

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده علوم زمین

پایان نامه کارشناسی ارشد هیدروژئولوژی

نرخ تغذیه آب زیرزمینی و تغییرات زمانی آن در آبخوان آبرفتی قائم‌شهر - جویبار

نگارنده: فاطمه علیرضایی

استاد راهنما

دکتر هادی جعفری

تیر ۱۴۰۰



مدیریت تحصیلات تکمیلی

باسمه تعالی

فرمهای ارزشیابی پایان نامه کارشناسی ارشد
مربوط به ورودی‌های ۹۴ به بعد

شماره:

تاریخ:

ویرایش:

فرم شماره (۳) صورتجلسه نهایی دفاع از پایان نامه دوره کارشناسی ارشد

با نام و یاد خداوند متعال، ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد خاتم فاطمه علیرضایی با شماره دانشجویی ۹۶۱۰۹۶۴ رشته زمین‌شناسی گرایش آشناسی تحت عنوان نرخ تغذیه آب زیرزمینی و تغییرات زمانی آن در آبخوان آبرفتی قائم‌شهر - جویبار که در تاریخ ۱۴۰۰/۴/۱۴ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار شده به شرح ذیل اعلام می‌گردد:

☒ الف) درجه عالی: نمره ۲۰-۱۹ ☐ ب) درجه خیلی خوب: نمره ۱۸/۹۹-۱۸ ☐ ج) درجه خوب: نمره ۱۷/۹۹-۱۶ ☐ د) درجه متوسط: نمره ۱۵/۹۹-۱۴ ☐ ه) کمتر از ۱۴ غیر قابل قبول و نیاز به دفاع مجدد دارد			
نوع تحقیق: ☐ نظری ☒ عملی			
عضو هیأت داوران	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	امضاء
۱- استاد راهنمای اول	دکتر هادی جعفری	دانشیار	
۲- استاد راهنمای دوم	-	-	-
۳- استاد مشاور	-	-	-
۴- استاد داور اول	دکتر رحیم باقری	دانشیار	
۵- استاد داور دوم	دکتر صمد امامقلی زاده	دانشیار	
۶- نماینده تحصیلات تکمیلی	دکتر علی اکبر مؤمنی	استادیار	

نام و نام خانوادگی رئیس دانشکده: دکتر رمضان رمضانی اومالی

تاریخ و امضاء و مهر دانشکده:



۸، ۲۹

تقدیر و تشکر

تشکر و سپاس بی پایان مخصوص خدایی است که بشر را آفریده و به او قدرت اندیشیدن داده و توانایی‌های بالقوه را در وجود انسان قرار داده و او را امر به تلاش و کوشش نموده و راهنمایی برای هدایت بشر فرستاده است. پس از ارادت خاضعانه به درگاه خداوند بی‌همتا لازم است از استاد ارجمند جناب آقای دکتر هادی جعفری به‌خاطر سعه صدر و رهنمودهای دلسوزانه که در تهیه و تدوین این پایان نامه مرا مورد لطف خود قرار دادند و رهنمودهای لازم را نمودند، کمال تشکر و قدردانی را داشته باشم. همچنین بر خود لازم می‌دانم از اساتید محترم جناب آقای دکتر غلام‌حسین کرمی و جناب آقای دکتر رحیم باقری که طی دوران تحصیل خود از اندوخته‌های دانش ایشان بهره‌مند شدم نهایت سپاس را داشته باشم.

فاطمه علیرضایی

اردیبهشت ماه ۱۴۰۰

تعهد نامه

اینجانب فاطمه علیرضایی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته زمین شناسی گرایش آب شناسی از دانشکده علوم زمین دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه کارشناسی ارشد با عنوان **نرخ تغذیه آب زیرزمینی و تغییرات زمانی آن در آبخوان آبرفتی قائم شهر - جویبار** تحت راهنمایی جناب آقای دکتر هادی جعفری متعهد می شوم:

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهش های 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 می باشد و مقالات مستخرج با نام <<دانشگاه صنعتی شاهرود>> و یا <<Shahrood University of Technolog>> به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند، در مقالات مستخرج از این پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافت های آن ها) استفاده شده است، ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است، اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاقی انسانی رعایت شده است .

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت و نتایج حق نشر

- کلیه حقوق این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه های رایانه ای، نرم افزارها و تجهیزات ساخته شده) مربوط به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد. این مطلب به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

چکیده

آبخوان قائم‌شهر - جویبار با مساحت ۶۱۴/۲۴ کیلومتر مربع در شرق استان مازندران واقع شده است. در شمال این آبخوان شهر جویبار و در قسمت جنوبی آن قائم‌شهر قرار دارد. این آبخوان مهم‌ترین منبع تأمین‌کننده‌ی آب شرب و کشاورزی در این مناطق می‌باشد. بنابراین برآورد تغذیه آب زیرزمینی برای ارزیابی و مدیریت بهره‌برداری از آبخوان ضروری می‌باشد. در این تحقیق به منظور تخمین نرخ تغذیه در آبخوان قائم‌شهر - جویبار از چهار روش نوسانات سطح ایستابی، بیلان جرمی کلر، بیلان آب و ایزوتوپی استفاده شده است. بررسی هیدروگراف معرف آبخوان در دوره ۱۲ ساله (۱۳۸۴ تا ۱۳۹۶) نشان‌دهنده‌ی روند نزولی سطح ایستابی با نرخ افت ۳۵ سانتی‌متر در سال می‌باشد. مقدار تغذیه با استفاده از روش نوسانات سطح ایستابی از حدود ۱۲۵/۳ تا ۱۷۳ میلیون مکعب در بازه‌ی سال‌های ۱۳۸۴ تا ۱۳۹۶ می‌باشد. مقدار متوسط تغذیه سالانه با استفاده از این روش ۱۴۸ میلیون متر مکعب برآورد گردید. مقادیر غلظت کلر در آب زیرزمینی بین ۳۷/۶۳ تا ۳۶۹/۲ میلی‌گرم بر لیتر و مقادیر آن در بارش از ۰/۹ تا ۱/۵۶ میلی‌گرم بر لیتر متغیر است. مقدار تغذیه محاسبه شده با استفاده از این روش حداکثر ۱۶/۲۳ میلیون مترمکعب برآورد شد که با توجه به پایستار نبودن کلر در آبخوان، مقادیر آن جهت تخمین تغذیه کلی آبخوان مورد استفاده قرار نگرفت. بیلان آب برای آبخوان برای سال آبی ۹۶-۹۵ محاسبه گردید. مقدار تغذیه با استفاده از این روش ۱۴۰ میلیون متر مکعب برآورد گردید. مقدار تغذیه ناشی از بارش در آبخوان با استفاده از ایزوتوپ‌های پایدار اکسیژن ۱۸ و دوتریم بین ۴۸/۵ تا ۴۹/۷۵ میلیون متر مکعب تخمین زده شد. در مجموع، مطالعات تخمین تغذیه در آبخوان قائم‌شهر - جویبار نشان می‌دهد، مجموع تغذیه ناشی از بارش و آب برگشتی کشاورزی به آبخوان از حدود ۱۴۰ تا ۱۴۸ میلیون متر مکعب در سال متغیر است. این مقادیر بر اساس روش‌های نوسانات سطح ایستابی و بیلان آب محاسبه شده است که تشابه نتایج به‌دست آمده از طریق این روش‌ها تأییدی بر صحت نتایج می‌باشد. بنابراین متوسط نرخ تغذیه ناشی از مجموع بارش و آب برگشتی در آبخوان قائم‌شهر - جویبار معادل ۱۴۴ میلیون متر مکعب بر سال است. براساس نتایج تغذیه‌ی ناشی از بارش حدود ۴۵ میلیون متر مکعب در سال بوده که معادل ۱۱ درصد حجم بارش سالیانه می‌باشد.

کلمات کلیدی: تغذیه، نوسانات سطح ایستابی، بیلان جرمی کلر، بیلان آب، ایزوتوپ‌های پایدار

فهرست مطالب

فصل اول: مقدمه	۱
۱-۱- بیان مسئله و هدف از انجام تحقیق	۲
۲-۱- موقعیت جغرافیایی	۲
۳-۱- آب و هوای منطقه مورد مطالعه	۶
۴-۱- زمین شناسی منطقه	۹
۴-۱-۱- چینه شناسی منطقه	۹
پرکامبرین	۱۰
پالئوزوئیک	۱۰
مزوزوئیک	۱۱
سنوزوئیک	۱۳
تشکیلات آبرفتی منطقه مورد مطالعه	۱۴
۲-۴-۱- زمین شناسی ساختاری منطقه	۱۵
۵-۱- ژئومورفولوژی منطقه	۱۷
۶-۱- هیدروژئولوژی منطقه	۱۹
فصل دوم: مروری بر مطالعات گذشته	۲۱
۱-۲- مقدمه	۲۲
۲-۲- تعاریف	۲۲
۳-۲- بیان مدل مفهومی فرآیندهای تغذیه	۲۴
۳-۲-۱- خاک و زمین شناسی منطقه	۲۴
۳-۲-۲- آب و هوا	۲۴
۳-۲-۳- تغییر پذیری زمانی و مکانی تغذیه	۲۵
۳-۲-۴- هیدرولوژی	۲۵
۳-۲-۵- پوشش گیاهی و کاربری اراضی	۲۶
۳-۲-۶- توپوگرافی سطحی	۲۶
۴-۲- چالش ها در تخمین تغذیه	۲۷
۴-۲-۱- عدم قطعیت در تخمین تغذیه	۲۷

۲۷	۲-۴-۲- مقیاس‌های مکانی و زمانی تخمین تغذیه.....
۲۸	۳-۴-۲- هزینه.....
۲۸	۵-۲- تکنیک‌های مختلف تخمین تغذیه.....
۲۹	۱-۵-۲- روش نوسانات سطح ایستابی.....
۳۱	۲-۵-۲-۱-۱- آبدهی ویژه.....
۳۴	۲-۵-۲- روش بیلان جرمی کلر (CMB).....
۳۶	۳-۵-۲- روش بیلان آب.....
۳۷	۴-۵-۲- روش ایزوتوپی.....
۳۸	۶-۲- مروری بر مطالعات پیشین.....
۳۹	فصل سوم: مواد و روش انجام کار.....
۴۰	۱-۳- مقدمه.....
۴۰	۲-۳- روش نوسانات سطح ایستابی (wtf).....
۴۰	۱-۲-۳- جمع آوری داده های کمی آب زیرزمینی.....
۴۳	۲-۲-۳- تعیین مقادیر بالآآمدگی سطح ایستابی (Δh).....
۴۳	۳-۲-۳- محاسبه آبدهی ویژه (Sy).....
۴۴	۴-۲-۳- محاسبه تغذیه به روش نوسانات سطح ایستابی.....
۴۴	۳-۳- روش بیلان جرمی کلر.....
۴۵	۴-۳- روش ایزوتوپی.....
۴۵	۴-۴- روش بیلان آب.....
۴۷	فصل چهارم: نتایج و بحث.....
۴۸	۱-۴- مقدمه.....
۴۸	۲-۴- تخمین تغذیه به آبخوان قائمشهر- جویبار به روش نوسان سطح ایستابی.....
۴۸	۱-۲-۴- بررسی نوسانات سطح ایستابی در آبخوان قائمشهر- جویبار.....
۵۹	۲-۲-۴- هیدروگراف معرف آبخوان قائمشهر - جویبار.....
۶۰	۳-۲-۴- مقادیر آبدهی ویژه (Sy) و قابلیت انتقال (T) با استفاده از داده‌های لاگ حفاری.....
۶۹	۴-۲-۴- محاسبه‌ی بالآآمدگی در پی‌زومترهای آبخوان قائمشهر - جویبار.....
۷۸	۵-۲-۴- محاسبه تغذیه به روش نوسانات سطح ایستابی.....
۸۱	۳-۴- تخمین تغذیه به آبخوان قائمشهر - جویبار به روش بیلان جرمی کلر.....

۱-۳-۴	غلظت کلر بارش در محدوده آبخوان قائمشهر - جویبار	۸۱
۲-۳-۴	غلظت کلر آب زیرزمینی در آبخوان قائمشهر - جویبار	۸۴
۳-۳-۴	محاسبه تغذیه به روش بیلان جرمی کلر	۸۶
۴-۴	محاسبه تغذیه به آبخوان قائمشهر - جویبار با استفاده از روش ایزوتوپ های پایدار	۹۱
۵-۴	محاسبه تغذیه به آبخوان قائمشهر - جویبار با استفاده از روش بیلان آب	۹۱
۱-۵-۴	جریان های زیر زمینی ورودی و خروجی به/از آبخوان	۹۲
۱-۱-۵-۴	حجم جریان ورودی زیرزمینی به آبخوان قائمشهر - جویبار	۹۳
۲-۱-۵-۴	حجم جریان خروجی آب زیرزمینی از آبخوان	۹۳
۲-۵-۴	میزان تبخیر و تعرق از آبخوان	۹۶
۳-۵-۴	تبادل آب رودخانه و آبخوان آبرفتی	۹۷
۴-۵-۴	مصارف آب و نفوذ از آن	۹۷
۵-۵-۴	تغییرات حجم ذخیره آبخوان	۹۸
۵-۵-۴	محاسبه تغذیه با استفاده از روش بیلان آب	۹۸
۶-۴	جمع بندی نتایج مطالعات تخمین تغذیه به آبخوان قائمشهر - جویبار	۹۹
	فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهادها	۱۰۱
۱-۵	مقدمه	۱۰۲
۲-۵	نتایج	۱۰۲
۳-۵	پیشنهادها	۱۰۴
	منابع	۱۰۵

فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۱- موقعیت محدوده‌ی مطالعاتی قائم‌شهر- جویبار با کد ۱۵۰۲..... ۳
- شکل ۱-۲- آبخوان آزاد آبرفتی محدوده قائم‌شهر - جویبار..... ۴
- شکل ۱-۳- راه‌های دسترسی به محدوده آبخوان آبرفتی قائم‌شهر- جویبار..... ۵
- شکل ۱-۴- منحنی امپروترمیک دشت قائم‌شهر - جویبار طی یک دوره ۱۲ ساله (۱۳۸۴-۱۳۹۶)..... ۹
- شکل ۱-۵- نقشه زمین‌شناسی محدوده مطالعاتی قائم‌شهر - جویبار..... ۱۶
- شکل ۱-۶- ژئومورفولوژی محدوده‌ی مطالعاتی قائم‌شهر - جویبار..... ۱۸
- شکل ۱-۷- محدوده آبخوان قائم‌شهر- جویبار و چاه‌های بهره‌برداری در آن..... ۲۰
- شکل ۱-۲- مقطع عمودی نشان‌دهنده‌ی نفوذ از سطح زمین، زهکشی منطقه‌ی غیراشباع و تغذیه متمرکز و پراکنده به یک سفره آزاد..... ۲۳
- شکل ۲-۲- تعیین بالا آمدگی در پیزومترها جهت محاسبه تغذیه به روش نوسانات سطح ایستابی..... ۳۱
- شکل ۱-۳- ترسیم چندضلعی‌های تیسن مربوط به پیزومترهای محدوده آبخوان قائم‌شهر - جویبار..... ۴۱
- شکل ۲-۳- تعیین میزان بالاآمدگی در هر پیزومتر..... ۴۳
- شکل ۱-۴- موقعیت پیزومترهای حفر شده در آبخوان قائم‌شهر - جویبار..... ۵۰
- شکل ۲-۴- هیدروگراف پیزومترهای حفر شده در آبخوان قائم‌شهر - جویبار..... ۵۱
- شکل ۲-۴- (ادامه) هیدروگراف پیزومترهای حفر شده در آبخوان قائم‌شهر - جویبار..... ۵۲
- شکل ۲-۴- (ادامه) هیدروگراف پیزومترهای حفر شده در آبخوان قائم‌شهر - جویبار..... ۵۳
- شکل ۲-۴- (ادامه) هیدروگراف پیزومترهای حفر شده در آبخوان قائم‌شهر - جویبار..... ۵۴
- شکل ۲-۴- (ادامه) هیدروگراف پیزومترهای حفر شده در آبخوان قائم‌شهر - جویبار..... ۵۵
- شکل ۲-۴- (ادامه) هیدروگراف پیزومترهای حفر شده در آبخوان قائم‌شهر - جویبار..... ۵۶
- شکل ۳-۴- مقادیر متوسط افت سالیانه در پیزومترهای آبخوان قائم‌شهر - جویبار..... ۵۸
- شکل ۴-۴- هیدروگراف معرف آبخوان قائم‌شهر - جویبار..... ۵۹
- شکل ۵-۴- لاگ حفاری‌های انجام شده در آبخوان قائم‌شهر - جویبار..... ۶۱
- شکل ۵-۴- (ادامه) لاگ حفاری‌های انجام شده در آبخوان قائم‌شهر - جویبار..... ۶۲
- شکل ۵-۴- (ادامه) لاگ حفاری‌های انجام شده در آبخوان قائم‌شهر - جویبار..... ۶۳
- شکل ۵-۴- (ادامه) لاگ حفاری‌های انجام شده در آبخوان قائم‌شهر - جویبار..... ۶۴
- شکل ۵-۴- (ادامه) لاگ حفاری‌های انجام شده در آبخوان قائم‌شهر - جویبار..... ۶۵

- شکل ۴-۵- (ادامه) لاگ حفاری‌های انجام شده در آبخوان قائم‌شهر - جویبار ۶۶
- شکل ۴-۵- (ادامه) لاگ حفاری‌های انجام شده در آبخوان قائم‌شهر - جویبار ۶۷
- شکل ۴-۶- مقادیر آبدهی ویژه در آبخوان قائم‌شهر - جویبار ۶۸
- شکل ۴-۷- (ادامه) تعیین بالآمدگی سطح ایستابی (ΔH) در پیزومترهای آبخوان قائم‌شهر - جویبار ۷۰
- شکل ۴-۷- (ادامه) تعیین بالآمدگی سطح ایستابی (ΔH) در پیزومترهای آبخوان قائم‌شهر - جویبار ۷۱
- شکل ۴-۷- (ادامه) تعیین بالآمدگی سطح ایستابی (ΔH) در پیزومترهای آبخوان قائم‌شهر - جویبار ۷۲
- شکل ۴-۷- (ادامه) تعیین بالآمدگی سطح ایستابی (ΔH) در پیزومترهای آبخوان قائم‌شهر - جویبار ۷۳
- شکل ۴-۷- (ادامه) تعیین بالآمدگی سطح ایستابی (ΔH) در پیزومترهای آبخوان قائم‌شهر - جویبار ۷۴
- شکل ۴-۸- تغییرات زمانی مقادیر بالآمدگی سطح ایستابی در پیزومترهای آبخوان قائم‌شهر - جویبار ۷۶
- شکل ۴-۹- متوسط بالآمدگی (متر) سالانه سطح ایستابی در طول دوره تغذیه در پیزومترهای آبخوان قائم‌شهر - جویبار ۷۷
- شکل ۴-۱۰- هیستوگرام بارش و تغییرات تغذیه سالانه به آبخوان قائم‌شهر - جویبار ۸۰
- شکل ۴-۱۱- موقعیت نقاط نمونه‌برداری بارش در محدوده آبخوان قائم‌شهر - جویبار ۸۳
- شکل ۴-۱۲- موقعیت نقاط نمونه برداری از آب زیرزمینی در آبخوان قائم‌شهر - جویبار و غلظت کلر آن‌ها ۸۵
- شکل ۴-۱۳- رابطه سدیم و کلر در نمونه‌های آب زیرزمینی آبخوان قائم‌شهر - جویبار ۸۶
- شکل ۴-۱۴- موقعیت نقاط نمونه‌برداری ایزوتوپی در آبخوان قائم‌شهر - جویبار ۹۰
- شکل ۴-۱۵- ارتباط مقادیر ایزوتوپی بارش و آب زیرزمینی در آبخوان قائم‌شهر - جویبار ۹۱
- شکل ۴-۱۶- نقشه هم‌پتانسیل آبخوان قائم‌شهر - جویبار (مهر ۱۳۹۶) و مقاطع ورودی و خروجی آب زیرزمینی ... ۹۵
- شکل ۴-۱۷- نقشه هم‌عمق آب زیرزمینی در آبخوان قائم‌شهر - جویبار (حیدری ۱۳۹۹) ۹۶

فهرست جدول‌ها

جدول ۱-۱- آمار بارندگی و درجه حرارت مربوط به دوره ۱۲ ساله (۱۳۹۶-۱۳۸۴)، برگرفته از اطلاعات اداره هواشناسی قائمشهر	۷
جدول ۱-۲- رده بندی اقلیمی دمارتن	۸
جدول ۱-۲- روش‌های مختلف تخمین تغذیه	۲۹
جدول ۱-۳- مساحت چندضلعی‌های تپسن اطراف پیزومترهای آبخوان قائمشهر - جویبار	۴۲
جدول ۱-۴- مشخصات پیزومترهای حفر شده در آبخوان قائمشهر - جویبار	۴۹
جدول ۲-۴- افت سالیانه در پیزومترهای آبخوان قائمشهر - جویبار	۵۷
جدول ۳-۴- تخمین آبدهی ویژه صحرایی بافت‌های غالب رسوبات	۶۰
جدول ۴-۴- مقادیر آبدهی ویژه و قابلیت انتقال (متر بر روز) با استفاده از داده‌های لاگ حفاری	۶۷
شکل ۴-۷- تعیین بالآمدگی سطح ایستابی (ΔH) در پیزومترهای آبخوان قائمشهر - جویبار	۶۹
جدول ۴-۵- مقادیر بالآمدگی (ΔH) سطح ایستابی در پیزومترهای آبخوان قائمشهر - جویبار (متر در سال)	۷۵
جدول ۴-۶- مقادیر تغذیه سالیانه محاسبه شده در محدوده هر پیزومتر در آبخوان قائمشهر - جویبار (MCM)	۷۸
جدول ۴-۶- (ادامه) مقادیر تغذیه سالیانه محاسبه شده در محدوده هر پیزومتر در آبخوان قائمشهر - جویبار (MCM)	۷۹
جدول ۴-۷- تغذیه سالانه محاسبه شده به روش نوسانات سطح ایستابی در آبخوان قائمشهر - جویبار	۸۰
جدول ۴-۸- مقادیر غلظت کلر بارش در محدوده آبخوان قائمشهر - جویبار	۸۲
جدول ۴-۹- غلظت یون کلر آب زیر زمینی آبخوان قائمشهر - جویبار	۸۴
جدول ۴-۱۰- محاسبه مقادیر تغذیه به آبخوان قائمشهر - جویبار به روش بیلان جرمی کلر	۸۷
جدول ۴-۱۱- مقادیر ایزوتوپ‌های اکسیژن ۱۸ و دوتریم نمونه‌های آب زیرزمینی و بارش در آبخوان قائمشهر - جویبار	۸۹
جدول ۴-۱۳- محاسبه ورودی و خروجی به/از آبخوان قائمشهر - جویبار	۹۴
جدول ۴-۱۴- محاسبه گرادیان هیدرولیکی در آبخوان قائمشهر - جویبار	۹۴
جدول ۴-۱۵- اجزای بیلان آبخوان قائمشهر - جویبار	۹۸
جدول ۴-۱۶- مقادیر تغذیه محاسبه شده به روش‌های مختلف به آبخوان قائمشهر - جویبار	۱۰۰

فصل اول

مقدمه

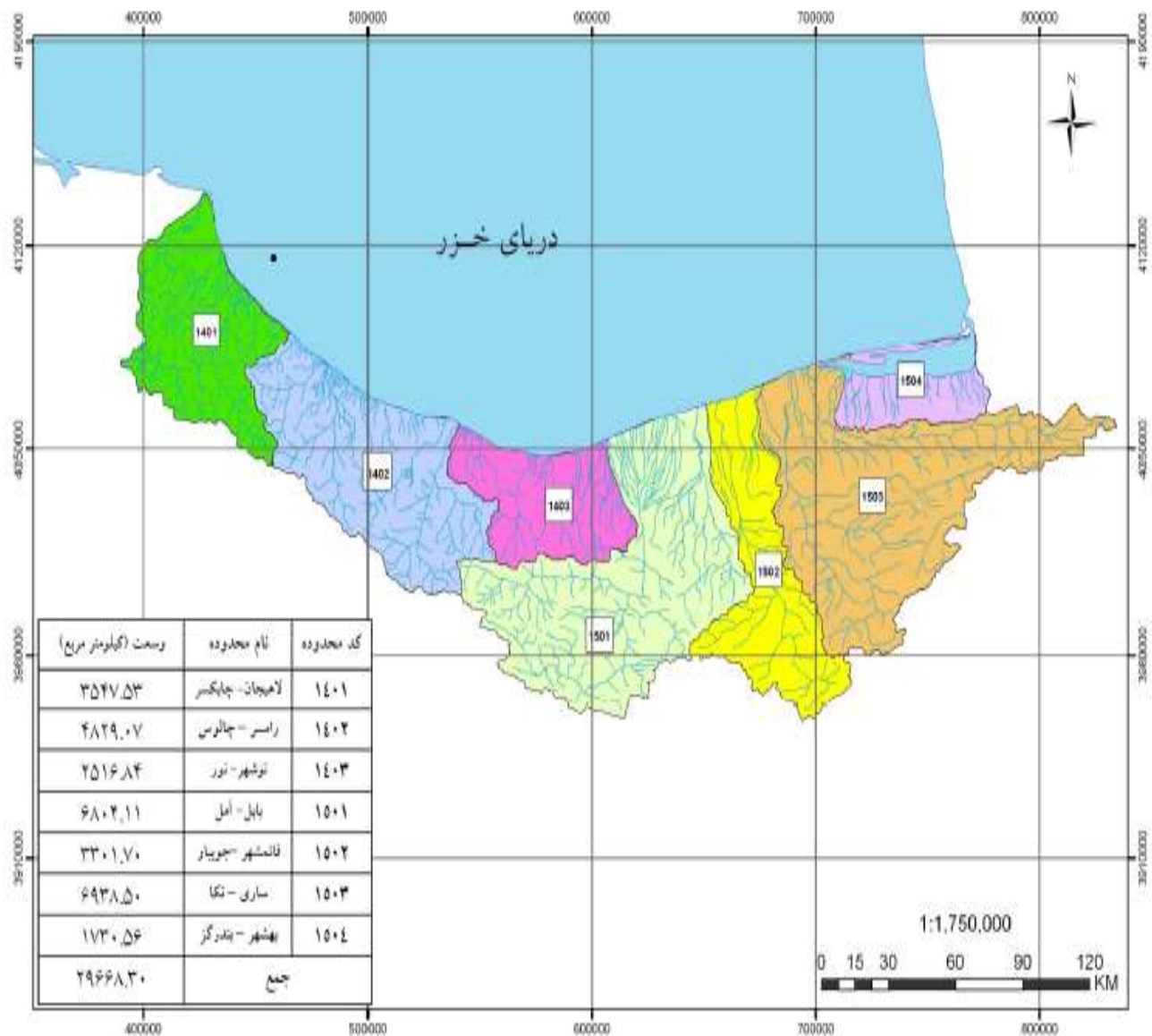
۱-۱- بیان مسئله و هدف از انجام تحقیق

محدوده مطالعاتی قائم‌شهر - جویبار به وسعت $3301/7$ کیلومتر مربع در استان مازندران قرار دارد، که از این مقدار $837/63$ کیلومترمربع دشت و بقیه را ارتفاعات تشکیل می‌دهد. آبخوان آبرفتی 62 درصد از کل وسعت دشت را شامل می‌شود. سفره آب زیرزمینی دشت قائم‌شهر - جویبار واقع در ساحل جنوبی دریای خزر از بزرگترین آبخوان‌های استان مازندران بوده و از پتانسیل خوب آب زیرزمینی برخوردار است. عوامل تغذیه کننده سفره آب زیرزمینی در دشت قائم‌شهر - جویبار شامل تغذیه ناشی از بارندگی، نفوذ از بستر حریم رودخانه‌های تالار و سیاه‌رود، آب‌بندان‌های موجود در دشت و آب برگشتی شرب، کشاورزی و عوامل تخلیه‌کننده آبخوان شامل برداشت توسط چاه‌های عمیق و زهکشی احتمالی توسط رودخانه‌های موجود در دشت می‌باشد. به علت برداشت بیش از حد منابع آبی و کاهش بی‌سابقه میزان بارندگی در طی دو دهه گذشته ذخایر آب زیرزمینی دشت رو به کاهش بوده و مدیریت این منابع ارزشمند بایستی مد نظر قرار گیرد. در این راستا برآورد تغذیه آب زیرزمینی و بررسی تغییرات زمانی آن از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد. بنابراین هدف از انجام این تحقیق بررسی تغییرات زمانی و تخمین نرخ تغذیه آب زیرزمینی به آبخوان آبرفتی قائم‌شهر - جویبار می‌باشد.

۱-۲- موقعیت جغرافیایی

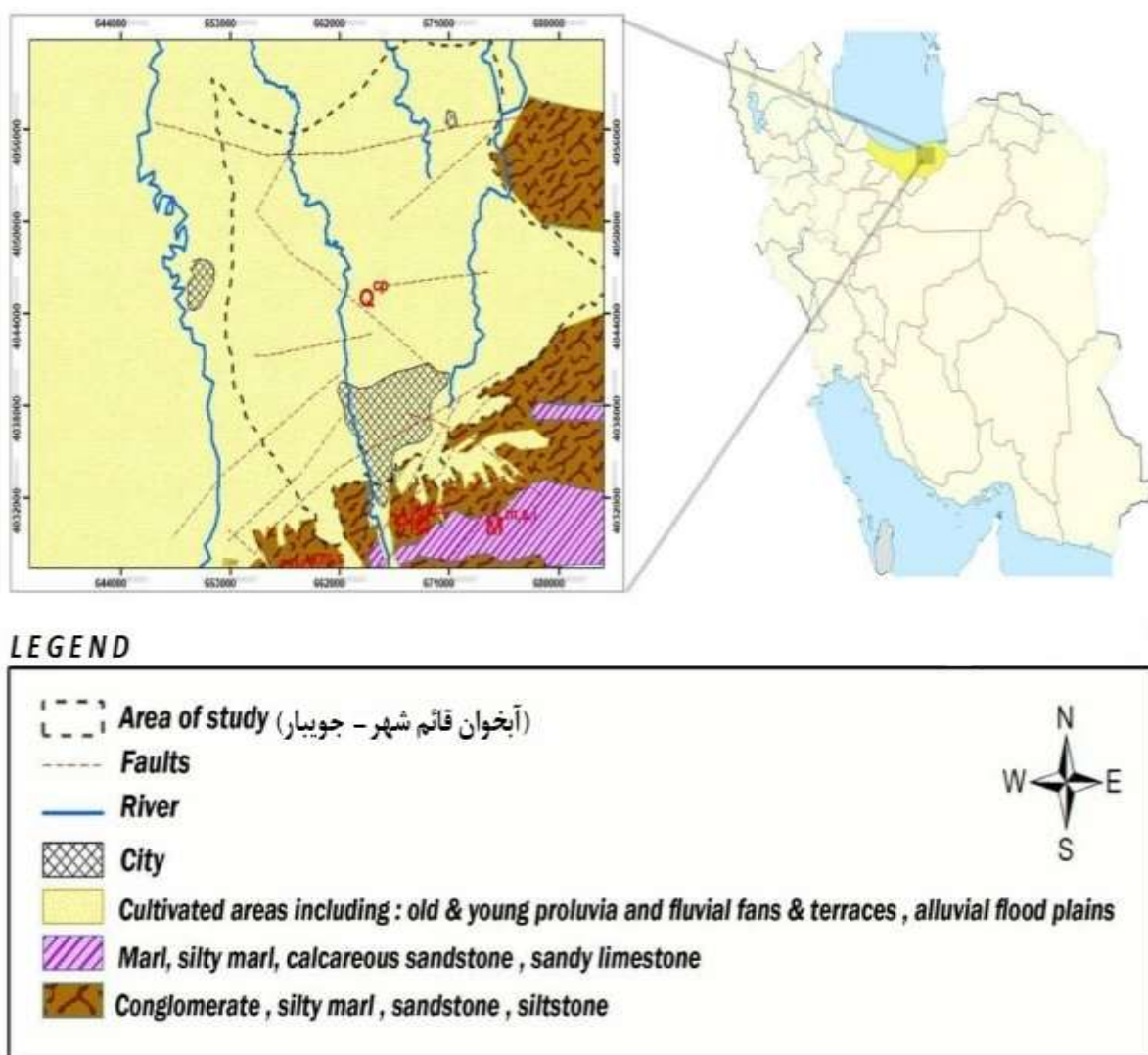
حوضه آبریز مازندران و شرق گیلان به 7 محدوده مطالعاتی تقسیم شده است که محدوده مطالعاتی قائم‌شهر - جویبار یکی از آنها می‌باشد. محدوده مطالعاتی قائم‌شهر - جویبار بین طول جغرافیایی $52^{\circ} 35'$ تا $53^{\circ} 23'$ شرقی و $35^{\circ} 44'$ تا $36^{\circ} 47'$ شمالی واقع شده است. بالاترین نقطه ارتفاعی آن 3929 متر و پایین‌ترین نقطه ارتفاعی آن با ارتفاع 26 - متر از سطح دریای آزاد در خروجی حوضه قرار دارد. محدوده مورد مطالعه از شمال به دریای خزر و از جنوب به بلندی‌های البرز محدود می‌گردد. همچنین از سمت شرق به محدوده مطالعاتی دشت ساری - نکا و از غرب به محدوده مطالعاتی دشت بابل - آمل محدود می‌شود. در شمال دشت جویبار مناطق

ساحلی با مساحت ۳۰۷ کیلومتر مربع فاقد آب شیرین جهت بهره‌برداری هستند. در محدوده مورد مطالعه قائم‌شهر - جویبار رودخانه اصلی تالار قرارداد دارد که در پایاب آن دشت قائم‌شهر به ابعاد حدود ۴۰ کیلومتر در ۲۰ کیلومتر واقع شده است. رودخانه دیگری که در این محدوده مطالعاتی جریان دارد، سیاهرود است.



شکل ۱-۱- موقعیت محدوده‌ی مطالعاتی قائم‌شهر- جویبار با کد ۱۵۰۲

محدوده مطالعاتی قائم شهر - جویبار در برگیرنده آبخوان آزاد آبرفتی با مساحت حدود ۶۱۴/۲۴ کیلومتر مربع بوده که یکی از بزرگترین آبخوان‌های استان مازندران می‌باشد. این آبخوان آبرفتی ۶۲ درصد پهنه دشت را به خود اختصاص داده و از پتانسیل بالای آب زیرزمینی برخوردار می‌باشد. محدوده آبخوان آبرفتی قائم شهر - جویبار در شکل (۱-۲) نشان داده شده است.



شکل ۱-۲- آبخوان آزاد آبرفتی محدوده قائم شهر - جویبار

راه‌های آسفالت قائم‌شهر به ساری، جویبار، بابل، سوادکوه و جویبار به ساری، بابل‌سر، کیاکلا و قائم‌شهر مهم‌ترین جاده‌های ارتباطی منطقه مورد مطالعه هستند (شکل ۱-۳). مردم منطقه به کشاورزی و باغبانی مشغول بوده و کشت غالب مرکبات و برنج می‌باشد.



شکل ۱-۳- راه‌های دسترسی به محدوده آبخوان ابرفتی قائم‌شهر- جویبار

۱-۳-آب و هوای منطقه مورد مطالعه

وضعیت آب و هوایی از عوامل مهم و موثر در کیفیت و کمیت آب‌های زیرزمینی هر منطقه می‌باشد. عوامل هواشناسی مشخص کننده وضعیت آب و هوایی می‌باشند که در محل ایستگاه‌های باران‌سنجی، تبخیرسنجی، کلیماتولوژی و یا سینوپتیک به‌طور مستمر اندازه‌گیری می‌شوند. بارندگی منشأ اصلی آب‌های ورودی به محدوده مطالعاتی و تبخیر مهم‌ترین عامل آب‌های خروجی از محدوده می‌باشد. رژیم درجه حرارت و تغییرات بارندگی در حوضه و ارتفاعات با توجه به ساختار زمین‌شناسی و پوشش گیاهی منطقه از عوامل مؤثر در رژیم جریان‌های سطحی در ارتفاعات و دشت و در نتیجه تغذیه آبخوان می‌باشد. برای برآورد میزان بارندگی منطقه مورد مطالعه، از داده‌های هواشناسی استفاده شده است. جدول (۱-۱) داده‌های هواشناسی مربوط به دوره ۱۲ ساله (۱۳۹۶-۱۳۸۴) ایستگاه هواشناسی را نشان می‌دهد.

جدول ۱-۱- آمار بارندگی و درجه حرارت مربوط به دوره ۱۲ ساله (۱۳۹۶-۱۳۸۴)، برگرفته از اطلاعات اداره هواشناسی قائم‌شهر

زمان (ماه)	بارندگی (میلی‌متر)			دما (درجه سانتی‌گراد)		
	حداکثر	حداقل	میانگین	حداکثر	حداقل	میانگین
فروردین	۶۳/۵	۲۰/۵	۴۲	۱۹/۵	۸/۲	۱۳/۸
اردیبهشت	۴۶/۲	۹/۸	۲۸	۲۵/۸	۱۰/۵	۱۸/۱
خرداد	۲۸/۵	۶/۴	۱۷/۴۵	۲۹/۸	۱۲/۳	۲۱/۱
تیر	۲۰/۲	۵/۱	۱۲/۶۵	۳۲/۹	۱۴/۵	۲۳/۷
مرداد	۳۲/۵	۹/۸	۲۱/۱۵	۳۶/۸	۱۴/۶	۲۵/۷
شهریور	۱۰۷/۳	۳۸/۲	۷۲/۷۵	۲۷/۶	۱۵/۶	۲۱/۲
مهر	۱۱۲/۵	۷۹/۴	۹۵/۹۵	۲۹/۱	۵/۷	۱۷/۴
آبان	۱۵۲/۵	۹۱/۲	۱۲۱/۸۵	۲۳/۹	۴/۳	۱۳/۹
آذر	۱۱۲/۵	۷۸/۹	۹۵/۷	۱۸/۳	۳/۵	۱۰/۹
دی	۸۹/۴	۶۰/۲	۷۴/۸	۱۶/۵	-۱/۲	۷/۶
بهمن	۷۹/۲	۳۳/۸	۵۴/۵	۱۴/۴	۱/۸	۸/۱
اسفند	۹۱/۵	۴۶/۹	۶۹/۲	۱۶/۵	۴/۱	۱۰/۳
میانگین سالانه	۷۰/۸			۱۵/۹۸		

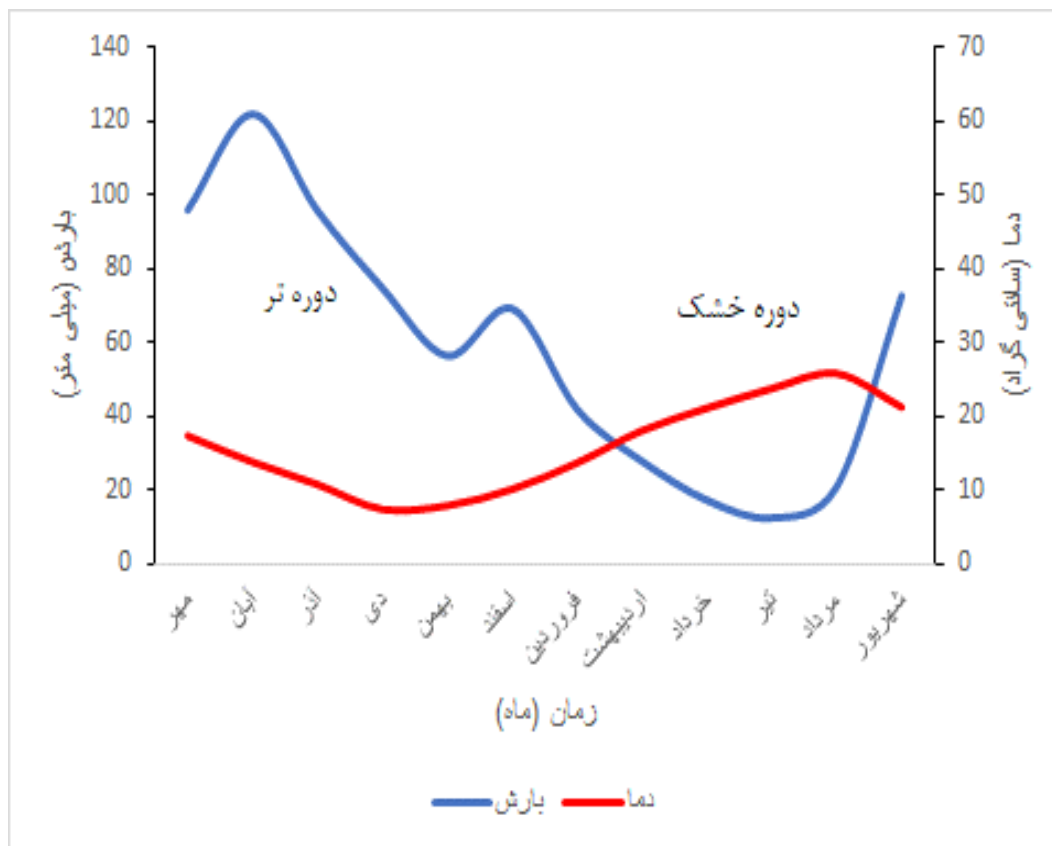
بیشترین مقدار بارندگی در آبان‌ماه و کمترین مقدار آن در تیرماه مشاهده شده است. همچنین بیشترین دما در مرداد و کمترین دما در دی‌ماه رخ داده است. میزان متوسط بارندگی ۷۰/۸ میلی‌متر و میانگین دمای ماهانه ۱۵/۹۸ درجه سانتی‌گراد است. دریای خزر از سوی شمال و ارتفاعات البرز از سوی جنوب اقلیم منطقه را تحت تأثیر قرار داده، به‌طوری که هر چه از دریا به سمت ارتفاعات (۱۰۰-۳۰۰ متر) پیش رویم میزان بارندگی افزایش یافته و سپس در ارتفاع بیشتر از ۳۰۰ متر، کاهش مقدار بارندگی را خواهیم داشت. جهت تعیین اقلیم منطقه قائم‌شهر - جویبار از سیستم اقلیمی ضریب دمارتن و نمودار امبروترمیک (Embrothermic) استفاده شده است. جهت تعیین اقلیم، دمارتن (De Martonne) با توجه به میانگین دما و بارش سالانه معادله زیر را پیشنهاد می‌کند:

$$I = \frac{p}{T+10}$$

P متوسط بارندگی سالانه (میلی متر)، T متوسط دمای سالانه (درجه سانتی گراد) و I ضریب خشکی که مقدار آن اقلیم منطقه را مشخص می کند. براساس فرمول دمارتن شش نوع آب و هوا با توجه به جدول (۱-۲) طبقه بندی شده است. میزان I محاسبه شده در منطقه مورد مطالعه ۲۷/۲ می باشد، که نشان دهنده اقلیم نیمه مرطوب در محدوده مطالعاتی قائم شهر - جویبار می باشد. نمودار امبروترمیک شکل (۱-۴) نشان دهنده دوره های تر و خشک در یک سال می باشد. براساس نمودار امبروترمیک دوره خشک از اوایل اردیبهشت شروع و تا اوایل شهریور ادامه یافته و بقیه ماه های سال جز دوره تر می باشد.

جدول ۱-۲- رده بندی اقلیمی دمارتن

نام اقلیم	ضریب خشکی دمارتن
خشک	> 10
نیمه خشک	$10 - 19/9$
مدیترانه ای	$20 - 23/9$
نیمه مرطوب	$24 - 27/9$
مرطوب	$28 - 34/9$
بسیار مرطوب	> 35



شکل ۴-۱- منحنی امپروترمیک دشت قائم شهر - جویبار طی یک دوره ۱۲ ساله (۱۳۸۴-۱۳۹۶)

۴-۱- زمین شناسی منطقه

محدوده مورد مطالعه قائم شهر - جویبار در زون البرز شمالی و مرکزی قرار دارد، که نیمی از محدوده در زون چین خورده البرز واقع شده است. یافته‌های دیرینه‌شناسی گویای آن است که قدیمی‌ترین سنگ‌های رخنمون شده البرز سازند کهر می‌باشد.

۴-۱-۱- چینه شناسی منطقه

طبق نقشه زمین‌شناسی محدوده مطالعاتی قائم شهر - جویبار در (شکل ۴-۱) تشکیلات زمین‌شناسی این منطقه مربوط به پرکامبرین، پالئوزوئیک، مزوزوئیک، سنوزوئیک و کواترنری می‌باشد. کل محدوده آبخوان آبرفتی

توسط رسوبات کواترنری پوشانده شده است. بخش عمده رسوبات محدوده شامل آهک، ماسه و رس بوده که به عنوان مهم‌ترین واحدهای تغذیه‌کننده آبخوان محسوب می‌شوند. سازندهای رخنمون یافته دوران اول تا چهارم در محدوده مورد مطالعه در ادامه شرح داده شده است.

پرکامبرین

۱- سازند کهر (PEK)

کهر قدیمی‌ترین سازند زمین‌شناسی در پرکامبرین شامل شیل، اسلیت، دیاباز و کمی دولومیت که در ارتفاعات سمنان و فیروزکوه که جزء محدوده مطالعاتی می‌باشند، مشاهده شده و در زیر سازند سلطانیه قرار گرفته است. از نظر نفوذ پذیری آب ضعیف می‌باشد.

پالئوزوئیک

۲- سازند باروت (C-bt)

سازند باروت بر روی سازند سلطانیه قرار گرفته است. سن آن مربوط به کامبرین پایینی است. سازند باروت از تناوب دولومیت با شیل‌های قرمز همراه با میان لایه‌های کربناته تشکیل شده است.

۳- سازند زایگون (C-Z)

لیتولوژی سازند زایگون شیل به همراه شیل ماسه‌ای میکادار است. سن این سازند کامبرین پایینی است. واحدهای بخش بالایی این سازند بیانگر محیط رودخانه‌ای ماندری و دارای چین‌بندی متقاطع می‌باشد.

۴- سازند لالون (Cl)

این سازند بر روی سازند زایگون قرار گرفته است. از ماسه سنگ و ماسه سنگ آרקوزی با طبقه‌بندی مورب تشکیل شده است. سن این سازند کامبرین پایینی بوده است.

۵- سازند جیروود (D-C)

این سازند در دوره دوونین بالایی و کربونیفر زیرین تشکیل شده است. لیتولوژی آن سنگ آهک، سنگ آهک مارنی و شیل فسیل‌دار بوده که مستقیماً بر روی کامبرین بالایی واقع شده است.

۶- سازند مبارک (Cm)

سازند مبارک در زمان کربونیفر زیرین نهشته شده است. از سنگ آهک که در لایه‌های بالایی شیل سیاه می‌باشد، و سنگ آهک دولومیتی تشکیل شده است. سازند مبارک پتانسیل هیدروکربنی داشته که بخش زیرین آن غنی از مواد آلی و بخش بالایی آن میتواند سنگ مخزن خوبی باشد.

۷- سازند روته (Pr)

سازند روته در ارتفاعات جنوبی محدوده دیده می‌شود و لیتولوژی آن سنگ آهک فوزولین‌دار و سنگ آهک دولومیتی است. رسوبات دولومیتی و تبخیری نشانگر پیشروی و پسروی دریا در پرمین در ایران است. سن سازند روته، پرمین بوده که در زمان رسوب‌گذاری دریا گسترش زیادی داشته است.

مزوزوئیک

۸- سازند الیکا (TRe)

سازند الیکا با رخساره‌ای اغلب ثابت، گسترشی وسیع در شمال ایران دارد و با ناپیوستگی فرسایشی ولی هم‌شیب بر روی سازند روته قرار گرفته است. در منطقه مورد مطالعه، این سازند شامل یک بخش تحتانی بیشتر آهکی - شیلی و یک بخش فوقانی بیشتر دولومیتی - آهکی می‌باشد. سن این سازند تریاس زیرین تا میانی است که در ارتفاعات محدوده مشاهده می‌شود.

۹- سازند شمشک (Js)

در منطقه مطالعاتی، سازند شمشک گسترده‌ترین واحد سنگی رخنمون یافته می‌باشد که نزدیک به یک سوم منطقه جنوبی را به خود اختصاص داده و رشته‌کوه‌های مربوطه، سوادکوه نامیده می‌شود. سازند شمشک از کهن به جوان به سه بخش نهشته‌های دوگر (۸۶۵ متر) و نهشته‌های لیاس (۸۵۰ متر) و نهشته‌های تریاس (۱۶۵۰ متر) تقسیم می‌شود. سن این سازند ژوراسیک پایینی بین رخدادهای سیمیرین پیشین و میانی می‌باشد. این سازند دارای تناوب شیل و ماسه سنگ ذغال‌دار است که در ارتفاعات محدوده مورد مطالعه دیده می‌شود.

۱۰- سازند دلیچای (Jd)

پس از تشکیل سازند شمشک، پیشروی دریا در البرز مرکزی، نامنظم و ناهمزمان بوده، لذا طبقات بالایی و پایینی سازند دلیچای ناهمزمان هستند. این سازند با رخنمون‌های کم ضخامتی (۲۵ تا ۳۰ متر) از مارن، مارن آهکی و سنگ آهک مارنی همراه با نا پیوستگی‌های هم‌شیب بر روی سازند شمشک قرار گرفته است. این سازند مربوط به زمان ژوراسیک است و در ارتفاعات محدوده دیده می‌شود.

۱۱- سازند لار (Jl)

در منطقه مورد مطالعه، رخنمون‌هایی گسترده نزدیک به ۱۵۰ تا ۳۳۰ متری از سازند لار در نواحی جنوبی دیده می‌شود. بخش پایینی سازند لار با ستبرائی از ۷۳ تا ۸۹ متر شامل سنگ آهک و گاهی سنگ آهک دولومیتی نازک تا متوسط لایه (۱۰ تا ۳۰ سانتی‌متر) می‌باشد. بخش بالایی سازند لار با ستبرائی از ۹۱ تا ۱۲۰ متر و اغلب ضخیم‌تر از بخش پایینی شامل سنگ آهک و سنگ آهک دولومیتی متوسط تا ضخیم لایه می‌باشد. این سازند متعلق به زمان ژوراسیک است و در ارتفاعات محدوده دیده می‌شود.

۱۲- سازند تیزکوه (Klt)

با کوهزایی سیمیرین پسین در اوایل کرتاسه، منطقه وسیعی از آب خارج و باعث گسترش شرایط قاره‌ای شده است. اما در شمال البرز شرایط دریایی برقرار بوده و نهشته‌های آهکی دریایی سازند تیزکوه رسوب می‌کنند و این کوهزایی تأثیری بر آن نداشته است. سن سازند تیزکوه کرتاسه پایینی و لیتولوژی آن سنگ آهک اوریتولین‌دار بوده که در ارتفاعات منطقه مشاهده شده است.

سنوزوئیک

دوران سوم زمین‌شناسی در ایران به سه سیستم پالئوژن، نئوژن و کواترنری تقسیم می‌شود.

۱۳- سازند فجن (PEcf)

در آغاز ترشیری، با پیدایش رشته کوه‌های البرز، حوضه شمال و جنوب آن به‌طور کامل از یکدیگر جدا شده‌اند. در جنوب خط الرأس‌های البرز، سازندهای فجن، زیارت و کرج (پالئوسن تا ائوسن) دیده می‌شوند. سازند فجن دارای کنگلومرا و سنگ آهک ماسه‌ای بوده که در ارتفاعات البرز مشاهده می‌شود.

۱۴- سازند زیارت (EZ)

سازند زیارت نزدیک به ۱۰۸ متر ستبراً داشته و با ناپیوستگی فرسایشی بر روی سازند فجن قرار گرفته است. این واحد از سنگ آهک‌های نازک تا متوسط و گاهی ضخیم لایه و سنگ آهک مارنی و سنگ آهک نومولیت‌دار تشکیل شده است. این سازند مربوط به دوره‌ی زمانی پالئوسن - ائوسن تشکیل است و در زیر سازند کرج قرار گرفته است.

۱۵- سازند کرج (EK)

سازند کرج بر روی سازند زیارت قرار گرفته و دارای لیتولوژی توف، شیل، سنگ آهک و داسیت در زمان ائوسن میانی است که در ارتفاعات منطقه قرار دارد. بخش مهم این سازند توف‌هایی هستند که به آنها توف سبز البرز می‌گویند.

۱۶- سازند کند (Em)

سازند (Kond) کند شامل شیل، مارن و سنگ آهک حاوی فسیل در زمان ائوسن می‌باشد.

۱۷- کنگلومرا (Ngc)

کنگلومرای دانه درشت با لایه‌های سیلت و مارن که متعلق به زمان میوسن می‌باشد.

۱۸- (Mmsl)

زمان تشکیل این واحد میوسن بوده و دارای مارن، ماسه‌سنگ آهکی، سنگ آهک ماسه‌ای و کنگلومرا بوده است.

۱۹- (Plcm)

کنگلومرا، مارن و مارن سیلتی مربوط به زمان پلیوسن بوده که در محدوده قائم‌شهر و سواد کوه رخنمون دارد.

تشکیلات آبرفتی منطقه مورد مطالعه

۲۰- سازند کواترنری کاسپین (Q^c)

کل محدوده آبخوان آزاد آبرفتی قائم‌شهر - جویبار از سازند کاسپین تشکیل شده است. نواحی شمالی آبخوان مربوط به کاسپین جدید که از رسوبات رس، آهک و ماسه تشکیل شده و سایر نواحی مانند مخروط افکنه‌ها، رودخانه‌های قدیمی و جدید، نواحی کشاورزی و ... مربوط به کاسپین قدیم هستند که رسوبات آن مارن می‌باشد.

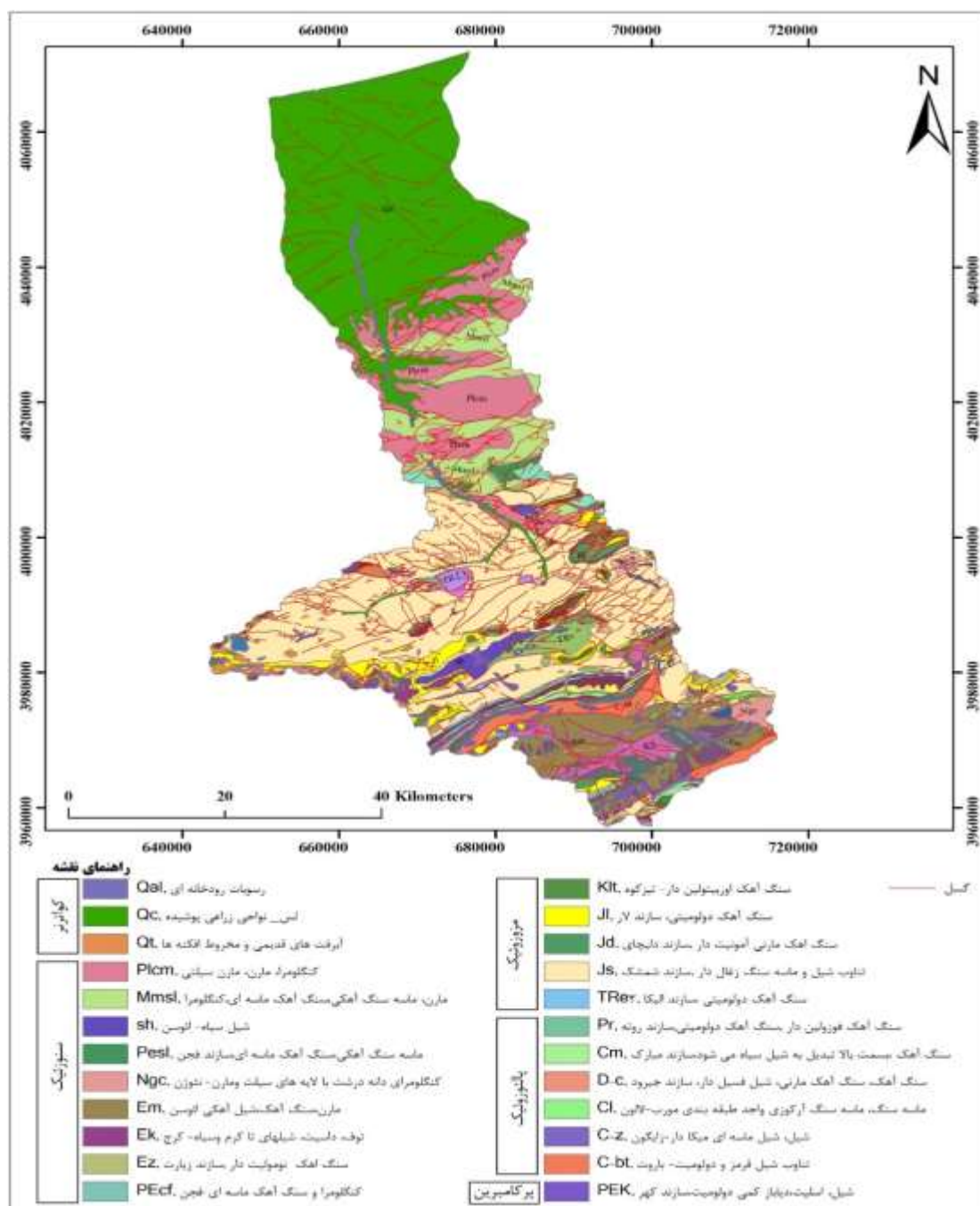
۲۱- رسوبات رودخانه‌ای کواترنری (Q^{aL})

این رسوبات عهد حاضر در بستر رودخانه‌های منطقه شامل گراول، ماسه، سیلت و رس می‌باشد.

۱-۴-۲- زمین شناسی ساختاری منطقه

گسل البرز در مرز البرز شمالی با دشت کاسپین قرار دارد که در زمان سیلورین در دوران پالئوزیک ایجاد شده است. این گسل در سطح زمین نمایان نبوده و تنها در چاه‌های حفاری شده شناسایی شده است. این گسل از نوع معکوس بزرگ زاویه و با شیب به سوی جنوب است و از گرگان تا لاهیجان ادامه یافته و در برخی نقاط درازای آن نزدیک به ۶۰۰ کیلومتر است که پرتگاه‌های تندی میان دامنه‌های شمالی کوه‌های البرز و دشت ساحلی جنوب دریای خزر ایجاد نموده است. فرو رفتگی‌های دریای خزر و و ریخت شناسی دشت‌های ساحلی گیلان و مازندران به دلیل جابه جایی‌های رخ داده در راستای گسل یاد شده است. فرودیواره شمالی این گسل با کف دریای خزر در حال فرونشینی تدریجی است، آنچنان که از اواخر نئوژن تا عهد حاضر (نزدیک به دومیلیون سال اخیر)، نهشته‌های دوسوی این گسل نزدیک به ۳۰۰۰ متر اختلاف ارتفاع پیدا نموده اند (موسوی روح‌بخش ۱۳۸۰). اختلاف ارتفاع توپوگرافی ساختاری میان البرز و خزر جنوبی ۲۵ کیلومتر است، که ۱۰ کیلومتر آن با انباشتگی‌های پرشتاب نفت‌دار جوان‌تر از ۶ میلیون سال پیش ثبت شده است (ندیرف و همکاران ۱۹۹۷). گسل البرز، گسل فعالی است که نتیجه‌ی آن زمین لرزه‌های استان مازندران است. این گسل زون گرگان - رشت را از بقیه قسمت‌های البرز جدا می‌کند و دارای حرکت چپ‌گرد است. شدت چین خوردگی‌ها، به‌طور معمول به سوی گودال خزر (کاسپین) در شمال، به تدریج کاهش می‌یابد. از نگاه کلی بر پایه‌ی نقاط و سنگ‌های با سن‌های متفاوت، شدت چین خوردگی‌ها از درجه ملایم تا شدید و به ندرت بسیار شدید و همراه با برگشتگی طبقات بوده است. محور اصلی چین‌ها اغلب موازی و در راستای خاوری - باختری بوده است و پراکندگی‌ها و خمیدگی‌های راستاهای برخی محورها را می‌توان به چین خوردگی‌های ثانوی (تکراری) نسبت داد. چین خوردگی‌های نامگذاری شده مهم ناحیه مورد مطالعه

عبارتند از: تاقدیس سنگتراشان، تاقدیس و ناودیس برنجستانک، تاقدیس چای باغ، ناودیس جوارم، ناودیس کارمزد، تاقدیس آپون، ناودیس تره تار، ناودیس و سفید ریز و



شکل ۱-۵- نقشه زمین شناسی محدوده مطالعاتی قائمشهر - جویبار

۱-۵- ژئومورفولوژی منطقه

محدوده مطالعاتی قائم‌شهر - جویبار از شمال توسط ساحل دریای خزر و در قسمت جنوبی توسط ارتفاعات البرز مرکزی احاطه شده است، این محدوده دارای دو رودخانه‌ی اصلی به نام رودخانه تالار و سیاهرود است. رودخانه تالار دارای مساحت حوضه آبریز ۲۵۳۰/۱ کیلومتر مربع و دبی ۹/۵۱ متر مکعب بر ثانیه است. مساحت حوضه آبریز و دبی رودخانه سیاهرود به ترتیب ۲۰۳/۵ کیلومتر مربع و ۰/۹۷ متر مکعب بر روز است. رود تالار از دامنه شمالی البرز به سمت دشت جریان دارد و سیاهرود تنها در دشت جریان دارد. همه این رودها به دریا خزر منتهی می‌شود. فرسایش آبی در حال تخریب لایه‌های زمین‌شناسی بوده و جنس لایه‌ها در شکل‌گیری پدیده‌های ژئومورفولوژی موجود نقش اساسی دارند. بالاترین نقطه ارتفاعی این محدوده ۳۹۲۹ متر و پایین‌ترین نقطه آن با ارتفاع ۲۶- متر از سطح آزاد دریا در خروجی حوضه قرار دارد.

در کرانه‌های جنوبی دریای خزر جلگه‌های آبرفتی، مخروط افکنه رودخانه‌ها همراه با نهرهای طبیعی و مصنوعی گسترشی وسیع را نشان می‌دهد که با مزارع و گیاهان پوشیده شده‌اند و به سوی جنوب، به نهشته‌های کوهپایه‌ای پایان می‌پذیرد. از شمال به جنوب اختلاف ارتفاع زیادی دیده می‌شود که تأثیر آشکاری بر ریخت‌شناسی ناحیه داشته است. سنگ آهک‌های استوار کرتاسه بالایی و سازند تیزکوه، لار، روته و دولومیت‌های سازند الیکا و نیز سنگ‌های آتش‌فشانی کرتاسه، در بیشتر موارد برجستگی‌ها و قله‌های تاقدیسی و ناودیسی شکل را تشکیل داده‌اند. گسل مازندران - خزر، کم و بیش جداکننده ارتفاعات جنوبی، متشکل از کنگلومراهای پلیوسن، از دشت شمالی است. به سمت جنوب در اثر گسل‌های متعدد و کم و بیش موازی با گسل مزبور (اغلب با جهت شیب متفاوت) و نیز به علت اختلاف جنس و مقاومت سنگ‌های تشکیل‌دهنده‌ی هر قطعه، الگوی کوه - دره در چند نوبت تکرار شده است. بدین سان ریخت‌شناسی آشکارا از ساخت‌های چین و گسل‌های تقریباً شرقی - غربی تبعیت می‌نماید. نکته قابل توجه در آن‌ها وجود رودخانه‌های فراوان با مسیر تقریباً عمود بر راستای ساختمان‌ها است که به سمت شمال جریان دارند. شیب زمین از دشت به سمت ارتفاعات افزایش پیدا می‌کند.

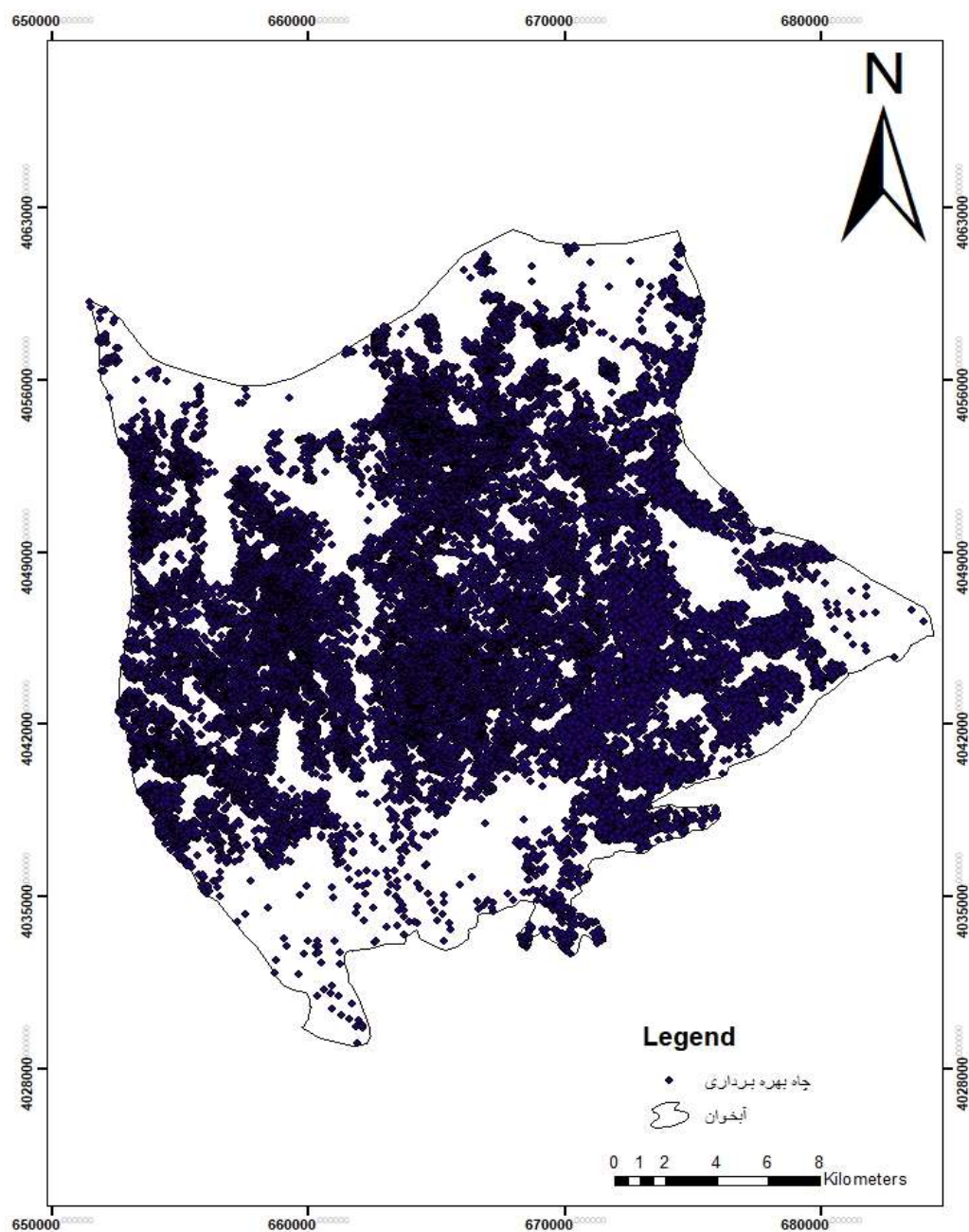


شکل ۱-۶- ژئومورفولوژی محدوده‌ی مطالعاتی قائم‌شهر - جویبار

۱-۶- هیدروژئولوژی منطقه

در دشت قائم‌شهر - جویبار آبخوان آبرفتی آزاد با وسعت ۶۱۴/۲۴ کیلومتر مربع ۶۲ درصد از گستره دشت را فرا گرفته است. وسعت لایه‌های محبوس در این دشت ۳۷۶/۱۳ کیلومتر مربع می‌باشد. سفره محبوس در اراضی میان دشتی گستره قابل توجهی از دشت را فرا گرفته است و تنها در اراضی پایاب دشتی در شمال و جنوب دشت این سفره گسترش ندارد. با توجه به عدم حفر چاه‌های بهره‌برداری به تفکیک لایه‌های آبدار موجود در دشت، کلیه لایه‌های آبدار با هم ارتباط هیدرولیکی داشته و لایه‌های مذکور به صورت یک سیستم هیدروژئولوژی مرکب عمل می‌نمایند. شبکه چاه‌های مشاهده‌ای در دشت کامل می‌باشد، ولی شبکه چاه‌های پیزومتری ناقص بوده و با توجه به عدم انجام عملیات آماربرداری به تفکیک سفره آزاد و لایه‌های محبوس امکان تهیه بیان آبریزمینی به تفکیک لایه‌های آبدار در این دشت وجود ندارد. در محدوده مطالعاتی قائم‌شهر - جویبار گستره آبخوان آبرفتی متأثر از جبهه قوی آب شیرین رودخانه‌های تالار و سیاهرود تا بخش‌های شمالی کشیده شده است. با این وجود ناحیه وسیعی از پهنه شمالی دشت فاقد آبخوان آبرفتی قابل بهره‌برداری (حاوی آب شیرین) می‌باشد. در دشت قائم‌شهر - جویبار بیشترین ضخامت در قسمت مرکزی دیده می‌شود. جبهه‌ی خروجی آب زیرزمینی سفره دشت مذکور در اراضی شمالی دشت بوده و وارد اراضی شوره زار واقع در شمال دشت می‌گردد. رودخانه تالار قبل از ورود به دشت از دره‌هایی با شیب کم گذشته و آبرفت‌های دانه درشت همراه آن در این دره ته‌نشین شده است و آبرفت‌های ریزدانه را به دشت انتقال می‌دهند. بنابراین توان فرسایشی رودخانه کم بوده و نمی‌تواند نوار ساحلی را فرسایش دهد و آب رودخانه به لایه‌های زیرین نفوذ می‌یابد. گراول و ماسه درشت دانه آبدهی ویژه بالایی دارند و در منطقه ساحلی مشاهده نشده‌اند، به همین دلیل آبخوان اصلی این دشت تا نوار ساحلی گسترش پیدا نمی‌کند. این منطقه در گذشته دریا بوده و سپس با پسروی دریا، ترتیب رسوب‌گذاری از ذرات دانه‌درشت به دانه‌ریز در نواحی سطحی رخ داده است. آبرفت در ناحیه جنوبی دشت در بخش‌های سطحی ریزدانه بوده و با افزایش عمق درشت دانه می‌شود. بر اساس آمار آب منطقه‌ای مازندران در آبخوان آبرفتی

قائم‌شهر - جویبار تعداد ۲۶۶۷۹ حلقه چاه (شکل ۷-۱) با مجموع برداشت و تخلیه سالانه ۲۱۰/۶۳ میلیون متر مکعب شناسایی شده است که برای مصارف کشاورزی، صنعت و شرب مورد استفاده قرار می‌گیرد.



شکل ۷-۱- محدوده آبخوان قائم‌شهر- جویبار و چاه‌های بهره‌برداری در آن

فصل دوم

مروری بر مطالعات گذشته

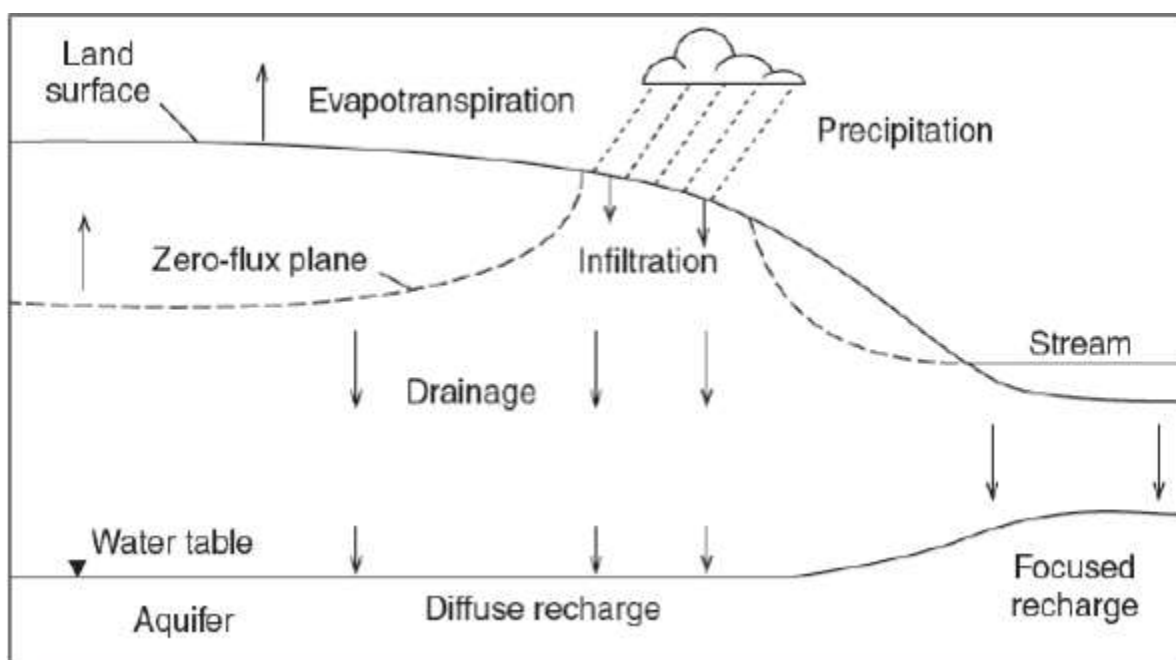
۲-۱- مقدمه

افزایش جمعیت جهان و به تبع آن افزایش نیاز غذایی، توسعه کشاورزی، گسترش مناطق شهری و پیشرفت منابع و تکنولوژی، بشر را بیش از پیش به منابع آب و خاک وابسته نموده است. محدودیت منابع آب شیرین در بسیاری از کشورها به صورت یک معضل جدی درآمده و توسعه این کشورها را تحت تأثیر خود قرار داده است. عواملی نظیر محدودیت آب‌های سطحی، موجب روی آوردن بیشتر بشر به آب‌های زیرزمینی برای تأمین نیازهای روز افزون خود شده است. امروزه حتی در مناطقی که بارندگی زیاد است و منابع آب سطحی وجود دارد، برای جبران کمبود آب با کیفیت مناسب از آب‌های زیرزمینی استفاده می‌شود (هاشمی نژاد و کریمی، ۱۳۸۵). ایران با داشتن میانگین بارندگی تقریباً برابر با ۲۵۰ میلی متر در سال (یک سوم متوسط بارندگی سالانه جهان)، از مناطق کم‌باران کره زمین به حساب می‌آید (مرادی ۱۳۸۲). برای ارزیابی و مدیریت منابع آب زیرزمینی یکی از فاکتورهای مهم تخمین نرخ تغذیه آب زیرزمینی است. معمولاً نرخ تغذیه در طول زمان و در مکان‌های مختلف تغییر می‌کند، به همین علت تخمین دقیق آن ممکن نیست، اما در جهت تأمین آب زیرزمینی و در نواحی که در معرض آلودگی هستند سرعت، زمان و مکان تغذیه بسیار حائز اهمیت است. نواحی‌ای از یک آبخوان که نرخ تغذیه بالاتر است بیشتر در معرض آلودگی قرار دارند (ASTM, 2008).

۲-۲- تعاریف

تغذیه آب زیرزمینی (Recharge) یا زهکشی عمیق یا نفوذ عمقی آب، فرایندی است که در آن آب از سطح زمین رو به پایین حرکت می‌کند (Healy 2010). این فرایند معمولاً در منطقه Vadose (قسمتی از زمین که بین سطح زمین و آب‌های زیرزمینی قرار دارد)، زیر ریشه‌های گیاه رخ می‌دهد و اغلب به عنوان منبع ریزش (آب) برای سطح سفره‌های آب زیرزمینی در نظر گرفته می‌شود. تغذیه به دو گروه پراکنده (Diffuse) و متمرکز (Focused) تقسیم می‌شود. تغذیه پراکنده، تغذیه‌ی ناشی از بارش یا آبیاری به صورت یکنواخت در یک سطح وسیع بوده که پس از

نفوذ به خاک سطحی از منطقه‌ی غیر اشباع عبور کرده و به سطح ایستابی می‌رسد. تغذیه متمرکز، تغذیه ناشی از نفوذ آب از بستر رودخانه‌ها، دریاچه‌ها، کانال‌ها و... به سفره‌ی آب زیرزمینی است (شکل ۱-۲). در سیستم های آب زیرزمینی تغذیه هم به صورت پراکنده و هم متمرکز صورت می گیرد و اهمیت هر مکانیسم بستگی به نوع منطقه متغیر است در مناطق مرطوب تغذیه به صورت پراکنده و در مناطق خشک به صورت متمرکز غالب است. به گونه‌ای که اهمیت تغذیه متمرکز طی دوره‌های بازگشت آب به آبخوان افزایش پیدا می کند (سودگی و جعفری، ۱۳۹۶).



شکل ۱-۲- مقطع عمودی نشان‌دهنده‌ی نفوذ از سطح زمین، زهکشی منطقه‌ی غیراشباع و تغذیه متمرکز و پراکنده به یک سفره

آزاد

۲-۳- بیان مدل مفهومی فرآیندهای تغذیه

توسعه مدل مفهومی فرآیندهای تغذیه یکی از گام‌های مهم در مطالعات تغذیه به حساب می‌آید. از عوامل مؤثر بر مدل‌های مفهومی می‌توان به اقلیم، توپوگرافی، پوشش گیاهی، زمین‌شناسی و... اشاره کرد. در هر مدل مفهومی سیستم هیدرولوژیکی، بیلان آب از مؤلفه‌های بنیادین به شمار می‌رود که پیوندی مابین فرآیندهای تغذیه و سایر فرآیندها در چرخه هیدرولوژیکی برقرار می‌سازد.

۲-۳-۱- خاک و زمین‌شناسی منطقه

نرخ تغذیه در مناطقی که دارای خاک‌هایی با ذرات درشت‌دانه و نفوذپذیری بالا هستند، نسبت به مناطقی که دارای ذرات ریزدانه با نفوذپذیری پایین هستند، بیشتر است. بنابراین نفوذپذیری ذرات تشکیل‌دهنده خاک تا حد زیادی می‌تواند بر مکانیسم‌های تغذیه مؤثر باشد. تغذیه در خاک‌های درشت‌دانه به دلیل قابلیت انتقال سریع آب می‌تواند گسترش یابد، چرا که آب می‌تواند به سرعت در خاک نفوذ کرده و قبل از اینکه جذب ریشه‌ی گیاهان شود، از لایه غیراشباع عبور کرده و زهکشی شود. رسوبات ریزدانه نفوذپذیری کمی دارند، اما قادرند سهم بالایی از آب را در خود ذخیره کنند. نفوذپذیری در تغذیه متمرکز بسیار حائز اهمیت است. بنابراین نفوذپذیری بالای بسترهای جریان، تبادل و جابه جایی بین آب‌های سطحی و زیرزمینی را تسهیل می‌بخشد.

۲-۳-۲- آب و هوا

مهم‌ترین عامل مؤثر بر روی نرخ تغذیه، تغییرات آب و هواست. بارش در بیشتر مناطق به عنوان منبع اصلی تغذیه طبیعی به حساب می‌آید. کاهش میزان بارش و افزایش دما باعث تغییر نرخ تغذیه آب زیرزمینی شده که نشان‌دهنده تأثیر آب و هوا بر نرخ تغذیه است. بررسی تأثیر آب و هوا بر نرخ تغذیه بسیار حائز اهمیت است، زیرا حدود ۱/۳ جمعیت جهان در مناطق خشک و نیمه‌خشک که وابستگی به آب زیرزمینی بسیار بالاست، زندگی می‌کنند. اگر سرعت بارش در طول سال نسبتاً یکنواخت باشد، از فصل زمستان تا بهار بیشترین احتمال تغذیه را

خواهیم داشت. البته این برای زمانی که سرعت نفوذ بیشتر از تبخیر و تعرق باشد. زنگنه و همکاران (۱۳۹۰) به بررسی اثرات خشکسالی بر نرخ تغذیه آب‌های زیرزمینی در دشت‌های هلايجان و نوترگی در جنوب غرب ایذه پرداختند. طی این تحقیق مشخص شد که خشکسالی‌های مداوم از سال ۱۳۸۶ تا ۱۳۸۸ باعث کاهش نرخ تغذیه و افت سطح آب زیرزمینی شده است. با توجه به سازندهای متفاوت تغذیه‌کننده آبخوان‌های مذکور، اثرات خشکسالی بر آن‌ها متفاوت بوده است. اثر تغییرات آب و هوا بر بیلان آب و خاک و تغذیه به آبخوان در جنوب غربی اسپانیا بررسی شد. نتایج به‌دست آمده از این مطالعه نشان داد که تغییرات آب و هوا در این ناحیه تأثیر مهمی بر بیلان آب و خاک و تغذیه آب‌زیرزمینی در طی دوره مورد مطالعه داشته است (Touhami et al., 2015).

۲-۳-۳- تغییرپذیری زمانی و مکانی تغذیه

هم در روش احتمالاتی و هم در روش نظام‌مند، نرخ تغذیه نسبت به مکان و زمان متفاوت است. این تغییرپذیری هم برای تغذیه گسترده و هم برای تغذیه متمرکز صدق می‌کند (Healy, 2010). روندهای فصلی، چند ساله و یا هر روند طولانی مدت اقلیمی بر الگوهای تغذیه اثرگذار خواهند بود. همچنین تغییراتی که در کاربری اراضی یا در نوع و تراکم پوشش گیاهی ایجاد می‌شود، می‌تواند در طول زمان منجر به تغییرات بزرگی در نرخ تغذیه شود. روش نوسانات سطح ایستابی می‌تواند تغذیه برای هر بارش خاص را تخمین بزند. روش‌های ردیابی تنها برای تغذیه در دوره زمانی بین ردیابی استفاده می‌شوند روش‌های بیلان آب داری و دیگر روش‌ها برای دوره‌های زمانی مختلف برای مثال به صورت روزانه، ماهانه یا سالانه استفاده می‌شوند.

۲-۳-۴- هیدرولوژی

ضخامت زون غیر اشباع و عمق سطح ایستابی در تعیین یک مدل مفهومی برای تغذیه‌ی آب زیرزمینی مؤثر است. اگر ضخامت لایه غیر اشباع کم باشد، آب به‌سرعت نفوذ و به سمت سطح ایستابی حرکت می‌کند و در نهایت با هر

بارش ممکن است فرایند تغذیه صورت گیرد. در سطوح ایستابی کم عمق، امکان تخلیه آب زیرزمینی از طریق استخراج و تعرق گیاهان بیشتر است. بنابراین آبی که سیستم های زیر سطحی کم عمق را تغذیه می کند، فقط برای مدتی کوتاه می تواند در لایه اشباع باقی بماند و سپس توسط ریشه گیاهان به جو باز گردد.

۲-۳-۵- پوشش گیاهی و کاربری اراضی

از دیگر عوامل بسیار مهم و تأثیر گذار بر فرایندهای تغذیه نوع پوشش گیاهی و کاربری اراضی می تواند باشد. در یک سطح که دارای پوشش گیاهی است میزان تبخیر و تعرق و استخراج توسط گیاهان، بیشتر از سطوح بدون پوشش گیاهی است. درختان توانایی کشیدن رطوبت از عمق چند متری را دارند، در مقابل ریشه های کم عمق نمی توانند به آبی که به عمق نفوذ کرده دسترسی داشته باشند. آلیسون و همکاران (Allison et al., 1983) نرخ تغذیه ی طبیعی را در دو حالت بررسی کردند نرخ تغذیه طبیعی تحت پوشش گیاهی کمتر از ۰/۱ میلی متر بر سال و بعد از برداشت محصولات بیشتر از ۲ برابر آنچه تخمین زده بودند، افزایش پیدا کرد. آبیاری می تواند یک نقش مهم در تغذیه ی آب زیرزمینی ایفا کند. جریان برگشتی کشاورزی یک مقدار قابل توجهی از تغذیه، در نواحی زیادی، مخصوصاً در مناطق خشک و نیمه خشک، جایی که نرخ تغذیه طبیعی پایین است را تشکیل می دهد (سودگی و جعفری ۱۳۹۶).

۲-۳-۶- توپوگرافی سطحی

پستی و بلندی های سطح زمین در هر دو مکانیسم تغذیه (پراکنده و متمرکز) بسیار مؤثر هستند. در مناطقی که شیب زمین زیاد است میزان نفوذ کاهش پیدا می کند و در نتیجه باعث ایجاد رواناب می شود. گودال های کوچک در سطح زمین می توانند تأثیر عمیقی را بر سرعت نفوذ داشته باشد. دِلین (Delin, 2000) نشان داد که حتی در خاک های به ظاهر یکنواخت گودال های کوچک باعث ایجاد رواناب شده اند، اما در همین مناطق میزان نفوذ و

تغذیه از سایر مناطق بیشتر است. برجستگی‌های سطحی جهت رشته‌کوه‌ها و ارتفاع محدوده کوهستان‌ها عوامل دیگری هستند که بر فرایند تغذیه مؤثر هستند.

۲-۴- چالش‌ها در تخمین تغذیه

۲-۴-۱- عدم قطعیت در تخمین تغذیه

همیشه برآورد دقیق تخمین تغذیه مطلوب بوده است، اما اکنون نیز با وجود پیشرفت‌های صورت گرفته باز هم تخمین نرخ دقیق تغذیه ممکن نیست. برآوردی که بر اساس یک مدل مفهومی نادرست صورت می‌گیرد، غیرقابل اطمینان است. خطاها از کاربرد نادرست روش‌ها و خطا در اندازه‌گیری‌ها نیز می‌تواند نشأت گیرد. کاربرد نادرست یک روش می‌تواند ناشی از عدم درک صحیح روش و یا ناشی از عدم کفایت داده‌های موجود در نشان دادن تغییرپذیری مکانی و زمانی باشد. از آنجایی که خطاهای مربوط به تخمین تغذیه قابل سنجش نیست، لذا عاقلانه است که تا زمانی که یک شاخص قابل اطمینان برای بررسی دقیق نتایج به دست آمده وجود نداشته باشد، از روش‌های گوناگون به منظور تخمین نرخ تغذیه در هر مطالعه استفاده کنیم (Lerner et al., 1990).

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

روش‌های تخمین تغذیه وابسته به مقیاس زمانی و مکانی می‌باشد. بعضی روش‌ها برآورد منطقه‌ای را ارائه می‌دهند. این روش‌ها جهت ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان به آلودگی هنگام تصمیم‌گیری در رابطه با کاربری اراضی مفید هستند. روش‌هایی مثل نوسانات سطح ایستابی قادرند به‌ازای هر رخداد بارندگی تخمینی از تغذیه را ارائه دهند. روش ردیابی تنها برای تغذیه در دوره زمانی بین ردیابی است. روش‌های بیلان آب، دارسی و سایر روش‌ها را می‌توان با فواصل زمانی گوناگون نظیر روزانه، ماهانه و یا سالانه به‌کار برد.

۲-۴-۳- هزینه

هزینه‌ها استفاده از برخی روش‌ها را برای تخمین نرخ تغذیه محدود می‌کند. بعضی روش‌ها را می‌توان تنها با یک پیمایش صحرایی و جمع‌آوری داده‌ها به کار برد. اما برخی از روش‌ها نیازمند بررسی‌های سالانه یا بیشتر می‌باشد که پرهزینه است. گران بودن یک روش همیشه دلیلی بر بهتر بودن یا دقت بیشتر آن روش نیست.

۲-۵- تکنیک‌های مختلف تخمین تغذیه

روش‌های تخمین تغذیه آب زیرزمینی به سه دسته اصلی تقسیم می‌شوند: روش‌های مبتنی بر آب‌های سطحی (اندازه‌گیری دبی رودخانه‌ها، تکنیک‌های جداسازی هیدروگراف رودخانه‌ها، مدل‌های بارش - رواناب و ...)، روش‌های مبتنی بر منطقه غیر اشباع (لایسیمترها، روش‌های ردیابی، مدل‌سازی بخش غیر اشباع و ...) و روش‌های مبتنی بر آب زیرزمینی (بیلان جرمی کلر، نوسانات سطح ایستابی، بیلان آب، مدل‌سازی ریاضی و ...). روش‌های مبتنی بر آب سطحی و منطقه غیر اشباع معمولاً تخمینی از تغذیه پتانسیل را ارائه می‌کنند، در حالی که روش‌های مبتنی بر آب زیرزمینی، مقادیر واقعی تغذیه را برآورد می‌کنند. انتخاب روش مناسب برای تخمین تغذیه کار مشکلی است. هدف و مقیاس مطالعات، روش به کار رفته در برآورد میزان تغذیه را مشخص می‌کند. به دلیل وجود عدم قطعیت در روش‌های مختلف، نیاز است تا از چند روش متفاوت برای تخمین تغذیه در یک منطقه خاص استفاده شود. مطالعات مختلف نشان داده‌اند که بارش‌های کمتر از ۲۰۰ میلی‌متر معمولاً تغذیه ناچیزی را به آب زیرزمینی وارد می‌کنند. بنابراین بخش زیادی از آب زیرزمینی در مناطق خشک و نیمه‌خشک منابع آبی فسیلی و قدیمی هستند و نمی‌توان آن‌ها را به عنوان یک منبع آب پایدار در نظر گرفت (فاریابی ۱۳۹۷).

جدول ۲-۱- روش‌های مختلف تخمین تغذیه

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

۲-۵-۱- روش نوسانات سطح ایستابی

از روش‌های پرکاربرد محاسبه تغذیه آب زیرزمینی، روش نوسانات سطح ایستابی است که مبتنی بر بیان آب در آبخوان بوده و نسبت به سایر روش‌ها به داده‌های غیر قطعی کمتری احتیاج دارد (غفاری و همکاران ۱۳۹۷). روش نوسانات سطح ایستابی بر این اساس استوار است که افزایش سطح ایستابی، نتیجه آب رسیده به سفره آب زیرزمینی می‌باشد. آب رسیده به سفره آب زیرزمینی می‌تواند شامل کسری از بارش‌ها و آبیاری‌های صورت گرفته باشد که برای زمین‌های زراعی منطقه همه ساله مورد استفاده قرار می‌گیرد (غفاری و همکاران ۱۳۹۷). مطالعات گسترده‌ای در سراسر دنیا با استفاده از این روش صورت گرفته است. استفاده از این روش نیازمند شناخت آبدهی ویژه و تغییرات سطح ایستابی در زمان می‌باشد. هیلی و کوک (Healy and Cook, 2002) مروری بر تئوری و کاربرد این مدل برای تخمین آب زیرزمینی انجام دادند. روش نوسانات سطح ایستابی برای تخمین تغذیه در دوره زمانی کوتاه در نواحی با عمق کم و آبخوان آزاد که بالآآمدگی و پایین‌رفتگی مشخص سطح

ایستابی دیده می‌شود، مورد استفاده قرار می‌گیرد. روش نوسانات سطح ایستابی مبتنی بر بالا آمدن سطح آب در آبخوان آزاد در نتیجه تغذیه آب رسیده به سطح ایستابی بوده (شکل ۲-۲) در صورتیکه جمع جبری اجزای دیگر بیلان آب شامل جریان جانبی در طول دوره تغذیه صفر باشد (Scanlon *et al.*, 2002). نرخ تغذیه آب زیرزمینی به وسیله بالا آمدن سطح آب و آبدهی ویژه مواد آب زیرزمینی تخمین زده می‌شود. به منظور تخمین نرخ تغذیه از فرمول زیر استفاده می‌شود.

$$R = S_y \Delta h / \Delta t \quad (1-2)$$

در این رابطه R تغذیه آب زیرزمینی (mm/y) ، S_y آبدهی ویژه، Δh پیک بالا آمدگی در سطح آب در دوره تغذیه (m) و Δt دوره زمانی تغذیه است.

فرضیات مهم و اصلی در روش نوسانات سطح ایستابی شامل مراحل زیر می‌باشد:

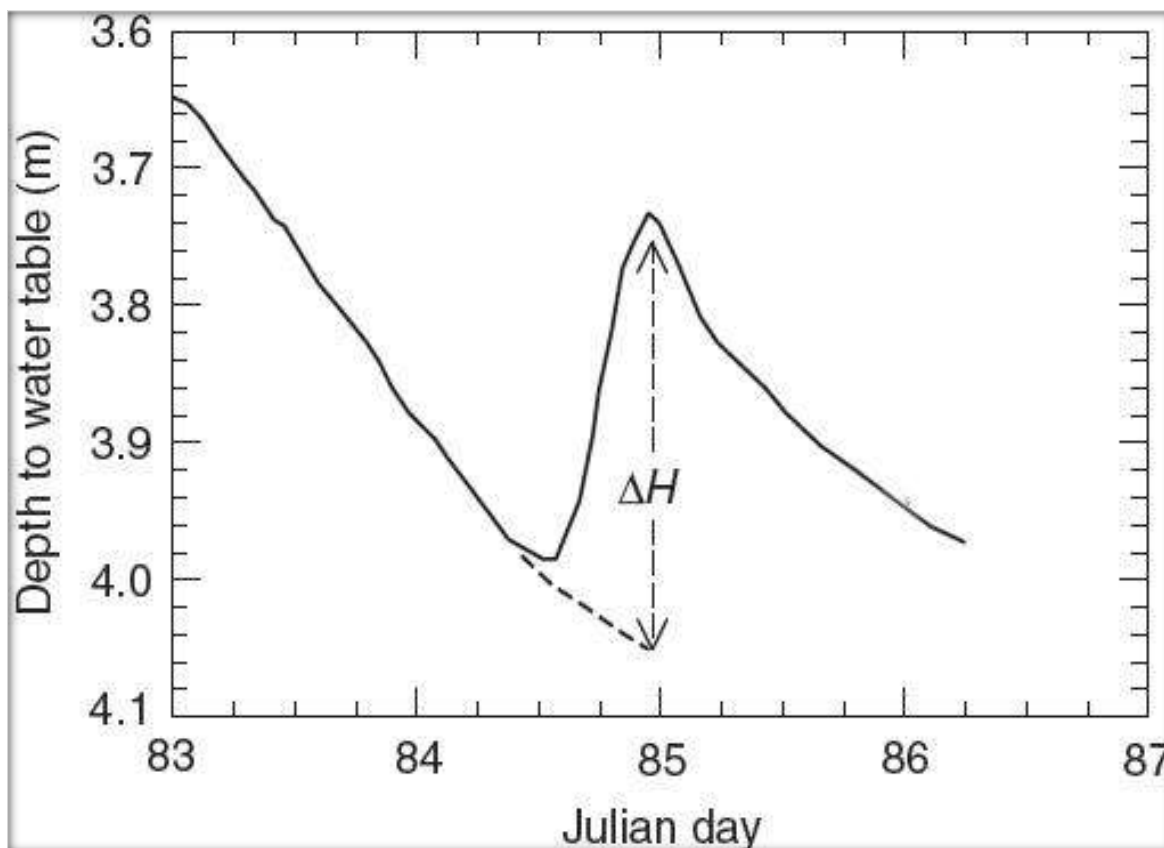
۱- افزایش و کاهش سطح آب در آبخوان آزاد و کم عمق که فقط در نتیجه تغذیه و تخلیه آب زیر زمینی می‌باشد.

۲- آبدهی ویژه محاسبه شده و در هر دوره زمانی نوسانات سطح ایستابی ثابت باشد.

۳- تغذیه با تعیین بالا آمدگی سطح آب از تقاطع نمودار برگشت محاسبه می‌شود (Healy *et al.*, 2007).

نرخ تغذیه ممکن است اساساً در درون حوضه آبریز به خاطر اختلاف در ارتفاع زمین شناسی، شیب زمین سطحی، گیاهان و فاکتورهای دیگر متفاوت باشد (Lee *et al.*, 2005). در روش نوسانات سطح ایستابی تغذیه به عنوان رویدادی که نسبت به زمان تغییر می‌کند در نظر گرفته می‌شود. اگر نرخ تغذیه به یک سفره ثابت یا مساوی با نرخ زهکشی از سفره باشد، سطح آب زیرزمینی تغییر نخواهد کرد و روش نوسانات سطح ایستابی نرخ تغذیه را صفر تخمین می‌زند و بنابراین این روش تحت این شرایط کاربردی نیست. یکی دیگر از محدودیت های این روش عدم اطمینان در تخمین آبدهی ویژه می‌باشد. تغییرات سطح آب همیشه در نتیجه تغذیه تا تخلیه نمی‌باشد، بلکه

به وسیله دیگر فاکتورها مانند تبخیر و تعرق، تغییر در فشار اتمسفر، هوای به دام افتاده و جذر و مد یا پاسخ به تغییرات در سطح رودخانه ایجاد می‌شود (Delin et al., 2007).



شکل ۲-۲- تعیین بالا آمدگی در پیزومترها جهت محاسبه تغذیه به روش نوسانات سطح ایستابی

۲-۵-۱-۱- آبدهی ویژه

آبدهی ویژه (Specific yield) یکی از پارامترهای مهم هیدرودینامیکی آبخوان‌های آزاد است که ظرفیت ذخیره سازی و آزادسازی آب در این آبخوان‌ها را نشان می‌دهد. نسبت حجم آب ثقلی خارج شده از نمونه خاک اشباع به حجم کل نمونه خاک اشباع را آبدهی ویژه نامند. این مقدار بستگی به اندازه دانه‌ها شکل و توزیع منافذ و وضعیت تراکم لایه‌ها دارد مقدار آبدهی ویژه (Sy) تخلخل و نگهداشت ویژه مطابق معادله (۲-۲) محاسبه می‌شود (Healy and Cook, 2002).

$$S_y = \emptyset - S_r \quad (2-2)$$

در این رابطه $\emptyset$ تخلخل و S_r نگه داشت ویژه (حجمی از نگهداشت آب به وسیله سنگ یا حجمی از سنگ) می باشد. آبدهی ویژه به وسیله دما، لیتولوژی (Healy and Cook, 2002) و عمق سطح آب تحت تاثیر قرار می گیرد. علت پیچیده بودن تخمین مقدار آبدهی ویژه به دلیل میزان آبی است که حتی بعد از زهکشی در مواد آبخوان (دانه های ماسه و رس) باقی می ماند و موضوع دوم به خاطر پیچیدگی جریان در زون غیر اشباع است که باعث می شود مقدار آبدهی ویژه بعد از زمان طولانی درست تشخیص داده نشود (Johnson, 1967).

از جمله روش هایی که برای تخمین مقدار آبدهی ویژه استفاده می شود، شامل روش آزمایشگاهی و صحرایی مانند آزمون پمپاژ، روش های بیلان حجمی، روش های بیلان آب، روش های ژئوفیزیکی و آزمون ظرفیت زراعی هستند (Scanlon et al., 2002). جعفری و باقری (۱۳۹۴) مقدار آبدهی ویژه در آبخوان شیروان را با استفاده از سه روش آزمون پمپاژ، روش تجربی بر اساس لاگ گمانه ها و بیلان آب زیرزمینی به ترتیب حدود ۳، ۳ و ۸ محاسبه کردند. بنابراین، در مجموع آبدهی ویژه آبخوان شیروان بین ۳ تا ۸ درصد (متوسط حدود ۵ درصد) برآورد شده است. مطالعات زیادی در ایران و سایر نقاط جهان جهت تخمین تغذیه به وسیله نوسانات سطح ایستابی انجام گرفته است. غفاری و همکاران (۱۳۹۵) نرخ تغذیه ی طبیعی آبخوان دشت اردبیل را با استفاده از روش نوسانات سطح ایستابی مورد مطالعه قراردادند. طی این پژوهش که برای دوره ی آماری ۱۰ ساله (از مهر ۱۳۸۰ تا مهر ۱۳۹۰) انجام شد، نتایج نشان داد که میزان متوسط آبدهی ویژه برای آبخوان ۰/۰۸۴ و متوسط کسری از آب بارندگی و آبیاری که موجب تغذیه آبخوان می گردد به ترتیب ۱۶/۸۴ و ۲۲/۵۳ درصد می باشد. در نهایت با به دست آمدن مقادیر پارامترهای مؤثر تغذیه، متوسط سالانه تغذیه آب زیرزمینی، معادل ۱۹۱ میلیون مترمکعب است. مارچال و همکاران (marechal et al., 2006)، برای برآورد آبدهی ویژه و تغذیه آب زیرزمینی در یک منطقه نیمه خشک، ترکیبی از روش نوسانات سطح ایستابی و معادله ی بیلان آب را برای دو فصل مرطوب و خشک به کار بردند. ابتدا

روش نوسانات سطح ایستابی را در فصل خشک (بدون تغذیه) برای برآورد آبدهی ویژه و سپس معادله بیلان را در فصل مرطوب برای تغذیه آب زیرزمینی استفاده کردند. درنهایت در این مطالعه، مقدار تغذیه‌ی آب زیرزمینی ۵۴/۷ تا ۱۱۹ میلی‌متر در سال و مقدار آبدهی ویژه ۰/۱۱۱ تا ۰/۱۶۵ برآورد گردید. همچنین، کلی دیوف و همکاران (Coly Diouf *et al.*, 2012)، در پژوهشی به‌منظور برآورد تغذیه آب زیرزمینی از این روش به صورت ترکیبی با دو روش دیگر به نام‌های بیلان جرمی کلر و ایزوتوپ‌های پایدار در یک آبخوان شنی واقع در داکار سنگال استفاده کردند. آن‌ها میزان تغذیه آب زیرزمینی را با استفاده از روش‌های نوسانات سطح آب و ایزوتوپ‌های پایدار ۱۴۴ میلی‌متر در طول فصل باران، به‌دست آوردند. شاردا و همکاران (Sharda *et al.*, 2006) نیز به‌منظور تخمین تغذیه آب زیرزمینی در اقلیم نیمه‌خشک هند روش‌های نوسانات سطح ایستابی و بیلان جرمی کلر را به کار بردند که مقدار آن با روش نوسانات سطح ایستابی برای سال‌های ۲۰۰۳ و ۲۰۰۴ به ترتیب ۷/۳ و ۹/۷ درصد از بارش سالانه به دست آمد. مون و همکاران (Moon *et al.*, 2004) از آنالیز آماری هیدروگراف‌ها و نوسانات سطح آب برای برآورد تغذیه آب زیرزمینی در کره جنوبی استفاده کردند. مقادیر متوسط تغذیه ناشی از بارش با استفاده از روش نوسانات سطح ایستابی برای حوضه‌های هان، کیوم، ناکدونگ، یانگسوم و سومجین به ترتیب ۱۰، ۸/۳، ۶/۱ و ۶/۶ درصد به دست آمد. اسکانلن و همکاران (Scanlon *et al.*, 2002) معتقدند که مقدار تغذیه، در نواحی مختلف در مقیاس‌های زمانی و مکانی متغیر می‌باشد. در روش نوسانات سطح ایستابی چون منطقه غیراشباع و حرکت آب در این منطقه در نظر گرفته نمی‌شود و تمام پارامترها مستقیماً بر روی سطح آب زیرزمینی اعمال می‌گردد، لذا پارامترهای برآورد شده ممکن است همبستگی بالایی باهم نشان دهند (رسول‌زاده و موسوی ۱۳۸۶). لذا استفاده از روش‌هایی که محیط غیر اشباع را در نظر می‌گیرند، باعث افزایش دقت برآوردها می‌باشد.

۲-۵-۲- روش بیلان جرمی کلر (CMB)

شیوهی بیلان جرمی کلرید یک روش توسعه یافته جهت محاسبه تغذیه از بارندگی بخصوص در مناطق نیمه خشک می باشد. به وسیله این روش می توان میزان تغذیه از بارندگی را از لحاظ مکانی در حد یک حوضه آبریز و از لحاظ زمانی از ده ها تا هزاران سال محاسبه کرد. تکنیک ردیاب کلر یکی از تکنیک های معمول ردیابی در آب های زیر زمینی است که برای اولین بار توسط اسکالر (scoller, 1960) به کار گرفته شد. وی جهت تخمین تغذیه با مقایسه غلظت کلر در آب زیر زمینی و میزان غلظت کلر آب باران و ذرات خشک تغذیه را تخمین زد. فرضیه این روش توسط آلیسون و همکاران (Alison et al., 1983) ارائه گردید. عنصر کلر به دلیل اینکه یک عنصر پایستار است و تحت تأثیر جذب و فروپاشی قرار نمی گیرد، می تواند ابزار بسیار مفید و در عین حال کم هزینه برای تخمین تغذیه باشد. در روش بیلان جرمی کلر چندین فرض وجود دارد که شامل موارد زیر می باشد:

۱- نبود ذخیره کلر در زون غیر اشباع

۲- هیچ منبعی برای یون کلر غیر از بارندگی در آب زیرزمینی وجود نداشته باشد.

۳- بارندگی در منطقه مورد مطالعه فاقد رواناب باشد، یعنی یا تبخیرشود یا اینکه در زمین نفوذ کند.

۴- هیچ تبخیری از آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه صورت نگیرد.

۵- غلظت کلر در عمقی اندازه گیری شود که تغییرات فصلی غلظت در آن کم باشد.

۶- غلظت کلر در رواناب سطحی همانند بارش باشد.

معادله هایی که برای ارزیابی تغذیه توسط شیوهی بیلان کلرید در دو دوره ی خشک و تر به کار می روند به صورت زیر می باشد:

$$R = \frac{P \times Clp}{Clg} \quad (۲-۳)$$

R: میزان تغذیه از بارندگی برحسب میلی‌متر در سال

P: میزان متوسط بارندگی در طی دوره‌ی بیلان برحسب میلی‌متر

Clp: میزان غلظت کلر در نمونه بارش بر حسب میلی‌گرم در لیتر

Clg: میزان غلظت کلر در نمونه‌ی آب زیرزمینی در دوره بیلان بر حسب میلی‌گرم در لیتر

از روش بیلان جرمی کلر برای تخمین تغذیه آب زیرزمینی در شمال شرقی چین برای یک دوره ۱۰ ماهه استفاده شده است (۲۰۰۶). مقدار تغذیه سالانه آب زیرزمینی در این ناحیه در حدود ۳۴ تا ۱۸۲ میلی‌متر (۳/۱۹ درصد میانگین بارش سالانه) محاسبه شده است (Obuobie et al., 2010).

میزان تغذیه در دوره تر به روش زیر محاسبه می‌گردد:

$$R = \frac{(p \times Cp) + (Ron \times Con) - (Roff \times Coff)}{Cg} \quad (4-2)$$

که R حجم تغذیه‌ی ناشی از بارندگی، P مقدار بارندگی، Cp غلظت کلر در آب باران (دوره‌ی خشک و تر) Ron حجم آب نفوذی، Con غلظت کلر در آب نفوذی، Roff حجم رواناب، Coff غلظت کلر موجود در رواناب و Cg غلظت کلر در آب زیرزمینی می‌باشد. با قراردادن پارامترها در معادلات فوق می‌توان مقدار تغذیه‌ی طبیعی از بارش به آبخوان را طی یک دوره‌ی زمانی مشخص محاسبه نمود.

عربی جوانمرد و جعفری (۱۳۹۵) نرخ تغذیه به آب زیرزمینی آبخوان اشتر را با استفاده از روش‌های نوسانات سطح ایستابی، بیلان آب و بیلان جرمی کلر تخمین زدند، که مقدار تغذیه به آبخوان اشتر با استفاده از روش بیلان جرمی کلر حدود ۱۰ میلیون متر مکعب تخمین زده شد. سودگی و جعفری (۱۳۹۶) مقدار تغذیه به آبخوان بیرجند رو با استفاده از روش‌های ایزوتوپی، بیلان آب، نوسانات سطح ایستابی و بیلان کلر بررسی کردند، طی این پژوهش مقدار تغذیه به آبخوان بیرجند با استفاده از روش بیلان جرمی کلر بین ۰/۲۴ تا ۲/۴۹ میلیون متر مکعب

تخمین زده شد. در منطقه تیاروی (Thiaroye) از روش بیلان جرمی کلر و نوسانات سطح ایستابی برای تخمین تغذیه در طول دوره زمانی ۲۰۱۱ - ۲۰۱۰ استفاده شده است. مقدار تغذیه با استفاده از روش نوسانات سطح ایستابی بین ۱۸ تا ۱۴۴ میلی‌متر در سال در طول فصل بارندگی و با استفاده از روش بیلان جرمی کلر ۸/۷ تا ۷۳ میلی‌متر در سال محاسبه شده است. در این مطالعه روش نوسانات سطح ایستابی مقدار نفوذ باران و زباله‌های خانگی را نشان می‌دهد در حالی که روش بیلان جرمی کلر فقط تغذیه از بارش را نشان می‌دهد (Diouf et al., 2012).

۲-۵-۳- روش بیلان آب

بیلان آب روشی است که بر مبنای قانون بقای جرم در هیدرولوژی تعریف می‌شود. در روش بیلان آب باید علاوه بر کسر آب باران و آبیاری که باعث بالارفتن سطح آب می‌گردد، جریان‌های زیر سطحی را نیز که به صورت افقی درون خاک وجود دارد، در نظر گرفت. ضمن آنکه خروج آب از آبخوان به وسیله منافذ طبیعی مانند چشمه‌ها یا تراوش به جریان‌های سطحی در مواردی که سطح آب زیرزمینی بالاست و تأسیسات ساخت بشر مانند قنات و چاه‌ها نیز در پایین رفتن سطح آب و خروجی بیلان تأثیر بسزایی دارند (غفاری و همکاران ۱۳۹۷). بیلان جرمی آب در یک دوره زمانی که به صورت اختلاف بین کل ورودی‌ها و کل خروجی‌ها بیان می‌شود برابر تغییرات در حجم ذخیره است:

$$I - O = \Delta S \quad (۵-۲)$$

I جریان‌های ورودی، O جریان‌های خروجی از سیستم و ΔS تغییرات ذخیره در سیستم هیدرولوژی می‌باشد (دامادی پور و همکاران ۱۳۸۶).

معادله بیلان برای تخمین تغذیه به یک آبخوان به صورت زیر می‌باشد:

$$R + Q_{in} - (Q_{out} + Q_d + E + D) = \pm \Delta v \quad (۶-۲)$$

در این معادله:

Q_{in}, Q_{out} : میزان آب ورودی و خروجی زیرزمینی در منطقه بیلان

R : هر نوع تغذیه شامل نفوذ مستقیم از بارندگی، نفوذ از سیلاب‌ها و جریان پایه رودخانه تغذیه از آب کانال‌های

انحرافی و حوضچه‌های تغذیه مصنوعی و آب برگشتی کشاورزی

Q_d : بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی در محدوده بیلان تغذیه به آب زیرزمینی

E : میزان تبخیر از سطح سفره آب‌های کم‌عمق زیرزمینی در محدوده بیلان (عمق کمتر از ۵ متر)

D : میزان زهکشی سفره توسط هر نوع زهکشی یا رودخانه در محدوده بیلان

$\pm \Delta V$: تغییرات حجم مخزن سفره در دوره بیلان

جباری و همکاران (۱۳۸۸) میزان تغذیه به آبخوان دشت ساری - نکا را با استفاده از روش بیلان آب بررسی کردند. در این پژوهش مقدار تغذیه به آبخوان معادل $78/9$ میلیون میلیون متر مکعب در سال تخمین زده شده است. خان محمدی و همکاران (۱۳۸۹) به بررسی بیلان آب زیرزمینی در دشت ارومیه پرداختند. در این تحقیق مجموع ورودی‌ها به آبخوان دشت ارومیه برابر $527/07$ میلیون متر مکعب در سال است. ارست و شجاعی (۱۳۹۲) به بررسی و تعیین بیلان آب زیرزمینی آبخوان آزاد دشت قم پرداختند. با در نظر گرفتن عوامل ورودی به آبخوان نظیر نفوذ از بارندگی، نفوذ از جریان‌های سطحی، تغذیه‌ی جریان‌های جانبی و نفوذ آب‌های برگشتی، مقدار تغذیه معادل $163/14$ میلیون متر مکعب در سال است.

۲-۵-۴- روش ایزوتوپی

اساس روش ایزوتوپی مقایسه محتوای ایزوتوپی در بارش و آب زیرزمینی است. کلارک (Clark, 1987) جهت تخمین مقدار تغذیه از بارش در جهان از ایزوتوپ‌های پایدار اکسیژن 18 و دوتریم استفاده کرد. وی با محاسبه

مقادیر جابه جایی (Shift) اکسیژن ۱۸ و دوتریم از خط ایزوتوپی محلی (LMWL) طبق رابطه های (۷-۲) و (۲-۲) (۸) مقدار تغذیه از بارش را بین ۱ تا ۵ میلی متر در سال تخمین زد.

$$180\ shift = \frac{3}{\sqrt{\text{recharge (mm)}}} \quad (\text{معادله ۷-۲})$$

$$2H\ shift = \frac{22}{\sqrt{\text{recharge (mm)}}} \quad (\text{معادله ۸-۲})$$

سودگی و جعفری (۱۳۹۶) نرخ تغذیه به آبخوان بیرجند را با استفاده از روش ایزوتوپ های پایدار تخمین زدند. نرخ تغذیه با استفاده از ایزوتوپ های پایدار اکسیژن ۱۸ و دوتریم برآورد شده بین ۰/۲۴ تا ۱/۳ میلیون متر مکعب بوده است.

۲-۶- مروری بر مطالعات پیشین

مطالعات گوناگونی تاکنون توسط محققین درخصوص برآورد تغذیه آب زیرزمینی در مناطق مختلف انجام شده است. شاردا و همکاران (Sharda et al., 2006) به منظور تخمین تغذیه آب زیرزمینی در اقلیم نیمه خشک هند روش های نوسانات سطح ایستابی و بیلان جرمی کلر را به کار بردند که مقدار آن با روش نوسانات سطح ایستابی برای سال های ۲۰۰۳ و ۲۰۰۴ به ترتیب ۷/۳ و ۹/۷ درصد از بارش سالانه به دست آمد. میزان تغذیه آب زیرزمینی برای حوضه آبریز واقع در اتیوپی (Ethiopia) با استفاده از روش بیلان جرمی کلر ۲۷۳ میلی متر در حوضه برآورد شده است (Demlie, 2015). طبق مطالعات انجام شده در آبخوان هرات متوسط تغذیه به این آبخوان حدود ۱۲۷ میلی متر در سال برآورد شده است (جعفری و رئیسی ۱۳۹۰). متوسط نرخ تغذیه آب زیرزمینی در آبخوان بیرجند با استفاده از روش نوسانات سطح ایستابی برابر با ۹ میلیون متر مکعب برآورد گردید (سوده گی ۱۳۹۶). نرخ تغذیه ناشی از بارش در آبخوان بیرجند با استفاده از روش ایزوتوپ های پایدار حداکثر معادل ۱/۳ میلیون متر مکعب در سال تخمین زده شد (سوده گی ۱۳۹۶).

فصل سوم

مواد و روش انجام کار

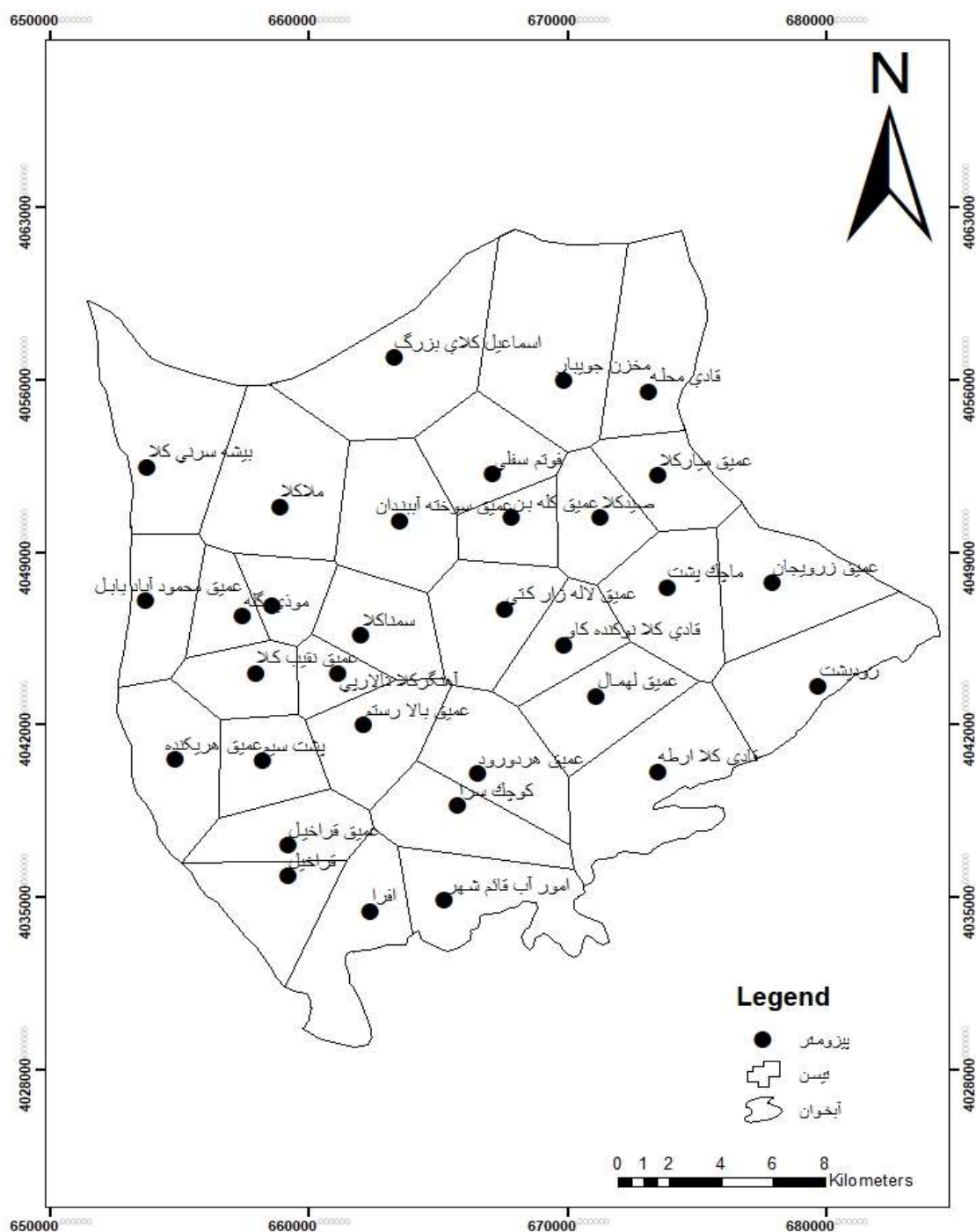
۳-۱- مقدمه

برای تخمین نرخ تغذیه از روش‌هایی همچون نوسانات سطح ایستابی، بیلان آب، بیلان جرمی کلر و ایزوتوپ‌های پایدار که هر کدام نیازمند داده‌های مختلفی می‌باشند، استفاده شده است. در ادامه روش استفاده از این تکنیک‌ها در بررسی و تخمین تغذیه به آبخوان قائم‌شهر - جویبار ارائه می‌گردد.

۳-۲- روش نوسانات سطح ایستابی (WTF)

۳-۲-۱- جمع‌آوری داده‌های کمی آب زیرزمینی

برای بررسی سطح آب از اطلاعات مربوط به ۳۲ حلقه پیزومتر واقع شده در محدوده آبخوان آزاد قائم‌شهر - جویبار استفاده شده است. داده‌های مورد نیاز برای روش نوسانات سطح ایستابی مربوط به سال‌های ۱۳۸۴ تا ۱۳۹۶ می‌باشد، که توسط آب منطقه‌ای استان مازندران جمع‌آوری شده است. در راستای محاسبات تخمین نرخ تغذیه و ترسیم هیدروگراف معرف آبخوان قائم‌شهر - جویبار، چندضلعی تیسن اطراف هر پیزومتر به وسیله نرم افزار Arcgis10.3 ترسیم شده (شکل ۳-۱) و مشخصات آن‌ها در جدول (۳-۱) آورده شده است. بر این اساس کل مساحت آبخوان ۶۱۴/۲۴ کیلومتر مربع محاسبه گردید.



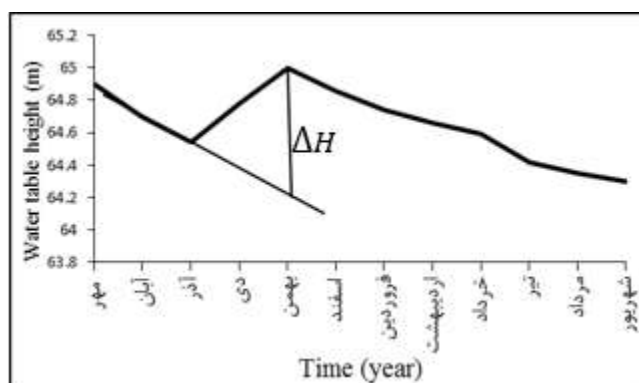
شکل ۳-۱- ترسیم چندضلعی‌های تیسین مربوط به پیزومترهای محدوده آبخوان قائم‌شهر - جویبار

جدول ۳-۱- مساحت چندضلعی های تیسن اطراف پیزومترهای آبخوان قائم شهر - جویبار

ردیف	پیزومتر	Utmx	Utmy	تیسن (کیلومتر مربع)
۱	اسماعیل کلای بزرگ	۶۶۳۳۲۱	۴۰۵۶۹۲۳	۳۲/۷۱
۲	عمیق اگرتیج کلا	۶۵۸۵۷۹	۴۰۴۶۸۵۷	۹/۲۱
۳	عمیق بالا رستم	۶۶۲۱۱۸	۴۰۴۱۹۹۴	۱۷/۳۱
۴	عمیق زروچان	۶۷۷۹۰۱	۴۰۴۷۷۹۶	۲۳/۱۲
۵	عمیق سوخته آبندان	۶۶۳۵۳۶	۴۰۵۰۲۸۸	۲۲/۴۷
۶	عمیق قراخیل	۶۵۹۱۹۳	۴۰۳۷۱۱۵	۱۲/۶۵
۷	عمیق کله بن	۶۶۷۸۶۱	۴۰۵۰۴۱۴	۱۰/۷۹
۸	عمیق لاله زار کتی	۶۶۷۶۰۳	۴۰۴۶۷۰۲	۱۶/۷۱
۹	عمیق لهما	۶۷۱۱۲۰	۴۰۴۳۱۸۵	۱۸/۰۹
۱۰	عمیق محمود آباد بابل	۶۵۳۷۰۳	۴۰۴۷۰۴۳	۱۴/۲۳
۱۱	عمیق میارکلا	۶۷۳۴۹۹	۴۰۵۲۱۲۸	۱۳/۴۲
۱۲	عمیق نقیب کلا	۶۵۷۹۵۴	۴۰۴۴۱۰۲	۱۱/۸۳
۱۳	عمیق هردورود	۶۶۶۵۴۰	۴۰۴۰۰۲۵	۱۹/۷۵
۱۴	عمیق هریکنده	۶۵۴۸۷۴	۴۰۴۰۵۹۶	۲۰/۴
۱۵	فوتیم سفلی	۶۶۷۱۲۷	۴۰۵۲۱۸۹	۱۵/۳۴
۱۶	قادی کلا ارطه	۶۷۳۴۷۶	۴۰۴۰۱۱۰	۳۰/۴۹
۱۷	قادی کلا نوکنده کاو	۶۶۹۸۴۷	۴۰۴۵۲۴۸	۱۲/۱۹
۱۸	قادی محله	۶۷۳۱۵۰	۴۰۵۵۵۴۱	۲۳/۴۹
۱۹	قراخیل	۶۵۹۲۱۴	۴۰۳۵۸۸۱	۱۵/۰۱
۲۰	کوچک سرا	۶۶۵۷۸۱	۴۰۳۸۷۲۰	۱۷/۰۲
۲۱	ماچک پشت	۶۷۳۸۴۴	۴۰۴۷۵۸۰	۲۰/۷۴
۲۲	مخزن جویبار	۶۶۹۸۵۷	۴۰۵۶۰۰۸	۳۵/۱۳
۲۳	ملاکلا	۶۵۸۸۹۰	۴۰۵۰۸۵۶	۲۹/۶۱
۲۴	موذی گله	۶۵۷۴۳۲	۴۰۴۶۴۱۴	۲۶/۱۲
۲۵	افرا	۶۶۲۳۹۸	۴۰۳۴۴۳۷	۲۱/۱۳
۲۶	امور آب قائم شهر	۶۶۵۲۶۳	۴۰۳۴۸۹۱	۲۱/۳۶
۲۷	آهنگر کلا نالاری	۶۶۱۱۴۶	۴۰۴۴۱۱۲	۷/۲۵
۲۸	بیشه سرنی کلا	۶۵۳۷۶۱	۴۰۵۲۴۵۹	۳۰/۱۵
۲۹	پشت سیم	۶۵۸۲۱۷	۴۰۴۰۵۶۲	۱۳/۴۹
۳۰	رودپشت	۶۷۹۶۸۹	۴۰۴۳۵۹۰	۲۳/۳۹
۳۱	سمناکلا	۶۶۲۰۳۰	۴۰۴۵۶۴۳	۱۵/۵۸
۳۲	صیدکلا	۶۷۱۲۸۵	۴۰۵۰۴۲۱	۱۴/۰۶
جمع کل مساحت آبخوان				۶۱۴/۲۴

۳-۲-۲- تعیین مقادیر بالآمدگی سطح ایستابی (ΔH)

یکی از داده‌های مورد نیاز برای تخمین نرخ تغذیه به روش نوسانات سطح ایستابی، تخمین میزان بالآمدگی سطح آب در پیزومترهاست. این بالآمدگی با محاسبه میزان اختلاف نقطه صعود و قعر در هر نوسان برآورد می‌گردد. به‌طور مثال میزان بالآمدگی در شکل (۲-۳) معادل ۰/۸ متر است. بدین ترتیب مقادیر بالآمدگی در ۳۲ حلقه پیزومتر حفار شده در آبخوان برای دوره‌ی آماری ۱۲ ساله (۸۴-۹۶) تخمین زده شد.



شکل ۲-۳- تعیین میزان بالآمدگی در هر پیزومتر

۳-۲-۳- محاسبه آبدهی ویژه (S_y)

از دیگر اطلاعات مورد نیاز برای تخمین نرخ تغذیه به روش نوسانات سطح ایستابی، داده‌های مربوط به آبدهی ویژه است. همانطور که در فصل دو توضیح داده شد، روش‌های متفاوتی از جمله روش‌های آزمون پمپاژ و لاگ حفاری برای تخمین نرخ تغذیه وجود دارد. به‌دلیل نبود اطلاعات مربوط به آزمون پمپاژ به ناچار از داده‌های لاگ حفاری در این تحقیق استفاده شده است. اندازه دانه‌ها، شکل و توزیع منافذ و وضعیت تراکم لایه‌ها از عوامل تأثیرگذار بر نرخ آبدهی ویژه است. با توجه به نتایج لاگ حفاری مقدار آبدهی ویژه آبخوان آزاد قائم‌شهر- جویبار تخمین زده شده است.

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

روش نوسانات سطح ایستابی با تجزیه و تحلیل نوسانات سطح آب زیرزمینی برآوردی، از تغذیه آب زیرزمینی ارائه می‌دهد. تنها اطلاعاتی که برای این روش مورد نیاز است، داده‌های سطح آب زیرزمینی و آبدهی ویژه است. این روش بر این فرض استوار است که افزایش سطح آب زیرزمینی در آبخوان‌های آزاد به‌خاطر آب رسیده به سطح ایستابی است (غفاری و همکاران ۱۳۹۷).

با محاسبه‌ی میزان بالآآمدگی در هر پیزومتر و نیز تخمین مقدار متوسط آبدهی ویژه‌ی آبخوان، مقدار متوسط تغذیه برای دوره‌ی ۱۲ ساله (۸۴-۹۶) طبق معادله (۳-۱) محاسبه شد.

$$R = S_y \Delta h / \Delta t \quad (۳-۱)$$

در این معادله R تغذیه بر حسب متر در سال، $\frac{\Delta h}{\Delta t}$ میزان بالآآمدگی در سال مورد نظر و S_y آبدهی ویژه می‌باشد.

۳-۳- روش بیلان جرمی کلر

برای محاسبه تغذیه به روش بیلان جرمی کلر، به داده‌های مربوط به میزان غلظت کلر در آب زیرزمینی و آب بارش نیاز می‌باشد. به همین منظور از تعداد ۳۶ حلقه چاه برای اندازه‌گیری غلظت کلر آب زیرزمینی نمونه‌برداری گردید. این نمونه‌ها به همراه ۱۰ نمونه بارش به آزمایشگاه آب و زیست محیطی دانشگاه صنعتی شاهرود منتقل شد. برای تخمین غلظت کلر در نمونه‌های آب بارش و آب زیرزمینی در آزمایشگاه از دستگاه کروماتوگرافی یونی (IC) و روش تیتراسیون استفاده گردید. تغذیه به روش بیلان جرمی کلر با استفاده از فرمول (۳-۲) محاسبه می‌گردد.

$$R = \frac{PC_P}{C_{gw}} \quad (۳-۲)$$

در این معادله R تغذیه سالانه آب زیرزمینی $P, (mm)$ بارش سالانه $C_p, (mm)$ غلظت کلر در بارش (mg/l) و C_{gw} غلظت کلر در آب زیرزمینی (mg/l) می باشد.

۳-۴- روش ایزوتوپی

از دیگر روش های به کار برده شده در این پژوهش برای تخمین نرخ تغذیه به آبخوان قائم شهر - جویبار ، روش ایزوتوپ های پایدار است. در این روش با بررسی ایزوتوپ های اکسیژن ۱۸ و دوتریم در بارش و آب زیرزمینی، مقدار تغذیه از بارش به آبخوان تخمین زده می شود. بدین منظور تعداد ۲ نمونه بارش و ۶ نمونه آب زیرزمینی جهت آنالیز ایزوتوپی به شرکت مصباح انرژی ارسال و نتایج آنها مورد بررسی و تفسیر قرار گرفت. مقدار تغذیه با استفاده از معادله های زیر تخمین زده می شود.

$$180\ shift = \frac{3}{\sqrt{\text{recharge (mm)}}} \quad (3-3)$$

$$2H\ shift = \frac{22}{\sqrt{\text{recharge (mm)}}} \quad (4-3)$$

در معادله های فوق $180\ shift$ و $2H\ shift$ به ترتیب میزان جابجایی ایزوتوپ های اکسیژن ۱۸ و دوتریم از خط ایزوتوپی محلی (LMWL) می باشد.

۳-۵- روش بیلان آب

روش دیگر برای تخمین نرخ تغذیه به آبخوان قائم شهر - جویبار، روش بیلان آب می باشد. معادله بیلان بر اساس موازنه ورودی ها و خروجی ها در سیستم آب زیرزمینی می باشد. اگر تفاضل ورودی ها و خروجی ها به از آبخوان صفر باشد، یا به عبارت دیگر تغییرات ذخیره صفر باشد، آبخوان در حالت تعادل بوده و با کسری مخزن مواجه نمی باشد.

ورودی‌ها می‌تواند شامل تغذیه از بارش، تغذیه ناشی از پساب‌های کشاورزی و صنعتی و شرب، جریان‌های سطحی ورودی و جریان‌های زیرزمینی ورودی به آبخوان و خروجی‌های آبخوان می‌تواند ناشی از برداشت از چاه‌ها و قنات، زهکشی توسط رودخانه‌ها، تبخیر و تعرق و جریان‌های زمینی خروجی باشد. ممکن است در بعضی از مناطق برخی از پارامترهای مذکور صفر در نظر گرفته شوند. به‌طور مثال در مناطقی که عمق سطح آب زیرزمینی بیشتر از ۵ متر باشد، میزان تبخیر و تعرق صفر در نظر گرفته می‌شود. نرخ تغذیه طبق معادله‌ی (۳-۵) محاسبه می‌گردد.

$$R + Q_{in} - (Q_{out} + Q_d + E + D) = \pm \Delta V \quad (۳-۵)$$

در این معادله:

Q_{ou} , Q_{in} : به ترتیب میزان آب ورودی و خروجی زیرزمینی در منطقه بیلان

R : هر نوع تغذیه شامل نفوذ مستقیم از بارندگی، نفوذ از سیلاب‌ها و جریان پایه رودخانه تغذیه از آب کانال‌های

انحرافی و حوضچه‌های تغذیه مصنوعی و آب برگشتی کشاورزی

Q_d : بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی در محدوده بیلان

E : میزان تبخیر از سطح سفره آب‌های کم‌عمق زیرزمینی در محدوده بیلان (عمق کمتر از ۵ متر)

D : میزان زهکشی سفره توسط هر نوع زهکشی یا رودخانه در محدوده بیلان

$\pm \Delta V$: تغییرات حجم مخزن در دوره بیلان که طبق رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\Delta V = A \times S_y \times \Delta H \quad (۳-۶)$$

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

فصل چہارم

نتایج و بحث

۴-۱- مقدمه

از جمله روش‌هایی که در منطقه اشباع برای تخمین تغذیه به آب زیرزمینی استفاده می‌شود، نوسانات سطح ایستابی، بیلان جرمی کلر، بیلان آب و ایزوتوپ‌های پایدار است که در این فصل به تخمین تغذیه به وسیله هر یک از روش‌ها در آبخوان قائم‌شهر - جویبار پرداخته می‌شود.

۴-۲- تخمین تغذیه به آبخوان قائم‌شهر - جویبار به روش نوسان سطح ایستابی

اولین روش برای تخمین نرخ تغذیه به آبخوان قائم‌شهر - جویبار که در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفت، روش نوسانات سطح ایستابی است. در تخمین نرخ تغذیه با استفاده از این روش به پارامترهایی نظیر آبدهی ویژه و مقدار تغییرات سطح آب در هر پیزومتر در دوره مورد بررسی نیاز می‌باشد. جهت تخمین تغذیه با استفاده از این روش، با توجه به مقدار صعود سطح ایستابی (ΔH) در دوره زمانی (Δt) و با استفاده از آبدهی ویژه (S_y)، میزان تغذیه (R) طبق معادله (۴-۱) محاسبه می‌گردد.

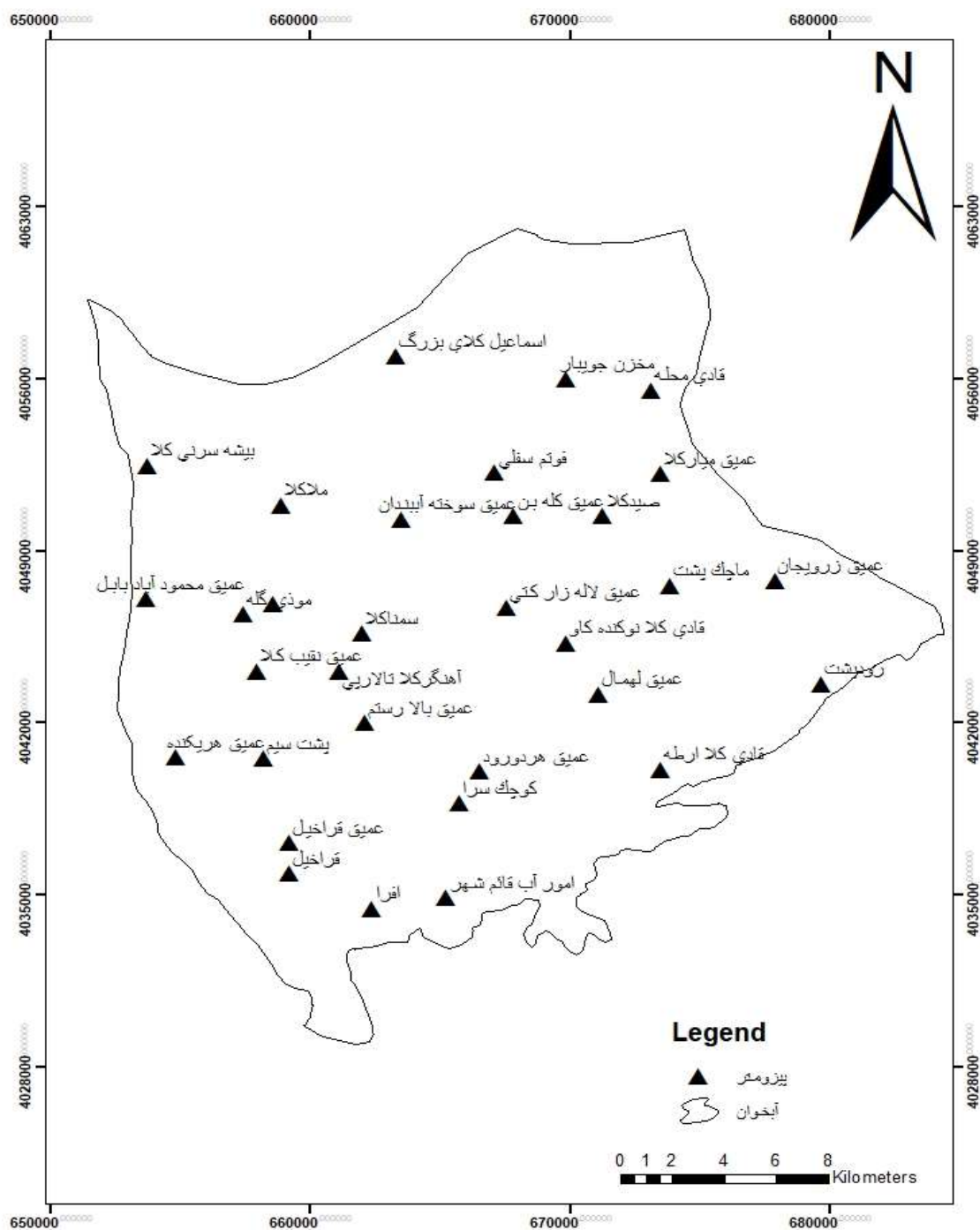
$$R = \frac{\Delta H}{\Delta t} S_y \quad (4-1)$$

۴-۲-۱- بررسی نوسانات سطح ایستابی در آبخوان قائم‌شهر - جویبار

برای بررسی نحوه تغییرات سطح ایستابی در نقاط مختلف آبخوان قائم‌شهر - جویبار، از آمار بلندمدت سطح ایستابی ۳۲ حلقه پیزومتر حفر شده در آبخوان، از سال ۱۳۸۴ تا سال ۱۳۹۶ استفاده شده است. مشخصات پیزومترها در جدول (۴-۱) و موقعیت آن‌ها در شکل (۴-۱) نشان داده شده است.

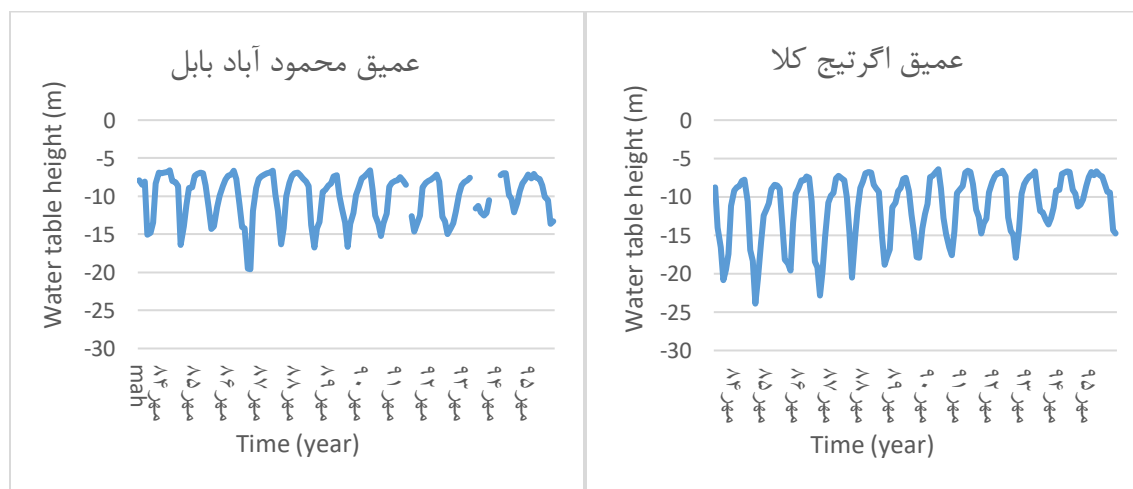
جدول ۴-۱- مشخصات پیزومترهای حفرشده در آبخوان قائم شهر - جویبار

ردیف	پیزومتر	Utmx	Utmy	ارتفاع نقطه نشانه (m)	عمق سطح آب (m)
۱	اسماعیل کلای بزرگ	۶۶۳۳۲۱	۴۰۵۶۹۲۳	-۱۵/۸۳	۵/۳
۲	عمیق اگرتیج کلا	۶۵۸۵۷۹	۴۰۴۶۸۵۷	-۵/۶	۹/۱۵
۳	عمیق بالا رستم	۶۶۲۱۱۸	۴۰۴۱۹۹۴	۵/۸	۶/۵
۴	عمیق زروچان	۶۷۷۹۰۱	۴۰۴۷۷۹۶	۶/۵	۳/۷۲
۵	عمیق سوخته آبندان	۶۶۳۵۳۶	۴۰۵۰۲۸۸	-۸/۳	۵/۴
۶	عمیق قراخیل	۶۵۹۱۹۳	۴۰۳۷۱۱۵	۳۲/۵۶	۱۳
۷	عمیق کله بن	۶۶۷۸۶۱	۴۰۵۰۴۱۴	-۵/۴۳	۸/۵
۸	عمیق لاله زار کتی	۶۶۷۶۰۳	۴۰۴۶۷۰۲	۱/۶۷	۱۶/۲
۹	عمیق لهمال	۶۷۱۱۲۰	۴۰۴۳۱۸۵	۱۲/۷۵	۱۵/۴
۱۰	عمیق محمود آباد بابل	۶۵۳۷۰۳	۴۰۴۷۰۴۳	-۵/۲۹	۸/۰۳
۱۱	عمیق میارکلا	۶۷۳۴۹۹	۴۰۵۲۱۲۸	-۶/۳۵	۵/۲۸
۱۲	عمیق نقیب کلا	۶۵۷۹۵۴	۴۰۴۴۱۰۲	-۰/۳۷	۳/۲
۱۳	عمیق هردورود	۶۶۶۵۴۰	۴۰۴۰۰۲۵	۳۲/۰۲	۱۰
۱۴	عمیق هریکنده	۶۵۴۸۷۴	۴۰۴۰۵۹۶	۳۲/۵۶	۱۳
۱۵	فوتم سفلی	۶۶۷۱۲۷	۴۰۵۲۱۸۹	-۸/۳	۵/۱
۱۶	قادی کلا ارطه	۶۷۳۴۷۶	۴۰۴۰۱۱۰	۲۳/۹۹	۹/۳
۱۷	قادی کلا نوکنده کاو	۶۶۹۸۴۷	۴۰۴۵۲۴۸	۸/۷۷	۶/۳
۱۸	قادی محله	۶۷۳۱۵۰	۴۰۵۵۵۴۱	-۹/۰۷	۴/۹
۱۹	قراخیل	۶۵۹۲۱۴	۴۰۳۵۸۸۱	۴۱/۳۱	۱۸/۷
۲۰	کوچک سرا	۶۶۵۷۸۱	۴۰۳۸۷۲۰	۴۳/۴۷	۶/۸
۲۱	ماچک پشت	۶۷۳۸۴۴	۴۰۴۷۵۸۰	-۴۸	۵/۱
۲۲	مخزن جویبار	۶۶۹۸۵۷	۴۰۵۶۰۰۸	-۸/۰۹	۴/۶۵
۲۳	ملاکلا	۶۵۸۸۹۰	۴۰۵۰۸۵۶	-۹/۰۱	۶/۱
۲۴	مودی گله	۶۵۷۴۳۲	۴۰۴۶۴۱۴	-۵/۷۲	۶/۱
۲۵	افرا	۶۶۳۳۹۸	۴۰۳۴۴۲۷	۱/۹۵	۸/۵
۲۶	امور آب قائم شهر	۶۶۵۲۶۳	۴۰۳۴۸۹۱	۷۱/۳۵	۳۷
۲۷	آهنگرکلا تالاریبی	۶۶۱۱۴۶	۴۰۴۴۱۱۲	۷/۲۸	۹/۲۸
۲۸	بیشه سرنی کلا	۶۵۳۷۶۱	۴۰۵۲۴۵۹	۱۲/۸۵	۲/۶۷
۲۹	پشت سیم	۶۵۸۲۱۷	۴۰۴۰۵۶۲	۹/۶۶	۷/۳
۳۰	رودپشت	۶۷۹۶۸۹	۴۰۴۳۵۹۰	۳۱/۷۹	۱۳/۱۶
۳۱	سمناکلا	۶۶۲۰۳۰	۴۰۴۵۶۴۳	۱/۷۶	۱۰/۱
۳۲	صیدکلا	۶۷۱۲۸۵	۴۰۵۰۴۲۱	-۱/۶	۹/۴

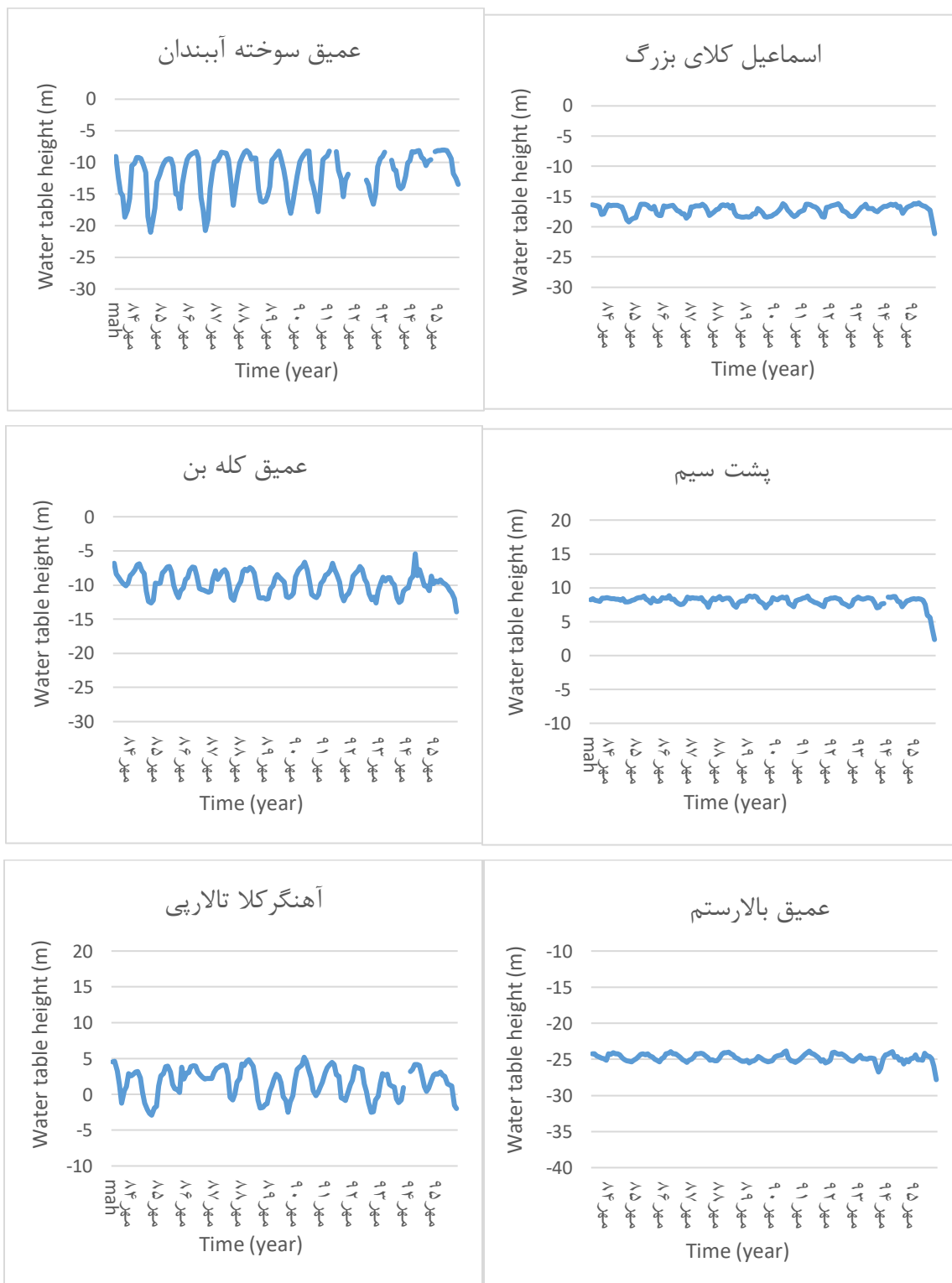


شکل ۴-۱- موقعیت پیزومترهای حفر شده در آبخوان قائم شهر - جویبار

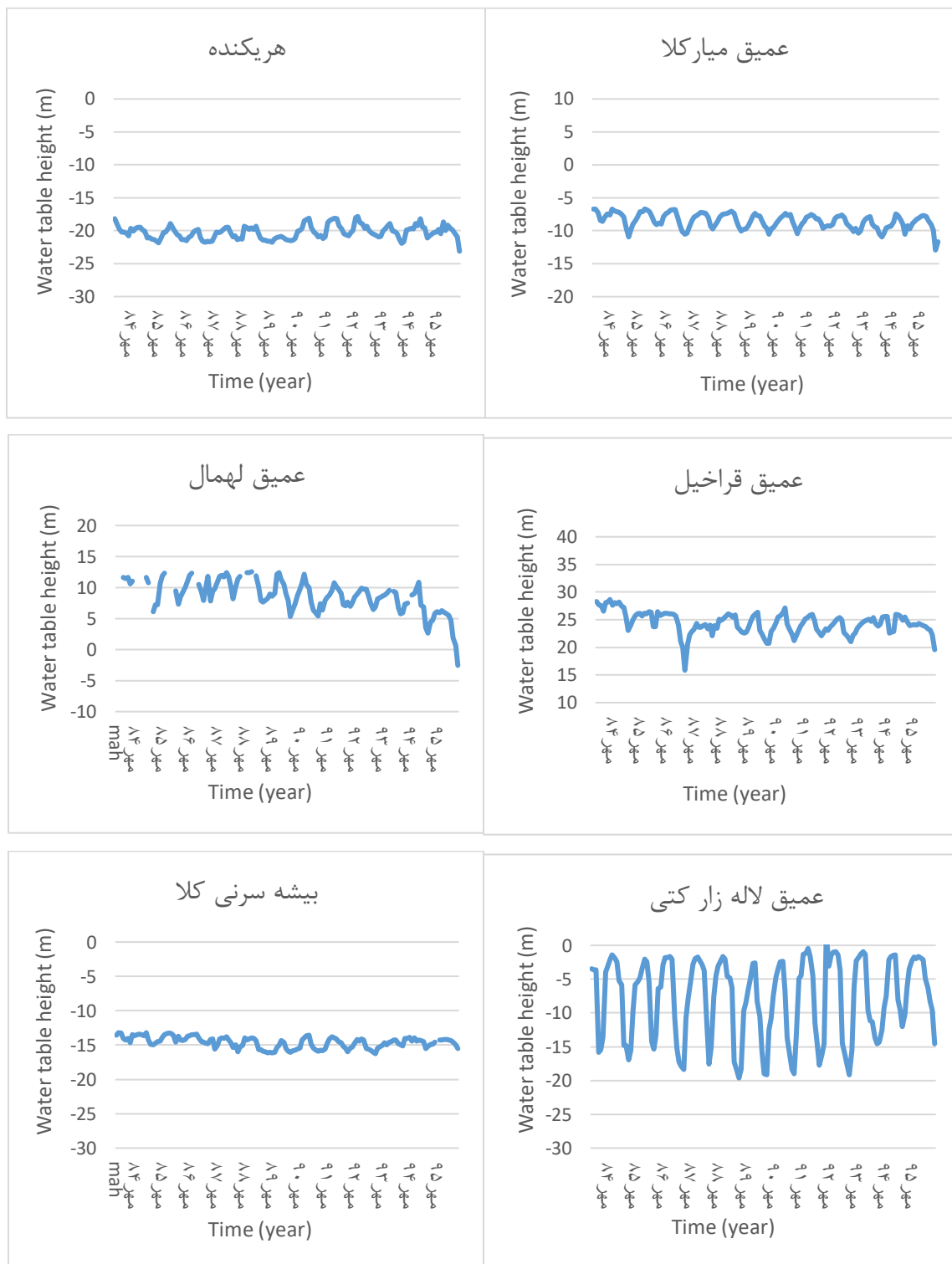
با هدف بررسی نوسانات سطح ایستابی در آبخوان قائم‌شهر - جویبار، به بررسی داده‌های سطح آب زیرزمینی در بازه زمانی ۱۳۸۴ تا ۱۳۹۶ پرداخته می‌شود. هیدروگراف مربوط به تغییرات سطح آب زیرزمینی در هر یک از پیزومترهای واقع در آبخوان ترسیم شد (شکل ۴-۲). به‌طور کلی پیزومترهایی از جمله عمیق لاله زارکتی، عمیق اگریچ کلا، عمیق سوخته آب‌بندان و عمیق محمود آباد بابل که در غرب و تقریباً مرکز آبخوان قرار دارند، نوسانات بیشتری را نشان می‌دهند. پیزومترهایی نظیر قادی کلا نوکنده، صیدکلا، هردود، عمیق قراخیل، عمیق لهمال و تالاری که در قسمت مرکز و شرق آبخوان قرار دارند، به نسبت گروه اول تغییرات و نوسانات کمتری داشته و در مجموع هر چقدر به سمت مرزهای آبخوان نزدیک می‌شویم، تغییرات نوسانات پیزومترها کمتر می‌شود و روند تقریباً مشابهی دارند. بررسی و تخمین میزان افت متوسط و سالیانه در هر یک از پیزومترهای موجود در آبخوان نشان می‌دهد که بیشترین مقدار افت سالیانه مربوط به پیزومتر عمیق لهمال و عمیق لاله‌زارکتی به‌ترتیب به میزان ۹۱ و ۹۰ سانتی‌متر و کم‌ترین مقدار آن مربوط به پیزومتر هریکنده و نقیب‌کلا به میزان ۵ سانتی‌متر بوده است. پیزومترهای قسمت مرکزی آبخوان در مقایسه با سایر پیزومترها افت بیشتری داشته‌اند که از دلایل آن می‌توان به تراکم زیاد چاه‌های بهره‌برداری در این مناطق و برداشت بیشتر از آبخوان توسط چاه‌های بهره‌برداری اشاره نمود. متوسط مقادیر افت در هر یک از پیزومترها در شکل (۴-۳) نمایش داده شده است.



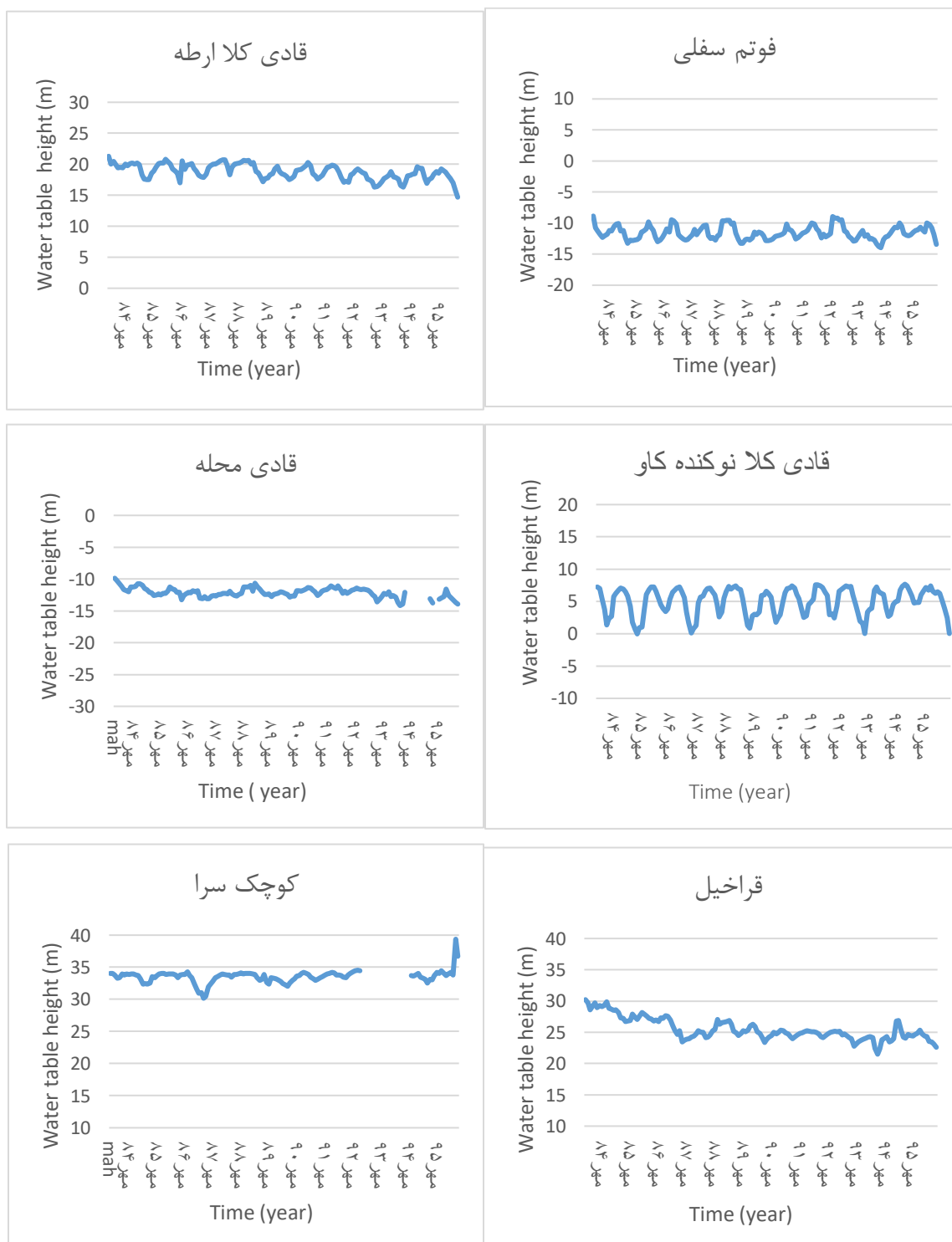
شکل ۴-۲- هیدروگراف پیزومترهای حفر شده در آبخوان قائم‌شهر - جویبار



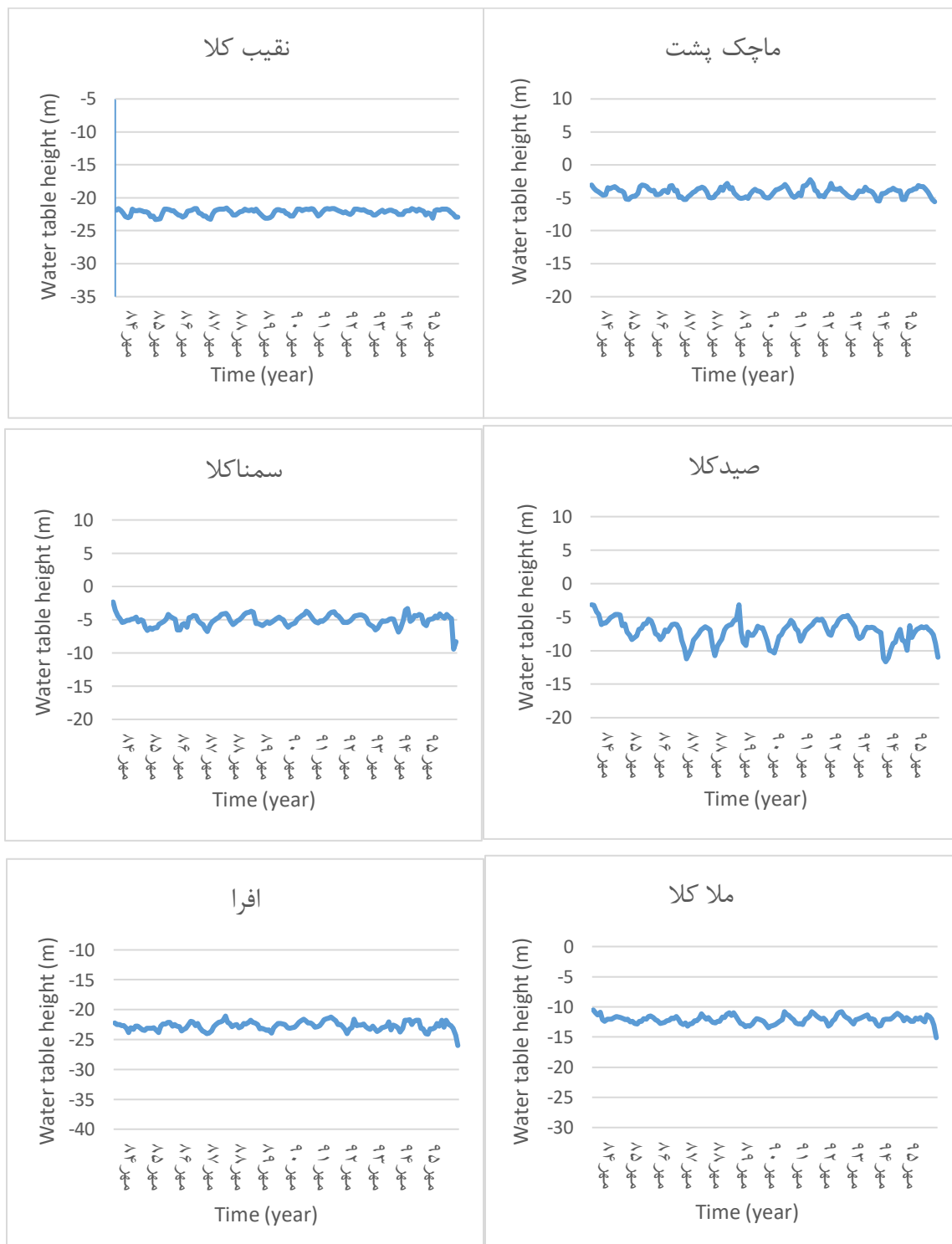
شکل ۴-۲- (ادامه) هیدروگراف پیزومترهای حفر شده در آبخوان قائم شهر - جویبار



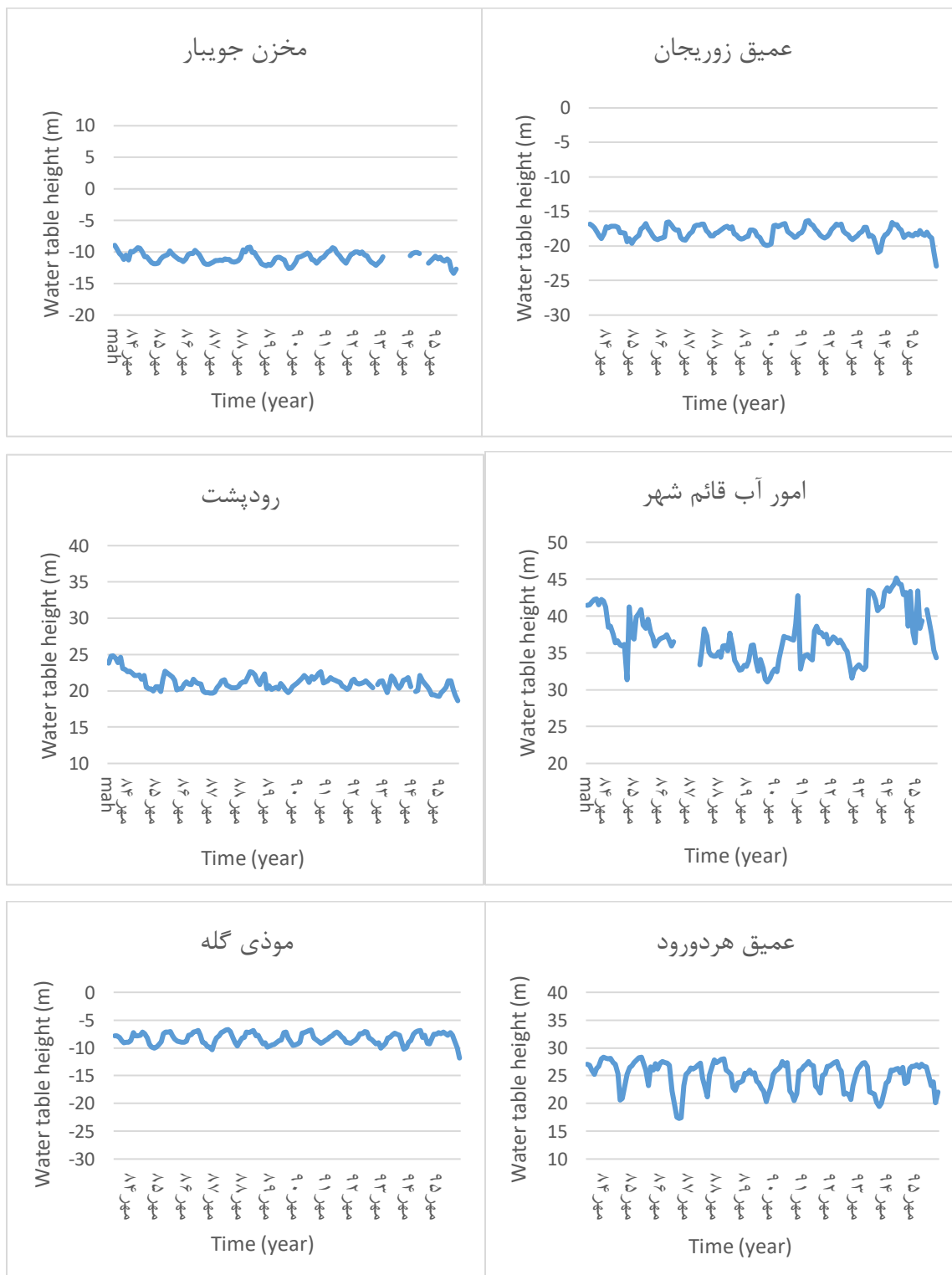
شکل ۴-۲- (ادامه) هیدروگراف پیزومترهای حفر شده در آبخوان قائم شهر - جویبار



شکل ۴-۲- (ادامه) هیدروگراف پیزومترهای حفر شده در آبخوان قائم‌شهر - جویبار



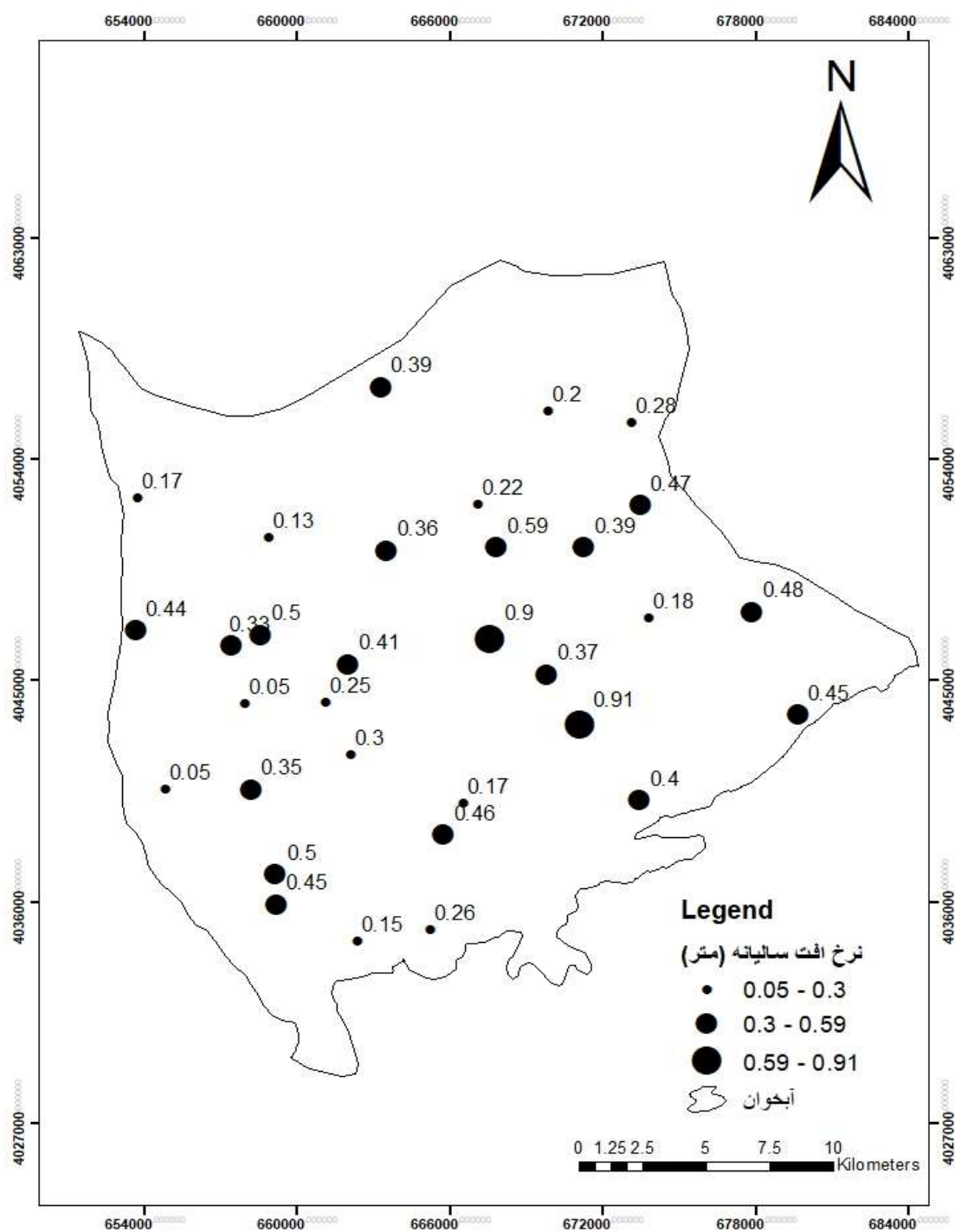
شکل ۴-۲- (ادامه) هیدروگراف پیزومترهای حفر شده در آبخوان قائم شهر - جویبار



شکل ۴-۲- (ادامه) هیدروگراف پیزومترهای حفر شده در آبخوان قائم شهر - جویبار

جدول ۴-۲- افت سالیانه در پیزومترهای آبخوان قائم‌شهر - جویبار

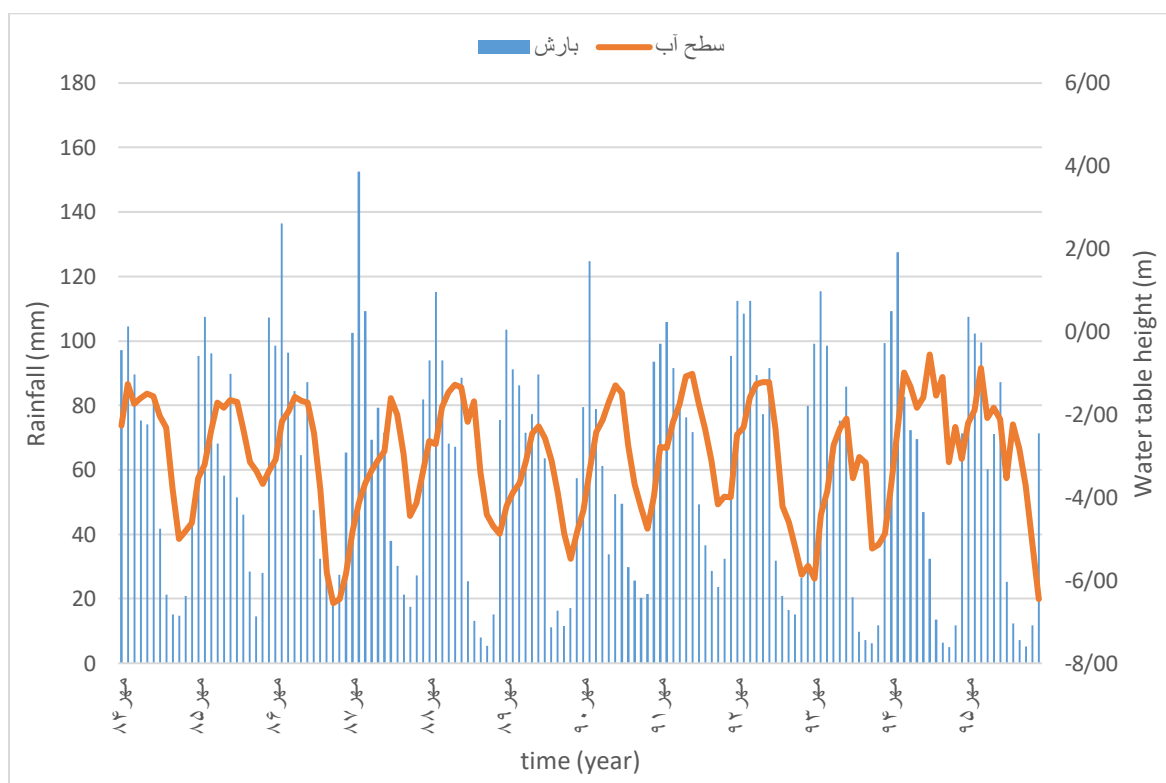
پیزومتر	دوره آماری	افت کل (متر)	افت سالیانه (متر)
اسماعیل کلای بزرگ	۸۴ - ۹۶	۴/۷	۰/۳۹
عمیق اگرتیج کلا	۸۴ - ۹۶	۶	۰/۵
عمیق بالا رستم	۸۴ - ۹۶	۳/۶	۰/۳
عمیق زروبیجان	۸۴ - ۹۶	۵/۸۵	۰/۴۸
عمیق سوخته آبندان	۸۴ - ۹۶	۴/۳۵	۰/۳۶
عمیق قراخیل	۸۴ - ۹۶	۶/۰۵	۰/۵
عمیق کله بن	۸۴ - ۹۶	۷/۱	۰/۵۹
عمیق لاله زار کتی	۸۴ - ۹۶	۱۰/۹	۰/۹
عمیق لهما	۸۴ - ۹۶	۱۱	۰/۹۱
عمیق محمود آباد بابل	۸۴ - ۹۶	۵/۲۸	۰/۴۴
عمیق میارکلا	۸۴ - ۹۶	۵/۶۸	۰/۴۷
عمیق نقیب کلا	۸۴ - ۹۶	۰/۶	۰/۰۵
عمیق هردورود	۸۴ - ۹۶	۲/۱۴	۰/۱۷
عمیق هریکنده	۸۴ - ۹۶	۰/۷	۰/۰۵
فوتیم سفلی	۸۴ - ۹۶	۲/۷	۰/۲۲
قادی کلا ارطه	۸۴ - ۹۶	۴/۸	۰/۴
قادی کلا نوکنده کاو	۸۴ - ۹۶	۴/۵۵	۰/۳۷
قادی محله	۸۴ - ۹۶	۳/۴۵	۰/۲۸
قراخیل	۸۴ - ۹۶	۵/۵	۰/۴۵
کوچک سرا	۸۴ - ۹۶	۵/۶	۰/۴۶
ماچک پشت	۸۴ - ۹۶	۲/۱۸	۰/۱۸
مخزن جویبار	۸۴ - ۹۶	۲/۴۵	۰/۲
ملاکلا	۸۴ - ۹۶	۱/۶۵	۰/۱۳
مودی گله	۸۴ - ۹۶	۴	۰/۳۳
افرا	۸۴ - ۹۶	۱/۸	۰/۱۵
امور آب قائم شهر	۸۴ - ۹۶	۳/۲	۰/۲۶
آهنگرکلا نالاری	۸۴ - ۹۶	۳/۰۱	۰/۲۵
بیشه سونی کلا	۸۴ - ۹۶	۱/۳	۰/۱۷
پشت سیم	۸۴ - ۹۶	۴/۲	۰/۳۵
رودپشت	۸۴ - ۹۶	۵/۴	۰/۴۵
سمناکلا	۸۴ - ۹۶	۵	۰/۴۱
صیدکلا	۸۴ - ۹۶	۴/۷	۰/۳۹



شکل ۴-۳- مقادیر متوسط افت سالیانه در پیزومترهای آبخوان قائمشهر - جویبار

۴-۲-۲- هیدروگراف معرف آبخوان قائم‌شهر - جویبار

برای ترسیم هیدروگراف معرف آبخوان قائم‌شهر - جویبار، نقشه تیسن پیزومترهای آبخوان قائم‌شهر - جویبار با استفاده از نرم افزار Arc GIS 10.5 ترسیم گردید (شکل ۳-۱). از مهم‌ترین کاربردهای هیدروگراف معرف آبخوان، نشان دادن دقیق تغییرات سطح آب زیرزمینی در نتیجه‌ی عواملی نظیر بارش، نفوذ از جریان‌های سطحی، پساب‌های کشاورزی و همچنین عواملی مانند برداشت از چاه‌ها و قنات، زهکشی توسط جریان‌های سطحی و است. برای درک بهتر رابطه بین میزان بارش و تراز سطح آب زیرزمینی، اطلاعات ماهانه بارش بر حسب میلی‌متر و سطح آب زیرزمینی بر حسب متر برای دوره‌ی ۱۲ ساله‌ی مورد بررسی (۱۳۸۴ - ۱۳۹۶) به‌طور همزمان در شکل (۴-۴) ترسیم شده است. همانطور که مشاهده می‌شود آبخوان دارای تغییرات تقریباً ثابتی بوده است. متوسط نرخ افت سالیانه با توجه به هیدروگراف معرف آبخوان حدود ۳۵ سانتی‌متر می‌باشد.



شکل ۴-۴- هیدروگراف معرف آبخوان قائم‌شهر - جویبار

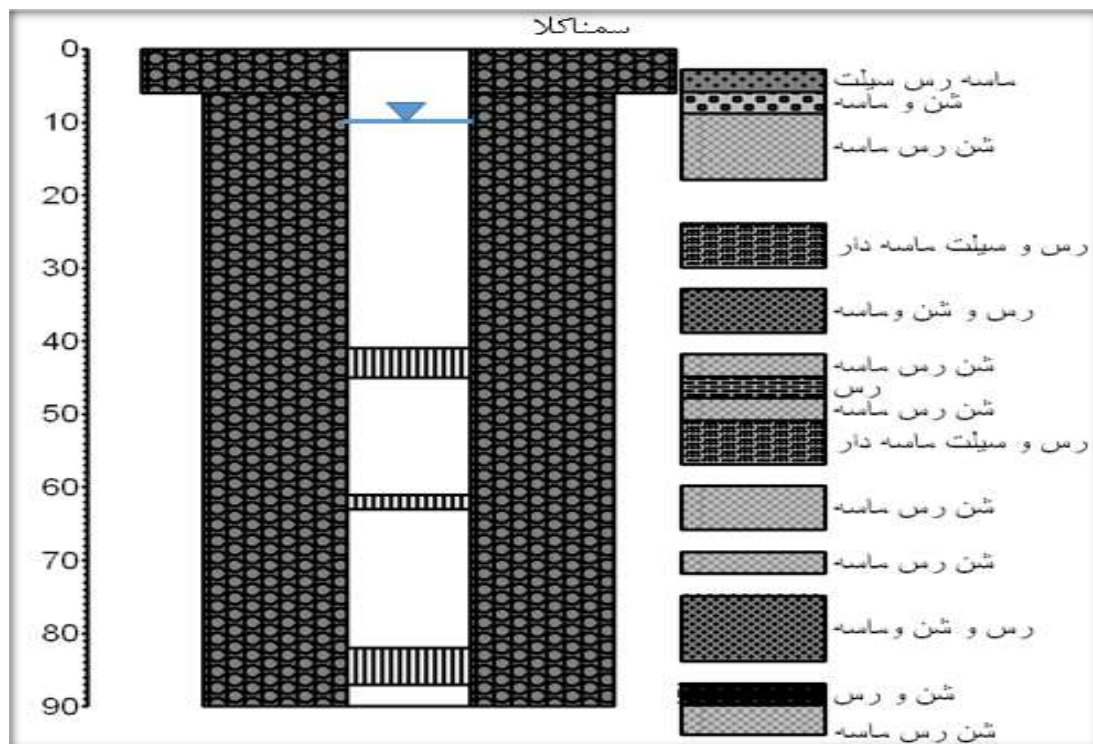
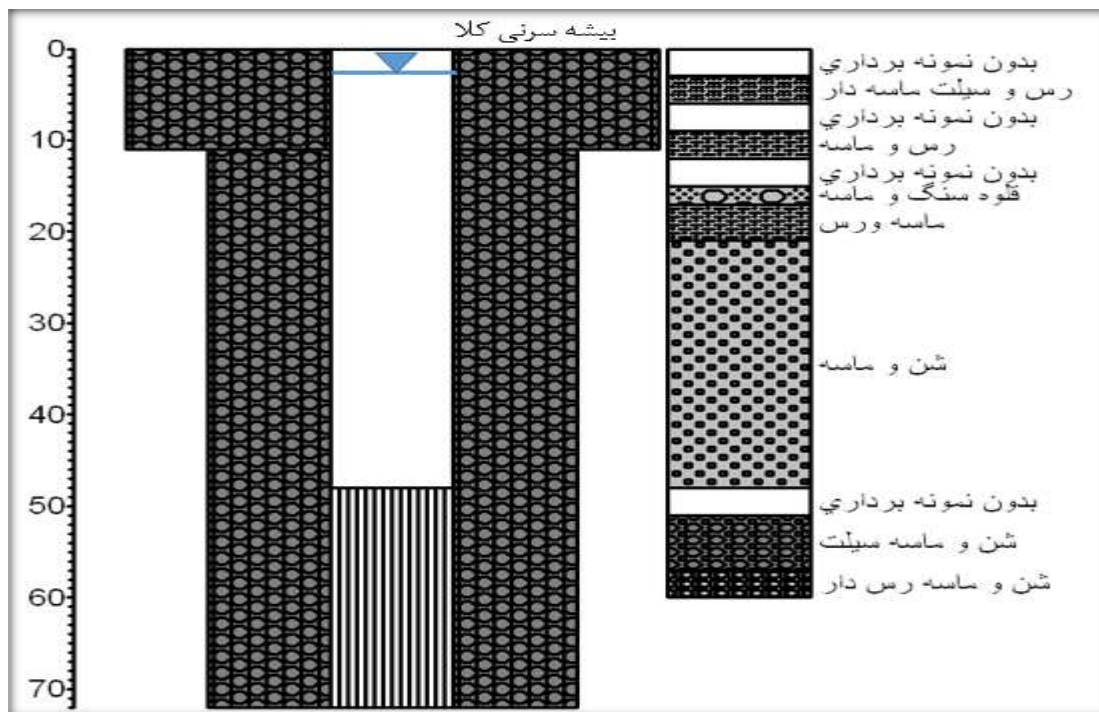
بررسی هیدروگراف معرف آبخوان قائمشهر - جویبار نشان می‌دهد که سطح آب زیرزمینی از شهریور ماه افزایش یافته و از اواخر اردیبهشت ماه تا مرداد کاهش پیدا می‌کند. این روند افزایش و کاهش برای همه‌ی سال‌های ۸۴ تا ۹۶ مشابه و تقریباً یکسان می‌باشد. بیشترین تراز آب مربوط به ماه‌های مهر و آبان و آذر و کمترین تراز آب مربوط به ماه‌های تیر و مرداد هر سال می‌باشد.

۴-۲-۳- مقادیر آبدهی ویژه (S_y) و قابلیت انتقال (T) با استفاده از داده‌های لاگ حفاری

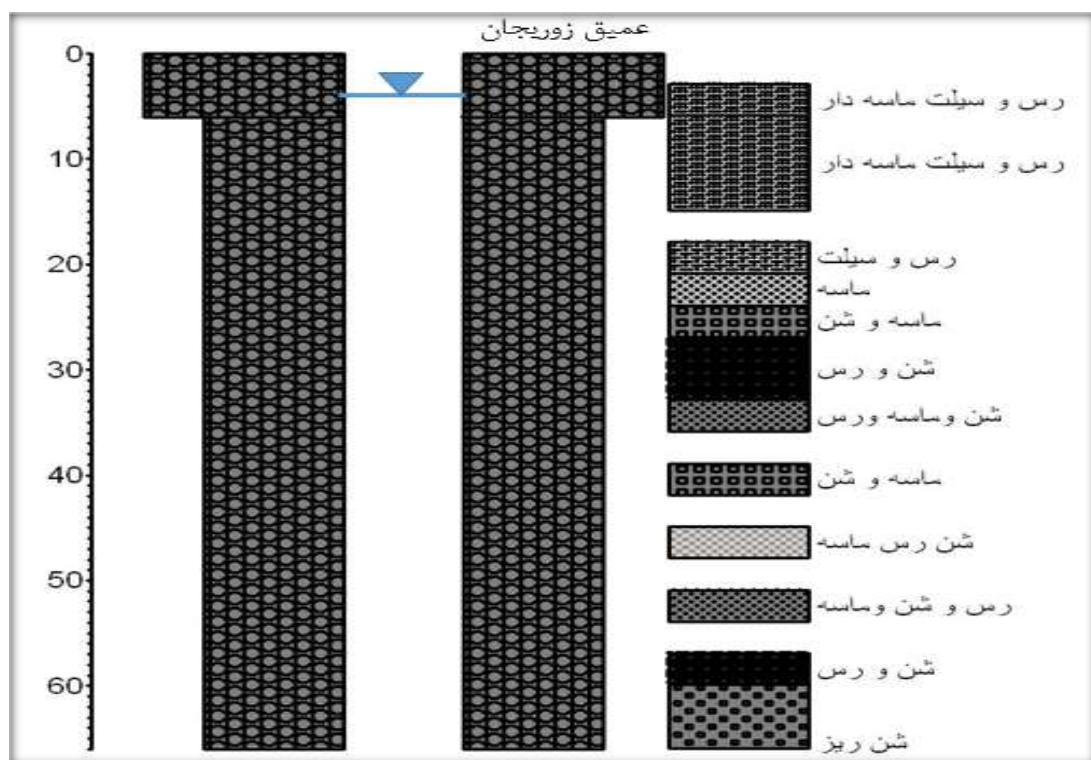
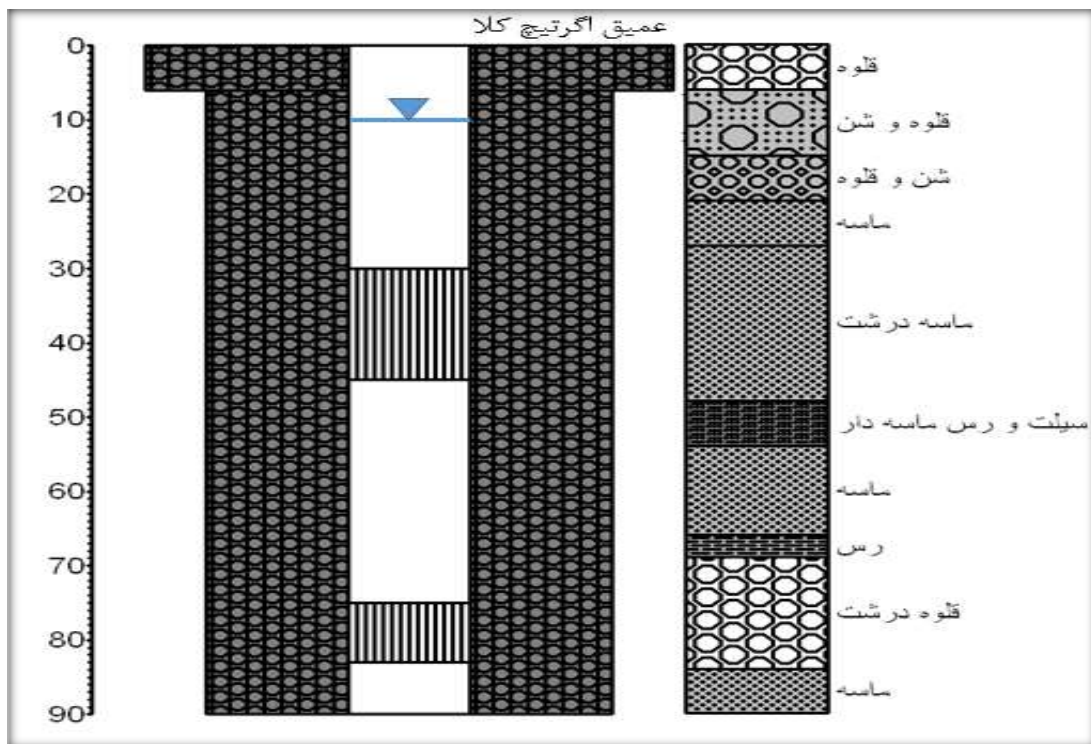
یکی از پارامترهای بسیار مهم در تخمین تغذیه به روش نوسانات سطح ایستابی، میزان آبدهی ویژه است. در آبخوان قائمشهر - جویبار به منظور تعیین نرخ آبدهی ویژه از داده‌های لاگ حفاری در ۱۳ حلقه چاه استفاده گردید (شکل ۴-۵). بر اساس داده‌های لاگ حفاری و بافت غالب رسوبات، با به کارگیری مقادیر جدول (۴-۳) نرخ آبدهی ویژه‌ی آبخوان بین ۲/۵ تا ۵ درصد متغیر بوده است (جدول ۴-۴). بیشترین مقدار آبدهی ویژه مربوط به شرق و جنوب آبخوان بوده است (شکل ۴-۶). بر اساس داده‌های لاگ حفاری متوسط آبدهی ویژه آبخوان حدود ۴ درصد می‌باشد.

جدول ۴-۳- تخمین آبدهی ویژه صحرایی بافت‌های غالب رسوبات

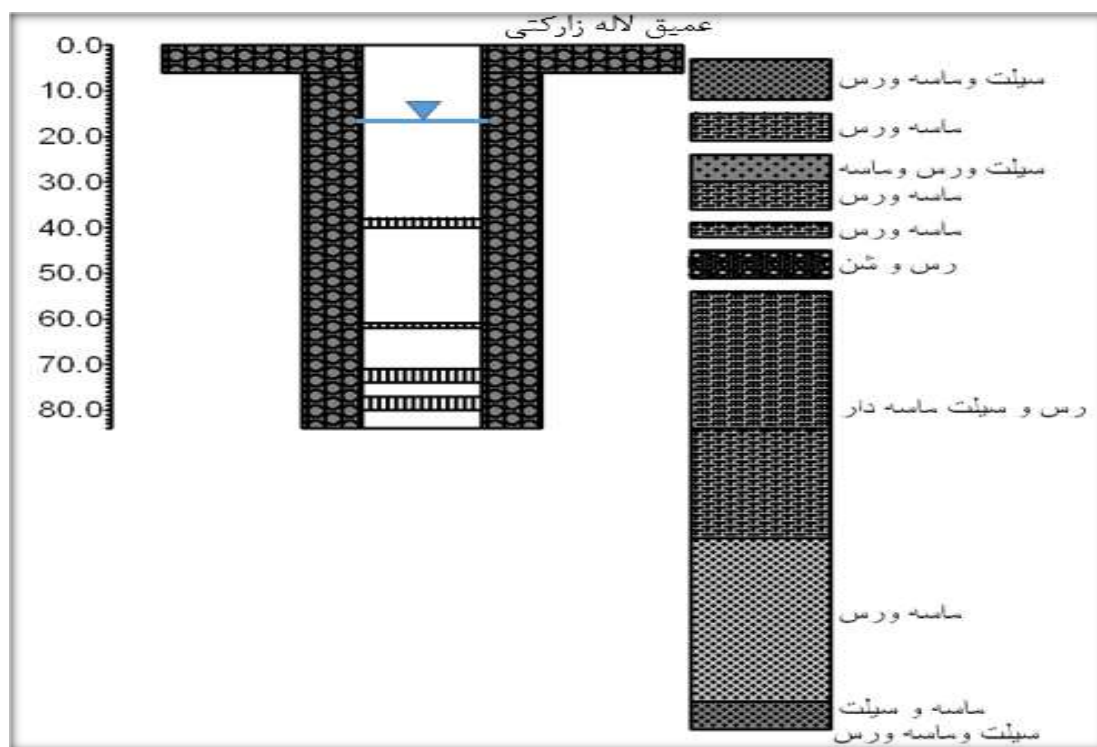
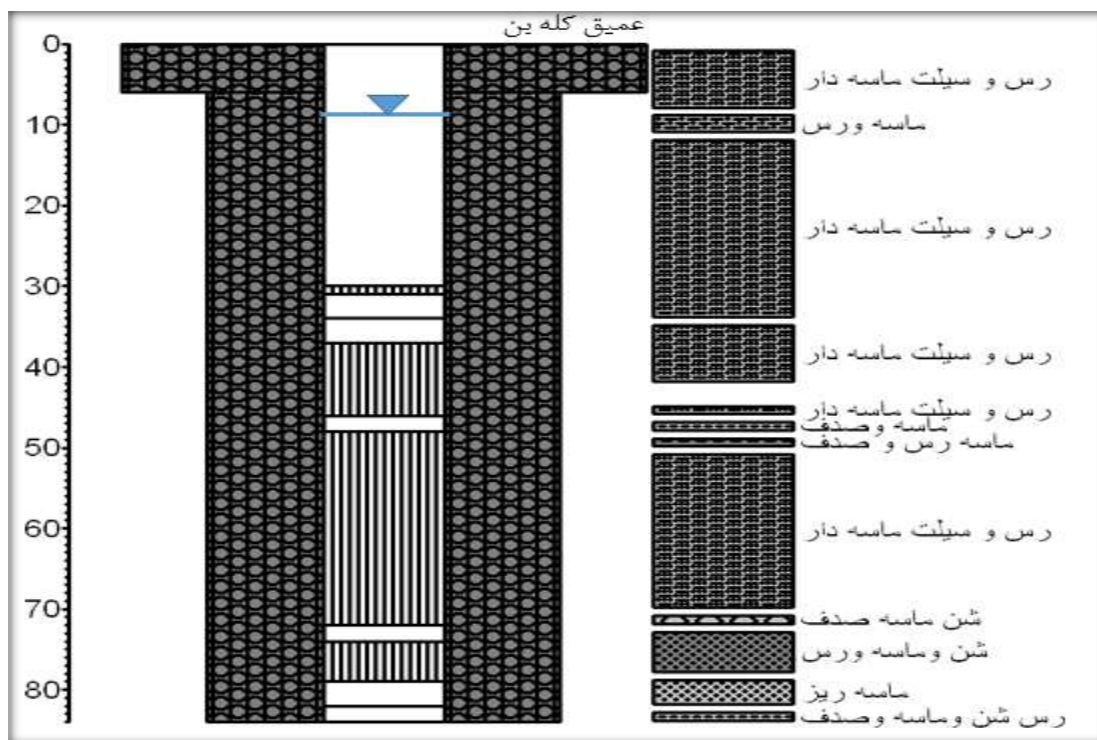
آبدهی ویژه	بافت غالب رسوبات
۱۰	گراول
۸	ماسه
۶	ماسه و رس
۴	رسوبات مختلط
۲	رس



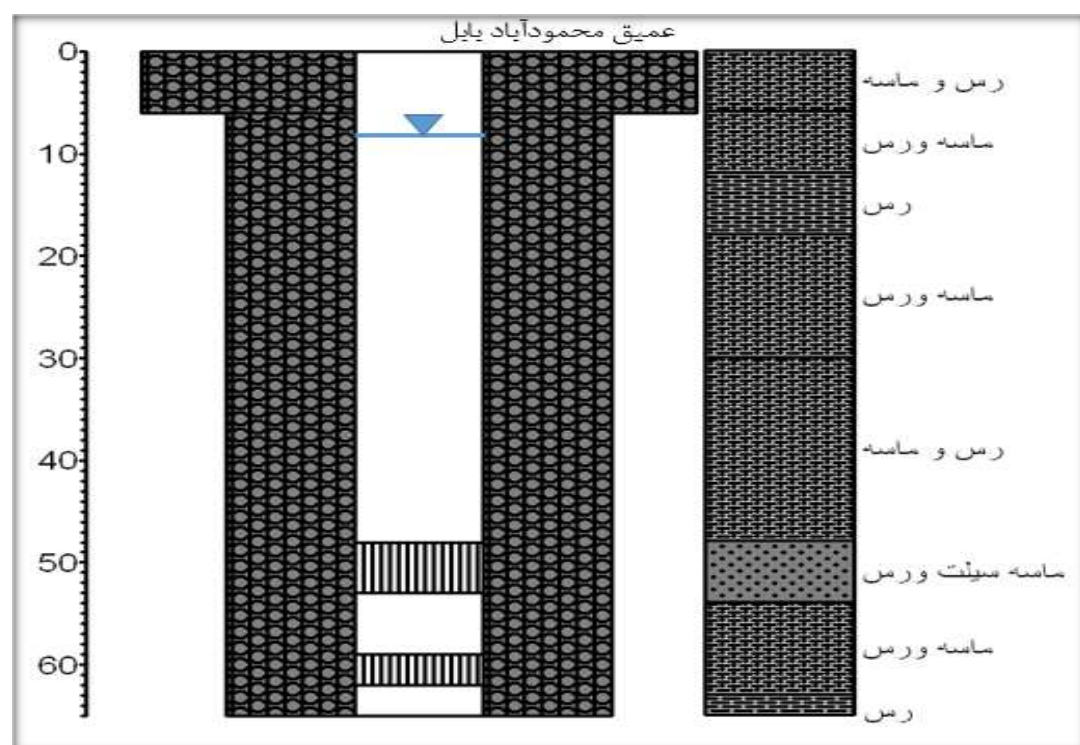
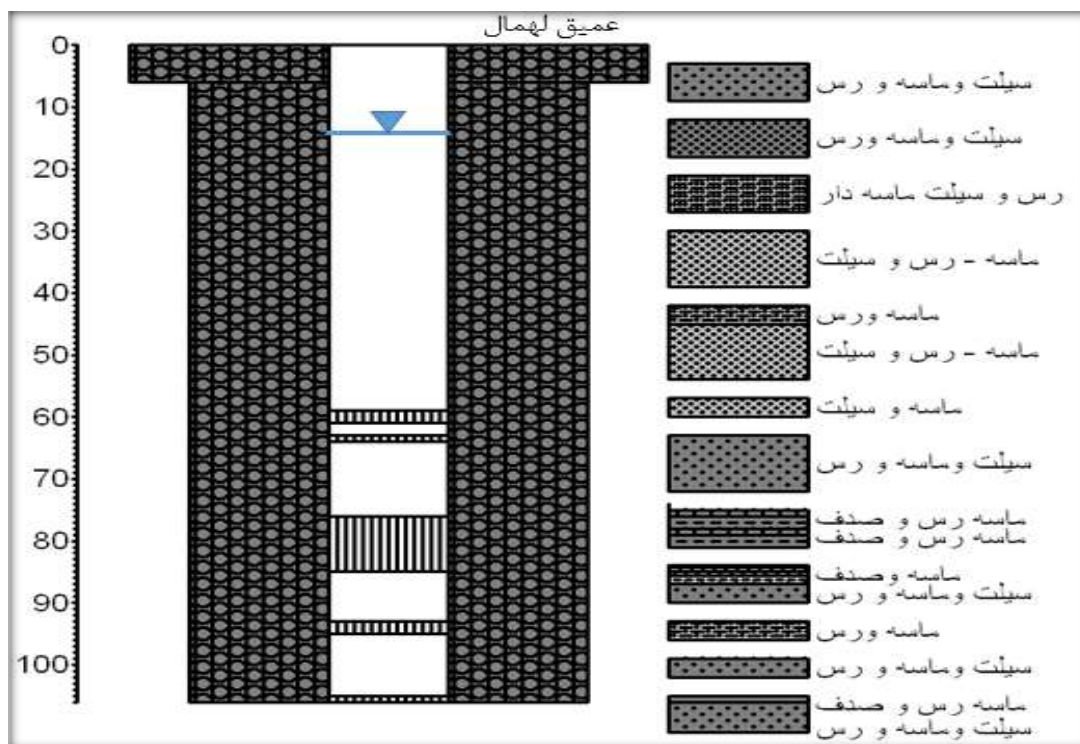
شکل ۴-۵- لاگ حفاری‌های انجام شده در آبخوان قائم‌شهر - جویبار



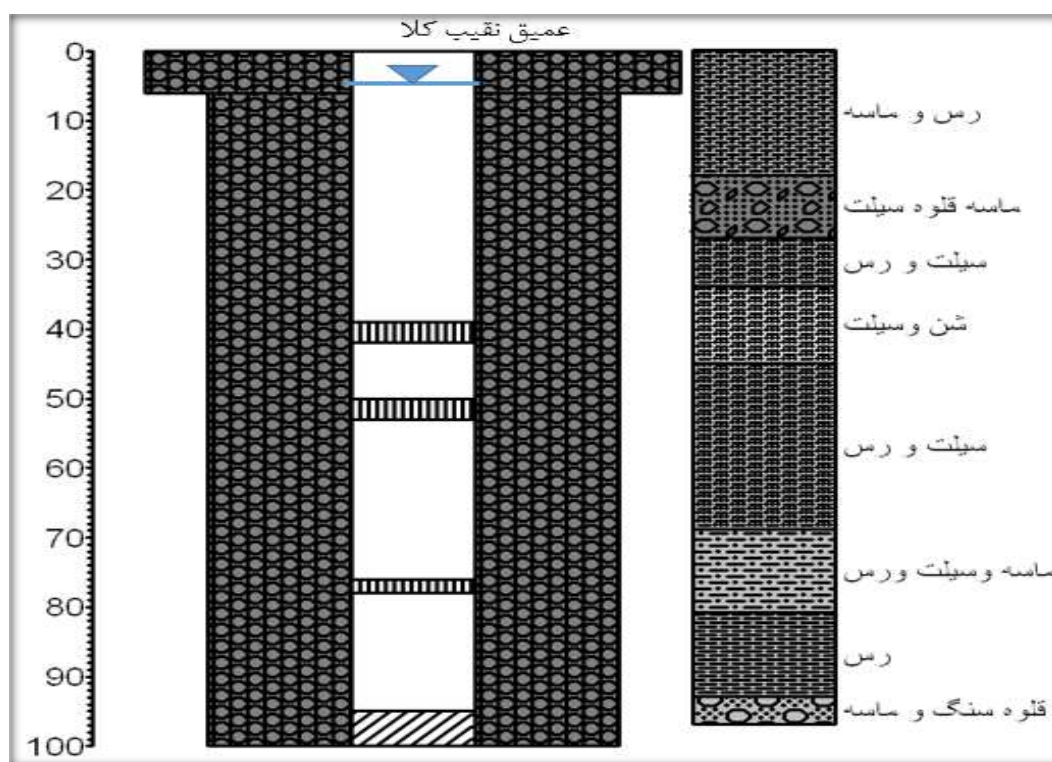
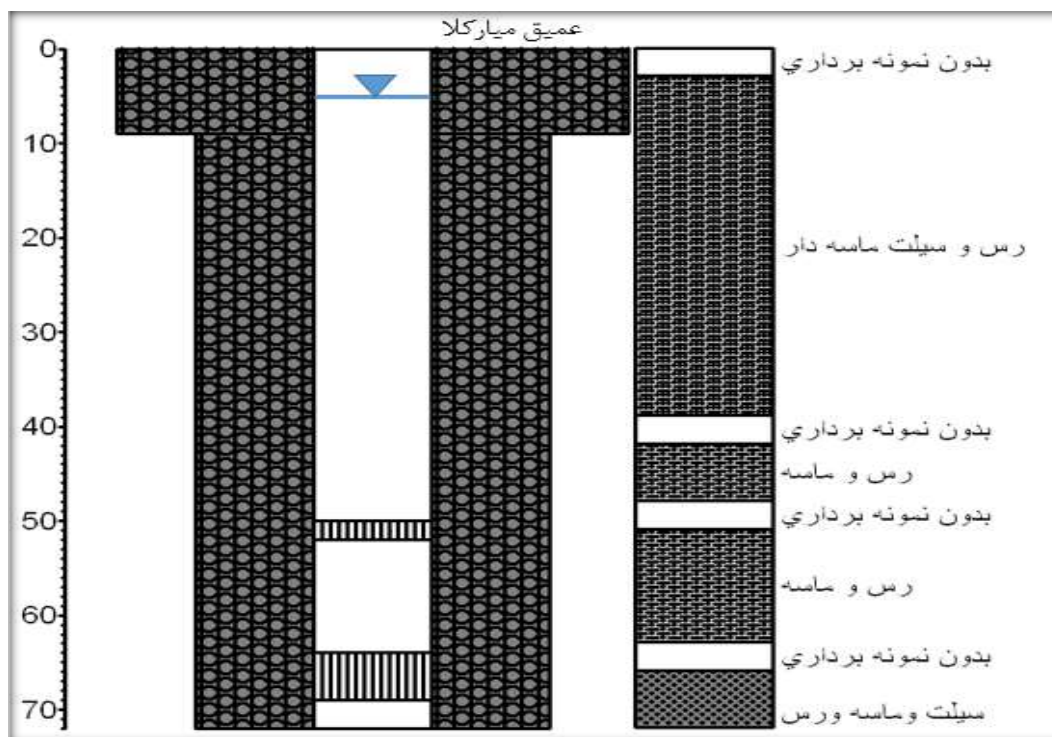
شکل ۴-۵- (ادامه) لاگ حفاری‌های انجام شده در آبخوان قائم‌شهر - جویبار



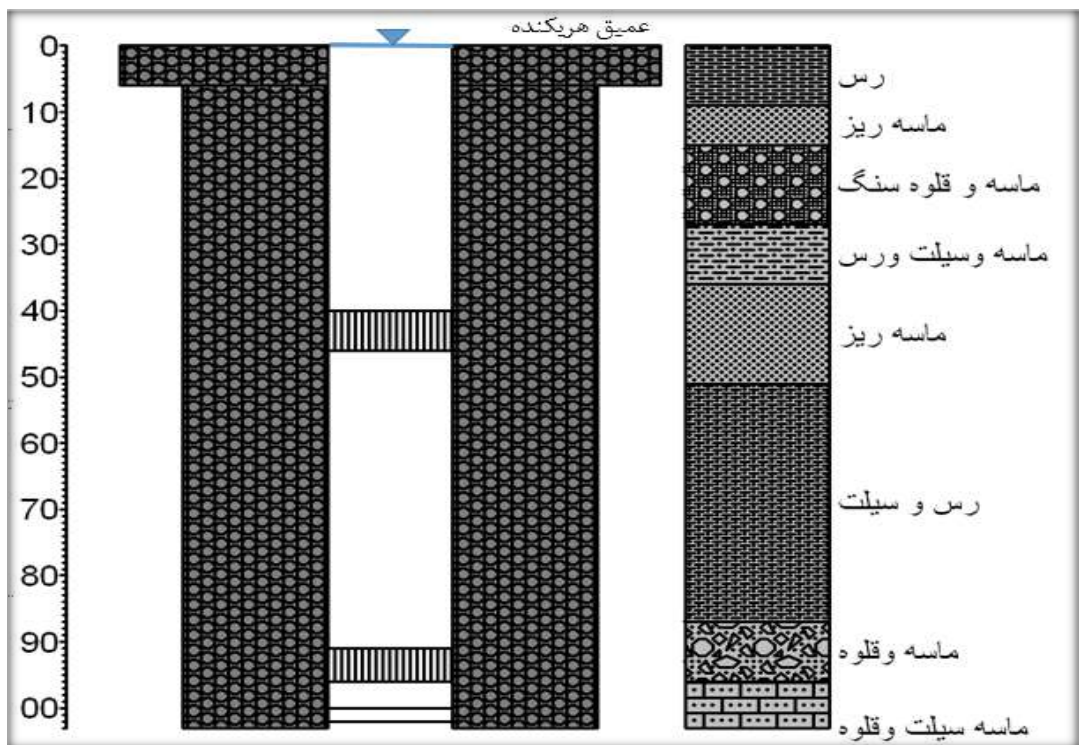
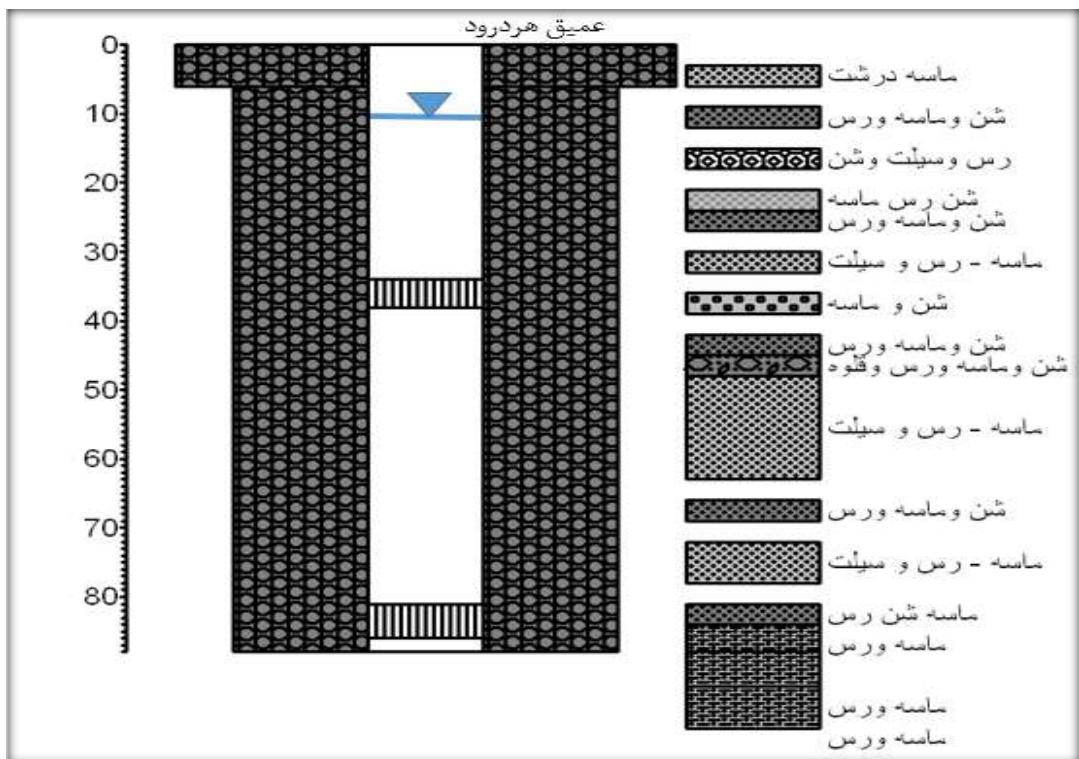
شکل ۴-۵- (ادامه) لاگ حفاری‌های انجام شده در آبخوان قائم‌شهر - جویبار



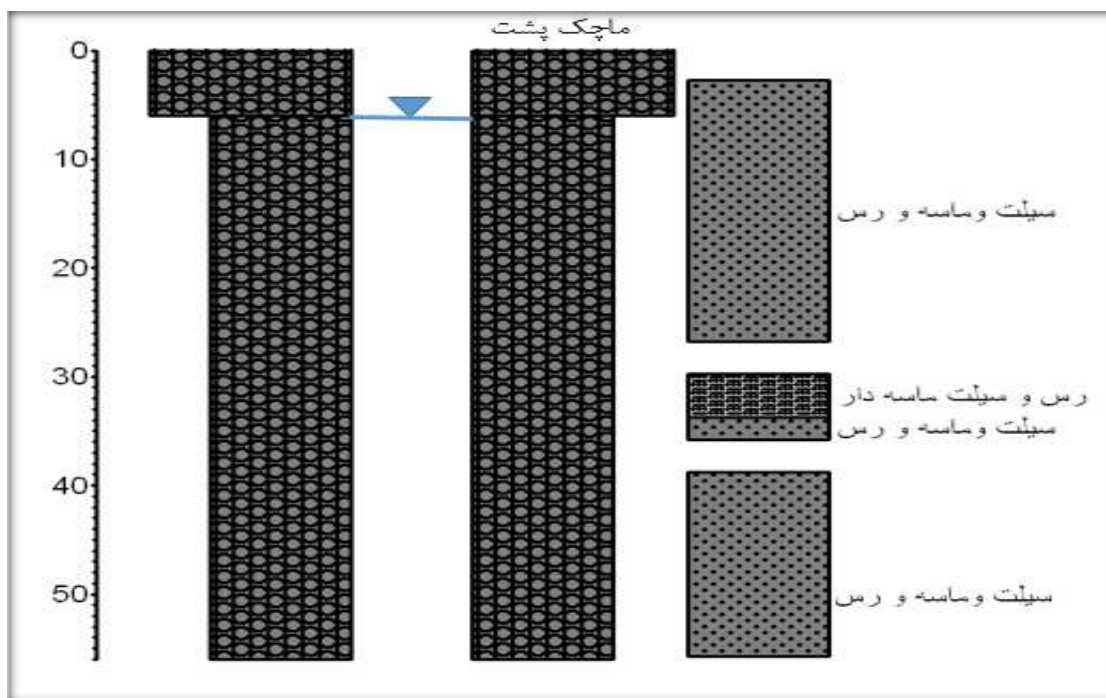
شکل ۴-۵- (ادامه) لاگ حفاری‌های انجام شده در آبخوان قائم‌شهر - جویبار



شکل ۴-۵- (ادامه) لاگ حفاری‌های انجام شده در آبخوان قائم‌شهر - جویبار



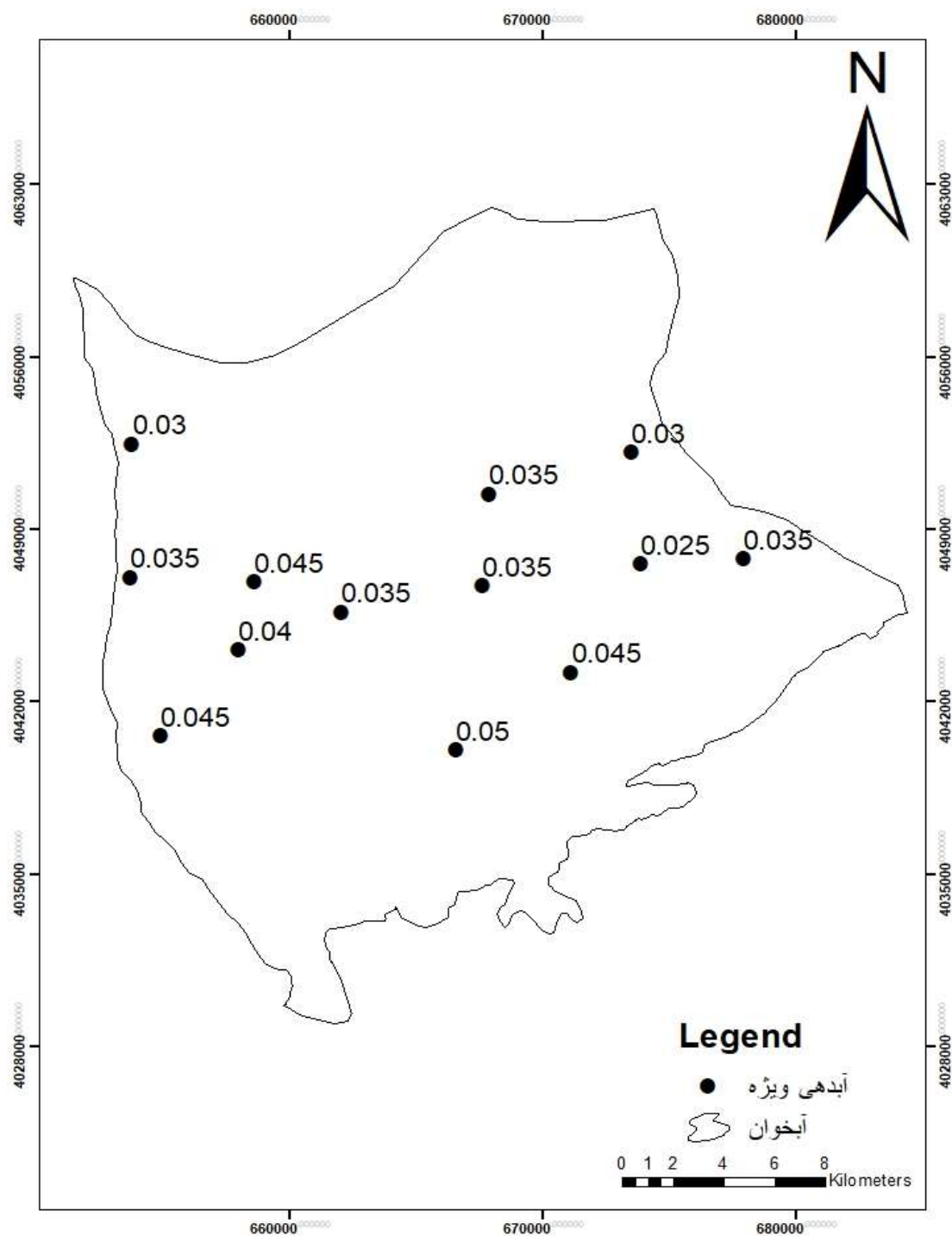
شکل ۴-۵- (ادامه) لاگ حفاری‌های انجام شده در آبخوان قائم‌شهر - جویبار



شکل ۴-۵- (ادامه) لاگ حفاری‌های انجام شده در آبخوان قائم‌شهر - جویبار

جدول ۴-۴- مقادیر آبدهی ویژه و قابلیت انتقال (متر بر روز) با استفاده از داده‌های لاگ حفاری

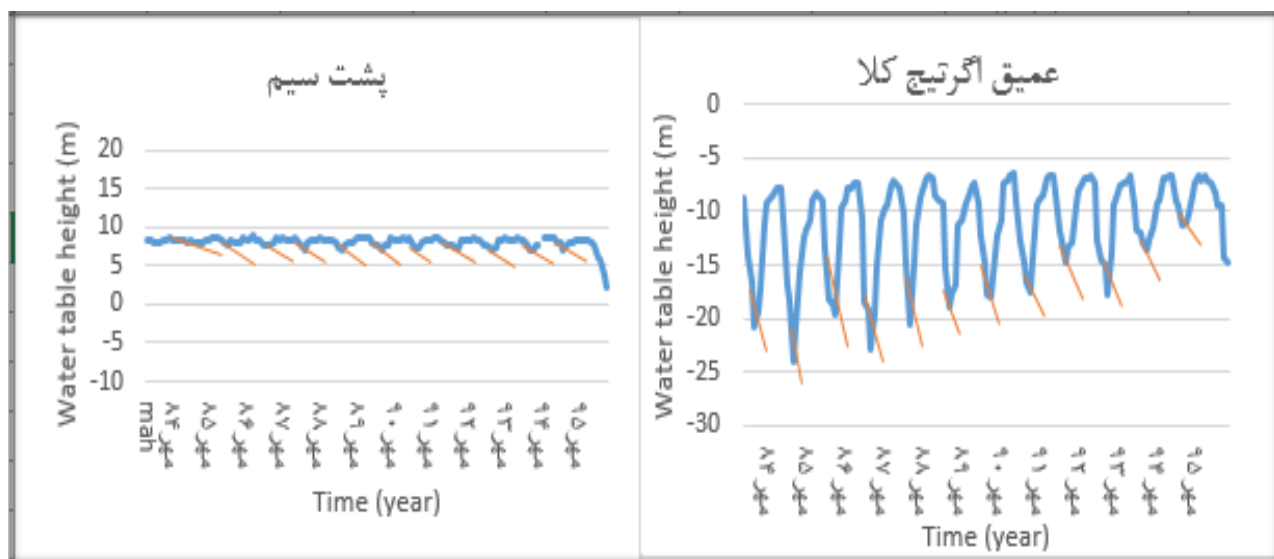
Sy (%)	T	K	ضخامت زون اشباع	رسوبات غالب	چاه
۴/۵	۹۱۰	۱۰	۹۱	شن ماسه قلوه سنگ رس سیلت	عمیق اگرتیج کلا
۲/۵	۷۰۰	۷	۱۰۰	شن رس سیلت ماسه دار	عمیق زروبجان
۲/۵	۸۴۰	۶	۱۴۰	شن رس سیلت ماسه دار	سمناکلا
۲/۵	۵۰۴	۶	۸۴	رس سیلت شن ماسه	عمیق لاله زار کتی
۴/۵	۱۰۲۰	۱۲	۸۵	رس سیلت شن ماسه	عمیق لهمال
۲/۵	۹۹۴	۷	۱۴۲	ماسه سیلت رس	عمیق محمود آباد بابل
۲	۲۵۰	۵	۷۰	رس سیلت ماسه	عمیق میارکلا
۴	۱۱۷۶	۸	۱۴۷	شن ماسه قلوه سنگ رس سیلت	عمیق نقیب کلا
۵	۱۲۶۰	۱۴	۹۰	شن ماسه قلوه سنگ رس سیلت	عمیق هردورود
۴/۵	۱۵۰۰	۱۰	۱۵۰	قلوه سنگ رس سیلت ماسه	عمیق هریکنده
۲/۵	۲۸۰	۴	۹۵	سیلت ماسه رس	ماچک پشت
۲	۷۲۵	۵	۱۴۷	شن رس سیلت ماسه دار	بیشه سرنی کلا
۲/۵	۴۰۲	۶	۶۷	رس سیلت شن ماسه	عمیق کله بن
۴	میانگین آبدهی ویژه آبخوان (%)				



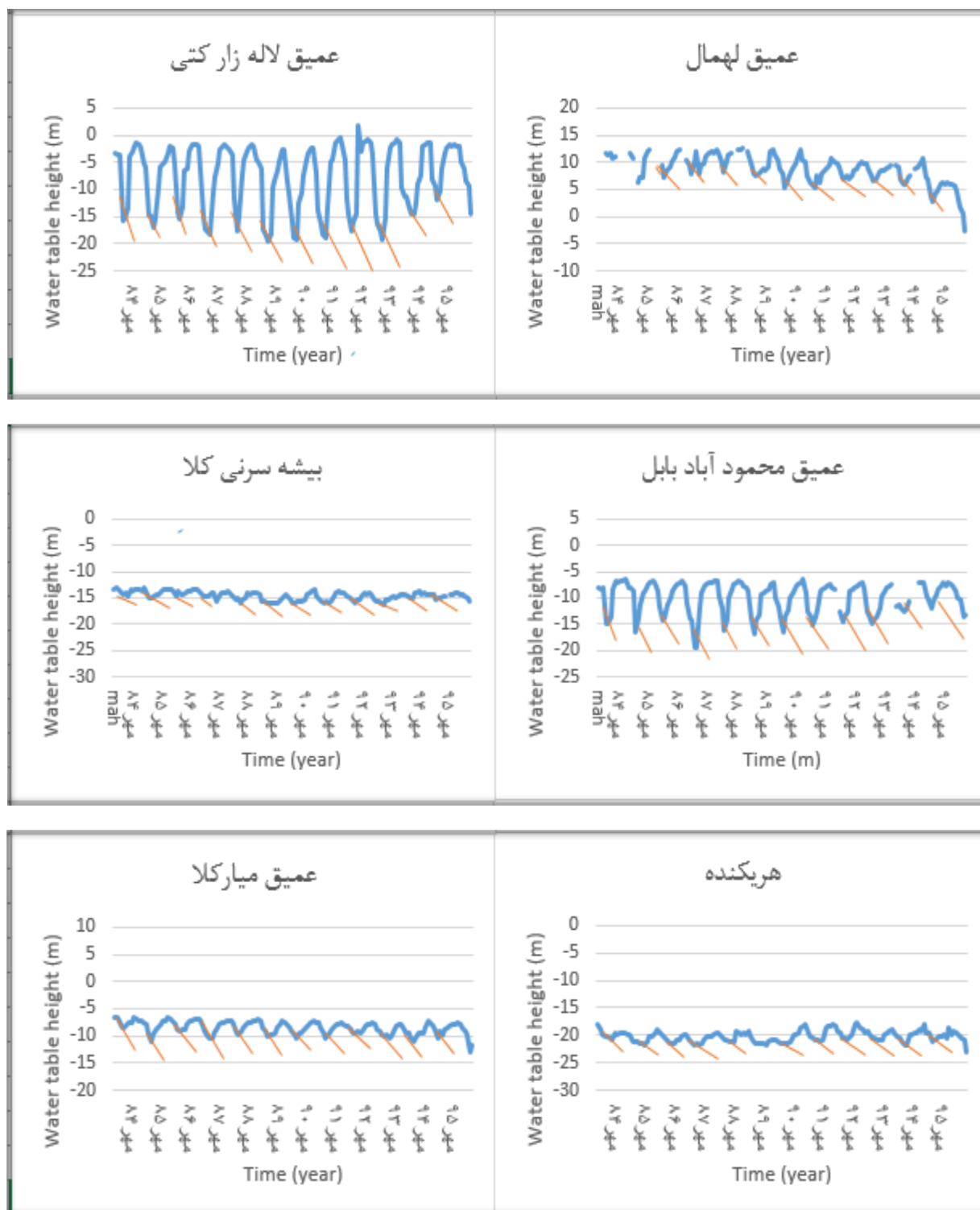
شکل ۴-۶- مقادیر آبدهی ویژه در آبخوان قائم شهر - جویبار

۴-۲-۴- محاسبه‌ی بالآمدگی در پیزومترهای آبخوان قائم‌شهر - جویبار

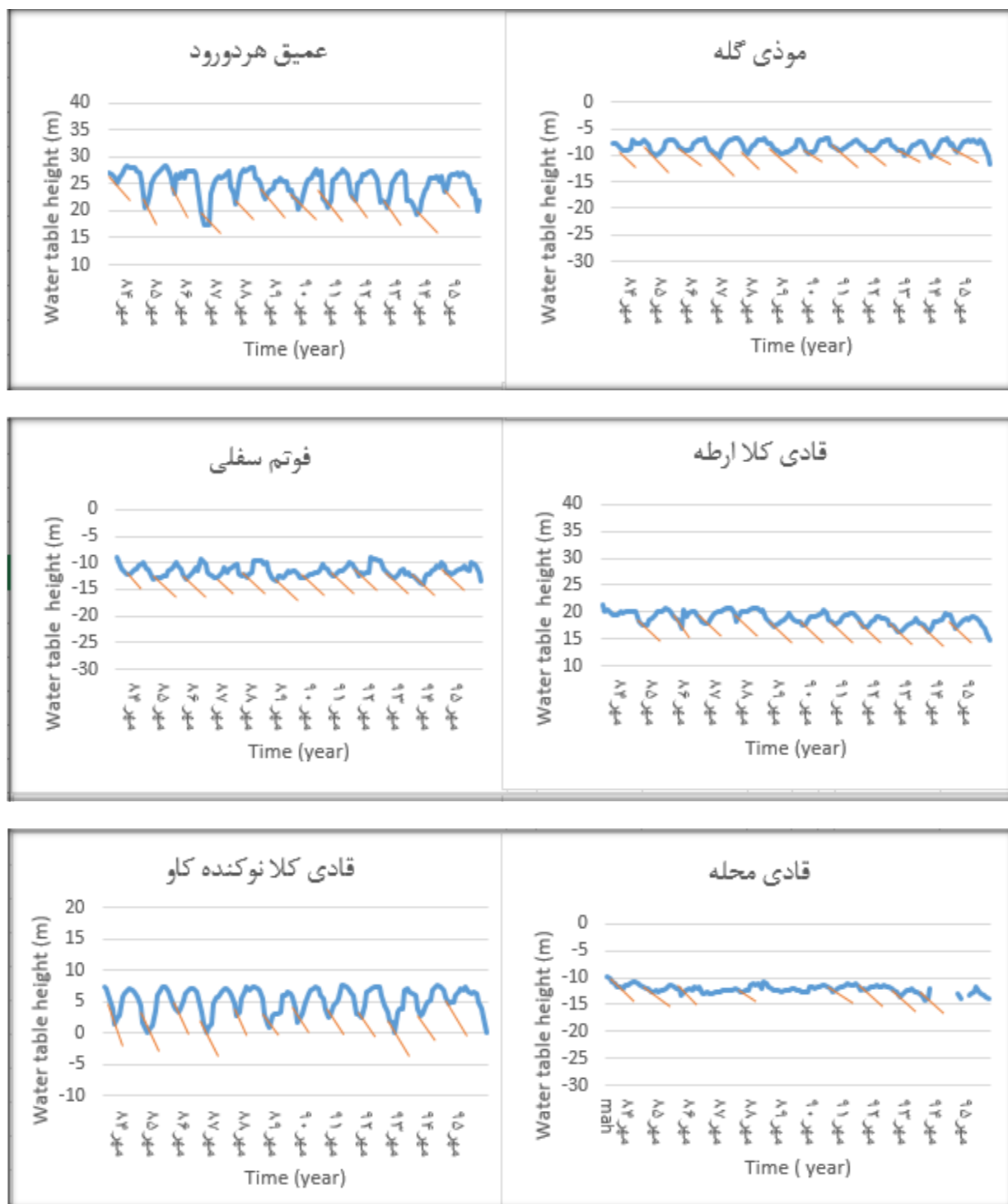
از دیگر پارامترهای بسیار مهم برای تخمین تغذیه به روش نوسانات سطح ایستابی، محاسبه‌ی میزان بالآمدگی در پیزومترهای آبخوان قائم‌شهر - جویبار است (شکل ۴-۷). مقدار نوسانات سطح ایستابی برای هر یک از پیزومترها در جدول (۴-۵) و (شکل ۴-۸) نشان داده شده است. بررسی هیدروگراف‌های ترسیم شده برای هریک از پیزومترها نشان می‌دهد که پیزومترهای قسمت‌های غرب و مرکز آبخوان نوسانات بیشتری داشته که این مسئله می‌تواند ناشی از تغذیه از طریق جریان‌های سطحی (رودخانه تالار) و یا آب برگشتی کشاورزی باشد. در شکل (۴-۹) با ترسیم میزان بالآمدگی همه‌ی پیزومترها می‌توان تفاوت نرخ بالآمدگی در بخش‌های مختلف آبخوان را بررسی نمود. بر این اساس شکل (۴-۹) بالآمدگی سطح ایستابی در پیزومترهای آبخوان قائم‌شهر - جویبار از حداقل ۱/۷۹ تا حداکثر ۲۰/۸۴ متر در سال متغیر است.



شکل ۴-۷- تعیین بالآمدگی سطح ایستابی (ΔH) در پیزومترهای آبخوان قائم‌شهر - جویبار



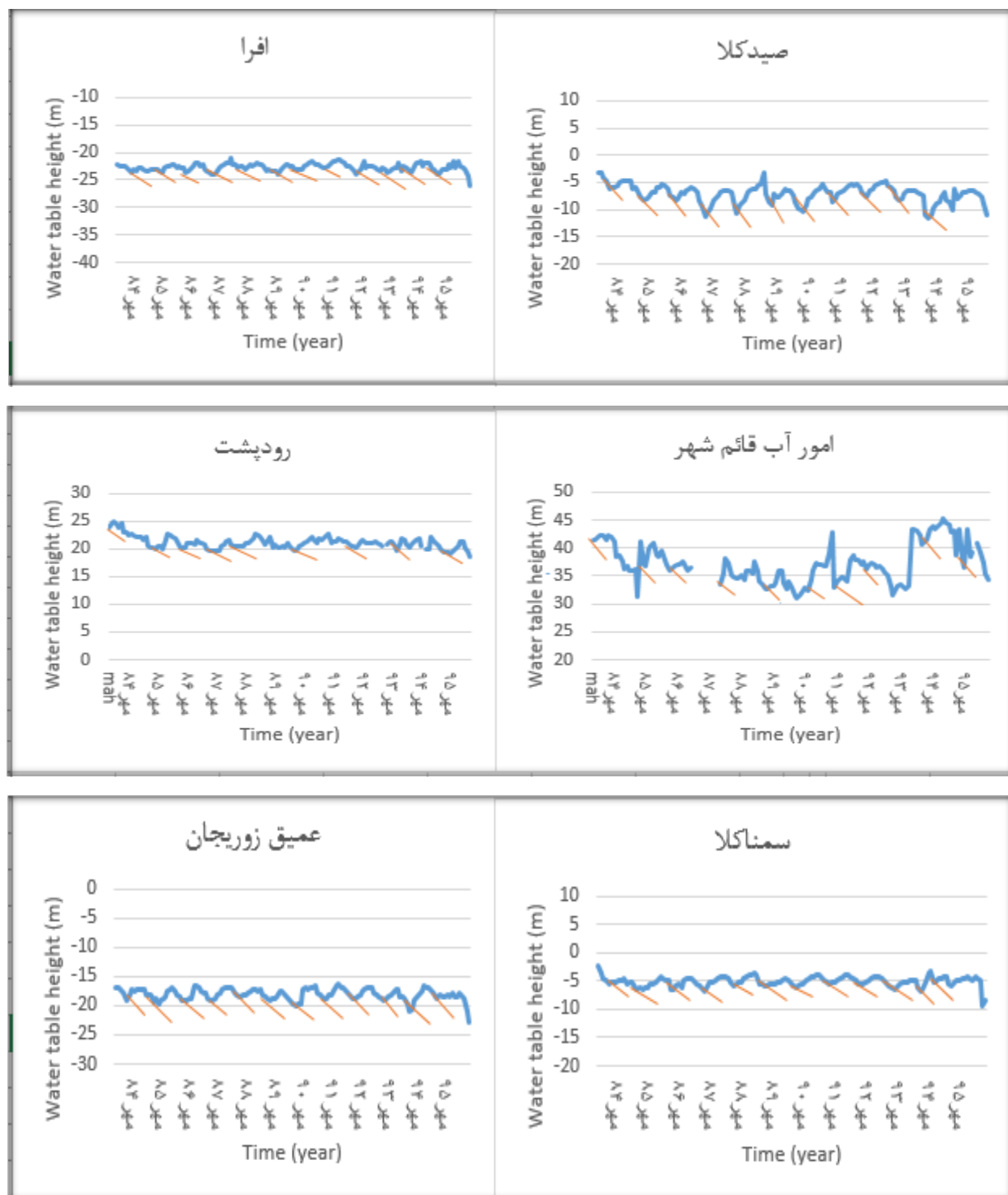
شکل ۴-۷- (ادامه) تعیین بالآمدگی سطح ایستابی (ΔH) در پیزومترهای آبخوان قائم‌شهر - جویبار



شکل ۴-۷- (ادامه) تعیین بالآمدگی سطح ایستابی (ΔH) در پیزومترهای آبخوان قائم شهر - جویبار



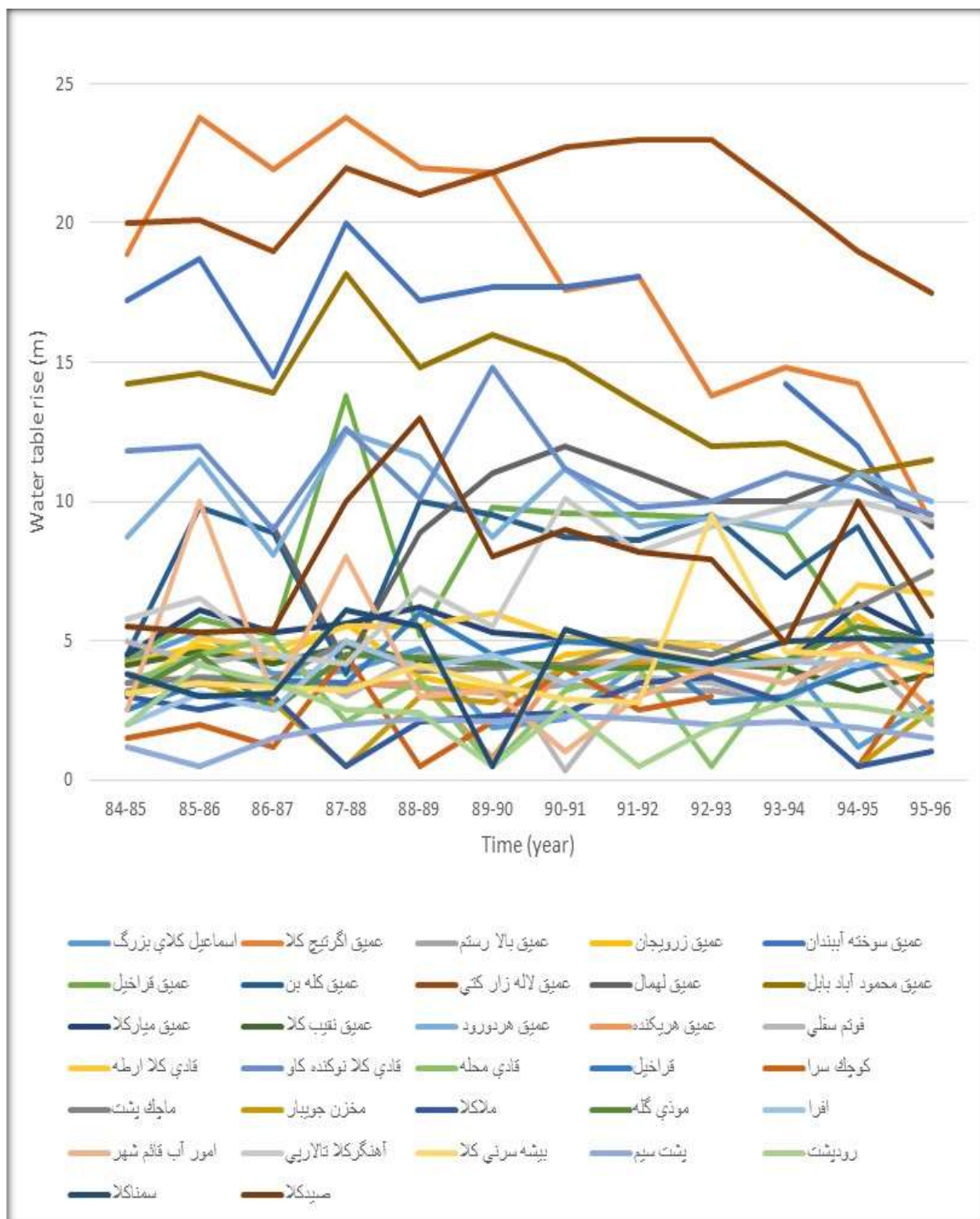
شکل ۴-۷- (ادامه) تعیین بالآمدگی سطح ایستابی (ΔH) در پیزومترهای آبخوان قائم شهر - جویبار



شکل ۴-۷- (ادامه) تعیین بالآمدگی سطح ایستابی (ΔH) در پیزومترهای آبخوان قائم شهر - جویبار

جدول ۴-۵- مقادیر بالا آمدگی (ΔH) سطح ایستابی در پییزومترهای آبخوان قائم شهر - جویبار (متر در سال)

پییزومتر	۸۰-۸۵	۸۵-۹۰	۹۰-۹۵	۹۵-۱۰۰	۱۰۰-۱۰۵	۱۰۵-۱۱۰	۱۱۰-۱۱۵	۱۱۵-۱۲۰	۱۲۰-۱۲۵	۱۲۵-۱۳۰	۱۳۰-۱۳۵	۱۳۵-۱۴۰
اسماعیل کلای بزرگ	۴/۳	۵/۳	۳/۸	۳/۹	۴/۷	۱/۹	۲/۲	۴/۲	۴/۱	۴/۳	۱/۲	۲/۸
عمیق اگرتیج کلا	۱۸/۹	۲۳/۸	۲۱/۹	۲۳/۸	۲۲	۲۱/۸	۱۷/۶	۱۸/۱	۱۳/۸	۱۴/۸	۱۴/۲	۹/۲
عمیق بالا رستم	۳/۲	۳/۴	۳/۵	۳/۵	۳/۳	۳/۱	۳/۴	۳/۲	۳/۲	۲/۸	۵/۹	۳/۹
عمیق زروبجان	۴/۲	۴/۸	۴/۳	۵/۶	۳/۷	۳/۲	۴/۵	۴/۷	۴/۲	۴	۵/۹	۴/۳
عمیق سوخته آبندان	۱۷/۲	۱۸/۷	۱۴/۵	۲۰	۱۷/۲	۱۷/۷	۱۷/۷	۱۸/۱	-	۱۴/۲	۱۲	۸
عمیق قراخیل	۴/۴	۵/۸	۵/۲	۱۳/۸	۵/۲	۹/۸	۹/۶	۹/۵	۹/۴	۸/۹	۵/۲	۴/۱
عمیق کله بن	۴/۵	۹/۸	۸/۹	۳/۸	۱۰	۹/۵	۸/۷	۸/۶	۹/۵	۷/۳	۹/۱	۴/۶
عمیق لاله زار کتی	۲۰	۲۰/۱	۱۹	۲۲	۲۱	۲۱/۸	۲۲/۷	۲۳	۲۳	۲۱	۱۹	۱۷/۵
عمیق لهما	-	-	۹/۱	۴/۲	۸/۹	۱۱	۱۲	۱۱	۱۱	۱۰	۱۱	۹/۱
عمیق محمود آباد بابل	۱۴/۲	۱۴/۶	۱۳/۹	۱۸/۲	۱۴/۸	۱۶	۱۵/۱	۱۳/۵	۱۲	۱۲/۱	۱۱	۱۱/۵
عمیق مبارکلا	۴/۵	۶/۱	۵/۳	۵/۶	۶/۲	۵/۳	۵/۱	۵	۴/۸	۴/۱	۶/۳	۵
عمیق نقیب کلا	۴/۱	۴/۶	۴/۲	۴/۸	۴/۳	۴/۲	۴/۱	۴/۳	۴/۲	۴	۳/۲	۳/۸
عمیق هردورود	۸/۷	۱۱/۵	۸/۱	۱۲/۵	۱۱/۶	۸/۷	۱۱/۲	۹/۱	۹/۴	۹	۱۱	۱۰
عمیق هریکنده	۳/۸	۳/۵	۳/۶	۳/۴	۳/۵	۰/۸	۴/۲	۴/۳	۴/۱	۴/۲	۵	۲/۵
فوتیم سفلی	۵	۴/۲	۴/۶	۳	۴/۵	۴/۳	۰/۳	۳/۷	۳/۵	۲/۸	۴/۵	۲
قادی کلا ارطه	۳/۱	۵/۱	۴/۷	۵/۵	۵/۵	۶	۵/۱	۵	۴/۸	۴/۳	۷	۶/۷
قادی کلا نوکنده کاو	۱۱/۸	۱۲	۹	۱۲/۶	۱۰/۱	۱۴/۸	۱۱/۲	۹/۸	۱۰	۱۱	۱۰/۵	۹/۵
قادی محله	۳/۵	۴/۵	۵/۱	۲/۱	۳/۶	۰/۵	۳/۲	۴	۰/۵	۴	-	۳/۵
قراخیل	۲/۵	۳/۵	۳/۶	۳/۵	۶	۴/۵	۵	۴/۸	۲/۸	۳	۴	۴/۵
کوچک سرا	۱/۵	۲	۱/۲	۴/۵	۰/۵	۲/۱	۴	۲/۵	۳	-	۰/۵	۴/۲
ماچک پشت	۳/۵	۳/۷	۳/۶	۵	۳/۹	۴	۴/۱	۵	۴/۵	۵/۵	۶/۲	۷/۵
مخزن جویبار	۳/۱	۳/۵	۲/۸	۰/۵	۳	۲/۸	۴	۴/۲	۲/۸	-	۰/۵	۲/۵
ملاکلا	۳	۲/۵	۳	۰/۵	۲/۱	۲/۳	۲/۴	۳/۵	۲/۷	۲/۸	۰/۵	۱
مودی گله	۳/۱	۴/۵	۲/۵	۴/۵	۴/۴	۴/۲	۴	۴	۴/۲	۴/۳	۵/۵	۵
افرا	۲	۳/۱	۲/۵	۵	۴	۴/۵	۳/۵	۴/۵	۴	۴/۳	۴/۱	۵/۲
امور آب قائم شهر	۲/۵	۱۰	۳	۸	۳	۳/۲	۱	۳	۴	۴	۴/۵	۴
آهنگرکلا تالاری	۵/۸	۶/۵	۴/۵	۴/۲	۶/۹	۵/۵	۱۰/۱	۸/۲	۹/۱	۹/۸	۱۰	۹/۳
بیشه سرنی کلا	۳/۱	۳/۵	۳/۳	۳/۲	۴/۱	۳/۴	۲/۹	۲/۸	۹/۵	۴/۶	۴/۵	۳/۹
پشت سیم	۱/۲	۰/۵	۱/۵	۲	۲/۲	۲/۱	۲/۳	۲/۲	۲	۲	۲/۱	۱/۹
رودپشت	۲	۴/۱	۳/۵	۲/۵	۲/۴	۰/۵	۲/۶	۰/۵	۱/۹	۲/۸	۲/۶	۲/۲
سمناکلا	۳/۸	۳	۳/۱	۶/۱	۵/۵	۰/۵	۵/۴	۴/۶	۴/۲	۵	۵/۱	۵
صیدکلا	۵/۵	۵/۳	۵/۴	۱۰	۱۳	۸	۹	۸/۲	۷/۹	۴/۹	۱۰	۵/۹



شکل ۴-۸- تغییرات زمانی مقادیر بالا آمدگی سطح ایستابی در پیزومترهای آبخوان قائم شهر - جویبار

۴-۲-۵- محاسبه تغذیه به روش نوسانات سطح ایستابی

با استفاده از مقادیر آبدهی ویژه‌ی محاسبه شده به‌وسیله‌ی داده‌های لاگ حفاری و مقدار نوسانات و بالآمدگی در پی‌زومترهای آبخوان قائم‌شهر - جویبار و همچنین با توجه به مساحت چند ضلعی‌های تیسن در اطراف هر پی‌زومتر، مقدار متوسط تغذیه در آبخوان با استفاده از معادله (۴-۱) برآورد گردید. بیشترین مقدار متوسط تغذیه در پی‌زومترهای آبخوان قائم‌شهر - جویبار مربوط به پی‌زومتر عمیق لاله زار کتی به حجم ۱۳/۷ میلیون متر مکعب و کمترین مقدار متوسط تغذیه مربوط به پی‌زومتر پشت سیم به حجم ۱ میلیون متر مکعب است (جدول ۴-۶). در مجموع برای دوره‌ی تغذیه‌ی ۱۲ ساله، مقدار متوسط تغذیه‌ی تخمین زده شده به روش نوسانات سطح ایستابی در آبخوان قائم‌شهر - جویبار ۱۴۸ میلیون متر مکعب بوده است. در طول این ۱۲ سال بیشترین نرخ تغذیه مربوط به سال آبی ۸۷-۸۸ به میزان ۱۷۳ میلیون متر مکعب و کمترین نرخ تغذیه مربوط به سال آبی ۸۴-۸۵ به میزان ۱۲۵/۳ میلیون متر مکعب است (جدول ۴-۷). برای درک بهتر رابطه بین بارش و تغذیه سالیانه، سری زمانی مربوط به مقدار بارش و تغذیه در شکل (۴-۱۰) ترسیم شده است. عدم ارتباط کامل بین بارش و تغذیه احتمالاً مرتبط با وجود سایر منابع تغذیه آبخوان نظیر آب برگشتی کشاورزی می‌باشد.

جدول ۴-۶- مقادیر تغذیه سالیانه محاسبه شده در محدوده هر پی‌زومتر در آبخوان قائم‌شهر - جویبار (MCM)

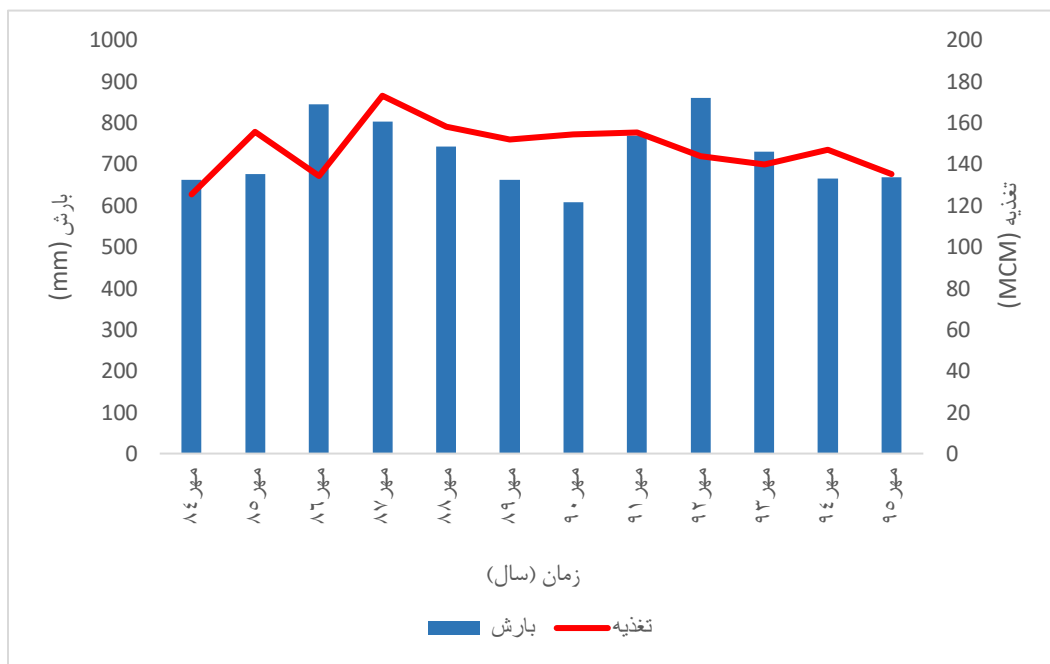
پی‌زومتر	۸۶-۸۷	۸۷-۸۸	۸۸-۸۹	۸۹-۹۰	۹۰-۹۱	۹۱-۹۲	۹۲-۹۳	۹۳-۹۴	۹۴-۹۵	۹۵-۹۶	متوسط تغذیه
اسماعیل کلای بزرگ	۴/۲	۵/۲	۳/۷	۳/۸	۴/۶	۱/۸	۲/۱	۴/۱	۴	۴	۳/۵
عمیق اگرتیج کلا	۸/۲	۱۰/۲	۹/۵	۱۰/۱	۹/۵	۹/۴	۷/۶	۷/۸	۶	۶/۴	۷/۹
عمیق بالا رستم	۲	۲/۱	۲/۱	۲/۱	۲/۱	۱/۹	۲/۱	۲	۲	۱/۷	۲/۱
عمیق زروبیجان	۳/۴	۳/۹	۳/۵	۴/۵	۳	۲/۶	۳/۶	۳/۸	۳/۳	۳/۲	۳/۵
عمیق سوخته آبنندان	۱۳/۶	۱۴/۸	۱۱/۵	۱۵/۸	۱۳/۶	۱۴	۱۴	۱۴/۳		۱۱/۲	۱۲/۶
عمیق قراخیل	۲/۹	۳/۹	۳/۴	۹/۱	۳/۵	۶/۴	۶/۳	۶/۲	۶/۲	۵/۸	۴/۹
عمیق کله بن	۱/۷	۳/۷	۳/۳	۱/۴	۳/۸	۳/۶	۳/۳	۳/۱	۳/۵	۲/۷	۲/۹
عمیق لاله زار کتی	۱۳/۲	۱۳/۲	۱۲/۵	۱۴/۵	۱۳/۹	۱۴/۳	۱۵	۱۵/۳	۱۵/۳	۱۳/۸	۱۳/۷
عمیق لهما			۷/۴	۳/۴	۷/۲	۹	۹/۸	۹	۸/۱	۸/۱	۷/۵

جدول ۴-۶- (ادامه) مقادیر تغذیه سالیانه محاسبه شده در محدوده هر پیزومتر در آبخوان قائم شهر - جویبار (MCM)

پیزومتر	۸۴-۸۵	۸۵-۸۶	۸۶-۸۷	۸۷-۸۸	۸۸-۸۹	۸۹-۹۰	۹۰-۹۱	۹۱-۹۲	۹۲-۹۳	۹۳-۹۴	۹۴-۹۵	۹۵-۹۶	متوسط تغذیه
عمیق محمود آباد بابل	۷/۶	۷/۸	۷/۴	۹/۷	۷/۹	۸/۵	۸/۱	۷/۲	۶/۴	۶/۴	۵/۸	۶/۱	۷/۴
عمیق میارکلا	۲	۲/۶	۳/۲	۲/۴	۲/۶	۲/۲	۲/۲	۲/۱	۲/۱	۱/۷	۲/۷	۲/۱	۲/۲
عمیق نقیب کلا	۲	۲/۲	۲	۲/۲	۰/۱	۱/۹	۲	۲/۱	۲	۱/۹	۱/۵	۱/۸	۱/۸
عمیق هردورود	۹	۱۲	۸/۴	۱۳	۱۲	۹	۱۱/۶	۹/۴	۹/۷	۹/۳	۱۱/۴	۱۰/۳	۱۰/۴
عمیق هریکنده	۳/۵	۳/۲	۳/۳	۳/۱	۳/۲	۰/۷	۳/۸	۴	۳/۸	۳/۹	۴/۶	۲/۳	۳/۲
فوتیم سفلی	۲/۹	۲/۴	۲/۷	۱/۷	۲/۶	۲/۴	۰/۲	۲/۱	۲	۱/۶	۲/۶	۱/۱	۲
قادی کلا ارطه	۴/۳	۷	۶/۵	۷/۵	۷/۵	۸/۲	۷	۶/۹	۶/۵	۶	۹/۶	۹/۱	۷/۱
قادی کلا نوکنده کاو	۵/۵	۵/۵	۴/۲	۵/۹	۴/۶	۶/۸	۵/۲	۴/۵	۴/۶	۵	۴/۸	۴/۳	۵
قادی محله	۲/۶	۳/۳	۳/۷	۱/۵	۲/۷	۳/۷	۲/۳	۲/۹	۳/۶	۳		۲/۵	۲/۶
قراخیل	۱/۹	۲/۵	۲/۶	۲/۵	۴/۴	۳/۲	۳/۷	۳/۵	۲	۲/۱	۲/۹	۳/۲	۲/۸
کوچک سرا	۱/۳	۱/۷	۱	۳/۹	۴/۳	۱/۸	۳/۴	۲/۱	۲/۶		۰/۴	۳/۶	۲/۱
ماچک پشت	۱/۹	۲	۱/۹	۲/۶	۲/۱	۲/۱	۲/۱	۲/۶	۲/۳	۲/۸	۳/۲	۳/۹	۲/۴
مخزن جویبار	۳/۵	۴	۳/۲	۵/۷	۳/۴	۳/۲	۴/۵	۴/۸	۴/۳		۰/۵	۲/۸	۳/۳
ملاکلا	۲/۷	۲/۳	۲/۷	۴/۴	۱/۹	۲/۱	۲/۱	۳/۱	۳/۲	۲/۴	۰/۵	۰/۸	۲/۳
موذی گله	۹/۷	۱۴	۷/۸	۱۴/۱	۱۳/۷	۱۳/۱	۱۲/۵	۱۲/۵	۱۳/۱	۱۳/۴	۱۷/۱	۱۵/۶	۱۳
افرا	۲/۱	۳/۳	۲/۶	۵/۳	۴/۲	۴/۸	۳/۷	۴/۷	۴/۲	۴/۵	۴/۳	۵/۵	۴/۱
امور آب قائم شهر	۲/۷	۱۰/۷	۳/۲	۸/۵	۳/۲	۳/۴	۱/۱	۳/۲	۴/۲	۳/۸	۴/۸	۴/۲	۴/۴
آهنگرکلا تالاری	۱/۵	۱/۶	۱/۲	۱/۱	۱/۷	۱/۴	۲/۶	۲/۱	۲/۳	۲/۵	۲/۵	۲/۴	۱/۹
بیشه سرنی کلا	۲/۸	۳/۱	۳	۲/۹	۳/۷	۳/۱	۲/۷	۲/۵	۸/۶	۴/۱	۴/۱	۳/۵	۳/۶
پشت سیم	۰/۷	۰/۳	۱	۱/۲	۱/۳	۱/۳	۱/۴	۱/۳	۱/۳	۱/۲	۱/۱	۱	۱
رودپشت	۱/۸	۳/۶	۳/۱	۲/۲	۲/۱	۰/۴	۲/۳	۰/۴	۱/۷	۲/۵	۲/۳	۲	۲
سمناکلا	۲/۱	۱/۶	۱/۷	۳/۳	۳	۲/۷	۳	۲/۵	۲/۳	۲/۸	۲/۷	۲/۷	۲/۵
صیدکلا	۲	۱/۹	۱/۹	۳/۵	۴/۶	۲/۸	۳/۱	۲/۹	۲/۸	۱/۷	۳/۵	۲/۱	۲/۷
تغذیه در هر سال	۱۲۵/۳	۱۵۵/۶	۱۳۴/۳	۱۷۳	۱۵۸	۱۵۱/۸	۱۵۴/۴	۱۵۵/۱	۱۴۳/۹	۱۳۹/۸	۱۴۷	۱۳۵/۱	۱۴۸
مقدار متوسط تغذیه به آبخوان (MCM)													۱۴۸

جدول ۴-۷- تغذیه سالانه محاسبه شده به روش نوسانات سطح ایستابی در آبخوان قائم‌شهر - جویبار

سال	تغذیه (MCM)	بارش (mm)
۸۴-۸۵	۱۲۵/۳	۶۶۲
۸۵-۸۶	۱۵۵/۶	۶۷۵/۵
۸۶-۸۷	۱۳۴/۳	۸۴۳/۷
۸۷-۸۸	۱۷۳	۸۰۱/۹
۸۸-۸۹	۱۵۸	۷۴۲/۹
۸۹-۹۰	۱۵۱/۸	۶۶۱/۸
۹۰-۹۱	۱۵۴/۴	۶۰۷/۸
۹۱-۹۲	۱۵۵/۱	۷۶۸/۹
۹۲-۹۳	۱۴۳/۹	۸۵۹/۴
۹۳-۹۴	۱۳۹/۸	۷۲۹/۶
۹۴-۹۵	۱۴۷	۶۶۵/۲
۹۵-۹۶	۱۳۵/۱	۶۶۸/۶
میانگین سالانه	۱۴۸	۷۲۵



شکل ۴-۱۰- هیستوگرام بارش و تغییرات تغذیه سالانه به آبخوان قائم‌شهر - جویبار

۴-۳- تخمین تغذیه به آبخوان قائمشهر - جویبار به روش بیلان جرمی کلر

از دیگر روش‌های تخمین نرخ تغذیه در منطقه اشباع، روش بیلان جرمی کلر است. در این بخش به منظور برآورد نرخ تغذیه به روش بیلان جرمی کلر، پس از نمونه برداری از آب زیرزمینی و آب بارش و تعیین غلظت کلر در نمونه‌ها، از معادله‌ی زیر استفاده گردید.

$$R = \frac{PC_p}{C_{gw}} \quad (۴-۲)$$

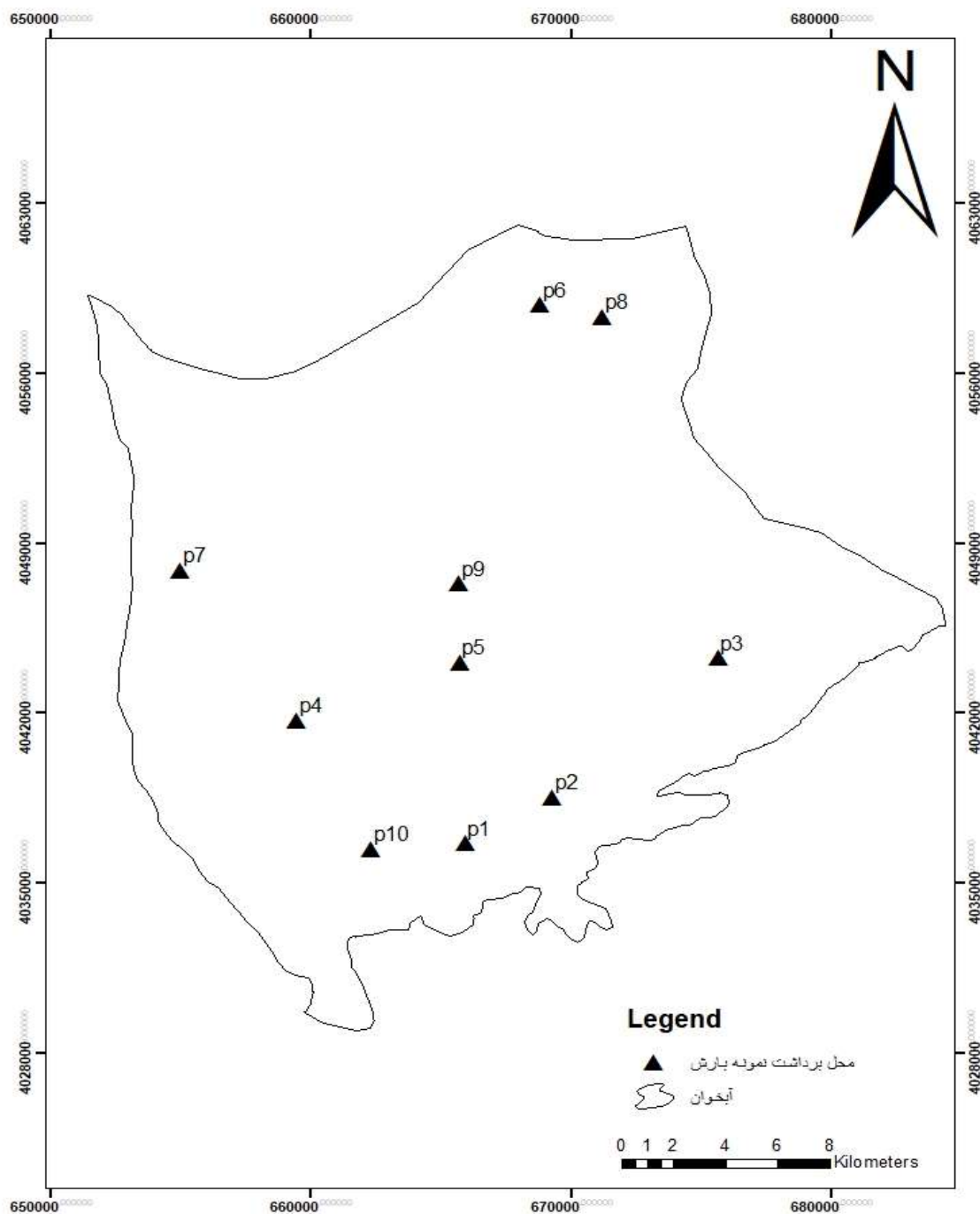
در این معادله R تغذیه سالانه آب زیرزمینی (mm)، P بارش سالانه (mm)، C_p غلظت کلر در بارش (mg/l) و C_{gw} غلظت کلر در آب زیرزمینی (mg/l) می‌باشد.

۴-۳-۱- غلظت کلر بارش در محدوده آبخوان قائمشهر - جویبار

به‌منظور بررسی غلظت کلر در نمونه‌های بارش در محدوده مطالعاتی، ۱۰ نمونه بارش در زمستان ۹۸ از قسمت‌های مختلف دشت برداشت شد. نمونه‌ها پس از انتقال به آزمایشگاه دانشگاه صنعتی شاهرود مورد بررسی و آنالیز قرار گرفت. مقادیر غلظت کلر در جدول (۴-۸) و موقعیت محل نمونه‌برداری آن‌ها در شکل (۴-۱۱) نشان شده است. مقادیر غلظت کلر در بارش تغییراتی بین ۰/۹ تا ۱/۵۶ میلی گرم بر لیتر نشان می‌دهد و متوسط غلظت کلر بارش برابر ۱/۲۸ میلی گرم بر لیتر است.

جدول ۴-۸- مقادیر غلظت کلر بارش در محدوده آبخوان قائم شهر - جویبار

نمونه بارش	Utmx	Utmy	Cl (mg/l)
p۱	۶۶۵۹۴۱	۴۰۳۶۶۵۲	۱/۳
p۲	۶۶۹۳۰۳	۴۰۳۸۵۴۶	۱
p۳	۶۷۵۶۵۸	۴۰۴۴۲۹۱	۱/۵
p۴	۶۵۹۴۶۴	۴۰۴۱۷۲۴	۰/۹
p۵	۶۶۵۷۳۷	۴۰۴۴۱۰۱	۱
p۶	۶۶۸۸۱۴	۴۰۵۸۸۳۵	۱/۲
p۷	۶۵۵۰۰۲	۴۰۴۷۸۹۶	۱/۴۷
p۸	۶۷۱۱۹۷	۴۰۵۸۳۴۶	۱/۵۶
p۹	۶۶۵۶۹۷	۴۰۴۷۳۴۶	۱/۵
p۱۰	۶۶۲۳۳۶	۴۰۳۶۴۰۷	۱/۳۸
میانگین غلظت کلر بارش (mg/l)			۱/۲۸



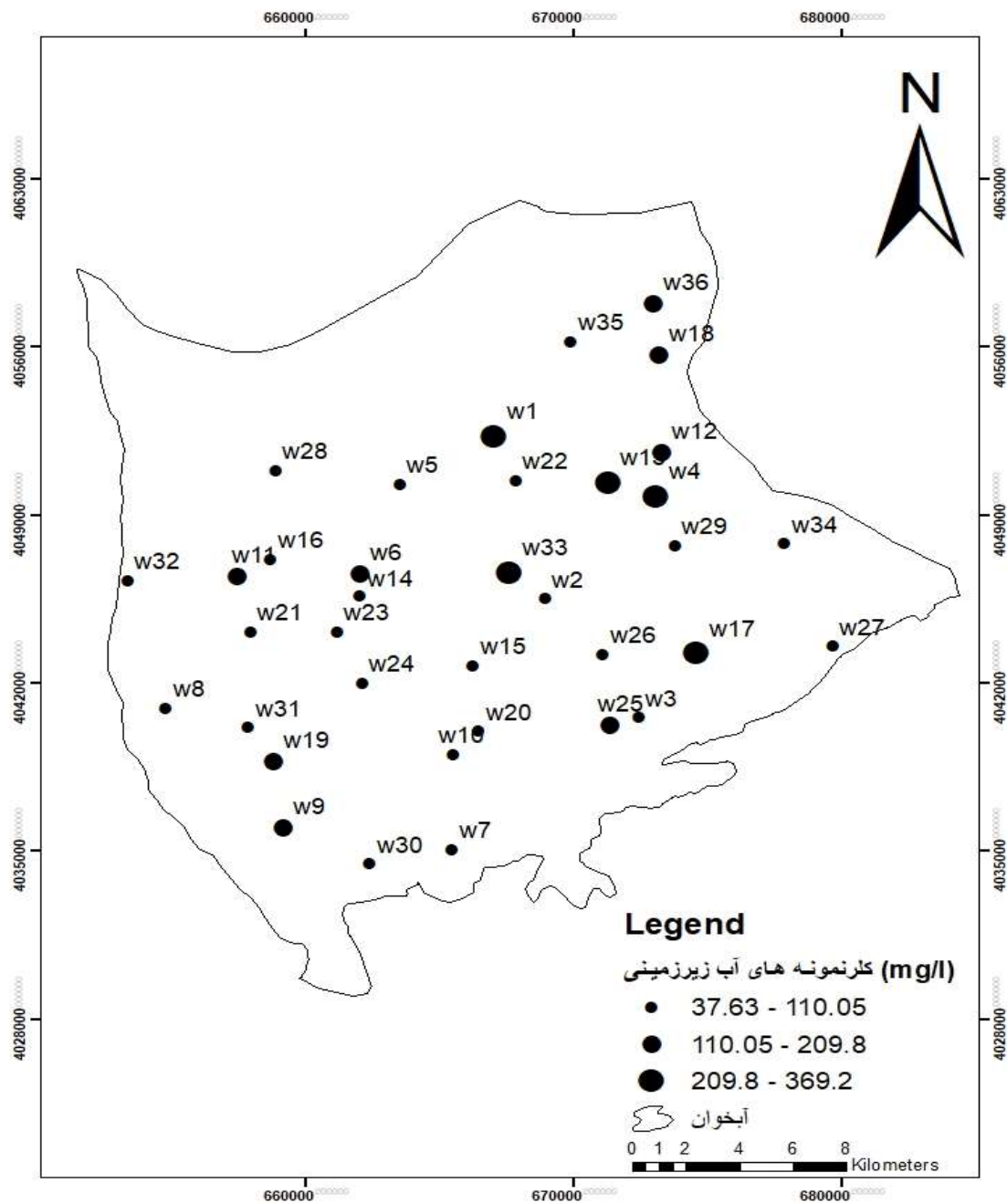
شکل ۴-۱۱- موقعیت نقاط نمونه برداری بارش در محدوده آبخوان قائم شهر - جویبار

۴-۳-۲- غلظت کلر آب زیرزمینی در آبخوان قائمشهر - جویبار

به منظور بررسی غلظت کلر آب زیرزمینی، در اردیبهشت ماه ۹۸ تعداد ۳۶ نمونه آب زیرزمینی از قسمت های مختلف آبخوان قائمشهر - جویبار برداشت و به آزمایشگاه آب شناسی دانشگاه صنعتی شاهرود منتقل و غلظت یون کلر آن ها در آزمایشگاه اندازه گیری گردید. مقادیر غلظت کلر در جدول (۴-۹) و موقعیت نقاط نمونه برداری در شکل (۴-۱۲) نشان شده است. غلظت کلر در آبخوان بین مقادیر ۳۷/۶۳ تا ۳۶۹/۲ میلی گرم بر لیتر متغیر می باشد. متوسط غلظت کلر در آبخوان ۱۱۵/۲ میلی گرم بر لیتر برآورد شده است.

جدول ۴-۹- غلظت یون کلر آب زیر زمینی آبخوان قائمشهر - جویبار

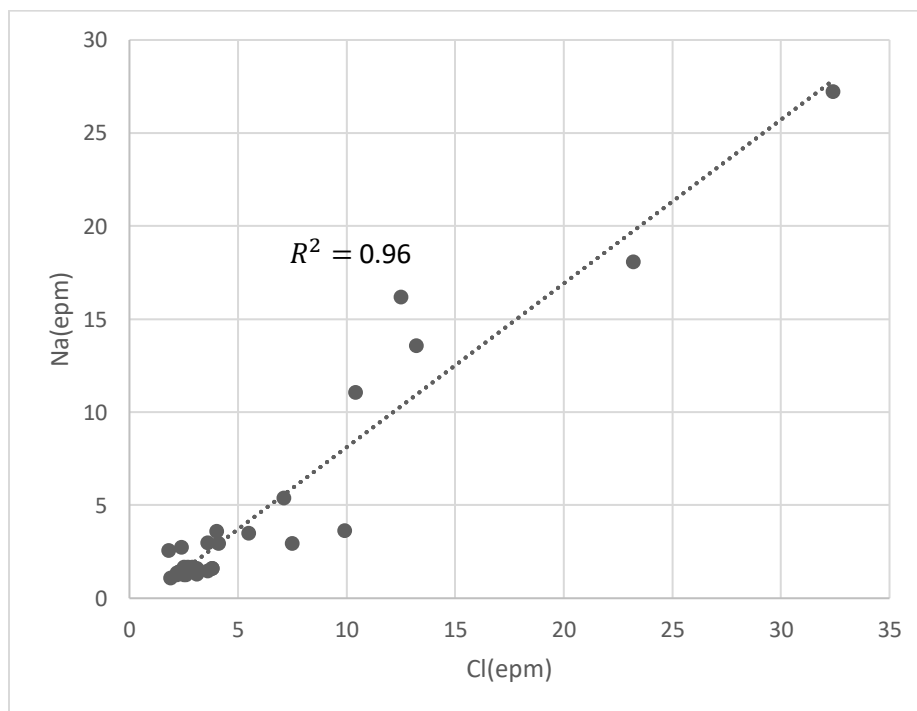
ردیف	نام	Utmx	Utmy	Cl (mg/l)	ردیف	نام	Utmx	Utmy	Cl (mg/l)
۱	W1	۶۶۷۰۱۲	۴۰۵۲۲۵۶	۲۵۲/۰۵	۱۹	W1۹	۶۵۸۷۹۳	۴۰۳۸۶۶۶	۱۳۴/۹
۲	W2	۶۶۸۹۳۵	۴۰۴۵۵۰۶	۶۳/۹	۲۰	W2۰	۶۶۶۴۷۴	۴۰۳۹۹۷۱	۱۱۰/۰۵
۳	W3	۶۷۲۴۳۰	۴۰۴۰۵۴۰	۸۸/۷۵	۲۱	W21	۶۵۷۹۵۴	۴۰۴۴۱۱۴	۸۸/۷۵
۴	W4	۶۷۳۰۵۴	۴۰۴۹۷۴۷	۳۶۹/۲	۲۲	W22	۶۶۷۸۵۲	۴۰۵۰۴۲۷	۸۸/۷۵
۵	W5	۶۶۳۵۴۰	۴۰۵۰۲۸۰	۹۲/۳	۲۳	W23	۶۶۱۱۸۶	۴۰۴۴۱۱۲	۱۱۰/۰۵
۶	W6	۶۶۲۰۳۱	۴۰۴۶۴۸۴	۱۴۲	۲۴	W24	۶۶۲۱۲۰	۴۰۴۱۹۹۴	۱۰۲/۹۵
۷	W7	۶۶۵۴۸۰	۴۰۳۵۰۵۸	۶۷/۴۵	۲۵	W25	۶۷۱۳۸۰	۴۰۴۰۱۹۵	۱۳۴/۹
۸	W8	۶۵۴۸۰۵	۴۰۴۰۹۳۰	۸۱/۶۵	۲۶	W26	۶۷۱۱۱۶	۴۰۴۳۱۸۵	۶۶/۰۳
۹	W9	۶۵۹۱۷۵	۴۰۳۵۹۱۲	۱۲۷/۸	۲۷	W27	۶۷۹۶۸۰	۴۰۴۳۵۲۰	۳۷/۶۳
۱۰	W1۰	۶۶۵۵۱۷	۴۰۳۹۰۰۸	۷۸/۱	۲۸	W28	۶۵۸۸۸۹	۴۰۵۰۸۵۱	۴۸/۲۸
۱۱	W11	۶۵۷۴۲۲	۴۰۴۶۴۲۰	۱۲۷/۸	۲۹	W29	۶۷۳۷۸۰	۴۰۴۷۷۱۰	۵۸/۵۷
۱۲	W12	۶۷۳۲۹۹	۴۰۵۱۵۷۲	۱۴۵/۵۵	۳۰	W3۰	۶۶۲۳۹۳	۴۰۳۴۴۵۶	۳۹/۰۵
۱۳	W13	۶۷۱۳۱۸	۴۰۵۰۳۲۴	۳۵۱/۴۵	۳۱	W31	۶۵۷۸۸۵	۴۰۴۰۱۲۶	۸۰/۹۴
۱۴	W14	۶۶۲۰۲۳	۴۰۴۵۶۴۰	۷۸/۱	۳۲	W32	۶۵۳۳۶۸	۴۰۴۶۲۴۶	۶۹/۲۲
۱۵	W15	۶۶۶۲۴۹	۴۰۴۲۷۰۶	۹۵/۸۵	۳۳	W33	۶۶۷۶۰۹	۴۰۴۶۵۶۴	۲۳۸/۹۱
۱۶	W16	۶۵۸۷۱۰	۴۰۴۷۱۵۰	۸۵/۲	۳۴	W34	۶۷۷۸۹۴	۴۰۴۷۸۰۵	۴۰/۱۱
۱۷	W17	۶۷۴۵۶۴	۴۰۴۳۲۰۵	۶۶/۲۵	۳۵	W35	۶۶۹۹۰۷	۴۰۵۶۲۲۰	۸۱/۶۵
۱۸	W18	۶۷۳۱۶۳	۴۰۵۵۶۱۳	۱۹۵/۲۵	۳۶	W36	۶۷۲۹۵۶	۴۰۵۷۷۶۹	۲۰۹/۸
میانگین غلظت کلر آب زیرزمینی (mg/l)					۱۱۵/۲۸				



شکل ۴-۱۲- موقعیت نقاط نمونه برداری از آب زیرزمینی در آبخوان قائم شهر - جویبار و غلظت کلر آن‌ها

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

بعد از تعیین مقادیر غلظت کلر در نمونه‌های بارش و آب زیرزمینی و با توجه به نرخ متوسط بارش ۷۲۵ میلی‌متر در سال، میزان تغذیه به آبخوان با استفاده از معادله (۴-۲) تخمین زده شد (جدول ۴-۱۰). مطابق نتایج بیشترین مقدار تغذیه در این روش ۱۶/۲۳ میلیون متر مکعب در سال و کمترین مقدار آن ۱/۶۹ میلیون متر مکعب در سال برآورد گردیده است. بر اساس شکل (۴-۱۲) غلظت یون کلر در مرکز آبخوان بیشتر است، که با توجه به تراکم چاه‌ها در این ناحیه، منشأ کلر می‌تواند ناشی از آب برگشتی کشاورزی باشد. از دلایل حجم اندک تغذیه ی به‌دست آمده توسط این روش می‌توان به وجود منشأ دیگری برای کلر در آب زیرزمینی نظیر انحلال نمک اشاره کرد. رابطه‌ی بین یون سدیم و کلر و همبستگی زیاد بین این دو یون نیز تأییدی بر همین موضوع است (شکل ۴-۱۳). با عنایت به وجود منشأ احتمالی دیگر کلر در آب زیرزمینی آبخوان قائم‌شهر —جویبار و بنابراین رفتار غیر پایستار کلر، نتایج تخمین تغذیه به روش بیلان حجمی کلر معرف آبخوان نبوده و استفاده از آن توصیه نمی‌شود.



شکل ۴-۱۳- رابطه سدیم و کلر در نمونه‌های آب زیرزمینی آبخوان قائم‌شهر - جویبار

جدول ۴-۱۰- محاسبه مقادیر تغذیه به آبخوان قائمشهر - جویبار به روش بیلان جرمی کلر

ردیف	نام	Utmx	Utmy	تغذیه (MCM/y)	ردیف	نام	Utmx	Utmy	تغذیه (MCM/y)
۱	W۱	۶۶۷۰۱۲	۴۰۵۲۲۵۶	۲/۴۲	۱۹	W۱۹	۶۵۸۷۹۳	۴۰۳۸۶۶۶	۴/۵۹
۲	W۲	۶۶۸۹۳۵	۴۰۴۵۵۰۶	۹/۴	۲۰	W۲۰	۶۶۶۴۷۴	۴۰۳۹۹۷۱	۵/۶۸
۳	W۳	۶۷۲۴۳۰	۴۰۴۰۵۴۰	۶/۷	۲۱	W۲۱	۶۵۷۹۵۴	۴۰۴۴۱۱۴	۶/۷
۴	W۴	۶۷۳۰۵۴	۴۰۴۹۷۴۷	۱/۶۹	۲۲	W۲۲	۶۶۷۸۵۲	۴۰۵۰۴۲۷	۶/۷
۵	W۵	۶۶۳۵۴۰	۴۰۵۰۲۸۰	۶/۷	۲۳	W۲۳	۶۶۱۱۸۶	۴۰۴۴۱۱۲	۵/۶۸
۶	W۶	۶۶۲۰۳۱	۴۰۴۶۴۸۴	۴/۳۹	۲۴	W۲۴	۶۶۲۱۲۰	۴۰۴۱۹۹۴	۶/۰۸
۷	W۷	۶۶۵۴۸۰	۴۰۳۵۰۵۸	۸/۷	۲۵	W۲۵	۶۷۱۳۸۰	۴۰۴۰۱۹۵	۴/۵۹
۸	W۸	۶۵۴۸۰۵	۴۰۴۰۹۳۰	۷/۴	۲۶	W۲۶	۶۷۱۱۱۶	۴۰۴۳۱۸۵	۹/۴۶
۹	W۹	۶۵۹۱۷۵	۴۰۳۵۹۱۲	۴/۸۷	۲۷	W۲۷	۶۷۹۶۸۰	۴۰۴۳۵۲۰	۱۶/۲۳
۱۰	W۱۰	۶۶۵۵۱۷	۴۰۳۹۰۰۸	۷/۴	۲۸	W۲۸	۶۵۸۸۸۹	۴۰۵۰۸۵۱	۱۲/۸۵
۱۱	W۱۱	۶۵۷۴۲۲	۴۰۴۶۴۲۰	۴/۸۷	۲۹	W۲۹	۶۷۳۷۸۰	۴۰۴۷۷۱۰	۱۰/۱۴
۱۲	W۱۲	۶۷۳۲۹۹	۴۰۵۱۵۷۲	۴/۲۶	۳۰	W۳۰	۶۶۲۳۹۳	۴۰۳۴۴۵۶	۱۵/۵۵
۱۳	W۱۳	۶۷۱۳۱۸	۴۰۵۰۳۲۴	۱/۷۵	۳۱	W۳۱	۶۵۷۸۸۵	۴۰۴۰۱۲۶	۷/۴۴
۱۴	W۱۴	۶۶۲۰۲۳	۴۰۴۵۶۴۰	۷/۴	۳۲	W۳۲	۶۵۳۳۶۸	۴۰۴۶۲۴۶	۸/۸
۱۵	W۱۵	۶۶۶۲۴۹	۴۰۴۲۷۰۶	۶/۴۹	۳۳	W۳۳	۶۶۷۶۰۹	۴۰۴۶۵۶۴	۲/۰۲
۱۶	W۱۶	۶۵۸۷۱۰	۴۰۴۷۱۵۰	۶/۷	۳۴	W۳۴	۶۷۷۸۹۴	۴۰۴۷۸۰۵	۱۵/۵
۱۷	W۱۷	۶۷۴۵۶۴	۴۰۴۳۲۰۵	۲/۲۹	۳۵	W۳۵	۶۶۹۹۰۷	۴۰۵۶۲۲۰	۷/۴
۱۸	W۱۸	۶۷۳۱۶۳	۴۰۵۵۶۱۳	۳/۱۷	۳۶	W۳۶	۶۷۲۹۵۶	۴۰۵۷۷۶۹	۲/۷

۴-۴- تخمین تغذیه به آبخوان آبرفتی قائم‌شهر - جویبار با استفاده از ایزوتوپ‌های پایدار

با هدف تخمین تغذیه ناشی از بارش در آبخوان قائم‌شهر - جویبار، تعداد ۶ نمونه آب زیرزمینی و ۲ نمونه آب بارش جهت آنالیز ایزوتوپ‌های پایدار اکسیژن ۱۸ و دوتریم به آزمایشگاه شرکت مصباح انرژی ارسال و نتایج آن‌ها مورد بررسی قرار گرفت. مقادیر ایزوتوپ‌های اکسیژن ۱۸ و دوتریم در جدول (۴-۱۱) و موقعیت محل نمونه‌برداری آن‌ها در شکل (۴-۱۴) نمایش داده شده است. ارتباط مقادیر ایزوتوپ‌های دوتریم و اکسیژن ۱۸ در نمونه‌های بارش و آب زیرزمینی آبخوان قائم‌شهر - جویبار در شکل (۴-۱۵) ترسیم شده است. به منظور تفسیر تغییرات ایزوتوپی از خط ایزوتوپی بارش جهانی (GMWL) و خط ایزوتوپی بارش محلی (NMWL) استفاده شده است. با توجه به اینکه خط ایزوتوپی بارش محلی قائم‌شهر - جویبار در دسترس نیست، از خط ایزوتوپی بارش National ایران استفاده شده است (شمسی و کاظمی ۱۳۹۲). قرارگیری نمونه‌های بارش قائم‌شهر - جویبار بر روی این خط، تأییدی بر کاربرد آن برای مطالعات ایزوتوپی در قائم‌شهر - جویبار می‌باشد.

به منظور تخمین تغذیه به آبخوان قائم‌شهر - جویبار به روش ایزوتوپ‌های پایدار از روابط تجربی ارائه شده توسط کلارک (Clark, 1987) به شرح زیر استفاده شده است.

$$18O\ shift = \frac{3}{\sqrt{\text{recharge (mm)}}} \quad (۳-۴)$$

$$2H\ shift = \frac{22}{\sqrt{\text{recharge (mm)}}} \quad (۴-۴)$$

مقادیر جابجایی (shift) ایزوتوپ‌های پایدار در منابع آب زیرزمینی قائم‌شهر - جویبار نسبت به منشأ آب زیرزمینی در شکل (۴-۱۵) نشان داده شده است. مقدار آن برای ایزوتوپ‌های اکسیژن ۱۸ برابر ۰/۳۳ و برای دوتریم برابر

۲/۴۸ در هزار (‰) می‌باشد. پس از تعیین مقدار جابجایی (shift) مقدار تغذیه به آبخوان قائم‌شهر - جویبار به صورت زیر محاسبه شده است.

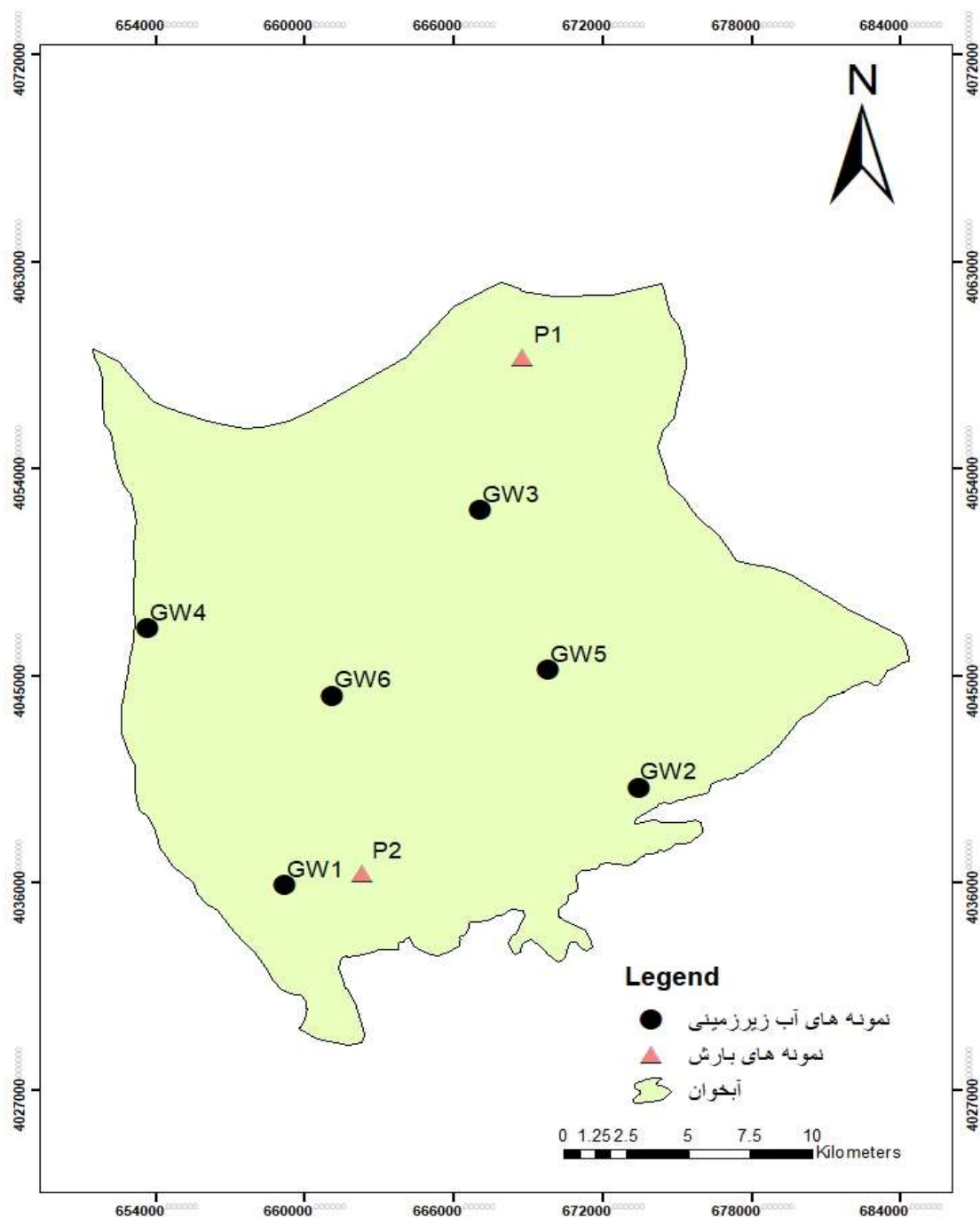
$$Recharge (mm) = \left(\frac{3}{180 \text{ shift}} \right)^2 = \left(\frac{3}{0.33} \right)^2 = 81mm$$

$$Recharge (mm) = \left(\frac{22}{2H \text{ shift}} \right)^2 = \left(\frac{22}{2.48} \right)^2 = 79mm$$

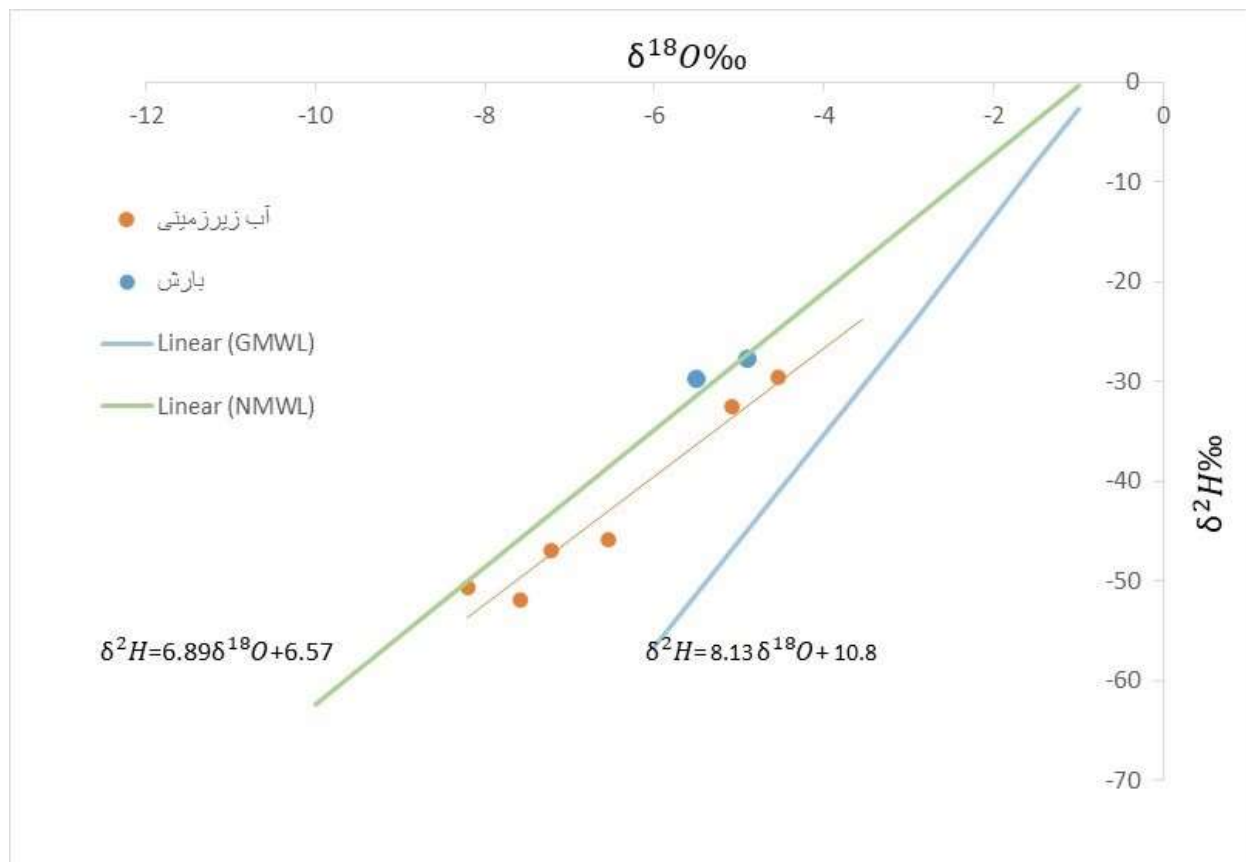
همانطور که ملاحظه می‌شود مقدار تغذیه ناشی از بارش در آبخوان قائم‌شهر - جویبار از ۷۹ تا ۸۱ میلی‌متر در سال متغیر است که با در نظر گرفتن مقدار متوسط بارش که تقریباً ۷۲۵ میلی‌متر در سال است این مقدار حدود ۱۰ درصد بارش سالانه است. با توجه به مساحت آبخوان این مقدار، معادل ۴۸/۵ تا ۴۹/۷۵ میلیون متر مکعب در سال می‌باشد.

جدول ۴-۱۱- مقادیر ایزوتوپ‌های اکسیژن ۱۸ و دوتریم نمونه‌های آب زیرزمینی و بارش در آبخوان قائم‌شهر - جویبار

ردیف	نام	Utmx	Utmy	اکسیژن ۱۸	دوتریم
۱	GW1	۶۵۹۲۱۴	۴۰۲۵۸۸۱	-۶/۵۴	-۴۵/۸۶
۲	GW2	۶۷۳۴۷۶	۴۰۴۰۱۱۰	-۴/۷۲	-۳۷/۰۸
۳	GW3	۶۶۷۱۲۷	۴۰۵۲۱۸۹	-۷/۵۹	-۵۱/۸۵
۴	GW4	۶۵۳۷۰۲	۴۰۴۷۰۴۲	-۴/۵۴	-۲۹/۵۴
۵	GW5	۶۶۹۸۴۷	۴۰۴۵۲۴۸	-۸/۲۱	-۵۰/۷۲
۶	GW6	۶۶۱۱۴۶	۴۰۴۴۱۱۲	-۷/۲۱	-۴۶/۹
۷	P1	۶۶۸۸۱۴	۴۰۵۸۸۲۵	۵/۵	-۲۹/۸
۸	P2	۶۶۲۳۲۶	۴۰۲۶۴۰۷	-۴/۹	-۲۷/۷۴



شکل ۴-۱۴- موقعیت نقاط نمونه برداری ایزوتوپی در آبخوان قائم شهر - جویبار



شکل ۴-۱۵- ارتباط مقادیر ایزوتوپی بارش و آب زیرزمینی در آبخوان قائمشهر - جویبار

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

معادله بیلان آب بر اساس اصل بقاء ماده در چرخه آبی بنا نهاده شده است. برای ارزیابی بیلان آب زیرزمینی لازم است تا هر گونه تغذیه سطحی و زیرزمینی از هر منشأ و مبدأ و همچنین هر گونه تخلیه نظیر بهره‌برداری از چاه‌ها، تخلیه طبیعی توسط چشمه‌ها، زهکش و تبخیر از سفره آب و بالاخره تغییرات حجم سفره زیرزمینی در زمان مشخص و محدوده معینی که سطح بیلان نامیده می‌شود، مورد تحلیل و بررسی قرار گیرد. بیلان آب زیرزمینی به‌طور کلی طبق معادله‌ی زیر محاسبه می‌گردد:

$$R + Q_{in} - (Q_{out} + Q_d + E + D) = \pm \Delta V \quad (4-5)$$

برخی از عوامل بیلان یا مستقیماً اندازه‌گیری می‌شوند و یا قابل محاسبه می‌باشند. ولی به علت وجود عوامل متعدد تأثیرگذار بر بیلان آب زیرزمینی حتی با داشتن کامل‌ترین اطلاعات مورد نیاز، باز هم محاسبه برخی عوامل بیلان امکان پذیر نیست یا محاسبه آن‌ها بسیار دشوار است، که با توجه به شرایط هیدروژئولوژیکی آبخوان تنها می‌توانند برآورد شوند.

۴-۵-۱- جریان‌های زیر زمینی ورودی و خروجی به/از آبخوان

جریان‌های ورودی و خروجی زیرزمینی به/از آبخوان برابر دبی اندازه‌گیری شده در لوله‌های جریان واقع در ورودی/خروجی آبخوان می‌باشد. هر لوله جریان مسیری فرضی است که بر روی نقشه هم‌پتانسیل در میان دو خط جریان قرار دارد که مسیر آن‌ها عمود بر منحنی‌های هم‌پتانسیل ترسیم می‌شود. دبی ورودی و خروجی از هر لوله جریان با استفاده از معادله داری به شرح زیر قابل محاسبه است:

$$Q = W \times i \times T \times t \quad (4-6)$$

Q: جریان ورودی و خروجی به/از آبخوان

T: قابلیت انتقال متوسط مقطع بر حسب متر مربع بر روز

i: گرادیان هیدرولیکی که از تقسیم اختلاف ارتفاعی بین دو منحنی هم تراز مقطع بر فاصله متوسط آن‌ها به‌دست می‌آید و بدون بعد است ($i = dh/dl$).

W: عرض مقطع ورودی یا خروجی بر حسب متر

t: زمان دوره بیلان بر حسب روز

۴-۵-۱-۱- حجم جریان ورودی زیرزمینی به آبخوان قائم‌شهر - جویبار

نقشه تراز آب زیرزمینی ترسیم شده برای آبخوان قائم‌شهر - جویبار نشان می‌دهد که بخش اعظم تغذیه سفره آب زیرزمینی در این آبخوان از بخش جنوبی صورت می‌گیرد. در واقع آبخوان از سمت جنوب و ارتفاعات تغذیه و به سمت دریای خزر تخلیه می‌شود. جهت جریان جنوب شرقی به شمال غربی است. با توجه به نقشه هم‌پتانسیل در مهرماه ۱۳۹۶ (شکل ۴-۱۶) برای آبخوان قائم‌شهر - جویبار ۴ ورودی زیرزمینی مشخص شد که مشخصات هر یک از آن‌ها در جدول (۴-۱۳) نشان داده شده است. مقادیر قابلیت انتقال مربوط به هر ورودی با استفاده از هدایت هیدرولیکی و ضخامت آبخوان بین حداقل ۹۰۰ تا ۱۲۰۰ متر مربع بر روز محاسبه گردید. مقادیر گرادیان هیدرولیکی نیز در آبخوان با توجه به منحنی‌های هم‌پتانسیل از حداقل ۰/۰۰۲ تا حداکثر ۰/۰۰۴ متغیر می‌باشد جدول (۴-۱۴). همان‌طور که در جدول (۴-۱۳) مشاهده می‌شود بیشترین دبی ورودی به آبخوان، مربوط به لوله جریان I4 و کم‌ترین دبی ورودی، مربوط به لوله جریان I3 می‌باشد. کل حجم ورودی محاسبه شده به آبخوان قائم‌شهر - جویبار برابر با ۲۸/۶ میلیون متر مکعب در سال می‌باشد.

۴-۵-۱-۲- حجم جریان خروجی آب زیرزمینی از آبخوان

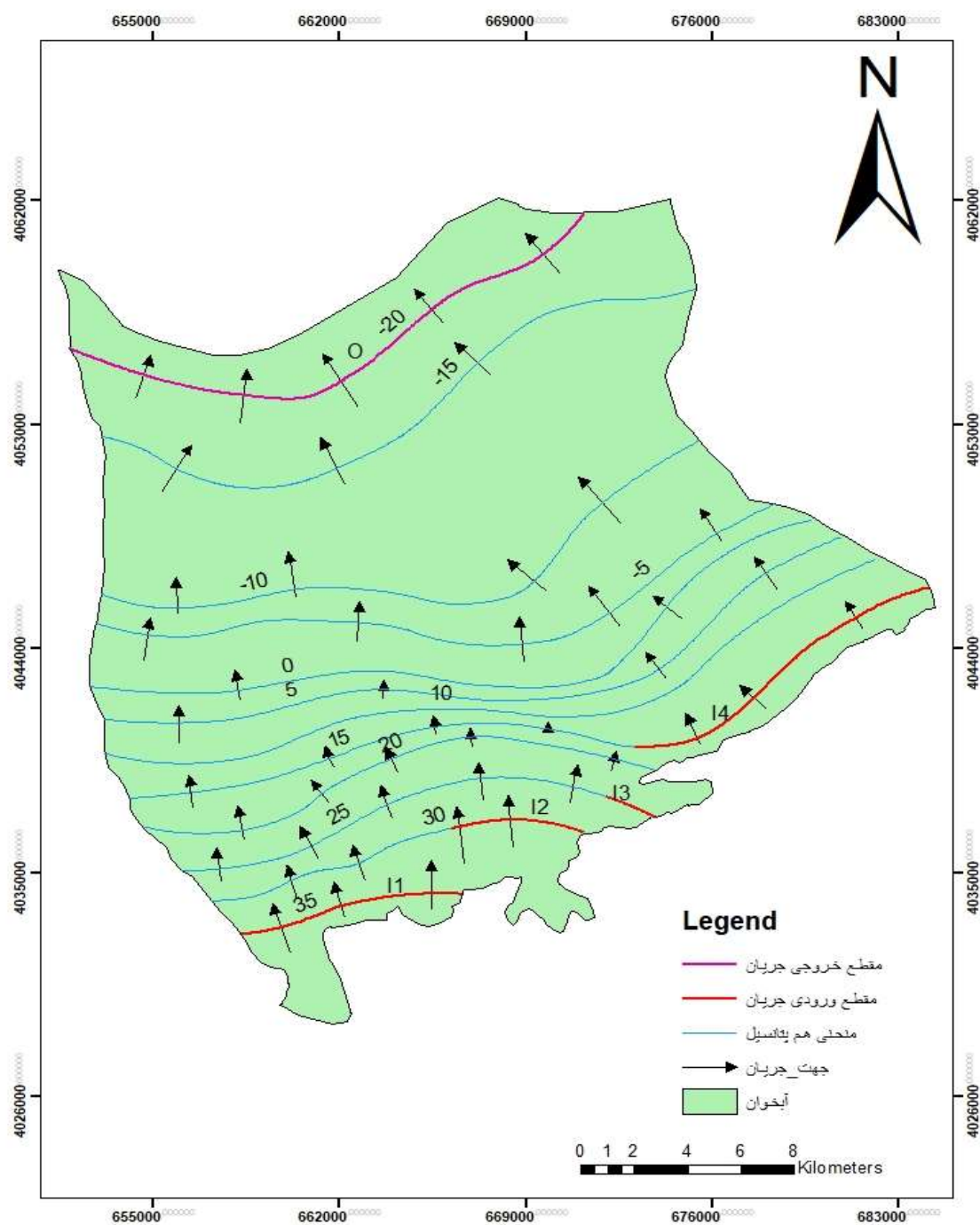
بر اساس نقشه‌های تراز سطح آب زیرزمینی آبخوان قائم‌شهر - جویبار، خروجی آبخوان در قسمت شمال آبخوان می‌باشد. بر اساس نتایج لاگ حفاری مقادیر قابلیت انتقال به سمت شمال آبخوان کاهش می‌یابد. مقدار قابلیت انتقال در شمال آبخوان تقریباً ۱۰۰ متر مربع بر روز می‌باشد (حیدری ۱۳۹۹). همان‌طور که در جدول (۴-۱۳) مشاهده می‌شود حجم خروجی سالیانه از این مقطع حدود ۱/۶ میلیون مترمکعب می‌باشد.

جدول ۴-۱۳- محاسبه ورودی و خروجی به/از آبخوان قائم شهر - جویبار

شماره مقطع	T (مترمربع برروز)	i (گرادیان هیدرولیکی)	W (متر)	Q (مترمکعب برروز)	Q (میلیون مترمکعب برسال)
I1	۱۲۰۰	۰/۰۰۲	۸۵۴۷/۴	۲۰۵۱۳/۷۶	۷/۵
I2	۱۰۰۰	۰/۰۰۳	۵۰۳۱/۳	۱۵۰۹۳/۹	۵/۵
I3	۹۰۰	۰/۰۰۴	۲۰۰۶/۲	۷۲۲۲/۳۲	۲/۶
I4	۹۰۰	۰/۰۰۳	۱۳۱۷۳/۳	۳۵۵۶۷/۹	۱۳
جمع ورودی به آبخوان			۷۸۳۹۷/۸۸	۲۸/۶	
O	۱۰۰	۰/۰۰۲	۲۲۲۱۳/۹	۴۴۴۲/۷۸	۱/۶
جمع خروجی از آبخوان			۴۴۴۲/۷۸	۱/۶	

جدول ۴-۱۴- محاسبه گرادیان هیدرولیکی در آبخوان قائم شهر - جویبار

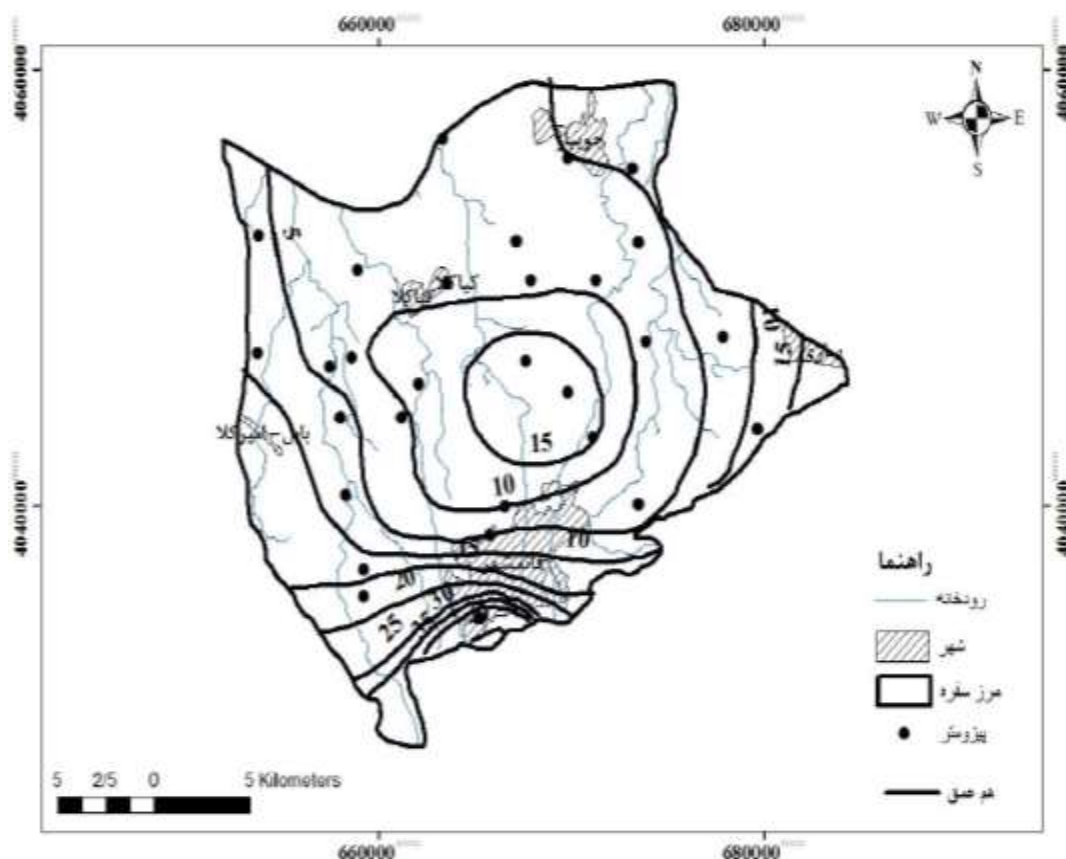
مقطع	dh	dl	گرادیان هیدرولیکی
I1	۵	۲۰۶۱/۳۷	۰/۰۰۲
I2	۵	۱۶۰۶/۲۷	۰/۰۰۳
I3	۵	۱۳۲۱/۲۱	۰/۰۰۴
I4	۵	۱۶۰۳/۸۶	۰/۰۰۳
O	۵	۲۱۲۶/۹۱	۰/۰۰۲



شکل ۴-۱۶- نقشه هم پتانسیل آبخوان قائم شهر - جویبار (مهر ۱۳۹۶) و مقاطع ورودی و خروجی آب زیرزمینی

۴-۵-۲- میزان تبخیر و تعرق از آبخوان

عوامل مؤثر بر تبخیر و تعرق از آب زیرزمینی، سطح آب، نوع و بافت خاک، درجه حرارت محیط، پوشش گیاهی، شدت باد، رطوبت نسبی هوا و غلظت املاح آب است. با توجه به نقشه هم‌عمق آبخوان (شکل ۴-۱۷)، عمق آبخوان بین ۵ تا ۳۵ متر است. کشت غالب در حوزه آبخیز قائم‌شهر - جویبار برنج است. این اراضی در دوره کشت غرقاب هستند و خاک به حالت اشباع است. بنابراین تبخیر - تعرق از سطح آب زیرزمینی در فصل زراعی قابل چشم‌پوشی است و در نتیجه این پارامتر فقط برای فصل غیرزراعی در نظر گرفته می‌شود که با توجه به عمق آبخوان و شرایط آب و هوایی بسیار ناچیز بوده و نزدیک به صفر است. حداکثر عمق تبخیر و تعرق در این منطقه بین ۳ تا ۵ متر در نظر گرفته شده است (قربانی سرهنگی و همکاران ۱۳۹۷).



شکل ۴-۱۷- نقشه هم‌عمق آب زیرزمینی در آبخوان قائم‌شهر - جویبار (حیدری ۱۳۹۹)

۴-۵-۳- تبادل آب رودخانه و آبخوان آبرفتی

رودخانه‌ها به‌ویژه در ناحیه ورود به دشت، تغذیه کننده آبخوان بوده و برخی از آن‌ها به‌ویژه در نواحی خروجی دشت که سطح آب زیرزمینی نزدیک به سطح زمین می‌باشد، زهکش آبخوان هستند. به‌دلیل نبود ایستگاه هیدرومتری در ناحیه‌ی خروجی آبخوان و باتوجه به اطلاعات فعلی تخمین دقیق تبادل رودخانه و آبخوان امکان‌پذیر نمی‌باشد. باتوجه به برآوردها در مطالعات قبلی انجام شده در منطقه مورد مطالعه، میزان نفوذ از جریان‌های سطحی ۴۶ میلیون مترمکعب و زهکشی توسط آن‌ها حدود ۱۱ میلیون مترمکعب در سال تخمین زده شده است. بنابراین می‌توان بیان نمود رودخانه نقش تغذیه‌کننده آبخوان را داشته است. میزان تغذیه که از تفاضل این دو عدد به‌دست می‌آید حدود ۳۵ میلیون متر مکعب در سال می‌باشد که حدود ۱۰ درصد رواناب خروجی از محدوده آبخوان می‌باشد.

۴-۵-۴- مصارف آب و نفوذ از آن

مصارف آب در محدوده آبخوان قائم‌شهر - جویبار شامل مصرف کشاورزی، مصرف شرب و صنعت است. بر اساس گزارش‌های موجود، در سطح آبخوان آبرفتی دشت قائم‌شهر - جویبار حجم آب مصرفی در بخش کشاورزی و بخش‌های شرب و صنعت به‌ترتیب ۳۸۹/۴۸ و ۴۱/۸۶ میلیون مترمکعب در سال است. باتوجه به بافت خاک، بالا بودن عمق سطح آب زیرزمینی و شرایط خاص منطقه میزان آب برگشتی زراعی برابر با ۷۰ میلیون مترمکعب در سال (۲۰ درصد آب جوی) در نظر گرفته شده است که باعث تغذیه آبخوان می‌گردد. مقدار آب نفوذ یافته از مصارف شرب و صنعت به‌دلیل اینکه دفع پساب آن‌ها عمدتاً از طریق چاه‌های جذبی صورت می‌گیرد، برابر با ۲۹ میلیون مترمکعب در سال (۵۰ درصد آب جوی) حاصل شده است.

۴-۵-۵- تغییرات حجم ذخیره آبخوان

تغییرات حجم مخزن در دوره بیلان طبق معادله زیر برآورد می‌گردد:

$$V = \pm A \times h \times S_y \quad (۴-۷)$$

در این معادله V تغییرات حجم ذخیره آبخوان، A مساحت آبخوان، h افت سالیانه و S_y آبدهی ویژه آبخوان است. میانگین افت سالیانه $۰/۳۵$ متر در سال و مقدار متوسط آبدهی ویژه در آبخوان، $۰/۰۴$ محاسبه شد. بنابراین میزان تغییرات حجم ذخیره آبخوان برابر با $۸/۵$ میلیون متر مکعب محاسبه گردید.

۴-۵-۵- محاسبه تغذیه با استفاده از روش بیلان آب

اجزای اصلی بیلان آبخوان قائمشهر - جویبار در جدول (۴-۱۵) ارائه شده است. با توجه به مقادیر به دست آمده در جدول (۴-۱۵) و با استفاده از معادله (۴-۵) مقدار تغذیه ناشی از بارش به آبخوان قائمشهر - جویبار برابر با ۴۱ میلیون متر مکعب در سال است.

جدول ۴-۱۵- اجزای بیلان آبخوان قائمشهر - جویبار

اجزای بیلان	حجم (میلیون متر مکعب بر سال)
جریان ورودی آب زیرزمینی به آبخوان	۲۸/۶
تخلیه و برداشت (چاه، قنات و چشمه)	۲۱۰/۶۳
جریان زیرزمینی خروجی از آبخوان	۱/۶
تغذیه به آبخوان از طریق رودخانه	۳۵
تغذیه ناشی از پساب کشاورزی، شرب و صنعت	۹۹/۲۵
تغییرات حجم ذخیره آبخوان	-۸/۵

$$R = ۲۱۰/۶۳ + ۱/۶ - ۲۸/۶ - ۹۹ - ۳۵ - ۸/۵ = ۴۱ \text{ (میلیون متر مکعب بر سال)}$$

۴-۶- جمع‌بندی نتایج مطالعات تخمین تغذیه به آبخوان قائم‌شهر - جویبار

در این تحقیق مقادیر تغذیه به آبخوان قائم‌شهر - جویبار با استفاده از روش‌های بیلان کلر، بیلان آب، ایزوتوپ‌های پایدار و نوسانات سطح ایستابی محاسبه گردید (جدول ۴-۱۶). براساس مقادیر محاسبه شده، مقدار تغذیه به روش بیلان جرمی کلر در آبخوان حداکثر ۱۶/۲۳ میلیون متر مکعب محاسبه شد که به دلیل هم‌بستگی زیاد بین یون کلر و سدیم، احتمال افزایش کلر در نتیجه‌ی انحلال نمک وجود دارد. بنابراین استفاده از این روش برای تخمین تغذیه توصیه نمی‌شود. مقدار تغذیه به روش ایزوتوپی حداکثر ۸۱ میلی‌متر است که با توجه به مساحت آبخوان معادل ۴۹/۷۵ میلیون متر مکعب محاسبه گردیده که این مقدار مربوط به تغذیه ناشی از بارش می‌باشد. با توجه به اینکه میانگین بارش در سطح آبخوان حدود ۷۲۵ میلی‌متر است، بنابراین ۱۱ درصد آن باعث تغذیه آبخوان می‌شود. مقدار متوسط تغذیه به روش نوسانات سطح ایستابی حدود ۱۴۸ میلیون متر مکعب در سال تخمین زده شد که به نظر می‌رسد که این مقدار مربوط به تغذیه‌ی ناشی از بارش و آب برگشتی کشاورزی و شرب و صنعت باشد. در روش بیلان آب مقدار تغذیه ناشی از بارش و آب برگشتی، شرب و صنعت به ترتیب معادل ۴۱ و ۹۹ میلیون متر مکعب در طول سال است. با توجه به این مقادیر کل تغذیه از سطح در روش بیلان آب معادل ۱۴۰ میلیون متر مکعب در سال است.

در مجموع، مطالعات تخمین تغذیه در آبخوان قائم‌شهر - جویبار نشان می‌دهد، تغذیه به آبخوان از حدود ۱۴۰ تا ۱۴۸ میلیون متر مکعب در سال متغیر می‌باشد. این مقادیر براساس روش‌های نوسانات سطح ایستابی و بیلان آب محاسبه شده است.

جدول ۴-۱۶- مقادیر تغذیه محاسبه شده به روش‌های مختلف به آبخوان قائم‌شهر - جویبار

روش تخمین تغذیه	مقدار تغذیه (میلیون متر مکعب در سال)
روش نوسانات سطح ایستابی (مجموع تغذیه ناشی از بارش و آب برگشتی)	۱۴۸
روش بیلان جرمی کلر (تغذیه ناشی از بارش)	۱۶/۲۳
ایزوتوپ‌های پایدار (تغذیه ناشی از بارش)	۴۸/۵ - ۴۹/۷۵
روش بیلان آب (مجموع تغذیه ناشی از بارش و آب برگشتی)	۱۴۰

فصل پنجم

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

۵-۱- مقدمه

در این تحقیق با استفاده از چهار روش شامل نوسانات سطح ایستابی، بیلان جرمی کلر، ایزوتوپی و بیلان آب، نرخ تغذیه به آبخوان آبرفتی قائم‌شهر - جویبار تخمین زده شد. در این فصل ضمن ارائه‌ی نتایج تغذیه حاصل از روش‌های مذکور به ارائه پیشنهاداتی جهت مدیریت بهتر و مطالعات آینده پرداخته می‌شود.

۵-۲- نتایج

۱- از بررسی پیزومترهای آبخوان طی سال‌های آبی ۸۴ تا ۹۶ مشخص گردید که بیشترین نرخ افت در مرکز آبخوان رخ داده که احتمالاً به‌خاطر برداشت بی‌رویه از چاه‌ها در این ناحیه بوده است. بیشترین مقدار نرخ افت مربوط به پیزومترهای عمیق لهما و لاله‌زارکتی به ترتیب به میزان ۹۱ و ۹۰ سانتی‌متر در سال و کمترین مقدار آن مربوط به پیزومترهای هریکنده و نقیب‌کلا به میزان ۵ سانتی‌متر در سال می‌باشد.

۲- هیدروگراف معرف آبخوان و بررسی رابطه نرخ بارش و سطح آب نشان می‌دهد که سطح آب زیرزمینی از اواخر شهریور تا اواسط اردیبهشت هر سال افزایش یافته و از خرداد تا اواخر مرداد کاهش می‌یابد. میانگین افت سالیانه آبخوان ۳۵ سانتی‌متر در سال می‌باشد.

۳- به‌منظور محاسبه‌ی نرخ تغذیه به‌روش نوسانات سطح ایستابی، به بررسی آبدهی ویژه در آبخوان با استفاده از داده‌های لاگ‌های حفاری پرداخته شد. رسوبات غالب در آبخوان شن، ماسه، رس و سیلت بوده است. بر اساس بافت رسوبات، نرخ آبدهی ویژه بین ۲/۵ تا ۵ درصد در سطح آبخوان تخمین زده شد که بیشترین مقدار آن مربوط به جنوب آبخوان است. متوسط آبدهی ویژه آبخوان قائم‌شهر - جویبار ۴ درصد در نظر گرفته شد.

۴- با ترسیم هیدروگراف‌های مرتبط با هر پیزومتر طی سال‌های آبی ۸۴ تا ۹۶ بیشترین نرخ تغییرات سطح آب و نوسانات مربوط به پیزومترهای مرکز و غرب آبخوان مانند عمیق لاله‌زارکتی، عمیق اگر تیچ کلا و... بوده که از

دلایل آن می توان به کم بودن مقدار آبدهی ویژه و افزایش آب برگشتی کشاورزی و نفوذ از طریق رودخانه ها در این نواحی اشاره کرد. همچنین بررسی هیدروگراف ها نشان داد که، بالآمدگی سطح ایستابی در پیزومترهای آبخوان از حداقل ۱/۷۹ تا حداکثر ۲۰/۸۴ متر در سال متغیر می باشد.

۵- با محاسبه مقدار تغذیه به روش نوسانات سطح ایستابی، متوسط تغذیه به آبخوان ۱۴۸ میلیون متر مکعب تخمین زده شد. بیشترین مقدار تغذیه مربوط به سال آبی ۸۷-۸۸ به میزان ۱۷۳ و کمترین مقدار آن مربوط به سال آبی ۸۵-۸۴ به میزان ۱۲۵/۳ میلیون متر مکعب می باشد.

۶- مقادیر غلظت کلر در آب زیرزمینی از حداقل ۳۷/۶۳ تا حداکثر ۳۶۹/۲ میلی گرم بر لیتر و مقادیر غلظت کلر در بارش بین ۰/۹ تا ۱/۵۶ میلی گرم بر لیتر متغیر است. با استفاده از روش بیلان جرمی کلر، مقدار تغذیه ناشی از بارش تغییراتی بین ۱/۶۹ تا ۱۶/۲۳ میلیون متر مکعب نشان می دهد.

۷- مقدار تغذیه ناشی از بارش با استفاده از ایزوتوپ های پایدار اکسیژن ۱۸ و دوتریم محاسبه گردیده است. بر این اساس مقدار تغذیه به آبخوان بین ۴۸/۵ تا ۴۹/۷۵ میلیون مترمکعب در سال تخمین زده شد.

۸- مؤلفه های مهم در معادله ی بیلان شامل جریان های زیرزمینی ورودی و خروجی به/از آبخوان، تخلیه از چاه ها، تغذیه از آبخوان توسط جریان های سطحی (رودخانه های تالار و سیاهرود) تغییرات ذخیره آبخوان و تغذیه از پساب های کشاورزی، شرب و صنعت مشخص شده و بر اساس آن مقدار تغذیه به آبخوان به روش بیلان محاسبه شده است. بر این اساس مقدار تغذیه به آبخوان به روش بیلان آب ۱۴۰ میلیون مترمکعب در سال آبی ۹۵-۹۶ برآورد گردید.

۹- با مقایسه روش های مختلف تغذیه ، میزان کل تغذیه به آبخوان قائم شهر جویبار از حدود ۱۴۰ تا ۱۴۸ میلیون مترمکعب در سال متغیر می باشد. بنابراین متوسط تغذیه در آبخوان قائم شهر - جویبار حدود ۱۴۴ میلیون

مترمکعب محاسبه گردیده است که از این مقدار حدود ۴۵ میلیون متر مکعب در سال (۴۱ تا ۵۰ میلیون متر مکعب در سال) ناشی از بارش و مابقی ناشی از جریان‌های برگشتی مصارف مختلف می‌باشد. مقدار تغذیه محاسبه شده با استفاده از ایزوتوپ‌های پایدار، مربوط به تغذیه ناشی از بارش در سطح آبخوان می‌باشد. به دلیل افزایش احتمالی یون کلر در نتیجه انحلال نمک، استفاده از روش بیلان جرمی کلر جهت تخمین تغذیه توصیه نمی‌شود.

۵-۳- پیشنهادها

۱- انجام آزمون‌های پمپاژ و دیگر روش‌های تخمین مقادیر ضرایب هیدرودینامیکی آبخوان به منظور تخمین دقیق‌تر آبدهی ویژه و سایر پارامترها

۲- گسترش تعداد لاگ‌های حفاری در قسمت شمالی و جنوبی آبخوان

۳- افزایش تعداد ایستگاه‌های هیدرومتری در نواحی خروجی آبخوان به منظور تخمین دقیق‌تر نرخ دبی رودخانه‌ها و برآورد حجم تغذیه‌ی رودخانه به آبخوان

۴- استفاده از روش‌های دیگر در تخمین تغذیه نظیر سن سنجی و مدل‌سازی آب‌های زیرزمینی

۵- با توجه به کاهش ذخیره‌ی آبخوان و نیز کاهش بارندگی در سال‌های اخیر مدیریت دقیق آب‌های زیرزمینی پیشنهاد می‌گردد.

۶- کاهش سطح ایستابی در بخش شمالی گستره می‌تواند به پیشروی مرز لایه آب شور دریا با آب شیرین بیانجامد، لذا مدیریت بهینه آب زیرزمینی توصیه می‌گردد.

منابع

- ارست م، شجاعی س. (۱۳۹۵) "بررسی و تعیین بیلان آب زیرزمینی آبخوان آزاد دشت قم"
- احمدی ط، (۱۳۹۱) "برآورد تغذیه آب زیرزمینی به روش‌های مختلف و مقایسه‌ی نتایج آن‌ها در دشت نیشابور"
- تکایی ا، جعفری ه، باقری ر. (۱۳۹۴). "تعیین پارامترهای هیدروژئولوژیکی آبخوان شیروان."
- جباری پ، قنبرپور م، اشبه ع. (۱۳۹۴) "ارزیابی و تعیین بیلان آب زیرزمینی آبخوان آزاد دشت ساری – نکا"
- جعفری ه، رئیسی ع. (۱۳۹۰) "تخمین تغذیه ناشی از آبیاری به آبخوان هرات در استان یزد"، سی امین گردهمایی علوم زمین، وزارت صنعت و معدن تجارت سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور
- حیدری ص، جعفری ه. (۱۳۹۹) "تکامل ژئوشیمیایی در آبخوان آبرفتی قائم‌شهر- جویبار"
- حاجی کریمی، (۱۳۹۲) "بررسی ترکیب ایزوتوپ‌های پایدار اکسیژن ۱۸ و دوتریم در بارش‌های زاگرس غربی"
- خان محمدی ن، مظلومی پ، رضایی ح. (۱۳۸۹) "بیلان آب زیرزمینی و بررسی افت دشت ارومیه"
- دیوسالار ن، کرمی غ. (۱۳۹۶). "بررسی تغییرات ۲۵ ساله سطح آب زیرزمینی در جنوب شرق شهر نور"
- زنگنه ا، آغاسی ع، علیجانی ف. (۱۳۹۰) "بررسی نرخ افت و تغذیه در آب‌های زیرزمینی در دشت‌های نوترگی و هلايجان در جنوب غرب ایزه"
- سودگی ع، جعفری ه. (۱۳۹۶) "تخمین نرخ تغذیه به آبخوان آبرفتی بیرجند با استفاده از روش‌های نوسانات سطح ایستابی، بیلان آب، بیلان کلر و ایزوتوپی"
- سعادت‌ی ح، شریفی ف، مهدوی م، احمدی ح. (۱۳۸۹) "برآورد تغذیه و تغییرات حجم مخزن آب زیرزمینی دشت هشتگرد بوسیله بیلان آبی"

- عمادی ف، کرمی غ. (۱۳۹۵). " تعیین آبدهی ویژه رسوبات با استفاده از آنالیز اندازه ذرات".
- عربی جوانمرد ز، جعفری ه. (۱۳۹۵) " تخمین تغذیه به آبخوان اشتر با استفاده از روش‌های نوسانات سطح ایستابی، بیلان آب و بیلان کلر"
- عابدی م، کرمی غ (۱۳۹۵) "تخمین قابلیت انتقال با استفاده از لاگ حفاری دشت مشهد"
- غفاری ح، رسول‌زاده ع، رئوف م، اسماعیلی عوری ا. (۱۳۹۷) " برآورد تغذیه طبیعی آب زیرزمینی با استفاده از نوسانات سطح ایستابی دشت اردبیل"
- فرایابی م. (۱۳۹۷) " تخمین تغذیه آب زیرزمینی با استفاده از معادله بیلان، مدل هیدرولوژیکی Wetspass و برنامه PROGRADE " اولین همایش مدل‌سازی و فناوری‌های جدید در مدیریت آب.
- فرهادی ص، علی جانی ف ، ناصری ح. (۱۳۹۸) "مقایسه مشخصات ایزوتوپ‌های پایدار بارش سیل آسا فروردین ۱۳۹۵ در جنوب غرب کشور با خط آب جوی دیگر مناطق ایران و کشورهای مجاور".
- قربانی سرهنگی ز، شاه نظری ع، غلامی سفید کوهی م، جنت رستمی س. (۱۳۹۷). "شیه‌سازی آب زیرزمینی حوضه آبخیز قائم‌شهر - جویبار در شرایط اجرای طرح آبیاری و زهکشی البرز"
- کریمی ح. (۱۳۹۲) " بررسی ترکیب ایزوتوپ‌های پایدار اکسیژن ۱۸ و دوتریم در بارش‌های زاگرس غربی" نخستین همایش ملی کاربرد ایزوتوپ‌های پایدار، مشهد.
- نیک‌قوجق ی، محمدزاده ح، ناصری ح. (۱۳۹۵) "کاربرد ایزوتوپ‌های پایدار اکسیژن ۱۸ و دوتریم در برآورد سهم رودخانه‌ها در تغذیه آبخوان کم‌عمق حوضه گرگان‌روده قره سو".
- نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ زمین‌شناسی دشت قائم‌شهر - جویبار، مطالعات آب منطقه‌ای استان مازندران وسازمان زمین شناسی کشور.

- ✓ Allison, G.B. (1988). "A review of some of the physical chemical and isotopic techniques available for estimating groundwater recharge". In: Simmers, I. (Ed), Estimation of Natural Groundwater Recharge. Reidel, Dordrecht, 49-72.
- ✓ ASTM. (2008). "Standard guide for selection of methods for assessing ground water or aquifer sensitivity and vulnerability". ASTM., D6030-90.
- ✓ Coly Diouf, O. Cisse Faye, S. Diedhiou, M. Kaba, M. Becaye Gaye, C. Faye, A. Englert, A. Wohnlich, S. (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 Senagal". African Journal of Environmental Science and Technology., 425-437.
- ✓ Clark, I., Fritz, P. (1987), "Environmental isotopes in Hydrogeology".
- ✓ Deline, 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.
- ✓ Gurdak, J. J., roa, C.D. (2009). "Recharge rates aquifer: a literature review and synthesis". US Geological Survey Circular 1333.
- ✓ Healy, R. W., Cook, P. G. (2002). "Using groundwaterlevels to estimate recharge". Hydrogeol. J., 10, 91-109.
- ✓ Johnson, A. I. (1967). "Specific yield: compilation of specific yieds for various material". 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.
- ✓ Marechal, JC. Dewandel, B. Ahmed, S. Galeazzi, L. Zaidi, FK. (2006). "Combined estimation of specific yield and natural recharge in a semi-ard groundwater basin with irrigated agriculture". Journal of Hydrology., 281-293.

- ✓ Mensah, F., Alo, C., Yidana, S. (2014). "Evaluation of Groundwater Recharge Estimate in a Partially Metamorphosed Sedimentary Basin in a Tropical Environment: Application of Natural Tracers.
- ✓ Moon, SK. Woo, NC. Lee, KS. (2004) "Statistical analysis hydrographs and water-table fluctuation estimate groundwater recharge". journal Hydrology.,198-209.
- ✓ Rasoulzadeh, A. Moosavi, SAA. (2008). "Evaluation of uncertainty in parameter estimation of WTF model using inverse method". The 7 Iranian Hydraulic Conference, Tehran, Iran, 11-13 November.
- ✓ Sharda, VN. Kurothe, RS. Sena, DR. Pande VC. Tiwari, SP. (2006). "Estimation of groundwater Recharge from water storage structures in a semi-arid climate of India". Journal of Hydrology., 224-243.
- ✓ Shamsi, A., Kazemi, GH. (2014). "A review of research dealing with isotope hydrology in Iran and the first Iranian meteoric water line".
- ✓ Scanlon, B. R. (1991). "Evaluation of moisture flux from chloride data in desert soils". 137-156.
- ✓ Simmers, I. (ed). (1999). "Recharge of Phreatic Aquifers in (Semi-) Arid Areas". Rotterdam: A. A. Balkema.
- ✓ Todd, D. K., Mays, L. W., (2005), "Groundwater Hydrogeology, third Edition". John Wiley and Sons, New York., pp,625.
- ✓ Todd, D., Mays, L., (2005). "Groundwater Hydrology".

Abstract

The study area is Ghaemshahr – Jooybar aquifer which is located in the east of Mazandaram province with an area of about 614/24 square kilometers. In the north of this aquifer is Jooybar city and in the south of this aquifer is Ghaemshahr city. This aquifer is the most important source of drinking water and agriculture in these areas. Therefore, estimating groundwater recharge is necessary to evaluate and manage the aquifer. In this research in order to estimate the recharge rate in Ghaemshahr-Joybar aquifer, four methods of water - table fluctuations (WTF), chloride mass balance (CMB), water budget and isotope have been used. Examination of the aquifer hydrograph over a 12-year period shows a derensing trend that decreases by about 35 cm per year. The average annual recharge rate using WTF method was estimated at 148 million cubic meters. Chloride concentration in groundwater vary between 37.63 to 369.2 mg / l and its values in precipitation vary from 0.9 to 1.56 mg / l. The amount of recharge calculated using this method was estimated at a maximum of 16.23 million cubic meters, which due to the instability of chloride in the aquifer, its values were not used to estimate the total recharge of the aquifer. Water budget for the aquifer for the water year 95-96 was calculated. The amount of recharge using this method was estimated at 140 million cubic meters. The amount of recharge due to precipitation in the aquifer was estimated 48.5 to 49.75 million cubic meters by stable isotopes. In total, recharge estimation studies in the Ghaemshahr-Joybar aquifer show that rainfall and agricultural water return to the aquifer varies from about 140 to 148 million cubic meters per year. These values are calculated based on the methods of water table fluctuations and water budget, which the similarity of the results obtained through these methods is a confirmation of the accuracy of the results. Therefore, the average recharge rate due to precipitation and return water in Ghaemshahr-Jooybar aquifer using water table fluctuation methods and water budget is equal to 144 million cubic meters per year. Based on the results, the average rate of rainfall recharge was estimated at 45 MCM/y which accounts for 11% at the precipitation.

Keywords: Recharge, Water table fluctuations, Chloride mass balance, Water - budget, Stable isotopes



Shahrood University of Technology

Faculty of Earth Sciences

M.Sc Thesis in Hydrogeology

Groundwater recharge rate and temporal variations
in Ghaemshahr-Jooybar alluvial aquifer

By:

Fatemeh Alirezaei

Supervisor:

Dr. Hadi Jafari

July 2021