



دانشکده علوم زمین گروه آب‌شناسی و زمین‌شناسی زیست‌محیطی

پایان‌نامه کارشناسی ارشد

عنوان:

تخمین تغذیه به آبخوان هرات در استان یزد بر پایه مطالعات نوسان سطح ایستابی

دانشجو:

محمد مسموعی

استاد راهنما:

دکتر هادی جعفری

استاد مشاور:

مهندس محمدعلی امیربیک

بهمن ۱۳۹۳



دانشگاه صنعتی شاهرود

شماره:

تاریخ:

ویرایش:

باسمه تعالی

مدیریت تحصیلات تکمیلی

فرم شماره (۶)

فرم صورت جلسه دفاع از پایان نامه تحصیلی دوره کارشناسی ارشد

با تأییدات خداوند متعال و با استعانت از حضرت ولی عصر (عج) نتیجه ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد آقای محمد مسموعی رشته زمین شناسی گرایش آب شناسی تحت عنوان تخمین تغذیه به آبخوان هرات در استان یزد بر پایه‌ی مطالعات نوسان سطح ایستابی که در تاریخ ۹۳/۱۱/۲۷ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می گردد:

قبول (با درجه: عالی - امتیاز: ۱۹)	<input checked="" type="checkbox"/>	دفاع مجدد	<input type="checkbox"/>	مردود	<input type="checkbox"/>
-----------------------------------	-------------------------------------	-----------	--------------------------	-------	--------------------------

۲- بسیار خوب (۱۸ - ۱۸/۹۹)

۱- عالی (۱۹ - ۲۰)

۴- قابل قبول (۱۴ - ۱۵/۹۹)

۳- خوب (۱۶ - ۱۷/۹۹)

۵- نمره کمتر از ۱۴ غیر قابل قبول

عضو هیأت داوران	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	امضاء
۱- استاد راهنما	دکتر هادی جعفری	استادیار	
۲- استاد مشاور	مهندس محمدعلی امیربیک	کارشناسی ارشد	
۳- نماینده شورای تحصیلات تکمیلی	محمود صادقیان	دانشیار	
۴- استاد ممتحن	دکتر غلامحسین کرمی	دانشیار	
۵- استاد ممتحن	دکتر رحیم باقری	استادیار	

رئیس دانشکده: امضاء



پیوست شماره ۲

دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده : علوم زمین
گروه : آب و زیست محیطی

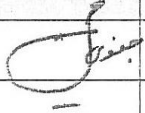
پایان نامه کارشناسی ارشد آقای محمد مسموعی

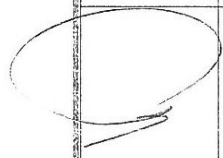
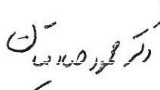

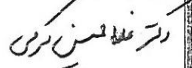

تحت عنوان: تخمین تغذیه به آبخوان هرات در استان یزد بر پایه‌ی مطالعات نوسان سطح ایستابی

مورد ارزیابی و با

اساتید

در تاریخ ۱۳۹۷/۱۱/۲۷ توسط کمیته تخصصی زیر جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد
درجه مورد پذیرش قرار گرفت.

امضاء	اساتید مشاور	امضاء	اساتید راهنما
	نام و نام خانوادگی :		نام و نام خانوادگی : دکتر هادی جعفری
	نام و نام خانوادگی :	—	نام و نام خانوادگی :

امضاء	نماینده تحصیلات تکمیلی	امضاء	اساتید داور
	نام و نام خانوادگی :  دکتر محمود حسینی		نام و نام خانوادگی :  دکتر علی حسن پوری
			نام و نام خانوادگی : دکتر رحیم باقری
			نام و نام خانوادگی :
			نام و نام خانوادگی :

تقدیم بہ عمومی مہربانم

شہید ابراہیم مسموعی

وہمی شہیدان راہ خدا

قدردانی

شکرشایان نثار ایزدمنان که توفیق را رفیق را هم ساخت تا این پایان نامه را به آخر برسانم. از پدر و مادر عزیزم بخاطر همه‌ی تلاش‌های محبت‌آمیزی که در دوران مختلف زندگی ام انجام دادند و با مهربانی چگونه زیستن را به من آموختند سپاسگزارم. از همسر عزیزم به پاس عاطفه سرشار و گرمای امیدبخش وجودش که در این مسیر همواره یار و همراه من بوده سپاسگزارم. از استاد فاضل جناب آقای دکتر جعفری که دلسوزانه بنده را در این پایان نامه راهنمایی و هدایت فرمودند کمال شکر را دارم. همچنین از جناب آقای دکتر کریمی، دکتر کاظمی و دکتر باقری بخاطر راهنمایی‌های ارزشمندشان شکر می‌کنم. همچنین از جناب آقای مهندس امیریکی بخاطر همراهی ایشان در این پایان نامه کمال شکر را دارم.

تعهد نامه

اینجانب محمد مسموعی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته آب شناسی دانشکده علوم زمین دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه تحت تخمین تغذیه به آبخوان هرات در استان یزد بر پایه مطالعات نوسان سطح ایستابی ، راهنمایی دکتر هادی جعفری متعهد می شوم.

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

تاریخ ۹۳/۱۲/۱۵
امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

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

* متن این صفحه نیز باید در ابتدای نسخه های تکثیر شده پایان نامه وجود داشته باشد .

چکیده

دشت هرات در فاصله ۲۴۰ کیلومتری جنوب شهرستان یزد قرار گرفته است. این دشت یکی از دشت‌های نسبتاً وسیع در استان یزد بوده که به عنوان یکی از مناطق کشاورزی محسوب می‌گردد. بر اساس مطالعه هیدروگراف معرف آبخوان، سطح ایستابی دارای روند نزولی بوده و میزان افت سطح آب برای دوره ۲۵ ساله مهر ۶۸ تا بهمن ۹۳ معادل ۱۲/۷۱ متر بوده که متوسط افت سالانه ۵۰ سانتی‌متر می‌باشد. با بررسی هیستوگرام بارش در طول سال‌های آماری ۹۳-۱۳۶۸ مشاهده گردید مقدار بارش از سال ۸۲ به بعد کاهش محسوسی داشته و همچنین پراکندگی بارش‌ها افزایش یافته است. با توجه به هیدروگراف معرف آبخوان به همراه بارش، سطح ایستابی از سال ۸۳ به بعد روند نزولی کاملاً مشخصی داشته که با کاهش بارندگی از این سال به بعد مطابقت دارد. لازم به ذکر است از اوایل دهه ۸۰ دمای هوا به صورت واضحی افزایش یافته که این افزایش می‌تواند ضمن افزایش تبخیر و تعرق سبب افزایش برداشت از منابع آب زیرزمینی و کاهش سطح آب زیرزمینی گردد. بررسی ارتباط نوسان سطح ایستابی با برداشت از منابع آب زیرزمینی نشان می‌دهد که تعداد کل چاه‌ها، متوسط ساعت کارکرد چاه‌ها و به تبع آن مقدار تخلیه از منابع آب زیرزمینی از سال ۱۳۷۴ تا ۱۳۸۸ افزایش یافته که این عامل نیز می‌تواند یکی از دلایل افزایش شیب هیدروگراف از سال ۱۳۸۳ به بعد معرفی گردد. با توجه به نتایج حاصل از سری زمانی تأخیر زمانی محاسبه شده بین بارش و سطح ایستابی توسط دو روش تابع همبستگی متقابل و طیف متقابل از ۱ تا ۵ ماه محاسبه گردید. به منظور تخمین تغذیه به آبخوان هرات مقدار آبدهی ویژه با توجه به دانه‌بندی بافت خاک در لاگ‌های حفاری ۷ درصد در نظر گرفته شد. مقدار میانگین تغذیه محاسباتی با روش نوسان سطح ایستابی معادل ۱۵/۲۹ میلیون مترمکعب می‌باشد. ترسیم سری زمانی تغذیه همراه بارش به دفعات آن نشان می‌دهد هماهنگی بسیار خوبی بین آن‌ها وجود دارد. رابطه تغذیه و نسبت بارش به دفعات بارش از ضریب همبستگی مناسبی ($R^2=0.79$) برخوردار می‌باشد که نشان‌دهنده ارتباط نزدیک این دو پارامتر می‌باشد.

کلمات کلیدی: تغذیه، سری زمانی، آب زیرزمینی، هرات

مقالات برگرفته شده از این پایان نامه

۱- ارتباط بارش و سطح آب زیرزمینی در آبخوان هرات با استفاده از آنالیز سری‌های زمانی، همایش کاربرد کامپیوتر در علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، آذر

۱۳۹۳

۲- تجزیه و تحلیل نوسانات بلندمدت سطح ایستابی آبخوان هرات در یک دوره بیست ساله، اولین کنفرانس ملی جغرافیا، گردشگری، منابع طبیعی و توسعه پایدار، تهران، بهمن ۱۳۹۳

فهرست مطالب

فصل اول: مقدمه

- ۱-۱- بیان مسأله و هدف از انجام تحقیق..... ۲
- ۲-۱- منطقه مورد مطالعه..... ۲
- ۳-۱- راه‌های دسترسی به منطقه..... ۶
- ۴-۱- ژئومورفولوژی منطقه..... ۷
- ۵-۱- زمین‌شناسی حوضه آبریز هرات..... ۹
- ۱-۵-۱- چینه‌شناسی..... ۹
- ۱-۵-۱-۱- پالئوزوئیک..... ۹
- ۱-۵-۱-۲- مزوزوئیک..... ۹
- ۱-۵-۱-۳- سنوزوئیک..... ۱۱
- ۱-۵-۱-۴- کواترنری..... ۱۳
- ۶-۱- زمین‌شناسی ساختمانی..... ۱۴
- ۷-۱- آب و هوای منطقه مورد مطالعه..... ۱۶

فصل دوم: تئوری تحقیق و مروری بر مطالعات گذشته

- ۱-۲- مقدمه..... ۲۰
- ۲-۲- تعاریف..... ۲۰
- ۳-۲- ارائه مدل مفهومی فرآیندهای تغذیه..... ۲۲
- ۱-۳-۲- تغییرپذیری زمانی و مکانی در تغذیه..... ۲۲
- ۲-۳-۲- آب و هوا..... ۲۴
- ۳-۳-۲- خاک‌ها و زمین‌شناسی..... ۲۵
- ۴-۳-۲- توپوگرافی سطحی..... ۲۶

- ۲۵.....آبشناسی.....۵-۳-۲
- ۲۶.....پوشش گیاهی و استفاده از زمین.....۶-۳-۲
- ۲۷.....چالش‌ها در تخمین تغذیه.....۴-۲
- ۲۷.....عدم اطمینان در تخمین تغذیه.....۱-۴-۲
- ۲۸.....مقیاس زمانی و مکانی در تخمین تغذیه.....۲-۴-۲
- ۲۸.....هزینه.....۳-۴-۲
- ۲۸.....تکنیک‌های مختلف تخمین تغذیه.....۵-۲
- ۲۹.....روش نوسان سطح ایستابی.....۱-۵-۲
- ۳۱.....نوسان سطح ایستابی در سفره‌های آزاد.....۲-۵-۲
- ۳۲.....تبخیر و تعرق.....۱-۲-۵-۲
- ۳۲.....فشار اتمسفری.....۲-۲-۵-۲
- ۳۳.....هوای به دام افتاده.....۳-۲-۵-۲
- ۳۳.....آبدهی ویژه.....۳-۵-۲
- ۳۳.....روش‌های اندازه‌گیری.....۱-۳-۵-۲

فصل سوم: روش انجام کار

- ۳۸.....جمع‌آوری داده‌های کمی آب زیرزمینی و هواشناسی.....۱-۳
- ۳۸.....بررسی داده‌های زمین‌شناسی در محدوده حوضه آبریز هرات.....۲-۳
- ۳۸.....بررسی داده‌های هیدروژئولوژیکی.....۳-۳
- ۳۹.....رسم هیدروگراف معرف دشت.....۲-۳-۳
- ۴۰.....آنالیز سری‌های زمانی.....۴-۳
- ۴۱.....محاسبه آبدهی ویژه.....۵-۳
- ۴۲.....محاسبه تغذیه.....۶-۳

فصل چهارم: تخمین تغذیه به آبخوان هرات

- ۴-۱-۱-مقدمه.....۴۴
- ۴-۲-۱-بررسی نوسانات سطح آب زیرزمینی.....۴۴
- ۴-۲-۱-هیدروگراف پیزومترها.....۴۶
- ۴-۲-۱-۱-پیزومتر اسلامیه(1804).....۴۹
- ۴-۲-۱-۲-پیزومتر جنوب غرب چشمه علی(15M3).....۵۰
- ۴-۲-۱-۳-پیزومتر قم آباد(18S1).....۵۱
- ۴-۳-۱-هیدروگراف معرف آبخوان.....۵۲
- ۴-۳-۱-بررسی رابطه تغییرات سطح ایستابی و بارش.....۵۴
- ۴-۳-۲-بررسی رابطه تغییرات سطح ایستابی و دما.....۵۶
- ۴-۳-۳-بررسی رابطه تغییرات سطح ایستابی با برداشت از منابع آب زیرزمینی.....۵۷
- ۴-۴-۱-ارتباط نوسان سطح ایستابی با بارش با استفاده از آنالیز سری زمانی.....۶۱
- ۴-۴-۱-۱-آنالیز سری زمانی یگانه.....۶۱
- ۴-۴-۱-۱-۱-تابع خودهمبستگی.....۶۱
- ۴-۴-۱-۲-تابع چگالی طیفی.....۶۴
- ۴-۴-۲-آنالیز سری زمانی دوگانه.....۶۶
- ۴-۴-۱-۲-تابع همبستگی متقابل.....۶۶
- ۴-۴-۲-۲-تابع طیف متقابل.....۶۷
- ۴-۵-۱-تخمین تغذیه به آبخوان هرات.....۷۱
- ۴-۵-۱-محاسبه آبدهی ویژه در آبخوان هرات.....۷۲
- ۴-۵-۲-اندازه گیری نوسان سطح ایستابی(ΔH).....۷۴
- ۴-۵-۳-محاسبه تغذیه.....۷۹

فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهادها

۸۸.....	۵-۱- نتایج.....
۹۱.....	۵-۲- پیشنهادها.....
۹۲.....	منابع.....

- شکل ۱-۱ نقشه هم‌پتانسیل آبخوان هرات (مهر ماه ۹۳)..... ۴
- شکل ۱-۲ موقعیت منابع آبی بهره‌برداری (چاه و قنوت) در آبخوان هرات..... ۵
- شکل ۱-۳ موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه و راه‌های دسترسی به آن..... ۷
- شکل ۱-۴ نقشه مورفولوژی حوضه آبریز هرات در محیط Google Earth..... ۸
- شکل ۱-۵ نقشه زمین‌شناسی حوضه آبریز هرات..... ۱۵
- شکل ۱-۶ منحنی آمبروترمیک حوضه آبریز هرات در یک دوره ۲۱ ساله (۹۱-۱۳۷۰)..... ۱۷
- شکل ۲-۱ مقطع عمودی نشان‌دهنده نفوذ از سطح زمین..... ۲۱
- شکل ۲-۲ نقشه نرخ تغذیه متوسط سالانه ایالت تگزاس..... ۲۲
- شکل ۲-۳ متوسط تغذیه ماهانه، تبخیر و تعرق و بارندگی در شرق ایالات متحده..... ۲۴
- شکل ۲-۴ محاسبه نوسان سطح آب به منظور تخمین تغذیه..... ۳۰
- شکل ۲-۵ نوسان روزانه در صحرای آلفالفا در دره اسکالنت یوتا..... ۳۲
- شکل ۳-۱ نقشه شبکه تپسن آبخوان هرات..... ۴۰
- شکل ۳-۲ رابطه آبدهی ویژه و بافت خاک (Johnson, 1967)..... ۴۱
- شکل ۳-۳ چگونگی محاسبه ΔH به منظور تخمین تغذیه..... ۴۲
- شکل ۴-۱ موقعیت پیزومترهای حفر شده در آبخوان هرات..... ۴۵
- شکل ۴-۲ هیدروگراف پیزومترهای حفر شده در آبخوان هرات..... ۴۶
- شکل ۴-۳ هیدروگراف پیزومتر اسلامیه..... ۴۹
- شکل ۴-۴ هیدروگراف پیزومتر جنوب غرب چشمه علی..... ۵۰
- شکل ۴-۵ هیدروگراف پیزومتر قم آباد..... ۵۱
- شکل ۴-۶ هیدروگراف معرف آبخوان هرات..... ۵۳

- شکل ۴-۷ هیستوگرام بارش آبخوان هرات..... ۵۵
- شکل ۴-۸ هیستوگرام بارش و تغییرات سطح ایستابی آبخوان هرات..... ۵۵
- شکل ۴-۹ تغییرات دمای متوسط سالیانه آبخوان هرات..... ۵۶
- شکل ۴-۱۰ میانگین سالانه سطح ایستابی همراه با میانگین دما..... ۵۷
- شکل ۴-۱۱ سطح زیر کشت آبخوان هرات در سال‌های مختلف..... ۵۸
- شکل ۴-۱۲ تخلیه سالانه از آبخوان هرات..... ۶۰
- شکل ۴-۱۳ تابع خود همبستگی بارش..... ۶۲
- شکل ۴-۱۴ تابع خود همبستگی پیزومتر 16N3..... ۶۲
- شکل ۴-۱۵ تابع خود همبستگی پیزومتر 19S1..... ۶۳
- شکل ۴-۱۶ کرلوگرام بارش..... ۶۳
- شکل ۴-۱۷ کرلوگرام پیزومتر 19S1 و 16N3..... ۶۴
- شکل ۴-۱۸ تابع چگالی طیفی بارش..... ۶۵
- شکل ۴-۱۹ تابع چگالی پیزومتر 19S1 و 16N3..... ۶۵
- شکل ۴-۲۰ تابع همبستگی متقابل پیزومتر 16N3..... ۶۷
- شکل ۴-۲۱ تابع همبستگی متقابل پیزومتر 19S1..... ۶۷
- شکل ۴-۲۲ تابع تطابق 19S1..... ۶۸
- شکل ۴-۲۳ تابع فاز پیزومتر 19S1..... ۶۸
- شکل ۴-۲۴ تابع تطابق پیزومتر 16N3..... ۶۹
- شکل ۴-۲۵ تابع فاز پیزومتر 16N3..... ۶۹
- شکل ۴-۲۶ تعیین آبدهی ویژه رسوبات لاگ حفاری..... ۷۲

- شکل ۴-۲۷ محاسبه ΔH در پیژومترهای آبخوان هرات..... ۷۴
- شکل ۴-۲۸ سری زمانی آب برگشتی کشاورزی..... ۸۳
- شکل ۴-۲۹ سری زمانی مقدار بارش و مقدار تغذیه..... ۸۵
- شکل ۴-۳۰ ارتباط مقدار بارش و مقدار تغذیه..... ۸۵
- شکل ۴-۳۱ سری زمانی نسبت مقدار بارش به دفعات بارش با مقدار تغذیه..... ۸۶
- شکل ۴-۳۲ ارتباط نسبت مقدار بارش به دفعات بارش با مقدار تغذیه..... ۸۶

فهرست جدول‌ها

- جدول ۱-۱ آمار بارندگی و درجه حرارت در یک دوره ۲۱ ساله از سال ۹۱-۱۳۷۰..... ۱۶
- جدول ۱-۲ طبقه‌بندی دمارتن..... ۱۷
- جدول (۱-۲) انواع مختلف روش‌های تخمین تغذیه به آب زیرزمینی..... ۲۹
- جدول ۱-۳ مشخصات پیزومترهای مورد استفاده در نقشه تیسن..... ۳۹
- جدول ۱-۴ مشخصات پیزومترهای حفر شده در آبخوان هرات..... ۴۴
- جدول ۲-۴ جزئیات افت در پیزومترهای آبخوان هرات..... ۵۲
- جدول ۳-۴ مشخصات چاه‌ها و قنوات محدوده آبخوان هرات در سال‌های ۱۳۸۲، ۱۳۷۴ و ۱۳۸۸..... ۵۹
- جدول ۴-۴ نتایج تحلیل سری زمانی..... ۷۰
- جدول ۴-۵ آزمایش پمپاژ انجام شده در آبخوان هرات..... ۷۳
- جدول ۴-۶ مقادیر صعود سطح ایستابی بر حسب متر در سال در پیزومترهای آبخوان هرات..... ۷۸
- جدول ۴-۷ مقدار تغذیه در محدوده هر یک از پیزومترهای آبخوان هرات..... ۷۹
- جدول ۴-۸ مقادیر تغذیه سالانه به آبخوان هرات..... ۸۰
- جدول ۴-۹ بیلان آبخوان هرات (سال آبی ۷۹-۷۸)..... ۸۱
- جدول ۴-۱۰ درصد تغذیه نسبت به حجم کل بارش..... ۸۲
- جدول ۴-۹ نسبت مقدار بارش و تعداد دفعات بارش در سال‌های آبی ۸۵-۸۴ تا ۹۳-۹۲..... ۸۴

فصل اول:

مقدمه

۱-۱- بیان مسأله و هدف از انجام تحقیق

افزایش جمعیت و به دنبال آن افزایش نیازهای انسانی، افزایش بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی به ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک که منابع آب‌های سطحی و ریزش‌های جوی محدود می‌باشند، را به دنبال داشته است. به منظور قابلیت استفاده طولانی و دائمی از منابع آب زیرزمینی باید طرح مدیریت مؤثری برای بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی ارائه شود. به این منظور ابتدا لازم است نرخ طبیعی تغذیه آب زیرزمینی تعریف و تعیین شود.

دشت هرات یکی از دشت‌های نسبتاً وسیع در استان یزد بوده که به عنوان یکی از مناطق عمده کشاورزی محسوب می‌گردد. به دلیل برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی و اضافه برداشت‌های متعدد در بخش کشاورزی، آبخوان هرات با افت نسبتاً زیاد روبرو بوده است. به طوریکه بر اساس مطالعه هیدروگراف معرف آبخوان در دوره ۲۵ ساله ۹۳-۱۳۶۸ سطح ایستابی سالانه به طور متوسط ۵۰ سانتی‌متر افت نموده است. هدف از انجام این مطالعه، بررسی نوسانات سطح آب زیرزمینی و تخمین تغذیه به آبخوان هرات در یک دوره بلندمدت برای مدیریت بهینه بهره‌برداری و توسعه پایدار این منبع آبی ارزشمند می‌باشد.

۱-۲- منطقه مورد مطالعه

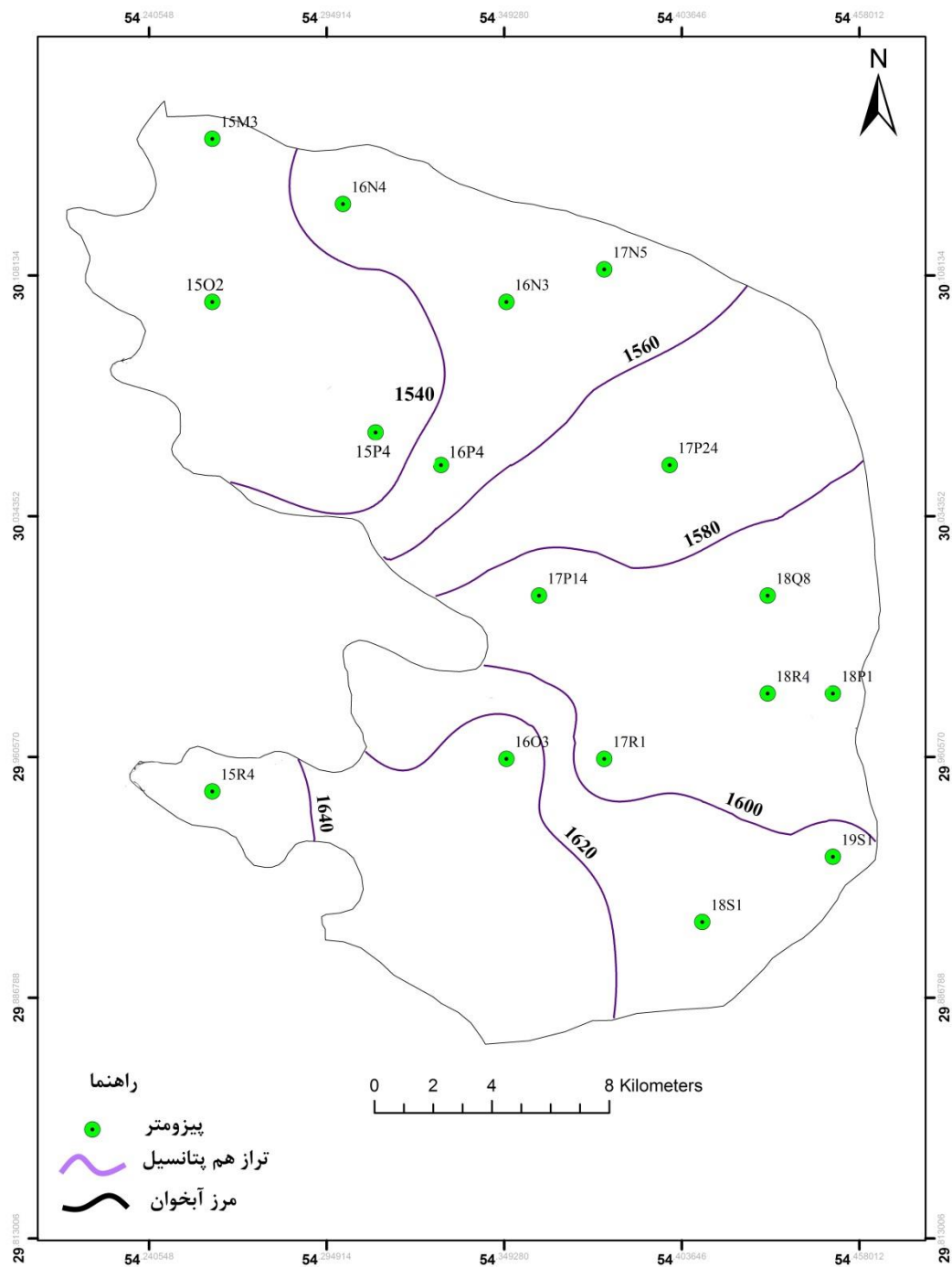
منطقه مورد مطالعه زیر حوضه‌ای از حوضه آبریز ابرکوه به‌شمار می‌رود، که هر دوی آن‌ها در حوضه بزرگ آبریز گاوخونی قرار دارند. در این مطالعه حوضه آبریز هرات یزد که به اختصار حوضه هرات نامیده می‌شود، که در محدوده جغرافیایی ۵۳ درجه ۳۹ دقیقه تا ۵۴ درجه و ۳۵ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۲۹ درجه و ۴۶ دقیقه تا ۳۰ درجه و ۱۵ دقیقه شمالی واقع می‌باشد.

حوضه هرات از شمال به زیرحوضه مروست و کویر هرات، از شرق به شهر بابک و ارتفاعات دهج، از جنوب به زیرحوضه چاهک-شهریاری و از غرب به بوانات و خوانسار محدود می‌گردد. وسعت این حوضه ۲۷۰۰

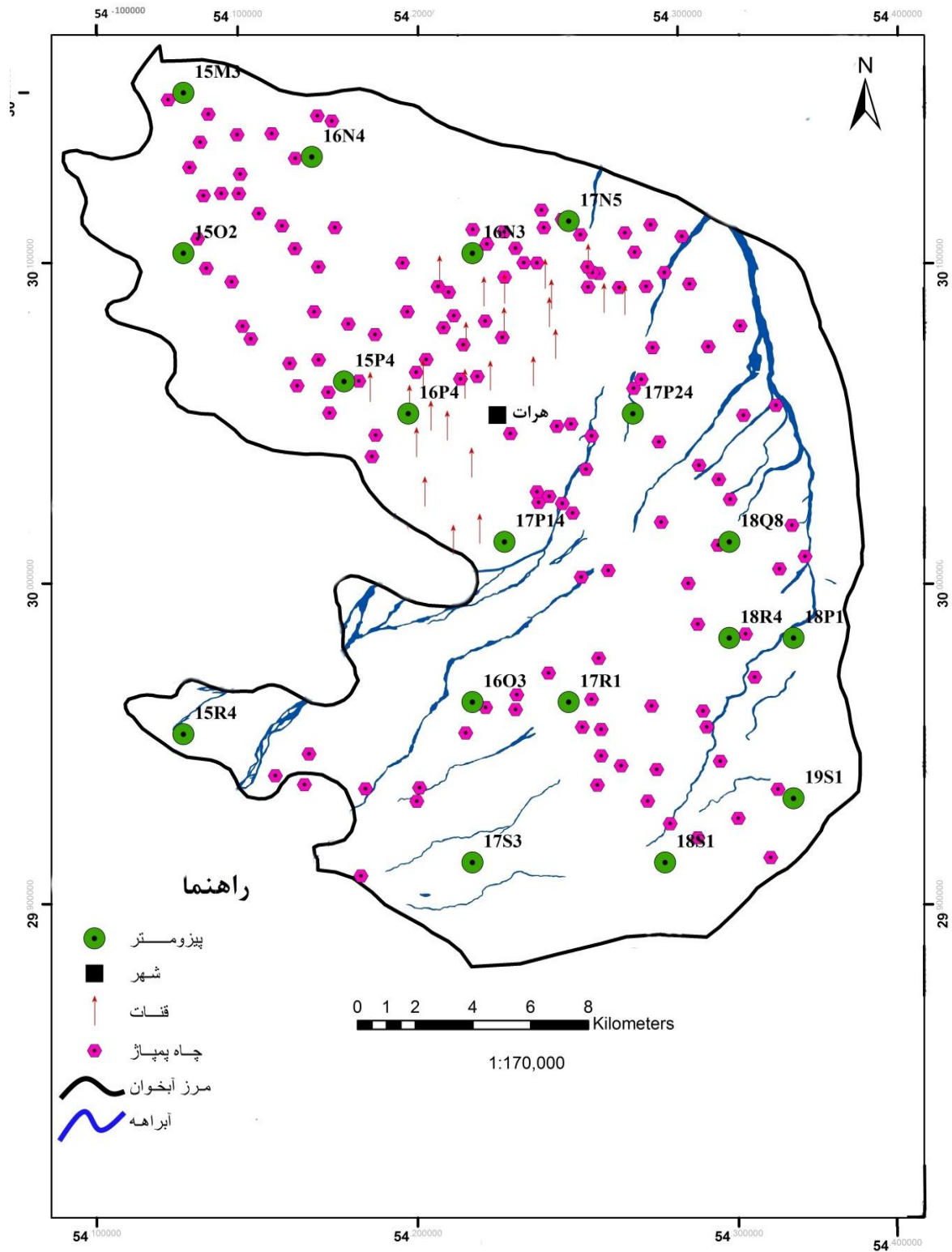
کیلومترمربع و بلندترین نقطه آن با ارتفاع ۳۲۴۲ متر از سطح دریا، در ارتفاعات روشن کوه، و پست‌ترین نقطه آن با ارتفاع ۱۵۲۰ متر از سطح دریا در شرق ساقین هرات قرار دارد. ارتفاع متوسط حوضه ۱۹۳۳ متر از سطح تراز دریا محاسبه شده است. طبق مطالعات ژئوفیزیک و هیدروژئولوژی انجام شده در دشت هرات، سفره آب زیرزمینی هرات به صورت سفره آزاد می‌باشد. این آبخوان در محدوده جغرافیایی ۵۴ درجه و ۱۵ دقیقه تا ۵۴ درجه و ۳۰ دقیقه طول شرقی و ۲۹ درجه و ۱۵ دقیقه تا ۳۰ درجه و ۱۱ دقیقه عرض شمالی واقع شده است. جهت عمومی جریان آب زیرزمینی در جنوب‌غربی آبخوان از جنوب‌غربی به سمت شمال‌شرقی می‌باشد. سپس در میانه آبخوان جهت جریان به سمت شمال تغییر مسیر می‌دهد و راستای شمالی-جنوبی می‌شود. ورودی‌های زیرزمینی آبخوان در مرز شمال‌غربی، غربی، جنوب‌غربی و جنوبی آن واقع می‌باشد و خروجی آب‌های زیرزمینی در ناحیه‌ای در شمال و شمال‌شرقی قرار می‌گیرند (شکل ۱-۱).

قسمت اعظم تغذیه آبخوان از طریق جریان آب زیرزمینی و در مرزهای ورودی سفره تأمین می‌شود. بخش دیگری از تغذیه از طریق بارش‌های مربوطه به ارتفاعات واقع در غرب و شمال‌غربی پوزه‌زرد و ارتفاعات موازی با آن تأمین می‌شود.

بخش کمی از تغذیه از طریق نفوذ رواناب سیلاب‌هایی است که در مسیل‌های منطقه جریان می‌یابد. آبی که در محدوده آبخوان هرات مورد استفاده قرار می‌گیرد، بیشتر به منظور مصارف کشاورزی می‌باشد که از طریق ۶۵ حلقه چاه عمیق، ۵۸ حلقه چاه نیمه عمیق به همراه ۵۲ رشته قنات تأمین می‌شود (شکل ۱-۲). منابع آب سطحی در واقع تمام آب‌هایی را در بر می‌گیرد که در رودخانه اعظم (خوانسار) و مسیل‌ها جاری می‌شوند.



شکل ۱-۱ نقشه هم پتانسیل آبخوان هرات (مهر ماه ۹۳)



شکل ۱-۲ موقعیت منابع آبی بهره‌برداری (چاه‌ها و قنات‌ها) در آبخوان هرات

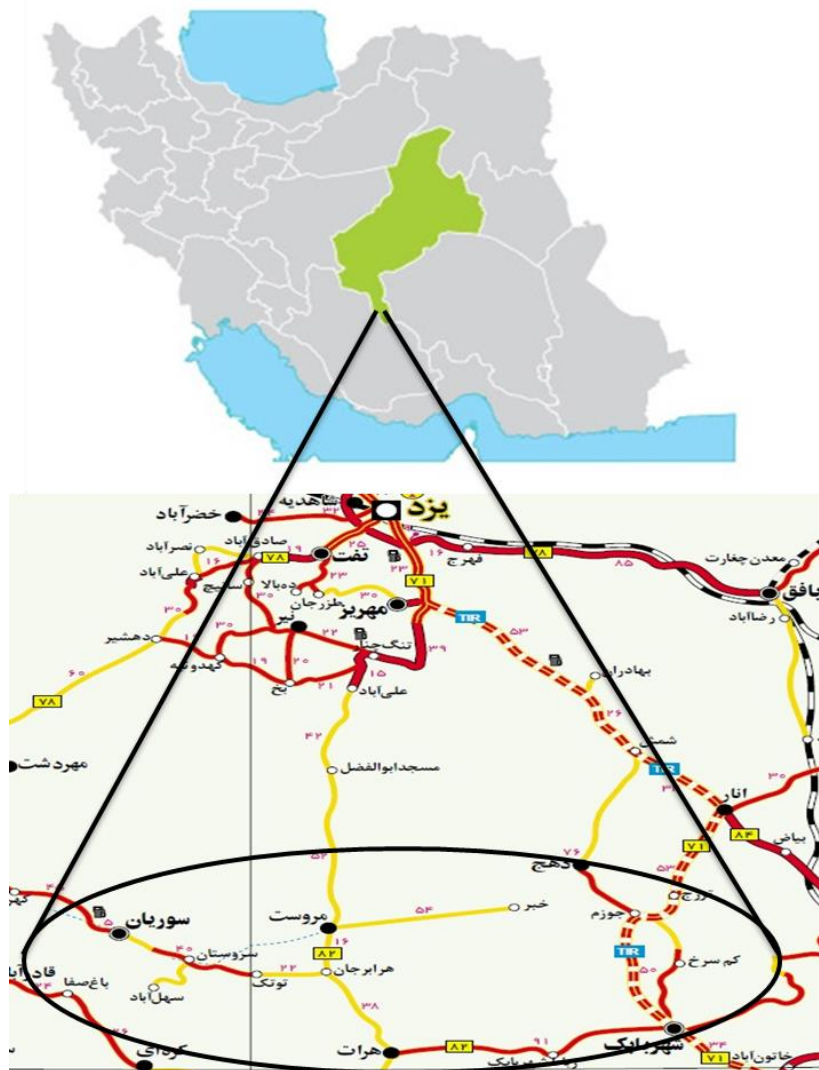
در دشت هرات تعدادی مسیل وجود دارد که به موازات یکدیگر قرار دارند که مهمترین آن‌ها عبارتند از مسیل‌های اعظم، پوزه‌زرد و بیکسی می‌باشند. هر سه مسیل یاد شده از دره‌های غرب ارتفاعات پوزه‌زرد آغاز شده و مسیر آن‌ها به سمت شرق کشیده می‌شود. رودخانه اعظم در انتهای مسیر خود با عبور از میان روستاهای خوانسار و حسن‌آباد به مسیل تبدیل می‌شود و مسیل اعظم نام می‌گیرد که مهمترین مسیل منطقه به‌شمار می‌رود.

۱-۳- راه‌های دسترسی به منطقه

با توجه به نقشه راه‌های منطقه، شهر هرات به وسیله یک جاده آسفالتی به طول ۲۴۰ کیلومتر از طریق پشت‌کوه با مرکز استان یزد در ارتباط است. از هرات به سمت مرکز استان یزد، از بخش مروست، شهرهای مهریز و حمیدیه باید گذر کرد.

فاصله هرات تا مهریز توسط یک جاده آسفالتی اصلی به طول تقریباً ۲۰۰ کیلومتر به هم مربوط می‌شود و باقیمانده راه نیز تا یزد به‌صورت بزرگراهی به طول ۳۵ کیلومتر می‌باشد. نزدیکترین شهر در شرق هرات، شهر بابک است که می‌توان از طریق جاده‌ای آسفالتی به طول ۷۰ کیلومتر به آن دسترسی پیدا کرد (شکل ۱-۳).

نزدیکترین دهستان به هرات نیز دهستان فتح‌آباد که در شمال آن قرار دارد و بعد از آن دهستان‌های چاهک و در جنوب مشکان (پشتکوه) در جنوب غربی آن می‌توان نام برد. در شمال غربی هرات نیز شهرستان بوانات (سوریان) واقع شده که توسط جاده آسفالتی به یکدیگر مربوط شده‌اند. در جنوب هرات نیز نزدیکترین شهر نیریز است که ۱۲۲ کیلومتر با آن فاصله دارد.



شکل ۱-۳ موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه و راه‌های دسترسی به آن

۱-۴- ژئومورفولوژی منطقه

حوضه آبریز هرات به شکل حوضه‌ای کشیده در امتداد شرقی-غربی بوده که قطر بزرگ آن دارای طول ۷۰ کیلومتر و قطر کوچک آن دارای طول متوسط ۳۰ کیلومتر است. کوه‌ها و دشتهایی که در میان آن محصور شده‌اند، واحدهای ژئومورفیک اصلی منطقه را پدید آورده‌اند. راستای عمومی واحدهای

ژئومورفولوژی به موازات محور چین خوردگی آلپین یعنی شمال غربی - جنوب شرقی می باشد. به طور کلی سیستم مورفولوژی شامل بخش فروافتاده که توسط رسوبات آبرفتی کوتاه تر پوشیده شده است.

بخش مرتفع حاشیه که به صورت ارتفاعات کوتاه و بلند در قسمت غربی، محدوده آبخوان را احاطه نموده اند. کوه های آهکی، کوه سفید و پوزه زرد در غرب دشت مهمترین ارتفاعات منطقه را تشکیل می دهند (شکل ۱-۴).



شکل ۱-۴ نقشه مورفولوژی حوضه آبریز هرات در محیط Google Earth

۵-۱- زمین‌شناسی حوضه آبریز هرات

از آنجا که این محدوده از لحاظ زمین‌شناسی جزئی از زون ایران مرکزی، واقع در شمال‌شرقی رشته کوه‌های زاگرس به‌شمار می‌رود. لذا زمین‌شناسی آن در ارتباط با زمین‌شناسی ایران مرکزی مورد بررسی قرار می‌گیرد. در شکل (۵-۱) نقشه زمین‌شناسی حوضه آبریز هرات و محدوده آبخوان ارائه شده است.

سنگ‌شناسی حوضه آبریز هرات متنوع بوده و تشکیلات زمین‌شناسی مربوط به دوران اول تا آبرفت‌ها و رسوبات عهدحاضر را با حفظ تسلسل چینه‌شناسی می‌توان در آن مشاهده نمود.

۱-۵-۱- چینه‌شناسی

با توجه به نقشه زمین‌شناسی حوضه آبریز هرات، بخش اعظم رخنمون تشکیلات زمین‌شناسی به سن نئوژن مربوط می‌شود. اما همانطور که قبلاً گفته شد منطقه مورد مطالعه از تنوع سنگ‌شناسی خوبی برخوردار است که در زیر به ترتیب سنی از قدیم به جدید، نحوه توزیع و سایر مشخصات لیتولوژیک تشکیلات موجود در آن تشریح می‌گردد.

۱-۵-۱- پالئوزوئیک

کمپلکس هرات

لیتولوژی کمپلکس هرات که قدیمی‌ترین سنگ‌های حوضه آبریز (به سن پالئوزوئیک زیرین تا میانی) را پدید آورده، مشتمل بر دو قسمت است. بخش عمده آن از مرمر و آهک‌های متبلور تشکیل شده و بخش کوچکتری نیز از شیست‌ها بوجود آمده است.

این آهک‌های متامورف و کریستالیزه اساساً نفوذناپذیرند و تخلخل بوجود آمده در آنها از نوع ثانویه و بر اثر پیدایش درز و شکاف‌هایی است که به علت وارد آمدن تنش‌های تکتونیکی ظاهر شده‌اند. کمپلکس هرات در نقشه زمین‌شناسی با علامت اختصاری Lmet نشان داده شده است.

۱-۵-۱-۲ مزوزوئیک

بخش عمده تشکیلات مزوزوئیک در منطقه مورد مطالعه از رسوبات شیلی، مارنی و ماسه‌سنگی تشکیل شده است

واحد Js

قدیمی‌ترین تشکیلات ژوراسیک است که در منطقه رخنمون پیدا کرده و در واقع همان سازند شمشک می‌باشد که از تناوب شیپل و ماسه‌سنگ‌های خاکستری رنگ و شیپل‌های سیاه‌رنگ ذغالدار و مارن تشکیل شده است. سنگ‌های تخریبی قاعده این سازند تداوم فعالیت‌های تکتونیکی را در اواخر تریاس نشان می‌دهد، که حاصل آن فرسایش شدید خشکی‌ها و رسوبگذاری سریع مواد تخریبی می‌باشد.

واحد Jbg

این واحد تناوبی از شیپل‌های سیلتی-مارنی به رنگ سبز زیتونی تا خاکستری تیره و لایه‌های نازکی از ماسه‌سنگ قهوه‌ای، شیپل آهکی و آهک‌های نازک لایه اؤولیتی سیاه‌رنگ می‌باشد، که به طور پیوسته و با سطح تماس تدریجی بر روی سازند شمشک قرار دارد. نام این واحد، سازند بغمشاه است.

واحد K1aml

تشکیلات K1aml، متشکل از آهک‌های توده‌ای می‌باشد که در آن‌ها فسیل اوربیتولینا یافت می‌شود و همانطور که از نقشه حوضه آبریز هرات دیده می‌شود، برونزد آن محدوده‌ای نسبتاً وسیع را در غرب آبخوان هرات و جنوب غربی کوه سفید، پوشانده است.

واحد Kviv

یکی دیگر از واحدهای سنگ کرتاسه که در بخش فوقانی آن شکل گرفته آمیزه رنگین می‌باشد. در زون ایران مرکزی امتداد گسل دهشیر-بافت از جمله مکان‌های است که در اثر فعالیت این گسل، آمیزه‌های رنگین در سطح نمایان شده است.

واحد K1m

گروه بنگستان که بر روی نقشه زمین‌شناسی منطقه با علامت اختصاری K1m نمایش داده شده است، تشکیلاتی متشکل از دو نوع سازند، آهک‌ها و آهک‌های مارنی سازند کژدمی در زیر و آهک‌های توده‌ای و مارن‌های آهکی سازند سروک که در روی آن‌ها قرار دارند. سن این تشکیلات به بخش بالایی کرتاسه زیرین تا کرتاسه فوقانی مربوط می‌شود.

۱-۵-۳ سنوزوئیک

در سنوزوئیک وقوع فاز کوهزایی لارامید و فاز کششی بعد از آن که منجر به آتشفشانی و فعالیت ماگمایی گردید. از جمله پدیده‌هایی هستند که فرسایش و رسوبگذاری را تحت تأثیر قرار داده‌اند و توالی‌های آغاز شده با کنگلومرا و ماسه‌سنگ و سنگ‌های ماگمایی حاصل رویداد چنین حوادثی هستند.

واحد EJ

تشکیلات پالئوژن از سنگ‌های آهکی آواری لایه‌دار حاوی فسیل نومولیت و آلئولینا و شیل تشکیل شده‌اند که بر روی نقشه زمین‌شناسی رخنمون آن‌ها قابل مشاهده است. در زون سنندج-سیرجان برای این واحد سنگی از علامت اختصار EJ استفاده شده که در واقع می‌توان آن را معادل سازند جهرم در زون زاگرس چین‌خورده به حساب آورد.

واحد Ma

این واحد در زون سنندج-سیرجان قرار دارد و در زون چین‌خورده ساده زاگرس به نام آهک آسماری شناخته شده است. سنگ‌شناسی آن نیز از سنگ‌های آهک و سنگ آهک‌های مارنی سفیدرنگ تشکیل شده است. این واحد در جنوب سلطان آباد و در گوشه شمال غربی حوضه آبریز هرات رخنمون شده است.

واحد Mf

تشکیلاتی که با Mf بر روی نقشه زمین‌شناسی مشخص شده‌اند، در واقع فلیش‌های میوسن می‌باشد که در غرب جاده‌ای که به بندنو منتهی می‌شود رخنمون نسبتاً وسیعی از آن را مشاهده نمود.

واحد Plb

تشکیلات مارنی با میان لایه‌های نازکی از سنگ آهک می‌باشد. این تشکیلات را به سازند مارنی می‌شان نسبت می‌دهند.

۱-۵-۱-۴- کواترنری

تشکیلات کواترنری به طور عام با علامت اختصاری Q بر روی نقشه زمین‌شناسی مشخص شده است. واحدهای فرعی آن در زیر بررسی شده است.

واحد Qt1

این واحد از تراس‌های آهکی و بادبزن‌های گراولی قدیمی تشکیل شده است و در جنوب‌غربی هرات رخنمون بسیار کوچکی از آن را می‌توان مشاهده نمود.

واحد Qt2

نهشته‌های این واحد رسوبی مشتمل بر تراس آبرفتی جوان، جلگه‌های آبرفتی و رسوبات مخروط‌های تالوس می‌باشند. این واحد در شرق حسن‌آباد بیرون زدگی دارد. دانه‌بندی این واحد رسوبی در کوهپایه درشت‌دانه و به سمت دشت به تدریج ریزدانه می‌شود.

واحد Qal

آبرفته‌های عهدحاضر، جوانترین رسوبات آبرفتی منطقه مورد مطالعه را در بر می‌گیرد که در بستر رودخانه‌ها و مسیل‌ها بر اثر رسوبگذاری بر جای گذاشته شده‌اند. بر اساس مشاهدات صحرائی جورشدگی دانه‌های رسوبی بد می‌باشد و از دانه‌های درشت در حد قلوه‌سنگ تا ذرات زیر در میان آن‌ها یافت می‌شود.

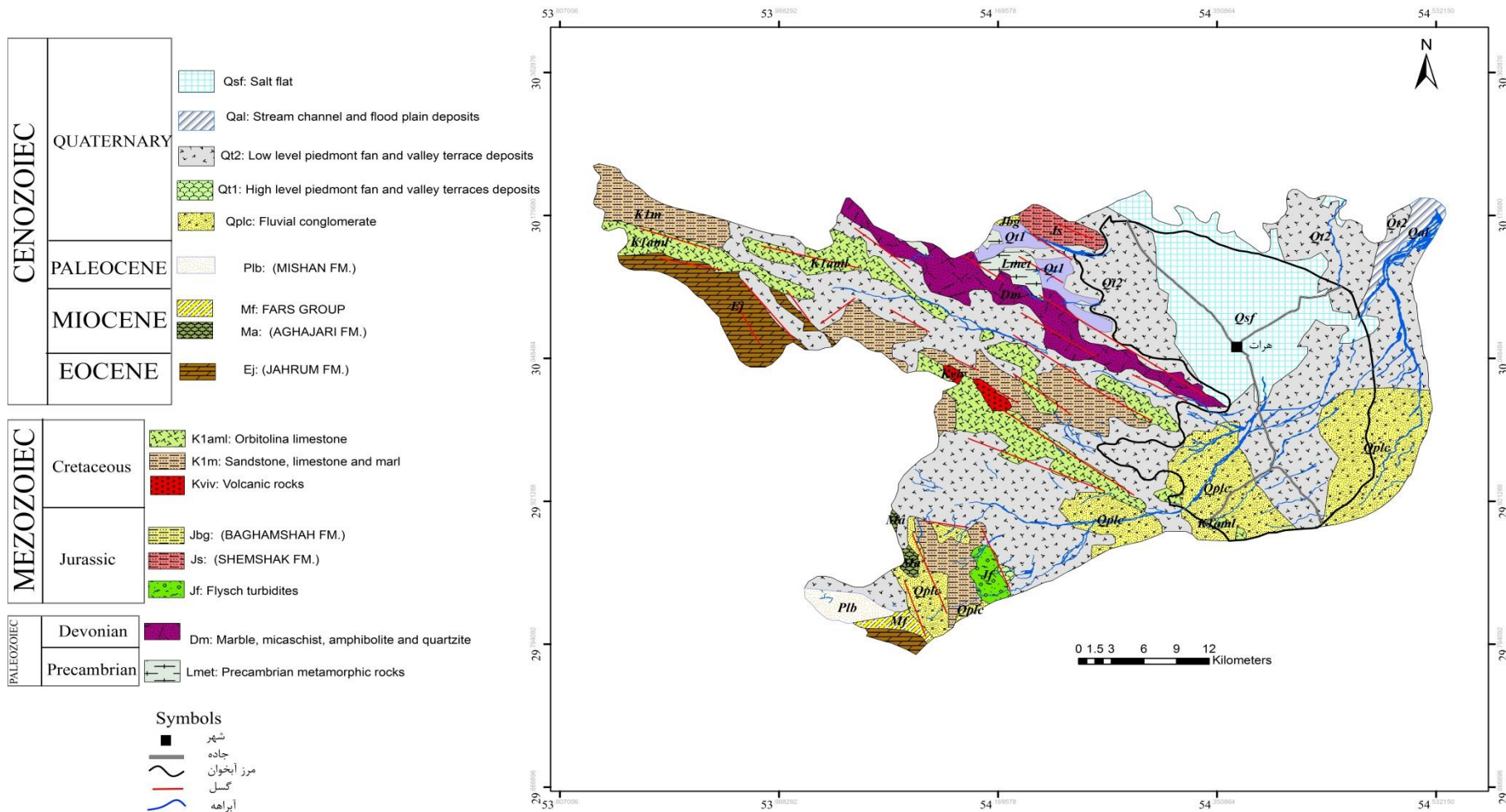
۱-۶- زمین‌شناسی ساختمانی

همانطور که قبلاً اشاره شد دشت هرات جزئی از ایران مرکزی است و بنابراین حوادثی که زون مذکور را تحت تأثیر قرار داده ساختار عمومی این منطقه را بوجود آورده است. در نگاه اول به نقشه زمین‌شناسی منطقه آنچه جلب توجه می‌کند ارتفاعاتی است که با روند شمال‌غربی- جنوب‌شرقی دشت‌هایی را در میان خود محصور کرده‌اند (شکل ۱-۳).

علاوه بر دشت‌ها و ساختارهای چین‌خورده‌ای که در حاشیه آن پراکنده می‌باشند، گسل‌ها نیز ساختارهای دیگری هستند که در منطقه مزبور مورد مطالعه شکل گرفته و قطعاً بسته به ویژگی‌های ساختاری خاص خود آبخوان را تحت تأثیر قرار می‌دهند. مهمترین آن‌ها گسل دهشیر-بافت است. این گسل با شیب قائم رسوبات کواترنری را قطع نموده و گسلی جوان است که به عهد حاضر مربوط می‌شود.

گسل دهشیر-بافت با مؤلفه راستالغز راستگرد، ژئومورفولوژی منطقه را نیز تحت تأثیر قرار داده، به طوریکه اختلاف ارتفاع ایجاد شده در دشت هرات در طرفین محور ارتفاعات پوزه‌زرد و شمال‌شرق خوانسار، حاصل انشعاب غربی این گسل می‌باشد. در بخش مرمری پالئوزوئیک در ارتفاعات کوه‌سفید و پوزه‌زرد تعدادی گسل مشاهده می‌شود. عملکرد شیب‌لغز گسل نرمال طولی که به موازات محور ارتفاعات پوزه‌زرد در کوهپایه شمال‌شرقی پدید آمده است.

به علاوه حضور این گسل به عنوان یک خط ضعف باعث شده تا رسوبات حاصل از فرسایش آن بخشی از تشکیلات مرمری پالئوزوئیک را بپوشاند. در نتیجه پهنای رخنمون این تشکیلات در پوزه‌زرد نسبت به کوه‌سفید کمتر شده است. در واقع آنچه از تشکیلات مرمری پالئوزوئیک در ارتفاعات پوزه‌زرد مشاهده می‌شود، یال جنوب‌غربی تاقدیسی است که انتهای شمال‌غربی آن به کوه‌سفید می‌رسد.



شکل ۱-۵ نقشه زمین‌شناسی حوضه آبریز هرات (برگرفته از نقشه‌های ۱:۱۰۰۰۰۰، انار و نیریز تهیه شده توسط سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور)

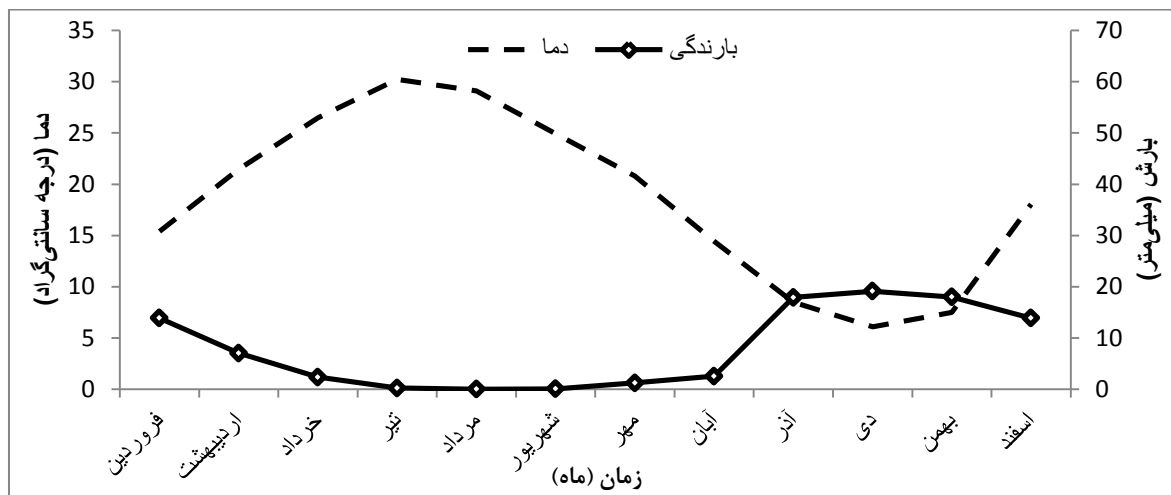
۷-۱- آب و هوای منطقه مورد مطالعه

به منظور بررسی آب و هوا و اقلیم آبخوان هرات از آمار سینوپتیک هرات استفاده گردیده است. جدول (۱-۱) آمار داده‌های هواشناسی برای یک دوره ۲۱ ساله (۹۱-۱۳۷۰) را نشان می‌دهد. میانگین بارندگی سالانه حدود ۹۶/۲۶ میلی‌متر و میانگین دمای سالیانه ۱۸/۵۸ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. حداکثر و حداقل میزان بارش به ترتیب ۵۸ و ۰/۵ میلی‌متر می‌باشد که به ترتیب در ماه‌های دی و مرداد رخ داده است. با توجه به جدول حداکثر و حداقل دما به ترتیب در ماه‌های تیر و دی می‌باشد.

جدول ۱-۱ آمار بارندگی و درجه حرارت در یک دوره ۲۱ ساله از سال ۹۱-۱۳۷۰ (سازمان هواشناسی یزد)

درجه حرارت (درجه سانتی‌گراد)			بارندگی (میلی‌متر)		زمان (ماه)
میانگین	حداکثر	حداقل	میانگین	حداکثر	
۱۵/۴۰	۱۸/۷۰	۱۲/۱۰	۱۳/۸۹	۵۱/۷۰	فروردین
۲۱/۴۵	۲۴/۲۰	۱۸/۷۰	۷/۰۵	۵۳	اردیبهشت
۲۶/۴۸	۲۸/۹۶	۲۴	۲/۳۴	۲۴	خرداد
۳۰/۲۴	۳۱/۷۰	۲۸/۷۸	۰/۲۳	۲/۷۰	تیر
۲۹/۱۰	۳۱/۲۰	۲۷	۰/۰۲	۰/۵۰	مرداد
۲۴/۹۳	۲۷/۲۶	۲۲/۶۰	۰/۰۶	۱	شهریور
۲۰/۸۱	۲۳/۶۳	۱۸	۱/۲۳	۱۴/۵۰	مهر
۱۴/۴۳	۱۵/۶۷	۱۳/۲۰	۲/۵۴	۱۳/۵۰	آبان
۸/۵۰	۱۱/۵۰	۵/۵۱	۱۷/۹۲	۵۸	آذر
۶/۱۰	۸/۹۰	۳/۳۰	۱۹/۱۱	۵۵	دی
۷/۵۰	۱۰/۵۱	۴/۵۰	۱۸	۴۹/۵۰	بهمن
۱۸/۰۵	۱۹/۲۶	۱۶/۸۴	۱۳/۸۷	۴۶/۵۰	اسفند
۱۸/۵۸			۹۷/۲۶		میانگین

طبق نمودار آمبروترمیک که نشان‌دهنده دوره‌های خشک و تر در یک سال است، دشت هرات از آذر تا بهمن در دوره تر و بقیه ماه‌های سال در دوره خشک قرار دارد.



شکل ۱-۶ منحنی آمبروترمیک حوضه آبریز هرات در یک دوره ۲۱ ساله (۱۳۷۰-۹۱)

به منظور بررسی اقلیم دشت هرات از معادله دمارتن استفاده می‌گردد.

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

در فرمول بالا P متوسط بارندگی سالانه (میلی‌متر) و T متوسط دمای سالانه (درجه سانتی‌گراد)

می‌باشد. بر این اساس شش نوع منطقه آب و هوایی طبقه‌بندی شده است.

جدول ۱-۲ طبقه‌بندی دمارتن

نام اقلیم	محدوده ضریب خشکی دمارتن (I)
خشک	کوچکتر از ۱۰
نیمه خشک	۱۰ تا ۱۹/۹
مدیترانه‌ای	۲۰ تا ۲۳/۹
نیمه مرطوب	۲۴ تا ۲۷/۹
مرطوب	۲۸ تا ۳۴/۹
بسیار مرطوب	بزرگتر از ۳۵

بر اساس داده‌های هواشناسی متوسط بارندگی و دمای میانگین سالیانه دشت هرات که به ترتیب ۹۶/۲۶ میلی‌متر و ۱۸/۵۸ درجه سانتی‌گراد می‌باشد، ضریب دمارتن در دشت هرات حدود ۳/۳۶ محاسبه شده است. با توجه به ضریب محاسبه شده و براساس طبقه‌بندی اقلیمی دمارتن (جدول ۱-۲) این منطقه در محدوده اقلیمی خشک قرار می‌گیرد.

فصل دوم:

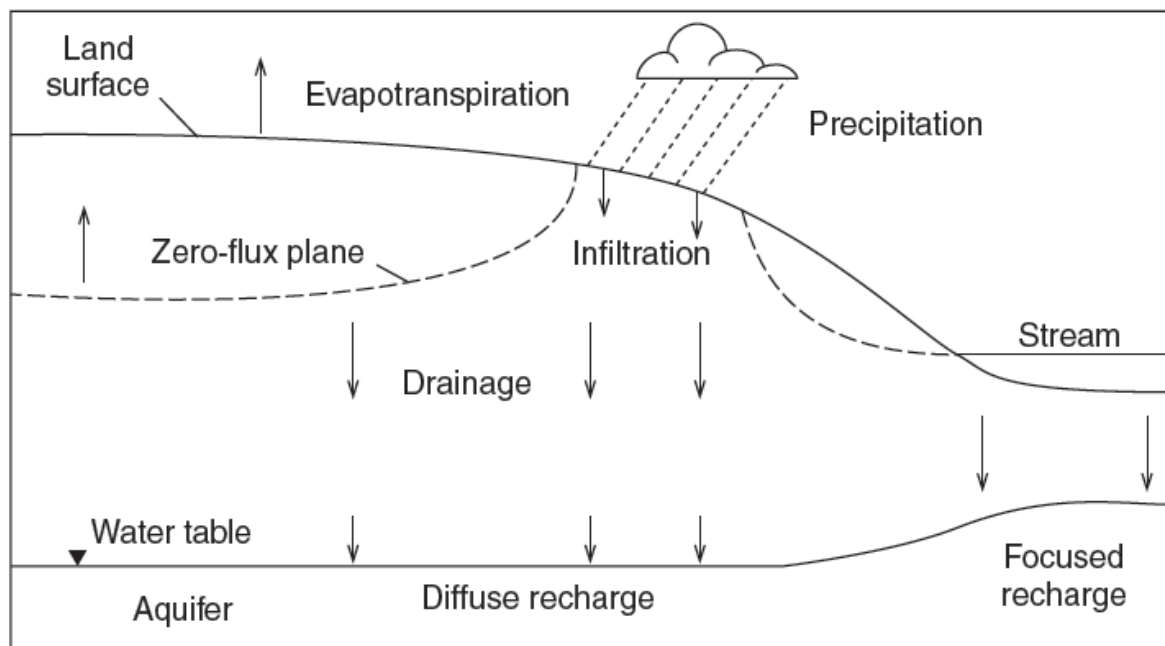
تئوری تحقیق و مروری بر مطالعات گذشته

۱-۲- مقدمه

آب زیرزمینی یک منبع حیاتی از آب شیرین در سراسر جهان است. آمار جامعی در مورد استخراج و استفاده از منابع آب زیرزمینی در دسترس نیست، اما تخمین زده می‌شود که بیشتر از ۱/۵ میلیارد نفر در سراسر جهان به آب زیرزمینی برای آشامیدن وابسته می‌باشند (Clarke et al., 1996). به غیر از آب ذخیره شده در پهنه‌های یخی و یخچال‌ها، آب زیرزمینی تقریباً ۹۷٪ از منابع آب را شامل می‌شود (Shiklomanov and Rodda, 2003). با افزایش جمعیت جهان، انسان‌های بیشتری به آب زیرزمینی به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک وابسته می‌باشند (Simmers, 1990). تضمین قابلیت استفاده طولانی‌تر از منابع آب زیرزمینی برای جمعیت رو به رشد نیازمند اجرای طرح مدیریتی کارآمد می‌باشد. در این راستا تعریف و تعیین نرخ طبیعی تغذیه آب زیرزمینی (یعنی نرخ که آب سفره دوباره جایگزین شده)، برای مدیریت آب زیرزمینی ضروری است (Simmers, 1990). عمدتاً چون نرخ تغذیه به طور گسترده در زمان و مکان تغییر می‌کند، اندازه‌گیری دقیق میزان آن مشکل می‌باشد. نرخ، زمان و مکان تغذیه موضوعات مهمی در نواحی در معرض آلودگی و همچنین تأمین آب زیرزمینی هستند. چنانچه نرخ تغذیه افزایش یابد، سرعت حرکت آلاینده به سطح ایستابی افزایش می‌یابد. مناطق با تغذیه بالا با نواحی با آسیب‌پذیری بالا به آلودگی تطابق دارند (ASTM, 2008; US National Recharge Council, 1993).

۲-۲- تعاریف

تغذیه (Recharge)، تغذیه معرف جریان رو به پایین آب به سمت سطح ایستابی بوده که سبب اضافه نمودن ذخیره آب زیرزمینی می‌گردد (Healy, 2010). این تعریف شامل جریان آب به یک سفره از یک سیستم آب زیرزمینی مجاور (مثلاً حرکت آب از یک سفره آزاد از میان یک لایه محبوس به یک سفره‌ای که در زیر قرار گرفته) نمی‌شود. این جریان به عنوان جریان بین سفره‌ای تلقی می‌گردد که معمولاً به صورت جریان حجمی و برحسب حجم بر واحد زمان (L^3/T) مانند m^3/d یا به صورت دبی، بر حسب حجم بر واحد مساحت در واحد زمان (L/T) مانند mm/yr بیان می‌گردد. تغذیه به دو صورت پراکنده و متمرکز اتفاق می‌افتد (شکل ۱-۲).



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

تغذیه پراکنده (Diffuse recharge): تغذیه‌ای است که از یک سطح وسیع نظیر نفوذ بارندگی از خاک سطحی و تراوش از میان منطقه غیراشباع به سطح ایستابی صورت می‌گیرد.

تغذیه متمرکز (Focused recharge): که تغذیه محلی یا تغذیه مستقیم نیز نامیده می‌شود معرف تغذیه متمرکز آب از آب سطحی نظیر نهرها، کانال‌ها یا دریاچه‌ها به سمت سفره زیرین می‌باشد. تغذیه متمرکز عموماً تغییرات مکانی زیادتری نسبت به تغذیه پراکنده دارد. سیستم‌های آب زیرزمینی هم به صورت پراکنده و هم به صورت متمرکز تغذیه می‌گردند. اما اهمیت هر مکانیسم از ناحیه‌ای به ناحیه‌ی دیگر و حتی از موقعیتی به موقعیت دیگر در داخل یک منطقه تغییر می‌یابد. تغذیه پراکنده در محیط‌های مرطوب غالب می‌باشد. چنانچه درجه خشکی افزایش یابد اهمیت تغذیه متمرکز در تجدید آبخوان افزایش می‌یابد (Larner et al., 1990).

نفوذ (Infiltration): وارد شدن آب به زیر سطح می‌باشد. نفوذ به عنوان تغذیه پتانسیل در نظر گرفته می‌شود که امکان دارد به سفره آب زیرزمینی برسد یا ممکن است به وسیله تبخیر و تعرق به اتمسفر بازگشته یا در ذخیره منطقه اشباع برای چندین دوره زمانی باقی بماند. تغذیه موقعی که به سطح ایستابی برسد به عنوان تغذیه واقعی در نظر گرفته می‌شود.

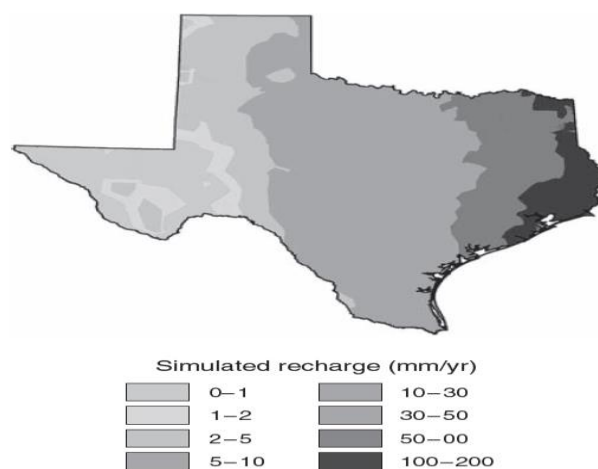
۳-۲- ارائه مدل مفهومی فرآیندهای تغذیه

ارائه مدل مفهومی فرآیندهای تغذیه گام مهمی در مطالعات تغذیه می‌باشد. فاکتورهایی که می‌تواند مدل مفهومی را تحت تأثیر قرار دهد، شامل: اقلیم، زمین‌شناسی، توپوگرافی، هیدرولوژی، پوشش گیاهی و استفاده از زمین می‌باشد.

طبق نظر لارنر و همکاران (Larner et al., 1990) یک روش مناسب برای تخمین تغذیه باید به گونه‌ای باشد که نه تنها تخمینی از مقدار تغذیه آب ارائه نماید بلکه توضیح دهد که سرنوشت آب باقیمانده که تغذیه نشده چه می‌شود به این منظور از تحلیل‌های بیلان استفاده می‌گردد. همچنین تأثیر تغییر روی سطح ایستابی روی نرخ تخلیه آب زیرزمینی و ذخیره سفره باید مدنظر قرار گیرد.

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

تغییر در نرخ تغذیه در مکان‌های مختلف به صورت سیستماتیک یا تصادفی تغییر داده می‌شود که برای هر دو تغذیه متمرکز و پراکنده صدق می‌کند. تغییرات سیستماتیک اغلب با تغییرات آب و هوایی همراه می‌باشند. برای مثال این روند را می‌توان در نقشه‌های ایالتی تخمین تغذیه برای تگزاس (شکل ۲-۲) و مینه سوتا نشان داده شده است (Keese et al., 2005).



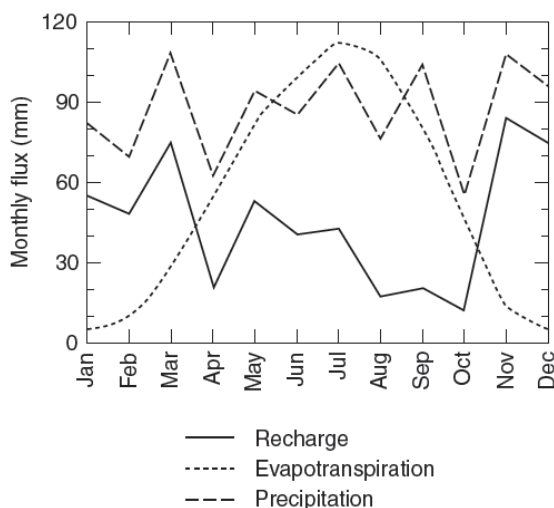
شکل ۲-۲ نقشه نرخ تغذیه متوسط سالانه ایالت تگزاس

با افزایش بارندگی نرخ تغذیه نیز افزایش می‌یابد. روندهای تصادفی در تغییرپذیری مکانی تغذیه به مقیاس منطقه‌ای برای مثال، ناهمگنی طبیعی در نفوذپذیری خاک‌های سطحی یا تغییرپذیری در پوشش گیاهی نسبت داده می‌شود.

تغذیه همچنین به صورت زودگذر، فصلی، چندساله یا حتی روند طولانی مدت به دلیل وابستگی زیاد به تغییرات آب و هوایی تغییر می‌کند. تغییر در کاربری زمین یا در نوع و تراکم پوشش گیاهی می‌تواند باعث تغییرات زیاد در نرخ تغذیه شود. تغییرپذیری مکانی از آن جهت که برای تشخیص آسیب‌پذیری سفره برای آلودگی استفاده می‌شود، مهم می‌باشد. بنابراین، روش‌هایی که تخمین‌های نقطه‌ای از تغذیه را ارائه می‌کنند ممکن است مناسب باشد.

۲-۳-۲- آب و هوا

تغییرپذیری آب و هوا اغلب از مهمترین عوامل مؤثر در نرخ تغذیه می‌باشد. بارندگی، منبع طبیعی تغذیه می‌باشد که یک مولفه غالب در بیلان آب برای اکثر حوضه‌ها می‌باشد. تغییرپذیری زمانی در بارندگی همچنین مهم می‌باشد. روندهای فصلی، سالانه و طولانی مدت در بارندگی، بعلاوه فراوانی، مدت و شدت بارندگی منحصر به فرد روی فرآیندهای تغذیه مؤثر می‌باشد. زهکشی آب از منطقه غیراشباع به سطح ایستابی موقعی که نرخ بارندگی از نرخ تبخیر و تعرق تجاوز کند صورت می‌گیرد. در مناطق گرمسیری، نرخ تبخیر و تعرق از یک روند فصلی با بالاترین نرخ در طول ماه‌های تابستان و پایین‌ترین نرخ در طول ماه‌های زمستان، تبعیت می‌کند. محتمل‌ترین زمان سال برای زهکشی زمستان تا بهار، موقعی که نرخ بارندگی از نرخ تبخیر و تعرق تجاوز می‌کند، می‌باشد. چنانچه در سایتی در شرق ایالات متحده (شکل ۲-۳)، تخمین زده‌اند که ۶۲٪ تغذیه در طول دوره ۲ساله در ماه‌های نوامبر تا مارس اتفاق می‌افتد (Rasmussen and Anderson, 1959).



شکل ۲-۳ متوسط تغذیه ماهانه، تبخیر و تعرق و بارندگی برای یک دوره ۲ ساله در شرق ایالات متحده

در مناطق مرطوب، نرخ بارندگی و تبخیر و تعرق در سراسر سال نسبتاً یکنواخت می‌باشد. تغذیه در هر روز از سال در پاسخ به رخداد‌های بارندگی، موقعی که کل بارندگی برای یک روز از نرخ تبخیر و تعرق روزانه تجاوز می‌کند، اتفاق می‌افتد. در مناطق خشک، تغذیه از جریان‌های زودگذر و پلایاها که اغلب شکل غالب از تغذیه است صورت می‌گیرد. پول (Pool, 2005) نشان داد که تغییرپذیری بین سالانه در تغذیه از رودخانه به روند نوسان آب و هوایی ال نینو جنوبی متصل شده است. سال‌های با شرایط غالب ال نینو (نرخ بارندگی زمستانی بالا)، به طور قابل توجهی نرخ تغذیه از رودخانه را افزایش می‌دهد.

۲-۳-۳- خاک‌ها و زمین‌شناسی

نفوذپذیری مواد سطحی و زیرسطحی می‌تواند به طور گسترده‌ای بر فرآیندهای تغذیه مؤثر باشد. تغذیه در نواحی دارای دانه‌بندی درشت، خاک‌های با نفوذپذیری بالا با احتمال بیشتری روی می‌دهد. در مقابل نواحی که دانه‌بندی ریز و خاک‌های با نفوذپذیری پایین دارند، تغذیه کمتری دارند.

خاک‌های با دانه‌بندی درشت یک نفوذپذیری نسبتاً بالا داشته و مستعد انتقال سریع آب هستند. حضور این خاک‌ها تغذیه را بالا می‌برد چون آب می‌تواند به سرعت از طریق زون ریشه قبل از اینکه به وسیله ریشه‌های گیاهان خارج شود، نفوذ کند و زهکشی شود. رسوبات با دانه‌بندی ریز نفوذپذیری کمی دارند اما مستعد ذخیره

مقادیر زیادی آب هستند. بنابراین در نواحی با رسوبات دارای دانه‌بندی ریز می‌توان انتظار کاهش نفوذ، بالا بودن رواناب سطحی، افزایش استخراج گیاهان از آب در منطقه غیراشباع و کاهش تغذیه نسبت به یک ناحیه با رسوبات دانه‌درشت را داشت.

نفوذپذیری همچنین در تغذیه متمرکز اهمیت دارد. نفوذپذیری بالای بستر رودخانه، تبادل آب سطحی و آب زیرزمینی را تسهیل می‌کند. در مناطق کارستی انحلال گودال‌ها یا سینک‌هول‌هایی که در مواد زمین‌شناسی توسعه پیدا می‌کنند می‌تواند سرعت جریان رودخانه را مستقیماً به یک سفره انتقال دهد. زمین‌شناسی زیرسطحی روی فرآیندهای تخلیه مشابه فرآیندهای تغذیه تأثیر می‌گذارد. اگر نرخ تخلیه از یک سفره کمتر از نرخ تغذیه باشد آب ذخیره شده در داخل سفره افزایش می‌یابد. صرف‌نظر از مقدار بارندگی، این شرایط معمولاً به افزایش رواناب منجر می‌شود.

۲-۳-۴- توپوگرافی سطحی

پستی و بلندی‌های سطح زمین نقش مهمی در هر دو مکانیسم تغذیه متمرکز و پراکنده ایفا می‌کند. شیب‌های تند به نرخ نفوذ کم و افزایش نرخ رواناب منجر می‌شود. سطوح زمین صاف که زهکشی سطحی ناچیزی دارند بیشتر به تغذیه پراکنده منجر می‌شود. این شرایط همچنین به ایجاد سیل کمک می‌کند. دلین و همکاران (Delin et al., 2002) نشان دادند که حتی با خاک‌های با نفوذپذیری بالا، گودی‌های ملایم در یک زمین کشاورزی ظاهراً یکنواخت باعث ایجاد رواناب متمرکز در مناطق معینی شد، که نتیجه آن این است که نفوذ و تغذیه در آن نواحی به طور قابل توجهی بزرگتر از تغذیه در سایر مناطق باشد. برجستگی سطحی، جهت و ارتفاع محدوده‌های کوهستان فاکتورهای دیگر توپوگرافی هستند که بر فرآیندهای تغذیه مؤثر می‌باشند.

۲-۳-۵- آبشناسی

یک مدل مفهومی فرآیندهای تغذیه به توضیح سیستم‌های جریان آب زیرزمینی و آب سطحی و اینکه چگونه با هم ارتباط دارند نیاز دارد. اگر زون غیراشباع نازک باشد آب نفوذی می‌تواند به سرعت به سطح ایستابی برسد و

امکان رخ دادن تغذیه در پاسخ به وقوع هر بارندگی بزرگ زیاد می‌باشد. اما سطح ایستابی کم عمق به تخلیه آب زیرزمینی توسط تعرق گیاهان حساس می‌باشد. بنابراین آبی که به سیستم‌های زیرسطحی کم عمق تغذیه می‌شود ممکن است برای مدت کوتاهی در منطقه اشباع ساکن شود و بعد از آن بوسیله ریشه‌های گیاهان استخراج شود و به اتمسفر باز گردد.

۲-۳-۶- پوشش گیاهی و استفاده زمین

پوشش گیاهی و استفاده از زمین می‌تواند اثرات زیادی روی فرآیندهای تغذیه داشته باشد. نوع و تراکم پوشش گیاهی روی الگوهای تبخیر و تعرق مؤثر می‌باشد. زمین دارای پوشش گیاهی معمولاً نرخ زیادی از تبخیر و تعرق (و بنابراین کاهش آب در دسترس برای تغذیه) نسبت به یک زمین پوشیده نشده در شرایط مشابه را دارد. درختان توانایی کشیدن رطوبت از عمق چند متری را دارند. در مقابل ریشه‌های کم عمق نمی‌توانند به آبی که به عمق نفوذ کرده دسترسی داشته باشند. بنابراین نرخ تغذیه در مناطقی با پوشش گیاهی دارای ریشه‌های عمیق که در برخی مناطق نیمه خشک دیده می‌شوند، موقعی که پوشش‌های گیاهی دائمی به وسیله پوشش گیاهی با ریشه‌های کم عمق جایگزین شود، زیاد می‌شود (Scanlon et al., 2005; Leblance et al., 2008). پوشش گیاهی کشاورزی آبیاری نشده می‌تواند نرخ تبخیر و تعرق بالاتر یا پایین‌تری از گیاهان اصلی داشته باشد. بنابراین، افزایش یا کاهش پتانسیل تغذیه را نمی‌توان تنها ناشی از تغییر در پوشش گیاهی دانست. در بیشتر مجموعه‌ها تأثیر پوشش گیاهی فصلی می‌باشد

در حوضه مورای استرالیا، درختان اکالیپتوس بومی بتدریج با پوشش گیاهی بدون نیاز به آبیاری جایگزین شده است. آلیسون و همکاران (Allison et al., 1983) نرخ تغذیه طبیعی تحت پوشش گیاهی بومی را کمتر از ۰/۱ میلی‌متر بر سال تخمین زده‌اند. بعد از برداشت محصول کشاورزی نرخ تغذیه تا بیش از ۲ برابر آنچه تخمین زده شده افزایش پیدا کرده است. تبدیل زمین‌های هموار طبیعی به کشت دیم در سراسر منطقه‌ای بزرگ از جنوب غربی نیجر پوششی را روی شیب‌ها تولید کرده که نتیجه آن افزایش رواناب و تغذیه متمرکز زیر تالاب‌های موقتی که رواناب را جمع‌آوری می‌کنند شده است (Leblanc et al., 2008; Favreau et al., 2009).

آبیاری می‌تواند یک نقش مهم در تغذیه آب زیرزمینی ایفا کند. جریان برگشتی آبیاری (Irrigation return flow)، هر آب آبیاری اضافی بوده که از زیر زون ریشه زهکشی می‌شود یا در گودال‌های زهکشی به دام می‌افتد. 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 می‌دهد.

فیشر و هیلی (Fisher and Healy, 2008) فرآیندهای تغذیه در دو زمین کشاورزی آبیاری شده در مناطق نیمه خشک را مطالعه کرده‌اند. همه‌ی تغذیه طبیعی در مدت فصول آبیاری اتفاق افتاده و به جریان برگشتی آبیاری نسبت داده شده است.

فانت (Faunt, 2009) از یک مجموعه مدل جریان آب زیرزمینی به منظور نشان دادن جریان برگشتی آبیاری که در مدت زمستان در دره مرکزی کالیفرنیا اتفاق افتاده است و همچنین تغذیه‌ای که در مدت فصل رشد در نتیجه‌ی جریان برگشتی آبیاری روی می‌دهد، استفاده کرده است.

۲-۴- چالش‌ها در تخمین تغذیه

۲-۴-۱- عدم اطمینان در تخمین تغذیه

تخمین‌های دقیق تغذیه همیشه مدنظر بوده لیکن با هر میزان دقت، عدم اطمینان در هر تخمین تغذیه وجود خواهد داشت. یک مدل مفهومی نادرست می‌تواند منجر به کاربرد نادرست تکنیک‌های تخمین شده و تخمین تغذیه بی معنی گردد. تخمین غیردقیق تغذیه می‌تواند به دلیل عدم فهم کافی روش یا عدم موفقیت در محاسبه دقیق تغییرپذیری زمانی و مکانی باشد. تاپس (Theis, 1937) با استفاده از معادله داریسی نرخ تغذیه طبیعی بین ۳ تا ۷ میلی متر بر سال را برای آبخوان دشت‌های مرتفع جنوبی تخمین زده است. مقادیر بدست آمده در سال‌های بعد با تکنیک‌های دقیق‌تر تغذیه بیشتری را تخمین زدند (Gurduk and Roe, 2009).

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

مفهوم مقیاس مکانی در انتخاب روش تخمین تغذیه مهم می‌باشد. بعضی روش‌ها تخمین نقطه‌ای ارائه می‌دهند. این روش‌ها به منظور ارزیابی آسیب‌پذیری سفره به آلودگی سودمند می‌باشند. مقیاس زمانی روش‌های تخمین تغذیه متفاوت می‌باشد. بعضی روش‌ها مانند روش نوسان سطح ایستابی می‌تواند تخمینی از تغذیه برای هر رویداد بارندگی منحصر به فرد فراهم کند. اکثر روش‌های ردیابی تنها یک تخمین بین دوره زمانی کاربرد ردیاب و نمونه‌گیری ردیاب را ارائه می‌دهد. بر پایه روش بیلان جرمی کلر، اسکانلون (Scanlon, 1991) تعیین کرده است که ذاتاً تغذیه‌ای در مدت دوره پلیوستوسن در مناطقی از بیابان چی هواهوان در جنوب غربی ایالات متحده وجود نداشته است.

۲-۴-۵- هزینه

هزینه یک محدودیت عمومی برای کاربرد بعضی روش‌های تخمین تغذیه می‌باشد. بعضی روش‌ها با استفاده از یک سفر صحرائی به منظور جمع‌آوری و تحلیل نمونه‌های خاک و آب (بعضی اوقات با استفاده از ردیاب) قابل کاربرد می‌باشد؛ دیگر روش‌ها نیازمند پایش پیوسته در طول دوره یک ساله یا بیشتر می‌باشد. هزینه‌های تحلیلی برای ردیابی مانند کربن ۱۴ ممکن است فراتر از استفاده از سایر مطالعات تغذیه باشد. روش‌هایی که نیازمند هزینه زیاد یا جمع‌آوری داده‌ها زیاد باشند کمتر استفاده می‌گردند.

۲-۵- تکنیک‌های مختلف تخمین تغذیه

تکنیک‌های مختلف تغذیه را می‌توان بر اساس مناطق یا زون‌های هیدرولوژیکی که اطلاعات موردنیاز از آن‌ها به دست می‌آید، به سه گروه تکنیک آب‌های سطحی، منطقه غیراشباع و منطقه اشباع تقسیم نمود. در هر کدام از این زون‌ها، تغذیه به روش‌های فیزیکی، ردیابی و مدلسازی عددی قابل تخمین می‌باشد. بر این اساس روش‌های تخمین تغذیه در زون اشباع شامل تکنیک‌های فیزیکی (بررسی نوسان سطح ایستابی، قانون دارسی)، تکنیک‌های ردیابی (سن‌سنجی آب زیرزمینی، ردیاب‌های محیطی-کلراید) و تکنیک‌های مدلسازی عددی

(مدلسازی آب زیرزمینی) می‌باشد. لازم به ذکر است که معادله بیلان اساس اکثر تکنیک‌ها در زون‌های سه‌کانه بوده که البته به صورت مجزا جهت تخمین تغذیه نیز استفاده می‌گردد (جعفری و رئیسی، ۱۳۹۰).

جدول (۱-۲) انواع مختلف روش‌های تخمین تغذیه به آب زیرزمینی (جعفری و رئیسی، ۱۳۹۰)

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

از جمله تکنیک‌هایی که به طور گسترده برای تخمین تغذیه استفاده شده اندازه‌گیری نوسانات سطح آب زیرزمینی در طول زمان و مکان می‌باشد. فراوانی داده‌های در دسترس سطح آب و سادگی این روش کاربرد مستقیم آن‌ها را آسان می‌کند. در روش نوسان سطح ایستابی از نوسانات سطح آب زیرزمینی در طول زمان برای تخمین تغذیه در سفره‌های آزاد استفاده می‌شود. با توجه به اینکه از این روش در تحقیق حاضر استفاده شده است در ادامه به صورت جزئی بحث شده است.

۲-۵-۱ روش نوسان سطح ایستابی

یک بیلان ساده برای قسمتی از یک سفره آب زیرزمینی به صورت زیر نوشته می‌شود:

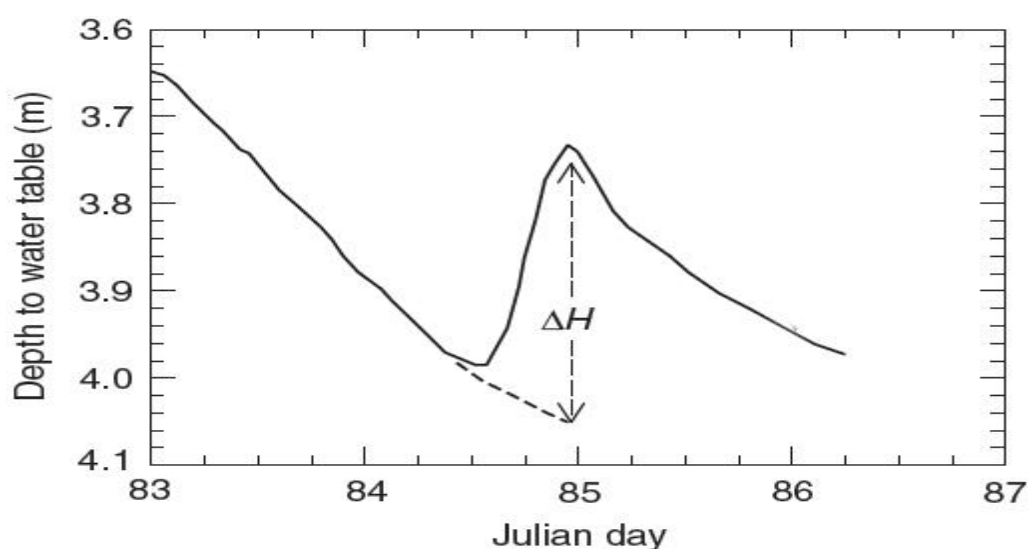
$$\Delta S^{gw} = R - Q^{bf} - ET^{gw} - Q^{gw}_{off} + Q^{gw}_{in}$$

که ΔS^{gw} تغییر در ذخیره در زون اشباع R تغذیه، Q^{bf} جریان پایه، ET^{gw} تبخیر و تعرق از آب زیرزمینی و Q^{gw}_{off} و Q^{gw}_{in} به ترتیب جریان زیرسطحی خروجی و ورودی به منطقه موردنظر است. این معادله بیان می‌کند که

تغییرات در ذخیره آب زیرسطحی به تغذیه و جریان آب زیرزمینی به داخل حوضه منهای جریان پایه (تخلیه آب زیرزمینی به رودها و چشمه‌ها)، تبخیر و تعرق از آب زیرزمینی و جریان آب زیرزمینی به بیرون از حوضه نسبت داده می‌شود. روش نوسان سطح ایستابی بر پایه‌ی این فرض منطقی استوار شده که صعودها در سطح آب زیرزمینی در سفره‌های آزاد ناشی از تغذیه آب رسیده به سطح ایستابی می‌باشد. با این فرضیه، مقدار آب در دسترس در یک ستون از واحد سطح ناحیه، برابر ضرب آبدهی ویژه بر زمان در ارتفاع سطح آب در ستون است. در این روش تغذیه از فرمول زیر قابل محاسبه است:

$$\Delta S^{gw} = R = S_y \Delta H / \Delta t$$

که S_y آبدهی ویژه و ΔH تغییر در ارتفاع سطح ایستابی در بازه زمانی Δt می‌باشد. معادله می‌تواند برای هر صعود آب یک تخمینی از کل یا تغذیه ناخالص را محاسبه کند. به منظور تعیین تغذیه، ΔH برابر با اختلاف بین پیک نقطه اوج و تقاطع نمودار بازگشت می‌باشد (شکل ۲-۴). تخمین تغذیه با روش نوسان سطح ایستابی می‌تواند در یک ناحیه از چندین تا شاید هزاران مترمربع مورد استفاده قرار گیرد.



شکل ۲-۴ محاسبه نوسان سطح آب به منظور تخمین تغذیه

روش نوسان سطح ایستابی چندین محدودیت دارد. نرخ‌های تغذیه ممکن است به دلیل اختلاف ارتفاع، زمین‌شناسی، شیب سطح زمین، پوشش گیاهی و دیگر فاکتورها در داخل حوضه به طور

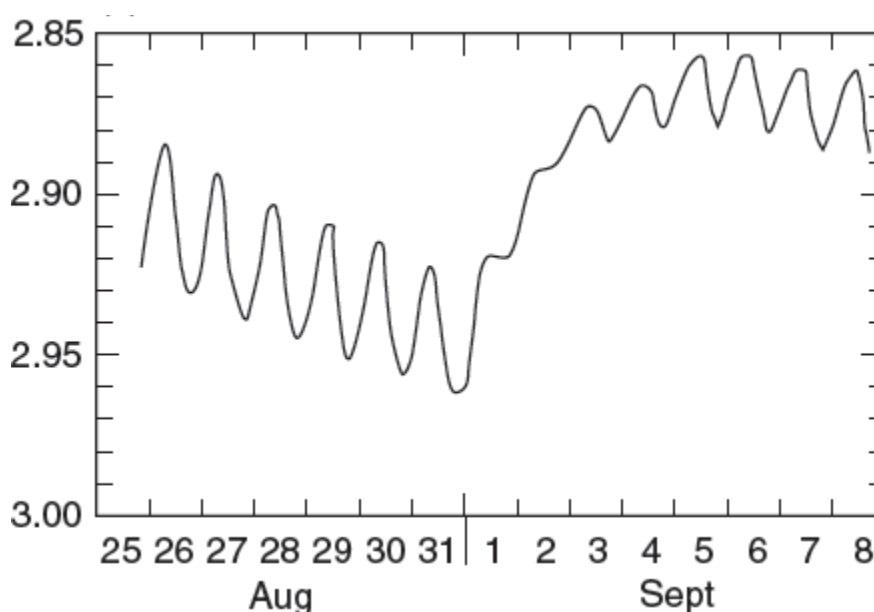
اساسی تغییر کند. در روش نوسان سطح ایستابی تغذیه به عنوان رویدادی که نسبت به زمان تغییر می‌کند، در نظر گرفته می‌شود. اگر نرخ تغذیه به یک سفره ثابت یا مساوی با نرخ زهکشی عبوری از سفره باشد سطح آب زیرزمینی تغییر نخواهد کرد و روش نوسان سطح ایستابی نرخ تغذیه را صفر تخمین می‌زند. بنابراین این روش تحت این شرایط کاربردی نیست. یکی دیگر از محدودیت‌ها عدم اطمینان در تخمین آبدهی ویژه می‌باشد. مورگان و استولت (Morgan and Stolt 2004) دریافتند که بزرگی نوسانات سطح ایستابی تعیین شده بر اساس اندازه‌گیری‌های هفتگی ۳۳٪ کمتر از همان اندازه‌گیری‌ها بر اساس داده‌های جمع آوری شده در بازه زمانی نیم ساعته برای همان چاه مشاهده‌ای و دوره زمانی بودند. دلین و همکاران (Delin et al., 2007) فهمیدند که کاهش فراوانی اندازه‌گیری سطح آب منجر به کاهش در نرخ تخمین تغذیه می‌شود. علی‌رغم این محدودیت‌ها، سادگی این روش و قابلیت استفاده گسترده از ترکیب داده‌های نوسان سطح ایستابی باعث می‌شود روش نوسان سطح ایستابی یکی از روش‌های خیلی گسترده برای تخمین تغذیه باشد.

۲-۵-۲- نوسان سطح ایستابی در سفره‌های آزاد

سطح ایستابی تحت چند مقیاس زمانی نوسان می‌کند. تغییرات بلندمدت، ممکن است دوره‌هایی شامل چند دهه را شامل شود. این تغییرات می‌تواند مربوط به تغییر در نرخ تغذیه ناشی از تغییرات در آب و هوا یا تأثیرات انسانی باشند. آلیسون و همکاران (Allison et al., 1990) صعود سطح آب زیرزمینی و افزایش تغذیه‌ی حوضه ماری استرالیا را به جایگزینی درختان اکالیپتوس بومی با پوشش گیاهی کشاورزی نسبت داده‌اند. نوسانات فصلی آب زیرزمینی در بسیاری از مناطق ناشی از تبخیر و تعرق، بارندگی، پمپاژ از آب زیرزمینی و آبیاری است. نوسانات کوتاه مدت همچنین می‌تواند در پاسخ به بارندگی، پمپاژ، نوسانات فشار بارومتريک، تبخیر و تعرق و دیگر پدیده‌ها اتفاق افتد. در زیر جزئیات چندین مکانیسم غیر از تغذیه که می‌تواند باعث ایجاد نوسانات کوتاه مدت در سطح ایستابی شود ارائه می‌گردد.

۲-۵-۲-۱- تبخیر و تعرق

در مناطق دارای سطح ایستابی کم عمق، تبخیر و تعرق می‌تواند سبب نوسانات روزانه سطح آب زیرزمینی گردد. افزایش عمق سطح ایستابی در طول ساعت‌های روشن روز و کاهش عمق سطح ایستابی در طول شب موقعی که ET^{gw} اساساً صفر است به دلیل تبخیر و تعرق می‌باشد. شکل (۲-۵) نوسان روزانه در مزارع آلفالفا در دره اسکالنت یوتا قبل و بعد از بارش نشان می‌دهد.



شکل ۲-۵ نوسان روزانه در صحرای آلفالفا در دره اسکالنت یوتا

۲-۵-۲-۲- فشار اتمسفری

تغییر در فشار اتمسفری می‌تواند سبب بوجود آمدن نوسانات تا ده‌ها میلی‌متر در سطح آب در پیرومتر شود. ایجاد نوسانات به دلیل تغییرات فشار، بسیار سریع از طریق چاه‌های باز به سفره منتقل می‌شود. یک وقفه زمانی بین تغییر فشاری که در سطح زمین ایجاد می‌شود و از طریق منطقه غیراشباع به سطح ایستابی منتقل شده است وجود دارد. طول وقفه زمانی با افزایش عمق به سطح ایستابی و با افزایش عمودی ضریب پخش هوا از رسوبات منطقه غیراشباع افزایش می‌یابد.

۲-۵-۳- هوای به دام افتاده

هوای به دام افتاده بین سطح ایستایی و سطح زمین می‌تواند باعث ایجاد نوسانات در سطح آب زیرزمینی گردد. تشخیص این پدیده مخصوصاً به دلیل اینکه در پاسخ به بارندگی اتفاق می‌افتد مشکل می‌باشد و به آسانی باعث خطا در محاسبه تغذیه می‌شود. این پدیده موقعی که خاک‌های سطحی اشباع شده است اتفاق می‌افتد و بیشتر در خاک‌های با بافت ریزدانه شایع است.

۲-۵-۳- آبدهی ویژه

در تعاریف معمول آبدهی ویژه یک سنگ و خاک به عنوان نسبت حجم آبی که پس از اشباع شدن توسط نیروی گرانش زهکشی می‌گردد به کل منطقه زهکشی شده یا به صورت حجم آبی (بیان شده به صورت درصد یا کسری از حجم آبخوان) که به ازای هر واحد از تغییر سطح مقطع واحد آبخوان آزاد شده یا به آن اضافه می‌گردد، تعریف می‌شود (Todd and Mays., 2005).

۲-۵-۳-۱- روش‌های اندازه‌گیری

آبدهی ویژه را می‌توان با روش‌های مختلفی صحرایی و آزمایشگاهی مانند آزمون پمپاژ، موازنه حجم، بیلان آب، روش‌های ژئوفیزیکی و یا از روابط تخلخل و نگهداشت ویژه بدست آورد (Healy and Cook. 2002). طبق نظر پریل و همکاران (Prill et al., 1965)، طیف گسترده آبدهی ویژه در یک طبقه یکسان از بافت خاک در کتب مختلف به ناهمگونی طبیعی در مواد زمین‌شناسی، تفاوت در روش اندازه‌گیری و تا حد زیادی به مقدار زمان صرف شده در تعیین آبدهی ویژه نسبت داده شده است.

آبدهی ویژه تعیین شده از طریق اندازه‌گیری آزمایشگاهی تخلخل قابل زهکشی در نمونه‌های استاندارد به مقادیر تعیین شده از آزمون‌های پمپاژ که به صورت کوتاه‌مدت است، ترجیح داده می‌شود. در شرایطی که مقادیر آزمایشگاهی آبدهی ویژه موجود نباشد، استفاده از مقادیر استاندارد در اسناد

توصیه می‌شود (Lerner et al. 1990). نایک و آواستی (Naik and Awasti, 2000)، در منطقه‌ای از هند بر اساس روش نوسان سطح ایستابی آبدهی ویژه آبخوان را در سال‌های آبی ۱۹۸۸-۱۹۸۹ و ۱۹۹۱-۱۹۹۲ حدود ۰/۰۱۲ برآورد کردند.

وادوریس (Vadouris, 2006)، در آبخوان‌های ساحلی شمال شرق کورینتیا در یونان بر اساس روش بیلان آبی و افزایش سطح آب در فصل تر برای سال آبی ۱۹۹۷-۱۹۹۸ آبدهی ویژه را ۰/۱۱ برآورد کرد.

از جمله مطالعات تخمین تغذیه در ایران می‌توان به موارد زیر اشاره نمود.

جعفری و همکاران (۱۳۹۰) تغذیه ناشی از آبیاری که معرف حرکت آب در زیر منطقه ریشه می‌باشد را بر اساس مطالعات منطقه غیراشباع و به روش‌های لایسیمتری، بیلان جرمی کلر و مدلسازی در مزارع دشت هرات تخمین زده‌اند. نتایج نشان می‌دهد میزان تغذیه تغییراتی از ۱۲ تا ۲۶۵ میلی‌متر در سال را نشان می‌دهد.

ثابتی و همکاران (۱۳۹۰) میزان تغذیه به آبخوان‌های کارستی کوه‌سفید در جنوب غرب ایران را با استفاده از روش سنجش از دور محاسبه کردند. تغذیه به صورت درصد بارش، بر اساس متغیرهای لیتولوژی، لندفرم‌های عمده نفوذ، شیب، ارتفاع و انواع خاک محاسبه شده است.

نتایج نشان می‌دهد که ۶/۱۷ درصد از تاقدیس کوه‌سفید دارای تغذیه خیلی کم، ۹/۱۷ درصد دارای تغذیه کم، ۸/۴۸ درصد دارای تغذیه متوسط، ۴/۷ درصد دارای تغذیه زیاد و ۴/۸ درصد دارای تغذیه خیلی زیاد می‌باشد.

احمدی و همکاران (۱۳۹۱) به منظور مدیریت بهینه، تغذیه آب زیرزمینی به دشت نیشابور را به روش نوسان سطح ایستابی محاسبه کردند. نتایج نشان داد که حداقل و حداکثر مقدار تغذیه حاصل از بارندگی به ترتیب ۴۶/۱ و ۱۰۱/۶ میلیون مترمکعب بود. نتایج همچنین حاکی از آن بود که حداکثر

۲۲۱/۷ میلیون مترمکعب و حداقل ۱۹۸/۸ میلیون مترمکعب آب برگشتی کشاورزی سبب تغذیه آب زیرزمینی در دشت مورد مطالعه می‌شود.

حب‌وطن و سامانی (۱۳۷۹) تغذیه آب زیرزمینی سالانه برای چند زیرحوضه را با استفاده از مدل‌های ریاضی و هیدروگراف رودخانه محاسبه کردند. آزمون آماری نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین نتایج حاصل از این دو روش وجود ندارد. همچنین به منظور صحت‌سنجی و اعتبار مدل از مقایسه مقادیر تغذیه و تخلیه استفاده گردید که تطابق خوبی را بین تغذیه و تخلیه نشان داد.

فصل سوم:

روش انجام کار

۳-۱- جمع آوری داده‌های کمی آب زیرزمینی و هواشناسی

سطح آب زیرزمینی به صورت ماهانه در پیژومترهای حفرشده در آبخوان هرات توسط شرکت آب منطقه‌ای استان یزد اندازه‌گیری می‌شود. داده‌های سطح آب زیرزمینی از سال ۱۳۶۰ تا سال ۱۳۹۳ اخذ شده که در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفته است. همچنین داده‌های بارش و دمای هوا که در ایستگاه هواشناسی هرات ثبت می‌گردد جمع‌آوری شده و مورد استفاده قرار گرفته است.

۳-۲- بررسی داده‌های زمین‌شناسی در محدوده حوضه آبریز هرات

به منظور تهیه نقشه زمین‌شناسی حوضه آبریز هرات، از نقشه‌های ۱:۱۰۰۰۰۰ انار و نیریز استفاده گردید. واحدها و ساختارهای زمین‌شناسی موجود در این نقشه‌ها که در محدوده حوضه آبریز هرات قرار دارند، شناسایی شده و نقشه زمین‌شناسی حوضه آبریز هرات در محیط ArcGis 9.3 تهیه گردید.

۳-۳- بررسی داده‌های هیدروژئولوژیکی

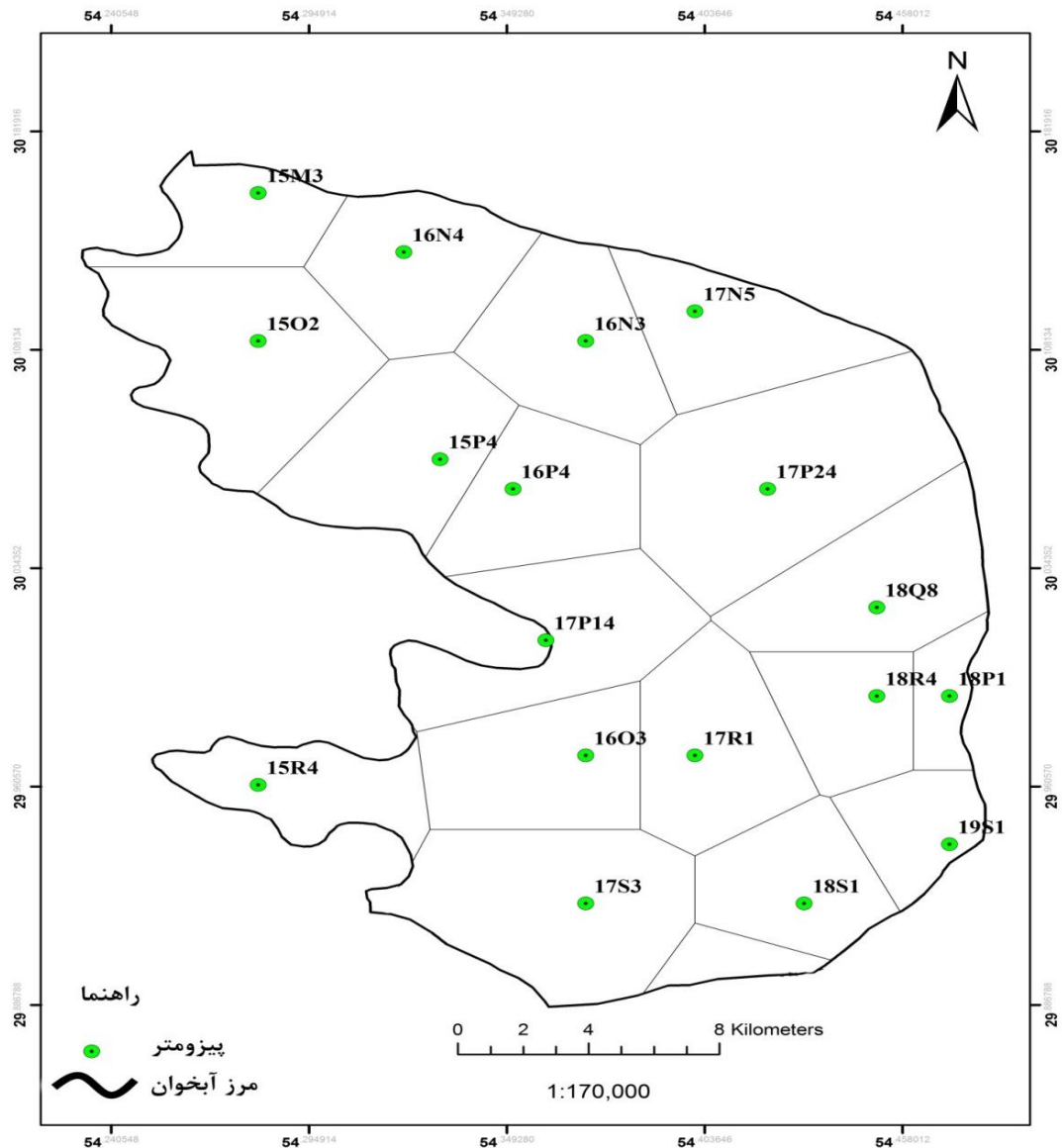
برای بررسی کمی آبخوان هرات از داده‌های ۲۴ پیژومتر که به صورت ماهیانه توسط شرکت آب منطقه‌ای اندازه‌گیری شده، استفاده گردید. برای ترسیم خطوط هم‌پتانسیل از داده‌های سطح آب زیرزمینی مربوط به مهرماه ۱۳۹۳ استفاده شده است.

۳-۳-۱- رسم هیدروگراف معرف دشت

برای رسم هیدروگراف معرف دشت ابتدا با استفاده از نرم‌افزار ArcGis9.3 نقشه تیسن آبخوان هرات رسم گردید (شکل ۳-۱). سپس با توجه به نقشه تیسن مقدار مساحت هر یک از چندضلعی‌ها محاسبه شده و برای ترسیم هیدروگراف معرف دشت هرات استفاده گردید. جدول ۳-۱ مساحت چندضلعی تیسن در اطراف هر پیزومتر را نشان می‌دهد و کل مساحت آبخوان حدود ۵۰۳/۴ کیلومتر مربع محاسبه گردید.

جدول ۳-۱ مشخصات پیزومترهای مورد استفاده در نقشه تیسن

ردیف	شماره پیزومتر	UTMx	UTMy	مساحت پلیگون (Km ^۲)	ردیف	شماره پیزومتر	UTMx	UTMy	مساحت پلیگون (Km ^۲)
۱	15M3	۲۳۸۲۴۸	۳۳۳۹۶۴۵	۱۶/۲۰	۱۱	18P1	۲۵۴۷۳۹	۳۳۲۹۳۸۱	۱۹/۱۹
۲	16N3	۲۴۵۰۱۷	۳۳۳۴۰۹۵	۲۱/۷۰	۱۲	17P14	۲۴۷۵۴۸	۳۳۲۵۱۱۵	۳۹/۷۴
۳	16N4	۲۴۱۳۴۵	۳۳۳۷۲۰۶	۲۴/۳۰	۱۳	18Q8	۲۵۳۸۳۹	۳۳۲۴۹۷۹	۳۱/۱۷
۴	17N5	۲۴۸۸۵۴	۳۳۳۵۱۵۷	۲۲/۰۰	۱۴	15R4	۲۳۷۳۴۴	۳۳۱۷۴۱۲	۳۴/۷۲
۵	15O2	۲۳۶۸۶۰	۳۳۳۴۳۱۸	۲۷/۴۰	۱۵	17R1	۲۴۸۷۳۳	۳۳۱۸۲۹۲	۵۲/۹۰
۶	16O14	۲۴۲۶۶۷	۳۳۳۰۳۲۲	۱۳/۰۰	۱۶	18R4	۲۵۲۵۸۷	۳۳۲۰۰۳۶	۲۸/۸۰
۷	18O4	۲۵۳۱۱۴	۳۳۳۲۲۴۵	۲۲/۰۳	۱۷	18S1	۲۵۱۲۱۳	۳۳۱۳۸۴۹	۲۸/۹۴
۸	17O26	۲۴۶۸۸۲	۳۳۳۰۶۴۰	۲۴/۱۶	۱۸	19S1	۲۵۴۹۱۰	۳۳۱۵۲۳۳	۱۸/۳۸
۹	15P1	۲۳۹۶۳۳	۳۳۳۰۵۰۱	۲۳/۰۰	۱۹	18T2	۲۵۰۲۵۵	۳۳۰۹۷۰۷	۳۸/۶۸
۱۰	16P4	۲۴۳۰۲۳	۳۳۲۷۷۱۹	۱۷/۱۰					



شکل ۳-۱ نقشه شبکه تیسن آبخوان هرات

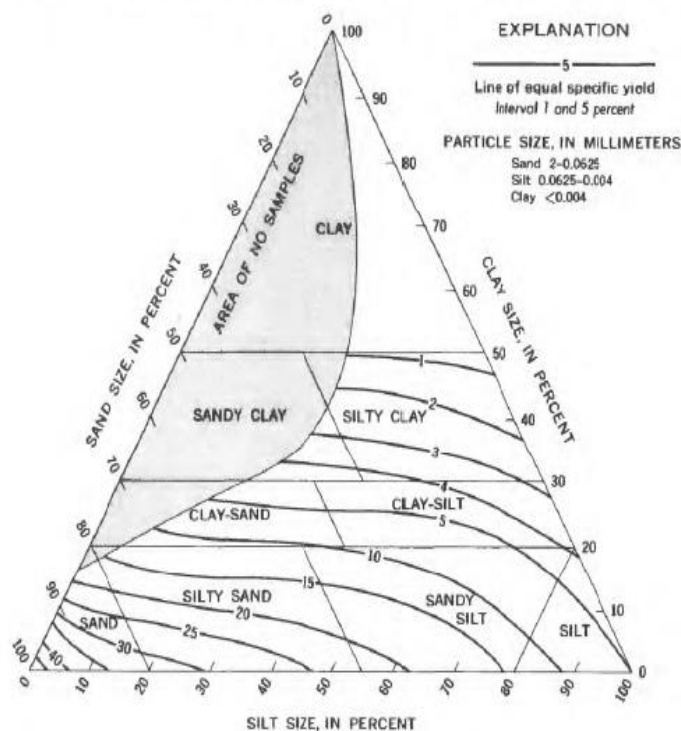
۳-۴- آنالیز سری‌های زمانی

به منظور بررسی رابطه نوسان سطح ایستابی و بارش از روش تحلیل سری‌های زمانی استفاده گردید. برای تحلیل سری زمانی ابتدا مؤلفه‌های موجود در سری زمانی مانند روند و تناوب بایستی حذف گردد. برای تشخیص این مؤلفه‌ها و تصادفی کردن داده‌ها از آنالیز سری زمانی یگانه در قالب تابع خودهمبستگی و تابع چگالی طیفی استفاده گردید.

برای این منظور از نرم افزار ITSM استفاده شده است. پس از حذف مؤلفه‌های روند و تناوب، برای بدست آوردن وقفه زمانی بین سری‌های زمانی بارش و سطح ایستابی آنالیز سری‌های زمانی دوگانه انجام شده و از تابع همبستگی متقابل و طیف متقابل از نرم افزار SPSS استفاده شده است. شرح کامل تحلیل سری‌های زمانی در فصل چهارم ارائه شده است.

۳-۵- محاسبه آبدهی ویژه

نتایج تخمین آبدهی ویژه در آبخوان هرات بر اساس آزمون‌های پمپاژ بسیار محدود می‌باشد. به این دلیل، به منظور محاسبه آبدهی ویژه، ابتدا با توجه به نتایج دانه‌بندی در لاگ حفاری مربوط به چند پیژومتر حفر شده در آبخوان هرات، بافت غالب خاک تعیین شده و سپس طبق رابطه‌ی آبدهی ویژه و بافت خاک (شکل ۳-۲) ضریب آبدهی ویژه آبخوان تخمین زده شد.

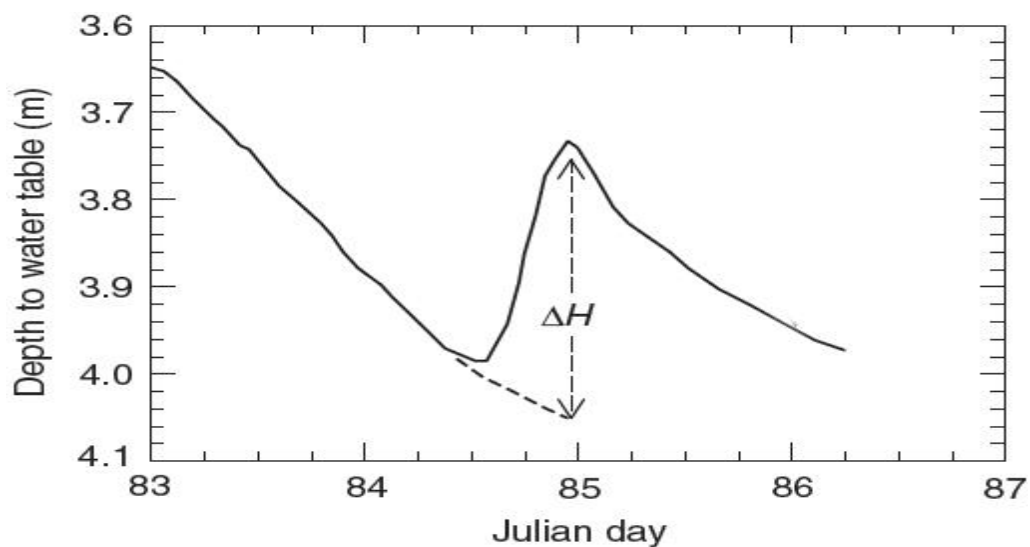


شکل ۳-۲ رابطه آبدهی ویژه و بافت خاک (Johnson, 1967)

۳-۶ محاسبه تغذیه

برای محاسبه تغذیه ابتدا مقدار ΔH که برابر با اختلاف بین پیک نقطه اوج هیدروگراف و تقاطع نمودار بازگشت می‌باشد، محاسبه گردید (شکل ۳-۳). بعد از محاسبه ΔH ، طبق فرمول زیر مقدار تغذیه برای دوره زمانی (Δt) یک ساله هر پیزومتر به طور جداگانه محاسبه گردید. در این معادله R تغذیه که بر حسب متر در سال و Sy آبدهی ویژه می‌باشد.

$$R = \frac{\Delta H}{\Delta t} Sy$$



شکل ۳-۳ چگونگی محاسبه ΔH به منظور تخمین تغذیه

فصل چهارم:

تخمین تغذیه به آبخوان هرات

۴-۱- مقدمه

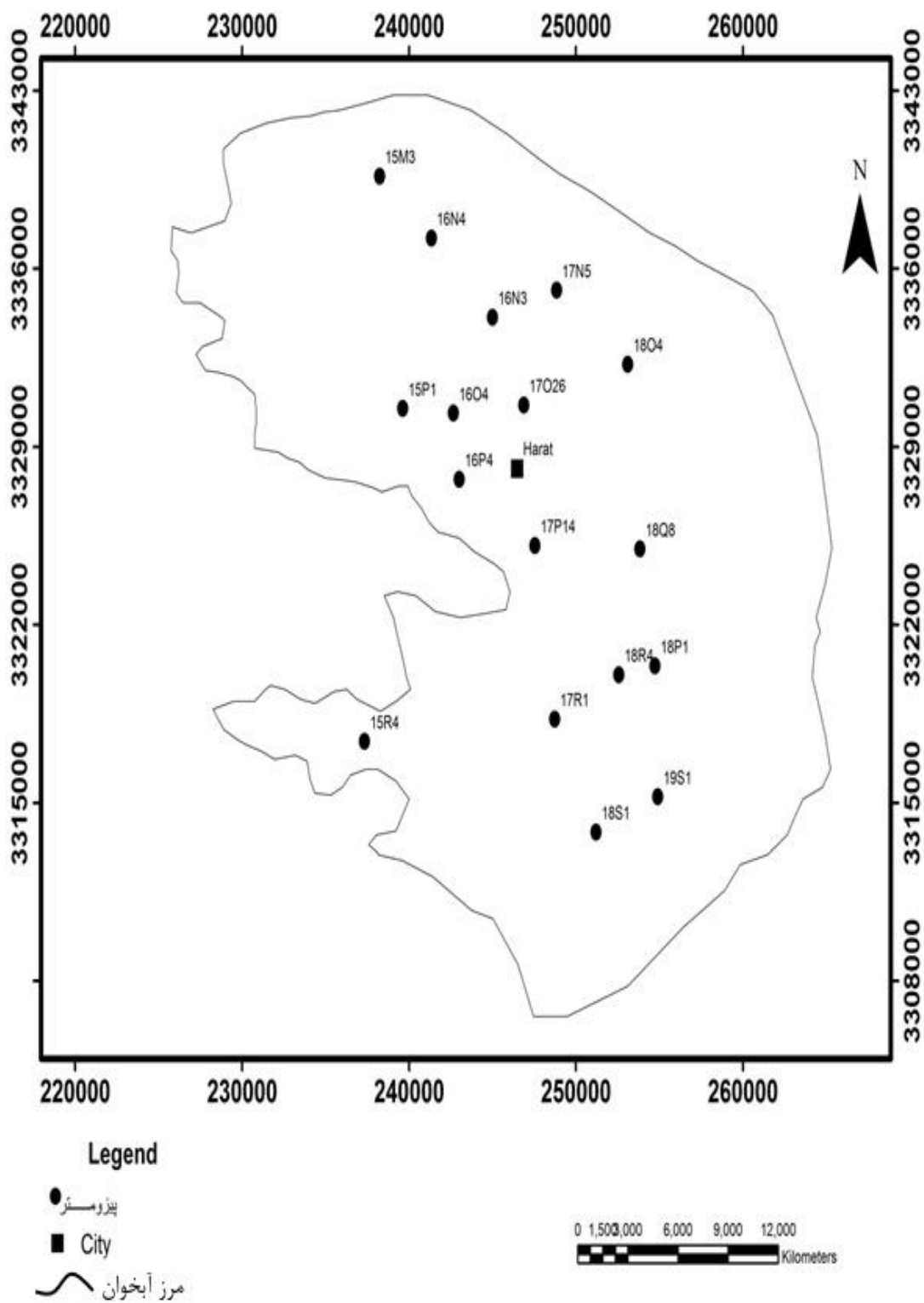
در این فصل به منظور تخمین تغذیه به آبخوان هرات، مطالعه نوسانات سطح ایستابی انجام شده است. موضوعاتی که در این قسمت بررسی شده شامل بررسی نوسان سطح ایستابی، بررسی ارتباط بارش و تغذیه با تحلیل سری های زمانی و تخمین تغذیه به آب زیرزمینی با استفاده از نوسانات سطح ایستابی می باشد.

۴-۲- بررسی نوسانات سطح آب زیرزمینی

به منظور بررسی نحوه تغییرات سطح ایستابی آبخوان هرات در نقاط مختلف آبخوان از پیزومترهای موجود در این محدوده استفاده شده است. به این منظور از داده های ۲۴ پیزومتر که سری زمانی کاملتری داشته و معرف آبخوان آزاد هرات می باشند، استفاده شده است. محدوده آماری این پیزومترها از سال ۱۳۶۰ تا سال ۱۳۹۱ می باشد که در بعضی از پیزومترها وقفه آماری نیز وجود دارد. مشخصات پیزومترها در جدول (۴-۱) و موقعیت آنها در شکل (۴-۱) نشان داده شده است.

جدول ۴-۱ مشخصات پیزومترهای حفر شده در آبخوان هرات

ردیف	نام پیزومتر	نام اختصاری	UTMx	UTMy	ردیف	نام پیزومتر	نام اختصاری	UTMx	UTMy
1	سجاد	15R4	237344	3317412	13	امداد	18R4	252587	3320036
2	جنوب غرب چشمه علی	15M3	238248	3339645	14	اسلامیه	18O4	253114	3332245
3	غرب قنات سفید	15P1	239633	3330501	15	مشکینی	18Q8	253839	3324979
4	پدابید	16N4	241345	3337206	16	ده زهرا	18P1	254739	3320381
5	زین آباد	16O4	242667	3330322	17	شرق قم آباد	19S1	254910	3315233
6	شرق قنات سفید	16P4	243023	3327719	18	اکتشافی زین آباد	15P4	242152	3330323
7	گچی	16N3	245017	3334095	19	هنرستان	16O3	244886	3319443
8	هاشم آباد	17O26	246882	3330640	20	تل چهگوئی	17S3	245129	3313689
9	منبع آب هرات	17P14	247548	3325115	21	جاده سیاهوئی	17P25	247604	3324401
10	سیاهوئی	17R1	248733	3318292	22	جاده شهر بابک	17P24	249521	3327562
11	حسن آباد	17N5	248854	3335157	23	آزادی	15O2	236860	3334318
12	قم آباد	18S1	251213	3313849	24	آشامیدنی چهگوئی	18T2	250255	3309707

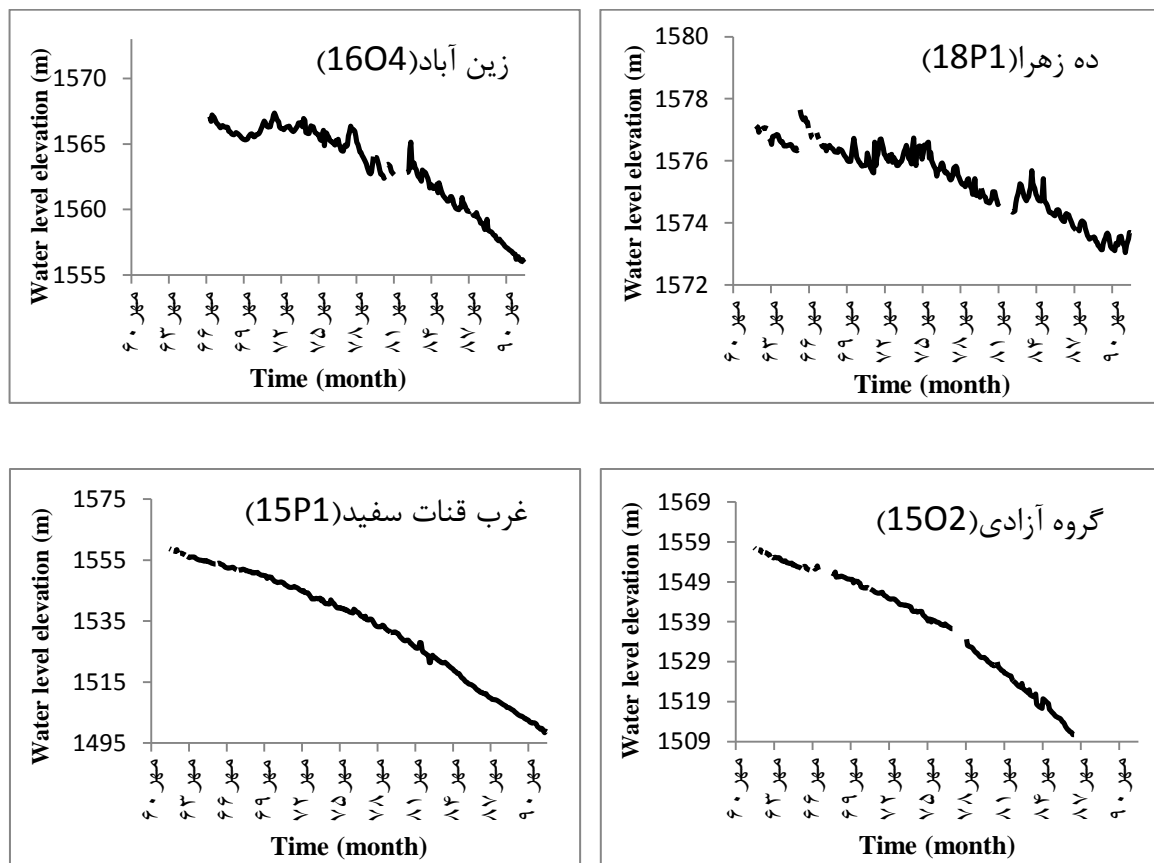


شکل ۴-۱ موقعیت پیزومترهای حفر شده در آبخوان هرات

۴-۲-۱- هیدروگراف پیزومترها

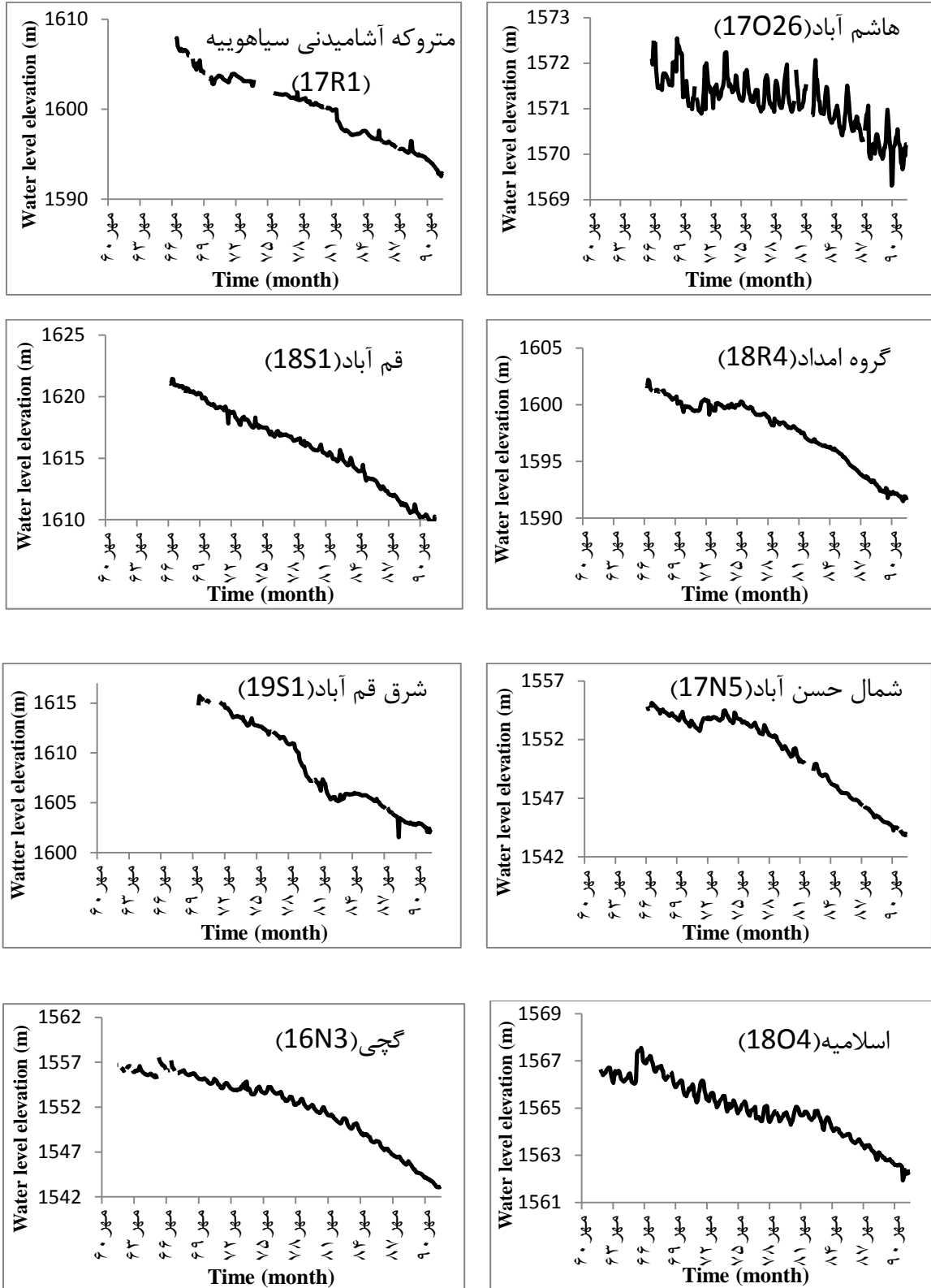
نوسانات آب زیرزمینی از عوامل مختلفی تأثیر می‌پذیرد. این عوامل هم می‌توانند در کوتاه‌مدت و هم در بلندمدت بر سطح آب زیرزمینی تأثیرگذار باشند. از این عوامل می‌توان به مواردی مانند تغییرات اقلیمی، فعالیت‌های انسانی، تبخیر و تعرق و فشار جزئی اتمسفر اشاره نمود.

به منظور بررسی نوسانات در آبخوان، هیدروگراف هر یک از پیزومترها به صورت جداگانه از سال ۱۳۶۰ تا ۱۳۹۱ ترسیم که در شکل ۲-۴ نشان داده شده است. در ادامه به شرح نوسانات تعدادی از پیزومترها در بخش‌های مختلف آبخوان پرداخته می‌شود.



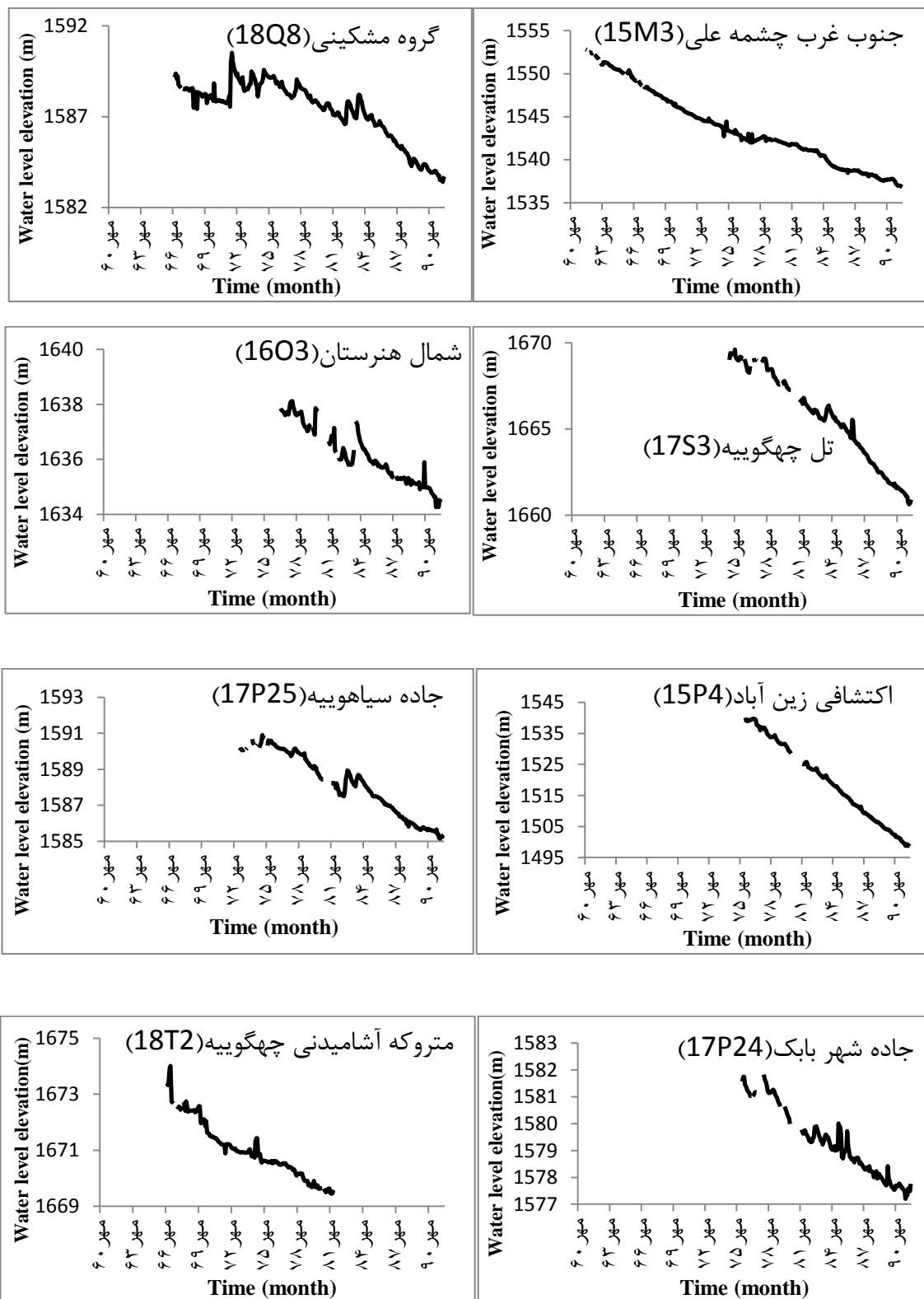
شکل ۲-۴ هیدروگراف پیزومترهای حفر شده در آبخوان هرات

فصل چهارم: تخمین تغذیه به آبخوان هرات



شکل ۴-۲ ادامه

فصل چهارم: تخمین تغذیه به آبخوان هرات

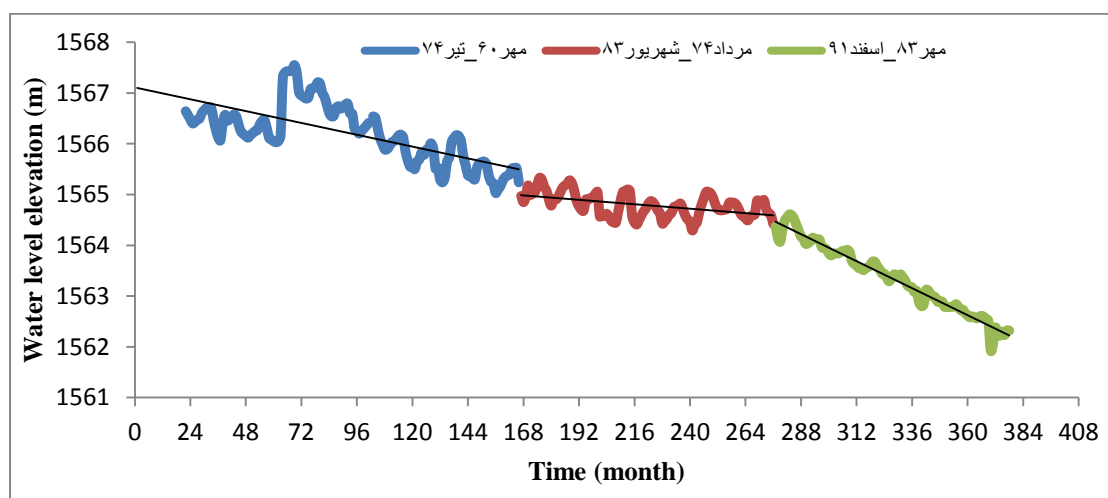


شکل ۴-۲ ادامه

۴-۲-۱-۱- پیزومتر اسلامیه (1804)

این پیزومتر در مرکز آبخوان هرات واقع شده است. برای بررسی نوسانات این پیزومتر هیدروگراف مربوطه رسم شد (شکل ۴-۳). محدوده آماری داده‌های سطح ایستابی از سال ۱۳۶۲ تا سال ۱۳۹۱ می‌باشد. روند سطح ایستابی در این پیزومتر طبق هیدروگراف رسم شده نزولی بوده است. افت کلی در این پیزومتر در این مدت معادل ۴/۳۲ متر محاسبه گردید. بررسی دقیق‌تر نشان می‌دهد هیدروگراف این پیزومتر دارای ۳ روند می‌باشد. روند اول که نزولی هم بوده است از ابتدای محدوده آماری شروع شده و تا اوایل سال ۱۳۷۴ ادامه می‌یابد. مقدار افت در این دوره ۱/۴ متر اندازه‌گیری شده است. روند دوم مربوط به اوایل سال ۱۳۷۴ تا اوایل ۱۳۸۳ سال بوده است که در این دوره زمانی، سطح ایستابی دارای روندی کاهشی محسوسی بوده و مقدار افت محاسبه شده، معادل ۰/۸۷ متر بوده است. قسمت آخر این هیدروگراف دارای روند واضح نزولی می‌باشد و مقدار افت برای این قسمت ۲/۰۵ متر محاسبه شده است.

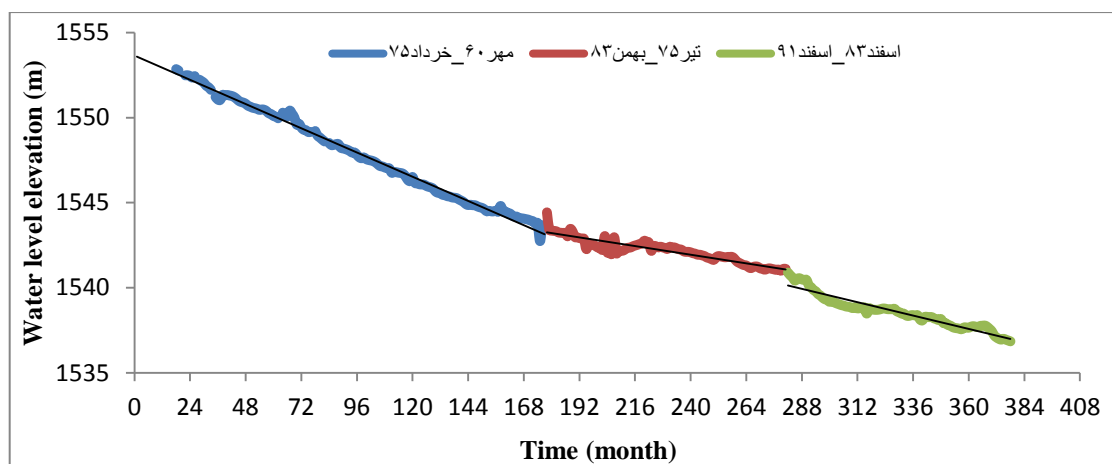
در شکل ۴-۳ مشاهده می‌شود که سطح ایستابی در محل این پیزومتر به طور مشهود از اوایل سال ۱۳۸۳ از روند نزولی با نرخ زیادتری نسبت به زمان‌های قبل برخوردار می‌باشد.



شکل ۴-۳ هیدروگراف پیزومتر اسلامیه (عدد صفر محور افقی نشان دهنده اول مهر ۶۰ می باشد)

۴-۲-۱-۲- پیزومتر جنوب غرب چشمه علی (15M3)

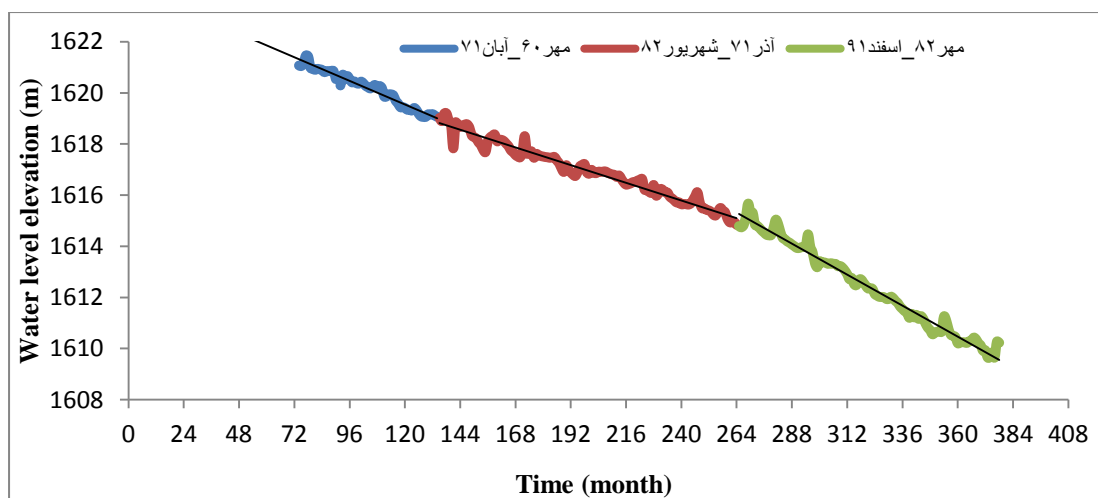
این پیزومتر در شمال آبخوان هرات قرار دارد. محدوده آماری اطلاعات سطح ایستابی برای ترسیم هیدروگراف این پیزومتر از سال ۱۳۶۰ تا سال ۱۳۹۱ در دسترس بوده است. سطح آب زیرزمینی در این هیدروگراف نیز از روند نزولی مشخصی تبعیت می‌نماید (شکل ۴-۴). مقدار افت در این پیزومتر در طول این دوره ۳۱ ساله ۱۶/۶ متر محاسبه شده است. تغییرات سطح ایستابی این پیزومتر نیز به صورت دقیق‌تر بررسی شده که نشان دهنده سه روند نزولی متفاوت در این دوره می‌باشد. روند اول از ابتدای سال آماربرداری شروع شده و تا اوایل سال ۱۳۷۵ ادامه داشته است. مقدار افت محاسبه شده برای این قسمت معادل ۹/۹۸ متر بوده است. این مقدار افت نشان می‌دهد که این پیزومتر دارای افت متوسط ۰/۷۱ متر در طول ۱۴ سال بوده است. روند دوم که از سال ۱۳۷۵ شروع شده و تا اواخر سال ۱۳۸۳ ادامه می‌یابد نشان‌دهنده افتی برابر ۲/۲۱ متر می‌باشد. سطح آب در این قسمت نیز مانند پیزومتر اسلامیه دارای روند نزولی با شیب کم بوده است. نرخ افت سطح ایستابی در قسمت سوم زیاد شده و مقدار افت در طی دوره ۸ ساله ۴/۲۶ متر اندازه‌گیری شده است. مشاهده می‌شود تغییرات سطح ایستابی در این پیزومتر تا حدود زیادی مشابه پیزومتر اسلامیه بوده است.



شکل ۴-۴ هیدروگراف پیزومتر جنوب غرب چشمه علی (عدد صفر در محور افقی نشان دهنده اول مهر ۶۰ می باشد)

۴-۲-۱-۳- پیژومتر قم آباد (18S1)

این پیژومتر در جنوب آبخوان هرات واقع شده است. طبق هیدروگراف رسم شده سطح ایستابی در این پیژومتر نیز مانند دو پیژومتر قبلی دارای روند کلی نزولی بوده است. افت در این پیژومتر از ابتدای سال آماری (سال ۱۳۶۰) تا انتهای آن (سال ۱۳۹۱) معادل $10/84$ متر محاسبه شد. در این پیژومتر مانند دو پیژومتر قبلی سه روند مشاهده شد که در ابتدا دارای روند نزولی با شیب زیاد بوده، سپس نرخ افت کاهش یافته و مجدداً از سال ۱۳۸۲ نرخ افت افزایش یافته است. مقدار افت در ۱۲ سال ابتدای (۱۳۶۰ تا ۱۳۷۲) $3/58$ متر اندازه‌گیری شده است که معادل $0/4$ متر در سال می‌باشد. در قسمت دوم (سال ۷۲ تا ۸۲) نیز مانند دو پیژومتر قبلی نرخ افت سطح ایستابی کاهش یافته به نحوی که مقدار افت در آن $1/82$ متر بوده که دارای افت متوسط $0/26$ متر در سال بوده است. همچنین در قسمت سوم هیدروگراف مشابه پیژومترهای قبلی نرخ افت افزایش یافته و سطح ایستابی در طی مدت ۹ سال حدود $5/44$ متر (افت متوسط $0/6$ متر در سال) افت نموده است (شکل ۴-۵).



شکل ۴-۵ هیدروگراف پیژومتر قم آباد (عدد صفر در محور افقی نشان دهنده اول مهر ۶۰ می باشد)

بررسی سایر پیژومترها نشان می‌دهد که روند تغییرات سطح ایستابی تقریباً مشابه سه پیژومتر مذکور می‌باشد؛ به همین دلیل از شرح هر کدام به صورت جداگانه پرهیز شده و جزئیات بررسی هیدروگراف هر یک از آنها در جدول (۴-۲) ارائه شده است. در بررسی هیدروگراف پیژومترها مشاهده گردید بین

فصل چهارم: تخمین تغذیه به آبخوان هرات

سال های ۱۳۶۰ تا ۱۳۷۴ سطح ایستابی دارای روندی نزولی بوده‌اند و پس از آن در بین سال‌های ۱۳۷۴ تا سال ۱۳۸۳ نرخ افت سطح ایستابی کاهش یافته ولی پس از آن (سال ۸۴ به بعد) نرخ افت سطح ایستابی مجدداً افزایش یافته است.

جدول ۲-۴ جزئیات افت در پیزومترهای آبخوان هرات

نام پیزومتر	دوره آماری	مقدار افت کل (متر)	نرخ افت سالیانه (متر)	تعداد روند هیدروگراف	مقدار افت در هر روند		
					1	2	3
جاده سیاهویی	۷۳-۹۱	۴/۶۸ متر	۰/۲۴	۳	فاقد اطلاعات	۲/۰۳	۲/۶۵
اکتشافی زین آباد	۷۵-۹۱	۴۱/۵ متر	۲/۶	۱	۴۱/۵	فاقد اطلاعات	فاقد اطلاعات
شمال هنرستان	۷۷-۹۱	۳/۴ متر	۰/۲۴	۳	فاقد اطلاعات	۱/۶۳	۱/۷۷
تل چهگویی	۷۵-۹۱	۸/۲۸ متر	۰/۵۱	۳	فاقد اطلاعات	۲/۲۴	۶/۰۴
گروه مشکینی	۶۶-۹۱	۵/۶۲ متر	۰/۲۲	۳	۰/۲۲	۲/۰۳	۳/۳۷
جنوب غرب چشمه علی	۶۰-۹۱	۱۶/۶ متر	۰/۵۳	۳	۹/۹۸	۲/۲۱	۴/۲۶
گچی	۶۱-۹۱	۱۳/۱۶ متر	۰/۴۳	۳	۲/۲۵	۳/۳	۷/۶۱
اسلامیه	۶۲-۹۱	۴/۳۲ متر	۰/۱۴	۳	۱/۴	۰/۸۷	۲/۰۵
شرق قم آباد	۷۰-۹۱	۱۲/۴ متر	۰/۶	۲	۴/۷۸ (۷۰-۷۸)	۷/۶۴ (۷۹-۹۱)	فاقد اطلاعات
شمال حسن آباد	۶۶-۹۱	۱۰/۸۹ متر	۰/۴۳	۳	۱/۹۴	۲/۹۳	۶/۰۲
قم آباد	۶۶-۹۱	۱۰/۸۴ متر	۰/۴۳	۳	۳/۵۸	۱/۸۲	۵/۴۴
امداد	۶۶-۹۱	۱۰/۱ متر	۰/۰۴	۳	۱/۷۲	۲/۲۳	۶/۱۵
آشامیدنی سیاهویی	۶۷-۹۱	۱۴/۹۴ متر	۰/۶۲	۳	۵/۷۵	۲/۰۲	۷/۱۷
هاشم آباد	۶۶-۹۱	۱/۸۸ متر	۰/۰۷	۳	۱/۱۶	۰/۰۶	۰/۶۶
غرب قنات سفید	۶۰-۹۱	۶۱/۱۱ متر	۱/۹۷	۲	۳۸/۰۱ (۶۰-۸۰)	۲۳/۰۱ (۸۱-۹۱)	فاقد اطلاعات
آزادی	۶۰-۸۶	۴۸/۳۹ متر	۱/۸۶	۲	۳۰/۵۸ (۶۰-۷۷)	۱۷/۵۴ (۷۸-۸۶)	فاقد اطلاعات
زین آباد	۶۶-۹۱	۱۱ متر	۰/۴۴	۳	۱/۱۲	۲/۳	۷/۲۸
ده زهرا	۶۲-۹۱	۳/۶۶ متر	۰/۱۲	۳	۱/۴۹	۱/۳۱	۰/۸۶

۴-۳- هیدروگراف معرف آبخوان هرات

برای بررسی کلی در مورد آبخوان هرات از هیدروگراف معرف که نماینده سطح ایستابی در کل دشت

می‌باشد استفاده می‌شود. پیش از ترسیم هیدروگراف معرف ابتدا موقعیت پیزومترها در شبکه

فصل چهارم: تخمین تغذیه به آبخوان هرات

پیزومتری و نیز آمار سطح ایستابی آنها بررسی شد. پیزومترهایی که دارای محدوده آماری کامل و موقعیت مکانی مناسب در شبکه پیزومتری هستند، تعیین و سپس نقشه تیسن که هیدروگراف معرف بر مبنای آن محاسبه و ترسیم شده است، رسم گردید.

از مجموع ۲۴ حلقه پیزومتر در محدوده آبخوان تعداد ۵ حلقه آن‌ها از لحاظ محدوده آماری و موقعیت قرارگیری در شبکه پیزومتری شرایط لازم را دارا نبوده و لذا در ترسیم هیدروگراف واحد و نقشه تیسن مورد استفاده قرار نگرفته است. هیدروگراف واحد محدوده آبخوان هرات در فاصله زمانی مه‌ماه ۱۳۶۸ تا بهمن ماه ۱۳۹۳ برای مساحت آبخوان معادل ۵۰۳ کیلومتر مربع تهیه شده که در شکل (۴-۶) نمایش داده شده است.



شکل ۴-۶ هیدروگراف معرف آبخوان هرات

ویژگی بارز هیدروگراف معرف آبخوان روند نزولی آن می‌باشد که نشان‌دهنده پایین رفتن سطح آب زیرزمینی آبخوان هرات با گذشت زمان است. بر این اساس میزان افت سطح آب در طول مهر ماه ۱۳۶۸ تا بهمن ۱۳۹۳ معادل ۱۲/۷۱ متر بوده است که متوسط افت سالانه آن ۵۰ سانتی‌متر می‌باشد.

فصل چهارم: تخمین تغذیه به آبخوان هرات

در هیدروگراف معرف آبخوان هرات ۲ روند مشخص در سطح ایستابی مشاهده می‌شود. روند نزولی اولیه از ابتدای دوره آماری شروع شده و تا اواخر سال ۱۳۸۲ ادامه می‌یابد. در این دوره ۱۵ ساله، مقدار افت برابر $۶/۸۵$ متر بوده و متوسط افت ۴۵ سانتی‌متر در سال می‌باشد.

روند نزولی دوم در هیدروگراف معرف از سال ۱۳۸۳ شروع شده که تا انتهای دوره آماری ادامه می‌یابد. نرخ افت سطح ایستابی در این دوره افزایش یافته به طوری که افت از مهر ماه سال ۸۳ تا بهمن ماه ۱۳۹۳ $۵/۸۶$ متر در طول ۱۰ سال بوده که معادل ۵۸ سانتی‌متر افت در سال می‌باشد.

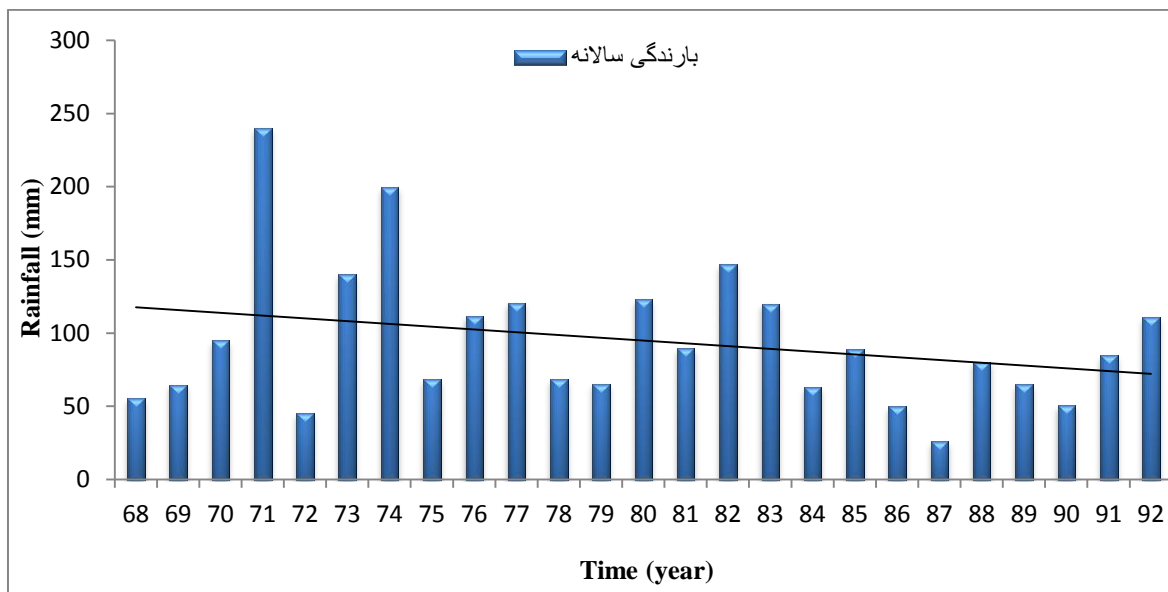
برای بررسی این نوسانات در آبخوان هرات عوامل مؤثر بر آنها که شامل بارش، دما و برداشت از منابع آب زیرزمینی می‌باشد در زیر بررسی شده است.

۴-۳-۱- بررسی رابطه تغییرات سطح ایستابی و بارش

به منظور بررسی رابطه تغییرات سطح ایستابی و بارش ابتدا هیستوگرام بارش در طول سال‌های آماری ۱۳۶۸-۹۳ ترسیم و بررسی گردید (شکل ۴-۷). این نمودار نشان می‌دهد که روند بارندگی در طول این دوره آماری تقریباً با شیب کمی نزولی بوده است.

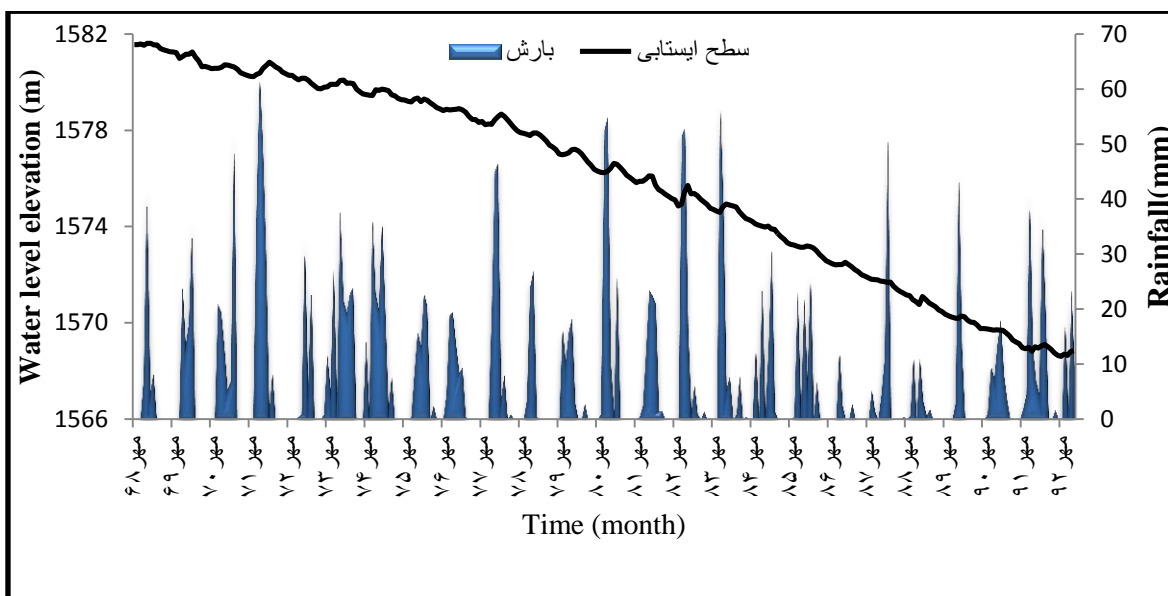
پراکندگی بارش‌ها در طول سال در شکل (۴-۸) ترسیم شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود مقدار بارش از سال ۱۳۸۲ به بعد کاهش محسوسی داشته است. همچنین پراکندگی بارش افزایش یافته و به تبع آن بارش مؤثر نیز کاهش یافته است. بررسی سری زمانی نشان می‌دهد بعضی از ماه‌ها که قبلاً دارای آمار بارندگی بوده‌اند از سال ۸۳ به بعد فاقد بارندگی شده و به تدریج از میزان بارش‌های زیاد که سبب تغییرات شاخص در سطح ایستابی می‌گردند کاسته شده است.

فصل چهارم: تخمین تغذیه به آبخوان هرات



شکل ۴-۷ هیستوگرام بارش آبخوان هرات

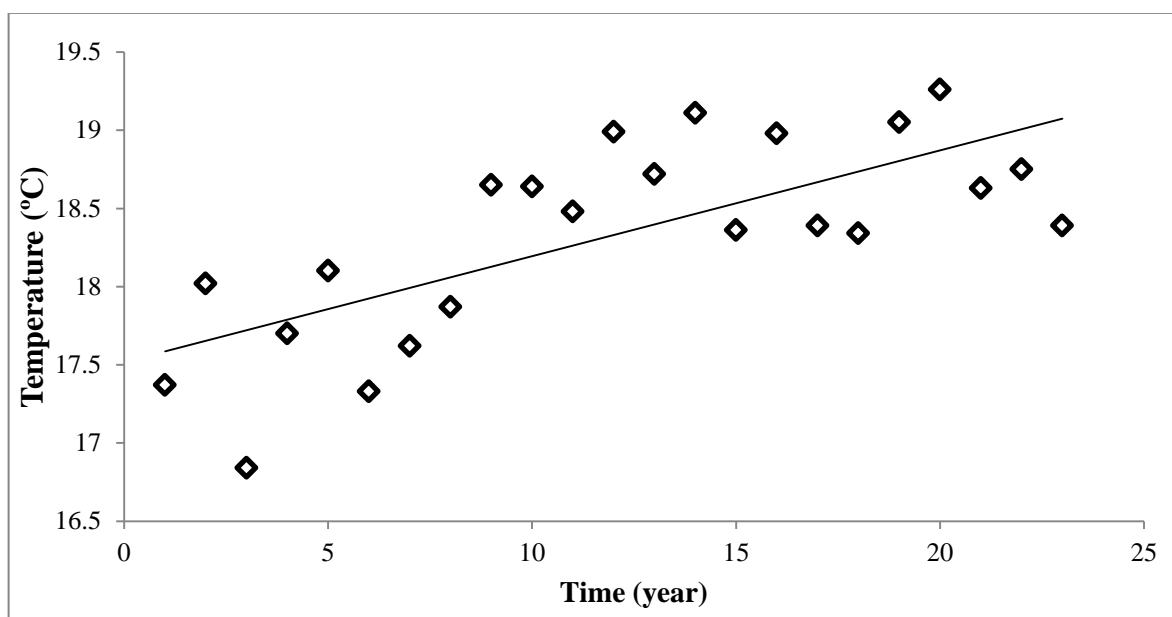
برای بررسی نوسانات سطح ایستابی متأثر از بارش، هیدروگراف معرف آبخوان نیز به همراه بارش بررسی گردید (شکل ۴-۸). همانطور که مشاهده می‌شود سطح ایستابی آبخوان از سال ۸۳ به بعد روند نزولی کاملاً مشخصی داشته که با کاهش بارندگی از این سال به بعد تطابق دارد.



شکل ۴-۸ هیستوگرام بارش و تغییرات سطح ایستابی آبخوان هرات

۴-۳-۲- بررسی رابطه تغییرات سطح ایستابی و دما

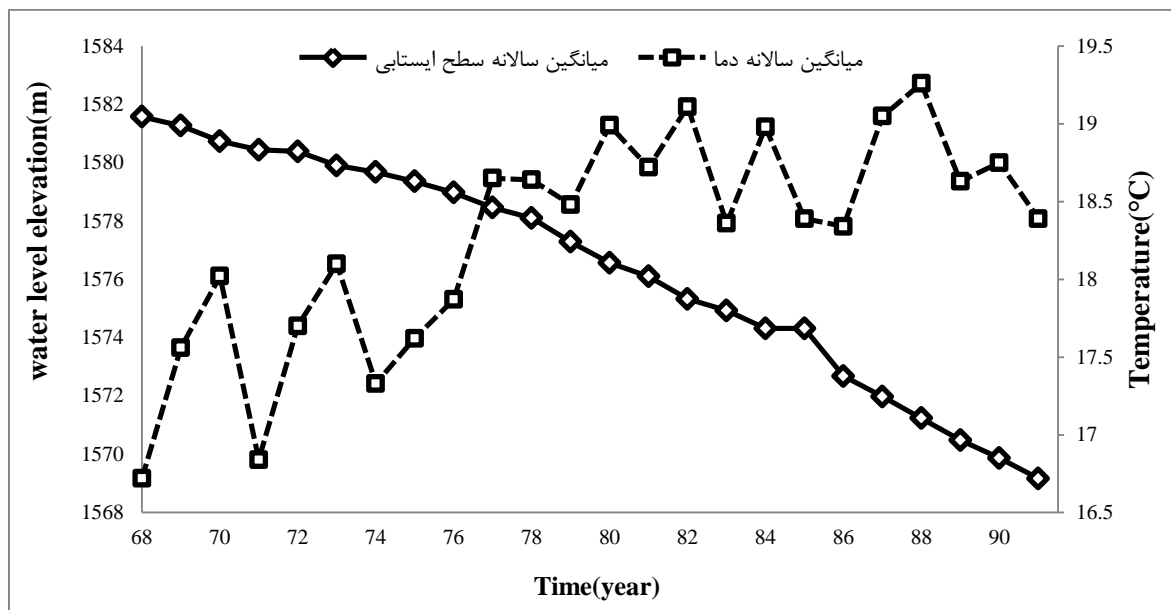
تغییرات زمانی دمای متوسط سالانه در شکل (۴-۹) ترسیم شده است. همانطور که مشاهده می‌شود دمای متوسط سالانه دارای روند صعودی بوده و به صورت مشخصی در طول دوره آماری افزایش یافته است.



شکل ۴-۹ تغییرات دمای متوسط سالانه آبخوان هرات (عدد صفر نشان‌دهنده مهر ۶۸ می‌باشد)

نوسانات سالانه سطح ایستابی به همراه نمودار دمای متوسط سالانه در شکل (۴-۱۰) بررسی شده است. همانطور که در نمودار قابل مشاهده است از اوایل دهه ۸۰ دمای هوا به صورت واضحی افزایش یافته و این افزایش از سال ۸۶ به بعد مشخص‌تر می‌باشد.

افزایش میانگین دمای سالانه باعث افزایش تبخیر از بارندگی شده و می‌تواند عاملی در جهت ایجاد شیب نزولی در سطح ایستابی آبخوان هرات باشد. کاهش شیب سطح آب زیرزمینی در آبخوان هرات با افزایش دما تقریباً مطابقت دارد (شکل ۴-۱۰).



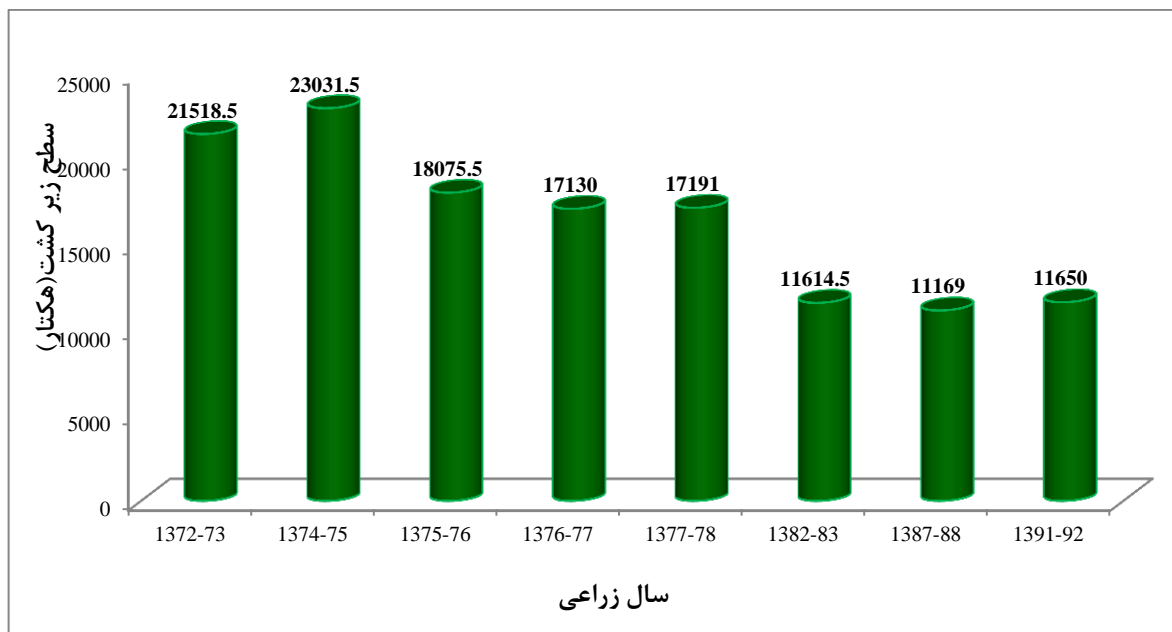
شکل ۴-۱۰ میانگین سالانه سطح ایستابی همراه با میانگین دما

۳-۳-۴- بررسی رابطه تغییرات سطح ایستابی با برداشت از منابع آب زیرزمینی

اصلی‌ترین فعالیت اقتصادی مردم هرات، کشاورزی می‌باشد. با توجه به اهمیت اساسی میزان آب مصرفی جهت کشاورزی و با توجه به اینکه اصلی‌ترین منبع مصرف آب برای کشاورزی از منابع آب زیرزمینی می‌باشد، در این قسمت نقش برداشت از منابع آب زیرزمینی در نوسانات سطح ایستابی مورد بررسی قرار گرفته است.

با توجه به شکل ۴-۱۱ مقدار سطح زیر کشت در آبخوان هرات، از سال ۱۳۷۴ رو به کاهش بوده به طوریکه سطح زیر کشت از ۲۳۰۳۱/۵ هکتار در سال ۱۳۷۴ به ۱۷۱۹۱ هکتار در سال ۱۳۷۸ و سپس ۱۱۶۵۰ هکتار در سال ۱۳۹۱ کاهش یافته است. افت سطح آب زیرزمینی می‌تواند یکی از دلایل کاهش در سطح زیر کشت باشد.

فصل چهارم: تخمین تغذیه به آبخوان هرات



شکل ۴-۱۱ سطح زیر کشت آبخوان هرات در سال‌های مختلف

اطلاعات مربوط به چاه‌ها و قنات‌ها محدوده آبخوان هرات بر اساس آماربرداری در سال‌های ۱۳۷۴، ۱۳۸۲ و ۱۳۸۸ در جدول (۳-۴) مورد بررسی قرار گرفت. در جدول ۳-۴ مشاهده می‌شود تعداد کل چاه‌ها بین سال‌های ۱۳۷۴، ۱۳۸۲ و ۱۳۸۸ افزایش یافته به نحوی که تعداد کل چاه‌ها از ۱۲۳ حلقه در سال ۱۳۷۴ به ۱۹۱ حلقه در سال ۱۳۸۸ و تعداد کل چاه‌های کشاورزی از ۱۰۸ حلقه در سال ۱۳۷۴ به ۱۳۴ حلقه در سال ۱۳۸۸ افزایش یافته است.

در فاصله زمانی سال‌های ۸۲-۱۳۷۴ با توجه به افزایش تعداد چاه‌ها، مقدار آبدهی چاه‌ها و همچنین ساعت کارکرد آن‌ها ثابت بوده است. از سال ۱۳۸۳ به بعد تعداد کل چاه‌های حفر شده در آبخوان هرات زیاد شده است و تعداد آن به ۱۹۱ حلقه در سال ۱۳۸۸ رسیده ولی از سویی دیگر چاهی به منظور فعالیت کشاورزی حفر نشده و حتی از تعداد آن‌ها کم شده به طوری که تعداد کل چاه کشاورزی از ۱۳۹ حلقه در سال ۱۳۸۲ به ۱۳۴ حلقه در سال ۱۳۸۸ کاهش یافته است.

فصل چهارم: تخمین تغذیه به آبخوان هرات

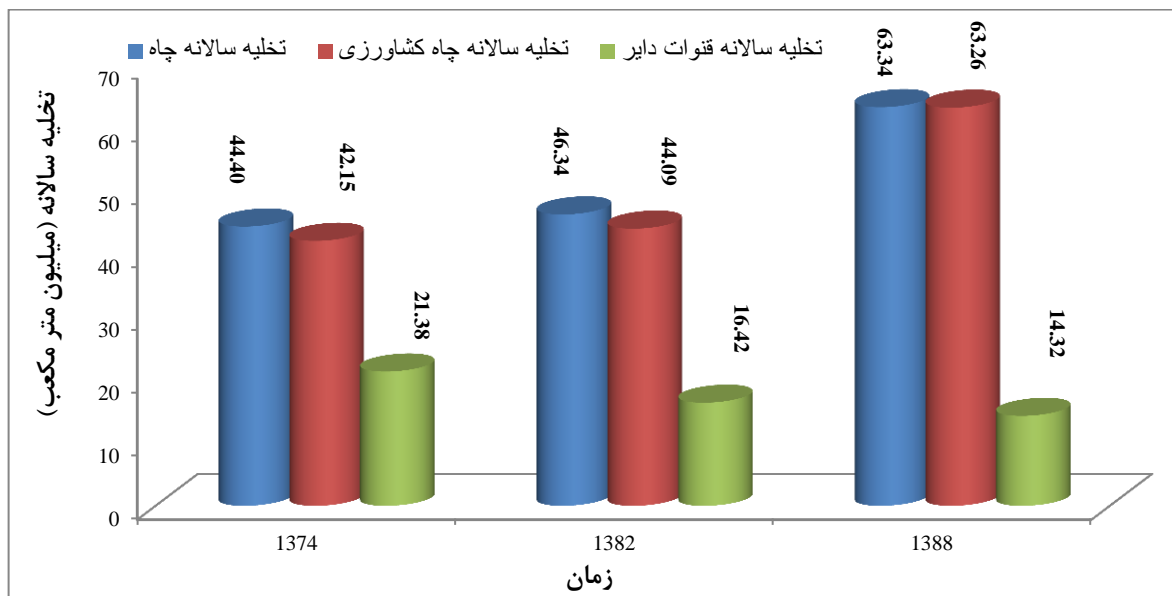
جدول ۳-۴ خلاصه مشخصات چاه‌ها و قنوت محدودده آبخوان هرات در سال‌های ۱۳۸۲، ۱۳۷۴ و ۱۳۸۸

پارامتر	سال ۱۳۷۴	سال ۱۳۸۲	سال ۱۳۸۸
تعداد کل چاه (حلقه)	۱۲۳	۱۵۴	۱۹۱
تخلیه سالانه کل چاه (MCM)	۴۴/۴۰	۴۶/۳۴	۶۳/۳۴
مجموع آبدهی کل چاه (lit/s)	۲۱۱۸	۲۱۱۱	۲۱۹۹
متوسط ساعت کارکرد چاه در سال	۶۸۳۵	۶۶۷۷	۷۲۲۳
تعداد کل چاه کشاورزی (حلقه)	۱۰۸	۱۳۹	۱۳۴
تخلیه سالانه چاه کشاورزی (MCM)	۴۲/۱۵	۴۴/۰۹	۶۳/۲۶
تعداد قنات‌ها دایر (رشته)	۳۸	۲۹	۲۴
تخلیه سالانه قنات‌ها دایر (MCM)	۲۱/۳۸	۱۶/۴۲	۱۴/۳۲

ساعت کارکرد چاه‌ها از ۶۶۷۷ ساعت در سال ۱۳۸۲ به ۷۲۲۳ ساعت در سال ۱۳۸۸ افزایش پیدا کرده است. با توجه به شکل ۴-۱۲ مقدار تخلیه از آبخوان برای فعالیت‌های کشاورزی از ۴۴/۰۹ میلیون مترمکعب در سال ۱۳۸۲ به ۶۳/۲۶ میلیون مترمکعب در سال ۱۳۸۸ افزایش یافته است.

فصل چهارم: تخمین تغذیه به آبخوان هرات

این عامل روی مقدار تخلیه از قنات‌ها تأثیر گذاشته و مقدار تخلیه از قنات‌ها واقع در آبخوان هرات از ۱۶/۴۲ میلیون مترمکعب در سال ۱۳۸۲ به ۱۴/۳۲ میلیون مترمکعب در سال ۱۳۸۸ کاهش یافته تعداد قنات‌های آبخوان از ۲۹ رشته در سال ۱۳۸۲ به ۲۴ رشته در سال ۱۳۸۸ رسیده است.



شکل ۴-۱۲ تخلیه سالانه از آبخوان هرات

یکی از دلایلی که می‌توان برای این تغییرات بیان کرد افزایش دما و به دنبال آن افزایش تبخیر می‌باشد. افزایش دما باعث افزایش تعرق از گیاهان شده و در نتیجه دفعات آبیاری محصولات کشاورزی را زیاد کرده است.

همانطور که قبلاً ذکر شد مقدار و پراکندگی بارش و همچنین بارش مؤثر بعد از سال ۱۳۸۳ کاهش داشته است، به همین دلیل و با توجه اینکه دبی برداشت تغییر چندانی نداشته است، مقدار ساعت کارکرد چاه‌ها زیاد شده است و به تبع آن مقدار تخلیه افزایش یافته است. این عامل می‌تواند فاکتور اصلی در افزایش شیب هیدروگراف از سال ۱۳۸۴ به بعد معرفی گردد.

۴-۴- ارتباط نوسان سطح ایستابی با بارش با استفاده از آنالیز سری زمانی

سری زمانی واژه‌ای معمول در مطالعات هیدرولوژیکی بوده و به طور ساده عبارت از تغییرات یک متغیر هیدرولوژیک وابسته به زمان می‌باشد. تحلیل سری زمانی با داده‌هایی که وابسته به زمان می‌باشد انجام می‌شود. سری‌های زمانی به دو دسته پیوسته (دائمی) مثل جریان در یک رودخانه یا ناپیوسته (گسسته) مانند بارندگی تقسیم می‌شود. در این بررسی آنالیز سری‌های زمانی بارش و سطح ایستابی با استفاده از دو نرم افزار ITSM و SPSS و به منظور شناخت ارتباط آن‌ها بررسی شده است.

۴-۴-۱- آنالیز سری زمانی یگانه

به طور کلی یک سری زمانی دارای پنج مؤلفه می‌باشد که تمام یا برخی از آنها ممکن است در سری زمانی وجود داشته باشد. این مؤلفه‌ها شامل روند، تناوب، سیکل، تغییر ضمنی و نوسانات تصادفی می‌باشد.

آنالیز سری زمانی یگانه بر روی داده‌های ماهانه سطح آب زیرزمینی در ۱۳ چاه مشاهده‌ای و داده‌های بارش به صورت جداگانه انجام شده است. هدف از انجام این آنالیز جدا نمودن مؤلفه‌های تعینی (روند و تناوب) و تبدیل آن‌ها به مؤلفه‌های تصادفی می‌باشد.

بدین منظور از دو روش تابع خود همبستگی و تابع چگالی طیفی استفاده می‌گردد.

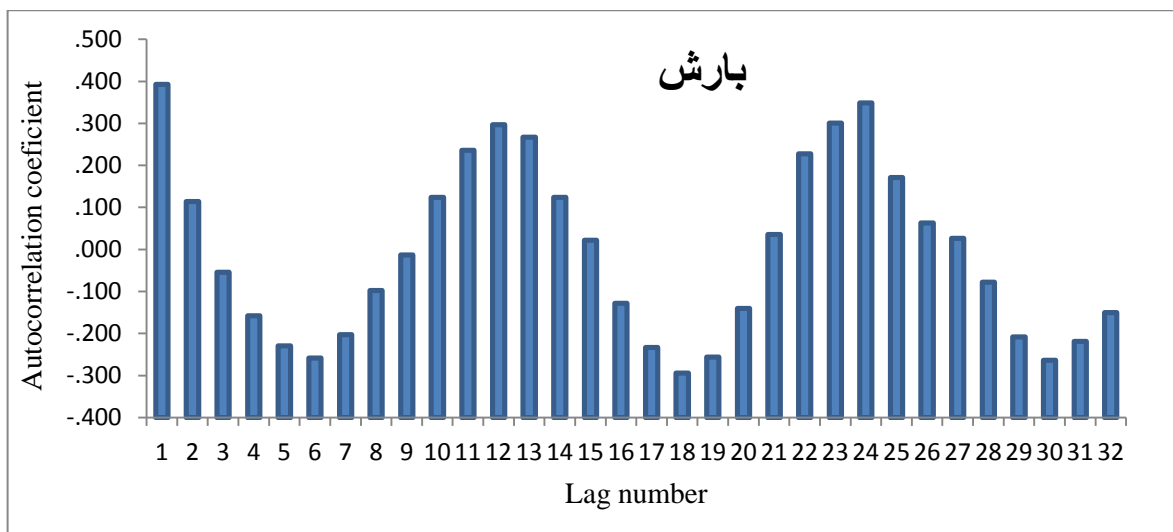
۴-۴-۱-۱- تابع خود همبستگی (Autocorrelation)

خودهمبستگی توسط ضریب خودهمبستگی که ضریب سریال همبستگی نیز نامیده می‌شود تعیین می‌شود. ضرایب خودهمبستگی برای تأخیرهای گوناگون محاسبه می‌گردد. سپس روی یک منحنی به نام همبستگی نگار یا اتوکرلوگرام رسم می‌شود. اگر با توجه به گذشته سری‌های زمانی نوعی قابلیت پیش‌بینی برای مقادیر کنونی وجود داشته باشد سری زمانی خودهمبسته یا پایا نامیده می‌شود. ولی

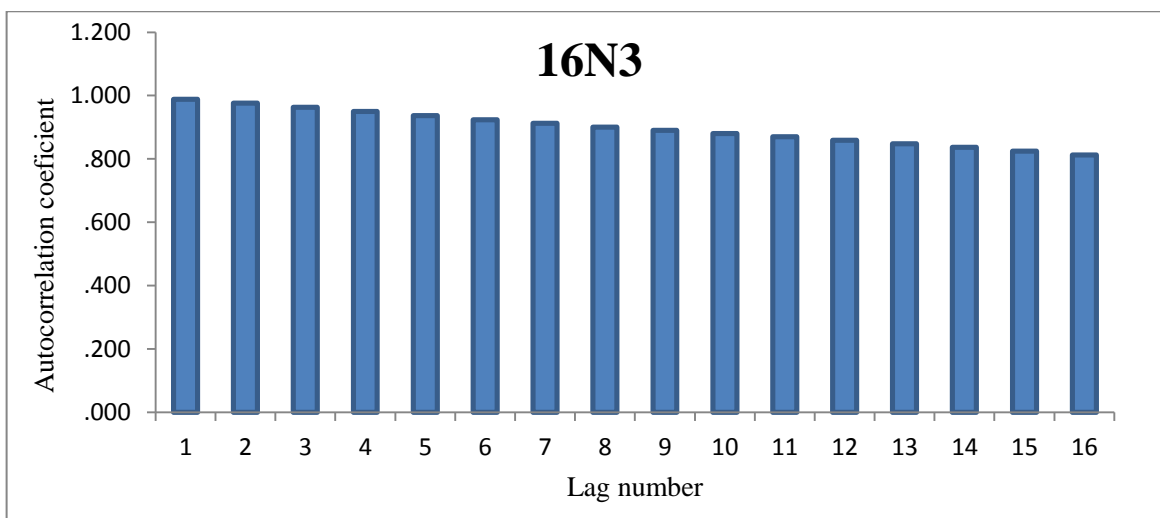
فصل چهارم: تخمین تغذیه به آبخوان هرات

اگر سری‌های زمانی خودهمبستگی نداشته باشد مستقل نامیده می‌شود. این آنالیز به منظور تشخیص روند و تناوب در داده‌ها انجام می‌گردد.

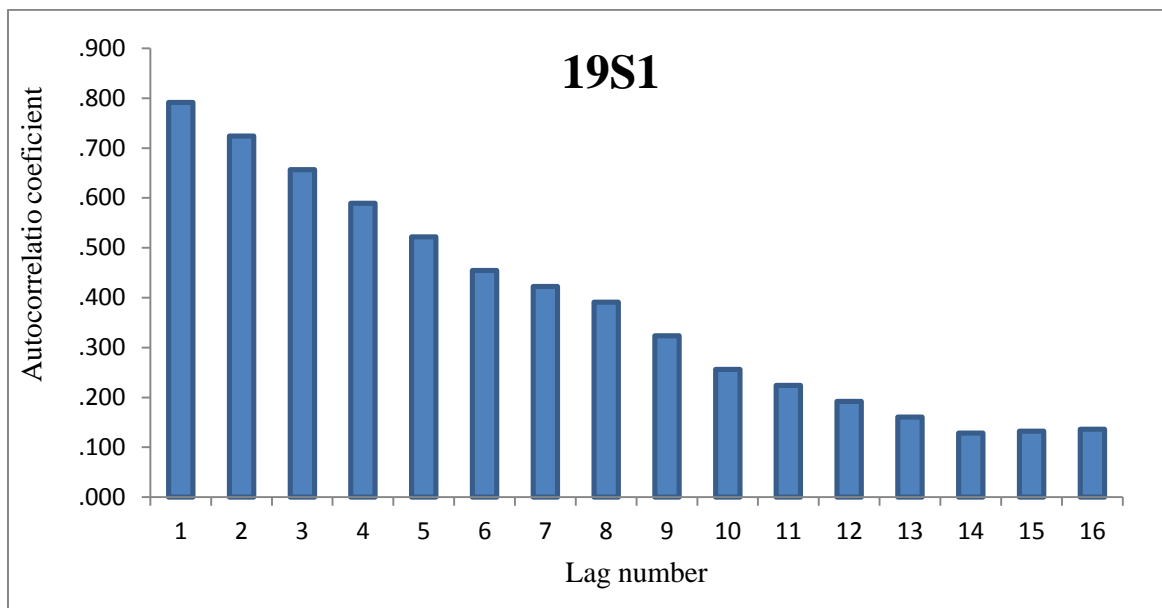
همانطور که در شکل ۴-۱۳ و شکل ۴-۱۴ و شکل ۴-۱۵ مشاهده می‌شود سری زمانی بارش و تغییرات سطح ایستابی در دو پیزومتر 19S1 و 16N3 دارای روند و تناوب فصلی می‌باشد که به منظور تصادفی کردن داده‌ها روند و تناوب حذف گردید که نتایج آن‌ها در شکل (۴-۱۶) و شکل (۴-۱۷) ملاحظه می‌گردد.



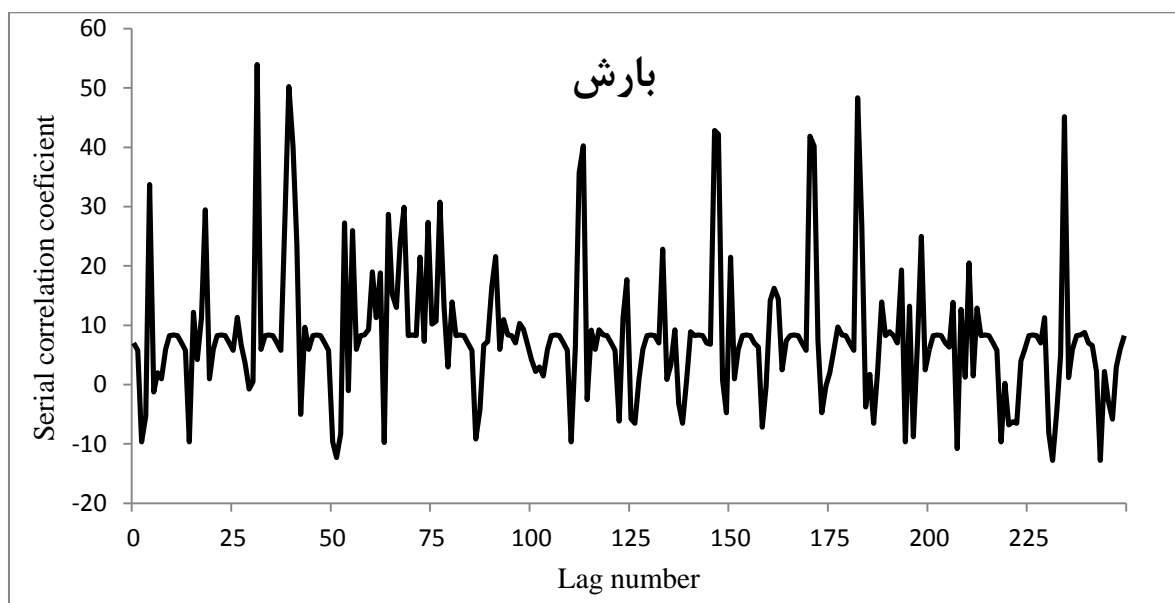
شکل ۴-۱۳ تابع خود همبستگی بارش



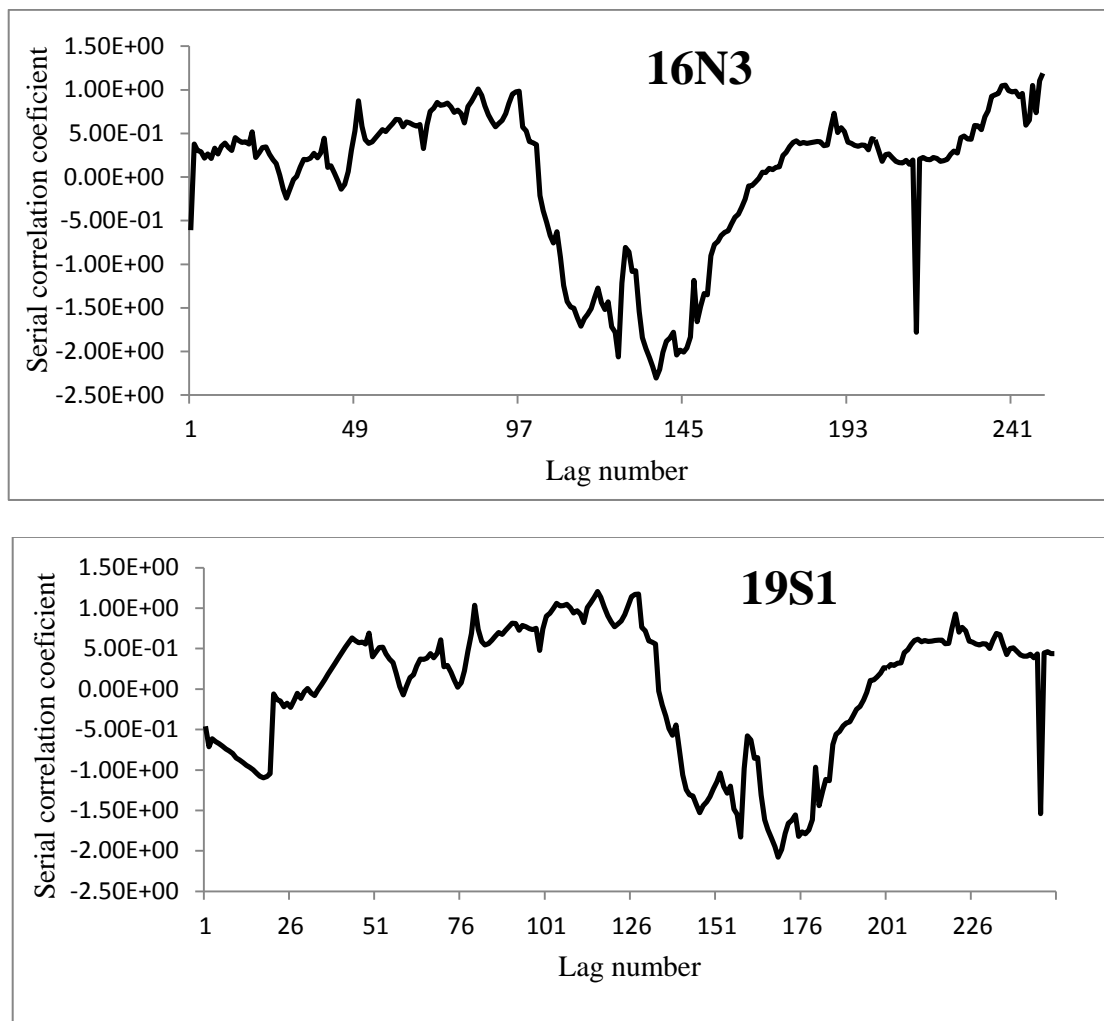
شکل ۴-۱۴ تابع خود همبستگی پیزومتر 16N3



شکل ۴-۱۵ تابع خود همبستگی پیزومتر 19S1



شکل ۴-۱۶ کرلوگرام بارش



شکل ۴-۱۷ کرلوگرام پیزومتر 16N3 و 19S1

۴-۱-۴-۲ تابع چگالی طیفی

این روش نیز می‌تواند جهت تشخیص مؤلفه‌های تناوبی در سری استفاده گردد که ترسیمی از چگالی طیفی در برابر فراوانی می‌باشد. اگر سری دارای مؤلفه‌ی تناوبی باشد در نمودار به صورت پیک‌های بلند و مشخصی دیده می‌شود. طبق رابطه ذیل که بین تناوب و فرکانس برقرار می‌باشد، می‌توان

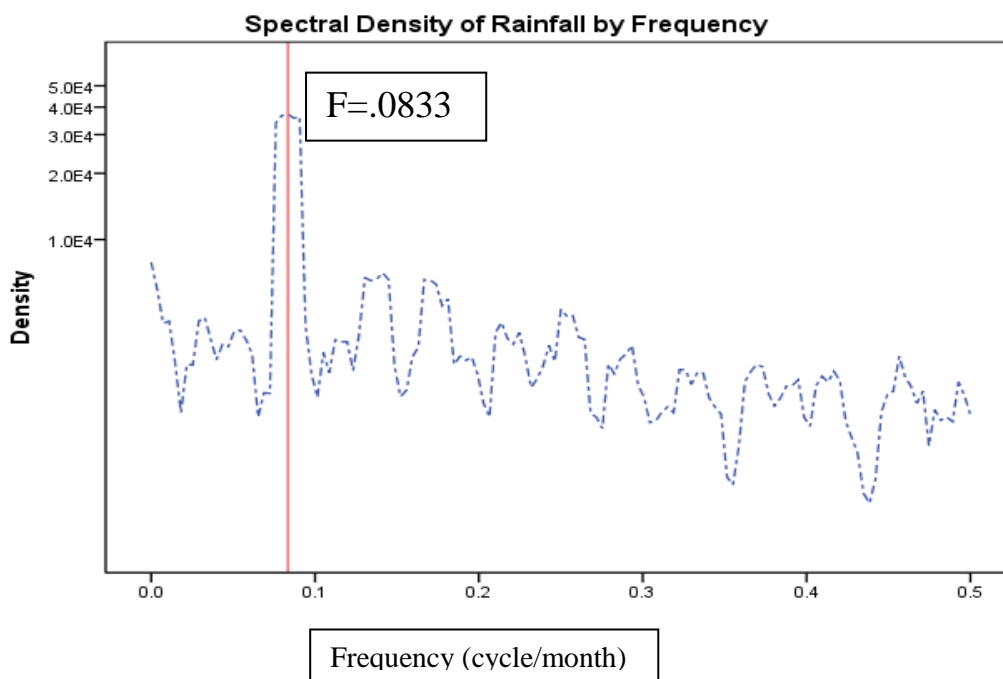
$$T = \frac{1}{F}$$

تناوب را در سری محاسبه کرد.

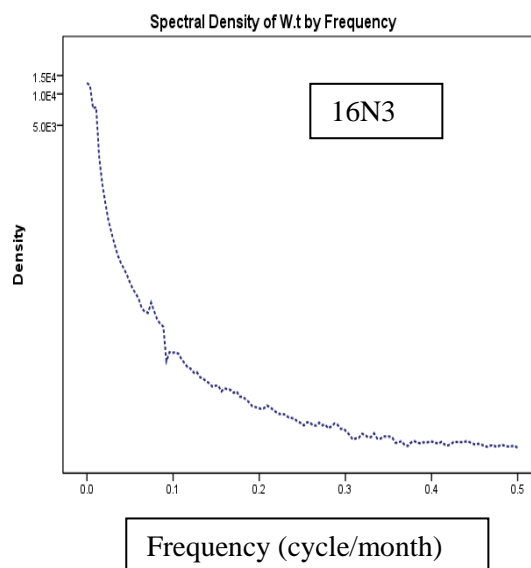
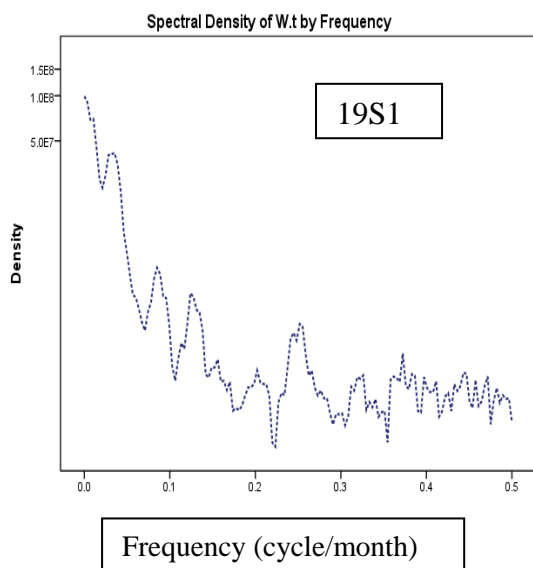
همانطور که ملاحظه می‌شود یک پیک مشخص در شکل ۴-۱۸ دیده می‌شود که در فرکانس $F=0.0833$ می‌باشد. طبق رابطه فوق داده‌های بارش دارای مؤلفه تناوبی ۱۲ ماهه می‌باشند. در

فصل چهارم: تخمین تغذیه به آبخوان هرات

شکل ۴-۱۹ که مربوط به پیزومترهای 19S1 و 16N3 می‌باشد هیچگونه تناوبی یافت نشد و تنها دارای روند می‌باشند.



شکل ۴-۱۸ تابع چگالی طیفی بارش



شکل ۴-۱۹ تابع چگالی پیزومتر 19S1 و 16N3

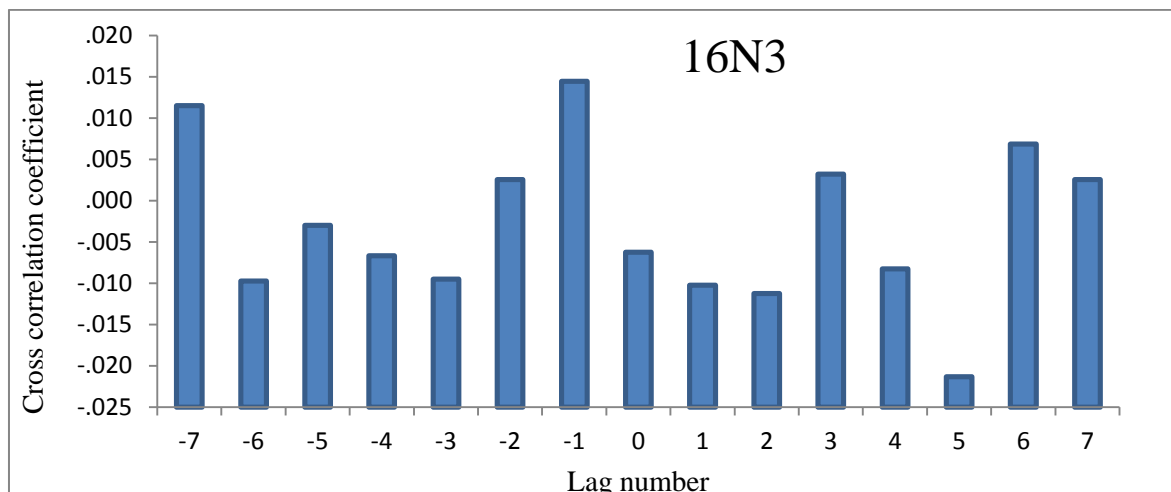
۴-۴-۲- آنالیز سری زمانی دوگانه

سری زمانی دوگانه از ترکیب دو پارامتر تشکیل می‌شود. در این تحقیق از پارامتر بارش و سطح آب زیرزمینی استفاده می‌گردد که توسط نرم‌افزار SPSS مورد تحلیل قرار می‌گیرد. جهت تعیین چگونگی ارتباط یا عدم ارتباط دو سری زمانی از توابع همبستگی متقابل و طیف متقابل استفاده می‌شود.

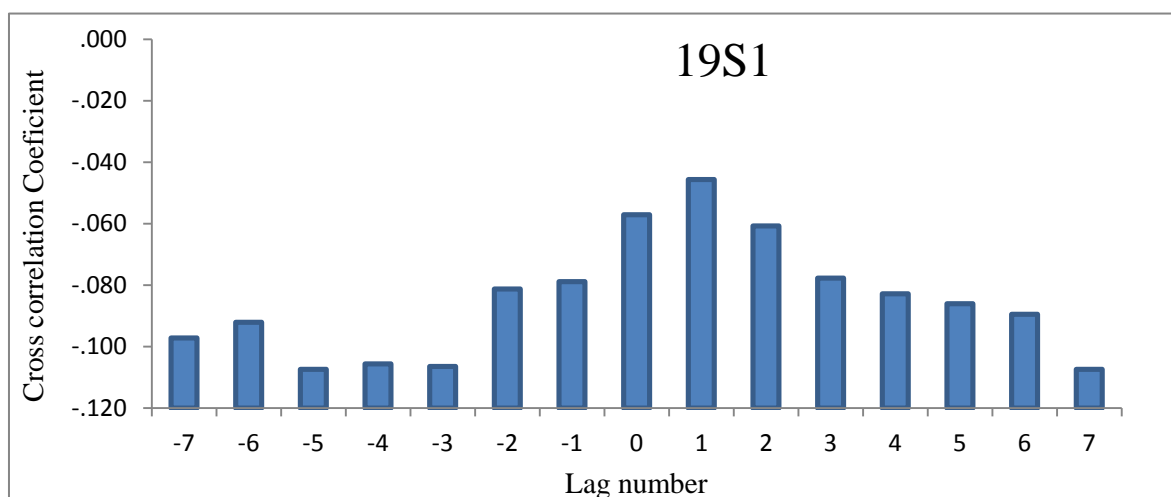
۴-۴-۲-۱- تابع همبستگی متقابل (Cross Correlation Function)

در همبستگی متقابل سطح ایستابی با سری Y و بارندگی با سری‌های X مشخص می‌شود. سطح ایستابی متغیر وابسته است (این متغیر تحت تأثیر متغیر بارندگی است) و نسبت به آن تأخیر دارد. وابستگی زمانی بین دو سری توسط محاسبه ضرایب همبستگی متقابل برای تأخیرهای گوناگون و رسم کراس کرلوگرام مربوط به آن مورد تحلیل قرار می‌گیرد. در صورت عدم هم زمانی پیک نوسانات دو سری، ماکزیمم همبستگی در یکی از تأخیرهای مثبت یا منفی اتفاق می‌افتد که میزان آن نشان دهنده میزان تقدم و تأخر این پیک در دو سری می‌باشد.

به عنوان مثال در نمودار تابع همبستگی متقابل پیزومتر 16N3 (شکل ۴-۲۰) و 19S1 (شکل ۴-۲۱)، بیشترین مقدار همبستگی برای پیزومتر 19S1 در تأخیر ۱ تا ۲ ماه و پیزومتر 16N3 در ۱- مشاهده شده است. بنابراین یک تأخیر ۱ تا ۲ ماهه بین سطح ایستابی و بارش در پیزومتر 19S1 وجود دارد و همچنین رابطه‌ای بین سطح ایستابی و بارش در پیزومتر 16N3 مشاهده نمی‌گردد.



شکل ۴-۲۰ تابع همبستگی متقابل پیزومتر 16N3



شکل ۴-۲۱ تابع همبستگی متقابل پیزومتر 19S1

۴-۲-۲-۴-۴ تابع طیف متقابل (Cross Spectrum Function)

توابع مختلفی از Cross spectrum بدست می‌آید که Phase Spectra و Coherence در این بررسی مورد استفاده قرار می‌گیرد که با استفاده از نرم افزار SPSS تهیه و مورد تفسیر قرار گرفته است. در تابع تطابق (Coherency)، مقدار Coherence بین یک و صفر قرار می‌گیرد، هر چه Coherence به یک نزدیک تر باشد، دو سری در فرکانس ارتباط نزدیکتری دارند (به هم وابسته ترند). البته عدد صفر نشان می‌دهد که دو سری مستقل می‌باشند. Phase Spectra، تأخیر زمانی بین دو سری را تعیین

فصل چهارم: تخمین تغذیه به آبخوان هرات

می‌کند. به این صورت که بر روی نمودار، فراوانی در Coherence ماکزیمم فاز بین دو سری را به ما

می‌دهد، از طریق رابطه زیر می‌توان تأخیر بین دو سری را تعیین نمود.

$$K = \frac{P}{2\pi f}$$

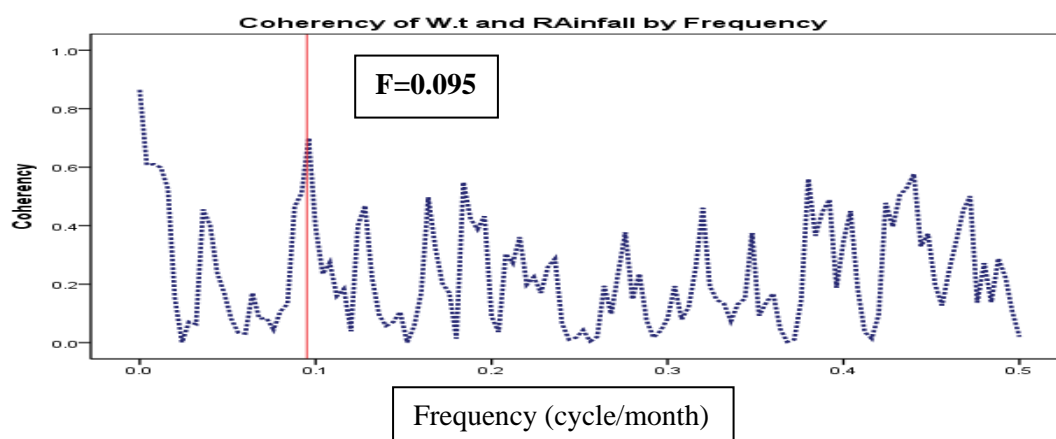
برای مثال میزان فرکانس در تطابق ماکزیمم برای پیژومتر 19S1 معادل ۰/۰۹۵ محاسبه شد (شکل ۴-۲۲).

فاز متناظر این فرکانس در نمودار فاز قرائت گردید که مقدار آن ۱/۱ می‌باشد (شکل ۴-۲۳).

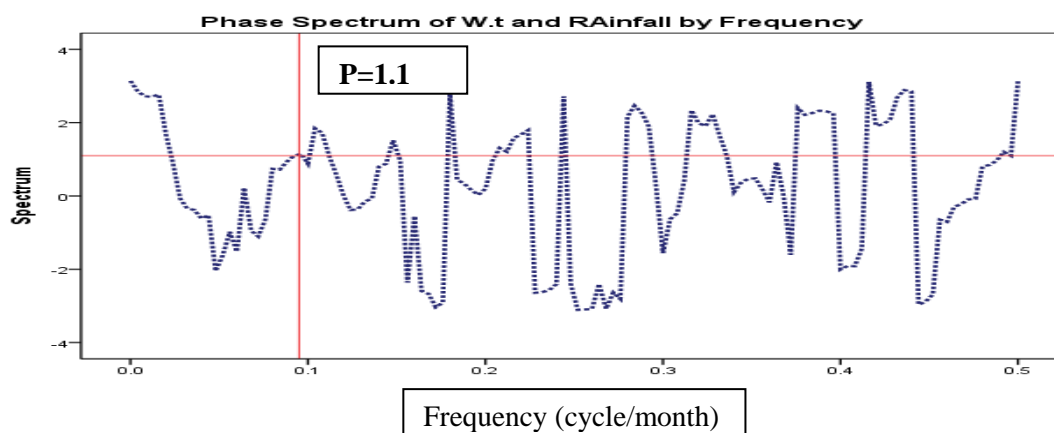
طبق فرمول بالا میزان تأخیر محاسبه شده ۱/۸۶ ماه می‌باشد که مشابه تأخیری است که از تابع

همبستگی متقابل بدست آمد. همچنین میزان تأخیر محاسبه شده برای پیژومتر 16N3 مقدار ۰/۵۵-

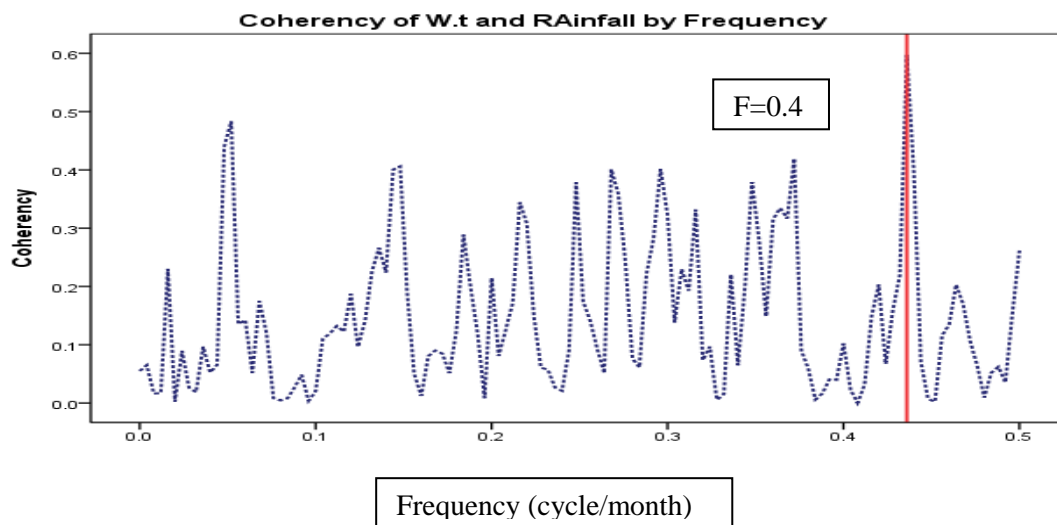
محاسبه گردید (شکل های ۴-۲۴ و ۴-۲۵).



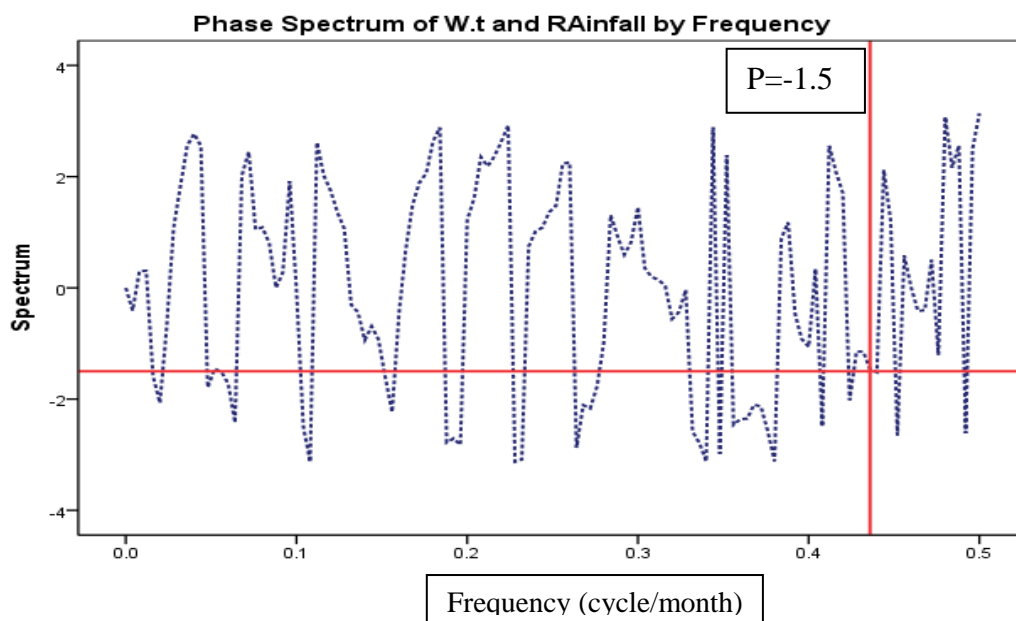
شکل ۴-۲۲ تابع تطابق 19S1



شکل ۴-۲۳ تابع فاز پیژومتر 19S1



شکل ۴-۲۴ تابع تطابق پیزومتر 16N3



شکل ۴-۲۵ تابع فاز پیزومتر 16N3

شرح نتایج تحلیل آماری بدست آمده در پیزومترهای مورد مطالعه در آبخوان هرات در جدول (۴-۴) آورده شده است. پیزومترها با عمق‌های مختلف در یک دشت رفتار متفاوتی با یک نوع تنش ورودی (بارش) نشان می‌دهند.

فصل چهارم: تخمین تغذیه به آبخوان هرات

در بررسی ارتباط بارش و سطح آب زیرزمینی تأخیرهای متفاوتی در پیزومترهای مختلف محاسبه شد. این موضوع به دلیل مکانیسم‌های متفاوت تغذیه از طریق خاک یا طول مسیر جریان از زون خاک تا سطح آب زیرزمینی می‌باشد.

با توجه به نتایج تحلیل سری‌های زمانی تأخیر زمانی محاسبه شده بین بارش و سطح ایستابی از ۱ تا ۵ ماه بدست آمد. این نتایج بر حسب دو روش تابع همبستگی متقابل و طیف متقابل محاسبه گردیده که نتایج حاصل از هر دو روش نزدیک به هم می‌باشد.

جدول ۴-۴ نتایج تحلیل سری زمانی

پیزومتر	تابع طیف متقابل			تابع همبستگی متقابل
18O4	۰/۰۵۶	۱/۷	۴/۸۵	۴_۵
15M3	۰/۲۹۲	۱/۲	۳/۲۶	۴_۵
18P1	۰/۱۱۸	۲	۲/۷۰	۲_۳
16O4	۰/۰۸۳	-۰/۸۸	-۱/۶۹	-۱_۲
19S1	۰/۰۹۵	۱/۱	۱/۸۶	۱_۲
17N5	۰/۴۱۶	۲/۸	۱/۰۶	۱_۲
15P1	۰/۱۹۶	-۲/۹	-۲/۳۳	-۲_۳
18S1	۰/۰۹۶	۰/۵	۰/۸۳	۱_۲
16N3	۰/۴۳۶	-۱/۵	-۰/۵۵	-۱
18R4	۰/۰۸۳	۲/۰۷	۳/۹۸	۳
15R4	۰/۱۲۸	۲/۴۵	۳/۱	۳_۴
17R1	۰/۰۴۸	۰/۷	۲/۳۳	۲_۳
17O26	۰/۰۸۳	۲/۲	۴/۲۳	۳_۴

فصل چهارم: تخمین تغذیه به آبخوان هرات

تأخیرهای نزدیک به هم نشان‌دهنده همسانی عوامل محیطی تولیدکننده سری‌های زمانی می‌باشد. لذا بر اساس این فرض می‌توان گفت در مناطق با تأخیرهای مشابه شرایط محیطی یکسانی بر تولید سری‌های زمانی داده‌های پیژومتری حاکم بوده است. مثلاً با توجه به نقشه زمین‌شناسی و موقعیت پیژومترها تأخیرهای زیاد (۳ تا ۵ ماه)، در پیژومترهایی دیده می‌شود که در قسمت مرکزی و شمالی آبخوان در پهنه نمکی و کویری قرار دارند. قرارگیری در پهنه نمکی و کویری باعث می‌شود سرعت نفوذ آب کم‌تر شود و مدت زمان بیشتری طول بکشد که آب حاصل از بارش به سطح ایستابی برسد. برعکس پیژومترهایی که در قسمت جنوبی و جنوب‌غربی آبخوان قرار دارند به دلیل قرار گرفتن در سازندهای دانه درشت گراولی و آبرفتی تأخیر کمتری نسبت به بارندگی نشان می‌دهند.

در تعدادی از پیژومترها تأخیر منفی مشاهده می‌شود که نشان‌دهنده عدم ارتباط بارندگی و تغییرات سطح ایستابی در آن‌ها می‌باشد. بررسی موقعیت این پیژومترها نشان می‌دهد در نزدیکی آن‌ها چندین چاه پمپاژ وجود دارد. احتمالاً تأثیر پمپاژ از چاه‌ها سبب عدم مشاهده ارتباط بارش و سطح ایستابی در این پیژومترها بوده است.

۴-۵- تخمین تغذیه به آبخوان هرات

در این بخش با استفاده از روش نوسان سطح ایستابی مقدار تغذیه به آبخوان هرات محاسبه می‌شود. برای محاسبه تغذیه با استفاده از این روش ابتدا باید مقدار آبدهی ویژه (Sy) محاسبه گردد. بعد از محاسبه مقدار آبدهی ویژه مقدار صعود در سطح ایستابی (ΔH) برای هر پیژومتر در دوره زمانی (Δt) (مثلاً یک ساله)، محاسبه و مقدار تغذیه طبق معادله زیر محاسبه می‌شود.

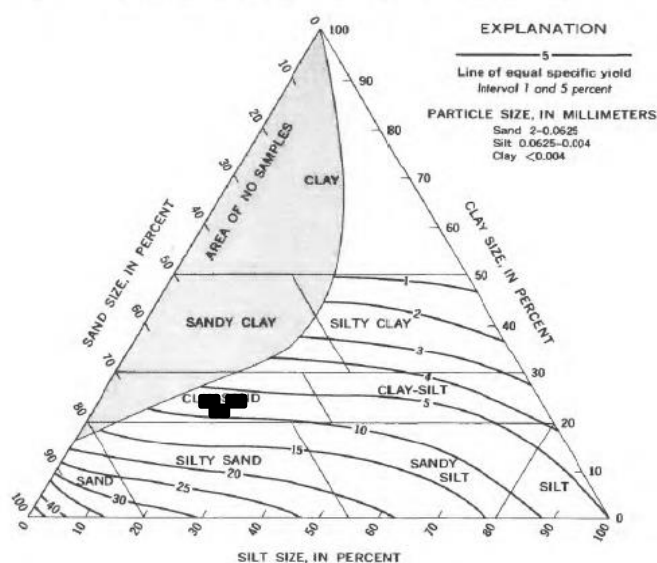
$$R = \frac{\Delta H}{\Delta t} Sy$$

۴-۵-۱- محاسبه آبدهی ویژه در آبخوان هرات

به منظور محاسبه Sy، ابتدا نتایج آزمایش پمپاژ که در محدوده آبخوان انجام شده بررسی می‌گردد. به منظور تعیین ضرایب هیدرودینامیکی محدوده آبخوان هرات و با در نظر گرفتن محدوده آبخوان، پراکندگی و نفوذپذیری انواع سازندهای موجود در منطقه، تعدادی آزمایش پمپاژ در سال ۱۳۶۸ و ۱۳۷۲ انجام شده که مشخصات و نتایج هر یک از آنها در جدول ۴-۵ ارائه شده است.

در تعدادی از این چاه‌ها بنا به دلایلی از جمله نقص فنی و یا عدم آبدهی چاه، آزمایش پمپاژ عملاً فاقد نتیجه بوده است. همانطور که در جدول ۴-۵ مشاهده می‌شود، دامنه تغییرات آبدهی ویژه اندازه‌گیری شده از حداقل ۰/۰۱ تا حداکثر ۵ درصد متغیر می‌باشد.

با توجه به محدود بودن نتایج آزمون پمپاژ و مقادیر آبدهی ویژه با توجه به دانه‌بندی آبرفت در لاگ حفاری پیرومترها نیز تخمین زده شد. با توجه به لاگ حفاری در تعدادی از پیرومترها که در محدوده آبخوان پراکنده شده‌اند، بافت غالب خاک طبق مثلث بافت ارائه شده توسط جانسون ماسه رس‌دار تعیین گردید. بر اساس شکل ۳-۲۶ مقادیر آبدهی ویژه ارائه شده توسط جانسون، مقدار آبدهی ویژه این رسوبات برابر ۷ درصد می‌باشد.



شکل ۴-۲۶ تعیین آبدهی ویژه رسوبات بر اساس نتایج لاگ حفاری (Johnson, 1967)

فصل چهارم: تخمین تغذیه به آبخوان هرات

جدول ۴-۵ آزمایش پمپاژ انجام شده در آبخوان هرات (حاسب فارس، ۱۳۸۲)

نام چاه	نوع چاه	نوع آزمایش پمپاژ	آبدهی (Lit/s)	قابلیت انتقال (m ² /day)	آبدهی ویژه (%)	ملاحظات
مهدی آباد	عمیق	افت	-	۶۳۷	-	
		برگشت	۴۸	۱۷۴	-	
چشمه ساقین	اکتشافی	-	-	-	-	فاقد آبدهی
چشمه علی	اکتشافی	افت+برگشت	۵/۵	۲۰	۰/۰۱	
صادق آباد	اکتشافی	افت+برگشت	۷/۵	۳۰۰	۲	
آزادی	اکتشافی	افت+برگشت	۳۰	۱۵۰۰	۵	
اسلامیه	اکتشافی	-	-	-	-	فاقد آبدهی
غرب قنات سفید	اکتشافی	افت+برگشت	۵۰	۱۶۰۰	۲/۳	
منبع آب هرات	اکتشافی	-	-	-	-	نقص فنی
ده زهرا	عمیق	-	-	-	-	فاقد آبدهی
مشکینی	عمیق	افت	۲۳	۲۷/۵	-	-
مزرعه فلفل	نیمه عمیق	افت	۱۵	۵۸	-	
هنرستان	عمیق	افت	۲۶	۱۳۴۹	-	
		برگشت	۲۶	۲۰۲۴	-	

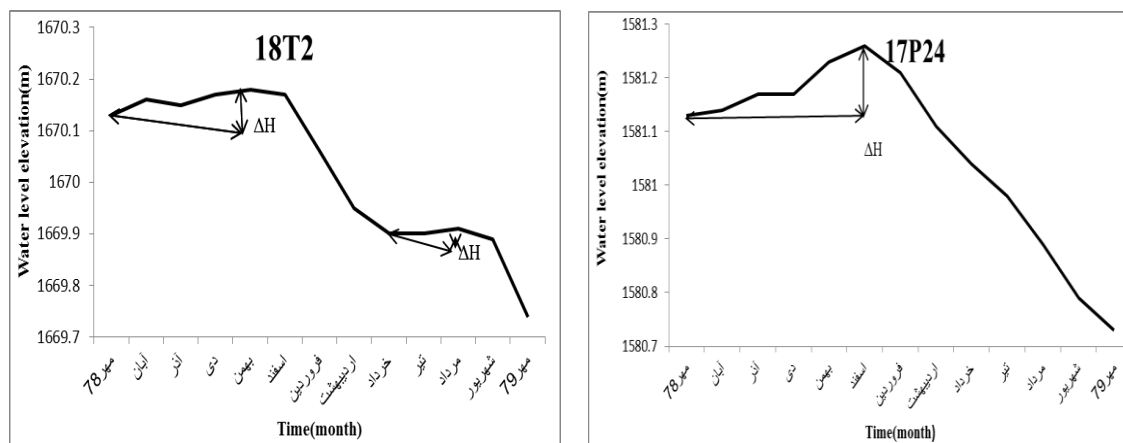
فصل چهارم: تخمین تغذیه به آبخوان هرات

۴-۵-۲- اندازه‌گیری نوسان سطح ایستابی (ΔH)

برای محاسبه ΔH ، صعود سطح ایستابی در هر یک از پیزومترها در آبخوان هرات تعیین می‌گردد. مجموع ΔH در هر یک از پیزومترها در طول بازه زمانی یک ساله (Δt) در سال‌های آبی ۸۵-۸۴ تا ۹۳-۹۲ اندازه‌گیری گردید.

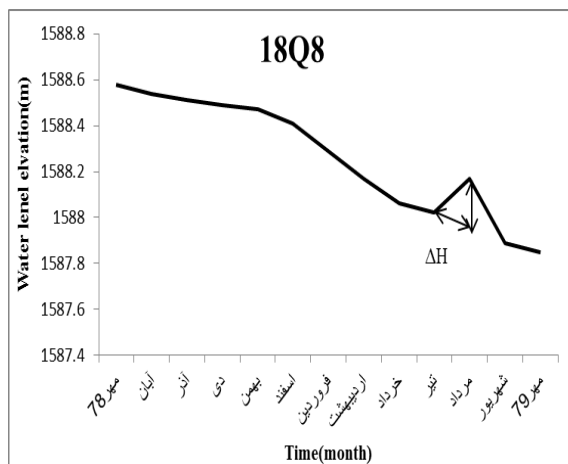
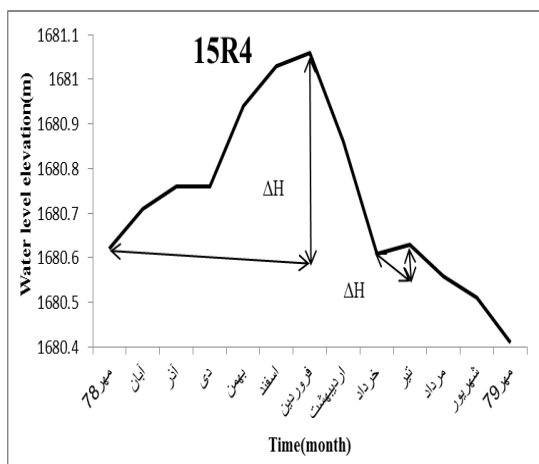
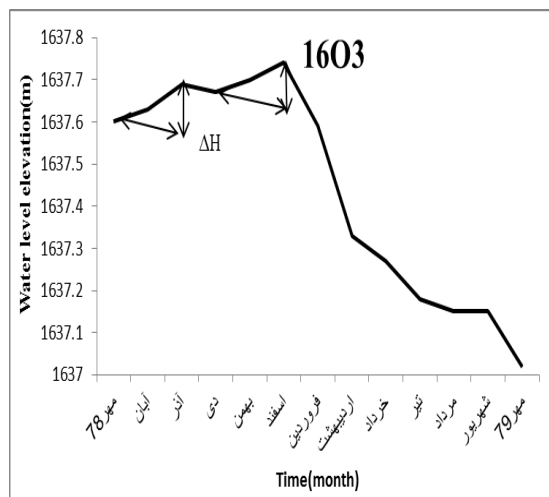
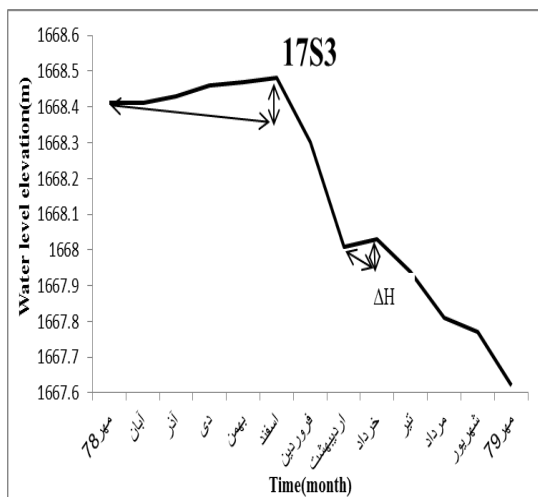
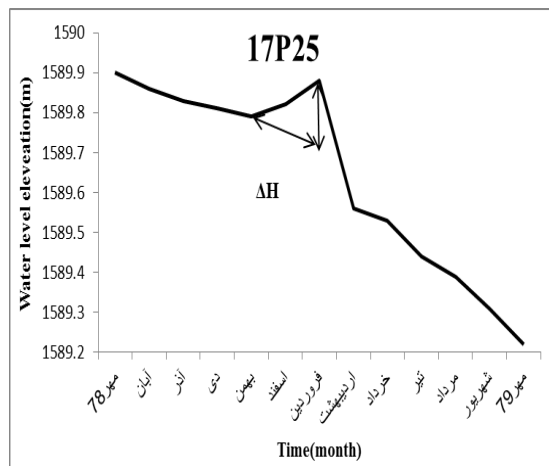
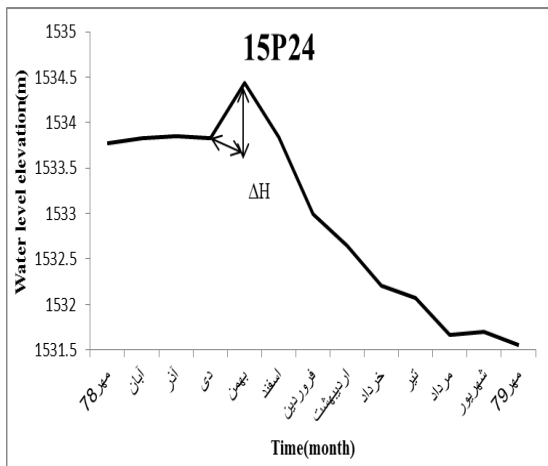
لازم به ذکر است به منظور صحت‌سنجی مقادیر محاسبه شده تغذیه با روش نوسان سطح ایستابی از نتایج بیلان آبخوان در سال آبی ۷۹-۷۸ استفاده می‌گردد.

مقادیر اندازه‌گیری شده صعود سطح ایستابی برای هر یک از پیزومترها برای سال آبی ۷۹-۷۸ (شکل ۴-۲۷) به منظور مطابقت محاسبات با مقدار تغذیه محاسبه شده از روش بیلان (حاسب فارس، ۱۳۸۲) و همچنین سال‌های آبی ۸۵-۸۴ تا ۹۳-۹۲ در جدول ۴-۶ مشاهده می‌گردد.



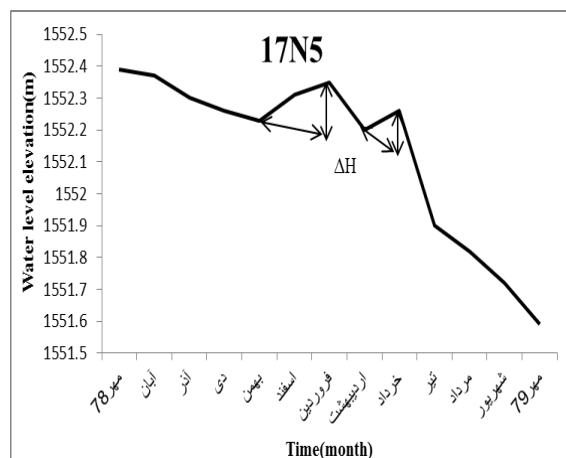
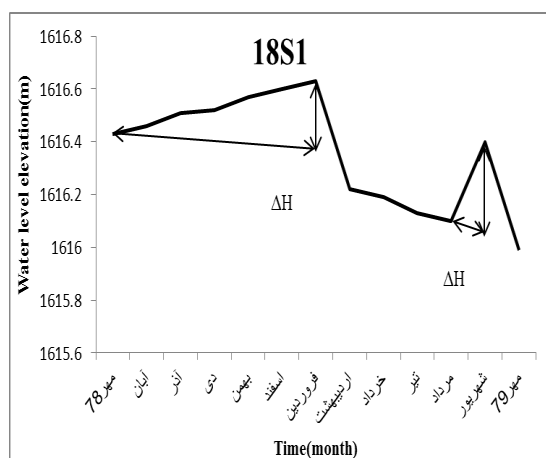
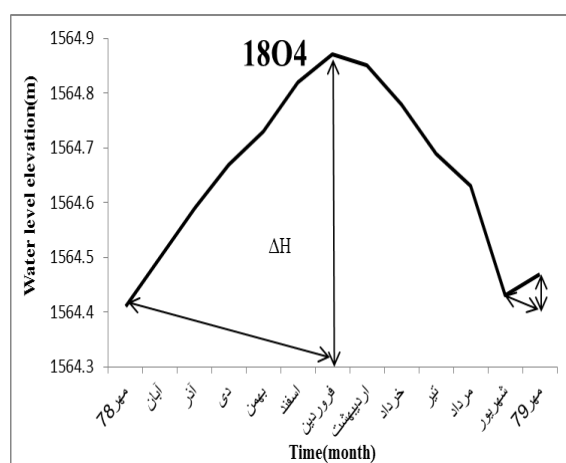
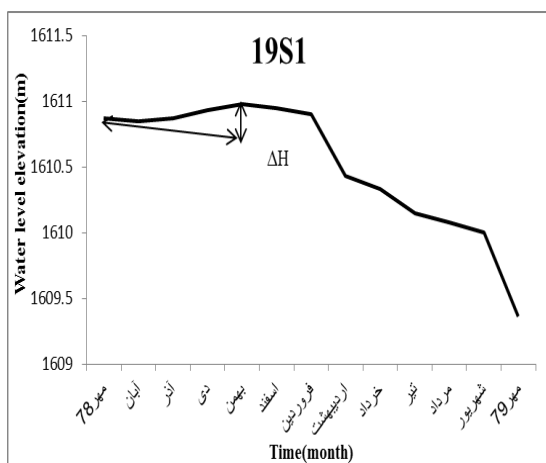
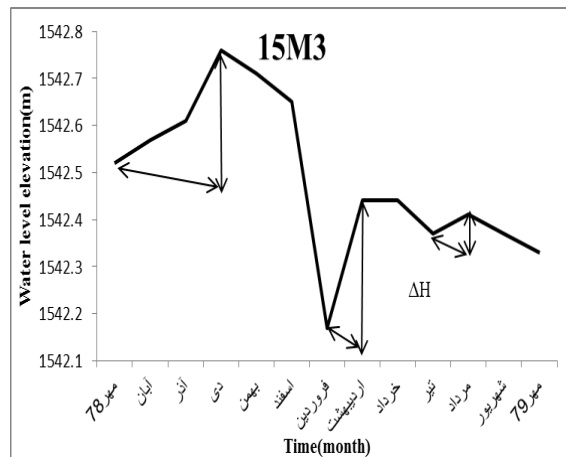
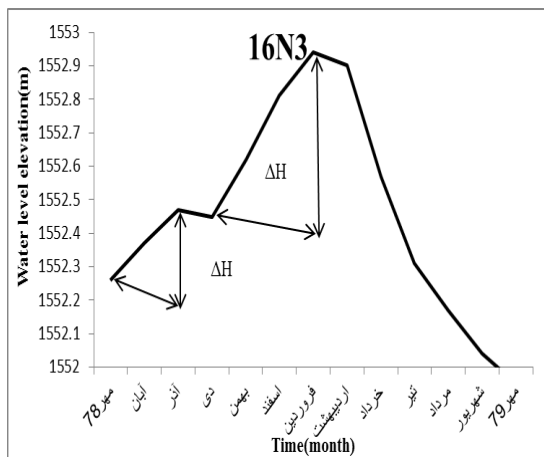
شکل ۴-۲۷ محاسبه ΔH در پیزومترهای آبخوان هرات

فصل چهارم: تخمین تغذیه به آبخوان هرات



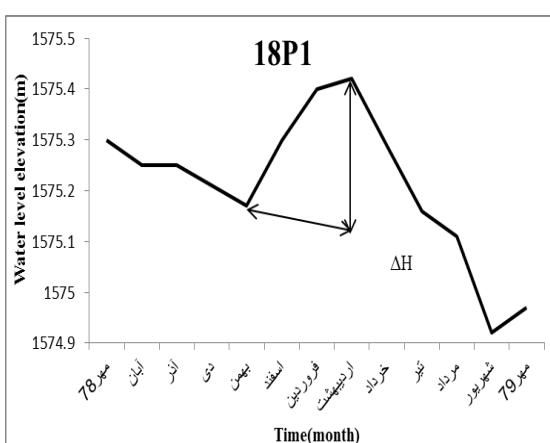
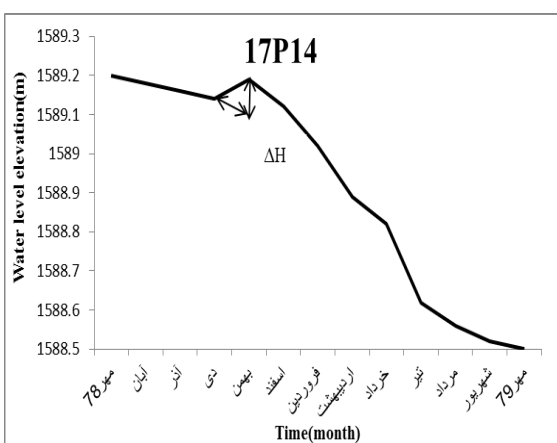
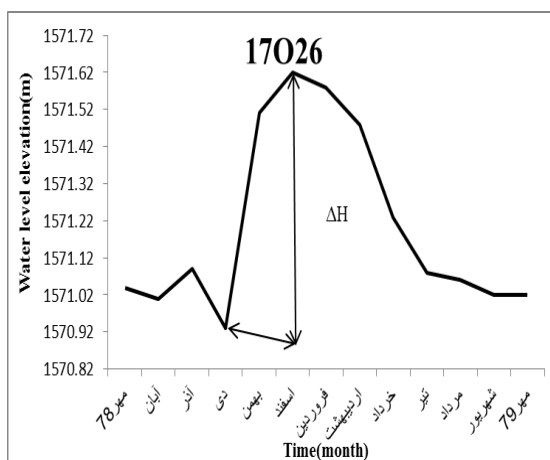
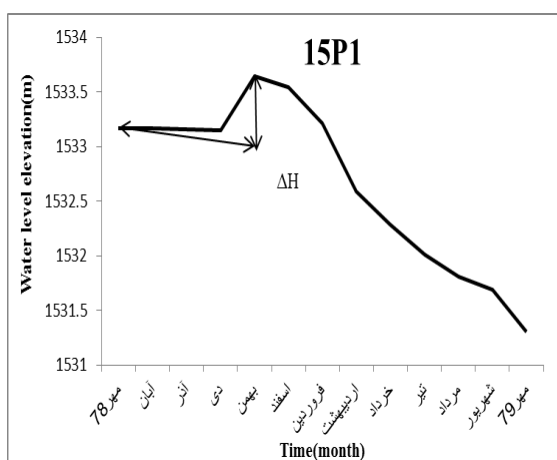
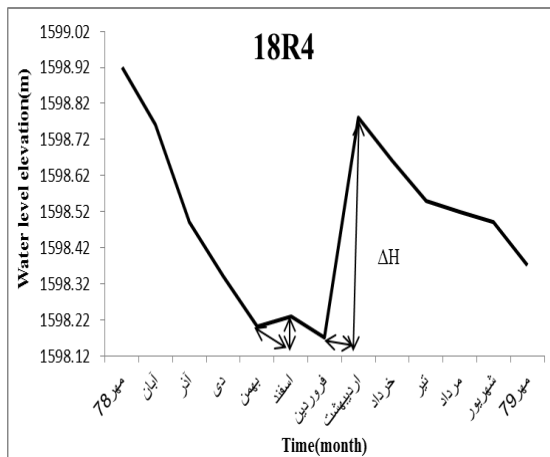
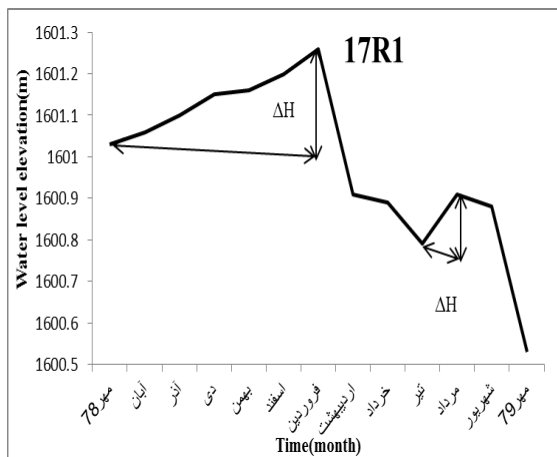
شکل ۴-۲۷ ادامه

فصل چهارم: تخمین تغذیه به آبخوان هرات



شکل ۴-۲۷ ادامه

فصل چهارم: تخمین تغذیه به آبخوان هرات



شکل ۴-۲۷ ادامه

فصل چهارم: تخمین تغذیه به آبخوان هرات

جدول ۴-۶ مقادیر صعود سطح ایستابی (ΔH) بر حسب متر در سال در پیژومترهای آبخوان هرات در یک دوره ۱۰ ساله

سال آبی نام پیژومتر	78-79	84-85	85-86	86-87	87-88	88-89	89-90	90-91	91-92	92-93
17P24	۰/۱۵	۱/۵۴	۱/۲	۰/۳۲	۰/۳۷	۰/۴۳	۰/۹۷	۰/۱۷	۰/۷۹	۰/۶۵
16O3	۰/۲۴	۰/۰۳	۰/۲۲	۰/۲۵	۰/۲۴	۰/۴۷	۱/۳۲	۰/۰۳	۰/۶۳	۱/۰۵
17S3	۰/۱۰	۰/۳۴	۱/۰۰	۰/۰۵	۰/۰۳	۰/۰۶	۰/۲۰	.	۰/۲۵	۰/۸۶
18Q8	۰/۱۸	۰/۳۵	۰/۳۰	۰/۲۱	۰/۲۳	۰/۵۱	۰/۴۰	۰/۱۵	۰/۵۹	۰/۸۰
15R4	۰/۳۷	۰/۱۷	۰/۱۵	۰/۹۸	۰/۲۲	۰/۱۴	۰/۵۹	۰/۰۹	۰/۷۰	۰/۱۴
15M3	۰/۶۹	۰/۱۰	۰/۱۵	۰/۲۰	۰/۱۱	۰/۴۰	۰/۲۵	۰/۱۳	—	—
16N3	۰/۷۶	۰/۵۰	۰/۲۰	۰/۴۰	۰/۱۴	۰/۴۵	۰/۱۰	.	۰/۹۶	
18O4	۰/۶۱	۰/۲۰	۰/۱۸	۰/۲۱	۰/۲۶	۰/۶۲	۰/۱۲	۰/۱۱	۰/۳۵	۰/۸۰
19S1	۰/۱۵	۰/۲۹	۰/۰۲	۰/۲۷	۰/۱۴	.	۰/۴۲	۰/۲	۱/۵۷	۱/۳۳
17N5	۰/۲۴	۰/۰۶	۰/۰۷	۰/۰۳	.	۰/۲۵	.	۰/۰۳	۰/۴۹	۱/۲۷
18S1	۰/۶۷	۰/۹۷	۰/۰۷	۰/۳۸	۰/۱۳	۰/۴۵	۰/۸۲	۰/۳۰	۱/۸۳	۱/۵۲
18R4	۰/۷۶	۰/۱۴	۰/۰۳	.	۰/۳۵	۰/۴۲	۱/۱۱	۰/۱۷	۰/۷۴	۱/۲۵
17R1	۰/۴۷	.	۱/۱۸	۰/۳۳	۰/۰۷	۱/۵۷	۰/۳۶	.	۱/۵۶	۰/۲۳
17O26	۰/۹۱	۰/۴۰	۱/۳۰	۰/۶۶	۱/۳۵	۰/۶۰	۱/۲۳	۰/۷۳	۰/۸۲	۱/۲۳
15P1	۰/۶۰	۰/۰۸	.	۰/۱۷	.	۰/۰۶	.	۰/۱۱	—	—
17P25	۰/۱۲	.	۰/۰۳	۰/۱۶	۰/۱۲	۰/۵۰	۰/۳۱	۰/۰۲	۰/۳۳	۰/۸۷
16O4	.	۰/۰۷	۰/۴۵	۱/۱۵	۰/۴۰	۰/۹۲	۰/۱۵	۰/۳۰	۰/۵۸	۰/۵۰
18P1	۰/۳۵	۰/۰۵	۰/۲۹	۰/۳۴	۰/۵۰	۰/۱۲	۰/۶۷	۰/۶۸	۰/۹۱	۰/۸۵
17P14	۰/۰۸	۰/۰۷	۰/۲۰	۰/۶۷	۰/۰۳	۰/۶۴	۰/۸۰	۰/۵۶	۰/۴۸	۱/۱۶
15P4	۰/۶۵	۰/۳۳	.	۰/۹۵	۰/۳۰	۰/۱۷	۰/۴۴	۰/۰۲	۱/۱۵	۰/۱۳
16P4	—	—	—	—	—	—	—	—	۰/۵۸	۰/۶۰
15O2	—	—	—	—	—	—	—	—	۰/۳۲	۰/۱۳
16N4	—	—	—	—	—	—	—	—	۱/۶۱	۱/۴۶

فصل چهارم: تخمین تغذیه به آبخوان هرات

۴-۵-۳- محاسبه تغذیه

بعد از اینکه مقدار آبدهی ویژه و صعود در سطح ایستایی در هر یک از پیزومترها محاسبه شد، مقدار تغذیه در محدوده هر پیزومتر (با توجه به مساحت آن در شبکه تیسن) محاسبه گردید. مقدار تغذیه برای سال‌های آبی ۷۸-۷۹ و ۸۴-۸۵ تا ۹۳-۹۲ محاسبه شده که بر حسب میلیون متر مکعب در سال در جدول ۴-۷ ارائه شده است.

جدول ۴-۷ مقدار تغذیه در محدوده هر یک از پیزومترهای آبخوان هرات در یک دوره ۱۰ ساله (۸۴-۸۵ تا ۹۳-۹۲) و سال آبی ۷۸-۷۹ (مقادیر بر حسب میلیون مترمکعب در سال می‌باشد)

سال آبی / پیزومتر	78-79	84-85	85-86	86-87	87-88	88-89	89-90	90-91	91-92	92-93
17P24	۰/۲۱	۲/۱۹	۱/۷۱	۰/۴۵	۰/۵۲	۰/۶۱	۱/۳۸	۰/۲۴	۱/۱۲	۰/۹۲
16O3	۰/۵۶	۰/۰۷	۰/۵۲	۰/۵۹	۰/۵۶	۱/۱۱	۳/۱۲	۰/۰۷	۱/۴۹	۲/۴۸
17S3	۰/۲۸	۰/۹۶	۲/۸۲	۰/۱۴	۰/۰۸	۰/۱۶	۰/۵۶	۰	۰/۷۰	۲/۴۳
18Q8	۰/۳۳	۰/۶۵	۰/۵۶	۰/۳۹	۰/۴۳	۰/۹۵	۰/۷۵	۰/۲۸	۱/۱۰	۱/۵۰
15R4	۰/۴۴	۰/۲۰	۰/۱۷	۱/۱۶	۰/۲۶	۰/۱۶	۰/۷۰	۰/۱۰	۰/۸۳	۰/۱۶
15M3	۱/۰۷	۰/۱۵	۰/۲۳	۰/۳۱	۰/۱۷	۰/۶۲	۰/۳۹	۰/۲۰	—	—
16N3	۱/۸۱	۱/۱۹	۰/۴۷	۰/۹۵	۰/۳۳	۱/۰۷	۰/۲۳	۰	۱/۸۵	۵/۲۹
18O4	۰/۹۴	۰/۳۰	۰/۲۷	۰/۳۲	۰/۴۰	۰/۹۵	۰/۱۸	۰/۱۷	۰/۵۴	۱/۲۳
19S1	۰/۱۹	۰/۳۶	۰/۰۲	۰/۳۴	۰/۱۷	۰	۰/۵۳	۰/۲۵	۱/۹۸	۱/۶۸
17N5	۰/۳۶	۰/۰۹	۰/۱۰	۰/۰۴	۰	۰/۳۸	۰	۰/۰۴	۰/۷۵	۱/۹۵
18S1	۲/۳۳	۳/۳۷	۰/۲۴	۱/۳۲	۰/۴۵	۱/۵۶	۲/۸۵	۱/۰۴	۶/۳۶	۱/۸۰
18R4	۱/۰۹	۰/۲۰	۰/۰۴	۰	۰/۵۰	۰/۶۰	۱/۵۹	۰/۲۴	۱/۰۶	۱/۸۰
17R1	۰/۸۰	۰	۲/۰۲	۰/۵۶	۰/۱۲	۲/۶۹	۰/۶۱	۰	۲/۶۷	۱/۳۵
17O26	۰/۸۵	۰/۳۷	۱/۲۱	۰/۶۱	۱/۲۶	۰/۵۶	۱/۱۵	۰/۶۸	۰/۷۶	۱/۱۵
15P1	۰/۳۱	۰/۰۴	۰	۰/۰۸	۰	۰/۰۳	۰	۰/۰۵	—	—
17P25	۰/۰۱	۰	۰/۰۰۴	۰/۰۲	۰/۱۶	۰/۰۷	۰/۰۴	۰/۰۰۲	۰/۰۴	۰/۱۲
16O4	۰	۰/۱۰	۰/۶۹	۱/۷۷	۰/۶۱	۱/۴۱	۰/۲۳	۰/۴۶	۰/۸۹	۰/۷۷
18P1	۰/۳۹	۰/۰۴	۰/۲۴	۰/۲۸	۰/۴۱	۰/۱۰	۰/۵۵	۰/۵۶	۰/۷۵	۰/۷۰
17P14	۰/۱۹	۰/۱۶	۰/۴۸	۱/۶۰	۰/۰۷	۱/۵۳	۱/۹۲	۱/۳۴	۰/۸۸	۲/۱۲
15P4	۰/۸۰	۰/۴۱	۰	۱/۱۸	۰/۳۷	۰/۲۱	۰/۵۴	۰/۰۲	۱/۴۳	۰/۱۶
16P4	—	—	—	—	—	—	—	—	۰/۶۹	۰/۷۱
15O2	—	—	—	—	—	—	—	—	۰/۴۳	۰/۱۷
16N4	—	—	—	—	—	—	—	—	۲/۷۳	۲/۴۸

فصل چهارم: تخمین تغذیه به آبخوان هرات

پس از محاسبه تغذیه در محدوده هر پیزومتر میزان کل تغذیه محاسباتی به آبخوان هرات از جمع مقادیر مربوط به پیزومترهای محاسبه شده که نتایج آن در جدول ۴-۸ ارائه شده است.

جدول ۴-۸ مقادیر تغذیه سالانه به آبخوان هرات

سال آبی	بارش (میلیمتر)	تغذیه (میلیون متر مکعب)
۷۸-۷۹	۵۵	۱۲/۹۴
۸۴-۸۵	۸۶/۵	۱۰/۹۳
۸۵-۸۶	۹۰	۱۱/۸۷
۸۶-۸۷	۱۸/۵	۱۲/۱۹
۸۷-۸۸	۷۵/۴	۶/۷۹
۸۸-۸۹	۳۰/۶	۱۴/۸۵
۸۹-۹۰	۶۲/۱	۱۷/۳۹
۹۰-۹۱	۶۱/۹	۵/۸۰
۹۱-۹۲	۱۲۹/۷	۲۹/۱۶
۹۲-۹۳	۷۳/۳	۳۰/۹۶
میانگین ۱۰ ساله	۶۸/۳	۱۵/۲۹

ابتدا به منظور صحت‌سنجی محاسبات تغذیه در آبخوان هرات مقدار آن با داده‌های مربوط به روش بیلان، برای سال آبی ۷۸-۷۹ که توسط حاسب فارس (۱۳۸۲) ارائه شده مقایسه می‌گردد. نتایج بیلان دشت هرات در سال آبی ۷۸-۷۹ در جدول ۴-۹ ارائه شده است.

فصل چهارم: تخمین تغذیه به آبخوان هرات

جدول ۴-۹ بیان آبخوان هرات (سال آبی ۷۹-۷۸)

مؤلفه‌های بیان	میلیون مترمکعب بر سال
خروجی زیرزمینی آبخوان	-۱/۴
برداشت از چاه‌های بهره‌برداری	-۴۴
تخلیه از قنوت	-۲۱/۴
ورودی زیرزمینی به آبخوان	۳۳
نفوذ حاصل از تغذیه مصنوعی و آورد مسیل‌ها	۱/۵
نفوذ حاصل از بارندگی	۱/۴
آب برگشتی کشاورزی	۱۱/۳
تغییر حجم ذخیره	-۱۹/۶

مقدار تغذیه محاسباتی با روش بیان، معادل ۱۴/۲ میلیون مترمکعب می‌باشد که از مجموع نفوذ حاصل از تغذیه مصنوعی و آورد مسیل‌ها، نفوذ حاصل از بارندگی و آب برگشتی کشاورزی محاسبه شده است.

مقدار تغذیه محاسبه شده به روش نوسان سطح ایستابی حدود ۱۳ میلیون مترمکعب می‌باشد. اختلاف بین مقادیر محاسبه شده در دو روش بیان و روش نوسان سطح ایستابی می‌تواند به دلیل خطای اندازه‌گیری، اختلاف در روش محاسبه شده، خطای محاسبه آبدهی ویژه و غیره باشد. با توجه به قابلیت روش نوسان سطح ایستابی در تخمین تغذیه، مقدار تغذیه برای سال‌های آبی ۸۵-۸۴ تا سال آبی ۹۳-۹۲ محاسبه گردید که نتایج در جدول ۴-۸ مشاهده می‌شود.

مقدار تغذیه در این سال‌ها از حداقل ۵/۸۰ تا حداکثر ۳۰/۹۶ میلیون مترمکعب در سال متغیر می‌باشد. پس از محاسبه تغذیه سالانه درصد نفوذ بارش (نسبت تغذیه به بارش) محاسبه شده که نتایج در جدول ۴-۱۱ ارائه شده است.

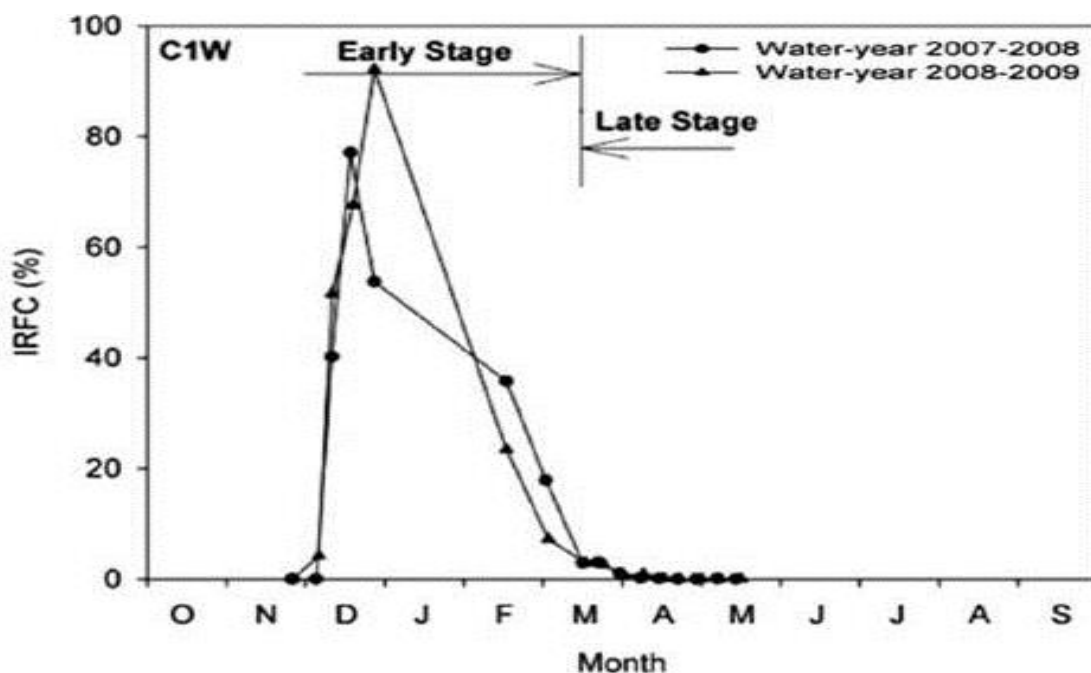
فصل چهارم: تخمین تغذیه به آبخوان هرات

جدول ۴-۱۰ درصد تغذیه نسبت به حجم کل بارش

سال آبی	بارندگی سالانه (mm)	تغذیه سالانه (MCM)	حجم بارش سالانه (MCM)	تغذیه از بارش (%)
۷۸-۷۹	۵۵	۱۲/۹۴	۲۷/۶۸	۴۶
۸۴-۸۵	۸۶/۵	۱۰/۹۳	۴۳/۵۴	۲۵
۸۵-۸۶	۹۰	۱۱/۸۷	۴۵/۳	۲۶
۸۶-۸۷	۱۸/۵	۱۲/۱۹	۹/۳۱	۱۳۰
۸۷-۸۸	۷۵/۴	۶/۷۹	۳۷/۹۵	۱۷
۸۸-۸۹	۳۰/۶	۱۴/۸۵	۱۵/۴	۹۶
۸۹-۹۰	۶۲/۱	۱۷/۳۹	۳۱/۲۶	۵۵
۹۰-۹۱	۶۱/۹	۵/۸	۳۱/۱۶	۱۸
۹۱-۹۲	۱۲۹/۷	۲۹/۱۶	۶۵/۲۹	۴۴
۹۲-۹۳	۷۳/۳	۳۰/۹۶	۳۶/۸۹	۸۳

با توجه به جدول ۴-۱۰ مشاهده می‌گردد که در بعضی از سال‌ها درصد نفوذ (تغذیه از بارش) غیرعادی می‌باشد. به طور مثال در سال آبی ۸۶-۸۷ مقدار تغذیه‌ای بارش برابر ۱۳۰ درصد محاسبه شده است. همچنین در سال‌های آبی ۸۸-۸۹ و ۹۲-۹۳ به ترتیب ۹۶ درصد و ۸۳ درصد از بارندگی به آبخوان هرات تغذیه شده است، که این مقدار با توجه به مقادیر استاندارد و نفوذ بارش در کتب آبشناسی (حدود ۵ تا ۱۰ درصد) و همچنین با توجه به اینکه دشت هرات در یک منطقه خشک و نیمه خشک واقع شده است، غیرعادی می‌باشد. این موضوع احتمالاً به دلیل نقش آب برگشتی کشاورزی در تغذیه آبخوان می‌باشد. مطالعات انجام شده در زمینه آب برگشتی در محدوده مطالعاتی هرات (Jafari et al. 2013) و ترسیم سری زمانی آب برگشتی کشاورزی (شکل ۴-۲۸) نشان می‌دهد عمده آب برگشتی کشاورزی مربوط به فصل زمستان می‌باشد. بنابراین به نظر می‌رسد تغذیه آب برگشتی کشاورزی به همراه افزایش بارش در فصل زمستان سبب بالا آمدن سطح ایستابی آبخوان شده باشد.

فصل چهارم: تخمین تغذیه به آبخوان هرات



شکل ۴-۲۸ سری زمانی آب برگشتی کشاورزی (Jafari et al, 2013)

تغذیه در سال‌های آبی ۸۷-۸۸ و ۹۰-۹۱ به ترتیب معادل ۶/۷۹ میلیون مترمکعب و ۵/۸ میلیون مترمکعب محاسبه شده است، که نسبت به سال‌های قبل و بعد از آن کاهش فراوانی داشته است. این کاهش در صورتی اتفاق افتاده که مقدار بارش برای سال‌های آبی ۸۷-۸۸ و ۹۰-۹۱ به ترتیب برابر ۷۵/۴ میلی‌متر و ۶۱/۹ میلی‌متر می‌باشد. عاملی که به منظور توجیه این مقدار بررسی گردید، نسبت مقدار بارش به تعداد دفعات بارش می‌باشد.

با توجه به جدول ۹-۴ مشاهده می‌گردد که تعداد دفعات بارش که باعث مجموع بارندگی ۷۵/۴ میلی‌متر در سال آبی ۸۷-۸۸ شده است ۲۲ مرتبه و برای سال آبی ۹۰-۹۱ برابر ۲۵ مرتبه بوده است.

فصل چهارم: تخمین تغذیه به آبخوان هرات

جدول ۴-۹ نسبت مقدار بارش و تعداد دفعات بارش در سال‌های آبی ۸۵-۸۴ تا ۹۳-۹۲

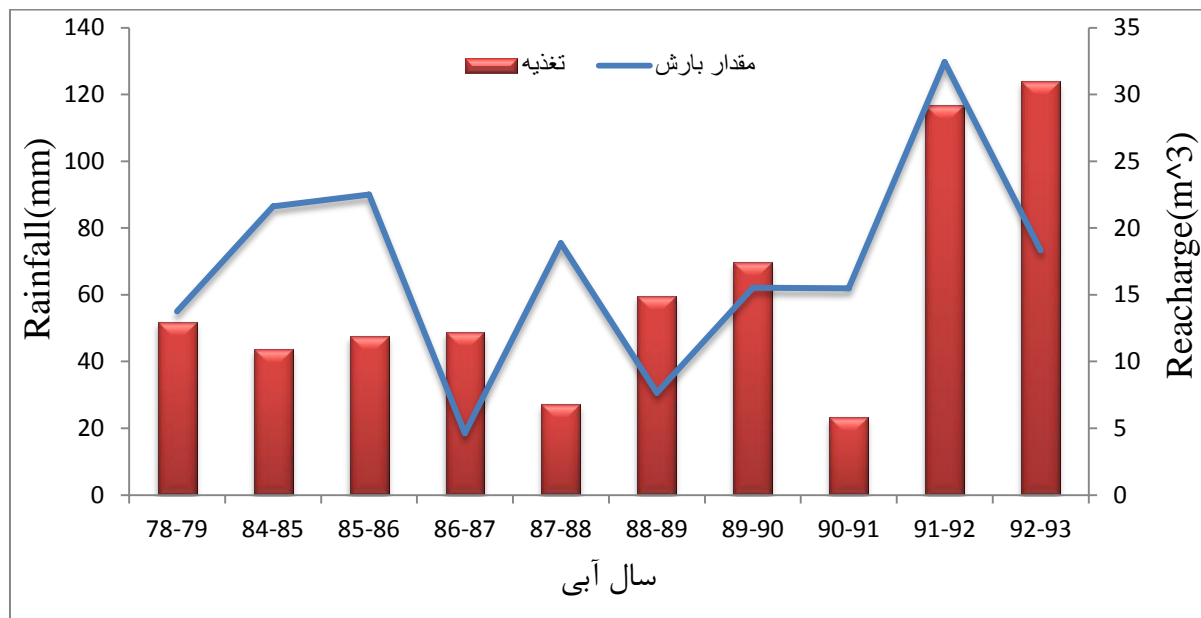
سال آبی	بارش (میلی‌متر)	دفعات بارش	مقدار بارندگی دفعات بارش
۸۴-۸۵	۸۶/۵	۱۷	۵/۰۸
۸۵-۸۶	۹۰	۱۲	۷/۵
۸۶-۸۷	۱۸/۵	۳	۶/۱۶
۸۷-۸۸	۷۵/۴	۲۲	۳/۴۲
۸۸-۸۹	۳۰/۶	۸	۳/۸۲
۸۹-۹۰	۶۲/۱	۷	۸/۸۷
۹۰-۹۱	۶۱/۹	۲۵	۲/۴۷
۹۱-۹۲	۱۲۹/۷	۱۲	۱۰/۸
۹۲-۹۳	۷۳/۳	۷	۱۰/۴۷

در سال‌های آبی ۹۱-۹۲ و ۹۲-۹۳ مقدار تغذیه از مقدار میانگین فراتر رفته است. مقدار تغذیه در سال‌های آبی ۹۱-۹۲ و ۹۲-۹۳ به ترتیب برابر ۲۹/۱۶ میلیون مترمکعب و ۳۰/۹۶ میلیون مترمکعب می‌باشد. با توجه به جدول (۴-۹) مقدار بارش برای این دو سال افزایش یافته است و همچنین تعداد دفعات بارش کم شده است.

به منظور بررسی ارتباط بارش و تغذیه ابتدا سری زمانی مقدار بارش و مقدار تغذیه رسم می‌گردد (شکل ۴-۲۹). با توجه به شکل مشاهده می‌گردد که تغییرات این دو سری زمانی تطابق زیادی با یکدیگر ندارند. بدین معنا که با کاهش بارش مقدار تغذیه لزوماً کاهش نمی‌یابد. یا با افزایش مقدار بارش، مقدار تغذیه نیز زیاد نمی‌گردد. به طور مثال در سال آبی ۸۷-۸۸ با توجه به اینکه مقدار بارش

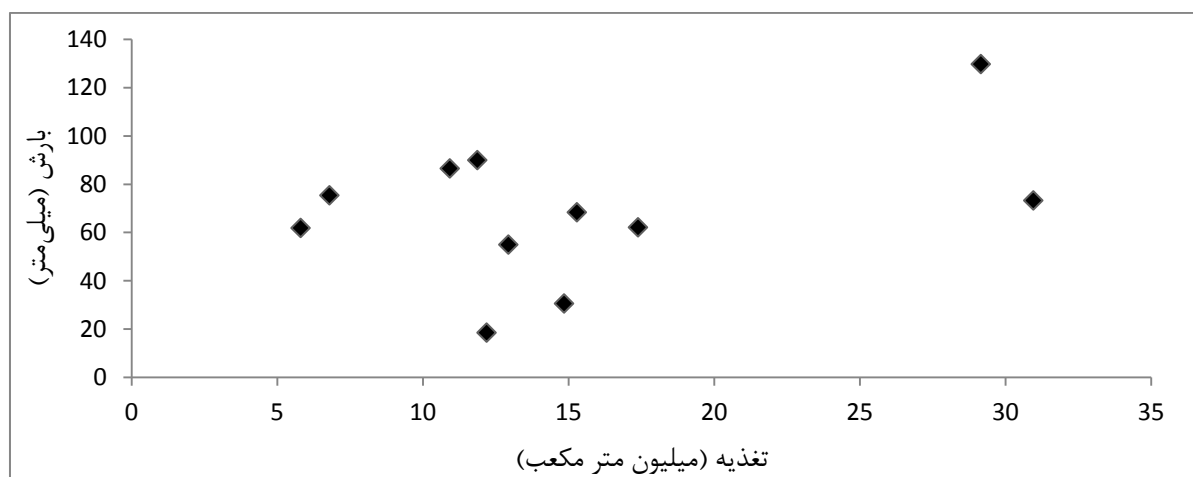
فصل چهارم: تخمین تغذیه به آبخوان هرات

افزایش یافته است ولی مقدار تغذیه کاهش یافته است. یا در سال آبی ۹۰-۹۱ با اینکه مقدار بارش نسبت به سال قبل کاهش یافته ولی مقدار تغذیه ثابت بوده است.



شکل ۴-۲۹ سری زمانی مقدار بارش و مقدار تغذیه

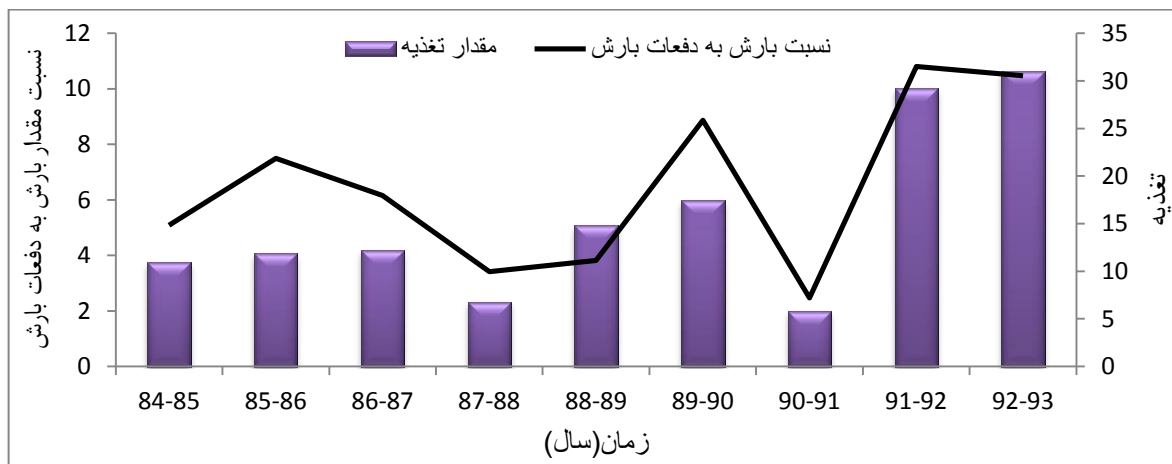
رابطه‌ای بین مقدار بارش و مقدار تغذیه در شکل (۴-۳۰) ترسیم شده که نشان‌دهنده عدم ارتباط مشخص این دو پارامتر می‌باشد.



شکل ۴-۳۰ ارتباط مقدار بارش و مقدار تغذیه

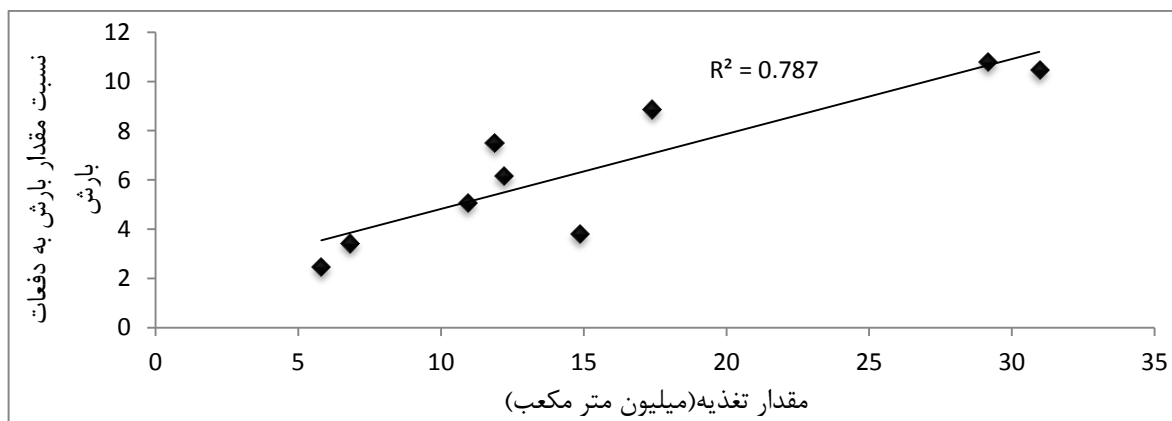
فصل چهارم: تخمین تغذیه به آبخوان هرات

با ترسیم سری زمانی تغذیه همراه با سری زمانی بارش به دفعات آن مشخص می‌گردد هماهنگی بسیار خوبی بین آن‌ها وجود دارد. به عبارت دیگر نوسانات تغذیه ارتباط بسیار هماهنگی با نوسانات نسبت بارش به تغذیه نشان می‌دهد.



شکل ۳۱-۴ سری زمانی نسبت مقدار بارش به دفعات بارش با مقدار تغذیه

رابطه تغذیه و نسبت مقدار بارش به دفعات بارش که در شکل (۳۲-۴) رسم شده از ضریب همبستگی مناسبی ($R^2=0.79$) برخوردار می‌باشد که نشان‌دهنده ارتباط نزدیک این دو پارامتر می‌باشد. این رابطه نقش میزان بارش در هر بارندگی در تغذیه را نشان می‌دهد. به عبارت دیگر در صورتی که تعداد بارش در یک سال افزایش یابد، با توجه به اینکه مقدار بارش سالانه تقریباً ثابت می‌باشد میزان تغذیه به آبخوان کاهش می‌یابد.



شکل ۳۲-۴ ارتباط نسبت مقدار بارش به دفعات بارش با مقدار تغذیه

فصل پنجم:

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

۵-۱- نتایج

دشت هرات یکی از دشتهای نسبتاً وسیع در استان یزد بوده که به عنوان یکی از مناطق عمده کشاورزی محسوب می‌گردد. به دلیل برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی و اضافه برداشت‌های متعدد در بخش کشاورزی، آبخوان هرات با افت نسبتاً زیاد روبرو گردیده است. هدف از انجام این تحقیق بررسی نوسانات و تخمین تغذیه در یک دوره بلندمدت برای مدیریت بهینه بهره‌برداری این منبع آبی می‌باشد و نتایج حاصل از این بررسی در زیر اشاره می‌گردد.

۱- بر اساس مطالعه هیدروگراف معرف آبخوان، سطح ایستابی دارای روند نزولی بوده و میزان افت سطح آب برای دوره ۲۵ ساله مهر ۱۳۶۸ تا بهمن ۱۳۹۳ معادل ۱۲/۷۱ متر بوده که متوسط افت سالانه ۵۰ سانتی‌متر می‌باشد. در هیدروگراف معرف آبخوان هرات ۲ روند مشخص در سطح ایستابی مشاهده می‌گردد. روند نزولی اولیه از ابتدای دوره آماری تا اواخر سال ۱۳۸۲ ادامه می‌یابد و مقدار افت برابر ۶/۸۵ متر بوده و متوسط افت ۴۵ سانتی‌متر در سال می‌باشد. روند نزولی دوم از سال ۱۳۸۳ شروع شده که تا انتهای دوره آماری ادامه می‌یابد. در این دوره نرخ افت افزایش می‌یابد به طوریکه افت از مهر ۱۳۸۳ تا بهمن ۱۳۹۳ ۵/۸۶ متر در طول ۱۰ سال بوده که معادل ۵۸ سانتی‌متر افت در سال می‌باشد.

۲- با بررسی هیستوگرام بارش و تغییرات سطح ایستابی در طول سال آماری ۹۳-۱۳۶۸ این نتیجه حاصل گردید که روند بارندگی در طول این دوره آماری تقریباً با شیب کمی نزولی بوده است. همانطور که ملاحظه می‌شود مقدار بارش از سال ۸۲ به بعد کاهش محسوسی داشته است. همچنین پراکندگی بارش افزایش یافته و به تبع آن بارش مؤثر نیز کاهش یافته است. با توجه به هیدروگراف معرف آبخوان به همراه بارش، سطح ایستابی از سال ۸۳ به بعد روند نزولی کاملاً مشخصی داشته که با کاهش بارندگی از این سال مطابقت دارد.

۳- تغییرات زمانی دمای متوسط سالیانه نشان می‌دهد که دمای متوسط سالیانه دارای روند صعودی مشخصی می‌باشد. همچنین تغییرات نوسانات سالانه سطح ایستابی و دمای متوسط سالانه نشان می‌دهد که از اوایل دهه ۸۰ دمای هوا به صورت واضحی افزایش یافته و این افزایش از سال ۸۶ به بعد مشخص‌تر می‌گردد. افزایش دمای میانگین سالیانه باعث افزایش تبخیر از بارندگی شده است که کاهش سطح آب زیرزمینی در آبخوان هرات با افزایش دما تقریباً مطابقت دارد.

۴- با توجه به ارتباط برداشت از آب زیرزمینی و تغییرات سطح ایستابی مشاهده می‌گردد که سطح زیرکشت از ۲۳ هزار هکتار در سال ۱۳۷۴ به ۱۷ هزار هکتار در سال ۱۳۷۸ و ۱۱ هزار هکتار در سال ۱۳۹۱ کاهش یافته که افت سطح آب زیرزمینی می‌تواند یکی از دلایل کاهش در سطح زیرکشت باشد. همچنین تعداد کل چاه‌ها از ۱۲۳ حلقه در سال ۱۳۷۴ به ۱۹۱ حلقه در سال ۱۳۸۸ افزایش یافته است. همچنین ساعت کارکرد چاه‌ها افزایش یافته و مقدار تخلیه نیز از ۴۴ میلیون مترمکعب در سال ۱۳۸۲ به ۶۳ میلیون مترمکعب در سال ۱۳۸۸ افزایش پیدا کرده است. این عامل روی مقدار تخلیه از قنات‌ها تأثیر گذاشته و مقدار تخلیه از ۱۶/۴۲ میلیون مترمکعب در سال ۱۳۸۲ به ۱۴/۴ میلیون مترمکعب در سال ۱۳۸۸ کاهش یافته است. این عامل نیز می‌تواند عامل مهمی در افزایش شیب هیدروگراف از سال ۱۳۸۴ به بعد باشد.

۵- در بررسی سری‌های زمانی با استفاده از تابع خودهمبستگی و تابع چگالی طیفی مشخص گردید که سری زمانی بارش دارای روند نزولی و تناوب ۱۲ ماهه، و سری زمانی سطح ایستابی دارای روند نزولی می‌باشند. این مؤلفه‌ها به منظور تصادفی کردن و آماده کردن داده‌ها به منظور تحلیل سری زمانی دوگانه حذف گردید.

۶- با توجه به نتایج حاصل از تحلیل سری زمانی تأخیر زمانی بین بارش و سطح ایستابی از ۱ تا ۵ ماه محاسبه گردید. این نتایج که بر اساس دو روش تابع همبستگی متقابل و طیف متقابل محاسبه

گردیده نزدیک به هم می‌باشد. با توجه به نقشه زمین‌شناسی و موقعیت پیژومترها تأخیرهای زیاد (۳ تا ۵ ماه) برای پیژومترهای مرکزی و شمالی آبخوان که در رسوبات دانه‌ریز نمکی و رسی قرار گرفته محاسبه گردیده و پیژومترهایی که دارای تأخیرهای کم (۱ تا ۲ ماه) می‌باشند در قسمت جنوبی و جنوب‌غربی آبخوان قرار دارند در رسوبات دانه‌درشت گراولی و آبرفتی حفر شده‌اند. همچنین در تعدادی از پیژومترها تأخیرهای منفی محاسبه گردید که نشان از عدم ارتباط بارش و سطح ایستابی دارد. با بررسی موقعیت این پیژومترها مشخص گردید که این پیژومترها در نزدیکی چندین چاه پمپاژ قرار گرفته‌اند که احتمالاً تأثیر پمپاژ سبب عدم ارتباط این دو سری زمانی گردیده است.

۷- به منظور تعیین آبدهی ویژه در آبخوان هرات با توجه به محدود بودن نتایج آزمایش پمپاژ، مقادیر آبدهی ویژه با توجه به دانه‌بندی آبرفت در لاگ حفاری پیژومترها نیز تعیین شد. بافت غالب خاک ماسه رس‌دار تعیین گردید که بر اساس مثلث بافت خاک و آبدهی ویژه ارائه شده توسط جانسون (۱۹۶۷)، مقدار آبدهی ویژه این رسوبات برابر ۷ درصد در نظر گرفته شد.

۸- به منظور صحت‌سنجی محاسبات تغذیه در آبخوان هرات با داده‌های مربوط به روش بیلان ارائه شده توسط حاسب فارس (۱۳۸۲)، مقدار تغذیه برای سال آبی ۷۸-۷۹ محاسبه گردید. مقدار تغذیه محاسباتی با روش بیلان معادل $14/2$ میلیون مترمکعب می‌باشد که از مجموع نفوذ حاصل از تغذیه مصنوعی و آورد مسیل‌ها، نفوذ حاصل از بارندگی و آب برگشتی کشاورزی محاسبه شده است. مقدار تغذیه محاسباتی با روش نوسان سطح ایستابی معادل $12/94$ میلیون مترمکعب محاسبه گردید که اختلاف در محاسبات دو روش می‌تواند ناشی از خطای اندازه‌گیری، اختلاف در روش محاسبه شده و خطای محاسبه آبدهی ویژه باشد. همچنین مقدار تغذیه برای سال‌های آبی ۸۴-۸۵ تا ۹۲-۹۳ محاسبه گردید که به همراه مقدار تغذیه در سال ۷۸-۷۹ دارای مقدار میانگین ۱۰ ساله $15/29$ میلیون مترمکعب می‌باشد

۹- ترسیم سری زمانی تغذیه همراه با سری زمانی بارش به دفعات آن نشان می‌دهد هماهنگی بسیار خوبی بین آن‌ها وجود دارد. به عبارت دیگر نوسانات تغذیه ارتباط بسیار هماهنگی با نوسانات نسبت بارش به تغذیه نشان می‌دهد. رابطه تغذیه و نسبت مقدار بارش به دفعات بارش از ضریب همبستگی مناسبی ($R^2=0.79$) برخوردار می‌باشد که نشان‌دهنده ارتباط نزدیک این دو پارامتر می‌باشد. این رابطه نقش میزان بارش در هر بارندگی در تغذیه را نشان می‌دهد.

۵-۲- پیشنهادها

برای مطالعه بهتر و پایداری منابع آب در آبخوان هرات موارد زیر پیشنهاد می‌گردد:

۱- توسعه شبکه پیزومتری در آبخوان هرات جهت بررسی‌ها و پایش‌های دقیق‌تر کمی آب زیرزمینی

۲- کنترل برداشت از منابع آب زیرزمینی با توجه به افت زیاد سطح ایستابی

۳- ایجاد طرح‌های تغذیه مصنوعی به منظور جبران آب زیرزمینی برداشت شده برای مصارف کشاورزی

۴- انجام تعداد زیادی آزمایش پمپاژ در سراسر آبخوان به منظور تعیین پارامترهای هیدرودینامیکی

آبخوان در مطالعات تغذیه آبخوان

- ۱- اصغری مقدم، الف. (۱۳۸۹). "اصول شناخت آب‌های زیرزمینی". چاپ اول، انتشارات دانشگاه تبریز، ۳۴۹ص
- ۲- درویش‌زاده، ع. (۱۳۷۰)، "زمین‌شناسی ایران". نشر دانش امروز، ۹۰۱ص
- ۳- علیزاده، ا. (۱۳۸۵)، "اصول هیدرولوژی کاربردی". انتشارات دانشگاه امام رضا(ع)،
- ۴- چیت‌سازان، منوچهر، (۱۳۸۱)، "مدلسازی آب‌های زیرزمینی و حل مسائل هیدروژئولوژی"، انتشارات دانشگاه شهید چمران، ۶۸۰ص
- ۵- باقری، ف.، باقری، ر.، جهانشاهی، ر.، (۱۳۹۲)، بررسی اثرات پارامترهای هیدرولوژیکی بر تغییرات سطح آب زیرزمینی با استفاده از تکنیک سری‌های زمانی، سی و دومین گردهمایی و نخستین کنگره بین‌المللی علوم زمین، شیراز
- ۶- چیت‌سازان، م.، میرزایی، ی.، چینی‌پرداز، ر.، (۱۳۸۶)، منطقه بندی آبخوان دشت شهرکرد با استفاده از تحلیل سری زمانی، مجله علوم دانشگاه شهید چمران، شماره ۱۷، قسمت ب
- ۷- مهندسین مشاور حاسب فارس، (۱۳۸۳): مطالعات تکمیلی به تعادل رساندن بیلان آب زیرزمینی دشت هرات، وزارت نیرو، شرکت سهامی آب منطقه‌ای یزد، معاونت مطالعات پایه منابع آب
- ۸- مهندسین مشاور حاسب فارس، (۱۳۸۲): مطالعات آب‌های زیرزمینی منطقه هرات یزد و تهیه مدل، وزارت نیرو، شرکت سهامی آب منطقه‌ای یزد، معاونت مطالعات پایه منابع آب، جلد اول
- ۹- مهندسین مشاور حاسب فارس، (۱۳۸۲): مطالعات آب‌های زیرزمینی منطقه هرات یزد و تهیه مدل، وزارت نیرو، شرکت سهامی آب منطقه‌ای یزد، معاونت مطالعات پایه منابع آب، جلد دوم

۱۰- نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ انار، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور

۱۱- نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ نیریز، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور

۱۲- نقشه راه‌های ایران با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ (۱۳۸۵)، مؤسسه جغرافیا و کارتوگرافی گیتاشناسی

1-Healy R. W. (2010), "Estimating Groundwater Recharge", US Geological Survey, pp.245.

2- Cohen, S. J. (1986), Impacts of CO₂-induced Climatic change on water resources in the Great Lakes Basin, Climatic Change, 8, 135-153.

3- Jafari, H., 2010. Physiochemical characteristics of irrigation return flow in a semi-arid agricultural region, Iran. [PhD thesis]: Department of Earth Sciences, Shiraz University. Shiraz.

4- Khan, S., Gabriel, H. F., Rana, T., (2008). Standard precipitation index to track drought and assess impact of rainfall on watertables in irrigation areas. Irrig Drainage Syst . 22:159–177.

5- Shahid, Sh., Hazarika, M. K., (2009). Groundwater Drought in the Northwestern District of Bangladesh. Water Resour Manage DOI10.1007/s11269-009-9534-y.

6- Chatfield, C., 1982. "The analysis of time series; Theory and practice". London, Chapman and Hall.

7- Samani, N., 2001. "Response of karst aquifers to rainfall and evaporation, Maharlu basin, Iran". J. Cave and Karst Studies. 63, p. 33-40.

8- Sang K.M, Nam, C.W, Kwang, S.Lee. " Statistical analysis of hydrograph and Water-table fluctuation to estimate groundwater recharge". J. Hydrol 292,P. 198-209

9- Todd, D. K. and Mays, L. W., (2005), "Groundwater Hydrology", third Edition, John Wiley and Sons, New York, pp.625

10- Turker, U., Alsalabi, B. S. and Rizza, T., (2012) " Water table Fluctuation Analyses and associated empirical approach to predict spatial distribution of Water table at Yes, Ilko" Agiosandronikos Aquifer", Environ Earth Sci, Doi 10,1007/s 12665-012-1934-2

11-Vadouris, K. S., (2006), Groundwater balance and safe yield of the Coastal Aquifer system in North Eastern Korinthia, Greece", Applied Geography, vol 26, pp.291-311

Abstract

Harat plain located 240Km far from south of Yazd city. I is one of the extensive plains in Yazd province, important from agricultural points of view. The average hydrograph of the aquifer shows a decreasing trend and groundwater level declines about 12.71m during a period of 25 years from September 1990 to February 2015 with an annual declining rate of 50 cm. the histogram of the precipitation during this period shows that a clear decrease in precipitation from 2004 while the storm events have been increased. The average hydrograph show a decreasing tend from 2005 which is in accordance with reduction of precipitation. It must be mentioned that air temperature has increased from early 2000s , which increases evapotranspiration, enhances discharge of groundwater resources and finally decrease in water level. The number of discharging wells with pumping duration has increased from 1996 to 2010, which is introduced as one of the causes of groundwater level decrease from 2005. Time series of precipitation and groundwater level using cross correlation and cross spectrum result in a lag time of 1 to5 month. In order to calculated recharge to Harat aquifer, specific yield was estimated at 7% considering soil textures of well logs. The annual average of recharge was estimated to be 15.29 MCM. The relationship between aquifer recharge and the ratio of precipitation to the number of storm events shows a good correlation ($R^2=0.79$) confirm their close relation.

Keywords: Recharge, Time series, Groundwater, Harat



University of Shahrood
Faculty of Earth science

Hydrogeology and Environmental Geology Group

MSc. Thesis

**Estimating Recharge to Harat Aquifer in Yazd Province
Based on Water table Fluctuations**

By:

Mohammad Masmooie

Supervisor:

Dr. Hadi Jafari

February 2015