳/۶۰ | ۴۲۱/۹۰ | ۳۵۳/۹۰ |
| ارتفاع نفوذ (میلی‌متر) (F) | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۳/۳۶ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۲/۸۲ | ۲/۳۷ | ۲/۳۰ | ۲/۰۱ | ۱/۹۹ | ۱/۷۷ |
| سطح ییلان (Km) | ۴۰۹۹/۹۶۳ | ۴۰۹۹/۹۶۳ | ۴۰۹۹/۹۶۳ | ۴۰۹۹/۹۶۳ | ۴۰۹۹/۹۶۳ | ۴۰۹۹/۹۶۳ | ۴۰۹۹/۹۶۳ | ۴۰۹۹/۹۶۳ | ۴۰۹۹/۹۶۳ | ۴۰۹۹/۹۶۳ | ۴۰۹۹/۹۶۳ | ۴۰۹۹/۹۶۳ |
| میزان نفوذ (MCM) | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۰۰ | ۱۳/۷۹۱ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۰۰ | ۱۱/۵۶۳ | ۹/۶۹۷ | ۹/۴۱۹ | ۸/۲۴۷ | ۸/۱۴۷ | ۷/۲۴۷ |

مجموع تخلیه از منابع آب زیرزمینی، براساس اطلاعات آماربرداری سراسری در سال ۱۳۸۲ در محدوده بیلان معادل ۵۸۵/۲۵۱ میلیون مترمکعب بوده که از این میزان، حجمی معادل با ۵۶۴/۸۷۵ میلیون مترمکعب جهت مصارف کشاورزی بوده و با توجه به روش و راندمان آبیای و بافت خاک، بطور تقریبی حدود ۳۰٪ از آب مصرفی کشاورزی (معادل ۱۹۷/۷۰۶ میلیون مترمکعب) مجدداً به سفره نفوذ می‌نماید. حجم آب مصرفی در بخش شرب و صنعت معادل ۲۰/۳۷۶ و حجم آب برگشتی از این مصارف معادل ۱۲/۲۲۶ میلیون مترمکعب (حدود ۶۰٪) در نظر گرفته شد.

جهت محاسبه میزان آب خروجی از محدوده بیلان، معلوم شده است که در این محدوده ۲ مقطع خروج آب زیرزمینی وجود دارد و حجمی معادل ۱/۴۶۰ میلیون مترمکعب در سال از آن خارج می گردد. در خصوص تبخیر از سفره آب زیرزمینی در محدوده بیلان نیز این گونه بیان شده است که با توجه به عمق آب زیرزمینی محاسبه شده، در محدوده مورد مطالعه، عمق برخورد به آب بیش از ۵ متر بوده و لذا حجم این پارامتر ۰ در نظر گرفته می‌شود. همچنین ذکر گردیده که شکل منحنی‌های هم‌پتانسیل ارتفاع سطح آب نشان‌دهنده زهکشی آبخوان توسط رودخانه نبوده و بنابراین مقدار این پارامتر صفر در نظر گرفته می‌شود.

به منظور محاسبه کسری مخزن، این گونه بیان شده است که تغییرات حجم مخزن حاصل تغییرات هیدروگراف معرف آبخوان، میزان ضریب ذخیره و مساحت محدوده بیلان می‌باشد. در محدوده آبخوان مورد بررسی طبق هیدروگراف، تغییرات سطح آب نشان‌دهنده کاهش تراز آب زیرزمینی به میزان ۰/۹۸(-) می‌باشد. با منظور نمودن تغییرات هیدروگراف، اعمال ضریب ذخیره ۵ درصد و لحاظ سطح بیلان ۴۱۰۰ کیلومترمربع، کاهش حجم مخزنی معادل ۲۰۰/۹(-) میلیون مترمکعب محاسبه می گردد. بدین ترتیب نتایج محاسبه بیلان برای دشت رفسنجان برای یک دوره بلندمدت و سال آبی ۸۶-۸۵ در جدول شماره ۱۲ ارائه گردیده است.

**جدول ۱۲: مولفه‌های بیلان آب زیرزمینی دشت رفسنجان (دوره‌ی ۷۵ تا ۸۶ و سال آبی ۸۶-۱۳۸۵)**

| سطح بیلان | سال | ورودی | | | | | | خروجی | | | | | تغییرات حجم ذخیره آبخوان |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | جریان زیرزمینی ورودی | نفوذ از بارندگی | نفوذ از جریان‌های سطحی | نفوذ از پساب کشاورزی | نفوذ از پساب شرب و صنعت | جمع | تخلیه (چاه و قنات) | جریان زیرزمینی خروجی | زهکش | تبخیر | جمع | |
| ٤١٠٠ | دوره ۷۵ تا ۸۶ | ۸۷,۷ | ٥٦,٤ | ٥٠,٠ | ۱۹۷,۷ | ۱۲,۲ | ٤٠٤,۱ | ٥٨٥,۳ | ۱,۳ | ۰,۰ | ۰,۰ | ٥٨٦,٥ | -۱۸۲,٤ |
| ٤١٠٠ | سال آبی ۸۶-۸۵ | ۷٦,۲ | ٦٨,۱ | ۳۱,٦ | ۱۹۷,۷ | ۱۲,۲ | ۳۸٥,۸ | ٥٨٥,۳ | ۱,٥ | ۰,۰ | ۰,۰ | ٥٨٦,۷ | -۲۰۰,۹ |

همان گونه که از این جدول ملاحظه می گردد، مطابق با گزارش بیلان سال آبی ۸۶-۸۵ مجموع ورودی‌ها به دشت رفسنجان معادل ۳۸۵,۸ میلیون مترمکعب بوده و کسری مخزن در این سال برای این دشت ۲۰۰,۹

میلیون متر مکعب گزارش شده است. بنابراین می‌توان به این جمع‌بندی دست یافت که از دیدگاه این گزارش منابع آب تجدیدپذیر (که عبارت است از مجموع منابع آب تغذیه‌کننده آبخوان) در دشت رفسنجان معادل ۳۸۵٫۸ میلیون مترمکعب در سال می‌باشد که سهم تغذیه طبیعی از این منابع ۱۷۵٫۹ میلیون مترمکعب در سال می‌باشد. بر همین اساس میزان منابع آب قابل برنامه‌ریزی برای دشت مذکور (که عبارت است از تخلیه چاه و قنات منهای کسری مخزن) معادل ۳۸۴٫۴ میلیون مترمکعب محاسبه می‌گردد. شایان ذکر است که علت اختلاف بین سهم تغذیه طبیعی و آب قابل برنامه‌ریزی در این مطالعات در نظر گرفتن آب برگشتی قابل توجه می‌باشد. لازم به ذکر است که بر اساس بیلان درازمدت آب قابل برنامه‌ریزی در دشت رفسنجان معادل ۴۰۲٫۸ میلیون مترمکعب در سال می‌باشد.

### مقایسه گزارش‌ها و تحلیل عدم قطعیت‌ها

باتوجه به بررسی گزارش‌های مختلف که روش محاسبه بیلان و نتایج حاصل از این محاسبات در فوق ارائه شده است، می‌توان با مقایسه این نتایج به نکاتی دست یافت که برای انجام محاسبات بیلان مفید باشد. بدین منظور جدول شماره ۱۳، نتایج حاصل از گزارش‌های مختلف را ارائه می‌نماید.

## جدول ۱۳: نتایج بیلان محاسبه شده در گزارش های مختلف

| خروجی (MCM) | | ورودی (MCM) | | قابلیت انتقال | | | | | | | | ضریب ذخیره | | | سطح بیلان | سال بیلان | نام دشت | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| مقطع۲ | مقطع۱ | کبوترخان (کرمان) | دره کمال‌آباد (بردسیر) | | | | | | | | | میانگین | دامنه | مرکز دشت | | | | |
| ۸,۱ | ۸,۴ | ۱۷,۵ | ۹۴,۲ | ۵۹۰ | مقطع خروجی | ۵۷۲ | ورودی کبوترخان | ۲۳۴۰ | ورودی دره کمال آباد | | | ۰,۱۲۵ | ۰,۲ | ۰,۰۵ | ۱۶۶۴ | ۱۳۵۰ | رفسنجان | گزارش۴ |
| ۳,۳۴ | | ۵۲,۲۴ | | | | | | | | | | ۰,۱۲۵ | | | ۱۰۸۸ | ۱۳۵۰ | نوق | |
| چون شبکه چاه‌های مشاهده‌ای دشت انار تکمیل نبوده محاسبات بیلان صورت نگرفته است. | | | | | | | | | | | | | | | | | انار | |
| ۱۵ | | ۱۱,۸۲ | ۴۱,۷ | ۲۶۰۰ | ورودی نوق | ۵۴۰ | ورودی کبوترخان | ۲۳۴۰ | ورودی دره کمال‌آباد | | | ۰,۰۵ | | | ۱۱۷۹ | ۱۳۵۱-۵۲ | رفسنجان | گزارش۶ |
| ۴,۲۵ | | ۳۴,۴ | | | | | | | | | | ۰,۰۳ | | | ۸۰۹ | ۱۳۵۱-۵۲ | نوق | |
| ۴۳,۵ | | ۱۱۷,۸ | | | | | | | | | | | | | | ۱۳۵۱-۵۲ | بردسیر | |
| ۱۵ | | ۱۱,۸۲ | ۴۱,۷ | دامنه ارتفاعات جنوبی | | | مراکز دشت | | دامنه ارتفاعات شمالی | | | دامنه ارتفاعات جنوبی | مراکز دشت | دامنه ارتفاعات شمالی | ۱۱۷۹ | ۱۳۵۲-۵۳ | رفسنجان | گزارش۹ |
| ۴,۲۵ | | ۳۴,۴ | | | | | | | | | | | | | ۸۰۹ | | نوق | |
| ۴۳,۵ | | ۱۱۷,۸ | | ۱۴۷۷ | | | ۴۹۲ | | ۱۸۹۳ | | | ۰,۱۵ | ۰,۱۲ | ۰,۰۵۶ | | | بردسیر | |
| ۰ | | از دشت مجاور۱۴ | از ارتفاعات۱۹۶ | ۴۰ | حداقل | | ۳۲۱۵ | | حداکثر | | | میانگین ۰,۰۴۵ | حداقل ۰,۰۰۰۷ | حداکثر ۰,۱۴۷ | ۸۲۰۰ | ۱۳۷۲-۷۳ | رفسنجان | طرح جامع آب ۱۳۷۸ |
| ۱,۱ | | ۲۱۲,۲ | | ۵۷۰ | حداقل (شرق دشت) | | ۱۸۶۵ | | حداکثر (غرب دشت) | | | ۰,۰۵ | | | ۴۲۵۶ | دوره ۴۶-۴۵تا ۸۴-۸۵ | رفسنجان | اطلس ۸۴-۸۵ |
| ۱,۳ | | ۸۷,۷ | | ۵۷۱ | حداقل | | ۱۸۶۵ | | حداکثر (انار) | | | ۰,۰۵ | | | ۴۰۹۹,۹ | دوره ۷۵ تا ۸۶ | رفسنجان | طرح جامع آب ۱۳۸۵ |

**جدول ۱۳- ادامه: نتایج بیلان محاسبه شده در گزارش های مختلف (قسمت دوم)**

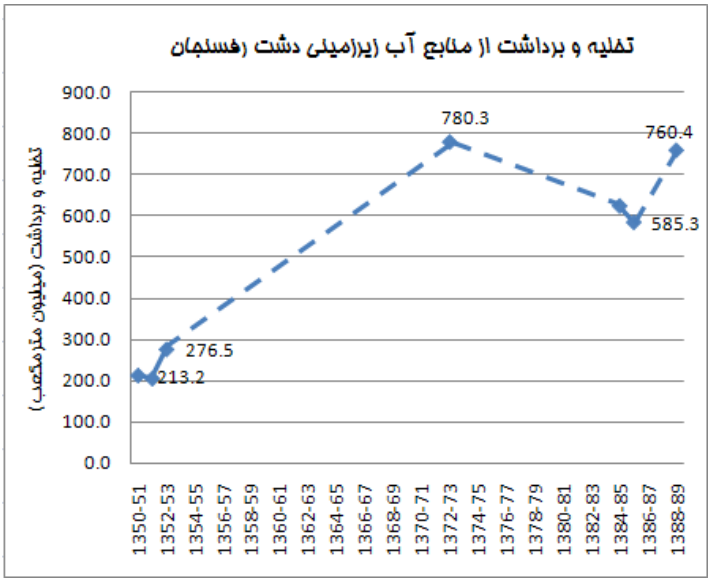
| درصد آب برگشتی | عمق سطح برخورد به آب | | | نام دشت | درصد آب برگشتی | فهرست |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | متوسط | حداکثر | حداقل | | | |
| - | ۵۱ | ۱۹۰متر در دامنه ها | یک متر یا کمتر | رفسنجان | ۱۰ | گزارش شماره ۴ |
| | ۲۷ | | | نوق | | |
| | ۲۳ | | | انار | | |
| - | | | ۱ | رفسنجان | ۲۰ | گزارش شماره ۶ |
| | | | | نوق | | |
| | | | | بردسیر | | |
| - | | | ۱ | رفسنجان | ۲۰ | گزارش شماره ۹ |
| | | | | نوق | | |
| | | | | بردسیر | | |
| ۶۲ | | ۱۷۴ | ۱ | رفسنجان | ۲۸ | طرح جامع آب ۱۳۷۸ |
| ۶۰-۷۵ | ۵۸.۴ | ۲۷۰ | ۲ | رفسنجان | ۲۸ | اطلس ۸۵-۸۴ |
| ۶۰ | ۶۰ | ۲۱۰ | ۷ | رفسنجان | ۳۰ | بهنگام سازی طرح جامع آب |

**جدول ۱۳- ادامه: نتایج بیلان محاسبه شده در گزارش‌های مختلف (قسمت سوم)**

| فهرست | نام دشت | ورودی آب زیرزمینی | نفوذ از باران در دشت | برگشتی کشاورزی | برگشتی شرب | نفوذ از آب سطحی | زهکش | تبخیر | تعرق | تخلیه | خروجی آب | نفوذ از باران در ارتفاعات و نفوذ | نفوذ از سنگ کف | نفوذ از سفره به سنگ کف | تغییرات حجم آب | ورودی کل | خروجی کل | آب تجدید پذیر | آب قابل برنامه ریزی | تغذیه طبیعی |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| گزارش شماره ۴ | رفسنجان | ۱۱۱.۷ | ۰ | ۱۶.۳ | - | ۰ | - | ۱۵.۸ | ۵.۲ | ۱۶۳.۳ | ۱۶.۵ | - | - | - | -۷۲.۸ | ۲۰۰.۹ | ۲۰۰.۸ | ۲۰۰.۹ | | |
| | نوق | ۵۲.۲ | ۰ | ۵.۰ | - | ۰ | - | ۱۰.۸ | | ۴۹.۹ | ۳.۳ | - | - | - | -۶.۸ | ۶۴.۰ | ۶۴.۰ | ۶۴.۰ | | |
| | انار | ۱۵۵.۷ | ۰ | ۲۱.۳ | - | ۰ | | ۳۱.۸ | | ۲۱۳.۲ | ۱۱.۶ | | | | -۷۹.۶ | ۲۵۶.۶ | ۲۵۶.۵ | ۱۷۳.۷ | ۱۳۳.۷ | ۱۵۵.۷ |
| گزارش شماره ۶ | رفسنجان | ۵۳.۵ | - | ۲۹.۸ | ۰ | ۰ | ۰ | ۶.۱ | | ۱۴۹.۰ | ۱۵.۵ | ۲۳.۰ | ۴۴.۳ | ۰ | -۲۰.۰ | ۱۷۰.۶ | ۱۷۰.۶ | | | |
| | نوق | ۳۴.۴ | - | ۱۱.۲ | ۰ | ۰ | ۱ | ۸.۴ | | ۵۶.۵ | ۴.۳ | ۰.۰ | ۱۱.۴ | ۰ | -۱۲.۶ | ۶۹.۶ | ۶۹.۱ | | | |
| | بردسیر | ۸۰.۴ | ۰ | ۴۱.۰ | ۰ | ۰ | ۱ | ۱۴.۵ | | ۲۰۵.۵ | ۱۱.۸ | ۲۳.۰ | ۵۵.۷ | ۰ | -۳۲.۶ | ۲۳۲.۷ | ۲۳۲.۸ | ۲۰۰.۱ | ۱۷۲.۸ | ۱۵۹.۱ |
| گزارش شماره ۹ | رفسنجان | ۵۳.۵ | - | ۴۱.۹ | - | - | ۰ | ۶.۱ | | ۲۰۹.۲ | ۱۵.۵ | ۸۴.۷ | ۲۸.۵ | ۰ | -۲۲.۴ | ۲۳۰.۹ | ۲۳۰.۸ | | | |
| | نوق | ۳۴.۴ | - | ۱۳.۵ | - | - | ۱ | ۸.۴ | | ۶۷.۲ | ۴.۳ | ۲۵.۲ | ۰.۰ | ۰ | -۷.۸ | ۸۰.۹ | ۸۰.۹ | | | |
| | بردسیر | ۸۰.۴ | | ۵۵.۳ | | | ۱ | ۱۴.۵ | | ۲۷۶.۵ | ۱۱.۸ | ۱۰۹.۹ | ۲۸.۵ | ۰ | -۳۰.۲ | ۳۰۴.۳ | ۳۰۳.۸ | ۲۷۴.۱ | ۲۴۶.۸ | ۲۱۸.۸ |
| طرح جامع آب ۱۳۷۸ | رفسنجان | ۲۱۰.۰ | ۷۹.۵ | ۲۱۶.۹ | ۲۴.۱ | ۷۶.۷ | ۲ | ۳.۰ | | ۷۸۰.۳ | ۰.۰ | - | - | - | -۱۷۸.۱ | ۷۸۵.۳ | ۷۸۵.۳ | ۶۰۷.۲ | ۶۰۲.۲ | ۳۶۶.۲ |
| اطلس ۸۵-۸۴ | رفسنجان | ۲۱۲.۲ | ۲۷.۷ | ۱۷۸.۰ | ۲۵.۱ | ۳۵.۰ | ۰ | ۴.۶ | | ۶۲۵.۱ | ۱.۱ | - | - | - | -۱۵۲.۸ | ۶۳۰.۸ | ۶۳۰.۸ | ۴۷۸.۰ | ۴۷۲.۳ | ۲۷۴.۹ |
| بهنگام سازی طرح جامع آب | رفسنجان | ۸۷.۷ | ۵۶.۴ | ۱۹۷.۷ | ۱۲.۲ | ۵۰.۰ | ۰ | ۰.۰ | | ۵۸۵.۳ | ۱.۳ | - | - | - | -۱۸۲.۴ | ۵۸۶.۵ | ۵۸۶.۵ | ۴۰۴.۱ | ۴۰۲.۸ | ۱۹۴.۱ |

همان گونه که از جدول ۱۳ ملاحظه می‌شود، در گزارش‌های بیلان مورد بررسی تفاوت‌هایی وجود دارد که در ادامه ارائه می گردد:

- سال تهیه بیلان در گزارش‌های مورد اشاره از سال ۱۳۵۰ تا ۱۳۸۶ بوده و بنابراین بخشی از نتایج نظیر میزان تخلیه و برداشت از آب زیرزمینی که از آماربرداری‌های انجام‌شده در این سال‌ها حاصل گردیده است، امری طبیعی بوده و اجتناب ناپذیر می‌باشد. بر همین اساس، شکل شماره ۳، تغییرات میزان تخلیه و برداشت از منابع آب زیرزمینی دشت رفسنجان را نشان می‌دهد:



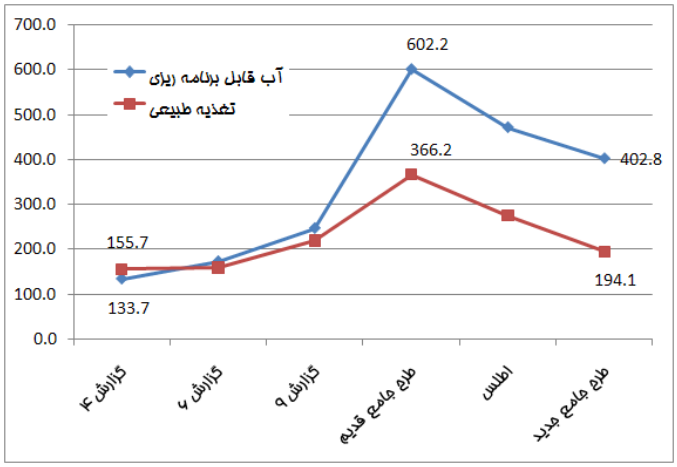

**شکل ۳: روند افزایش تخلیه و برداشت از منابع آب زیرزمینی دشت رفسنجان**

- تفاوت دیگر این است وسعت محدوده بیلان در گزارش‌های مختلف دارای اختلاف معناداری هستند. یکی از دلایل این تفاوت را در گزارش‌های قدیم نسبت به گزارش‌های جدید می‌توان در این نکته جستجو نمود که در دهه ۵۰ (سه گزارش اول)، اطلاعات مربوط به بخش انار از دشت رفسنجان در اختیار نبوده لذا محدوده بیلان به دشت مرکزی رفسنجان و بخش نوق محدود شده است. در گزارش‌های جدید نیز در طرح جامع قدیم تنها به وسعت محدوده مطالعاتی اشاره شده است در حالیکه بررسی مولفه‌های بیلان نشان می‌دهد که در این گزارش نیز بخش دشت از سایر قسمت‌های محدوده مطالعاتی تفکیک شده است. اما نکته قابل تأمل این است که بخش انار از دشت رفسنجان دارای تغذیه قابل توجه نبوده و تأثیر اندکی در برآورد مجموع تغذیه خواهد داشت و این تفاوت تنها در ارقام مربوط به تخلیه و برداشت از منابع آب زیرزمینی تأثیر دارد که نباید از نظر دور داشته شود.

- بررسی ضرایب ذخیره در نظر گرفته در گزارش‌های مختلف نیز نشانگر تفاوت دیگری است که در گزارش‌های مذکور وجود دارد. محدوده تغییرات این ضریب بین ۳ تا ۱۲,۵ درصد (متوسط ضرایب فرض‌شده در گزارش‌های مختلف) می‌باشد. یکی از اثرات در نظرگرفتن ضریب ذخیره متفاوت، محاسبه کسری مخزن‌های مختلف به ازای اُفت سطح آب یکسان می‌باشد. به طور مثال در گزارش شماره ۴ علی‌رغم اینکه اُفت سطح آب را ۵ سانتیمتر در سال بیلان ذکر کرده اما بدلیل فرض ضریب ذخیره متوسط ۱۲,۵ درصد، کسری مخزن را ۷۲,۸ میلیون مترمکعب برآورد نموده است. در حالیکه در گزارش شماره ۶ ، اُفت سطح آب را در سال بیلان ۳۴ سانتی‌متر ذکر نموده اما با فرض ضریب ذخیره ۵ درصد، کسری مخزن را ۲۰ میلیون متر مکعب اعلام نموده است.
- پارامتر قابلیت انتقال، از دیگر تفاوت‌های موجود در گزارش‌های مورد بررسی می‌باشد که بین حدود ۵۰۰ تا ۲۴۰۰ در نوسان می‌باشد. هرچند این ضرایب برای مناطق مختلف دشت قطعاً متفاوت است اما برای مقاطع یکسان نظیر ورودی از دره کمال‌آباد و ورودی از ارتفاعات در صورتی که اعداد متفاوت برای قابلیت انتقال در نظر گرفته شود، منجر به برآورد میزان آب ورودی به آبخوان با مقادیر متفاوت خواهد شد. این تفاوت را می‌توان در میزان آب ورودی برآوردشده به دشت که بین ۵۰ تا حدود ۲۰۰ در نوسان می‌باشد، مشاهد نمود.
- عامل بعدی که منجر به بروز تفاوت در برآورد میزان منابع آب ورودی به آبخوان به عنوان عوامل تغذیه می‌شود، فرض ضرایب برگشتی از مصارف مختلف می‌باشد. با توجه به اینکه مصارف کشاورزی در دشت رفسنجان بخش عمده مصارف را به خود اختصاص می‌دهد، لذا ضریب برگشتی آب کشاورزی نقش تعیین‌کننده‌ای در برآورد این عامل تغذیه خواهد داشت. همان گونه که از جدول ۱۳ ملاحظه می‌شود، این ضریب در گزارش‌های مختلف بین ۱۰ تا ۳۰ درصد در نظر گرفته شده است. از طرف دیگر باتوجه به افزایش میزان برداشت از منابع آب زیرزمینی (مطابق شکل ۲)، ضریب مذکور نقش قابل ملاحظه‌ای در برآورد میزان آب قابل برنامه‌ریزی در دشت رفسنجان دارد. به طوریکه میزان تغذیه ناشی از آب برگشتی مصارف کشاورزی در گزارش‌های مختلف بین حدود ۲۰ تا ۲۲۰ میلیون مترمکعب در نوسان است.
- میزان نفوذ از بارش مستقیم در دشت و همچنین نفوذ از جریان‌های سطحی، عامل دیگر تغذیه در دشت رفسنجان می‌باشد که در گزارش‌های بیلان دهه ۵۰، اعتقاد بر صفربودن این عامل بوده در حالی که در گزارش‌های جدید بین ۶۴ تا ۱۹۶ میلیون مترمکعب متغیر است. همچنین باید به این نکته توجه داشت که در گزارش‌های دهه ۵۰، این اعتقاد وجود داشته که تغذیه از سنگ کف یا گسل‌ها وجود دارد در

حالی که در گزارش‌های جدید این عامل از مجموعه عوامل ورودی بیلان به طور کلی حذف شده است که نشان‌دهنده تغییرات نگرش در عوامل بیلان می‌باشد.

- مهم‌ترین اثر فرض ضرایب مختلف و نگرش‌های متفاوت در محاسبه بیلان، برآورد میزان تغذیه طبیعی، آب قابل برنامه‌ریزی و کسری مخزن می‌باشد که به طور معمول در تصمیم‌گیری‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد و در گزارش‌های مورد بررسی ارقام متفاوتی ذکر شده است. شکل شماره ۴، میزان تغذیه طبیعی و آب قابل برنامه‌ریزی منتج از این گزارش‌ها را نشان می‌دهد.




**شکل ٤: تغذیه‌ی طبیعی و آب قابل برنامه‌ریزی منتج از گزارش‌های بیلان دشت رفسنجان**

- همان گونه که از این شکل ملاحظه می‌شود، میزان تغذیه طبیعی دشت رفسنجان از ۱۵۵٫۷ تا ۳۶۶٫۲ میلیون متر مکعب و آب قابل برنامه‌ریزی از ۱۳۳٫۷ تا ۶۰۲٫۲ میلیون مترمکعب متفاوت است.

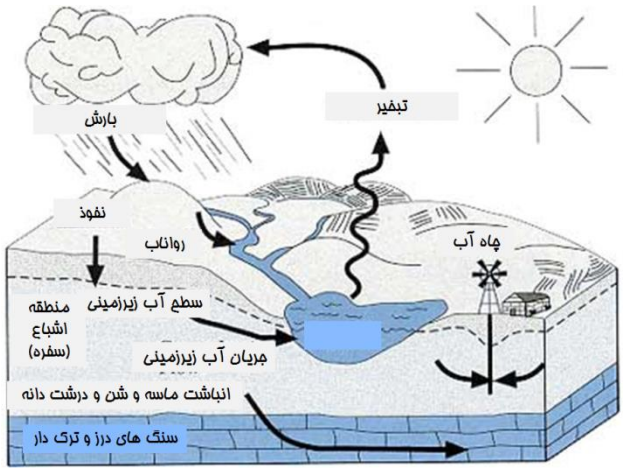
بنابراین، باتوجه به عدم قطعیت‌هایی که در برآورد مولفه‌های بیلان وجود دارد و همچنین نتایج حاصل از آن که بر تصمیم‌گیری در خصوص دشت‌های مختلف اثرگذار می‌باشد، لازم است تا روش‌شناسی انجام کار در محاسبات بیلان مورد بررسی جدی قرار گیرد و تا حد امکان عدم قطعیت‌های موجود را به حداقل ممکن کاهش داد. ذکر این نکته ضروری است که در سال‌های اخیر دفتر مطالعات پایه شرکت مدیریت منابع آب ایران گام‌های قابل توجهی را در یکسان‌سازی روش‌های مورد استفاده در تدوین بیلان دشت‌ها برداشته است که قطعاً تأثیر بزرگی در کاهش این عدم قطعیت‌ها داشته است. در ادامه این تلاش‌ها، هدف از این تحقیق، بررسی برخی از موارد عدم قطعیتی است که نقش موثری در نتایج داشته و ارائه روش‌شناسی که بتوان این عدم قطعیت ها را به حداقل رساند. بنابراین در ادامه چارچوب کلی متدولوژی انجام کار برای برآورد آب قابل برنامه‌ریزی در دشت‌ها ارائه خواهد شد و نتایج حاصل از مطالعه موردی برای دشت رفسنجان بر اساس متدولوژی تدوین‌شده در مقاله بعدی این تحقیق ارائه خواهد شد.

## ۴. روش‌شناسی انجام کار

امروزه مسئله اُفت سطح آب زیرزمینی در دشت‌های مختلف کشور به موضوعی آشنا تبدیل شده است و برای مقابله با این مشکل برنامه‌های متعددی در دهه‌های اخیر توسط مسئولین و برنامه‌ریزان مربوطه تدوین گردیده و تلاش شده است تا این برنامه‌ها به اجرا برسند. از جمله این برنامه‌ها می‌توان به برنامه تعادل‌بخشی آب‌های زیرزمینی دفتر حفاظت و بهره‌برداری منابع آب زیرزمینی شرکت مدیریت منابع آب ایران اشاره نمود. هر چند در کنار برنامه‌های مذکور، تصمیمات متناقضی نیز اتخاذ شده است که از جمله آنها می‌توان به قانون تعیین تکلیف چاه‌های غیر مجاز (پروانه‌دار کردن چاه‌های غیر مجاز) اشاره نمود. اگرچه با افزایش تعداد سفره‌های آب زیرزمینی دارای اُفت سطح آب، برنامه‌های بهبود وضعیت سفره‌های آب زیرزمینی به شکل مدون در دهه‌های اخیر شکل گرفته است، اما موضوع اُفت سطح آب زیرزمینی به دهه‌های گذشته بر می‌گردد. به طوریکه برای جلوگیری از ادامه روند اُفت سطح آب در چنین سفره‌هایی، برخی از آنها در دهه‌های چهل ممنوعه شده‌اند- ممنوعه‌کردن سفره‌های آب زیرزمینی به مفهوم ممنوع‌شدن صدور مجوز جدید برای برداشت آب از این سفره‌ها است. هرچند تجربه نشان داده است که ممنوعه‌کردن سفره‌ها ی آب زیرزمینی به تنهایی و بدون اعمال مدیریت برنامه‌ریزی‌شده، پاسخگوی وضعیت بحرانی ایجاد شده نمی‌باشد. به طور مثال دشت‌های ورامین، رفسنجان و بسیاری از دشت‌های مهم دیگر کشور در دهه پنجاه و پیش از آن ممنوعه شده‌اند، اما بررسی روند اُفت سطح آب در این سفره‌ها نشانگر بحرانی‌تر شدن وضعیت آنها می‌باشد. بنابراین جهت مقابله با مشکل حادث‌شده، ممنوعه‌کردن سفره‌ها به تنهایی کافی نیست و لازم است برنامه جامعی با مشارکت ذینفعان جهت حل مسئله تدوین شود. اما انجام برنامه‌ریزی بدون شناخت مسئله امکان‌پذیر نیست.

به طور معمول اُفت سطح آب زیرزمینی در سفره‌های آب زیرزمینی نشانه به هم‌خوردن تعادل بین منابع و مصارف، ورودی و خروجی، یا به عبارت دیگر تغذیه و تخلیه است. شاید بهترین تشبیه مسئله را می‌توان به حساب بانکی نسبت داد. بدین ترتیب که یک مشتری طی سالیان متمادی فعالیت خود توانسته است تا ذخیره قابل ملاحظه‌ای را در بانک پس‌انداز نماید، اما در شرایط فعلی پس‌انداز وی محدود بوده و او قرار است تنها به اندازه‌ای که در حساب خود هر سال پس‌انداز می‌نماید هزینه نموده و تا حد امکان از مبلغ ذخیره‌شده در حساب پس‌انداز خود استفاده ننماید. بدیهی است در صورتی که هزینه‌های سالانه مشتری مذکور بیش از پس‌انداز همان سال باشد، این هدف محقق نشده و از مبلغ ذخیره‌شده در حساب کم خواهد شد و در صورتی که وی به نحوه هزینه‌کرد سالانه خود توجهی نداشته باشد بالاخره روزی فرا خواهد رسید که ذخیره پس‌اندازشده او به پایان خواهد رسید.

در قرون گذشته به دلیل کم‌بودن جمعیت، عدم شناخت منابع آب زیرزمینی، دشواربودن برداشت آب از سفره‌های آب زیرزمینی و اندک‌بودن نیازهای آبی، منابع آبی که از طریق بارش و رواناب‌های سطحی به سفره‌های آب زیرزمینی نفوذ پیدا می‌کردند، در لایه آبرفتی سفره‌ها ذخیره شده و در نتیجه ذخیره استاتیک آبخوان‌ها را تشکیل داده‌اند (ذخیره درازمدت حساب بانکی). علاوه بر این، پس از اینکه ذخیره استاتیک در آبخوان‌ها شکل گرفت، پیش از اینکه بشر از منابع آب زیرزمینی استفاده نماید، با وقوع بارش هر سال، بخشی از منابع آب نفوذیافته به سفره آب زیرزمینی به صورت‌های مختلف از سفره خارج می‌شد. این خروجی می‌توانست به شکل خروجی آب زیرزمینی به رودخانه‌ها تخلیه شود، تبخیر شود و یا با بالاآمدن سطح آب، تالاب‌ها یا باتلاق‌ها را تشکیل دهد. بنابراین هر ساله با وقوع بارش، این بخش از ذخیره سفره آب زیرزمینی- که به ذخیره دینامیک معروف است- مجدداً پر می‌شد. با شناخت آب زیرزمینی و سهولت برداشت از این منابع، کم‌کم بخشی از ذخیره دینامیک سفره‌ها برداشت می‌شد به طوریکه بخشی از مولفه‌های خروجی که قبلاً در منطقه رویت می‌شد، از بین رفت. به طور مثال دبی پایه رودخانه‌ها کاهش یافت، تالاب‌ها به کفه‌های نمکی تبدیل شدند و یا مولفه تبخیر از آب زیرزمینی حذف گردیدند. اما توجه زیادی به این امر نشد چون هر سال با وقوع بارش، سطح آب زیرزمینی به تراز قبلی خود بر می‌گشت و افراد می‌توانستند بدون هر گونه مشکل از منابع آب زیرزمینی استفاده کنند- اصطلاحاً آب از بخش ذخیره دینامیک برداشت می‌شد و سفره آب زیرزمینی در تعادل بود- اما با گذشت زمان و افزایش برداشت‌ها فراتر از تغذیه سالانه، کم‌کم برداشت از ذخیره استاتیک شروع شد و سطح آب زیرزمینی در سفره‌ها شروع به اُفت نمود. بنابراین سفره‌ها از تعادل خارج شده و همانند مثال ذخیره بانکی در صورتی که چاره‌ای برای موضوع اندیشیده نشود، این ذخیره نیز روزی به پایان خواهد رسید. شکل ۵ نحوه شکل‌گیری ذخیره آب در سفره‌های آب زیرزمینی را نشان می‌دهد.




**شکل ۵: نحوه شکل گیری ذخیره ی آب در سفره های آب زیرزمینی**

اکنون جهت برآورد آبدهی مطمئن در یک سفره آب زیرزمینی لازم است تا گام‌هایی که در ادامه می‌آید انجام شود:

**انتخاب ایستگاه‌های آب و هواشناسی:** اولین گام در انجام محاسبات بیلان، انتخاب ایستگاه‌های هواشناسی (شامل اطلاعات درجه حرارت و بارش) و هیدرومتری (اطلاعات مربوط به میزان رواناب سطحی تولیدشده در محدوده بیلان) می‌باشد. انتخاب ایستگاه‌ها باید به گونه‌ای باشد که از نظر مکانی پوشش مناسبی را برای محدوده مورد مطالعه فراهم نماید.

**انتخاب دوره آماری مبنا:** جهت بررسی وضعیت یک سفره آب زیرزمینی و تعیین اینکه در چه شرایطی (عدم برداشت، تعادل آب زیرزمینی و محدودبودن برداشت‌ها به ذخیره دینامیک یا عدم تعادل آبخوان و برداشت از ذخیره استاتیک) از نظر تعادل قرار دارد، لازم است تا مولفه‌های مختلف ورودی و خروجی از سفره آب زیرزمینی مورد بررسی قرار گیرد. همان گونه که از شکل۱ ملاحظه می‌شود، در صورتی که مرزهای سفره آب زیرزمینی، لایه های نفوذناپذیر باشد، در این صورت تنها مولفه ورودی طبیعی به سفره آب زیرزمینی نفوذ مستقیم ناشی از بارش و همچنین نفوذ ناشی از رواناب‌ها است که از کف آبروها، مسیل‌ها و رودخانه‌ها صورت می‌گیرد. اما نکته حائز اهمیت این است که عوامل نفوذ ناشی از بارش و رواناب‌ها به عنوان ورودی طبیعی به سفره‌های آب زیرزمینی، با عدم قطعیت همراه هستند که به نوسانات سالانه بارش و روندهای درازمدت آن وابسته است. بنابراین استفاده از عدد متوسطی بعنوان تغذیه به سفره آب زیرزمینی می‌تواند منجر به برآورد نادرست میزان ورودی طبیعی به سفره گردد.

برای جلوگیری از بروز خطا و همچنین بررسی عدم قطعیت ورودی‌ها به یک سفره آب زیرزمینی لازم است تا بارش درازمدت محدوده تأثیرگذار بر سفره آب زیرزمینی (حوضه آبریز) مورد بررسی قرار گیرد و همان گونه که در بخش سابقه تحولات مفهومی و سیاستی همین مقاله ارائه گردید، جهت مواجهه با عدم قطعیت به جای ارائه یک عدد قطعی متوسط، باید ورودی طبیعی به صورت احتمالی بررسی و میزان ورودی طبیعی به سفره در شرایط مختلف بارش محاسبه و ارائه گردد. اما اینکه چه دوره‌ای از بارش در محاسبه ورودی طبیعی احتمالی به یک سفره باید مورد بررسی قرار گیرد، موضوعی است که در علم آمار به عنوان موضوع ایستایی مطرح است. بدین شکل که برای تعیین پارامترهای یک جامعه در یک دوره، لازم است تا آمار مورد بررسی در دوره مورد نظر ایستا باشد. ایستایی بدین مفهوم است که پارامترهای مورد بررسی نباید در دوره مورد بحث تغییر نماید. به طور مثال در صورتی که نوسانات بارش در یک دوره آماری بگونه‌ای باشد که سیر نزولی یا صعودی داشته باشد، در این صورت میانگین بارش در کل دوره را نمی‌توان به عنوان رقم ثابت در نظر گرفت. برای تعیین ایستایی آمار، لازم است تا شیب خط روند ترسیم‌شده در دوره مبنا نزدیک به صفر باشد.

شایان ذکر است که در سال‌های اخیر باتوجه به موضوع پدیده تغییر اقلیم، کنترل ایستایی آمار از ضروریات بوده و برای انجام هر گونه برنامه‌ریزی باید مورد بررسی قرار گیرد.

لازم به ذکر است که در گزارش‌هایی که در بخش قبلی مورد بررسی قرار گرفت، تنها گزارش‌های اطلس منابع آب و بهنگام‌سازی طرح جامع آب به موضوع آمار درازمدت برای عوامل اقلیمی توجه کردند، در حالیکه در گزارش اول به دوره ایستایی توجهی نشده و در دوره دوم به اهمیت پوشش‌دادن دوره‌های خشک و تر در دوره آماری اشاره شده است. گزارش اول از متوسط عوامل اقلیمی در دوره آماری مورد نظر در تهیه بیلان استفاده نموده و گزارش دوم اقدام به تهیه دو بیلان درازمدت و یکساله نموده است.

**برآورد پتانسیل منابع آب تجدیدپذیر:** با استفاده از اطلاعات درجه حرارت و بارش در دوره آماری مبنا (دوره ایستا)، لازم است تا سری درازمدت پتانسیل منابع آب تجدیدپذیر را که در واقع بخش باقی‌مانده از بارش پس از کسر تبخیر و تعرق می‌باشد، محاسبه گردد. پتانسیل منابع آب تجدیدپذیر در واقع مجموع منابع آبی است که از بارش یا در زمین نفوذ می‌یابد و یا به صورت رواناب تبدیل به جریانات سطحی در راه‌آبها و رودخانه‌ها می‌شود. به اعتقاد پروفسور دو مارسیلی (۱۹۸۶) در مناطقی که دارای بارش کمتر از ۴۰۰ میلیمتر هستند- به جز در شرایط سیلابی که در مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌تواند با دوره بازگشت‌های بزرگ نظیر ۳۰ ساله اتفاق بیفتد- پتانسیل منابع آب تجدیدپذیر و به عبارت دیگر میزان تغذیه ناشی از بارش تقریباً صفر خواهد بود و در چنین سفره‌هایی پایداری در شرایط توسعه قابل توجه معنادار نخواهد بود و همه تلاش‌ها باید در این راستا صورت بگیرد که از بین‌رفتن سفره (خشک‌شدن سفره آب زیرزمینی) در مدت زمان طولانی‌تری اتفاق بیفتد. ذکر این نکته ضروری است که باتوجه به بارش اندک دشت رفسنجان (کمتر از ۱۴۰ میلیمتر)، به نظر می‌رسد که سهم تغذیه پیوسته این دشت از بارش ناچیز بوده و قابل صرف نظرکردن باشد.

اگرچه توجه به پتانسیل منابع آب تجدیدپذیر و استفاده از روش بیلان هیدروکلیماتولوژی که به طور معمول برای محاسبه این پارامتر مورد استفاده قرار می‌گیرد، به صورت مستقیم تنها در گزارش اطلس منابع آب، گزارش بهنگام سازی طرح جامع و گزارش ۶ مورد استفاده قرار گرفته است، اما در گزارش‌های قدیم تقریباً عامل نفوذ از بارش در دشت را صفر دانسته و نفوذ از ارتفاعات را به تغذیه از گسل‌ها نسبت داده در حالیکه در گزارش‌های جدید مقادیر فوق را صفر در نظر نگرفته و ارقامی را برای تغذیه از ارتفاعات در نظر گرفته‌اند.

**برآورد تغذیه واقعی از نفوذ:** پس از برآورد پتانسیل منابع آب تجدیدپذیر که در واقع میزان آبی است که برآورد تغذیه به سفره براساس آن صورت می‌گیرد، یکی از عدم قطعیت‌هایی که در محاسبات ورودی به سفره آب زیرزمینی وجود دارد ضریب نفوذپذیری می‌باشد. به طور معمول برای محاسبه میزان نفوذ ناشی از بارش، ضریبی به عنوان ضریب نفوذ در نظر گرفته می‌شود و با ضرب ضریب مذکور در بارش حوضه اثرگذار

بر سفره، میزان نفوذ محاسبه می‌شود. اگرچه برای مناطق مختلف حوضه آبریز بسته به جنس المان خاک تشکیل دهنده آن، ضرایب مختلفی در نظر گرفته می‌شود، اما مادامی که تعیین این ضرایب به صورت عملی و از طریق اندازه‌گیری مستقیم اعتبارسنجی نشود، ارقام منتسب به آن دارای عدم قطعیت خواهد بود. مقالات زیادی تاکنون به موضوع میزان تلفات آب در لایه غیر اشباع (ناحیه حد فاصل سطح زمین تا سطح آب زیرزمینی) پرداخته‌اند. بدین معنا که وجود پتانسیل منابع آب تجدیدپذیر، الزاماً به مفهوم تبدیل بخش نفوذ از پتانسیل منابع آب تجدیدپذیر به تغذیه در سفره نیست.

جهت محاسبه میزان نفوذ، ابتدا از میزان بارش مربوط به مناطق مختلف (که از ایستگاه‌های باران‌سنجی به دست می‌آید)، میزان تبخیر و تعرق (به طور معمول براساس اطلاعات مربوط به درجه حرارت و به کمک فرمول‌های موجود، میزان تبخیر و تعرق پتانسیل در مناطق جغرافیایی متفاوت محاسبه می‌گردد و سپس با لحاظ ظرفیت رطوبت خاک و بارش میزان تبخیر و تعرق واقعی به دست می‌آید) کسر می‌شود و بدین ترتیب بارش مؤثر یعنی بارشی که می‌تواند تبدیل به رواناب یا نفوذ شود، محاسبه می‌گردد. سپس با استفاده از اطلاعات مربوط به میزان رواناب تولیدشده در محدوده مورد نظر (مطابق با اطلاعات ایستگاه‌های هیدرومتری منطقه) محاسبه و از بارش مؤثر کسر می‌گردد. بدین ترتیب مقدار باقی‌مانده، معادل میزان نفوذ خواهد بود.

مطابق با Dooge، ۱۹۵۹، Vernoux،، Morel-Seytoux and Abdulrazzak، ۱۹۸۳، Morel-Seytoux، ۱۹۸۴، Sorman et. All، ۱۹۹۷ و Benhalima et all، ۱۹۹۸ به منظور برآورد میزان واقعی تغذیه از بخش نفوذ پتانسیل منابع آب تجدیدپذیر، ضروری است تا با استفاده از اطلاعات مربوط به پیزومترها، هیدروگراف هر پیزومتر استخراج شود و از طریق انطباق میزان نفوذ به دست‌آمده در محدوده اثر پیزومتر مربوطه در مدت زمانی که هیدروگراف برآورد شده است، می‌توان به میزان واقعی تغذیه دست یافت. با تکرار این مراحل می‌توان از طریق کالیبره‌کردن در واقع می‌توان به تخمین واقعی از میزان تغذیه ناشی از بارش (به ویژه تغذیه از بارش در ارتفاعات) دست یافت. چنین کالیبراسیونی در هیچ‌کدام از گزارش‌های قبلی انجام نشده است.

**برآورد تغذیه ناشی از آب برگشتی مصارف:** علاوه بر تغذیه طبیعی ناشی از بارش و رواناب که به عنوان عوامل ورودی طبیعی به یک سفره آب زیرزمینی مورد بررسی قرار می‌گیرد، ورودی دیگری نیز به طور معمول مورد ارزیابی قرار می‌گیرد که ناشی از آب برگشتی حاصل از مصارف می‌باشد. به طور معمول در محاسبات بیلان، همانند برآورد میزان تغذیه ناشی از بارش، جهت برآورد تغذیه ناشی از آب برگشتی مصارف کشاورزی نیز از ضریب آب برگشتی استفاده می‌شود که مطابق با آنچه که در بخش بررسی گزارش‌های قبلی به آن اشاره شده است، این ضریب در گزارش‌های مذکور از ۱۰ درصد تا ۳۰ در صد درنظر گرفته شده است. یکی از

عوامل عدم قطعیت در محاسبات بیلان، محاسبه این عامل تغذیه و ضریبی است که در برآورد این عامل تغذیه‌ای لحاظ می‌شود. در برخی از گزارش‌های قبلی نیز به اهمیت این موضوع اشاره شده است، اما تنها در گزارش اطلس منابع آب به اثر نوع آبیاری و بافت خاک در تعیین این ضریب اشاره شده است (جدول ۹). هرچند یکی از مواردی که حائز اهمیت فراوان در تعیین ضریب مذکور می‌باشد، عمق سطح آب زیرزمینی و میزان تلفات در ناحیه غیراشباع می‌باشد که نیاز به توجه ویژه دارد. مطابق با Kumar (۲۰۰۰) برای اراضی با آبیاری غیر غرقابی، در صورتی که عمق آب زیرزمینی بیش از ۲۵ متر باشد، تغذیه ناشی از آب برگشتی مصارف کشاورزی کمتر از ۵ درصد خواهد بود. باتوجه به اینکه در دشت رفسنجان در اغلب مناطق، سطح آب زیرزمینی در عمقی بسیار بیش از ۲۵ متر قرار دارد، می‌توان به این نکته پی برد که میزان تغذیه برآوردشده در گزارش‌های قبلی (به ویژه در گزارش‌های جدید که علی‌رغم افزایش عمق سطح آب زیرزمینی، ضریب بالاتری را برای تغذیه ناشی از مصارف کشاورزی در نظر گرفته‌اند) دارای عدم قطعیت قابل توجه بوده و نیازمند ارزیابی و برآورد خاص می‌باشد. تاکنون اقدامات گسترده‌ای در خصوص کاهش عدم قطعیت در برآورد تغذیه ناشی از آب برگشتی مصارف کشاورزی صورت گرفته است که از جمله آنها می‌توان به Childs and Bybordi (۱۹۶۹)، گزارش هیدرولوژی تغذیه آب‌های زیرزمینی مرکز تحقیقات آبیاری زهکشی ایالات متحده امریکا (۱۹۷۰)، Beverly et all (۱۹۹۹)، Scanlon et all (۲۰۰۲) و Bouwer (۲۰۰۰) اشاره نمود.

**ورودی و خروجی زیرزمینی:** محاسبات مربوط به عوامل ورودی به سفره آب زیرزمینی که در فوق ارائه گردید مربوط به شرایطی است که مرز سفره آب زیرزمینی، مرز کامل یک سیستم سفره آب زیرزمینی یا مرز نفوذناپذیر (به طور معمول مرزهایی که به سازندهای سخت یا لایه‌های با نفوذپذیری بسیار ناچیز محدود شوند) باشد. در صورتی که بنا به هر دلیلی- نظیر تعریف ایستایی سفره‌های آب زیرزمینی به صورت قراردادی برای یک منطقه یا محدودشدن مرز سیستم مورد مطالعه به محدوده کوچکتری نسبت به سیستم کامل سفره آب زیرزمینی- مرز سیستم مورد مطالعه به مرزهای نفوذناپذیر محدود نشود، در این شرایط باید میزان ورودی از خارج سیستم به محدوده مورد بررسی نیز محاسبه گردد. به طور معمول چنین شرایطی منجر به وجود ورودی‌های آب زیرزمینی از بخش‌های دیگر نظیر ورودی‌های آب زیرزمینی می‌گردد که خود با عدم قطعیت‌هایی همراه است. ورودی زیرزمینی بدین مفهوم است که از طریق بخشی از سفره- که خارج از سیستم مورد بررسی قرار می‌گیرد- و از لایه‌های آبرفتی- یا سازندی با نفوذپذیری قابل ملاحظه- جریان آب به درون سیستم وجود داشته باشد.

میزان آب ورودی که در واقع از بخش‌های خارج از محدوده مورد مطالعه و به صورت زیرزمینی وارد می‌شود به پارامترهایی نظیر عرض کانال‌های انتقال زیرزمینی، گرادیان هیدرولیکی (شیب آب زیرزمینی) در این

کانال‌ها و ضریب قابلیت انتقال بستگی دارد. بنابراین باتوجه به اینکه با تغییرات سطح آب زیرزمینی در سفره عرض کانال‌های انتقال و ارتفاع لایه آبدار (و به تبع آن میزان قابلیت انتقال) تغییر می‌یابد، در نظرگرفتن شرایط خاص یک سال معین (سال بیلان) و تعمیم آن به کل دوره برنامه‌ریزی می‌تواند منجر به ورود عدم قطعیت قابل توجه شود. علاوه بر این، همان گونه که در بخش مربوط به گزارش‌های قبلی نیز ذکر گردید، ضریب قابلیت انتقال نیز از جمله پارامترهایی است که در گزارش‌های قبلی در محدوده بسیار متفاوتی در نظر گرفته شده است که خود یکی از منابع عدم قطعیت می‌باشد. در دشت رفسنجان نیز ورودی از دشت‌های کرمان و بردسیر به عنوان ورودی زیرزمینی مطرح هستند که مشمول عدم قطعیت ذکرشده می‌باشد که باید در ارزیابی‌ها و محاسبات مربوطه مورد بررسی قرار گیرد. علاوه بر ورودی زیرزمینی، محاسبات مربوط به خروجی از محدوده مورد بررسی نیز همانند محاسبات ورودی صورت می‌گیرد. هرچند ذکر این نکته ضروری است که در دشت رفسنجان میزان خروجی زیرزمینی از درجه اهمیت کمتری برخوردار است بطوری که میزان این خروجی در کلیه گزارش‌های قبلی کمتر از ۳ میلیون مترمکعب برآورد شده است.

**سایر مولفه‌های خروجی:** علاوه بر خروجی زیرزمینی، تبخیر و تخلیه و برداشت از منابع آب زیرزمینی از جمله خروجی‌های منابع آب زیرزمینی می‌باشد. تبخیر از منابع آب زیرزمینی به عمق آب زیرزمینی بستگی دارد و همان طور که در گزارش‌های قبلی به آن اشاره شده است، تبخیر از آب زیرزمینی تنها در شرایطی که عمق سطح آب کمتر از ۳ متر (تا حداکثر ۵ متر) باشد، اتفاق می‌افتد. در دشت رفسنجان با گذشت زمان و افزایش برداشت‌ها، عمق سطح آب زیرزمینی در اغلب قسمت‌ها از آستانه‌های تعیین‌شده برای امکان بروز تبخیر، بیشتر شده است. بنابراین در شرایط کنونی تقریباً این عامل خروجی در دشت رفسنجان نزدیک به صفر می‌باشد و تنها برای شبیه‌سازی شرایط گذشته لازم است این عامل (که در گذشته می‌توانست رقم قابل اعتنایی باشد) برآورد گردد. عامل خروجی مربوط به تخلیه و برداشت از منابع آب زیرزمینی نیز به طور معمول از طریق نتایج آماربرداری حاصل می‌گردد که به نظر می‌رسد این آمار برداری تنها در چند مقطع زمانی به صورت آماربرداری مستقیم موجود است که نتایج آن در شکل شماره ۲ ارائه گردیده است. همان گونه که از این شکل ملاحظه می‌شود، میزان تخلیه و برداشت از منابع آب زیرزمینی روند افزایشی داشته و تقریباً چهار برابر شده است (بخش خط چین نمودار شکل ۲ فقط نشان‌دهنده روند بوده و مبتنی بر نتایج آماربرداری واقعی نمی‌باشد). به نظر می‌رسد جهت عدم قطعیت ناشی از اندازه‌گیری میزان تخلیه و برداشت که اثر قابل ملاحظه‌ای نیز بر وضعیت پایداری سفره و تصمیم‌گیری در خصوص چگونگی مدیریت آن دارد، لازم است تا هر سال آماربرداری میزان برداشت‌ها در زمان خاصی (فصل غیر کشاورزی) صورت گیرد.

**برآورد کسری مخزن**: پس از برآورد عوامل ورودی و خروجی و همچنین زیرزمینی، پارامتری که به طور معمول به آن توجه می شود، پارامتر کسری مخزن است. کسری مخزن بدین معنا ااست که با عدم تعادل موجود در سفره و اُفت سطح آب زیرزمینی که در یک سال خاص یا در درازمدت ایجاد شده است، چه میزان از حجم ذخیره استاتیک سفره آب زیرزمینی (به طور متوسط یا در یک سال خاص) کم شده است. جهت محاسبه کسری مخزن، مطابق با آنچه که در بخش بررسی گزارش‌های قبلی به آن اشاره شده است، اُفت سطح آب زیرزمینی در ضریب ذخیره ضرب می‌شود و همان طور که در بررسی گزارش‌ها ذکر شد، انتخاب ضریب ذخیره متفاوت می‌تواند منجر به برآورد مقادیر مختلفی از کسری مخزن در یک سفره شود. بنابراین شاید یکی از روش‌های مقابله با این عدم قطعیت انجام تحلیل حساسیت به ازای ضرایب ذخیره مختلف بوده و یا اعلام بخش باقی‌مانده از منابع آب زیرزمینی بر اساس ارتفاع (نسبت به حجم) در سفره‌هایی نظیر رفسنجان می‌باشد که عمق سنگ کف در آنها معلوم است. بدین ترتیب می‌توان به برآوردی از عمر باقی‌مانده سفره بر مبنای عمق سطح آب دست یافت. هرچند جهت دستیابی به تخمینی واقعی‌تر از ضریب ذخیره می‌توان با انجام شبیه‌سازی از شرایطی که در گذشته اتفاق افتاده (شامل پارامترهای ورودی و خروجی، پس از نهایی‌کردن مقادیر این عوامل و کالیبره‌نمودن آن با سطح آب اندازه‌گیری‌شده توسط پیزومترها) عدم قطعیت مربوطه را کاهش داد.

**شبیه‌سازی جهت کاهش عدم قطعیت‌ها**: باتوجه به آنچه که در قسمت‌های فوق تشریح شد، عدم قطعیت‌های زیادی در برآورد مؤلفه‌های بیلان وجود دارد. بنابراین در صورتی که در انجام برآوردها با پارامترهای اندازه‌گیری شده‌ای از سفره نظیر سطح آب زیرزمینی توسط پیزومترها، کالیبراسیون صورت نگیرد، این امر می‌تواند منجر به برآوردهای مختلفی از عوامل ورودی و خروجی گردد که نتیجه آن باعث برآورد آب قابل برنامه‌ریزی متفاوتی توسط گروه‌های مطالعاتی مستقل شود. به همین دلیل مهم‌ترین مرحله برای کاهش عدم قطعیت‌های تشریح‌شده، انجام شبیه‌سازی برای سفره آب زیرزمینی می‌باشد که در مرحله تکمیلی تحقیق حاضر انجام خواهد شد.

## ۵. جمع‌بندی

پایداری منابع آب زیرزمینی به ویژه در مناطقی نظیر مناطق خشک و نیمه‌خشک که وابستگی به آنها به عنوان منابع آب اصلی وجود دارد، حائز اهمیت فراوان است. بررسی‌ها نشان می‌دهد که با افزایش برداشت‌ها و در نتیجه افزایش لزوم حفظ پایداری چنین منابعی، ضرورت شناخت، برنامه‌ریزی برای بهره‌برداری مناسب‌تر و پایش مداوم آنها اجتناب‌ناپذیر می‌باشد. تجربه مناطقی که با ناپایداری منابع آب زیرزمینی مواجه شده‌اند، نشان می‌دهد که علاوه بر راهکارهای سازه‌ای نظیر اجرای طرح‌های انتقال بین‌حوضه‌ای برای چنین سفره‌هایی،

بیشترین تمرکز بر شناخت رفتار سفره‌ها، تعریف برنامه‌های مدیریتی برای کاهش ناپایداری و پایش مداوم آنها صورت می‌گیرد.

به منظور شناخت رفتار سفره، محاسبه بیلان آب زیرزمینی از جمله ابزارهایی است که به طور معمول مورد استفاده قرار می‌گیرد. اما بررسی گزارش مطالعات مربوط به محاسبه بیلان در دشت رفسنجان بیانگر وجود عدم قطعیت‌های فراوان در انجام چنین محاسباتی است که جهت رسیدن به شناخت صحیح از این منابع لازم است تا حد امکان چنین عدم قطعیت‌هایی را کاهش داد. از جمله این عدم قطعیت‌ها می‌توان به انتخاب دوره آماری، چگونگی برآورد میزان تغذیه ناشی از بارش، ضریب آب برگشتی مصارف، قابلیت انتقال و ضریب ذخیره سفره اشاره نمود.

جهت مقابله با عدم قطعیت‌های موجود در برآورد مؤلفه‌های بیلان آب زیرزمینی، چارچوب متدولوژی انجام کار با ذکر جزئیات مربوط به هرکدام از عدم قطعیت‌ها در این مقاله ارائه گردید. مهم‌ترین پیشنهاد برای کاهش چنین عدم قطعیت‌هایی، کالیبره‌کردن مقادیر برآوردشده برای عوامل مختلف با استفاده از پارامترهای اندازه‌گیری‌شده در سفره آب زیرزمینی نظیر سطح آب زیرزمینی پایش‌شده توسط پیزومترها و انجام شبیه‌سازی رفتار درازمدت سفره آب زیرزمینی است که در مرحله تکمیلی همین تحقیق نتایج حاصل از این روش‌شناسی ارائه خواهد شد.

## ۶. مراجع :


۱- گزارش مطالعات شناسایی آبهای زیرزمینی دشت رفسنجان، اداره کل آبهای زیرزمینی، ۱۳۴۸

۲- مطالعات هیدروژئولوژی توسط اکتشافات الکتریکی در ناحیه رفسنجان (مرحله اول-دشت مرکزی رفسنجان)، کمپانی ژنرال ژئوفیزیک شعبه تهران، ۱۳۴۹

۳- مطالعات و بررسیهای ژئوالکتریکی در منطقه رفسنجان (مرحله دوم- دشتهای نوق - انار و بیاض)، گروه مهندسین مشاور آب و خاک، ۱۳۵۰

۴- گزارش نیمه تفصیلی آبهای زیرزمینی دشتهای رفسنجان- نوق انار- بیاض کشکوئیه، اداره کل آبهای زیرزمینی، ۱۳۵۱

۵- خلاصه گزارش مطالعات نیمه تفضیلی آبهای زیرزمینی منطقه رفسنجان شامل دشتهای رفسنجان- نوق- انار، بیاض، کشکوئیه، اداره کل آبهای زیرزمینی، ۱۳۵۱

۶- محاسبه بیلان آب زیرزمینی رفسنجان- نوق- بردسیر، محمد حسین اسلام پناه- مسیح یوسفی زاده، ۵۱-۵۲

۷- گزارش بیلان آب زیرزمینی رفسنجان، نوق، بردسیر، اداره کل آبهای زیرزمینی، ۵۲-۵۱

۸- گزارش آماری دشتهای رفسنجان- نوق- انار- بیاض- کشکوئیه (جلد دوم)، اداره کل آبهای زیرزمینی، ۵۳-۵۲

۹- گزارش ادامه مطالعه دشتهای رفسنجان- نوق- انار- بیاض کشکوئیه در سال ۵۳، اداره کل آبهای زیرزمینی، ۵۳

۱۰-گزارش خلاصه آمار و شرح وضعیت هیدروژئولوژی حوزه آبریز کویر اردستان- رفسنجان –بافق، اداره کل آبهای زیرزمینی،۵۴

۱۱-تعیین وضعیت آبهای زیرزمینی رفسنجان و نحوه بهره برداری از آن، شرکت سهامی آب و برق منطقه ای کرمان، ۵۶

۱۲-طرح جامع آب کشور، مهندسین مشاور جاماب، ۷۸

۱۳-اطلس منابع آب کشور (حوضه آبریز کویر درانجیر)، مهندسین مشاور هلیل آب، ۸۹

۱۴- بهنگام سازی طرح جامع آب کشور، (حوضه آبریز کویر در انجیر)، مهندسین مشاور جاماب، ۹۲

15- Abdulrazzak, M. J., and H. J. Morel- Seytoux; Recharge from and ephermal stream following wetting front arrival to water table; 1983; Journal of Water resources research

16- ACWA; Sustainability from the ground up- groundwater management in California: A framework; 2011; Association of California Water Agencies

17- Benhalima K., A. Benhammou, E. K. Lakhal, and B. Dahhou; Parameter's sensitivity in water storage modelling for unsaturated soils; 1998; Recent advances in problems of flow and transport in porous media
18- Beverly, C. R., R. J. Nathan, K. W. J. Malafant, and D. P. Fordham, Development of a simplified unsaturated module for providing recharge estimates to saturated groundwater models, 1999, DHI Water & Environment Journal
19- Bouwer, H.; Artificial recharge of groundwater: systems, design, and management; 1999; Hydraulic Design Handbook, MacGraw-Hill
20- Childs, E. C., and M. Bybordi; The vertical movement of of water in stratified porous material: 1- infiltration; 1969; Journal of water resources research
21- De Marsily, G., Quantitative hydrogeology: Groundwater Hydrology for engineers; 1986; Academic Press.
22- Dooge, J. C. I; A general theory of unit Hydrograph; 1959; Journal of Geophysical research
23- Ground-water Recharge Hydrology; 1970; United States Department of Agriculture, Agricultural Research Service
24- Hiscock, K. M., M. O. Rivett, and R. M. Davison; Sustainable groundwater development; 2002; Geological Society, London, Special Publications
25- Kalf, F. R. P., and D. Woolley; Applicability and methodology of sustainable yield determination in groundwater systems; 2005; Hydrogeology Journal
26- Kumar, C. P.; Groundwater assessment methodology; 1987; The National Water Policy adpted by Government of India; National Institute of Hydrology
27- Morel- Seytoux, H. J.; From excess infiltration to aquifer recharge- a derivation based on the theory of flow of water in unsaturated soils; 1984; Journal of water resources research
28- Scanlon, B. R.; R. W. Healy , and P. G. Cook, Choosing appropriate techniques for quantifying groundwater recharge; 2002, Journal of Hydrogeology
29- Sophocleous, M.; Review: groundwater management practices, challenges, and innovations in the High Plains aquifer, USA- lessons and recommended actions; 2009; Hedrogeology Journal
30- Sophocleous, M.; The origin and evolution of safe-yield policies in the Kansas groundwater management districts; January 2000; Journal of natural resources research
31- Sophocleous, M.;From safe yield to sustainable development of water resources- the Kansas experience; May 2000; Journal of Hydrology
32- Sophocleous, M.;The evolution of groundwater management aradigms in Kansas and possible new steps towards water sustainability; 2012; Journal of Hydrology
33- Sorman,A. M., J. Abdulrazzak, and H. J. Morel- Seytoux; Groundwater recharge estimation from ephermal streams. Case study: Wadi Tabalah, Saudi Arabia; 1997; Journal of Hydrological Procesess
34- Vernoux, J. F.; Use of piezometric networks for evaluating the quantitative status of groundwater bodies: Example of the Seine-Normandy Basin in France; 2007; Aquifer Systems Management: Darcy's Legacy in a world of impending water shortage
35- Voss, K. A., J. S. Famiglietti, M. Lo, C. D. Linage, M. Rodell, and S. C. Swenson; Groundwater depletion in the Middle East from Grace with implications for transboundary water management in the Tigris-Euphrates-Western Iran region; 2013; Journal of water resources research

اهمیت پایداری منابع آب زیرزمینی به عنوان تنها منبع آبی در مناطق خشک و نیمه خشک روز به روز افزایش می یابد. بررسی تجارب مناطقی که با ناپایداری منابع آب زیرزمینی مواجهند، نشان می‌دهد که علاوه بر راهکارهای سازه‌ای، بیشترین تمرکز مدیران و برنامه‌ریزان بر شناخت سفره‌ها، تدوین برنامه‌ها، اصلاح رویکردها و پایش مداوم با هدف کاهش ناپایداری بوده است. به منظور رسیدن به شناخت، انجام محاسبات مربوط به مولفه‌های ورودی و خروجی یک سفره آب زیرزمینی– محاسبات بیلان– امری اجتناب‌ناپذیر است. بررسی گزارش‌های بیلان انجام شده برای دشت مورد مطالعه نشان می‌دهد که در روش موجود برای انجام چنین محاسباتی، منابع متعددی از عدم قطعیت وجود دارد که منجر به حصول نتایج متفاوتی برای بیان شرایط سفره آب زیرزمینی می‌گردد. هدف از مقاله حاضر، بررسی منابع مختلف عدم قطعیت‌ها در محاسبات بیلان و تدوین چارچوبی برای روش‌شناسی انجام کار به منظور کاهش این عدم قطعیت‌ها می‌باشد.