

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده علوم زمین

پایان نامه کارشناسی ارشد هیدروژئولوژی

تخمین تغذیه به آبخوان آبرفتی سمنان

نگارنده

بهاره اکرامی پور

استاد راهنما

دکتر هادی جعفری

اسفند ۱۴۰۰

تقدیم بہ

این پایان نامہ را در کمال افتخار و امتنان تقدیم می‌نمایم به مادر مهربانم او که فروغ نگاهش، گرمی کلامش و روشنی رویش سرمایه‌های جاودانه زندگی من است و وجود پر مهرش برایم عزیزترین است. مادر در برابر وجود نازنینت زانوی ادب به زمین می‌نهم و با دلی مالا مال از عشق و محبت متواضعانه بر دستانانت بوسه می‌زنم.

به روح پاک پدرم که عالمانه به من آموخت تا چگونه در عرصه زندگی، ایستادگی را تجربه نمایم.

خواهران عزیزم و برادر مهربانم که همیشه دوستشان دارم و شادی و موفقیتشان را از خداوند سبحان خواستارم.

شکر و قدردانی

به نام خدایی که هنرمندی‌اش بارز است و دیده از درکش عاجز، خدایی که زینت آدمی را علم قرار داد و اسباب رسیدنش را حلم، خدایی که زمین و زمان از اوست و ستایش خلقی بر درگاه اوست، خدایی که اندیشه امان وامدار از کرامتش باشد و قلم فرسایی امان از سر عنایتش

پس سزد که نامش همواره متصل به زبان باشد و یادش همیشه به نهر دل روان و رواست ترنم مدام این زمزمه که خدایا دلی ده حقیقت شناس زبانی سزاوار حمد و سپاس

سپاس همواره زیبنده اوست که در آدمی میل به آموختن نهاد و از خانواده عزیزم نیز کمال تشکر و قدردانی را دارم و در ادامه از روشنگر راهم، آموزشگر صبورم، استاد ارجمند و عزیزم، جناب آقای دکتر هادی جعفری که بنده را در جهت نگارش پایان نامه راهنمایی کردند نهایت تشکر را دارم و از قادر بی‌همتا برای ایشان آرزوی سلامتی و موفقیت روزافزون را خواستارم. همچنین از زحمات بی دریغ و دلسوزانه اساتید بزرگوار خود جناب آقای دکتر غلامحسین کرمی و جناب آقای دکتر رحیم باقری در طول دوران تحصیل سپاسگزاری می‌نمایم.

تعهد نامه

اینجانب بهاره اکرامی پور دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته هیدروژئولوژی دانشکده علوم زمین دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه تخمین تغذیه به آبخوان آبرفتی سمنان تحت راهنمایی دکتر هادی جعفری متعهد می شوم:

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهش‌های محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « Shahrood University of Technology » به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده‌اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می‌گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافت‌های آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان‌نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاقی انسانی رعایت شده است.

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه‌های رایانه‌ای، نرم افزارها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.

تخمین تغذیه یکی از مهمترین مباحث در مدیریت منابع آب زیرزمینی می باشد. میزان تغذیه به آبخوان آبرفتی سمنان با مساحت ۵۴۳ کیلومترمربع در این پژوهش مورد بررسی قرار گرفته است. این آبخوان به عنوان منبع اصلی تأمین کننده آب شرب و کشاورزی شهر محسوب می شود. شناخت این منبع اصلی می تواند راهگشای مسائل مدیریتی قرار گیرد. به جهت محاسبه میزان تغذیه از چهار روش نوسانات سطح ایستابی، بیلان جرمی کلر، ایزوتوپ های پایدار و بیلان آب استفاده شده است. بررسی هیدروگراف واحد آبخوان سمنان نشان می دهد این آبخوان به طور متوسط دارای افت حدود ۸۰ سانتی متر در سال می باشد. با توجه به محاسبات انجام شده، مقدار تغذیه به آبخوان سمنان بر اساس روش نوسانات سطح ایستابی برابر با ۴/۴ میلیون متر مکعب در سال، به روش بیلان جرمی کلر ۲/۵ میلیون متر مکعب در سال و در روش بیلان آب برابر با ۷/۶ میلیون متر مکعب در سال تخمین زمین زده شده است. نتایج آنالیز ایزوتوپی نشان می دهد تأثیر عامل تبخیر و تعرق در فرآیند تغذیه قابل شناسایی نبوده که این موضوع نقش ناچیز تغذیه سطحی بر آبخوان را تأیید می نماید. با توجه به تلفیق نتایج حاصل از محاسبات تغذیه به روش های مختلف میزان تغذیه ناشی از بارش به آبخوان سمنان حدود ۲ تا ۴ میلیون متر مکعب در سال (متوسط ۳ میلیون متر مکعب در سال) برآورد می گردد که حدود ۵ درصد بارش سالیانه در سطح آبخوان می باشد.

کلمات کلیدی: تغذیه، نوسانات سطح ایستابی، بیلان جرمی کلر، آبخوان سمنان، ایزوتوپ های پایدار

فهرست مطالب

فصل اول.....	۱
مقدمه	۱
۱-۱- بیان مسئله و هدف از انجام تحقیق	۲
۲-۱- منطقه مورد مطالعه	۲
۳-۱- راه‌های دسترسی به منطقه مورد مطالعه	۵
۴-۱- آب و هوای منطقه مورد مطالعه	۷
۵-۱- زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه	۸
۱-۵-۱- چینه‌شناسی سازندهای محدوده مطالعاتی	۹
۱-۵-۱-۱- پرکامبرین	۹
۲-۵-۱-۲- پالئوزوئیک	۹
۳-۵-۱-۳- مزوزوئیک	۱۰
۴-۵-۱-۴- سنوزوئیک	۱۱
۶-۱- زمین‌شناسی ساختمانی	۱۴
۷-۱- ژئومورفولوژی محدوده مورد مطالعه	۱۷
۸-۱- هیدروژئولوژی دشت سمنان	۲۰
فصل دوم	۲۳
تئوری تحقیق و مروری بر مطالعات پیشین	۲۳
۱-۲- مقدمه	۲۴
۲-۲- تعاریف	۲۴
۳-۲- مدل مفهومی فرآیند تغذیه	۲۶
۳-۲-۱- تغییرپذیری زمانی و مکانی در تغذیه	۲۶
۳-۲-۲- آب و هوا	۲۷
۳-۲-۳- خاک و زمین‌شناسی	۲۸
۳-۲-۴- توپوگرافی سطحی	۲۸
۳-۲-۵- آبشناسی	۲۹
۳-۲-۶- پوشش گیاهی	۳۰
۳-۲-۴- چالش‌ها در تخمین تغذیه	۳۱
۳-۲-۴-۱- عدم قطعیت در تخمین تغذیه	۳۱
۳-۲-۴-۲- مقیاس‌های زمانی و مکانی تخمین تغذیه	۳۱

۳۲.....	۲-۴-۳- هزینه
۳۲.....	۲-۵- تکنیک‌های مختلف تغذیه
۳۳.....	۲-۵-۱- نوسانات سطح ایستابی
۳۷.....	۲-۵-۲- روش بیلان جرمی کلر
۳۹.....	۲-۵-۳- روش بیلان آب
۴۰.....	۲-۵-۴- روش ایزوتوپی
۴۳.....	فصل سوم
۴۳.....	روش انجام کار
۴۴.....	۳-۱- مقدمه
۴۴.....	۳-۲- روش نوسانات سطح ایستابی
۴۴.....	۳-۲-۱- جمع آوری داده‌های کمی آب زیرزمینی
۴۵.....	۳-۲-۲- تعیین بال‌آمدگی سطح ایستابی
۴۶.....	۳-۲-۳- محاسبه آبدهی ویژه
۴۶.....	۳-۲-۴- محاسبه تغذیه به روش نوسانات سطح ایستابی
۴۷.....	۳-۳- روش بیلان جرمی کلر
۴۷.....	۳-۴- روش ایزوتوپی
۴۸.....	۳-۵- روش بیلان آب زیرزمینی
۴۹.....	فصل چهارم
۴۹.....	تخمین تغذیه به آبخوان آبرفتی سمنان
۵۰.....	۴-۱- مقدمه
۵۰.....	۴-۲- بررسی میزان تغذیه آبخوان سمنان به روش نوسانات سطح ایستابی
۵۰.....	۴-۲-۱- بررسی نوسانات سطح ایستابی آبخوان سمنان
۵۷.....	۴-۲-۲- هیدروگراف معرف آبخوان سمنان
۵۹.....	۴-۲-۳- محاسبه بال‌آمدگی در هر پیزومتر
۶۹.....	۴-۳- محاسبه تغذیه به آبخوان سمنان با استفاده از روش بیلان جرمی کلر
۶۹.....	۴-۳-۱- غلظت کلر بارش در محدوده آبخوان سمنان
۷۰.....	۴-۳-۲- غلظت کلر آب زیرزمینی در آبخوان سمنان
۷۱.....	۴-۳-۳- محاسبه تغذیه به روش بیلان جرمی کلر
۷۴.....	۴-۴- مطالعات ایزوتوپی آبخوان سمنان
۷۷.....	۴-۵- محاسبه تغذیه به آبخوان سمنان با استفاده از روش بیلان آب
۷۷.....	۴-۵-۱- جریان‌های ورودی و خروجی آبخوان سمنان
۷۸.....	۴-۵-۲- حجم جریان ورودی آب زیرزمینی به آبخوان

۷۸	 ۴-۵-۳- حجم جریان خروجی آب زیرزمینی
۸۰	 ۴-۵-۴- میزان تبخیر و تعرق
۸۰	 ۴-۵-۵- حجم آب زهکشی شده از آبخوان سمنان
۸۰	 ۴-۵-۶- تغییرات حجم ذخیره آبخوان سمنان
۸۱	 ۴-۵-۷- محاسبه تغذیه به روش بیلان آب
۸۱	 ۴-۶- نتایج مطالعات تخمین تغذیه به آبخوان سمنان
۸۳	 فصل پنجم
۸۳	 نتیجه گیری و پیشنهادها
۸۴	 ۵-۱- مقدمه
۸۴	 ۵-۲- نتایج
۸۵	 ۵-۳- پیشنهادات
۸۷	 منابع

فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۱: موقعیت محدوده مطالعاتی آبخوان سمنان ۴
- شکل ۲-۱: راه‌های دسترسی به منطقه مورد مطالعه ۶
- شکل ۳-۱: منحنی آمبروترمیک منطقه مورد مطالعه در یک دوره ۱۴ ساله (۱۳۸۵ تا ۱۳۹۹) ۸
- شکل ۴-۱: نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه بر گرفته از نقشه ۲۵۰۰۰: ۱ سمنان - سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور ۱۷
- شکل ۵-۱: نقشه ژئومورفولوژی حوضه آبریز و آبخوان سمنان ۱۹
- شکل ۱-۲: چرخه تغذیه به دو شکل پراکنده و متمرکز ۲۵
- شکل ۲-۲: محاسبه بالا آمدگی سطح آب ۳۶
- شکل ۲-۳: تعیین میزان بالا آمدگی در هر پیزومتر ۴۶
- شکل ۱-۴: موقعیت پیزومترهای حفر شده در آبخوان سمنان ۵۲
- شکل ۲-۴: هیدروگراف پیزومترهای آبخوان سمنان ۵۴
- شکل ۲-۴ (ادامه): هیدروگراف پیزومترهای آبخوان سمنان ۵۵
- شکل ۲-۴ (ادامه): هیدروگراف پیزومترهای آبخوان سمنان ۵۶
- شکل ۳-۴: شبکه تیسن پیزومترها در آبخوان سمنان ۵۸
- شکل ۴-۴: هیدروگراف معرف آبخوان سمنان ۵۹
- شکل ۵-۴ (ادامه): بالا آمدگی سطح ایستابی در پیزومترهای آبخوان سمنان ۶۲
- شکل ۶-۴: تغییرات زمانی مقدار بالا آمدگی سطح ایستابی در پیزومترهای آبخوان سمنان ۶۴
- شکل ۷-۴: مقادیر ضریب ذخیره آبخوان سمنان (کرمی ۱۳۹۷، میرباقری ۱۴۰۰) ۶۵
- شکل ۸-۴: هیستوگرام بارش و تغییرات تغذیه به آبخوان سمنان ۶۹
- شکل ۹-۴: موقعیت نقاط نمونه برداری از آبخوان سمنان و غلظت کلر آن‌ها ۷۳
- شکل ۱۰-۴: موقعیت نقاط نمونه برداری از آب زیرزمینی (W) و بارش (P) جهت آنالیز ایزوتوپی ۷۵
- شکل ۱۱-۴: ارتباط مقادیر اکسیژن ۱۸ و دوتریم در بارش و آب زیرزمینی سمنان ۷۶
- شکل ۱۲-۴: نقشه هم‌پتانسیل آبخوان سمنان (شهریور ۱۳۹۹) ۷۹

فهرست جدول ها

جدول ۱-۱: آمار بارندگی و درجه حرارت محدوده سمنان مربوط به دوره ۱۴ ساله (۱۳۸۵ تا ۱۳۹۹).....	۷
جدول ۱-۲: تکنیک های مختلف تخمین تغذیه.....	۳۳
جدول ۱-۳: مساحت چند ضلعی های تسین اطراف پیزومترهای آبخوان سمنان.....	۴۵
جدول ۲-۳: مقادیر ایزوتوپ های اکسیژن ۱۸ و دوتریم نمونه های آب زیرزمینی و بارش در آبخوان سمنان.....	۴۸
جدول ۱-۴: مشخصات پیزومترهای حفر شده در آبخوان سمنان.....	۵۱
جدول ۲-۴: افت سالیانه در پیزومترهای آبخوان سمنان در دوره آماری ۸۸ تا ۹۹.....	۵۷
جدول ۳-۴: مقدار بالآمدگی سطح ایستابی در پیزومترهای آبخوان سمنان (بر حسب متر در سال).....	۶۳
جدول ۴-۴: تغذیه سالانه محاسبه شده برای پیزومترهای آبخوان سمنان (بر حسب میلیون متر مکعب در سال).....	۶۷
جدول ۵-۴: مقادیر بارش و تغذیه سالانه محاسبه شده برای آبخوان سمنان.....	۶۸
جدول ۶-۴: غلظت یون کلر در بارش در محدوده آبخوان سمنان.....	۶۹
جدول ۷-۴: مقادیر غلظت کلر در نمونه های آب زیرزمینی آبخوان سمنان.....	۷۱
جدول ۸-۴: محاسبه مقادیر تغذیه به آبخوان سمنان به روش بیلان جرمی کلر.....	۷۲
جدول ۹-۴: محاسبه ورودی و خروجی های آب زیرزمینی به /از آبخوان سمنان.....	۸۰
جدول ۱۰-۴: اجزای بیلان آبخوان سمنان.....	۸۱
جدول ۱۱-۴: مقادیر تخمین تغذیه به روش های مختلف در آبخوان سمنان.....	۸۲

فصل اول

مقدمه

۱-۱- بیان مسئله و هدف از انجام تحقیق

بیشترین مصرف آب در ایران از طریق برداشت از منابع آب زیرزمینی می‌باشد. متأسفانه برداشت غیراصولی و بیش از حد مجاز از منابع آب زیرزمینی به همراه حفر چاه‌های غیرمجاز در دشت‌های کشور در دهه‌های گذشته موجب افت شدید کمی و کیفی در این منابع شده است که پیامدهای سوء آن به صورت تخریب کیفی آب زیرزمینی، نشست سطح زمین، افزایش هزینه پمپاژ و گاهی کاهش جریان آب رودخانه‌ها با توجه به تعاملات هیدرولیکی بین آب زیرزمینی و سطحی نمایان شده است. به همین منظور تغذیه مصنوعی و طرح‌های تعادل بخشی در جهت به تعادل رسیدن آب در سفره‌های زیرزمینی به اجرا در می‌آید. تغذیه شامل جریان رو به پایین آب به سمت سطح ایستابی است که سبب افزایش ذخیره آب زیرزمینی می‌گردد. تخمین تغذیه یکی از مهمترین مباحث در مطالعات آب زیرزمینی به‌ویژه در مطالعات بیلان آب زیرزمینی می‌باشد. بدین منظور برآورد دقیق مقدار تغذیه‌ی آب زیرزمینی ضروری است. روش‌های مختلف تخمین تغذیه را می‌توان براساس مناطق یا زون‌های هیدرولوژیکی که اطلاعات موردنیاز از آن‌ها به دست می‌آید، به سه گروه تکنیک‌های آب سطحی، منطقه غیراشباع و منطقه اشباع تقسیم نمود. در هر کدام از این زون‌ها تغذیه به روش‌های فیزیکی، ردیابی و مدل‌سازی عددی قابل تخمین می‌باشد. شهر سمنان به دلیل قرار گرفتن در منطقه‌ی گرمسیری و کویری دارای بارندگی محدود در فصول سرد و تبخیر زیاد در فصول گرم می‌باشد. به همین دلیل با برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی، این منطقه با افت سطح ایستابی مواجه گردیده است. هدف از انجام این مطالعه، بررسی آبخوان سمنان و تخمین تغذیه به آن به روش‌های مختلف در یک دوره بلند مدت برای مدیریت بهینه بهره‌برداری و توسعه پایدار این منبع آبی ارزشمند می‌باشد.

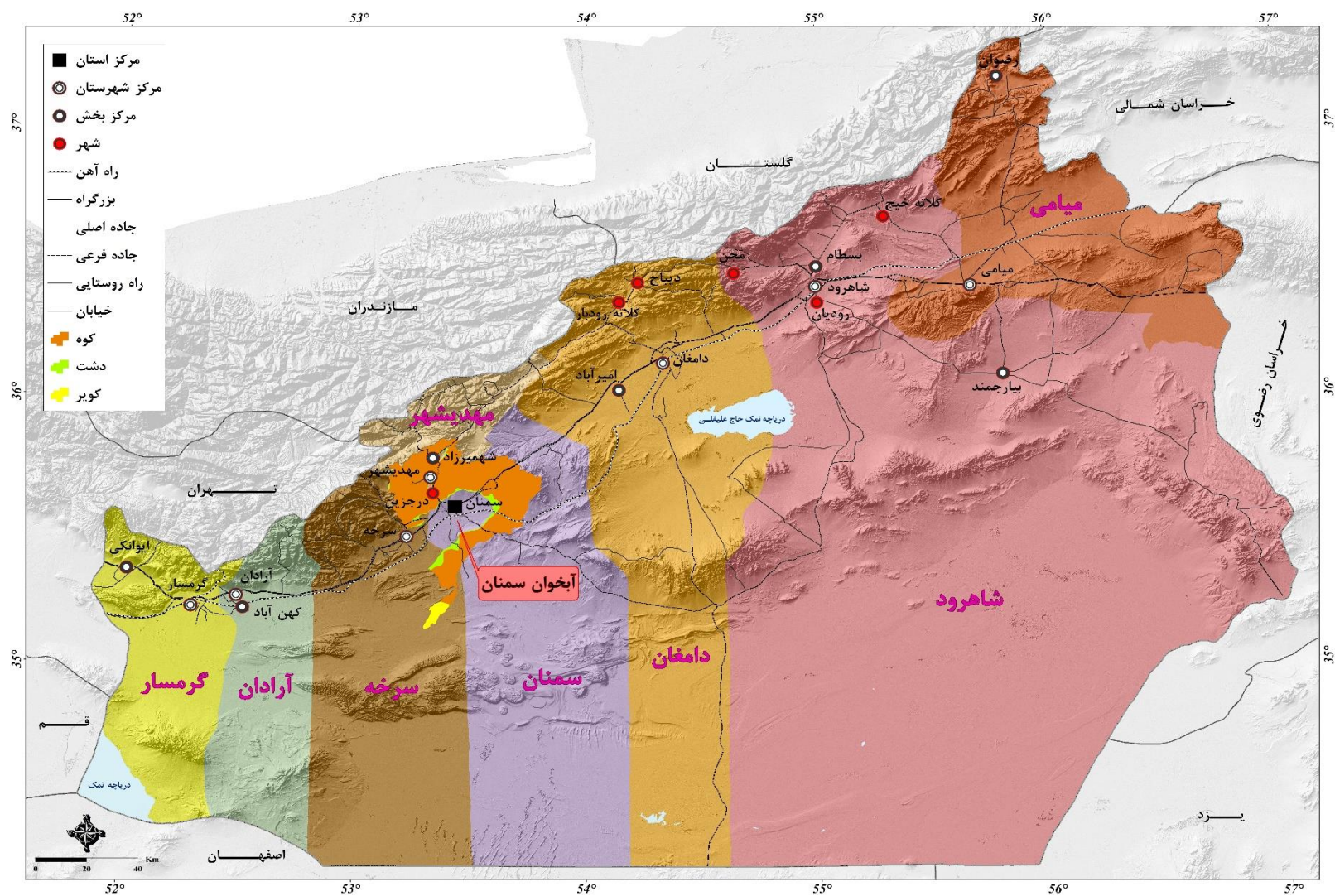
۱-۲- منطقه مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه در حوضه آبریز کویر مرکزی قرار گرفته است. این محدوده در موقعیت ۵۳ درجه تا ۵۳ درجه و ۴۰ دقیقه طول خاوری و ۳۵ درجه و ۲۲ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۳۹ دقیقه عرض شمالی واقع شده و شهر سمنان را در برمی‌گیرد (شکل ۱-۱). وسعت کل آبخوان حدود ۵۴۳ کیلومتر مربع

می‌باشد. ارتفاع دشت از ۱۲۵۰ متر در شمال تا ۱۰۰۰ متر در بخش‌های جنوبی دشت تغییر می‌کند. دشت سمنان به سمت شمال و شرق توسط رخنمون‌های آتشفشانی و آذرآواری واقع در حدفاصل گسله- های سراسری سمنان و میامی- عطاری محدود می‌گردد، اما به سمت غرب تا خارج از مرز حوضه گسترش یافته است.

۱-۳- راه‌های دسترسی به منطقه مورد مطالعه

شهر سمنان از نظر راه‌های دسترسی شرایط بسیار مناسبی دارد. این شهر به استان‌های تهران از غرب، مازندران و گلستان در شمال و خراسان رضوی در قسمت شرقی خود دسترسی دارد، سه جاده آسفalte از تهران (جاده فیروزکوه-تهران، بزرگراه امام رضا و بزرگراه قم-گرمسار) به مقصد سمنان وجود دارد که دسترسی به شهرهای این استان را آسان کرده است (شکل ۱-۲).



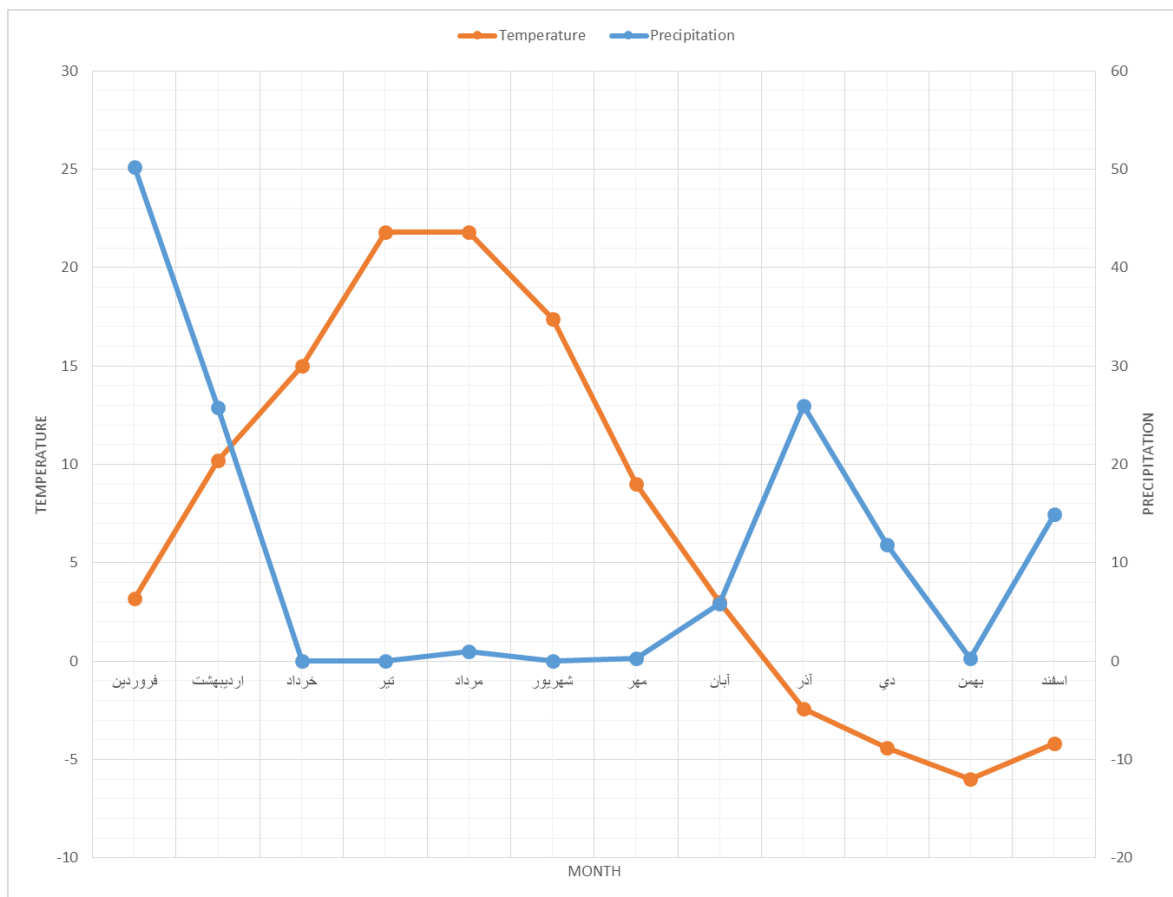
شکل ۱-۲: راه‌های دسترسی به منطقه مورد مطالعه

۴-۱- آب و هوای منطقه مورد مطالعه

وضعیت خاص استان سمنان و گرایش این منطقه از کوهستانی به سمت کویری سبب تنوع اقلیمی خاصی شده است. محدوده مورد مطالعه تحت تأثیر جریان‌های هوای گرم و خشک دشت کویر است، اما عواملی چون دوری از دریا، جهت و امتداد کوه‌ها، ارتفاع مکان و وزش بادهای نیز در آب و هوای آن مؤثر هستند. آب و هوای محدوده مطالعاتی در تابستان، گرم و در زمستان، سرد می‌باشد. بارندگی‌های آن، اکثراً در فصول سرد سال صورت می‌گیرد. حداکثر بارندگی در آبان‌ماه ۶۲/۴ میلی‌متر و حداکثر دما در تیرماه ۴۲/۲ درجه سانتیگراد می‌باشد (جدول ۱-۱). بادهای کویری و غربی نیز در آب و هوای این محدوده تأثیر دارند. مطابق منحنی آمبروترمیک دشت سمنان (شکل ۱-۳) ماه‌های آذر تا اردیبهشت دوره تر و سایر ماه‌ها دوره خشک در این منطقه می‌باشند.

جدول ۱-۱: آمار بارندگی و درجه حرارت محدوده سمنان مربوط به دوره ۱۴ ساله (۱۳۸۵ تا ۱۳۹۹)

زمان (ماه)	بارندگی (میلی‌متر)			دما (سانتی‌گراد)		
	حداکثر	حداقل	میانگین	حداکثر	حداقل	میانگین
فروردین	۵۳/۲	۴/۴	۲۱/۹	۲۸/۵	۳/۲	۱۰/۸
اردیبهشت	۳۲/۹	۰	۱۱/۵	۳۴/۲	۹/۷	۱۶/۸
خرداد	۳۷/۵	۰	۶/۶	۳۹/۷	۱۶/۵	۲۲/۵
تیر	۲۷/۱	۰	۲/۴	۴۲/۲	۲۱/۰	۲۶/۵
مرداد	۱	۰	۰/۱	۴۱/۴	۲۱/۲	۲۵/۶
شهریور	۳۵	۰	۵/۴	۳۸/۶	۱۶/۷	۲۱/۸
مهر	۱۹/۹	۰	۳/۸	۳۳/۸	۱۰/۶	۱۶/۰
آبان	۶۲/۴	۰	۱۵/۳	۲۵/۹	۲/۹	۹/۰
آذر	۳۶/۶	۰	۱۵/۶	۱۷/۳	- ۲/۷	۲/۴
دی	۲۷/۳	۰	۹/۸	۱۴/۱	- ۴/۴	- ۰/۸
بهمن	۶۰/۶	۰/۲	۱۹/۹	۱۸/۰	- ۴/۹	۱/۲
اسفند	۳۲/۳	۰/۴	۱۵/۹	۲۴/۱	- ۱/۳	۵/۳



شکل ۱-۳: منحنی آمبروترمیک منطقه مورد مطالعه در یک دوره ۱۴ ساله (۱۳۸۵ تا ۱۳۹۹)

۱-۵- زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

از نظر زمین‌شناسی محدوده مورد مطالعه در دو زون ساختاری البرز شرقی و ایران مرکزی قرار دارد، به گونه‌ای که ارتفاعات شمالی محدوده مربوط به زون ساختاری البرز شرقی و بخش‌های کم ارتفاع و پست مربوط به زون ساختاری ایران مرکزی می‌باشند. سازندهای رسوبی پرکامبرین و پالئوزوئیک در بخش شمالی محدوده و سازندهای مزوزوئیک و سنوزوئیک از مرکز به سمت جنوب محدوده مورد مطالعه گسترده شده‌اند. با استفاده از نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ سمnan، نقشه زمین‌شناسی محدوده مطالعاتی تهیه گردید (شکل ۱-۴).

۱-۵-۱- چینه‌شناسی سازندهای محدوده مطالعاتی

سازندهای این محدوده متعلق به چهار دوران پرکامبرین، پالئوزوئیک، مزوزوئیک و سنوزوئیک بوده که در زیر به آن‌ها اشاره شده است:

۱-۵-۱-۱- پرکامبرین

دولومیت‌های سازند سلطانیه (P)

نهشته‌های دولومیتی سازند سلطانیه مربوط به زون ساختاری البرز در بخش شمالی این محدوده برونزد داشته و سنی معادل پرکامبرین و کامبرین زیرین را داراست.

۱-۵-۱-۲- پالئوزوئیک

سازند باروت (Ebt)

نهشته‌های شیلی و دولومیتی سازند باروت از زون ساختاری البرز در بخش شمالی منطقه به‌صورت نوار باریکی رخنمون دارند این نهشته‌ها سنی معادل کامبرین زیرین دارند.

سازند زاگون (Ez)

این سازند از شیل و شیل ماسه‌ای به سن کامبرین زیرین تشکیل شده است و به‌صورت محدود در شمال منطقه برونزد دارد.

سازند لالون (Ei)

ماسه سنگ‌های سازند لالون در شمال محدوده در کنار سایر سازندهای کامبرین زیرین قرار گرفته است.

سازند میلا (Em)

سازند میلا به سن کامبرین میانی تا اردوئین زیرین در بخش‌هایی از شمال منطقه وجود دارد و از رسوباتی چون دولومیت، سنگ‌آهک، شیل و ماسه‌سنگ تشکیل شده است. این سازند به زون ساختاری البرز تعلق دارد.

سازند غیرقابل تفکیک پادها- بهرام (Dp-b)

این سازند از ماسه‌سنگ، شیل و سنگ‌آهک تشکیل شده است و سنی معادل دونین داشته و در زون ساختاری ایران مرکزی در مرکز محدوده رخنمون دارد.

سازند جیرود (Dj)

سازند جیرود از ماسه‌سنگ و سنگ‌آهک تشکیل شده است که سنی معادل دونین داشته و در شمال محدوده در زون ساختاری البرز رخنمون دارد.

سازند مبارک (Cm)

نهشته‌های این سازند شامل سنگ‌آهک به سن کربونیفر است که در شمال منطقه بصورت نواری برونزد دارد.

نهشته‌های دیابازی (Pd)

این نهشته‌ها که به صورت نوار باریکی در شمال شرقی منطقه رخنمون دارد از سنگ‌های دیابازی تشکیل شده‌اند و سنی معادل پرمین را دار هستند.

سازند روته (Pr)

سنگ‌آهک و مارن نهشته‌های غالب در این سازند هستند سازند روته بصورت پراکنده در شمال و شرق منطقه رخنمون دارد و سن آن معادل پرمین است.

۱-۵-۳- مزوزوئیک

سازند الیکا (TR_e)

نهشته‌های دوره تریاس در این محدوده شامل دولومیت‌ها و سنگ‌آهک‌های سازند الیکا هستند که به صورت گسترده در شمال و شرق منطقه پراکندگی دارند.

سازندهای دوره ژوراسیک (J_i, J_s, J_a)

سازند دلیچای (J_a) از سنگ‌آهک و سنگ‌آهک مارنی به سن ژوراسیک زیرین تشکیل شده است که در شرق منطقه برونزد دارد. سازند شمشک (J_s) این نهشته‌ها شامل سنگ‌آهک مارن و شیل هستند که به-

صورت گسترده‌ای در شمال، شرق و شمال غرب منطقه برونزد دارند. سازند لار (Jl) به سن ژوراسیک بالایی شامل سنگ آهک کرم رنگ است که در بخش شمالی منطقه مطالعاتی گسترده شده است.

نهشته‌های کرتاسه (K₂)

این نهشته‌های سنگ آهکی در شمال و شرق منطقه رخنمون دارد.

۱-۵-۴- سنوزوئیک

رسوبات پالئوسن (PEfsc)

این رسوبات پالئوسن با ترکیب کنگلومرا و ماسه‌سنگ از غرب تا شرق محدوده گسترده شده‌اند.

واحد E^{vd}

این واحد آذرینی از سنگ‌های داسیتی و توفی تشکیل شده است که در شرق برونزد دارد و سنی معادل ائوسن را دارا است.

واحد E^{va}

سنگ‌های آندزیتی از تشکیل دهنده اصلی این واحد هستند که در قسمت شرقی و مرکزی منطقه رخنمون داشته و به لحاظ سنی معادل ائوسن هستند.

واحد E^v

این واحد ائوسن از سنگ‌های ولکانیکی تشکیل و در شرق و مرکز منطقه به صورت گسترده برونزد دارد.

واحد E^m

این واحد از رسوبات مارنی تشکیل شده و در مرکز و جنوب نقشه گسترده شده است و سن آن متعلق به ائوسن است.

واحد E_k

این واحد ائوسن از لایه‌های آذرینی توف، داسیت و رسوبات شیلی تشکیل شده که در شرق و جنوب-شرقی منطقه رخنمون دارد.

واحد E₂^{bc}

کنگلومرای برشی از رسوبات تشکیل دهنده این واحد است که در غرب پراکنده شده است.

واحد Ead

این واحد از آدامانتیت در شرق تشکیل شده و سنی معادل ائوسن را دارا است.

واحد Esm

رسوبات این واحد از ماسه‌سنگ و مارن تشکیل شده است که در غرب منطقه برونزد دارد

واحد EO^{ms}

تشکیل‌دهنده اصلی این واحد رسوبات مارنی و ماسه‌سنگی است که در غرب و جنوب‌شرقی منطقه به- صورت نوارهای باریکی پراکنده شده است.

واحد EO^g

این واحد از دوره ائوسن از نهشته‌های ژیبسی تشکیل شده که در غرب منطقه برونزد دارد. و سن آن معادل ائوسن و الیگوسن است

واحد OI^c

رسوبات این واحد از کنگلومرا و ماسه‌سنگ تشکیل شده است که به سن الیگوسن بوده و در غرب، مرکز و جنوب منطقه به صورت نوار باریکی پراکنده شده است.

واحد O^{mq}

سنگ‌آهک مارنی رسوبات این واحد را شامل می‌شود که در مرکز، غرب و شرق منطقه پراکنده شده است این رسوبات سنی معادل الیگوسن را دارند.

واحد M

نهشته‌های این واحد شامل کنگلومرا و مارن گچی است که در جنوب منطقه گسترده شده است و در زون ایران مرکزی قرار دارد و سن آن معادل میوسن است.

واحد PI^{ms}

این واحد شامل نهشته‌های سنگ‌آهک، مارن و ماسه‌سنگ است که در غرب منطقه پراکنده شده و در زون ایران مرکزی قرار دارد و سن آن معادل پلیوسن است.

واحد PI^c

رسوبات این واحد شامل کنگلومرا است که در جنوب غرب و مرکز به صورت محدود پراکنده شده است.

رسوبات کواترنری

واحد Q^c

این واحد رسوبی از پهنه رسی و لوم تشکیل شده است که پهنه وسیعی از مرکز محدوده مطالعاتی را در برمی گیرد. بخشی وسیعی از شهر سمنان نیز در این پهنه قرار دارد.

واحد Q^w

رسوبات ماسه بادی را شامل می شود که به صورت پراکنده و محدود در میان پهنه رسی Q^c قرار گرفته است.

واحد Q^t

این واحد شامل رسوبات ریزشی و تالوسی است که به صورت پراکنده در غرب منطقه قرار گرفته است.

واحد Q^{t1}, Q^{t2}, Q^{t3}

واحد Q^{t1} شامل پادگانه های آبرفتی سخت نشده و قدیمی است و متشکل از ماسه سنگ و کنگلومرای سخت نشده می باشد که در ارتفاعات و کناره های دشت بر اثر فرسایش سنگ های قدیمی تر برجای نهاده شده است. این واحد در سطح محدوده به صورت گسترده پراکنده شده است. رسوبات آبرفتی جوان Q^{t2} ، شامل پادگانه های آبرفتی جوان سخت نشده است این انباشته ها در حد سیلت، ماسه و قلوه است که بر فراز نقاط پست و کناره دشت و کناره های رودخانه ها برجای گذاشته شده است. این واحد نیز در سطح وسیعی از نقشه پراکنده هستند. Q^{t3} رسوبات مخروط افکنه ای ریزدانه را در قسمت جنوب و جنوب غربی منطقه به صورت پهنه ای وسیع انباشته کرده است.

واحد $QPlc$

این رسوبات شامل کنگلومراهای عهد حاضر است که بصورت پچ هایی در جنوب و شرق منطقه دیده می شود.

واحد Q^g

این واحد از رسوبات تبخیری ژئوپسی تشکیل شده که در غرب منطقه به صورت محدود دیده می شود.

واحد Q^{al}

رسوبات آبراهه و رودخانه ای را شامل می شود که اندازه آن ها با توجه به فاصله از منشأ آن ها متغیر است و از ماسه تا قلوه سنگ متفاوت می باشد، این رسوبات از شمال به سمت مرکز منطقه تا پهنه رسی نهشته شده اند.

۱-۶- زمین شناسی ساختمانی

استان سمنان در دو واحد زمین شناسی و ساختمانی ایران واقع شده است. واحد ساختمانی البرز - آذربایجان در شمال و واحد ایران مرکزی در جنوب استان قرار دارد. به نظر می رسد که تحولات زمین شناسی در دو زون مختلف در اثر عملکرد گسل های موازی در حدواسط دو واحد فوق باشد. روند عمومی و غالب در این ناحیه، شرق، شمال شرق - غرب، جنوب غرب است که در راستای گسل ها و محور چین ها نمایان است. ساختمان های بزرگ تاقدیسی و ناودیسی به وسیله گسل های تراستی مایل، قطع شده اند. روند این گسل ها کم و بیش شمال شرقی است که در طول آن ها، مقادیر زیادی نمک تزریق شده است. در قسمت جنوب شرقی این گسل ها، سری های رسوبی، کج شده و یا حتی برگشته می باشند. در محدوده های کویری سری های نئوژن به صورت ناپیوسته چین خورده اند. این چنین ساختمان هایی در محدوده های جنوبی البرز مرکزی، در جاهای دیگر هم دیده می شوند. همانگونه که اشاره گردید در تحولات زمین شناسی این ناحیه، گسل ها نقش مهمی را ایفا می کنند. از مهمترین گسل های موجود در این محدوده می توان به گسل سمنان، گسل نوکه و گسل عطاری اشاره نمود.

گسل سمنان

این گسل با درازای حدود ۴۵ کیلومتر و راستای چیره شمال خاوری - جنوب باختری از جنوب عبدل آباد در باختر نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ جام آغاز و پس از عبور از شمال و شمال باختری سمنان تا شمال کوه

نمکدان ادامه می‌یابد. سازوکار چیره این گسل، فشاری با شیب به سمت شمال است. این گسل در غرب منطقه مطالعاتی دیده می‌شود.

گسل نوکه

این گسل با درازای حدود ۲۶ کیلومتر و راستای چیره شمال‌خاوری - جنوب‌باختری از جنوب کوه پیغمبران در نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ جام آغاز و تا شمال خاوری کوه نوکه گسترش یافته است. این گسل توسط نبوی (۱۳۶۶) به عنوان بخشی از گسل سمنان معرفی گردیده، ولی به وسیله بربریان و همکاران (۱۳۷۵) با عنوان گسل نوکه شناخته شده است. سازنده های میلا تا الیکا در اثر عملکرد این گسل در بخش خاوری آن، بر روی سازند کرج رانده شده است و به گمان، گسل نوکه یک پس راندگی (Back Thrust) از گسل شمال سمنان می باشد. این گسل در جنوب - جنوب غرب محدوده مورد مطالعه دیده می‌شود.

گسل عطاری

گسل عطاری از حدود ۲۵ کیلومتری شرق سمنان آغاز شده و به سمت شرق تا حوالی روستای قوشه ادامه می‌یابد. این ساختار خطی نوعی گسل شمال شرقی - جنوب غربی با شیب به سمت جنوب شرق و نوعی گسل بنیادی است که از زمان کامبرین تا کرتاسه پسین بر حوضه های رسوبی دو سوی خود اثرگذار بوده است. نقش این گسل به گونه ای است که می توان آن را جداکننده دو پهنه ساختاری - رسوبی البرز و ایران مرکزی دانست. برخی دیگر از زمین شناسان مانند بربریان، گسل عطاری را نوعی راندگی کوتاه به طول ۳۲,۵ کیلومتر می دانند که سبب راندگی سنگ های سازند کرج (از سوی جنوب) بر روی کنگلومرا، ماسه سنگ و مارن های ژئوپس دار میوسن و کنگلومرا و ماسه سنگ های پلیوسن - پلیستوسن (در شمال) شده است. این گسل در شرق محدوده مطالعاتی دیده می‌شود.

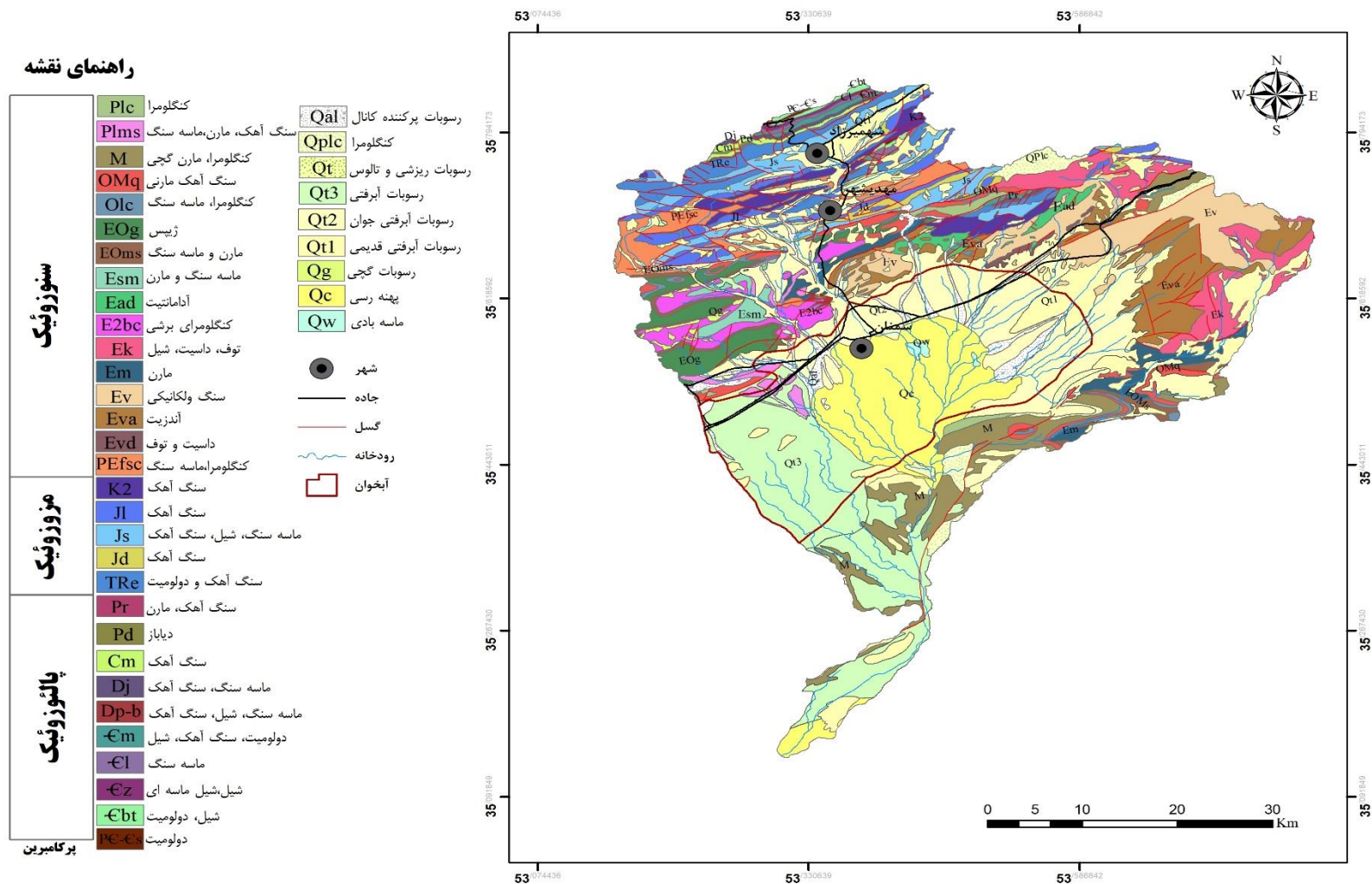
گسل سفیدآب

طول این گسل ۲۹ کیلومتر می‌باشد و دارای راستای خمدار خاوری - باختری با خم به سمت شمال است و شیب آن نیز به سوی شمال می‌باشد. سازوکار گسل یک راندگی می‌باشد (نبوی، ۱۳۶۶). پهلوی

جنوبی کوه سفیدآب در شمال خاور سمنان قرار دارد. در راستای این گسل رسوبات سازند شمشک و سنگ جوش فجن (از سوی شمال) بر روی بادزن‌های آبرفتی دشت چلیم و رسوبات آبرفتی کواترنری (در جنوب) رانده شده‌اند (نبوی، ۱۳۶۶) ضمن این‌که در بخش شمال‌خاوری مرز میان سازند شمشک و سنگ جوش فجن را می‌سازد. گسل سفیدآب در جنوب گسل‌های فیروزکوه و بشم قرار دارد و هیچگونه داده لرزه‌خیزی و یا سنی از این گسل در دست نیست (بربریان و همکاران، ۱۳۷۵).

گسل انزاب

گسل انزاب در شمال شهرستان مهدی‌شهر با طول حدود ۱۷.۵ کیلومتر واقع شده است؛ این گسل را گاوک نیز می‌نامند. راستای گسل انزاب شمال‌خاوری-جنوب‌باختری و شیب زیاد به سوی جنوب است و دارای سازوکار معکوس می‌باشد. بیشینه جابجایی شاقولی در راستای این گسل در شمال‌خاوری مهدی-شهر نزدیک به ۴۰۰۰ متر برآورد شده است (نبوی، ۱۳۶۶). در راستای این گسل سنگ‌های سازند سلطانیه و سنگ‌های پالئوزوئیک بالایی (در جنوب) در برابر سنگ‌های کرتاسه بالایی (در شمال) جای گرفته‌اند. گسل انزاب همراه و موازی با گسل بشم و سمنان در دامنه جنوبی البرز مرکزی قرار دارد و به باور نبوی (۱۳۶۶) در انتهای خاوری خود به گسل سمنان می‌رسد. هیچگونه داده سنی و لرزه‌خیزی از گسل انزاب در دسترس نیست (بربریان و همکاران، ۱۳۷۵).



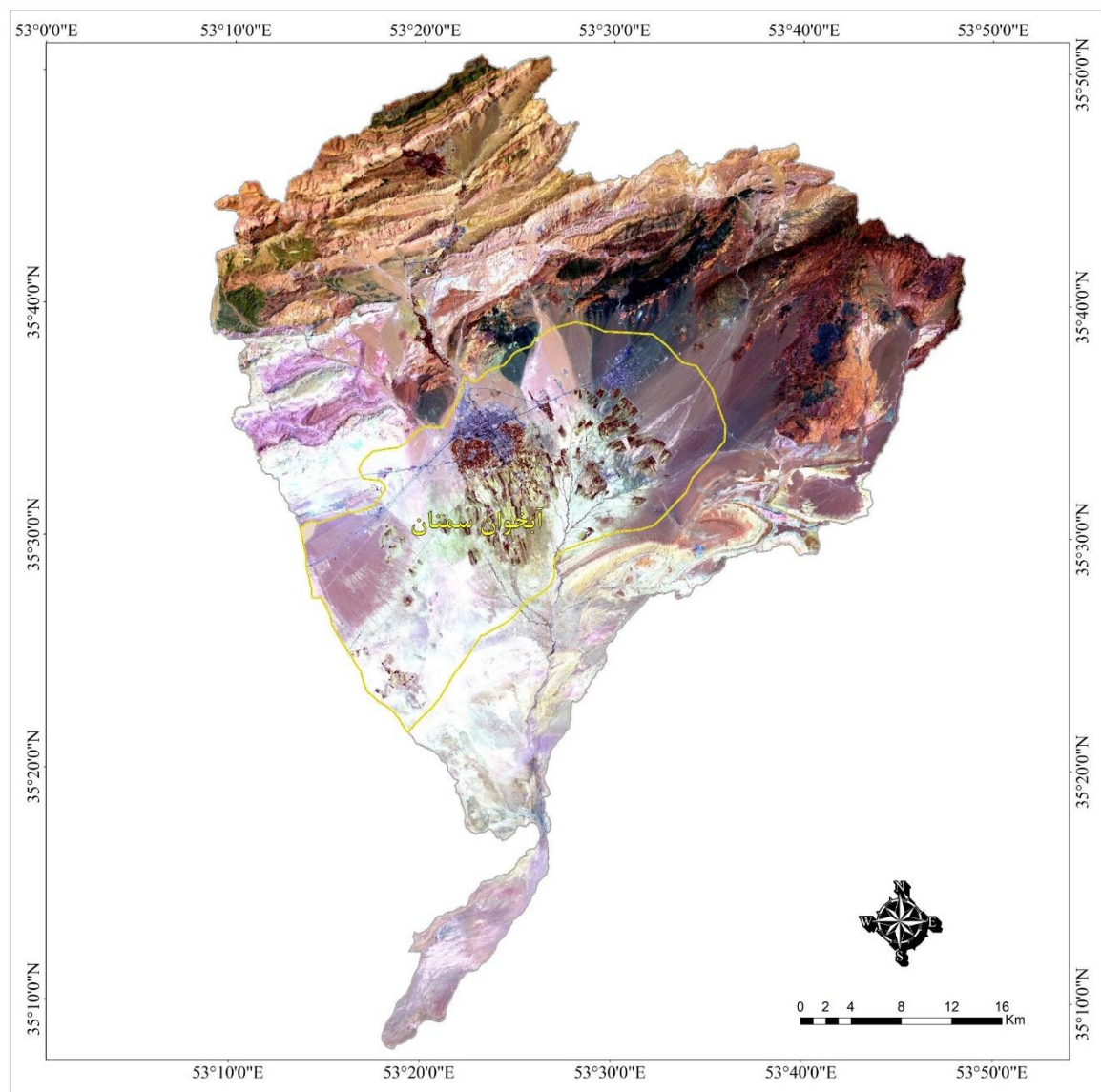
شکل ۱-۴: نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه، بر گرفته از نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ سمنان - سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور

۷-۱- ژئومورفولوژی محدوده مورد مطالعه

استان سمنان در دامنه‌های جنوبی سلسله جبال البرز قرار گرفته است. ارتفاع آن از شمال به جنوب کاهش می‌یابد و به دشت کویر ختم می‌شود. در استان سمنان فرسایش و همچنین تشکیل گنبدهای نمکی مهم‌ترین پدیده‌های زمین‌شناسی و ژئومورفولوژی محسوب می‌شود. فرسایش آبی و بادی، تغییر درجه حرارت و تبلور کانی‌ها از عمده‌ترین محرک‌های عمل فرسایش در سطح زمین است. در منطقه مورد مطالعه کوه‌ها در شمال و دشت‌ها و نواحی پست در جنوب آن واقع شده است.

گنبدهای نمکی از جمله پدیده‌های ژئومورفولوژیکی تکتونیکی محسوب می‌شوند. این ساختارها با توجه به خاصیت شکل‌پذیری نمک و حرکت آن به‌طرف سطح زمین ایجاد می‌شوند و چین‌های دیاپیری زیبایی را پدید می‌آورند. از رودخانه‌های موجود در این محدوده می‌توان به رودخانه سمنان و شوراب اشاره کرد که از شمال به‌طرف جنوب منطقه در جریان است. تپه‌های موجود در این منطقه به‌دلیل نرم فرسا بودن به اشکال مختلفی دیده می‌شوند و وجود شیل و مارن‌های رنگین به آنها جلوه‌ی ویژه‌ای داده است.

به‌لحاظ ریخت‌شناسی دره‌هایی نیز در منطقه وجود دارد که به‌عنوان متنوع‌ترین اشکال ژئومورفولوژیکی در مقیاس‌ها و انواع گوناگون در سطح و اطراف منطقه قابل مشاهده هستند. در شکل‌گیری دره‌های منطقه علاوه بر عوامل ساختمانی، عامل فرسایش نیز از اهمیت خاصی برخوردار است. بنابراین دره‌های منطقه به دو دسته دره‌های ساختمانی و دره‌های فرسایشی تقسیم شده‌اند (شکل ۱-۵).



شکل ۱-۵: نقشه ژئومورفولوژی حوضه آبریز و آبخوان سمنان

۸-۱- هیدروژئولوژی دشت سمنان

دشت سمنان با وسعت حدود ۷۰۸ کیلومتر مربع در شمال غرب حوضه آبریز کویر مرکزی قرار دارد. در محدوده مطالعاتی سمنان رودخانه‌های متعددی وجود دارد که همگی فصلی و غیر دائمی هستند. مهم‌ترین آن‌ها رودخانه‌های گلرودبار، آب ظهر دوله، سمنان، شورآب، شورآب بیابانک و شورآب سمنان می‌باشند. رودخانه شورآب سمنان زهکش اصلی این محدوده است که مازاد جریان‌های سطحی را دریافت می‌کند و وارد محدوده مطالعاتی کویر سمنان می‌شود. رود سمنان در ارتفاعات از به هم پیوستن دو آبراهه در جزیین و آبگرم شکل می‌گیرد و از شمال شهر سمنان وارد دشت می‌گردد. رودخانه آبگرم دارای آبی شور و گوگردی است که موجب تخریب کیفیت آب‌های پایین دست خود می‌شود. به همین دلیل از سال ۱۳۹۰، آب این رودخانه با احداث یک بند انحرافی به سمت شوره‌زارهای پایین دست دشت منتقل می‌گردد. آب رودخانه در جزیین که دارای کیفیت مناسبی است از محل آب پخش‌کن گلرودبار به ۵ شاخه تقسیم و برای مصارف کشاورزی و در صورت داشتن حجم مناسب برای تغذیه آبخوان وارد دشت سمنان می‌شود. به این ترتیب، دشت سمنان به جز حجمی کم از این رودخانه و جریان‌های سیلابی که به طور عمده از شمال و شمال شرق وارد آن می‌گردد، دارای جریان‌های سطحی ورودی چشمگیری نمی‌باشد.

در این دشت، سفره اصلی آب زیرزمینی با وسعتی حدود ۵۴۳ کیلومتر مربع از نوع آزاد می‌باشد. حدود ۲۰۰ کیلومتر مربع از سطح سفره اصلی آب زیرزمینی در رسوباتی قرار دارند که به طور عمده ریز دانه هستند. با استفاده از لوگ حفاری چاه‌های مشاهده‌ای (حسینی، ۱۳۸۵) و اطلاعات ژئوالکتریک منطقه (مهندسین مشاور سازند آب پارس، ۱۳۸۸)، ضخامت رسوبات آبرفتی دشت سمنان با توجه به وسعت آن در مقایسه با سایر دشت‌های آبرفتی جنوب رشته کوه‌های البرز بطور نسبی زیاد است. در غرب دشت، عمق سنگ کف از مرز کوه و دشت به طور ناگهانی افزایش می‌یابد. در بیش‌تر سطح این ناحیه عمق سنگ کف از ۱۸۰ متر عمیق‌تر است و حتی به بیش از ۲۶۰ متر نیز می‌رسد. بیش‌ترین عمق سنگ کف آبخوان در حدفاصل روستای دلازیان تا حسن آباد (۲-۳ کیلومتری جنوب شهر سمنان)

مشاهده می‌گردد. این ناحیه، عمق سنگ کف بیش از ۳۴۰ متر است. از شمال شهر سمنان تا بخش میانی شهر سمنان، ضخامت رسوبات آبرفتی حدود ۱۸۰ متر می‌باشد. از بخش میانی به سمت جنوب شهر، به مقدار زیادی این ضخامت افزایش می‌یابد و حتی به بیش از ۲۶۰ متر می‌رسد. از غرب روستای اعلا تا دلازیان (در فاصله‌ای حدود ۶ کیلومتر) عمق سنگ کف تغییرات زیادی ندارد و بطور متوسط حدود ۲۷۰ متر می‌باشد.

فصل دوم

تئوری تحقیق و مروری بر مطالعات پیشین

۲-۱- مقدمه

امروزه با توجه به افزایش جمعیت در جهان توجه زیادی به آب‌های زیرزمینی به ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهت تأمین آب سالم و قابل شرب شده است. شناخت این منابع و مدیریت صحیح جهت استفاده طولانی‌مدت از آن‌ها امری انکارناپذیر است که با مطالعه دقیق ممکن می‌باشد. مدیریت منابع آب زیرزمینی مسئله بسیار پیچیده‌ای است که طیف گسترده‌ای از فعالیت‌ها در زمینه ارزیابی، برنامه‌ریزی، طراحی و نگهداری را پوشش می‌دهد. تعیین میزان تغذیه آب زیرزمینی جهت مدیریت صحیح امری اساسی است (Simmer, 1990) که نرخ آن با توجه به مکان و زمان متغیر می‌باشد. در مناطق خشک و نیمه‌خشک، تخمین تغذیه آب زیرزمینی یکی از چالش‌های کلیدی در تعیین عملکرد پایدار سفره‌های زیرزمینی است. زیرا نرخ تغذیه در مقایسه با متوسط بارندگی سالیانه یا تبخیر و تعرق به‌طور کلی کم است و بنابراین تعیین دقیق آن دشوار می‌باشد. با توجه به اهمیت تغذیه آب‌های زیرزمینی در ادامه ابتدا تعریفی از تغذیه صورت می‌گیرد و سپس به مطالعات انجام شده در این زمینه و فرآیندهای مؤثر بر آن پرداخته می‌شود.

۲-۲- تعاریف

تغذیه آب زیرزمینی را می‌توان به معنای گسترده‌ای به عنوان افزودن آب به مخزن آب زیرزمینی تعریف کرد که می‌تواند به شکل‌های مختلفی مثل درصدی از میزان بارندگی سالانه که به آب زیرزمینی اضافه می‌شود یا میلی‌متر بر سال بارندگی بیان شود. تغذیه می‌تواند به شکل‌های مختلفی طبقه‌بندی شود (Beekman *et al.*, 1999).

تعریف تغذیه براساس منشأ آب توسط افراد مختلفی از جمله لرنر و همکاران (Lerner *et al.*, 1990) و دی وریس و سیمرز (De Vries and Simmers, 2002) انجام شده است. بر این اساس تغذیه می‌تواند به صورت زیر باشد:

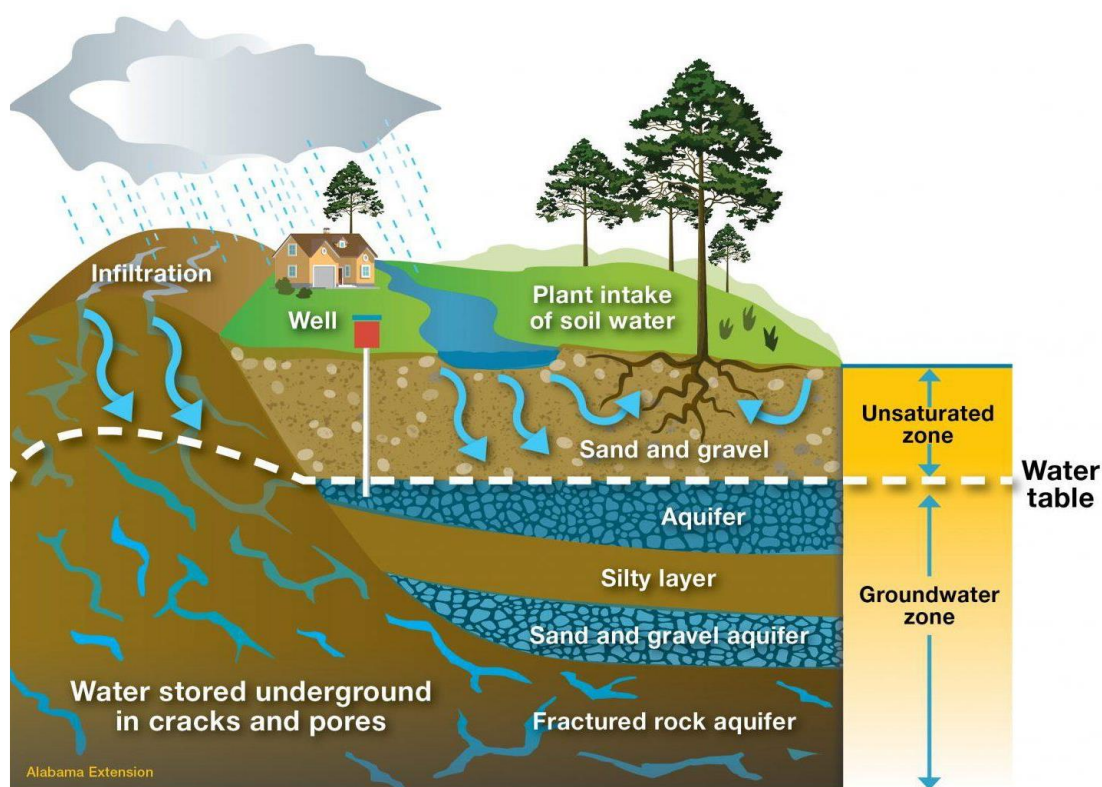
الف - تغذیه مستقیم/ پراکنده: نفوذ مستقیم بارندگی و پس از آن نفوذ از طریق منطقه غیراشباع به آب زیرزمینی، که در این صورت آب اضافه شده به مخزن آب زیرزمینی بیش از کمبود رطوبت خاک و تبخیر و تعرق است.

ب - تغذیه غیرمستقیم/ غیرپراکنده: که نفوذ به سطح آب از طریق بستر رودخانه می‌باشد.

ج - تغذیه محلی: تجمع بارش در یک مکان در سطح و پس از آن نفوذ متمرکز از طریق منطقه غیراشباع به یک مجموعه آب زیرزمینی به عنوان تغذیه محلی تعریف می‌شود.

از طرفی تغذیه به دو صورت واقعی و پتانسیل رخ می‌دهد. تغذیه واقعی مقدار آبی که به سطح ایستابی می‌رسد و تغذیه پتانسیل مقدار آبی است که به داخل سطح زمین نفوذ و در مطالعات غیر اشباع و آب-

های سطحی مورد مطالعه قرار می‌گیرد (شکل ۱-۲).



شکل ۱-۲: چرخه تغذیه به دو شکل پراکنده و متمرکز

۲-۳- مدل مفهومی فرآیند تغذیه

جهت فرآیند تغذیه آبخوان‌ها ارائه مدل مفهومی می‌تواند مفید باشد. از طرفی عواملی که بر مدل مفهومی تاثیرگذار است شامل اقلیم، زمین‌شناسی، توپوگرافی، هیدرولوژی و پوشش گیاهی می‌باشد. طبق نظر لرنر و همکاران (Lerner et al., 1990) روش مناسب جهت تخمین تغذیه علاوه بر تخمین تغذیه توضیحی از چرخه آب نیز ارائه می‌نماید.

چهار مدل اصلی برای تغذیه می‌تواند مورد بررسی قرار گیرد (Xu and Beekman, 2003). این مدل‌ها شامل جریان آب رو به پایین از طریق منطقه غیراشباع که به سطح ایستابی می‌رسد، جریان جانبی یا عمودی بین آبخوان‌ها، تغذیه القایی از آب‌های سطحی ناشی از برداشت آب زیرزمینی و تغذیه مصنوعی از طریق گمانه‌های تزریقی یا حوضچه‌های نفوذ ساخته شده توسط انسان می‌باشد. مهم‌ترین حالت تغذیه در مناطق خشک و نیمه‌خشک، حالت اول است که تغذیه طبیعی با جریان آب به سمت پایین از طریق منطقه غیراشباع می‌باشد. جهت مطالعات در مورد تغذیه مدل مفهومی از فرآیندهای تغذیه بیان می‌شود که عوامل مختلفی آن را تحت تأثیر قرار می‌دهد. تعدادی از این عوامل مؤثر در زیر مورد بحث قرار می‌گیرد.

۲-۳-۱- تغییرپذیری زمانی و مکانی در تغذیه

تعیین تغذیه آب زیرزمینی در مناطق خشک و نیمه‌خشک مستقیم و آسان نمی‌باشد. این امر نتیجه‌ای از تنوع زمانی بارش در آب و هوای خشک و نیمه‌خشک و تنوع مکانی در مشخصات خاک، توپوگرافی، پوشش گیاهی و کاربری زمین است (Lerner et al., 1990). برآورد تغییرات مکانی و زمانی تغذیه آب‌های زیرزمینی، ورودی‌های اساسی برای مدل‌های جریان آب زیرزمینی است. از این رو، تخمین توزیع مکانی تغذیه برای ارزیابی در دسترس بودن آب‌های زیرزمینی ضروری است. انواع مختلفی از کدهای کامپیوتری برای تخمین تغذیه احتمالی آب زیرزمینی تهیه شده است (Flint and Flint, 2007, Westenbroek et al., 2010, Johnson, 2012). کد تعادل آب خاک (SWB) که به‌طور رایگان در دسترس می‌باشد، به‌تازگی برای تخمین توزیع مکانی و زمانی تغذیه آب‌های زیرزمینی طبیعی ارائه

گردیده است (Dripps and Bradbury, 2007, Westenbroek *et al.*, 2010). این کد توسط آلان میر و همکاران (Alan Mair *et al.*, 2013) در جزیره جیجو (Jeju)، کره، برای تخمین توزیع مکانی و زمانی تغذیه آب زیرزمینی و سایر اجزای بیلان آب از جمله رواناب مستقیم، تبخیر و تعرق و بارندگی اعمال شده است. به طور کلی تغییر در نرخ تغذیه در مکان‌های مختلف عمدتاً با تغییرات آب و هوایی همراه است، به طوری که افزایش در میزان بارندگی افزایش در نرخ تغذیه را به دنبال دارد.

۲-۳-۲- آب و هوا

یکی از عمده‌ترین فاکتورهای تأثیرگذار بر نرخ تغذیه تغییرات ایجاد شده در آب و هوا می‌باشد. میانگین بارندگی سالانه، شدت بارش، دما و تبخیر از جمله مهم‌ترین فاکتورهای آب و هوایی مؤثر بر نرخ تغذیه است. پیش‌بینی می‌شود تغییر در میزان بارش سالانه پیامدهای مستقیمی بر منابع آب زیرزمینی داشته باشد (Kundzewicz and Döll, 2009; Green *et al.*, 2011). تغییرات آب و هوایی، دسترس‌پذیر بودن منابع آب زیرزمینی را در آینده تحت تأثیر قرار می‌دهد. تغییرات آب و هوایی در سطح جهانی و اقدامات محلی بشر مانند انتقال کاربری اراضی می‌تواند باعث تغییر در میزان تغذیه شود. دیگر عامل آب و هوایی مؤثر بر نرخ تغذیه دما است. آخرین گزارش‌ها (IPCC, 2007, 2013) حاکی از آن است که میانگین دمای هوا در سطح کره زمین از سال ۱۸۶۱ به میزان 0.2 ± 0.6 درجه سانتیگراد افزایش یافته است. بر اساس پیش‌بینی‌ها درجه حرارت سالانه هوا میزان گرم شدن بین 0.1 تا 0.4 درجه سانتیگراد در هر دهه را نشان می‌دهد، اما این تأثیر می‌تواند به‌ویژه در کشورهای جنوب اروپا مانند اسپانیا شدید باشد (Giorgi *et al.*, 2004; Alcamo *et al.*, 2007). مطالعات انجام شده توسط آیالا-کارسدو و ایگل‌سیاس (Ayala-Carcedo and Iglesias, 2000) در اسپانیا نشان داد جایی که افزایش میانگین دمای سالانه به میزان $2/5$ درجه سانتی‌گراد و کاهش در میانگین بارندگی محدوده‌ای از 2 درصد در حوضه‌های شمالی تا 17 درصد در حوضه‌های جنوبی دارد، تغییرات آب و هوایی تأثیر قابل توجهی در تغذیه آب‌های زیرزمینی دارد. در دهه گذشته، تعداد فزاینده‌ای از مطالعات موردی در زمینه تأثیر تغییرات آب و هوا بر تغذیه انجام شده است. بسیاری از این مطالعات کاهش مقادیر تغذیه را طی قرن ۲۱ پیش‌بینی

کرده‌اند. گرچه مطالعات دیگر افزایش تغذیه آبخوان را تحت شرایط و دوره‌های خاص نیز پیش‌بینی می‌کنند (Döll, 2009; Gurdak and Roe, 2010).

۲-۳-۳- خاک و زمین شناسی

نوع خاک میزان نفوذ آب به داخل زمین و در نتیجه تغذیه آب‌های زیرزمینی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. هنگامی که آب در خاک حرکت می‌کند، حرکت آن توسط بافت و ساختار خاک تحت تأثیر قرار می‌گیرد. ساختار خاک‌های ماسه‌ای به گونه‌ای است حرکت آب از طریق آن‌ها راحت‌تر و در نتیجه میزان تغذیه صورت گرفته از طریق آن‌ها بیشتر می‌باشد. در مقابل خاک‌های رسی با جذب آب متورم شده و در نتیجه حرکت آب را محدودتر می‌نمایند (Athavale *et al.*, 1980; Kennett-Smith *et al.*, 1994). به‌طور کلی دانه‌بندی درشت باعث انتقال سریع آب می‌شود که این انتقال سریع مانع جذب آب توسط ریشه گیاه و در نتیجه تغذیه بیشتر آب زیرزمینی می‌گردد. در دانه‌بندی ریز عکس این حالت به وجود می‌آید.

عوامل زمین‌شناسی از جمله الگوی درز و شکاف‌ها، گسل‌ها و اشکال کارستی و روند کلی ناهمواری‌ها در تعیین جهت جریان و تغذیه آب‌های زیرزمینی مؤثرند. بررسی‌های متعددی برای شناخت ارتباط ساختارهای زمین‌شناسی انجام شده است. بهرامی و همکاران (۱۳۸۹) تأثیر ساختارهای زمین‌شناسی بر تغذیه آب‌های زیرزمینی حوضه آبریز قلعه شاهین- سرپل ذهاب را مورد بررسی قرار دادند. نتیجه اینکه جهت‌گیری لایه‌ها در حوضه پاتاق باعث هدایت و تغذیه آب‌های زیرزمینی دشت قلعه شاهین شده است. همچنین فرود محوری تاق‌دیس نواکوه و ناودیس قلعه شاهین به سمت شمال غرب عواملی مضاعف در تغذیه آب زیرزمینی دشت مذکور می‌باشند. کاستینگ (Kastning, 1977) نقش مثبت و منفی گسل‌ها را در حرکت آب‌های زیرزمینی مورد بررسی قرار داده‌اند.

۲-۳-۴- توپوگرافی سطحی

بدیهی است که توپوگرافی نقشی تأثیرگذار بر تغذیه آب‌های زیرزمینی می‌تواند داشته باشد. میزان تغذیه در نقاط مختلف یک حوضه تحت تأثیر عوامل مختلف از جمله توپوگرافی یا شیب حوضه قرار

می‌گیرد. رئوف (۱۳۸۹) به‌منظور نشان دادن روند تغییرات مقادیر نفوذ با توجه به تغییرات شیب اراضی، در منطقه‌ای با بافت خاک یکنواخت آزمایش‌های نفوذ در ۵ شیب مختلف را انجام داده است. نتایج آزمایش‌های میدانی نشان داد که مقادیر نفوذ تجمعی و سرعت نفوذ با افزایش شیب زمین کاهش می‌یابد. استونستروم و هاریل (Stonestrom and Harrill, 2007) برجستگی‌های سطحی، جهت و ارتفاع محدوده‌های کوهستان را از عوامل توپوگرافی مؤثر بر تغذیه می‌دانند. تجزیه و تحلیل تأثیر توپوگرافی در شیب‌های مختلف بر تغذیه آب‌های زیرزمینی توسط گرینوسکی (Grinevskii, 2013) با استفاده از یک شبیه‌ساز تعادل آب در سطح و منطقه وادوز انجام شده است. نتایج مدل نشان می‌دهد یک اختلاف آشکار در تغذیه در سطوح نسبتاً صاف در مقایسه با تپه‌های دارای شیب زیاد وجود دارد.

۲-۳-۵- آبشناسی

وجود آب‌های سطحی در یک منطقه تأثیر بسزایی در تغذیه آب‌های زیرزمینی دارد. جریان رودخانه به‌ویژه جریان پایه نیز یکی از منابع تغذیه بشمار می‌رود. وجود آب‌های سطحی و ضخامت کم زون غیراشباع در یک منطقه به‌ویژه در فصول سرد که دما کم می‌باشد و در نتیجه تبخیر صورت گرفته به همان میزان کم است، باعث تغذیه بیشتر آب‌های زیرزمینی می‌گردد. گرچه عمق کم سطح ایستابی به ویژه در فصول گرم باعث تبخیر بیشتر از سطح ایستابی و تعرق بیشتر توسط گیاهان می‌شود، و این تأثیر منفی بر تغذیه می‌گذارد. کریمی و همکاران (۱۳۹۱) تأثیر آب‌های سطحی بر روی سطح آب زیرزمینی در ماهیدشت را مورد بررسی قرار داده‌اند. نتایج نشان داد، سطح آب زیرزمینی در پی‌زومترهای نزدیک به رودخانه در حالت تغذیه از بستر رودخانه افزایش بیشتری نسبت به پی‌زومترهای دورتر داشته است و حجم آبخوان نیز افزایش یافته است. با توجه به این نتیجه، می‌توان گفت با استفاده از آب‌های سطحی به‌عنوان منبع تغذیه کننده آبخوان، می‌توان سطح آب زیرزمینی و حجم آبخوان را افزایش و آبخوان را تا حدودی احیا نمود.

۲-۳-۶- پوشش گیاهی

یکی از جنبه‌های تغذیه که کمتر درک شده و به‌ندرت در مدل‌های جهانی سطح زمین گنجانده شده است، تأثیر پوشش گیاهی بر روی تغذیه می‌باشد (Jackson *et al.*, 2000; Gerten *et al.*, 2004). گیاهان غالباً از طریق جذب آب خاک توسط ریشه‌ها و از طریق تبخیر و تعرقی که از برگ‌ها صورت می‌گیرد تغذیه را کاهش می‌دهند. به‌طور کلی صفات گیاهی مانند عمق ریشه، سطح برگ و فنولوژی، اندازه و مدت زمان تغذیه را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Peel *et al.*, 2001; Jackson *et al.*, 2008). جایگزینی اکالیپتوس چند ساله ریشه‌دار در استرالیا با محصولات یک ساله با ریشه کم‌عمق، تغذیه را تا دو برابر افزایش داده است (Allison *et al.*, 1990; Petheram *et al.*, 2000). میلر و همکاران (Miller *et al.*, 1981) نشان دادند که در دشت‌های بزرگ شمالی ایالات متحده کاهش بخشی از پوشش گیاهی به صفر در طول دوره‌های شخم زدن زمین‌های زراعی می‌تواند باعث افزایش تغذیه شود. مطالعات لایسیمترها نیز نشان می‌دهد که از بین رفتن پوشش گیاهی می‌تواند باعث افزایش تغذیه شود (Gee *et al.*, 1994; Scanlon *et al.*, 2005). تحقیقات صورت گرفته توسط والکر و همکاران (Walker *et al.*, 1999) بیان کننده این امر است که تغییرات در کاربری زمین و پوشش گیاهی که توسط انسان و یا طبیعت صورت می‌گیرد عواقب زیادی بر تغذیه آب زیرزمینی دارد. تأثیر تغییرات کاربری و پوشش گیاهی بر تغذیه آب‌های زیرزمینی و انتقال املاح در صحرای آمارگوسا (Amargosa) در نوادا (Nevada) و در دشت‌های مرتفع در تگزاس بررسی شده است (Scanlon *et al.*, 2005). نتایج نشان داد تغذیه در زیر اکوسیستم‌های مراتع نیمه‌خشک و خشک بسیار ناچیز است. در این مناطق شیب کلی بالاست و محتوای آب کم می‌باشد. همچنین تغذیه در زیر اکوسیستم‌های کشاورزی که آبیاری صورت می‌گیرد متوسط تا زیاد است (برای مثال ۱۳۰ تا ۶۴۰ میلی متر تغذیه در سال برای صحرای آمارگوسا). این مناطق شیب کم و محتوای آب بالا دارند.

۴-۲- چالش‌ها در تخمین تغذیه

تغذیه آب‌های زیرزمینی در مناطق مختلف متغیر است. هرچه خشکی بیشتر باشد، تغذیه طبیعی کمتر و به‌طور بالقوه متغیرتر می‌باشد. علاوه بر مشکلات دائمی مرتبط با کمبود اطلاعات، به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک، تخمین کلی انواع تغذیه امری دشوار می‌باشد. در زیر برخی از چالش‌های اصلی بحث در تخمین تغذیه مورد بحث قرار می‌گیرد.

۴-۲-۱- عدم قطعیت در تخمین تغذیه

تعیین تغذیه در مناطق نیمه‌خشک همچنان با عدم قطعیت همراه است. به نظر می‌رسد استفاده از چند روش بهترین پتانسیل را برای نتایج قابل اعتماد در تخمین تغذیه در مطالعات محلی که نیاز به اطلاعات در منطقه دارند، ارائه می‌دهد. تغییرپذیری زمانی و مکانی در تغذیه مانند اثرات تغییر آب و هوا و کاربری زمین می‌تواند منجر به کاربرد اشتباه تکنیک‌های تغذیه و در نتیجه ایجاد تخمین نادرست از تغذیه شود. ارزیابی تغذیه محلی و غیرمستقیم در یک منطقه و بررسی تأثیرات توسعه شهری بر تغذیه آب‌های زیرزمینی می‌تواند این عدم قطعیت را کاهش دهد (Jacobus and Simmers, 2002).

۴-۲-۲- مقیاس‌های زمانی و مکانی تخمین تغذیه

مفهوم مقیاس مکانی از نظر انتخاب روش‌های مناسب تغذیه مهم است و روش‌های مختلف برآوردهایی را ارائه می‌دهد که در مقیاس‌های مختلف مکانی ادغام می‌شوند. برخی از روش‌ها اساساً برآورد نقطه‌ای ارائه می‌دهند، این روش‌ها برای ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان در برابر آلودگی مفید هستند. روش‌های تخمین تغذیه با مقیاس‌های زمانی و مقیاس‌های مکانی مرتبط است. برخی از روش‌ها، مانند روش نوسانات سطح ایستابی، می‌توانند تخمینی از تغذیه را برای هر رویداد بارش به طور جداگانه ارائه دهند. از طرف دیگر، اکثر روش‌های ردیاب، یک تخمین واحد برای تغذیه ارائه می‌دهند که به‌طور میانگین در بازه زمانی بین کاربرد ردیاب و نمونه‌گیری ردیاب به‌دست می‌آید. این دوره زمانی می‌تواند از چند روز تا چند سال برای ردیاب‌های کاربردی، تا دهه‌ها یا قرن‌ها یا حتی هزاره‌ها برای ردیاب‌های طبیعی وجود داشته باشد. همانند تغییرات مکانی، اهمیت تشخیص تغییرات زمانی را فقط کاربر می‌تواند تعیین کند.

کاربر باید دقت کند که روش‌های انتخاب شده نتایج را در بازه زمانی مورد نظر ارائه دهد. روش‌های بیلان آب، روش دارسی و روش‌های دیگر را می‌توان در بازه‌های مختلف زمانی، به‌عنوان مثال، با داده‌های روزانه، ماهانه یا سالانه استفاده کرد، گرچه نتایج ناشی از استفاده از یک روش در فواصل زمانی مختلف می‌تواند متفاوت باشد. مدل‌های جریان آب زیرزمینی در گذشته، با این فرض که تغذیه مقدار ثابتی است توسعه یافتند، اما مدل‌های کاربردی فعلی معمولاً تغذیه را نسبت به زمان، متغیر فرض می‌کنند؛ اما برای دوره‌های ماهانه و سالانه ثابت نگه می‌دارند.

۲-۴-۳- هزینه

هزینه یک محدودیت رایج برای استفاده از برخی روش‌های تخمین تغذیه است. برخی از روش‌ها را می‌توان با استفاده از یک بازدید صحرایی برای جمع‌آوری و آنالیز نمونه‌ها استفاده کرد، در حالی که روش‌های دیگر نیاز به نظارت مداوم در طول یک سال یا بیشتر دارد. به نظر می‌رسد مطالعات مربوط به تخمین تغذیه با استفاده از ردیاب کربن ۱۴ هزینه‌های بالاتری نسبت به سایر روش‌ها داشته باشد. هزینه‌های جمع‌آوری و آنالیز برای یک مجموعه واحد ممکن است کمتر از هزینه مورد نیاز برای نظارت مستمر باشد. باید در نظر داشت که همیشه گران‌تر بودن یک روش به معنای بهتر یا دقیق‌تر بودن آن نیست. روش‌هایی که مستلزم صرف هزینه‌های زیاد می‌باشد یا جمع‌آوری داده‌ها سخت است، به‌ندرت در مطالعات تحقیقاتی به کار گرفته می‌شوند. برای استفاده از یک روش تخمین باید توجه داشت که هزینه انجام شده با کارایی روش مورد نظر همخوانی داشته باشد.

۲-۵- تکنیک‌های مختلف تغذیه

برای تخمین تغذیه آب‌های زیرزمینی، هیدروژئولوژیست‌ها از روش‌های فیزیکی، شیمیایی و یا عددی استفاده می‌کنند (Sophocleous, 1991). تکنیک‌های مختلف تغذیه را می‌توان در سه گروه آب‌های سطحی، منطقه اشباع و منطقه غیراشباع تقسیم‌بندی کرد که این براساس مناطق هیدرولیکی می‌باشد. هنگام استفاده از روش‌های منطقه غیراشباع فرض اساسی این است که تغذیه از طریق فرآیندهای انتشار رخ می‌دهد. بنابراین، در مکان‌هایی که مسیرهای ترجیحی بر تغذیه تأثیر می‌گذارد، قابل اطمینان

بودن تخمین تغذیه سؤال برانگیز است. به طور کلی تغذیه در مناطق مختلف می‌تواند با روش‌های فیزیکی، ردیابی و مدل‌سازی عددی قابل تخمین باشد. جدول ۱-۲ روش‌های مختلف تخمین تغذیه را نشان می‌دهد که برخی از این روش‌ها از جمله اندازه‌گیری نوسانات سطح ایستابی، بیلان جرمی کلر، بیلان آب و روش ایزوتوپی که در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفته است بحث خواهد شد.

جدول ۱-۲: تکنیک‌های مختلف تخمین تغذیه

تخمین تغذیه	تکنیک‌های فیزیکی	تکنیک‌های ردیابی	مدل‌سازی عددی
مطالعات آب سطحی	بیلان آب کانال نشت‌سنج بررسی جریان پایه	ردیاب حرارتی ردیاب‌های ایزوتوپی	مدل‌سازی بارش / رواناب
مطالعات منطقه اشباع	بیلان آب لایسیمتر سطوح بدون جریان قانون دارسی	ردیاب‌های تاریخی ردیاب‌های کاربردی ردیاب‌های محیطی-کلراید	مدل‌سازی منطقه غیراشباع
مطالعات منطقه غیراشباع	بررسی نوسانات سطح ایستابی قانون دارسی	سن‌سنجی‌های آب‌های زیرزمینی ردیاب‌های محیطی-کلر	مدل‌سازی آب زیرزمینی

۲-۵-۱- نوسانات سطح ایستابی

روش نوسان سطح ایستابی (WTF) بر این فرض استوار است که افزایش سطح آب‌های زیرزمینی در آبخوان‌ها به دلیل تغذیه آب‌های زیرزمینی می‌باشد. با فرض اینکه میزان آب در دسترس در یک ستون با سطح واحد مساوی با آبدهی ویژه برابر با ارتفاع آب در ستون است، تغذیه می‌تواند از معادله زیر محاسبه شود:

$$\Delta S_y^{gw} = R = S_y \Delta H / \Delta t \quad \text{معادله ۱-۲}$$

در این رابطه S_y آبدهی ویژه و ΔH تغییر در ارتفاع سطح ایستابی (شکل ۲-۲) در فواصل زمانی Δt می‌باشد. برای به‌دست آوردن این معادله فرض می‌شود که آب وارد شده به سطح ایستابی بلافاصله به ذخیره می‌رسد و سایر اجزای معادله بیلان که در ادامه بحث خواهد شد در طول دوره تغذیه صفر است. روش قابل کاربرد برای آبخوان‌های آزاد است (Healy and Cook 2002). این روش دارای یکسری فرضیات اساسی و مهم می‌باشد. از جمله اینکه تغییر سطح آب در آبخوان‌های آزاد و کم عمق در نتیجه

تغذیه و یا تخلیه آب زیرزمینی وجود داشته باشد. ضمن اینکه آبدهی ویژه شناخته شده و در هر دوره زمانی نوسانات سطح ایستابی ثابت باشد. برای اعمال روش WTF، تخمین آبدهی ویژه (S_y) در عمق نوسان سطح ایستابی لازم است. هیلی (Healy, 2010) مقدار آبدهی ویژه را با استفاده از معادله ۲-۲ تعریف می‌کند که به صورت زیر است:

$$S_y = \phi - S_r \quad \text{معادله ۲-۲}$$

که ϕ تخلخل و S_r نگهداشت ویژه می‌باشد.

روش‌های متداولی برای تعیین آبدهی ویژه وجود دارد که شامل روش‌های آزمایشگاهی، آزمایش‌های آبخوان، روش‌های بیلان آب و پاسخ سطح آب به تغذیه می‌باشد. روش‌های آزمایشگاهی معمولاً S_y را با اندازه‌گیری تخلخل و نگهداشت ویژه و استفاده از معادله ۲-۲ تعیین می‌کنند. تنوع زیادی در هر دو روش آزمایشگاهی و صحرایی برای تعیین مقادیر آبدهی ویژه وجود دارد. آزمایش‌های آبخوان اندازه‌گیری S_y را در مناطق نسبتاً وسیع، بسته به فاصله بین چاه‌های مشاهده‌ای و پمپاژ، ارائه می‌دهد. روش بیلان آب، پیشنهاد شده توسط والتون (Walton, 1970)، نیاز به تعادل آب در مقیاس حوضه‌ای دارد و ترجیحاً در زمستان که تبخیر و تعرق حداقل است و خاک نزدیک به حالت اشباع قرار دارد استفاده می‌شود. تعادل می‌تواند برای تغییر در ذخیره آب زیرزمینی حل شود و با دانستن تغییرات سطح آب، S_y را می‌توان تخمین زد. معادله بیلان آب می‌تواند به صورت زیر نوشته شود (معادله ۳-۲):

$$=ET + \Delta S + Q_{off} \quad \text{معادله ۳-۲}$$

P

در این معادله P مقدار بارش، ET تبخیر و تعرق، ΔS تغییر در ذخیره آب و Q_{off} جریان آب سطحی به-علاوه زیرسطحی خروجی از حوضه می‌باشد. این روش ممکن است دارای خطاهای بسیاری باشد، گرچه اجازه می‌دهد مقدار میانگین را برای یک منطقه وسیع به جای مقدار محلی به دست آورد.

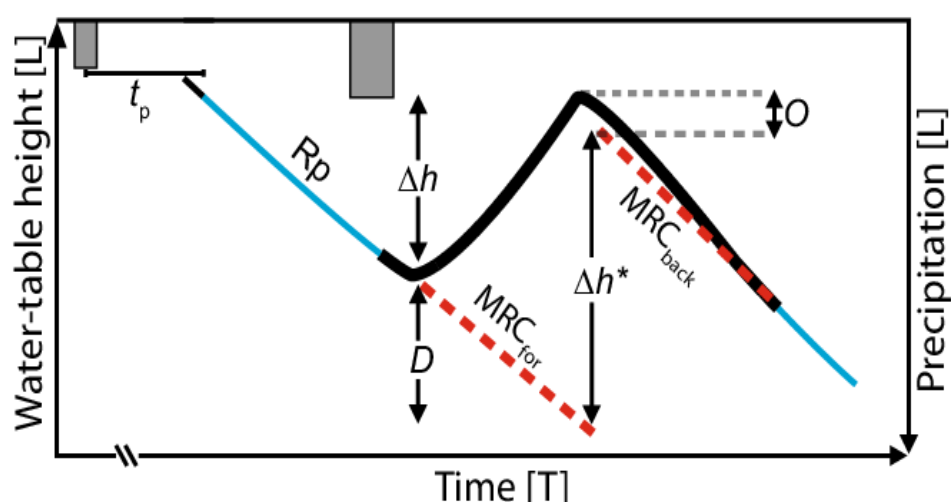
کروسبی و همکاران (Crosbie et al. 2005) روش‌های مختلفی را برای تخمین آبدهی ویژه در دو مکان آزمایش کردند، منحنی نگهداشت آب را در آزمایشگاه، از طریق آنالیز پاسخ سطح ایستابی و

آزمایش‌های پمپاژ تعیین کردند. نتایج، پس از آزمایش چندین روش، نشان می‌دهد که پاسخ سطح ایستابی به بارش بهترین برآوردها را ارائه می‌دهد.

مطالعات زیادی جهت تخمین تغذیه آب زیرزمینی با استفاده از روش نوسانات سطح ایستابی صورت گرفته است. احمدی و همکاران (۱۳۹۱) روش نوسانات سطح ایستابی را که رویکردی آسان و مبتنی بر بیلان آب زیرزمینی است جهت تخمین تغذیه در دشت نیشابور به کار برده‌اند. آن‌ها با استفاده از مدل‌سازی معکوس درصد نفوذ حاصل از بارندگی و آب برگشتی آبیاری را تعیین کردند. برای این منظور با تیسن بندی منطقه مورد مطالعه (دشت نیشابور) بر حسب چاه‌های مشاهده‌ای و اعمال مدل مذکور، مقدار تغذیه و ضرایب نفوذ برای هر تیسن در مقیاس ماهانه برآورد گردید. نتایج نشان داد که حداقل و حداکثر مقدار تغذیه حاصل از بارندگی به ترتیب $41/6$ و $101/6$ میلیون مترمکعب بوده است. نتایج همچنین حاکی از آن است که حداکثر $221/7$ میلیون متر مکعب و حداقل $198/8$ میلیون متر مکعب آب برگشتی آبیاری سبب تغذیه آب زیرزمینی در دشت نیشابور شده است. سوده‌گی (۱۳۹۶) تخمین تغذیه به آبخوان دشت بیرجند را با استفاده از این روش انجام داد. برای این منظور ابتدا مقدار آبدهی ویژه با استفاده از بافت غالب خاک در لاگ‌های حفاری و نتایج آزمون پمپاژ تعیین گردید. بر این اساس مقدار آبدهی ویژه در قسمت شرقی آبخوان ۷ درصد، در قسمت مرکزی و جنوبی ۶ درصد و در قسمت غربی کمتر از سه درصد برآورد شد. سپس با استفاده از داده‌های نوسانات سطح ایستابی، میزان تغذیه برای دوره آماری (۱۳۸۳ تا ۱۳۹۵) برآورد شد. نتایج نشان می‌دهد میزان متوسط تغذیه به آبخوان، سالیانه حدود ۹ میلیون متر مکعب می‌باشد. عربی جوانمرد (۱۳۹۵) تخمین تغذیه به آبخوان الشتر استان لرستان را انجام داد. در این تحقیق به منظور تخمین تغذیه در روش نوسانات سطح ایستابی مقدار آبدهی ویژه بر اساس بافت غالب خاک در لاگ‌های حفاری، حدود ۵ درصد در نظر گرفته شد و متوسط مقدار تغذیه‌ی سالانه با استفاده از این روش حدود $28/3$ میلیون متر مکعب تخمین زده شد. افزایش تغذیه سالانه آبخوان الشتر با زمان که بر اساس نتایج حاصل از روش نوسانات سطح ایستابی

استنباط شد، به افزایش ظرفیت آبخوان در پذیرش آب تغذیه‌ای مربوط شده که در اثر افت ممتد سطح آب زیرزمینی در آبخوان ایجاد شده است.

میزان تغذیه در آبخوان جیجو (Jeju)، کره، با استفاده از سه روش نوسانات سطح ایستابی، بیلان جرمی کلر و زمان ماندگاری تریتیوم در آب‌های زیرزمینی توسط هاجدم و همکاران (Hagedorn *et al.*, 2011) حدود ۴۲۹ تا ۶۸۷ میلی‌متر در سال برآورد شده است. وارنی و همکاران (Varni *et al.*, 2013) روش نوسان سطح ایستابی برای توصیف تغذیه آب‌های زیرزمینی در دشت پامپا، آرژانتین، به کار بردند. آبدهی ویژه با آنالیز تمام رویدادهای تغذیه در طول دوره مورد نظر ۰/۰۹ برآورد شد. بر این اساس میزان تغذیه سالانه در این دشت ۲۱۰ میلی‌متر یا ۱۸ درصد بارش به‌دست آمد. بیشترین تغذیه سالانه در سال ۲۰۰۲ با ۵۳۹ میلی‌متر (۳۳ درصد بارندگی سالانه) و حداقل تغذیه در سال ۲۰۰۸ با ۲۳ میلی‌متر (۴ درصد بارندگی سالانه) رخ داده است. حوضه رودخانه ادا (River Oda catchment) در کشور غنا نیز توسط آتادارکوا و همکاران (Atta Darkwa *et al.*, 2013) مورد مطالعه قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد که، میزان تغذیه تخمین زده شده در سال ۲۰۰۹ حدود ۱۳۳ تا ۴۶۷ میلی‌متر در سال و در ۲۰۱۰ به میزان ۴۷/۶ تا ۴۲۷/۹ میلی‌متر در سال می‌باشد.



شکل ۲-۲: محاسبه بالا آمدگی سطح آب

۲-۵-۲ روش بیلان جرمی کلر

روش بیلان جرمی کلر بر این فرض استوار است که یون کلر پایستار رفتار می‌کند و به راحتی تحت تأثیر واکنش‌های منطقه غیراشباع و یا منطقه اشباع قرار نمی‌گیرد. اگر این فرض معتبر باشد، این یون می‌تواند فرآیندهای تغذیه آب‌های زیرزمینی را به میزان کافی ردیابی کند و بنابراین می‌تواند برآورد معقولی از تغذیه آب‌های زیرزمینی در یک منطقه ارائه دهد. این روش ابتدا توسط اریکسون و خوناکاسم (Eriksson and Khunakasem, 1969) پیشنهاد شد و در مطالعات اخیر توسط محققان زیادی در سراسر دنیا جهت تخمین تغذیه به آب زیرزمینی مورد استفاده قرار گرفت (Edmunds and Gaye, 1996; Wood and Sanford, 1995; Bazuhair and Wood, 1994). برای تخمین تغذیه به این روش غلظت کلرید موجود در بارش باید دقیق اندازه‌گیری شود و حداقل ۰/۱ میلی گرم در لیتر باشد. اغلب تصور می‌شود که غلظت کلرید آب‌های زیرزمینی در طول مطالعات تغذیه ثابت می‌ماند، اگرچه این امر در هیچ سیستم آبخوان مورد بررسی نمی‌تواند به‌طور قطعی بیان شود مگر اینکه داده‌های نظارتی طولانی مدت در دسترس باشد. غلظت کلرید ممکن است در یک منطقه از یک مکان به مکان دیگر متفاوت باشد بنابراین جای تعجب نیست که تخمینی که به روش بیلان جرمی کلر انجام می‌شود خاص یک مکان باشد. جهت استفاده از این روش در یک منطقه بایستی فرض شود:

(۱) هیچ منبعی برای کلر در آب زیرزمینی به غیر از آب باران وجود ندارد.

(۲) بارندگی به‌صورت رواناب شکل نگیرد (بارندگی یا تبخیر شود یا نفوذ کند).

(۳) هیچ چرخه‌ای از یون کلر در منطقه به وجود نیاید.

(۴) کلر به‌عنوان یون پایستار رفتار کند.

برای تخمین تغذیه براساس این روش یکسری معادلات وجود دارد که معادلات ۲-۴ و ۲-۵ به ترتیب برای دوره‌های خشک و تر به کار می‌روند.

$$R = (P \times Cl_g) / Cl_g$$

معادله ۲-۴

$$R = ((P \times C_p) + (R_{on} \times C_{on}) - (R_{off} \times C_{off})) / C_g$$

در این معادلات R تغذیه ناشی از بارندگی (میلی متر در سال)، P میزان بارندگی (میلی متر)، Cl_p غلظت کلر در نمونه بارش (میلی گرم در لیتر)، Cl_g غلظت کلر در نمونه آب زیرزمینی (میلی گرم در لیتر)، C_p غلظت کلر در آب بارش، R_{on} حجم آب نفوذی، C_{on} غلظت کلر در آب نفوذی، R_{off} حجم رواناب، C_{off} غلظت کلر موجود در رواناب و C_g غلظت کلر در آب زیرزمینی می باشد.

یکی از روش های مورد استفاده جهت تخمین تغذیه در آبخوان دشت بیرجند استفاده از بیلان جرمی کلر بوده است (سوده گی، ۱۳۹۶). مقادیر غلظت کلر در آب زیرزمینی بین ۲۳۴ تا ۲۴۰۰ میلی گرم بر لیتر و مقادیر آن در بارش از ۷/۱ تا ۲۸/۴ میلی گرم بر لیتر متغیر است. مقدار تغذیه محاسبه شده با استفاده از روش بیلان جرمی کلر حداکثر ۲/۴۹ میلیون متر مکعب برآورد شد. تخمین تغذیه به روش بیلان جرمی کلر در آبخوان الشتر توسط عربی جوانمرد (۱۳۹۵) نیز انجام شده است. میانگین غلظت کلر در آب زیرزمینی ۴۰/۲۳ میلی گرم در لیتر و در بارش برابر با ۶/۴ میلی گرم در لیتر اندازه گیری شده و بنابراین تغذیه با استفاده از روش بیلان جرمی کلر حدود ۱۰ میلیون مترمکعب برآورد شده است.

سابیانی (Subyani, 2004) روش بیلان جرمی کلر را برای تخمین تغذیه در آبخوان آبرفتی وادی تاراد (Wadi Tharad) با استفاده از مقادیر سه جزء اندازه گیری شده، یعنی بارندگی مؤثر، غلظت کلرید در بارش و آب های زیرزمینی انجام داده است. براساس اندازه گیری های انجام شده نرخ تغذیه ۶/۱ میلی متر در سال محاسبه شده که این مقدار حدود ۱۱ درصد بارندگی است و برای مناطق خشک و نیمه خشک قابل قبول می باشد. روش بیلان جرمی کلر برای مناطق غیر اشباع جهت تخمین تغذیه آب های زیرزمینی در شمال غربی استان شانسی (Shaanxi) چین، جایی که آب و هوا به طور معمول نیمه خشک است و استفاده از آب تا حد زیادی به منابع آب زیرزمینی بستگی دارد، استفاده شده است (Deng Lin et al., 2011). بر اساس سه پروفیل مختلف کلرید، تخمین های مشابهی از تغذیه به میزان ۴۹/۶، ۴۷/۲ و ۴۵/۹ میلی تر در سال، که به ترتیب ۱۲/۵، ۱۲/۶ و ۱۱/۶ درصد از بارندگی سالانه است. در تحقیقی دیگر منساح و همکاران (Mensah et al., 2014) نیز تخمین هایی از تغذیه آب های زیرزمینی از طریق

بیلان جرمی کلر در یک منطقه گرمسیری را ارائه داده‌اند. مطالعات آن‌ها نشان می‌دهد که نرخ تغذیه سالانه آب‌های زیرزمینی در این مناطق بین ۰/۹ تا ۲۱ درصد بارش است.

۲-۵-۳- روش بیلان آب

بررسی و تبادلات آب در یک محدوده معین که بر اصل بقاء جرم در چرخه آب تأکید دارد بیلان خوانده می‌شود. طبق این تعریف کلیه آب‌هایی که در یک زمان معین وارد یک محدوده خاص می‌گردد، در این ناحیه به مصرف رسیده، ذخیره شده و یا به صورت مختلف از محدوده خارج می‌گردد (محمودی ۱۳۷۷). بیلان آب یکی دیگر از روش‌های تخمین تغذیه است که دقت آن به میزان زیادی به کیفیت و کمیت داده‌های در دسترس برای تفسیر بستگی دارد.

بیلان آب برای آبخوان بیرجند با مساحت ۲۷۱/۲ کیلومتر مربع برای سال آبی ۹۴ تا ۹۵ توسط سوده‌گی (۱۳۹۶) محاسبه گردیده که مقدار تغذیه ۱۱/۳ میلیون متر مکعب در سال را نشان می‌دهد. فاریابی (۱۳۹۷) میزان تغذیه آب زیرزمینی با استفاده از سه روش شامل معادله بیلان آب، مدل هیدرولوژیکی WetSpass و نرم‌افزار PRO-GRADE در بخش شمالی محدوده اندیمشک تخمین زده است. نتایج بیلان آب زیرزمینی میزان تغذیه آبخوان را در حدود ۱۱۷/۷۶ میلیون متر مکعب در سال برآورد کرده است. تخمین تغذیه به آبخوان الشتر در استان لرستان توسط عربی جوانمرد (۱۳۹۵) انجام شده که یکی از روش‌های مورد استفاده جهت تخمین بیلان آب بوده است. براین اساس نرخ تغذیه حدود ۳۲/۴ میلیون متر مکعب در سال تخمین زده شده است. لی و همکاران (Lee et al., 2006) میانگین بلند مدت تغذیه سالانه آب‌های زیرزمینی تایوان را با روش بیلان آب همراه با برآورد جریان پایه و آنالیز جریان پایه پایدار تخمین زدند. کل تغذیه آب‌های زیرزمینی تایوان با روش‌های بکار گرفته شده حدود ۱۸ میلیارد متر مکعب در سال است. یه و همکاران (Yeh et al., 2007) تخمین تغذیه آب‌های زیرزمینی در حوضه چینگ شوی (Ching-Shui) با استفاده از دو مدل بیلان آب یعنی بیلان رطوبت خاک و مدل جریان پایه را انجام داده‌اند. نتایج در هر کدام از مدل‌ها به ترتیب میزان تغذیه ۱۲/۴ و ۹/۹۲ درصد را نشان می‌دهد. داگز و همکاران (Dages et al., 2009) به منظور فهمیدن نقش

شبکه خندقی بر روی تغذیه آب زیرزمینی از روش بیلان آب برای دو واقعه بارش و سیل پاییزی استفاده نمودند و همچنین عدم اطمینان این روش را با شبیه‌سازی‌های مونت کارلو انجام دادند. نتایج نشان داد اگرچه وسعت خندق‌ها فقط ۶ درصد منطقه را شامل می‌شود ولی تغذیه متمرکز از طریق آن به نظر می‌رسد منبع اصلی تغذیه آب زیرزمینی باشد. در واقع ۴۰ تا ۵۰ درصد بارش‌های پاییزی باعث تغذیه می‌گردند.

۲-۵-۴- روش ایزوتوپی

یک روش تکمیلی جهت تخمین تغذیه استفاده از روش ایزوتوپی می‌باشد. آلیسون و همکاران (Allison *et al.*, 1983) یک روش نیمه تجربی را برای تخمین تغذیه با استفاده از ایزوتوپ‌های پایدار دوتریم و اکسیژن ۱۸ توسعه دادند. مقدار تغذیه ناشی از بارش در آبخوان بیرجند با استفاده از ایزوتوپ‌های پایدار اکسیژن ۱۸ و دوتریم بین ۰/۲۴ تا ۱/۳ میلیون متر مکعب تخمین زده شده است (سوده‌گی ۱۳۹۶). سابانی (Subyani, 2004) در پژوهشی به منظور تخمین تغذیه در آبخوان آبرفتی وادی تاراد (Wadi Tharad) از روش بیلان جرمی کلر و ایزوتوپی استفاده کرده است که میزان تغذیه حدود ۶/۱ میلی‌متر در سال با استفاده از هر دو روش به‌دست آمده است. کولی دیوف (Coly Diouf *et al.*, 2012) در پژوهشی به‌منظور برآورد تغذیه آب زیرزمینی از دو روش بیلان جرمی کلر و ایزوتوپی در یک آبخوان شنی واقع در داکار سنگال استفاده کردند. آن‌ها میزان تغذیه آب زیرزمینی با استفاده از این روش‌ها را ۱۴۴ میلی‌متر در سال برآورد کرده‌اند. میرانی مقدم و همکاران (Mirani Moghadam *et al.*, 2021) در تحقیقی میزان تغذیه سالانه قنات‌های دشت گناباد به وسیله روش‌های ایزوتوپی را برآورد کرده‌اند. برای این منظور از ۶ رشته قنات مهم دشت نمونه‌برداری شده و در آن‌ها آنالیزهای ایزوتوپی با هدف تعیین میزان تغذیه سالانه قنات‌ها انجام شده است. نتایج ایزوتوپ‌های پایدار اکسیژن ۱۸ و دوتریم نشان می‌دهد تغذیه قنات‌ها از طریق نفوذ آب بارش درون درز و شکاف‌های سازندهای آهکی و ماسه‌سنگی جنوب حوضه و همچنین نفوذ آب‌های سطحی حاصل از بارش در مخروط‌های آبرفتی دانه درشت حاشیه ارتفاعات حوضه اتفاق می‌افتد. میزان آبدهی و ترکیب ایزوتوپی قنات‌ها در فصل تر و خشک و

ترکیب ایزوتوپی بارش سالانه نشان می‌دهد حدود ۲۸ تا ۳۹ درصد آبدهی قنات‌ها مربوط به بارش‌های همان سال می‌باشد.

فصل سوم

روش انجام کار

۳-۱- مقدمه

در این پژوهش با استفاده از ۴ روش بیلان جرمی کلر، بیلان آب‌های زیرزمینی، ایزوتوپی و تغییرات سطح ایستابی میزان تغذیه به آبخوان سمنان تخمین زده شد که در ادامه به بررسی و شرح هر کدام از این روش‌ها پرداخته می‌شود.

۳-۲- روش نوسانات سطح ایستابی

۳-۲-۱- جمع آوری داده‌های کمی آب زیرزمینی

با استفاده از داده‌های ۲۳ حلقه پیزومتر در دشت سمنان در بازه زمانی ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۹ که توسط شرکت آب منطقه‌ای سمنان جمع آوری شده است، به بررسی نوسانات سطح ایستابی به منظور تخمین مقدار تغذیه به آبخوان سمنان پرداخته شده است. داده‌های دمای هوا و بارش نیز از سازمان هواشناسی سمنان تهیه گردید و مورد استفاده قرار گرفت.

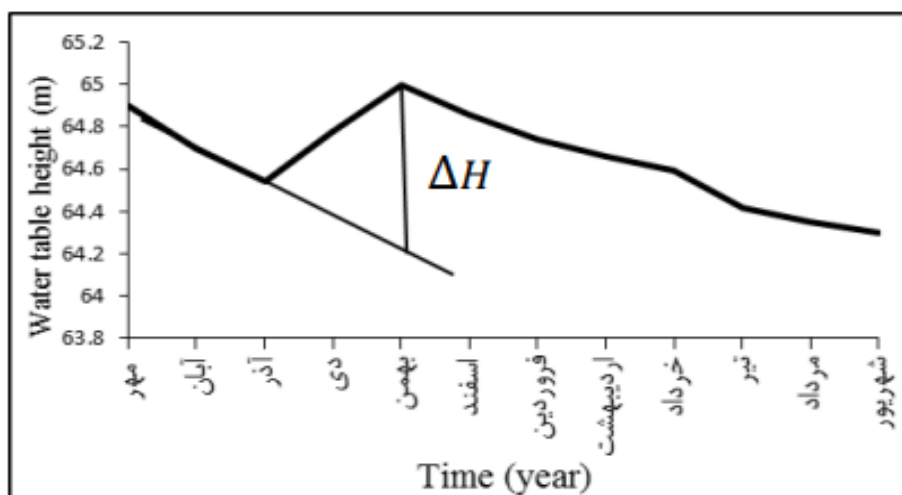
با استفاده از نرم افزار Arc GIS نقشه تیسن آبخوان سمنان ترسیم گردید و سپس مقدار مساحت هر یک از چندضلعی‌ها محاسبه شده است (جدول ۳-۱). در مجموع مساحت آبخوان سمنان برابر با ۵۴۳ کیلومتر مربع می‌باشد.

جدول ۱-۳: مساحت چند ضلعی‌های تسین اطراف پیزومترهای آبخوان سمنان

ردیف	نام پیزومتر	مساحت تسین (m ²)
۱	آب پخش گلرودبار ۱	۱۷۲۹۶۸۵۷
۲	انارکی ۱	۲۷۳۴۲۰۶۰
۳	پژوهشی ۱	۱۸۱۳۵۶۳۶
۴	جاده پیغمبران	۲۵۸۶۰۶۰۲
۵	جاده قدیم بیابانک	۳۶۰۹۱۹۶۷
۶	جعفر آباد ۱	۱۱۹۵۲۹۷۴
۷	جنگل داری	۱۴۸۴۱۸۴۱
۸	جنوب شرق صوفی اباد	۲۲۲۸۵۹۷۲
۹	جواد آباد	۱۳۳۶۹۵۷۶
۱۰	حسن آباد	۱۳۵۳۷۰۶۳
۱۱	خرم آباد ۱	۲۳۲۲۲۰۳۳
۱۲	خوریان	۴۲۰۹۶۰۵۱
۱۳	راه آهن متروک	۱۷۷۵۵۶۰۲
۱۴	صوفی آباد	۱۸۳۳۹۳۹۵
۱۵	سه راه مؤمن آباد	۱۲۴۹۵۳۱۱
۱۶	سیلو	۲۲۲۷۴۳۸۳
۱۷	شرق فرودگاه	۳۰۰۳۳۳۴۴
۱۸	شرق مهدی آباد	۱۶۳۳۶۷۵۰
۱۹	شمال حسن آباد	۱۰۰۳۶۶۷۲
۲۰	شهرک افغانه	۶۶۲۹۳۷۹۱
۲۱	سعادت آباد	۲۳۷۳۱۳۰۶
۲۲	محمد آباد	۳۷۳۲۸۶۶۳
۲۳	مرحمت آباد	۲۱۴۶۳۴۱۴

۳-۲-۲- تعیین بالاآمدگی سطح ایستابی

جهت محاسبه مقدار تغذیه به روش نوسانات سطح ایستابی اختلاف ارتفاع پیک بالا آمدگی هیدروگراف و نقطه برگشت مورد استفاده قرار می‌گیرد (شکل ۳-۲). با استفاده از هیدروگراف ۲۳ پیزومتر در بازه زمانی ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۹ محاسبه مقدار بالا آمدگی در هر پیزومتر انجام شده و میزان تغذیه سالانه برآورد شده است.



شکل ۳-۲: تعیین میزان بالا آمدگی در هر پیزومتر

۳-۲-۳- محاسبه آبدهی ویژه

تخمین آبدهی ویژه در محاسبه تغذیه به آبخوان نقش مهمی دارد. جهت محاسبه آبدهی ویژه روش‌های مختلفی بکار می‌رود از جمله استفاده از لاگ‌های حفاری، نتایج آزمون پمپاژ، مدل‌ها، در این پژوهش بر اساس مطالعات قبلی انجام شده (کرمی ۱۳۹۷، میرباقری ۱۴۰۰) آبدهی ویژه آبخوان سمنان به طور متوسط برابر با ۰/۰۳ (۳ درصد) در نظر گرفته شد.

۳-۲-۴- محاسبه تغذیه به روش نوسانات سطح ایستابی

پس از محاسبه مقدار بالا آمدگی در هر پیزومتر و با استفاده از آبدهی ویژه متوسط آبخوان سمنان مقدار تغذیه آبخوان به روش نوسانات سطح ایستابی در بازه زمانی ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۹ با استفاده از معادله (۳-۱) محاسبه گردید.

$$(۳-۱)$$

$$R = S_y \Delta h / \Delta t$$

در این معادله R تغذیه بر حسب متر بر روز، Δh مقدار بالا آمدگی در سال، Δt دوره زمانی و S_y آبدهی ویژه می‌باشد.

۳-۳- روش بیلان جرمی کلر

روش دیگر جهت محاسبه تخمین تغذیه بیلان جرمی کلر است که با استفاده از مقدار غلظت یون کلر در نمونه‌های بارش و آب‌زیرزمینی مورد بررسی قرار می‌گیرد. با استفاده از مقدار میانگین بارش سالیانه و مقدار غلظت یون کلر و استفاده از معادله (۲-۳) مقدار تغذیه محاسبه می‌گردد.

مقدار غلظت کلر در نمونه‌های جمع‌آوری شده از بارش در اسفند ۱۳۹۸ و آذرماه ۱۳۹۹ و نمونه‌های آب زیرزمینی در دی‌ماه و بهمن‌ماه ۱۳۹۹ از آبخوان سمنان در آزمایشگاه آب و محیط زیست دانشگاه صنعتی شاهرود اندازه‌گیری شد، و در نهایت به محاسبه مقدار تغذیه به روش بیلان جرمی کلر بر اساس رابطه زیر پرداخته شده است.

$$R = P C_p / C_{gw} \quad (۲-۳)$$

در این معادله R تغذیه سالانه آب‌زیرزمینی (mm)، P بارش سالیانه (mm)، C_p غلظت کلر در بارش mg/l و C_{gw} غلظت کلر در آب‌های زیرزمینی mg/l می‌باشد.

۳-۴- روش ایزوتوپی

یکی دیگر از روش‌هایی که جهت تعیین مقدار تغذیه به آبخوان سمنان استفاده شده است، روش ایزوتوپ‌های پایدار می‌باشد. در این روش با استفاده از اکسیژن ۱۸ و دوتریم نمونه‌های بارش و آب‌های زیرزمینی، مقدار تغذیه از بارش به آبخوان محاسبه می‌گردد. مقادیر اکسیژن ۱۸ و دوتریم در آبخوان سمنان در جدول ۲-۳ نشان داده شده است.

با استفاده از معادله ارائه شده توسط کلارک (Clark, 1987) مقدار تغذیه تخمین زده شده است.

$$(۳-۳) \text{ معادله}$$

$$^{18}\text{O shift} = 3 / \sqrt{\text{Recharge (mm)}}$$

$$(۴-۳) \text{ معادله}$$

$$^2\text{H shift} = 22 / \sqrt{\text{Recharge (mm)}}$$

در معادله فوق $^{18}\text{O shift}$ و $^2\text{H shift}$ مقدار جابه‌جایی اکسیژن ۱۸ و دوتریم از خط ایزوتوپی محلی (LMWL) است.

جدول ۳-۲: مقادیر ایزوتوپ‌های اکسیژن ۱۸ و دوتریم نمونه‌های آب زیرزمینی و بارش در آبخوان سمنان

² H	¹⁸ O	UTM(y)	UTM(x)	Sample Name
-67.440	-11.25	3939027	715124	W3
-55.460	-9.71	3943354	725439	W8
-68.130	-11.93	3937302	725021	W23
-58.590	-10.45	3931292	708737	W25
-62.930	-11.96	3937669	719232	W28
-60.790	-11.23	3930826	718495	W29
-61.630	-10.73	3933457	715278	W30
-61.680	-10.76	3924078	708662	W35
-51.740	-8.86	3940383	715052	P3

۳-۵- روش بیلان آب زیرزمینی

یکی دیگر از روش‌هایی که در محاسبه تغذیه آبخوان استفاده می‌شود، روش بیلان آب زیرزمینی است. این روش بر اساس موازنه ورودی‌ها و خروجی‌ها در آبخوان می‌باشد به‌طوری که اگر مقدار آن صفر باشد، تغییرات ذخیره صفر بوده و آبخوان در حالت تعادل می‌باشد، در این روش تمامی ورودی‌ها شامل جریان‌های آب زیرزمینی و آب برگشتی و خروجی‌ها شامل جریان‌های آب زیرزمینی و بهره‌برداری به-وسیله چاه‌های کشاورزی و چشمه‌ها که آب زیرزمینی را زهکشی می‌کنند، تعیین می‌شوند.

معادله تخمین تغذیه آب زیرزمینی در این روش به‌صورت زیر می‌باشد:

$$R = Q^{gw}_{off} - Q^{gw}_{on} + Q^{bf} + ET^{gw} + \Delta S^{gw} \quad (\text{معادله ۳-۶})$$

R تغذیه به آبخوان، Q^{gw}_{off} جریان آب زیرزمینی خروجی، Q^{gw}_{on} جریان آب زیرزمینی ورودی، Q^{bf} زهکشی از آب زیرزمینی، ET^{gw} تبخیر و ترق از آب زیرزمینی و ΔS^{gw} تغییرات در ذخیره آب زیرزمینی می‌باشد.

جهت بررسی تغییرات در ذخیره آبخوان از معادله زیر استفاده می‌شود.

$$\Delta V = A \times S_y \times \Delta H \quad (\text{معادله ۳-۵})$$

مساحت آبخوان (km^2)، S_y آبدهی ویژه، ΔH اختلاف ارتفاع سطح آب (m) و ΔV تغییرات حجم ذخیره (MCM/y) می‌باشد.

فصل چہارم

تخمین تغذیہ آبخوان آبرفتی سمنان

۴-۱- مقدمه

در این فصل نتایج حاصل از محاسبات میزان تغذیه به آبخوان سمنان با استفاده از روش‌های مختلف ارائه می‌شود. این روش‌ها شامل بررسی نوسانات سطح ایستابی، بیلان جرمی کلر، استفاده از ایزوتوپ‌های طبیعی و روش بیلان آب می‌باشد.

۴-۲- بررسی میزان تغذیه آبخوان سمنان به روش نوسانات سطح ایستابی

در روش نوسانات سطح ایستابی با استفاده از اطلاعات پیزومترهای موجود در آبخوان سمنان و بر اساس معادله ۴-۱ مقدار تغذیه محاسبه می‌گردد:

$$R = (\Delta H / \Delta T) S_y \quad 4-1$$

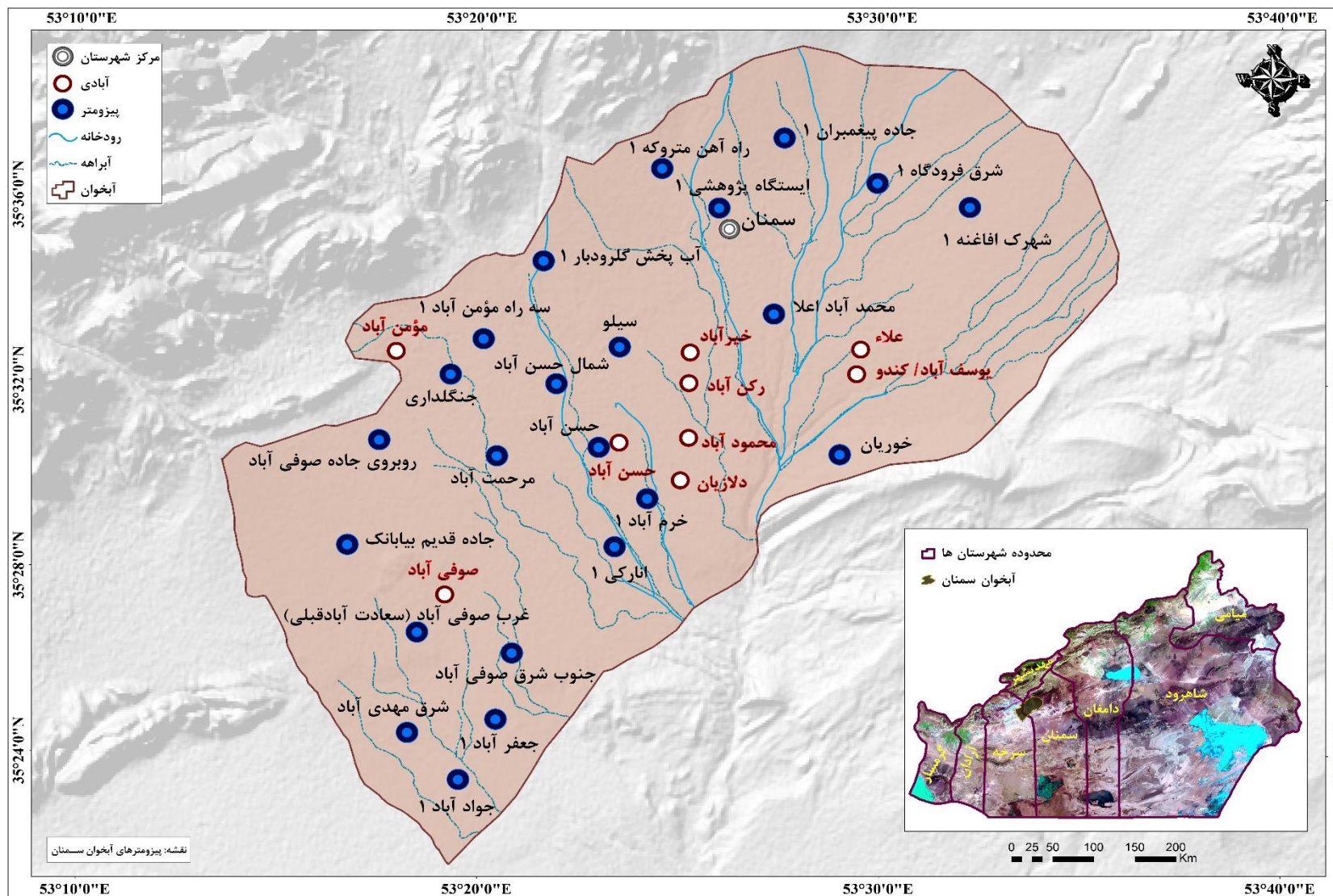
که در این معادله S_y آبدهی ویژه آبخوان، ΔH مقدار بالاآمدگی سطح ایستابی، ΔT دوره زمانی محاسبات تغذیه و R مقدار تغذیه به آبخوان می‌باشد.

۴-۲-۱- بررسی نوسانات سطح ایستابی آبخوان سمنان

به‌منظور بررسی نوسانات سطح ایستابی از داده‌های ۲۳ حلقه پیزومتر در دوره ۱۱ ساله از سال ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۹ استفاده شده است. مشخصات پیزومترها در جدول ۴-۱ و موقعیت آن‌ها در شکل ۴-۱ نشان داده شده است.

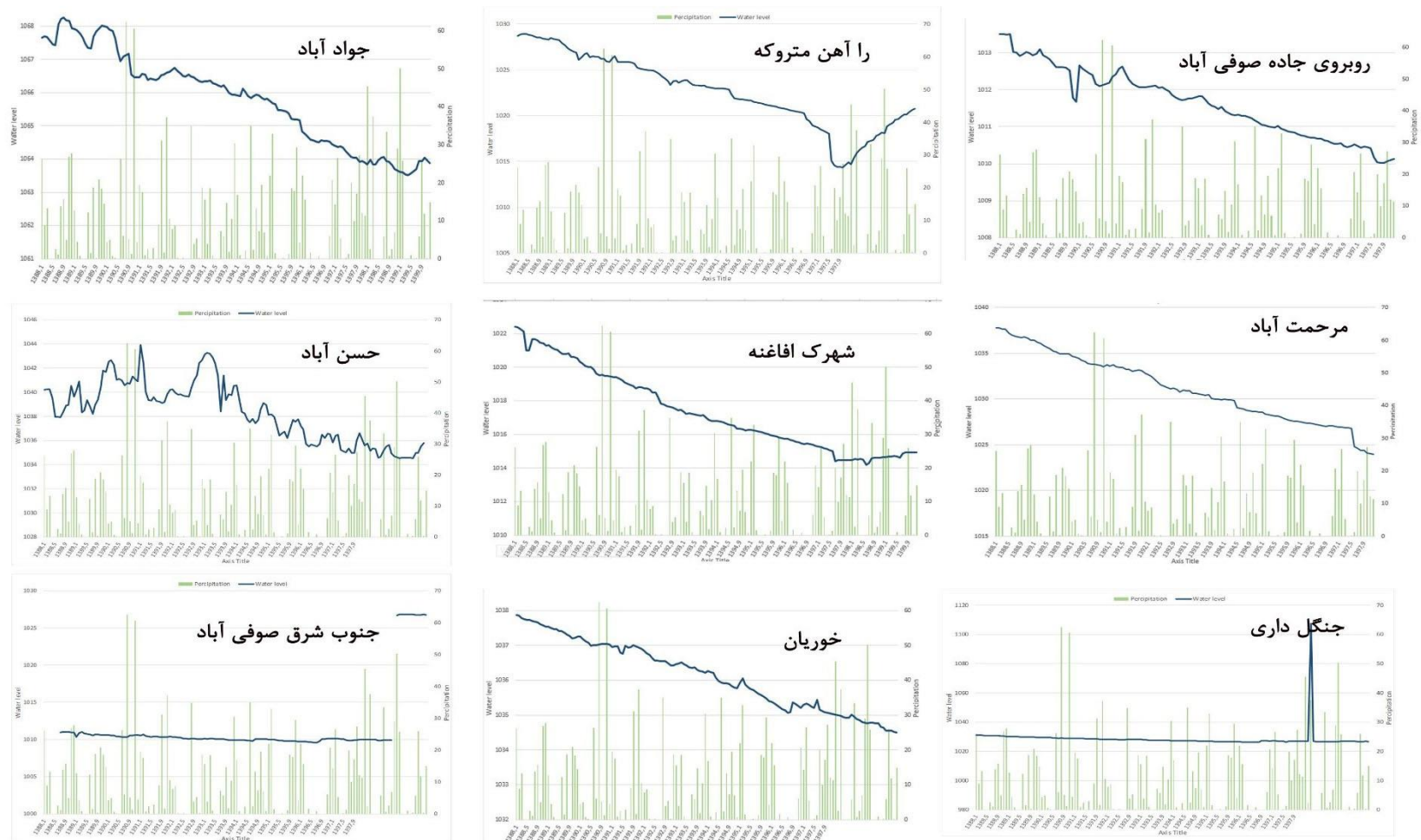
جدول ۴-۱: مشخصات پیزومترهای حفر شده در آبخوان سمنان

ردیف	نام	X	Y	ردیف	نام	X	Y
1	جنوب شرق صوفی آباد	713079	3923927	13	راه آهن متروکه ۱	718174	3943425
2	جاده قدیم بیابانک	706752	3928073	14	ایستگاه پژوهشی ۱	720372	3941914
3	روبروی جاده صوفی آباد	707833	3932290	15	محمد آباد اعلا	722559	3937742
4	سعادت آباد	709478	3924658	16	جاده پیغمبران ۱	722754	3944779
5	جنگلداری	710449	3934980	17	خوریان	725212	3932211
6	سه راه مؤمن آباد ۱	711646	3936433	18	شرق فرودگاه ۱	726312	3943078
7	مرحمت آباد	712289	3931779	19	شمال حسن آباد	714492	3934355
8	آب پخش گلرودبار ۱	713817	3939608	20	شهرک افاغنه ۱	729819	3942221
9	حسن آباد	716351	3932368	21	جواد آباد ۱	711205	3918818
10	سیلو	716784	3936262	22	جعفر آباد ۱	712548	3921260
11	انارکی ۱	716830	3928280	23	شرق مهدی آباد	709231	3920635
12	خرم آباد ۱	718004	3930237				

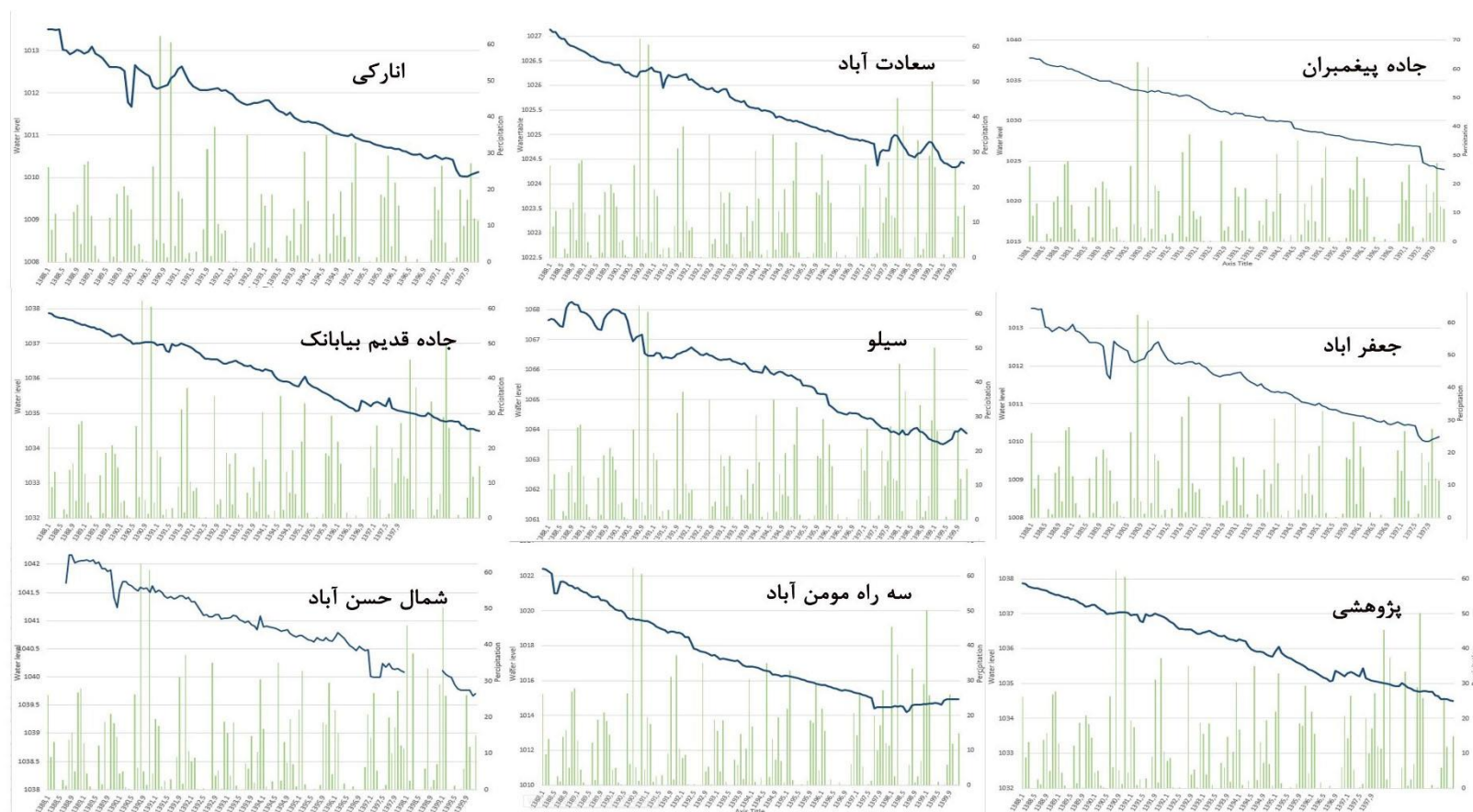


شکل ۴-۱: موقعیت پیزومترهای حفر شده در آبخوان سمنتان

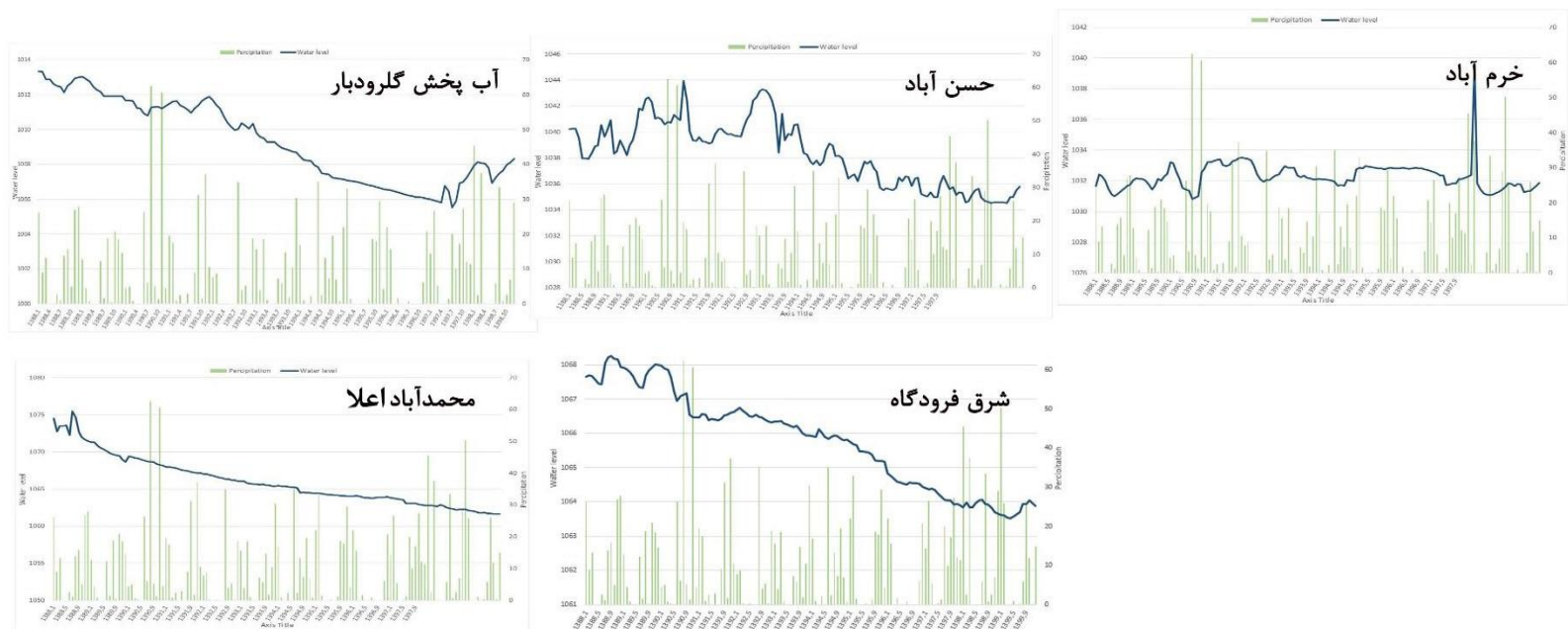
عوامل متفاوتی بر نوسانات سطح ایستابی مؤثر بوده که می‌توان به فعالیت‌های انسانی و تغییرات برداشت، تغییرات اقلیمی، تبخیر و تعرق و فشار جزئی اتمسفر اشاره نمود (Todd and Mays, 2005). جهت بررسی نوسانات سطح ایستابی در آبخوان سمنان هیدروگراف هر پیزومتر به صورت مجزا برای دوره آماری ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۹ ترسیم شد (شکل ۴-۲). نتایج بررسی نوسانات سطح آب در این پیزومترها در دوره ۱۱ ساله در جدول ۴-۲ آورده شده است. بیشترین افت با مقدار ۱/۶ متر در سال متعلق به پیزومتر شرق فرودگاه ۱ و کمترین افت در سال با مقدار ۰/۰۱ متر در سال متعلق به پیزومتر خرم آباد ۱ می‌باشد.



شکل ۴-۲: هیدروگراف پیژومترهای آبخوان سمنان



شکل ۴-۲ (ادامه): هیدروگراف پیزومترهای آبخوان سمنان



شکل ۴-۲ (ادامه): هیدروگراف پیزومترهای آبخوان سمنان

جدول ۴-۲: افت سالیانه در پیزومترهای آبخوان سمنان در دوره آماری ۸۸ تا ۹۹

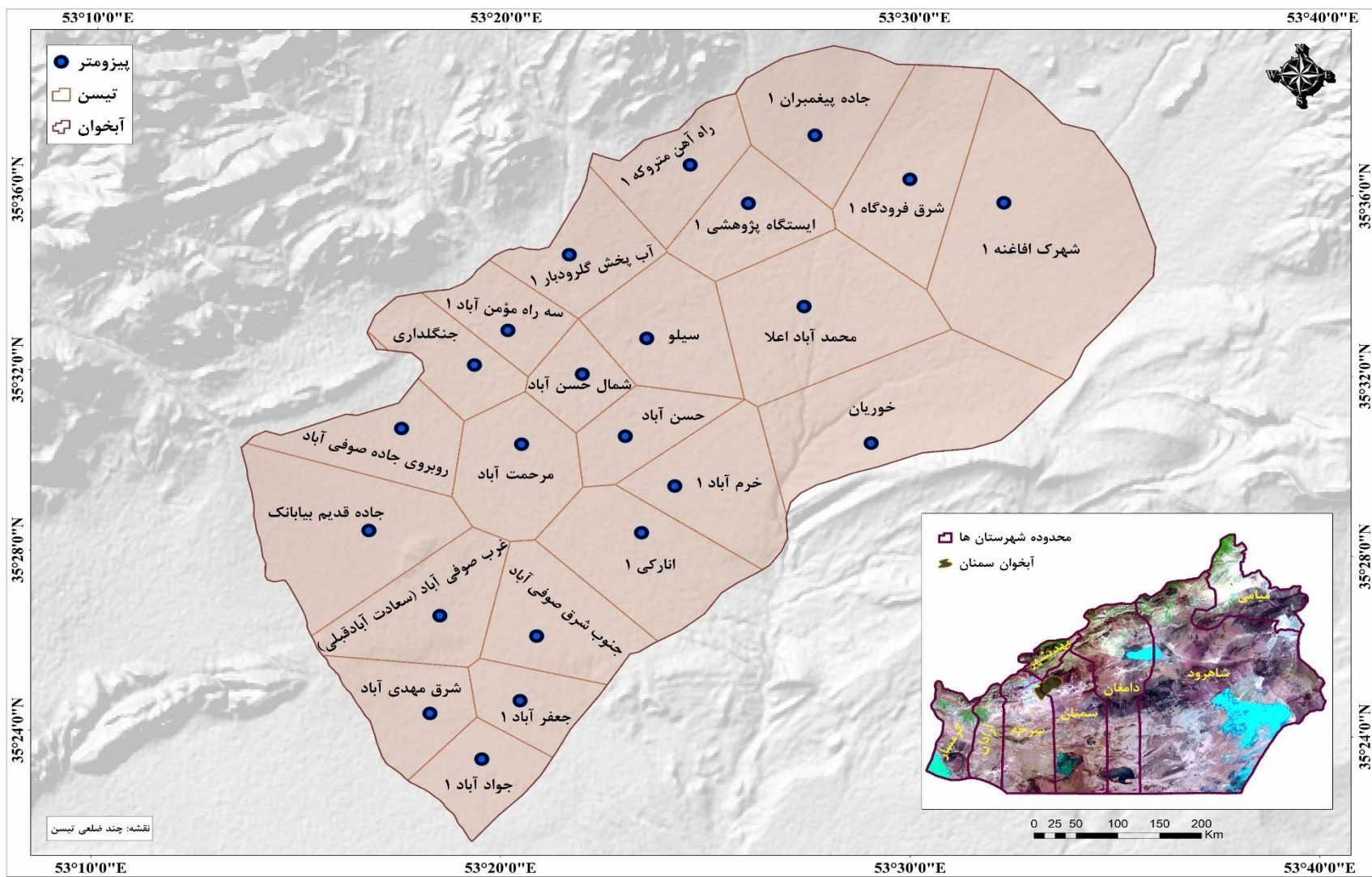
نام	افت کل (متر)	نرخ افت سالیانه (متر)	نام	افت کل (متر)	نرخ افت سالیانه (متر)
جاده قدیم بیابانک	۳/۰۸	۰/۲۸	محمد آباد اعلا	۱۳/۸۵	۱/۲۷
روبروی جاده صوفی آباد	۳/۷۷	۰/۲۷	جاده پیغمبران ۱	۱۳/۰۹	۱/۱۹
سعادت آباد	۲/۴۱	۰/۲۱	خوربان	۹/۸۱	۰/۸۹
جنگلداری	۴/۴۹	۰/۴۱	شرق فرودگاه ۱	۱۲/۸۶	۱/۶۷
سه راه مؤمن آباد	۷/۷۶	۰/۷۱	شهرک افاغنه ۱	۱۲/۳۸	۱/۱۲
مرحمت آباد	۷/۶۶	۰/۶۹	جواد آباد	۳/۲۷	۰/۲۷
آب پخش گلرودبار	۵	۰/۴۵	جعفر آباد ۱	۱۲/۴۷	۱/۱۳
حسن آباد	۵/۶۲	۰/۵۱	شرق مهدی آباد	۴	۰/۳۸
سیلو	۴	۰/۳۶	جنوب شرق صوفی آباد	۰	۰
انارکی ۱	۳/۰۱	۰/۲۷	شمال حسن آباد	۱/۹۶	۰/۱۷
خرم آباد	۰/۲	۰/۰۱	ایستگاه پژوهشی ۱	۱۱/۲۷	۱/۰۲
راه آهن متروکه ۱	۱۰/۵۶	۰/۶			

۴-۲-۲- هیدروگراف معرف آبخوان سمنان

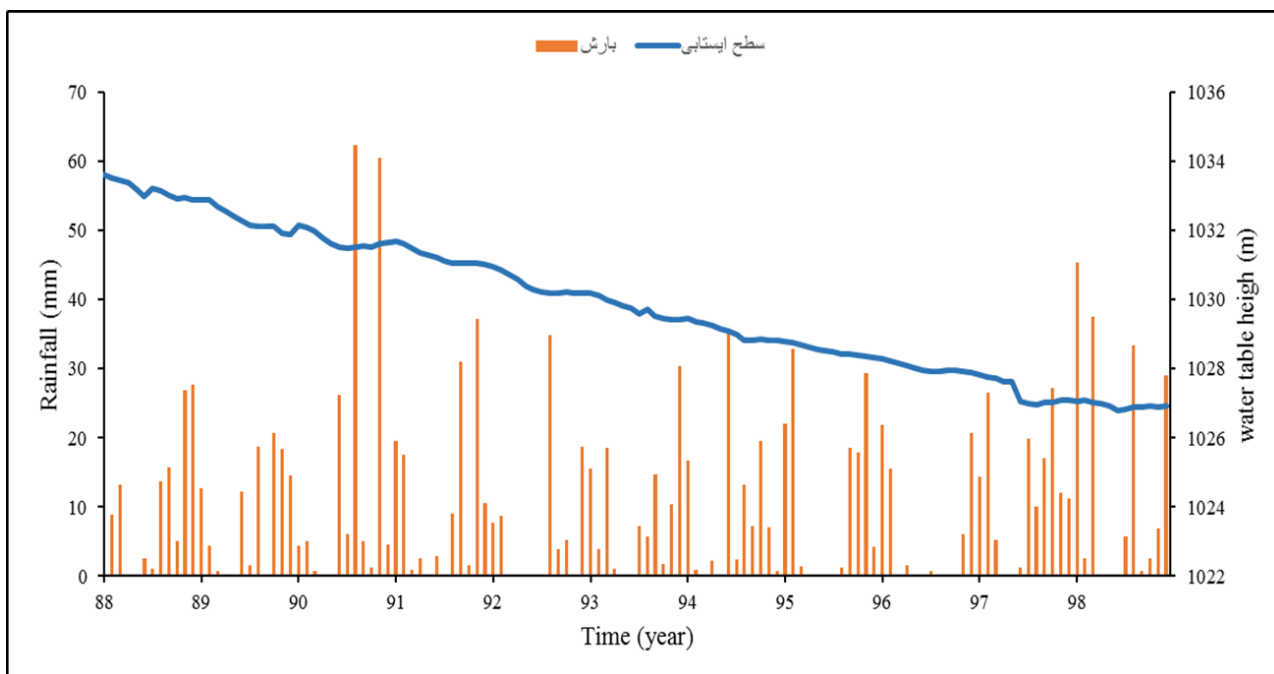
تغییرات سطح آب زیرزمینی در آبخوان همواره با استفاده از هیدروگراف معرف نمایش داده می شود. هیدروگراف معرف آبخوان تغییرات سطح آب زیرزمینی را در طول یک دوره مشخص نسبت به عوامل تغذیه و تخلیه نشان می دهد.

هیدروگراف معرف آبخوان سمنان برای مساحت ۵۴۳ کیلومتر مربع بر اساس داده های ۲۳ حلقه پیزومتر به روش میانگین وزنی بر اساس تیسن (شکل ۴-۳) محاسبه و ترسیم شده است.

هیدروگراف معرف آبخوان سمنان دارای افت با شیب تقریباً ثابتی در طول بازه زمانی ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۹ می باشد (شکل ۴-۴). نرخ افت سطح ایستابی در آبخوان سمنان برابر با ۸۰ سانتیمتر در سال می باشد.



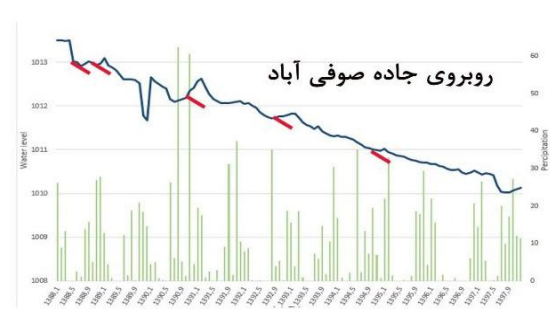
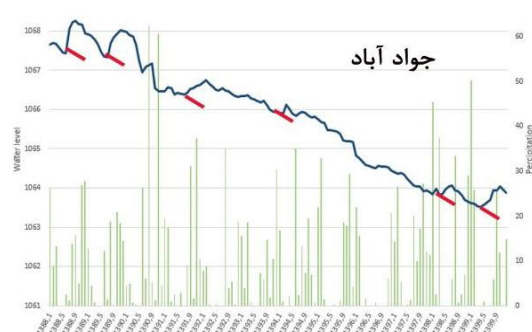
شکل ۳-۴: شبکه تیسن پیزومترها در آبخوان سمنان



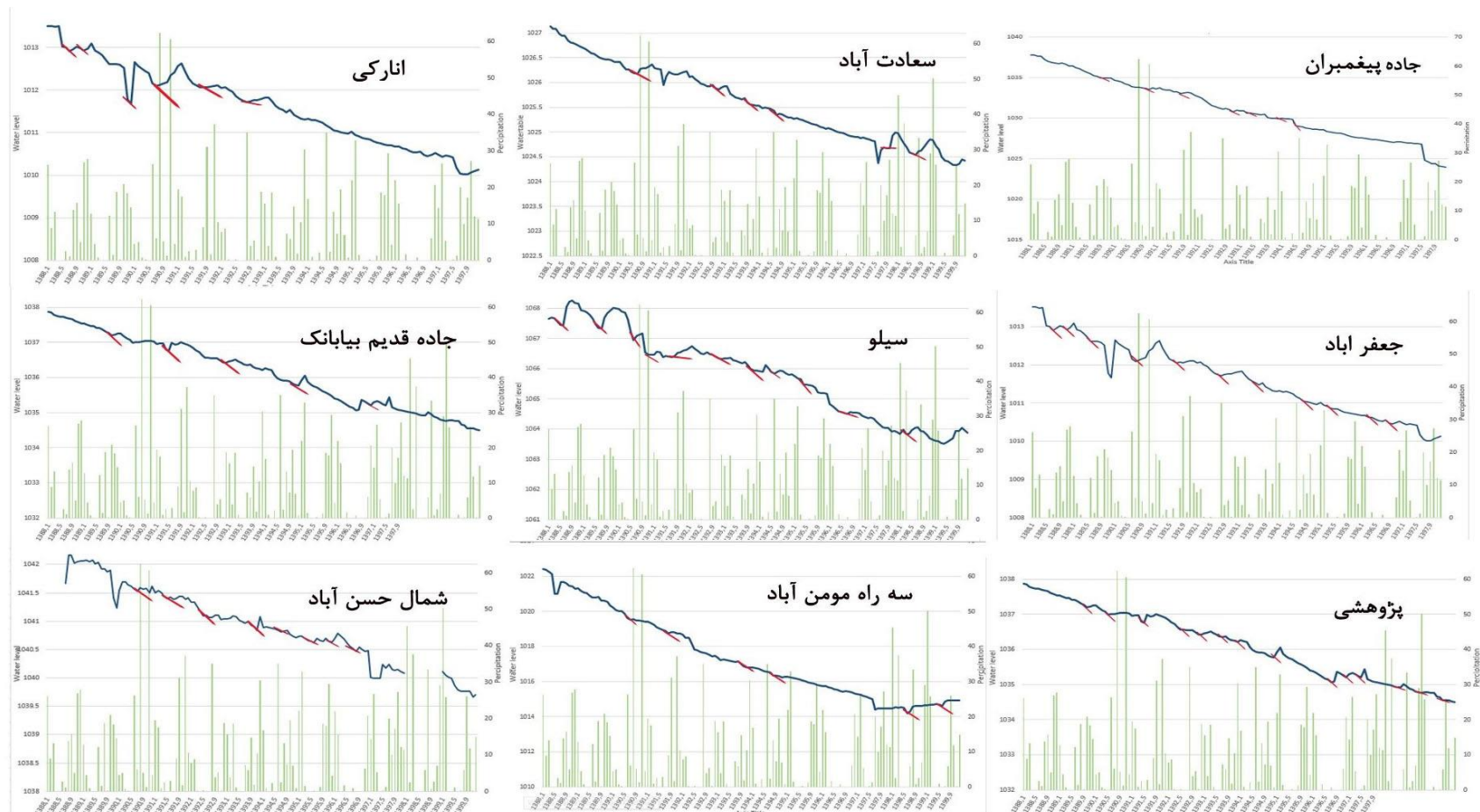
شکل ۴-۴: هیدروگراف معرف آبخوان سمنان

۴-۲-۳- محاسبه بالا آمدگی در هر پیزومتر

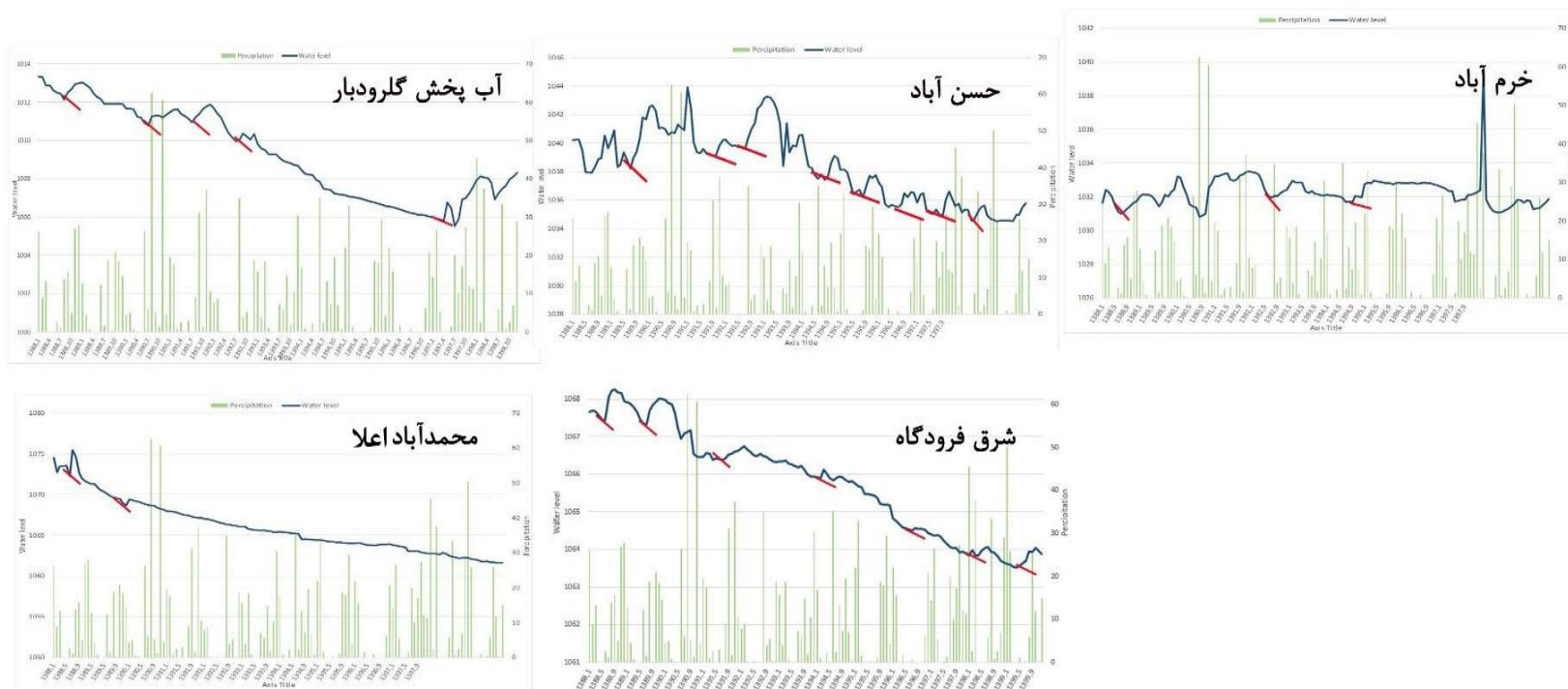
جهت محاسبه بالا آمدگی سطح ایستابی در هر پیزومتر، مجموع بالا آمدگی در هر یک از پیزومترها در هر سال در بازه زمانی ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۹ محاسبه شده است (شکل ۴-۵). مقادیر اندازه گیری شده بالا آمدگی سطح ایستابی برای هر یک از پیزومترها برای دوره ی آماری مذکور در جدول ۴-۳ نشان داده شده است. به منظور مقایسه مقادیر بالا آمدگی در هر یک از پیزومترها، تغییرات زمانی بالا آمدگی در پیزومترهای مختلف در شکل ۴-۶ ارائه شده است.



شکل ۴-۵: بالآمدگی سطح ایستابی در پیزومترهای آبخوان سمنان



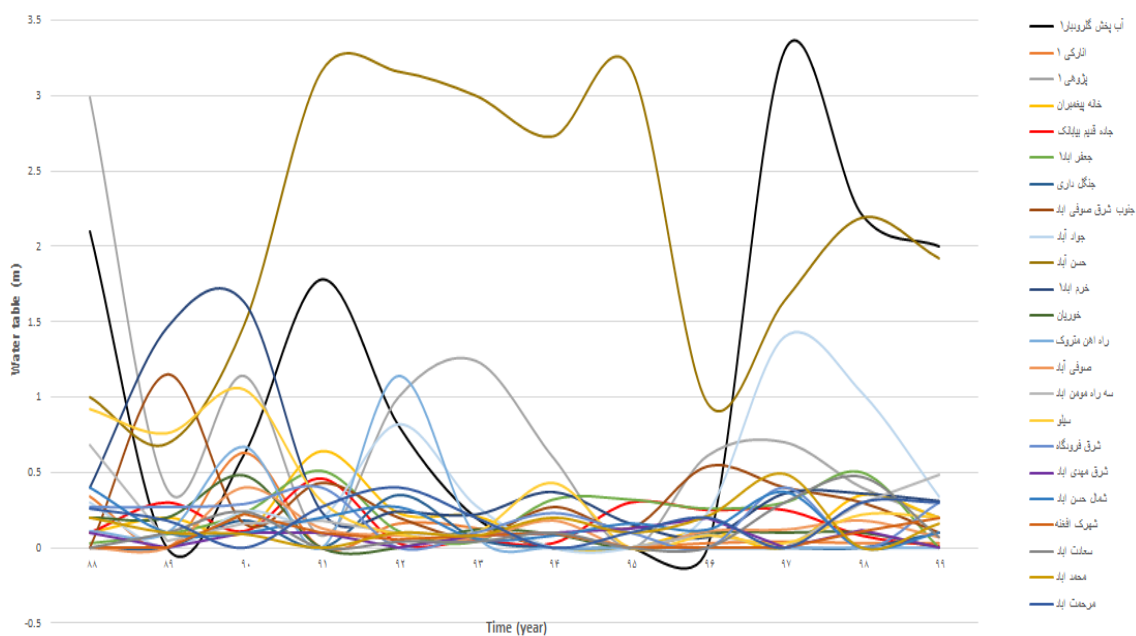
شکل ۴-۵ (ادامه): بالا آمدگی سطح ایستابی در پیزومترهای آبخوان سمنان



شکل ۴-۵ (ادامه): بالا آمدگی سطح ایستابی در پیزومترهای آبخوان سمنان

جدول ۴-۳: مقدار بالا آمدگی سطح ایستابی در پیژومترهای آبخوان سمنان (بر حسب متر در سال)

نام پیژومتر	۱۳۸۸	۱۳۸۹	۱۳۹۰	۱۳۹۱	۱۳۹۲	۱۳۹۳	۱۳۹۴	۱۳۹۵	۱۳۹۶	۱۳۹۷	۱۳۹۸	۱۳۹۹
آب پخش گلرودبارا	۲/۱	۰	۰/۶۲	۱/۷۸	۰/۸۱	۰/۲	۰	۰	۰	۳/۳	۲/۲۱	۲
انارکی ۱	۰/۳۴	۰	۰/۶۳	۰	۰/۱۶	۰/۱۳	۰	۰	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۰۳
پژوهشی ۱	۲/۹۹	۰/۳۹	۱/۱۴	۰/۰۸	۱	۱/۲۴۰۱	۰/۶	۰	۰/۶۱	۰/۷	۰/۴	۰/۲
جاده پیغمبران	۰/۱	۰/۲	۰/۱	۰/۶۴۱	۰/۲۳	۰/۲۱۰۰۱	۰	۰	۰/۱۱	۰	۰/۳۵	۰/۲
جاده قدیم بیابانک	۰/۱	۰/۳	۰/۱۱	۰/۴۶	۰/۰۳	۰/۰۵۰۰۱	۰/۰۳	۰/۳	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۰۸۰۰۱	۰/۰۱۰۱
جعفر آباد	۰/۰۳	۰/۰۹	۰/۲۳	۰/۵۱۰۲	۰/۱۱۰۲	۰/۰۴۰۱	۰/۳۱۹۸	۰/۳۲	۰/۲۶	۰/۳	۰/۵	۰
جنگل داری	۰	۰	۰/۱۸۰۱	۰	۰/۳۵	۰/۰۶۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰/۱
جنوب شرق صوفی آباد	۰	۱/۱۵	۰/۱۶	۰/۴۳	۰/۲	۰/۰۷	۰/۲۷	۰/۱۳	۰/۵۴	۰/۴	۰/۳	۰/۱
جواد آباد	۰/۳	۰	۰/۲۴	۰/۲	۰/۸۲	۰/۲۸۰۱	۰	۰	۰/۲۳	۱/۴	۱/۰۳	۰/۳۴۰۱
حسن آباد	۱	۰/۶۹	۱/۴۸	۳/۱۶	۳/۱۶	۳	۲/۷۳	۳/۱۹	۰/۹۶	۱/۶۴	۲/۱۹	۱/۹۲۰۴
خرم آباد	۰/۴	۱/۴۶۰۳	۱/۶۳	۰/۲۴	۰/۲۴	۰/۲۲۰۱	۰/۳۷	۰/۱۶	۰/۰۷	۰/۳۶۰۳	۰/۳۶۰۳	۰/۳۱
خوریان	۰/۲	۰/۲	۰/۴۸	۰	۰	۰/۱۲۰۱	۰/۰۹	۰	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰
راه آهن متروک	۰/۱۱	۰/۱	۰/۶۷	۰	۱/۱۴	۰/۰۸۰۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰
صوفی آباد	۰	۰	۰/۴	۰/۱۳	۰/۰۸۰۱	۰/۰۶۰۱	۰/۱۸	۰	۰/۱۱	۰/۱۲	۰/۱۸	۰/۰۷
سه راه مؤمن آباد	۰/۶۸	۰/۰۴۱	۰/۱۶	۰/۱۸	۰/۱	۰/۰۸۰۱	۰/۱	۰	۰/۰۹	۰	۰/۳	۰/۴۸
سیلو	۰/۹۲	۰/۷۶	۱/۰۵	۰/۳۱	۰/۰۹	۰/۱۰۰۱	۰/۴۳	۰	۰/۰۸	۰/۰۳۰۱	۰/۲۱۹۶	۰/۲
شرق فرودگاه	۰/۲۷	۰/۲۷	۰/۲۹	۰/۴	۰	۰/۱۰۰۱	۰/۲۳	۰/۱	۰	۰/۴	۰	۰/۳
شرق مهدی آباد	۰/۱	۰	۰/۱	۰/۱	۰	۰/۰۸۰۱	۰/۱	۰/۱۳	۰/۲	۰	۰/۱۲۰۱	۰
شمال حسن آباد	۰/۴	۰/۱	۰/۱	۰/۲	۰/۲۷	۰/۰۶۰۱	۰/۰۸	۰/۱۶	۰/۱۲	۰/۳۷۰۱	۰	۰/۱
شهرک افغانه	۰	۰	۰/۲۲	۰/۱	۰/۰۵	۰/۰۸۰۱	۰/۱	۰	۰	۰	۰/۱۱	۰/۲
سعادت آباد	۰/۰۰۰۱	۰/۱	۰/۲۴	۰	۰/۰۴	۰/۰۴۰۱	۰/۱	۰	۰	۰/۳	۰/۴۷	۰/۰۷
محمد آباد	۰/۲	۰/۱	۰/۰۹	۰	۰/۱	۰/۰۸۰۱	۰	۰	۰/۲۱	۰/۴۹	۰	۰/۱۶
مرحمت آباد	۰/۲۶	۰/۱۸۰۲	۰	۰/۲۷۰۲	۰	۰	۰	۰	۰	۰/۲۹	۰	۰/۳

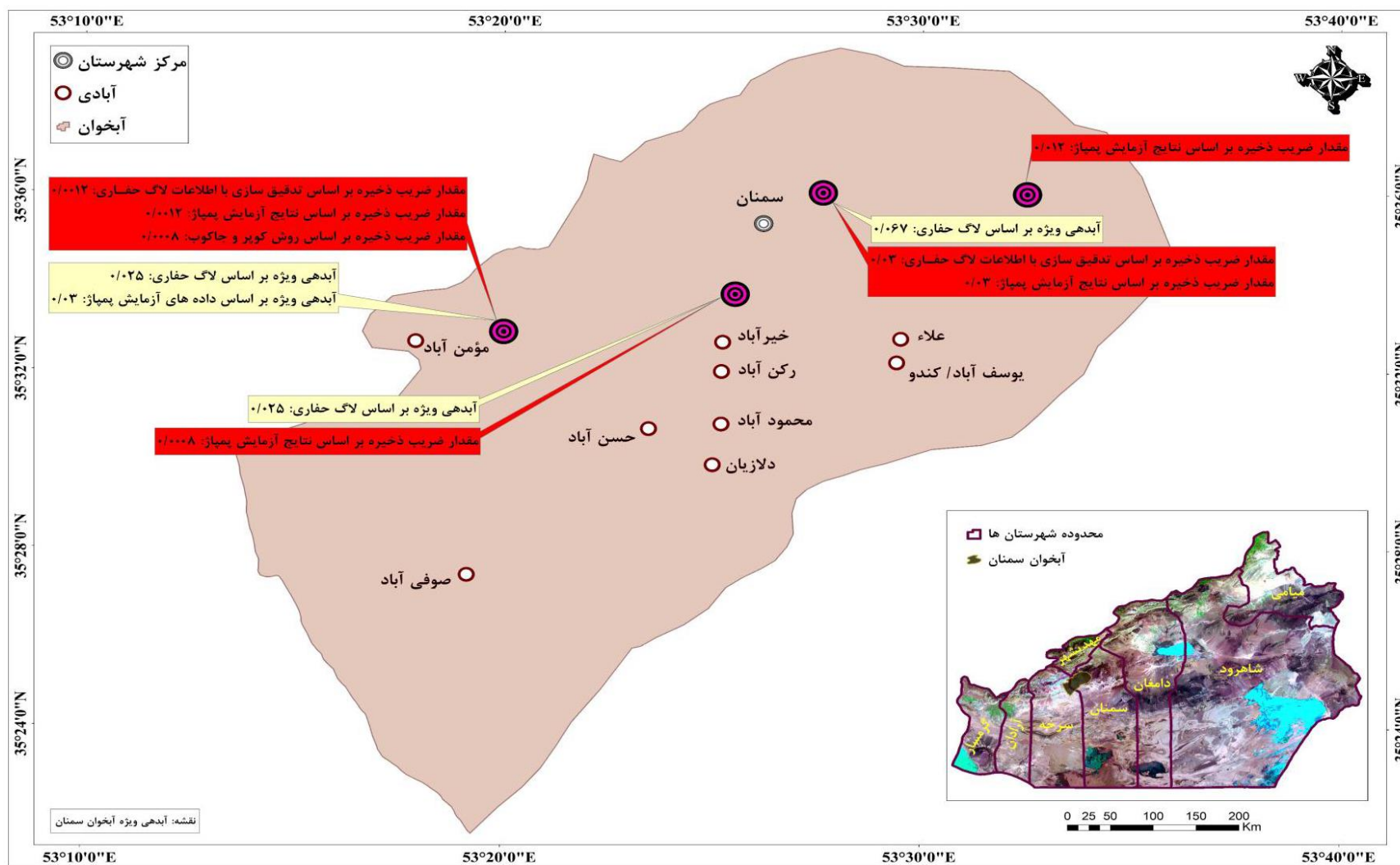


شکل ۴-۶: تغییرات زمانی مقدار بالا آمدگی سطح ایستابی در پیزومترهای آبخوان سمنان

۴-۲-۴- محاسبه تغذیه به روش نوسانات سطح ایستابی

بر اساس مطالعات قبلی انجام شده در آبخوان سمنان (کریمی ۱۳۹۷، میرباقری ۱۴۰۰) آبدهی ویژه آبخوان

از ۰/۰۰۸ تا ۰/۰۶ تعیین شده (شکل ۴-۷) و میانگین آن برابر ۰/۰۳ (۳ درصد) می‌باشد.



شکل ۴-۷: مقادیر ضریب ذخیره آبخوان سمنان (کرمی ۱۳۹۷، میرباقری ۱۴۰۰)

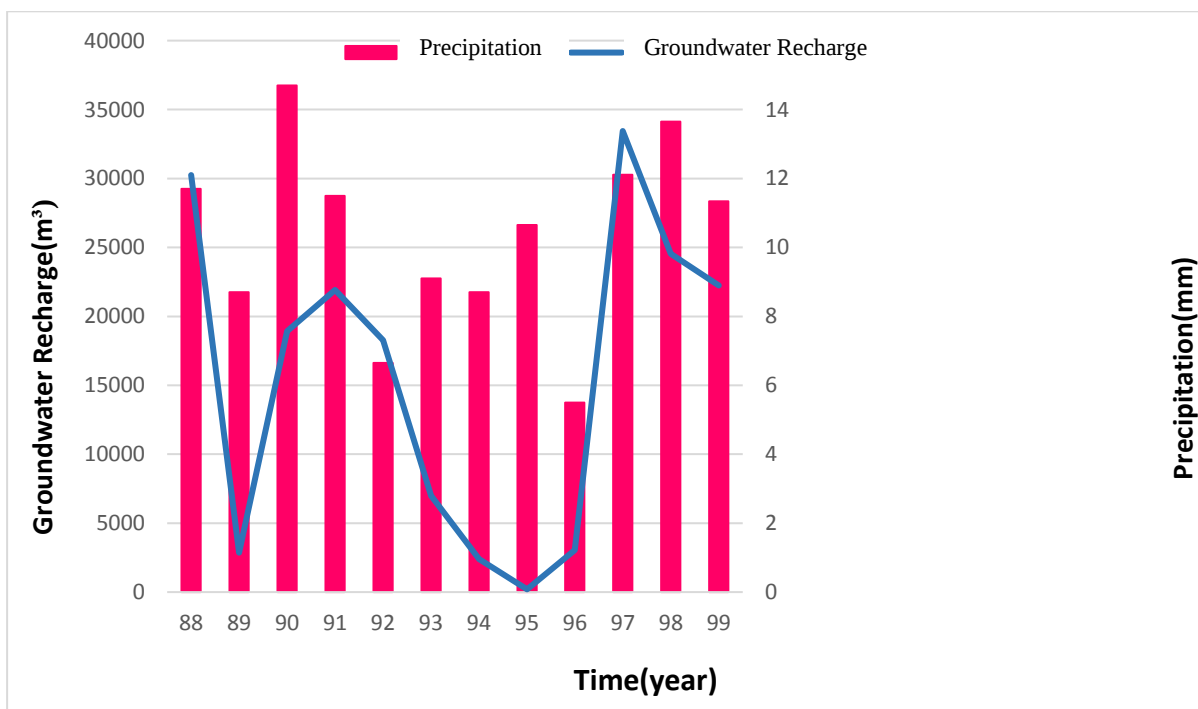
پس از تعیین مقدار بالآآمدگی سطح ایستابی در هر یک از پیزومترها، مقدار تغذیه با استفاده از معادله (۴-۴) محاسبه شده و نتایج در جدول ۴-۴ ارائه شده است. مقدار تغذیه در محدوده تیسن هر پیزومتر حساب شد و از جمع مقادیر مربوط به پیزومترها مقدار تغذیه برای کل آبخوان سمنان در دوره ۱۱ ساله محاسبه گردید (جدول ۴-۵) نتایج نشان می‌دهد بیشترین مقدار تغذیه از بارش به میزان حدود $6/75$ میلیون متر مکعب مربوط به سال آبی ۹۰ تا ۹۱ و کمترین آن به میزان حدود $2/31$ میلیون متر مکعب مربوط به سال آبی ۹۵ تا ۹۶ می‌باشد. رابطه بارش و مقدار تغذیه در شکل ۴-۸ ترسیم شده است. بر اساس نتایج متوسط میزان تغذیه به آبخوان سمنان که بر اساس روش نوسانات سطح ایستابی محاسبه شده است برابر $4/4$ میلیون متر مکعب در سال می‌باشد.

جدول ۴-۴: مقادیر تغذیه سالانه محاسبه شده برای پیژومترهای آبخوان سمنان (بر حسب میلیون متر مکعب در سال)

بالا آمدگی سطح ایستابی در هر سال آبی												نام پیژومتر
۱۳۹۹	۱۳۹۸	۱۳۹۷	۱۳۹۶	۱۳۹۵	۱۳۹۴	۱۳۹۳	۱۳۹۲	۱۳۹۱	۱۳۹۰	۱۳۸۹	۱۳۸۸	
۱/۰۴	۱/۱۵	۱/۷۱	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۹۲	۰/۴۲	۰/۹۲	۰/۳۲	۰/۰۰	۱/۰۹	آب پخش گلرودبارا
۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۱۳	۰/۰۰	۰/۵۲	۰/۰۰	۰/۲۸	انارکی ۱
۰/۱۱	۰/۲۲	۰/۳۸	۰/۳۳	۰/۰۰	۰/۳۳	۰/۰۴	۰/۵۴	۰/۰۴	۰/۶۲	۰/۲۱	۱/۶۳	پژوهشی ۱
۰/۱۶	۰/۲۷	۰/۰۰	۰/۰۹	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۵۰	۰/۱۸	۰/۵۰	۰/۰۸	۰/۱۶	۰/۰۸	جاده پیغمبران
۰/۰۱	۰/۰۹	۰/۲۷	۰/۲۷	۰/۳۲	۰/۰۳	۰/۵۰	۰/۰۳	۰/۵۰	۰/۱۲	۰/۳۲	۰/۱۱	جاده قدیم بیابانک
۰/۰۰	۰/۱۸	۰/۱۱	۰/۰۹	۰/۱۱	۰/۱۱	۰/۱۸	۰/۰۴	۰/۱۸	۰/۰۸	۰/۰۳	۰/۰۱	جعفر آباد
۰/۰۴	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۱۶	۰/۰۰	۰/۰۸	۰/۰۰	۰/۰۰	جنگل داری
۰/۰۷	۰/۲۰	۰/۲۷	۰/۳۶	۰/۰۹	۰/۱۸	۰/۲۹	۰/۱۳	۰/۲۹	۰/۱۱	۰/۷۷	۰/۰۰	جنوب شرق صوفی آباد
۰/۱۴	۰/۴۱	۰/۵۶	۰/۰۹	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۸	۰/۳۳	۰/۰۸	۰/۱۰	۰/۰۰	۰/۱۲	جواد آباد
۰/۷۸	۰/۸۹	۰/۶۷	۰/۳۹	۱/۳۰	۱/۱۱	۱/۲۸	۰/۲۸	۱/۲۸	۰/۶۰	۰/۲۸	۰/۴۱	حسن آباد
۰/۲۲	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۰۵	۰/۱۱	۰/۲۶	۰/۱۷	۰/۱۷	۰/۱۷	۱/۱۴	۱/۰۲	۰/۲۸	خرم آباد
۰/۰۰	۰/۱۳	۰/۱۳	۰/۱۳	۰/۰۰	۰/۱۱	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۶۱	۰/۲۵	۰/۲۵	خوریان
۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۶۱	۰/۰۰	۰/۳۶	۰/۰۵	۰/۰۶	راه آهن متروک
۰/۰۴	۰/۱۰	۰/۰۷	۰/۰۶	۰/۰۰	۰/۱۰	۰/۰۷	۰/۰۴	۰/۰۷	۰/۲۲	۰/۰۰	۰/۰۰	صوفی آباد
۰/۱۸	۰/۱۱	۰/۰۰	۰/۰۳	۰/۰۰	۰/۰۴	۰/۰۷	۰/۰۴	۰/۰۷	۰/۰۶	۰/۰۲	۰/۲۵	سه راه مؤمن اباد
۰/۱۳	۰/۱۵	۰/۰۲	۰/۰۵	۰/۰۰	۰/۲۹	۰/۲۱	۰/۰۶	۰/۲۱	۰/۷۰	۰/۵۱	۰/۶۱	سیلو
۰/۲۷	۰/۰۰	۰/۳۶	۰/۰۰	۰/۰۹	۰/۲۱	۰/۳۶	۰/۰۰	۰/۳۶	۰/۲۶	۰/۲۴	۰/۲۴	شرق فرودگاه
۰/۰۰	۰/۰۶	۰/۰۰	۰/۱۰	۰/۰۶	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۰	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۰	۰/۰۵	شرق مهدی آباد
۰/۰۳	۰/۰۰	۰/۱۱	۰/۰۴	۰/۰۵	۰/۰۲	۰/۰۶	۰/۰۸	۰/۰۶	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۱۲	شمال حسن آباد
۰/۴۰	۰/۲۲	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۲۰	۰/۲۰	۰/۱۰	۰/۲۰	۰/۴۴	۰/۰۰	۰/۰۰	شهرک افاغنه
۰/۰۵	۰/۳۳	۰/۲۱	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۷	۰/۰۰	۰/۰۳	۰/۰۰	۰/۱۷	۰/۰۷	۰/۰۰	سعادت آباد
۰/۱۸	۰/۰۰	۰/۵۵	۰/۲۴	۰/۱۱	۰/۲۲	۰/۰۰	۰/۱۱	۰/۰۰	۰/۱۰	۰/۱۱	۰/۲۲	محمد آباد
۰/۱۹	۰/۱۹	۰/۰۰	۰/۱۳	۰/۰۶	۰/۰۰	۰/۱۷	۰/۲۶	۰/۱۷	۰/۰۰	۰/۱۲	۰/۱۷	مرحمت آباد

جدول ۴-۵: مقادیر بارش و تغذیه سالانه محاسبه شده برای آبخوان سمنان

سال آبی	بارش (میلی متر)	تغذیه (میلیون متر مکعب در سال)
۸۸-۸۹	۱۲۰/۴	۵/۹۸
۸۹-۹۰	۱۱۰/۹	۴/۱۹
۹۰-۹۱	۱۸۳/۲	۶/۷۵
۹۱-۹۲	۱۰۶/۲	۵/۱۵
۹۲-۹۳	۱۰۲	۴/۷۴
۹۳-۹۴	۱۲۵/۲	۳/۵۵
۹۴-۹۵	۱۰۶/۷	۳/۳۳
۹۵-۹۶	۱۱۰/۴	۲/۳۱
۹۶-۹۷	۷۵/۳	۲/۴۷
۹۷-۹۸	۱۸۳/۱	۵/۷۰
۹۸-۹۹	۱۵۵/۴	۴/۹۷
میانگین	۱۲۶	۴/۴۳



شکل ۴-۸: هیستوگرام بارش و تغییرات تغذیه به آبخوان سمنان

۴-۳- محاسبه تغذیه به آبخوان سمنان با استفاده از روش بیلان جرمی کلر

تخمین تغذیه به آبخوان سمنان در سال آبی ۹۸-۹۹ به روش بیلان جرمی کلر طبق معادله ۴-۲ انجام شده است.

$$R = PC_p / C_{gw}$$

معادله ۴-۲

R در این رابطه تغذیه سالانه آب زیرزمینی (mm)، P بارش سالانه (mm)، C_p غلظت کلر در بارش (mg/l) و C_{gw} غلظت کلر در آب زیر زمینی (mg/l) می باشد.

۴-۳-۱- غلظت کلر بارش در محدوده آبخوان سمنان

تعداد ۳ نمونه بارش در ماه اسفند ۱۳۹۸ و یک نمونه بارش در آذرماه ۱۳۹۹ جمع آوری شده و غلظت یون-های اصلی در آزمایشگاه آب و محیط زیست دانشگاه صنعتی شاهرود اندازه گیری گردید. مقدار غلظت یون کلر در نمونه های بارش در جدول ۴-۶ و موقعیت آن ها در شکل ۴-۹ آورده شده است. مقادیر یون کلر در بارش از ۱/۵ تا ۲/۳ میلی گرم در لیتر متغیر بوده و متوسط آن ۱/۷ میلی گرم بر لیتر تعیین گردید.

جدول ۴-۶: غلظت یون کلر بارش در محدوده آبخوان سمنان

ردیف	نام	Cl (mg/l)
۱	P1	۲/۳
۲	P2	۱/۵
۳	P3	۱/۵
۴	P4	۱/۵
میانگین		۱/۷

۴-۳-۲- غلظت کلر آب زیرزمینی در آبخوان سمنان

تعداد ۳۶ نمونه آب زیرزمینی در دی ماه و بهمن ماه ۱۳۹۹ از آبخوان سمنان، برداشت و غلظت یون کلر آن‌ها در آزمایشگاه اندازه‌گیری گردید. مقادیر غلظت یون کلر در جدول (۴-۷) و موقعیت نمونه‌ها در شکل ۴-۹ ارائه شده است. مقادیر غلظت یون کلر در آبخوان سمنان بین ۳۹ تا ۱۸۹۲ میلی گرم بر لیتر بوده و متوسط غلظت یون کلر آبخوان برابر ۳۹۰ میلی گرم در لیتر می‌باشد.

جدول ۴-۷: مقادیر غلظت کلر در نمونه های آب زیرزمینی آبخوان سمنان

ردیف	نام	Cl (mg/l)	ردیف	نام	Cl (mg/l)
۱	W1	۳۶۳	۱۹	W20	۴۶۰
۲	W3	۵۷	۲۰	W21	۱۴۹
۳	W4	۲۰۱	۲۱	W22	۱۰۲
۴	W5	۲۲۲	۲۲	W23	۱۳۸
۵	W6	۳۹/۲	۲۳	W24	۱۰۸
۶	W7	۲۴۴	۲۴	W25	۴۹۰
۷	W8	۲۸۸	۲۵	W26	۲۰۴
۸	W9	۱۱۱	۲۶	W27	۱۹۵
۹	W10	۵۱	۲۷	W28	۱۳۱
۱۰	W11	۳۳۹	۲۸	W29	۷۹۲
۱۱	W12	۵۶۰	۲۹	W30	۳۵۶
۱۲	W13	۱۰۰۸	۳۰	W31	۱۶۵
۱۳	W14	۵۴۰	۳۱	W32	۶۰/۸
۱۴	W15	۴۰۰	۳۲	W33	۲۲۲
۱۵	W16	۸۸۲	۳۳	W34	۳۹۰
۱۶	W17	۱۵۰۵	۳۴	W35	۲۹۶
۱۷	W18	۲۶۴	۳۵	W36	۱۸۹۲
۱۸	W19	۴۲۳	میانگین		۳۹۰

۴-۳-۳ محاسبه تغذیه به روش بیلان جرمی کلر

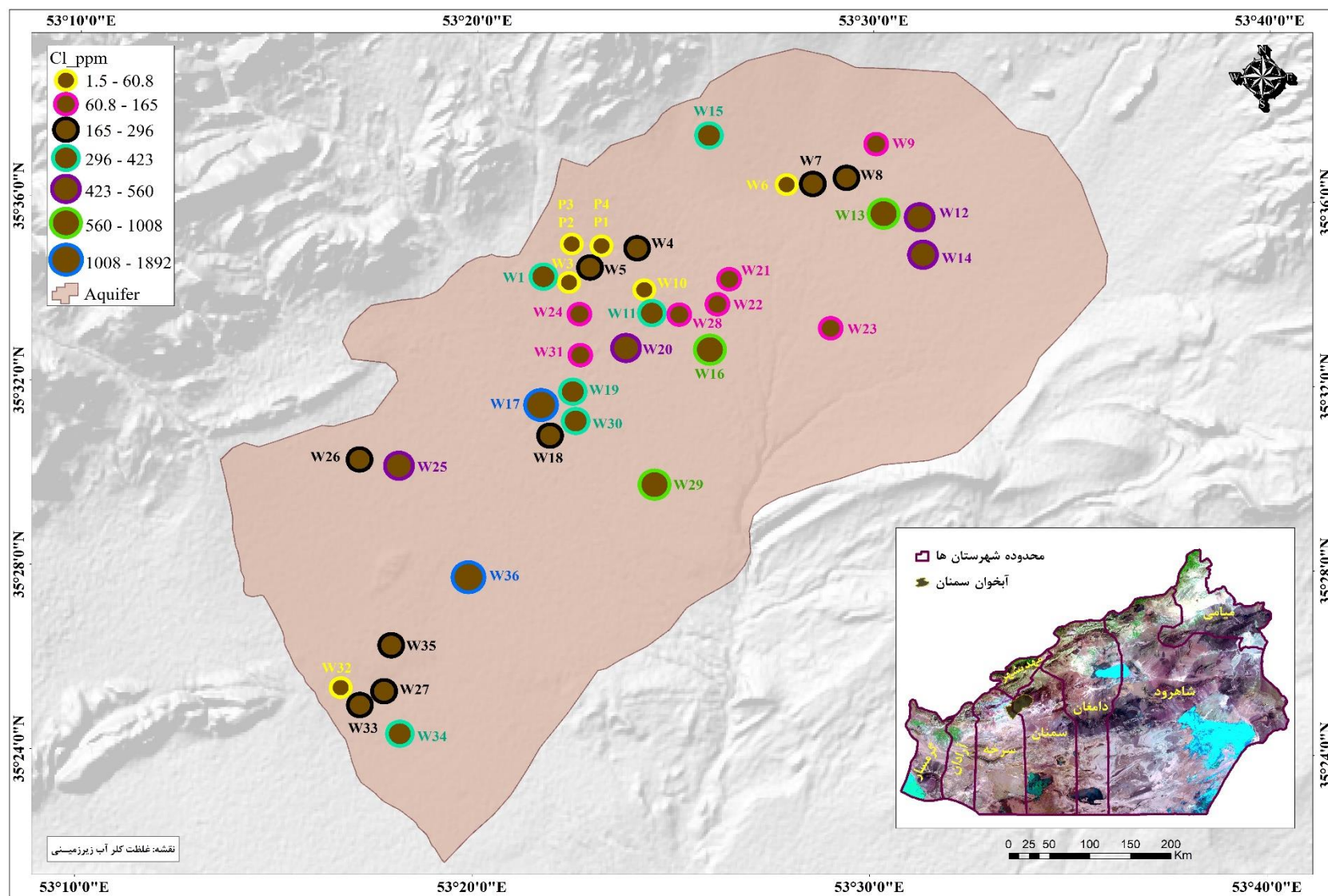
مقدار تغذیه به آبخوان سمنان پس از اندازه گیری مقادیر غلظت یون کلر در آب زیرزمینی و بارش محاسبه گردید که نتایج آن در جدول ۴-۸ آورده شده است. بیشترین مقدار تغذیه به روش بیلان کلر ۳/۶۶ میلیون متر مکعب در سال و کمترین مقدار آن ۰/۰۸ میلیون متر مکعب در سال می باشد.

با توجه به افزایش میزان یون کلر متناسب با افزایش سدیم، به نظر می رسد فرآیند انحلال نمک در آبخوان سمنان سبب افزایش میزان یون کلر شده و منبع اضافی علاوه بر تبخیر و تعرق برای یون کلر محسوب می شود. لذا به منظور محاسبه میانگین تغذیه به روش بیلان جرمی کلر از داده های آب زیرزمینی با حداقل

غلظت کلر (W3, W6, W9, W10, W22, W32) استفاده شده است بر این اساس میانگین تغذیه به آبخوان سمنان بر اساس روش بیلان جرمی کلر برابر ۲/۵ میلیون متر مکعب در سال برآورد می‌گردد.

جدول ۴-۸: محاسبه مقادیر تغذیه به آبخوان سمنان به روش بیلان جرمی کلر

تغذیه (MCM/y)	نام	ردیف	تغذیه (MCM/y)	نام	ردیف
۰/۹۶	W20	۱۹	۰/۴۰	W1	۱
۱/۴۱	W21	۲۰	۲/۵۲	W3	۲
۱/۰۴	W22	۲۱	۰/۷۱	W4	۳
۱/۳۳	W23	۲۲	۰/۶۵	W5	۴
۰/۲۹	W24	۲۳	۳/۶۶	W6	۵
۰/۷۰	W25	۲۴	۰/۵۹	W7	۶
۰/۷۴	W26	۲۵	۰/۵۰	W8	۷
۱/۱۰	W27	۲۶	۱/۲۹	W9	۸
۰/۱۸	W28	۲۷	۲/۸۱	W10	۹
۰/۴۰	W29	۲۸	۰/۴۲	W11	۱۰
۰/۸۷	W30	۲۹	۰/۲۶	W12	۱۱
۲/۳۶	W31	۳۰	۰/۱۴	W13	۱۲
۰/۶۵	W32	۳۱	۰/۲۷	W14	۱۳
۰/۳۷	W33	۳۲	۰/۳۶	W15	۱۴
۰/۴۸	W34	۳۳	۰/۱۶	W16	۱۵
۰/۰۸	W35	۳۴	۰/۱۰	W17	۱۶
۰/۹۶	W36	۳۵	۰/۵۴	W18	۱۷
			۰/۳۱	W19	۱۸



شکل ۴-۹: موقعیت نقاط نمونه برداری از آبخوان سمنان و غلظت کلر آن‌ها

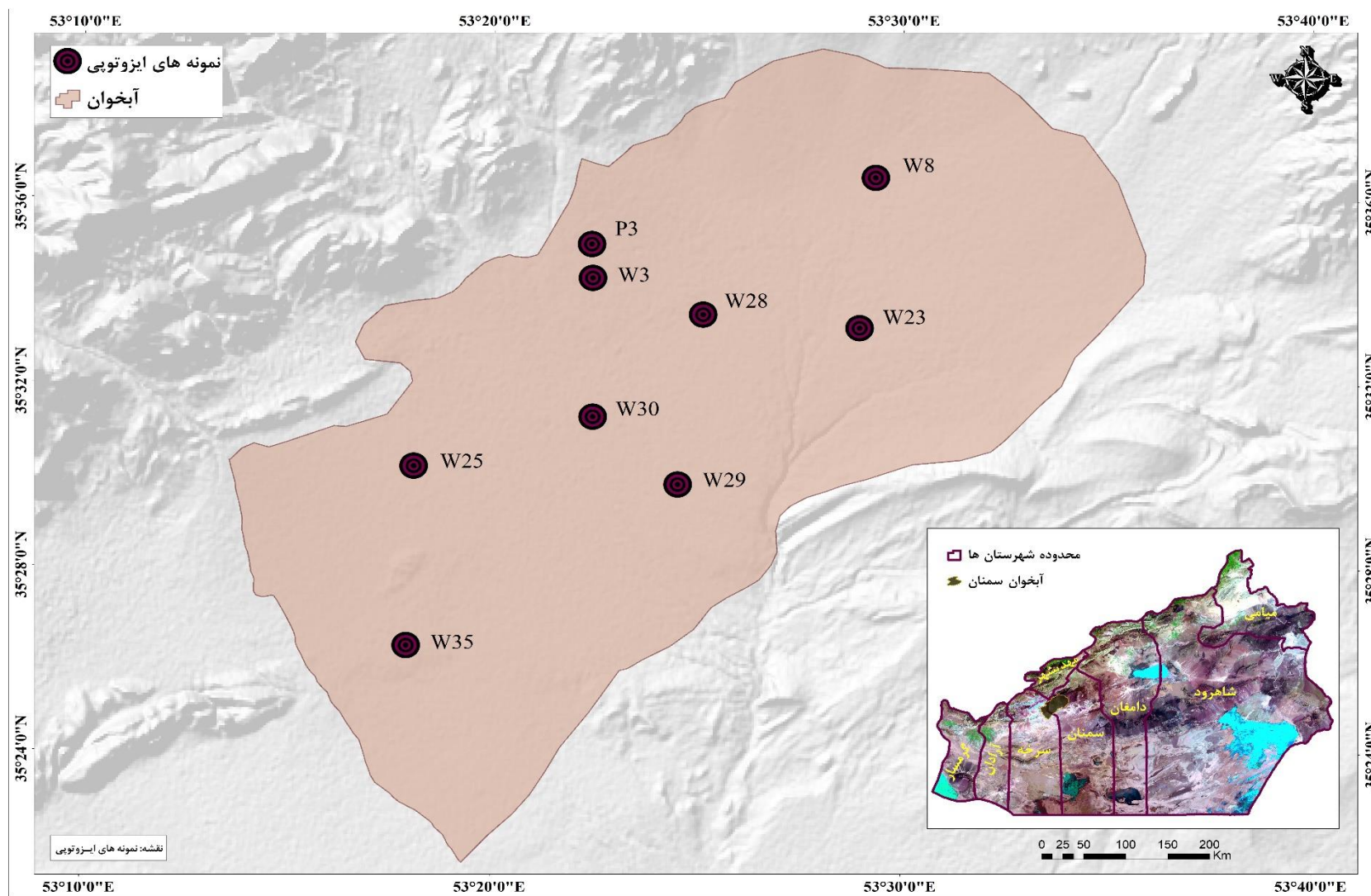
۴-۴- مطالعات ایزوتوپی آبخوان سمنان

به منظور بررسی ایزوتوپی آبخوان سمنان، تعداد ۸ نمونه آب زیرزمینی و ۱ نمونه بارش برای آنالیز اکسیژن ۱۸ و دوتریوم به آزمایشگاه شرکت مصباح انرژی اراک ارسال گردید. موقعیت نمونه‌ها در شکل ۴-۱۰ نشان داده شده است. بر اساس نتایج مقادیر اکسیژن ۱۸ در نمونه‌های آب زیرزمینی از $6/73\%$ تا $11/96\%$ و مقادیر دوتریوم از $51/74\%$ تا $68/13\%$ متغیر می‌باشد. نتایج حاصل از بررسی‌های ایزوتوپی آبخوان سمنان جهت تخمین تغذیه به شرح ذیل ارائه می‌گردد.

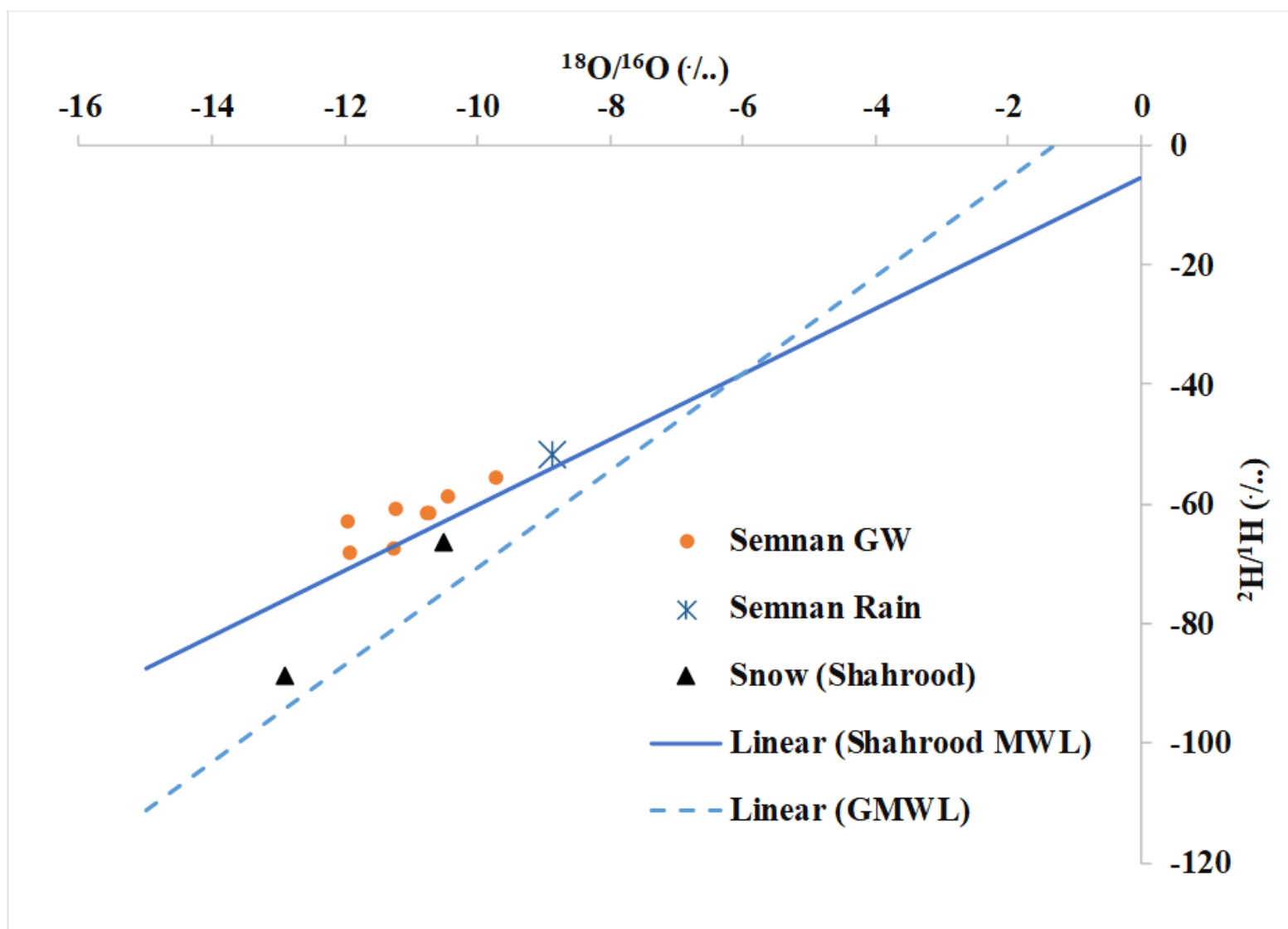
۱- به دلیل عدم وجود خط ایزوتوپی جوی در محدوده آبخوان سمنان در این تحقیق از خط آب جوی محلی شاهرود (Kazemi et al. 2015) استفاده شد (شکل ۴-۱۱). قرارگیری نمونه بارش برداشت‌شده از محدوده دشت سمنان بر روی خط آب جوی محلی تأییدی بر صحت استفاده از این خط در محدوده آبخوان سمنان می‌باشد.

۲- نمونه‌های آب زیرزمینی آبخوان سمنان نسبت به خط آب جوی محلی جابجایی (Shift) نشان نمی‌دهند که این موضوع می‌تواند بیانگر عدم تبخیر از نمونه‌های آب زیرزمینی در طی مسیر از محل تغذیه تا سفره آب زیرزمینی باشد.

۳- تهی‌تر بودن محتوای ایزوتوپی نمونه‌های آب زیرزمینی سمنان نسبت به نمونه بارش محلی برداشت شده از سطح این دشت، بیانگر تغذیه آب زیرزمینی از مناطق با ارتفاع بیشتر می‌باشد. ترسیم محتوای ایزوتوپی نمونه‌های برف برداشت شده از منطقه شاهرود (Kazemi et al. 2015) تغذیه احتمالی از مناطق با ارتفاع بالاتر در محدوده آبخوان سمنان را تأیید می‌نماید. با توجه به غنی‌تر بودن احتمالی نمونه‌های برف منطقه سمنان نسبت به شاهرود، می‌توان انتظار داشت نمونه‌های آب زیرزمینی آبخوان سمنان حاصل اختلاط نمونه برف و بارش محلی در سطح دشت باشد. با توجه به عدم دسترسی به محتوای ایزوتوپی برف سمنان تعیین درصد اختلاط و سهم بارش محلی در تغذیه آب زیرزمینی امکانپذیر نمی‌باشد (شکل ۴-۱۱).



شکل ۴-۱: موقعیت نقاط نمونه برداری از آب زیرزمینی (W) و بارش (P) جهت آنالیز ایزوتوپی



شکل ۴-۱۱: ارتباط مقادیر اکسیژن ۱۸ و دوتریم در بارش و آب زیرزمینی سمنان

۴-۵- محاسبه تغذیه به آبخوان سمنان با استفاده از روش بیلان آب

براساس اصل بقای ماده که در معادله بیلان آب بیان شده است، جهت بررسی بیلان آب زیرزمینی نیاز است هر گونه ورودی‌ها (تغذیه سطحی و جریان‌های زیرزمینی از هر منشأ)، خروجی‌ها (جریان‌های خروجی آب زیرزمینی و چاه‌های بهره‌برداری) و تغییرات حجم سفره زیرزمینی مورد بررسی قرار گیرد.

معادله بیلان آب برای تخمین تغذیه به صورت زیر می‌باشد:

$$R = Q^{gw}_{off} - Q^{gw}_{on} + Q^{bf} + ET^{gw} + \Delta S^{gw} \quad \text{معادله ۳-۴}$$

R تغذیه آب زیرزمینی، Q^{gw}_{off} جریان خروجی آب زیرزمینی، Q^{gw}_{on} جریان ورودی آب زیرزمینی، Q^{bf} زهکشی از آب زیرزمینی، ET^{gw} تبخیر و تعرق از آب زیرزمینی و ΔS^{gw} تغییرات به وجود آمده در ذخیره آب زیرزمینی می‌باشد.

بیلان آب برای آبخوان سمنان با مساحت ۵۴۳ کیلومتر مربع برای سال آبی ۹۸ تا ۹۹ محاسبه شده است. اجزای مهم بیلان شامل جریان‌های خروجی و ورودی و تغییرات در ذخیره آبخوان در ادامه مورد بحث قرار می‌گیرد.

۴-۵-۱- جریان‌های ورودی و خروجی آبخوان سمنان

جریان‌های ورودی و خروجی به آبخوان برابر دبی اندازه‌گیری شده در کانال‌های جریان واقع در مرز ورودی و خروجی آبخوان هستند. هر کانال جریان به عنوان یک جریان فرضی است که بر روی نقشه هم‌پتانسیل در بین دو خط جریان قرار گرفته و مسیر آن‌ها عمود بر منحنی هم‌پتانسیل ترسیم می‌شود. دبی ورودی و خروجی در هر کانال جریان بر طبق معادله زیر محاسبه می‌شود.

$$Q_i = T_i W \quad \text{معادله ۵-۴}$$

Q_i دبی ورودی یا خروجی به / از آبخوان (m^3/day)، W عرض لوله جریان (m)، i شیب هیدرولیکی در محدوده لوله جریان و T قابلیت انتقال در لوله جریان (m^2/day) می‌باشد.

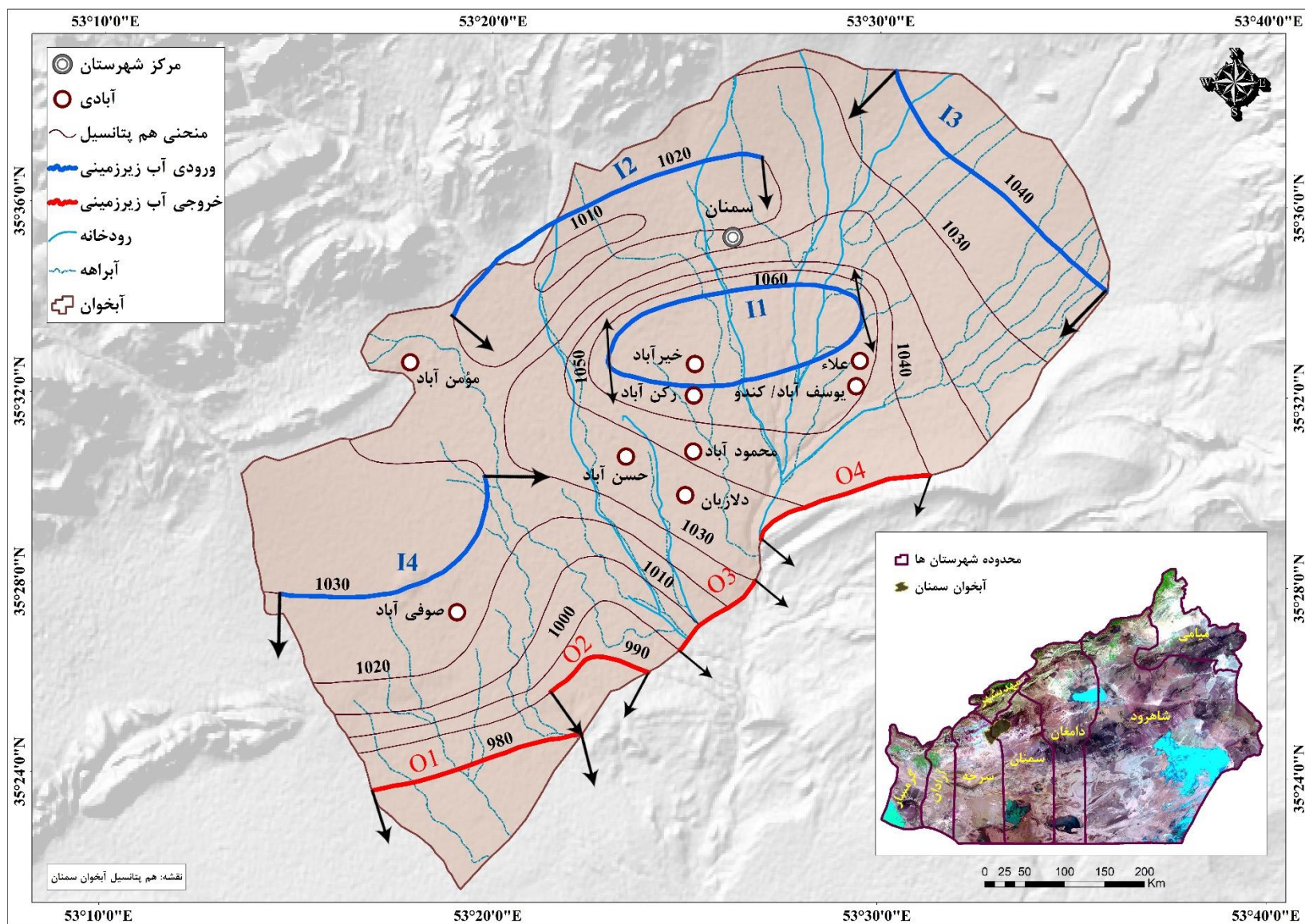
۴-۵-۲- حجم جریان ورودی آب زیرزمینی به آبخوان

بر اساس نقشه همپتانسیل آبخوان سمنان، عمده تغذیه به آبخوان از بخش‌های شرقی و شمال آبخوان صورت می‌گیرد (شکل ۴-۱۲).

بر طبق نقشه همپتانسیل چهار ورودی آب زیرزمینی به آبخوان سمنان مشخص شده است (جدول ۴-۹). براساس مطالعات قبلی انجام شده (کرمی ۱۳۹۹) قابلیت انتقال برای مقاطع ورودی ۳۰۰ تا ۴۰۰ مترمربع بر روز محاسبه شد. گرادیان هیدرولیکی نیز در آبخوان بر اساس نقشه همپتانسیل ۰/۰۵ تا ۰/۰۱ تعیین گردید. با توجه به نتایج بیشترین حجم ورودی به آبخوان سمنان متعلق به لوله I1 با مقدار ۱۰۸۲۰۰ مترمکعب در روز و کمترین حجم ورودی مربوط به لوله I3 با مقدار ۴۴۰۰ متر مکعب در روز تعیین شد. حجم کل ورودی به آبخوان برابر ۴۷/۸۵ میلیون مترمکعب در سال می‌باشد.

۴-۵-۳- حجم جریان خروجی آب زیرزمینی

بر اساس نقشه همپتانسیل (شکل ۴-۱۲) خروجی آبخوان عمدتاً در بخش جنوبی و جنوب‌غربی می‌باشد با توجه به فرمول دارسی حجم کل جریان خروجی زیرزمینی از آبخوان حدود ۱۳/۴۷ میلیون مترمکعب در سال می‌باشد.



شکل ۴-۱۲: نقشه هم پتانسیل آبخوان سمنان (شهریور ۱۳۹۹)

جدول ۴-۹: محاسبه ورودی‌ها و خروجی‌های آب‌زیرزمینی به/از آبخوان سمنان

مقطع	جمع (متر مکعب در روز)	حجم جریان (متر مکعب در روز)	قابلیت انتقال (متر مربع در روز)	گرادیان هیدرولیکی	عرض مقطع (متر)	شماره مقطع
ورودی	۱۳۱۱۰۰	۱۰۸۲۰۰	۴۰۰	۰/۰۱	۲۰۷۰۰	I1
		۶۵۰۰	۴۰۰	۰/۰۰۱	۱۳۰۰۰	I2
		۴۴۰۰	۴۰۰	۰/۰۰۲	۱۲۰۰۰	I3
		۱۲۰۰۰	۳۰۰	۰/۰۰۵	۸۰۰۰	I4
خروجی	۳۶۹۲۰	۱۷۰۰۰	۴۰۰	۰/۰۰۵	۸۵۰۰	O1
		۹۰۰۰	۴۰۰	۰/۰۰۵	۴۵۰۰	O2
		۵۵۲۰	۳۰۰	۰/۰۰۴	۴۶۰۰	O3
		۵۴۰۰	۳۰۰	۰/۰۰۴	۴۵۰۰	O4

۴-۵-۴- میزان تبخیر و تعرق

مطالعات انجام گرفته بیانگر این است که در مناطقی که آب‌زیرزمینی بیشتر از ۵ متر از سطح زمین عمق داشته باشد، عامل تبخیر و تعرق برابر با صفر است. در آبخوان سمنان سطح آب زیرزمینی همواره عمقی بیشتر از ۵ متر دارد که نشان‌دهنده عدم تبخیر و تعرق از آبخوان می‌باشد.

۴-۵-۵- حجم آب زهکشی شده از آبخوان سمنان

به‌دلیل عدم وجود رودخانه دائمی در دشت سمنان مقدار زهکشی آب از آبخوان برابر صفر می‌باشد. میزان برداشت از آبخوان توسط چاه‌های بهره‌برداری برابر با ۵۵ میلیون متر مکعب در سال می‌باشد.

۴-۵-۶- تغییرات حجم ذخیره آبخوان سمنان

نوسانات حجم مخزن در دوره بیلان طبق معادله زیر تعیین می‌شود.

$$V = A \times h \times Sy \quad \text{معادله ۴-۶}$$

V تغییرات حجم ذخیره آبخوان، A مساحت آبخوان، h افت سالیانه و Sy آبدهی ویژه آبخوان است. میانگین افت سالیانه آبخوان سمنان ۰/۸ متر در سال و مقدار متوسط آبدهی ویژه ۰/۰۳ می‌باشد. بنابراین

تغییرات حجم ذخیره آبخوان برابر با ۱۳- میلیون متر مکعب تعیین گردید. عدد منفی نشان‌دهنده کسری مخزن می‌باشد.

۴-۵-۷- محاسبه تغذیه به روش بیلان آب

با توجه به محاسبه مؤلفه‌های مختلف بیلان برای آبخوان سمنان مقدار تغذیه به آبخوان سمنان برابر ۷/۶ میلیون متر مکعب در سال برآورد شد (جدول ۴-۱۰). لازم به ذکر است این عدد برابر مجموع تغذیه به آبخوان شامل تغذیه ناشی از بارش و تغذیه ناشی از آب برگشتی می‌باشد.

جدول ۴-۱۰: اجزای بیلان آبخوان سمنان

مؤلفه‌های بیلان	حجم (میلیون متر مکعب در سال)
جریان ورودی آب‌زیرزمینی به آبخوان سمنان	۴۷/۸۵
جریان خروجی آب‌زیرزمینی از آبخوان سمنان	۱۳/۴۷
حجم بهره‌برداری از آبخوان سمنان	۵۵
تغییرات حجم ذخیره آبخوان	-۱۳
مقدار کل تغذیه به آبخوان سمنان	۷/۶

۴-۶- نتایج مطالعات تخمین تغذیه به آبخوان سمنان

تخمین تغذیه به ۴ روش شامل نوسانات سطح ایستابی، بیلان جرمی کلر، ایزوتوپ‌های پایدار و بیلان آب در آبخوان سمنان انجام پذیرفت (جدول ۴-۱۱).

با توجه به مقادیر محاسبه شده در روش بیلان جرمی کلر میزان تغذیه حدود ۲/۵ میلیون متر مکعب در سال بوده که این مقدار مربوط به تغذیه ناشی از بارش می‌باشد.

با توجه به عدم انحراف در نمودارهای ایزوتوپ اکسیژن ۱۸ و دوتریم تخمین تغذیه با استفاده از روش ایزوتوپی امکانپذیر نمی‌باشد. این موضوع بیانگر نرخ اندک تغذیه به آبخوان می‌باشد.

مقدار کل تغذیه به آبخوان سمنان (بارش و آب برگشتی) که به روش بیلان آب محاسبه شده است حدود ۷/۶ میلیون متر مکعب در سال می‌باشد. با احتساب ضریب ۱۰ درصد برای آب برگشتی حجم تغذیه ناشی از آب برگشتی حدود ۵/۵ میلیون متر مکعب در سال و بنابراین حجم تغذیه ناشی از بارش حدود ۲/۱ میلیون مترمکعب در سال می‌باشد. با توجه به میزان تغذیه محاسبه شده به روش نوسان سطح ایستابی (حدود ۴/۴ میلیون متر مکعب در سال) میزان تغذیه ناشی از بارش به آبخوان سمنان حدود ۲ تا ۴ میلیون متر مکعب در سال (متوسط ۳ میلیون متر مکعب در سال) برآورد می‌گردد.

جدول ۴-۱۱: مقادیر محاسبه شده تغذیه به آبخوان سمنان در روش‌های مختلف

روش محاسبه تغذیه	مقدار تغذیه (میلون متر مکعب در سال)
نوسانات سطح ایستابی	۴/۴
بیلان آب (تغذیه کل)	۷/۶
بیلان جرمی کلر (تغذیه ناشی از بارش)	۲/۵

فصل پنجم

نتیجہ گیری و پیشہاوا

۵-۱- مقدمه

در این تحقیق میزان تغذیه به آبخوان سمنان به روش‌های مختلف شامل نوسانات سطح ایستابی، بیلان جرمی کلر، ایزوتوپی و بیلان آبی برآورد گردید. در ادامه جمع بندی نتایج ارائه شد و پیشنهاداتی ذکر شده است.

۵-۲- نتایج

- تمامی پیزومترها در آبخوان سمنان تقریباً طی دوره ۱۱ ساله (۸۸ تا ۹۹) روند نزولی دارند. بیشترین نرخ افت $1/6$ متر در سال متعلق به پیزومتر شرق فرودگاه ۱ و کمترین افت با مقدار $0/1$ متر در سال متعلق به پیزومتر خرم آباد ۱ می‌باشد.
- هیدروگراف معرف آبخوان سمنان روند نزولی داشته و متوسط نرخ افت $0/8$ متر در سال می‌باشد.
- بر اساس مطالعات قبلی انجام شده در آبخوان سمنان آبدهی ویژه آبخوان از $0/0008$ تا $0/06$ متغیر بوده و میانگین آن برابر $0/03$ (۳ درصد) می‌باشد.
- مقدار بالا آمدگی سالیانه سطح ایستابی در هر پیزومتر طی دوره ۱۱ ساله (۸۸ تا ۹۹) محاسبه شد. بالا آمدگی سطح ایستابی در پیزومترهای آبخوان سمنان از حداقل $0/0001$ متر در سال تا ۳ متر در سال متغیر است.
- محاسبات مقدار تغذیه با استفاده از روش نوسانات سطح ایستابی در دوره ۱۱ ساله (۸۸ تا ۹۹) نشان می‌دهد، بیشترین مقدار تغذیه از بارش به میزان حدود $6/75$ میلیون متر مکعب مربوط به سال آبی ۹۰ تا ۹۱ و کمترین آن به میزان حدود $2/31$ میلیون متر مکعب مربوط به سال آبی ۹۵ تا ۹۶ می‌باشد.
- متوسط تغذیه به روش نوسانات سطح ایستابی حدود $4/4$ میلیون متر مکعب در سال می‌باشد.

- غلظت یون کلر با میانگین ۱/۷ گرم بر لیتر در بارش و میانگین ۳۹۰ گرم بر لیتر در آب زیرزمینی تعیین گردید. میانگین تغذیه به روش بیلان جرمی کلر حدود ۲/۵ میلیون متر مکعب محاسبه شد.
- بر اساس نتایج آنالیز ایزوتوپی تأثیر عامل تبخیر و تعرق در فرآیند تغذیه قابل شناسایی نبوده که این موضوع نقش ناچیز تغذیه سطحی بر آبخوان را تأیید می‌نماید.
- تغذیه به روش بیلان آب برای آبخوان سمنان با مساحت ۵۴۳ کیلومتر مربع برای سال آبی ۹۸ تا ۹۹ محاسبه شد. با توجه به نتایج مجموع تغذیه کل (بارش و آب برگشتی) با استفاده از روش بیلان ۷/۶ میلیون متر مکعب در سال تعیین شد.
- بر اساس جمع‌بندی نتایج بدست آمده از روش‌های بیلان جرمی کلر، بیلان آب، نوسانات سطح ایستابی و ایزوتوپی مقدار تغذیه سطحی آبخوان سمنان ناشی از بارش حدود ۲ تا ۴ میلیون متر مکعب در سال (میانگین ۳ میلیون متر مکعب در سال) بوده که حدود ۵ درصد بارش سالانه می‌باشد.

۵-۳- پیشنهادات

- جهت بررسی دقیق‌تر لازم است شبکه پایش آب‌زیرزمینی به‌صورت کامل در آبخوان سمنان احداث کرد.
- جهت تعیین مقادیر دقیق‌تر میزان تغذیه استفاده از روش‌های دیگر همانند مدلسازی آب‌زیرزمینی و سن‌سنجی پیشنهاد می‌شود.
- با توجه به کاهش بارندگی و کاهش حجم ذخیره آبخوان در سال‌های اخیر، مدیریت دقیق بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی باید مورد توجه قرار بگیرد.

منابع

- کردوانی، پ. (۱۳۸۵). "ژئوهیدرولوژی" چاپ سوم، انتشارات دانشگاه تهران، ف ۷
- اصغری مقدم، الف. (۱۳۸۹). "اصول شناخت آبهای زیرزمینی" چاپ اول، انتشارات دانشگاه تبریز، ص ۳۴۹
- شیخ الاسلامی، م. جوادی، ح. اسدی سرشار، م. آقاحسینی، ا. کوهپیمای، م. وحدتی دانشمند، ب. (۱۳۹۳) "دانشنامه گسله‌های ایران" چاپ دوم، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور
- علیزاده، ا. (۱۳۸۸). "اصول هیدرولوژی کاربردی" چاپ بیست و هفتم، دانشگاه امام رضا (ع)، ف ۱۵
- علوی نائینی، م. (۱۳۸۸). "چکیده‌ای از چینه شناسی ایران" چاپ اول، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور
- کریمی، ث. محمدی، ض. سامانی، ن. (۱۳۹۶). "بررسی خصوصیات هیدروشیمیایی آب زیرزمینی و روند تکامل شوری آن در دشت سمنان" مقاله دانشگاه تبریز
- کرمی، غ. (۱۳۸۹). "مطالعات برآورد ضرایب هیدرودینامیکی دشت سمنان - ایوانکی شرکت آب منطقه ای سمنان"
- مسموعی، م. جعفری، ه. امیریگی، م. (۱۳۹۳). "تجزیه و تحلیل بلندمدت نوسانات سطح ایستابی آبخوان هرات در یک دوره بیست ساله" اولین کنفرانس ملی جغرافیا، گردشگری، منابع طبیعی و توسعه پایدار، تهران.
- مسموعی، م. (۱۳۹۳). "تخمین تغذیه به آبخوان هرات در استان یزد بر پایه مطالعات نوسان سطح ایستابی" پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه صنعتی شاهرود.
- عربی جوانمرد، ز. (۱۳۹۵). "تغییرات زمانی تغذیه به آبخوان آبرفتی الشتر، استان لرستان" پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شاهرود.
- سوده‌گی، ع. (۱۳۹۶). "تخمین تغذیه به آبخوان آبرفتی بیرجند" پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شاهرود.

- میرباقری ر، (۱۴۰۰). "برآورد آبدهی ویژه بر اساس داده‌های آزمایش پمپاژ تک چاهی، مطالعه موردی دشت‌های سمنان، ایوانکی و گرمسار" پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شاهرود.
- علیرضایی، ف. (۱۴۰۰). "نرخ تغذیه آب زیرزمینی و تغییرات زمانی آن در آبخوان آبرفتی قائم شهر - جویبار" پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شاهرود.
- نقشه زمین شناسی ۱/۲۵۰۰۰۰ سمنان، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور
- Allison, G. B., Hughes, M. W. (1983). "The use of natural tracers as indicators of soil-water movement in a temperate semi-arid region". *J. Hydrol.*, 60, 157–173.
- Atta-Darwa, T., Kyei- Baffour, N., Ofori, E., Mensah, E., Agyare, W. A. (2013). "Quantification of groundwater recharge in the river Oda catchment using the watertable fluctuation method".
- Clark, I., Fritz, P. (1987), " Environmental isotopes in Hydrogeology".
- Delin, G. N., Herkelrath, W. N. (2005). "Use of soil moisture probes to estimate ground water recharge at an oil spill site". *J. Amer. Water Resour. Assoc.*, 41, 1259–1277.
- Delin, G. N., Healy, R. W., Lorenz, D. L. and Nimmo, J. R. (2007). "Comparison of local-to regional-scale estimates of ground-water recharge in Minnesota". *USA. J. Hydrol.*, 334, 231–249.
- Demlie, Molla. 2015. "Assessment and Estimation of Groundwater Recharge for a Catchment Located in Highland Tropical Climate in Central Ethiopia Using Catchment Soil - Water Balance (SWB) and Chloride Mass Balance (CMB) Techniques." *Environmental Earth Sciences.*, 74, 1137–50.
- Faunt, C. C. (ed.) (2009). "Groundwater availability of the Central Valley aquifer, California". *US Geological Survey Professional Paper* 1766.
- Fisher, L. H., Healy, R. W. (2008). "Water movement within the unsaturated zone in four agricultural areas of the United States". *J. Environ. Qual.*, 37, 1051–1063.
- Gurdak, J. J., Roe, C. D. (2009). "Recharge rates aquifer: a literature review and synthesis". *US Geological Survey Circular* 1333.
- Healy, R. W., Cook, P. G. (2002). "Using groundwater levels to estimate recharge". *Hydrogeol. J.*, 10, 91–109.

- Johnson, A. I. (1967). "Specific yield: compilation of specific yields for various materials". US Geological Survey Water-Supply Paper 1662-D.
- Lee, J., Myeong-Jae, Y., Daekyoo Hwang. (2005). "Dependency of Hydrologic Responses and Recharge Estimates on Water-Level Monitoring Locations within a Small Catchment." *Geosciences Journal.*, 9(3), 277–86.
- Mekki, O., Laftouhi, N., Hanich, L. (2015). " Estimate of regional groundwater recharge rate in the Central Haouz Plain, Morocco, using the chloride mass balance method and a geographical information system"
- Mensah, F., Alo, C., Yidana, S. (2014). " Evaluation of Groundwater Recharge Estimates in a Partially Metamorphosed Sedimentary Basin in a Tropical Environment: Application of Natural Tracers
- Pool, D. R. (2005). "Variations in climate and ephemeral channel recharge in southeastern Arizona, United States". *Water Resour. Res.*, 41, 1–24.
- Rasmussen, W. C., Andreasen, G. E. (1959). "Hydrologic budget of the Beaverdam Creek Basin, Maryland". US Geological Survey Water-Supply Paper 1472.
- Rushton, K., 1997. "Recharge from permanent water bodies. In: Simmers I (ed) *Recharge of phreatic aquifers in (semi)arid areas*". AA Balkema, Rotterdam., pp 215–255
- Scanlon, B. R., Andraski, B. J., Bilskie, J. (2002). "Miscellaneous methods for measuring matric or water potential".
- Scanlon, B.R., R.W. Healy, P.G. Cook, (2002). "Choosing appropriate techniques for quantifying groundwater recharge". *Hydrogeology Journal.*, 10,18-39.
- Séraphin, P.,Vallet-Coulomb, CH., Gonçalves, J.(2016)" Partitioning groundwater recharge between rainfall infiltration and irrigation return flow using stable isotopes: The Crau aquifer"
- Simmers, I. (ed.) (1999). "Recharge of Phreatic Aquifers in (Semi-) Arid Areas". Rotterdam: A. A. Balkema.
- Simmons, C. T., Hong, H., Wye, D., Cook, P. G., Love, A. J. (1999). "Signal propagation and periodic response in aquifers: the effect of fractures and signal measurement methods". *Water 99 Joint Congress*, 727–732.

- Todd, D. K., Mays, L. W., (2005), "Groundwater Hydrogeology, third Edition". John Wiley and Sons, New York., pp,625
- Cohen, S. J. (1986), Impacts of CO₂-induced Climatic change on water resources in the Great Lakes Basin, Climatic Change, 8, 135-153.
- Jafari, H., 2010. Physiochemical characteristics of irrigation return flow in a semi-arid agricultural region, Iran. [PhD thesis]: Department of Earth Sciences, Shiraz University. Shiraz.
- Khan, S., Gabriel, H. F., Rana, T., (2008). Standard precipitation index to track drought and assess impact of rainfall on watertables in irrigation areas. Irrig Drainage Syst . 22:159–177.
- Shahid, Sh., Hazarika, M. K., (2009). Groundwater Drought in the Northwestern District of Bangladesh. Water Resour Manage DOI10.1007/s11269-009-9534-y.
- Chatfield, C., 1982. —The analysis of time series; Theory and practice. London, Chapman and Hall.
- Samani, N., 2001. —Response of karst aquifers to rainfall and evaporation, Maharlou basin, Iran. J. Cave and Karst Studies. 63, p. 33-40.
- Sang K.M, Nam, C.W, Kwang, S.Lee. " Statistical analysis of hydrograph and Water-table fluctuation to estimate groundwater recharge. J. Hydrol 292,P. 198-209
- Todd, D. K. and Mays, L. W., (2005), Groundwater Hydrology, third Edition, John Wiley and Sons, New York, pp.625
- Turker, U., Alsalabi, B. S. and Rizza, T., (2012) Water table Fluctuation Analyses and associated empirical approach to predict spatial distribution of Water table at Yes, Ilko Agiosandronikos Aquifer, Environ Earth Sci, Doi 10.1007/s 12665-012-1934-2
- Vadouris, K. S., (2006), Groundwater balance and safe yield of the Coastal Aquifer system in North Eastern Korinthia, Greece, Applied Geography, vol 26, pp.291-311
- Allison, G B et al. 1990. "Land Clearance and River Salinisation in the Western Murray Basin, Australia." Journal of Hydrology 119(1-4): 1–20.
- Delin, Geoffrey N, Richard W Healy, David L Lorenz, and John R Nimmo. 2007. "Comparison of Local-to Regional-Scale Estimates of Ground-Water Recharge in Minnesota, USA." Journal of Hydrology 334(1): 231–49.

- Demlie, Molla. 2015. "Assessment and Estimation of Groundwater Recharge for a Catchment Located in Highland Tropical Climate in Central Ethiopia Using Catchment Soil Water Balance (SWB) and Chloride Mass Balance (CMB) Techniques."
- Environmental Earth Sciences 74: 1137–50. <http://dx.doi.org/10.1007/s12665-015-4099-y>.
- Diouf, Ousmane Coly et al. 2012. "Combined Uses of Water-Table Fluctuation (WTF), Chloride Mass Balance (CMB) and Environmental Isotopes Methods to Investigate Groundwater Recharge in the Thiaroye Sandy Aquifer (Dakar, Senegal)." African Journal of Environmental Science and Technology 6(11): 425–37.
- Dunne, Thomas, Weihua Zhang, and Brian F Aubry. 1991. "Effects of Rainfall, Vegetation, and Microtopography on Infiltration and Runoff." Water Resources Research 27(9): 2271–85.
- Fan, Junliang, Kasper T. Oestergaard, Adrien Guyot, and David A. Lockington. 2014. "Estimating Groundwater Recharge and Evapotranspiration from Water Table Fluctuations under Three Vegetation Covers in a Coastal Sandy Aquifer of Subtropical Australia." Journal of Hydrology 519([Phttp://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.08.039](http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.08.039)).
- Gurdak, Jason J, and Cassia D Roe. 2009. Recharge Rates and Chemistry beneath Playas of the High Plains Aquifer: A Literature Review and Synthesis. US Geological Survey.
- Hagedorn, Benjamin et al. 2011. "Estimating Recharge in Fractured Aquifers of a Temperate Humid to Semiarid Volcanic Island (Jeju, Korea) from Water Table Fluctuations, and Cl, CFC-12 and 3 H Chemistry." Journal of Hydrology 409(3): 650–62.
- Healy, Richard W. 2010. Estimating Groundwater Recharge. Cambridge University Press.
- Healy, Richard W, Thomas C Winter, James W LaBaugh, and O Lehn Franke. 2007. 1308 Water Budgets: Foundations for Effective Water-Resources and Environmental Management. US Geological Survey Reston.
- Houston, John. 2007. "Recharge to Groundwater in the Turi Basin, Northern Chile : An Evaluation Based on Tritium and Chloride Mass Balance Techniques.": 534–44.
- Huntington, Thomas G. 2006. "Evidence for Intensification of the Global Water Cycle: Review and Synthesis." Journal of Hydrology 319(1): 83–95.
- Johnson, Arnold Ivan. 1967. Specific Yield: Compilation of Specific Yields for Various Materials. US Government Printing Office.

- Lee, Jin-Yong, Myeong-Jae Yi, and Daekyoo Hwang. 2005. "Dependency of Hydrologic Responses and Recharge Estimates on Water-Level Monitoring Locations within a Small Catchment." *Geosciences Journal* 9(3): 277–86.
- Maxwell, Reed M, and Stefan J Kollet. 2008. "Interdependence of Groundwater Dynamics and Land-Energy Feedbacks under Climate Change." *Nature Geoscience* 1(10): 665–69.
- McNamara, James P. 2005. "An Assessment of the Potential for Using Water and Chloride Budgets to Estimate Groundwater Recharge in Granitic, Mountain Environments." Final report.
- Obuobie, Emmanuel. 2008. Estimation of Groundwater Recharge in the Context of Future Climate Change in the White Volta River Basin, West Africa. Citeseer.
- Obuobie, Emmanuel, Bernd Diekkrueger, and Barbara Reichert. 2010. "Use of Chloride Mass Balance Method for Estimating the Groundwater Recharge in Northeastern Ghana." *International Journal of River Basin Management* 8(3-4): 245–53.
- Rosenberg, Norman J, Blaine L Blad, and Shashi B Verma. 1983. *Microclimate: The Biological Environment*. John Wiley & Sons.
- Saghravani, Seyed Reza, Ismail Yusoff, Wan Zakaria Wan Md Tahir, and Zainudin Othman. 2015. "Comparison of Water Table Fluctuation and Chloride Mass Balance Methods for Recharge Estimation in a Tropical Rainforest Climate: A Case Study from Kelantan River Catchment, Malaysia." *Environmental Earth Sciences* 73(8): 4419–28.
- Scanlon, Bridget R, Richard W Healy, and Peter G Cook. 2002. "Choosing Appropriate Techniques for Quantifying Groundwater Recharge." *Hydrogeology Journal* 10(1): 18– 39.
- Sharif, S M Shahed, and Sajal Kumar Adhikary. "Analytical Assessment Of Groundwater Recharge Potential for the Ganges-Kobadak (GK) irrigation project area." - Stonestrom, David A, and James R Harrill. 2007. *Ground-Water Recharge in the Arid and Semiarid Southwestern United States-Climatic and Geologic Framework*. Geological Survey (US).
- Sumioka, S S, and Henry Hubert Bauer. 2003. *Estimating Ground-Water Recharge from Precipitation on Whidbey and Camano Islands, Island County, Washington, Water Years 1998 and 1999*. US Department of the Interior, US Geological Survey.
- Tindall, James A, James R Kunkel, and Dean E Anderson. 1999. *3 Unsaturated Zone Hydrology for Scientists and Engineers*. Prentice Hall Upper Saddle River, NJ. - Todd, D K, and L W Mays. 2005. "Groundwater Hydrology." Third Edition, John Wiley & Sons, Inc."

- Touhami, Issam et al. 2015. "Assessment of Climate Change Impacts on Soil Water Balance and Aquifer Recharge in a Semiarid Region in South East Spain." *Journal of Hydrology* 527: 619–29.
- Türker, Umut, Bahaa S Alsalabi, and Temel Rızza. 2013. "Water Table Fluctuation Analyses and Associated Empirical Approach to Predict Spatial Distribution of Water Table at Yeşilköy/AgiosAndronikos Aquifer." *Environmental earth sciences* 69(1): 63– 75.
- Recharge in the Pampa Plain, Argentina." *Hydrological Sciences Journal* 58(7): 1445– 55.
- Zheng, Chunmiao, and Gordon D Bennett. 2002. *2 Applied Contaminant Transport Modeling*. Wiley-Interscience New York.

Abstract

Recharge estimation is one of the most important issues in groundwater resource management. The amount of recharge to the alluvial aquifer of Semnan with an area of 543 square kilometers has been investigated in this study. This aquifer is the main source of drinking water and agriculture in this area. Knowing this main source can solve management problems. In order to calculate the amount of recharge, four methods of water level fluctuations, chloride mass balance, stable isotopes and water balance have been used. Examination of the hydrograph of Semnan aquifer shows that this aquifer has an average decline rate of about 80 cm per year. According to the calculations, the amount of feed to the Semnan aquifer based on the method of water level fluctuations equal to 4.4 million cubic meters per year, chloride mass balance method 2.5 million cubic meters per year and water balance method equal to 7.6 million cubic meters per year. The results of isotopic analysis show that the effect of evapotranspiration in the recharge process is not detectable, which confirms the insignificant role of surface recharge on the aquifer. According to the combination of the results of recharge calculations in different ways, the amount of rainfall to the Semnan aquifer was estimated at about 2 to 4 million cubic meters per year (average 3 million cubic meters per year), which is about 5% of annual rainfall.

Keywords: Recharge, Water table fluctuations, Chloride mass balance, Semnan aquifer, Stable isotopes



Shahrood University of Technology
Faculty of Earth Sciencens
M. Sc. Thesis in Hydrogeology

Estimation of recharge to Semnan alluvial aquifer

By:
Bahareh Ekramipour

Supervisor:
Dr Hadi Jafari

MARCH 2022