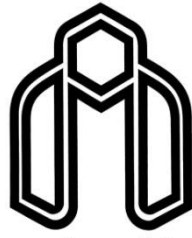


ای نام ہو بہترین آغاز

بے نام تو نامہ کے گنہگار

بہ نامہ نامور شہزادہ خانی
مہر قصہ نامور وہ دانی



دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده علوم زمین

رساله دکتری هیدروژئولوژی

بررسی عوامل مؤثر بر تغییرات آبدهی چشمه‌های کارستی بزرگ استان
کرمانشاه

نگارنده:

زینب نجفی

استاد راهنما:

دکتر غلامحسین کرمی

استاد مشاور:

دکتر حاجی کریمی



تاریخ و امضاء و مهر دانشکده:

فرم شماره ۱۱: صورت جلسه نهایی دفاع از رساله دکتری (Ph.D)
(تعیین درجه نمره رساله برای ورودی‌های ۹۴ و سال‌های قبل از آن)

بدینوسیله گواهی می‌شود آقای/خانم زینب نجفی دانشجوی دکتری رشته آشناسی به شماره دانشجویی ۹۲۴۶۱۵۵ ورودی بهمن ماه سال ۱۳۹۲ در تاریخ ۱۳۹۹/۱۲/۵ از رساله نظری / عملی خود با عنوان: بررسی عوامل موثر بر تغییرات آبدمی چشمه های کارستی بزرگ استان کرمانشاه دفاع و با اخذ نمره ۱۹,۲۴ به درجه: عالی نائل گردید.

الف) درجه عالی: نمره ۱۹-۲۰ ب) درجه خیلی خوب: نمره ۱۸/۹۹ - ۱۷
ج) درجه خوب: نمره ۱۶/۹۹ - ۱۵ د) مردود: کمتر از ۱۵

ردیف	هیئت داوران	نام و نام خانوادگی	مرتبۀ علمی	امضاء
۱	استاد راهنمای اول	دکتر غلامحسین کرمی	دانشیار	
۲	استاد مشاور اول	دکتر حاجی کریمی	استاد	
۳	استاد مدعو داخلی / خارجی	دکتر محمد نخعی	استاد	
۴	استاد مدعو داخلی / خارجی	دکتر هوشنگ خیری	دانشیار	
۵	استاد مدعو داخلی / خارجی	دکتر هادی جعفری	دانشیار	
۶	نماینده تحصیلات تکمیلی دانشکده	دکتر افشین قشلاقی	استادیار	

مدیر محترم تحصیلات تکمیلی دانشگاه:

ضمن تأیید مراتب فوق مقرر فرمائید اقدامات لازم در خصوص انجام مراحل دانش اموزگی آقای/خانم زینب نجفی بعمل آید.

نام و نام خانوادگی رئیس دانشکده:
تاریخ و امضاء و مهر دانشکده:

تقدیم به

روح بلند برادرم

همراه همیشگیم در بازندهای صحرائی

پاسکزاری

شکرشایان ثار ایزدمنان که توفیق را رفیق را هم ساخت تا این پایان نامه را به پایان برسانم. شکر قلبی و لسانی خود را از استاد عالی قدرم جناب آقای دکتر غلامحسین کریمی که زحمت راهنمایی این پایان نامه را عمده دار گردیدند و در تمامی مراحل انجام رساله از راهنمایی های مدبرانه ایشان استفاده نمودم ابراز می دارم و توفیقات روز افزون ایشان را توأم با صحت و سعادت خواستارم.

از جناب آقای دکتر حاجی کریمی که در امر مشاوره این رساله مساعدت نمودند و در این راه نهایت مراقبت، توجه و دقت خود را مبذول فرموده اند کمال شکر و امتنان را دارم و برای ایشان از خداوند سلامت و سعادت ابدی را خواهانم.

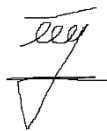
از جناب آقای پروفور میکیل اشیدر و گروه هیدروژنولوژی دانشگاه Free University of Berlin (FUB) که نمی دانم با کدامین واژگان مجتهدان را ارج نهم بی نهایت پاسکزارم، لطف و مهربانی بی شائبه شان همیشه در خاطر من خواهد ماند.

از پدر و مادر مهربانم و برادران و خواهر عزیزم که در سراسر زندگی تحصیل از هیچ کوششی دریغ نوزید کمال شکر را دارم. از همسر من که گلیه گاه من در مواجهه با مشکلات، و وجودش مایه دلگرمیم است پاسکزارم. بر راستی انجام این رساله بدون بخلاری و تشویق های امیدبخش ایشان میسر نبود.

تعهد نامه

اینجانب زینب نجفی دانشجوی دوره دکتری رشته هیدروژئولوژی (آبشناسی) دانشکده علوم زمین دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده رساله بررسی عوامل مؤثر بر تغییرات آبدهی چشمه‌های کارستی بزرگ استان کرمانشاه تحت راهنمایی جاب آقای دکتر غلامحسین کرمی متعهد می شوم.

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



تاریخ ۱۳۹۹/۱۲/۰۵

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

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

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

چکیده

در استان کرمانشاه بیش از ۲۰۰ چشمه کارستی (که در اصطلاح محلی سراب نامیده می‌شوند) وجود دارد که آبدهی بسیاری از آن‌ها در سه دهه گذشته به طور قابل توجهی کاهش یافته است. به منظور بررسی عوامل مؤثر بر کاهش آبدهی این چشمه‌ها ابتدا ۴۰ چشمه کارستی با شرایط محیطی مختلف انتخاب شد. پس از بررسی‌های اولیه هیدروژئولوژیکی، از بین آنها تعداد ۷ چشمه انتخاب شد. در گزینش چشمه‌های منتخب سعی شد که تا حد امکان، حوضه‌های آبرگیر آن‌ها توسط یک چشمه تخلیه شوند و هم‌چنین شدت عملکرد انسانی در اطراف آن‌ها متنوع باشد. به دلیل برداشت بی‌رویه از آبخوان‌های آبرفتی در دشت‌های مختلف استان، بسیاری از دشت‌ها دارای بیلان منفی می‌باشند. از طرفی در بسیاری از مناطق، دشت‌های آبرفتی توسط منابع آب کارستی تغذیه می‌شوند و وجود این ارتباط موجب می‌شود افت سطح آب زیرزمینی در آبرفت‌ها بر روی آبخوان‌های کارستی مجاور تأثیرگذار باشد. شدت اثرگذاری افت سطح آب زیرزمینی در آبرفت‌ها بر روی آبخوان‌های کارستی مجاور به ویژگی‌های آبخوان کارستی وابسته است. به منظور ارزیابی دقیق‌تر این ارتباط هیدرولیکی، سطح آب زیرزمینی در اطراف چند چشمه کارستی با دقت بیشتری مورد بررسی قرار گرفت. برای هر چشمه کارستی یک حداقل تراز آب زیرزمینی تعریف شده است که در آن چشمه خشک خواهد شد. تراز آب زیرزمینی مذکور، حداقل تراز آب زیرزمینی مجاز (Minimum Allowable Ground Water Level) نامگذاری شده است. نتایج حاصله تطبیق قابل توجهی را با داده‌های واقعی در سطح آب زیرزمینی اطراف چشمه‌های کارستی و آبدهی آن‌ها نشان می‌دهد. مهمترین ویژگی‌های طبیعی مربوط به آبخوان در پاسخ چشمه به بارش، شکل، اندازه و درجه توسعه کارستی است. درجه توسعه کارستی از طریق پوشش اپی‌کارست، مشاهده عوارض کارستی و هم‌چنین خصوصیات هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی آنها مورد بررسی قرار گرفت. از طرف دیگر اصلی‌ترین عامل مؤثر بر کاهش آبدهی چشمه‌های کارستی منطقه، به ویژه در چند دهه اخیر، دخالت‌های انسانی است. دخالت‌های انسانی مربوط به برداشت مستقیم از چاه‌های حفر شده در آبخوان‌های کارستی و یا آبخوان‌های آبرفتی مجاور آنها اعمال شده است. بررسی‌های انجام شده بیانگر این است که سهم دخالت‌های انسانی از کمتر از پنج درصد تا بیش از ۹۵ درصد در چشمه‌های منتخب، متغیر است. به منظور ارائه یک روش کاربردی برای برآورد سهم عوامل تأثیرگذار بر کاهش آبدهی چشمه‌های کارستی، مقادیر تغذیه و تخلیه آبخوان‌های کارستی و هم‌چنین حجم برداشتی از آبخوان‌های آبرفتی تغذیه شونده توسط آبخوان کارستی، مورد ارزیابی قرار گرفت. در نهایت، با تلفیق عوامل انسانی و عوامل طبیعی (شامل بارش، توسعه کارستی و خصوصیات هیدروژئولوژیکی آبخوان) معادله‌ای معرفی گردید که اثر عوامل مؤثر مختلف بر کاهش آبدهی چشمه‌های کارستی در آن لحاظ شده است. نتایج به دست آمده از این معادله با داده‌های واقعی درازمدت چشمه‌های کارستی منطقه همخوانی بسیار نزدیکی دارد.

واژگان کلیدی: چشمه کارستی، عوامل مؤثر بر آبدهی، فعالیت انسانی، عوامل طبیعی، حداقل مجاز سطح آب زیرزمینی، کرمانشاه

فهرست مطالب

فصل اول: مقدمه.....	۱
۱-۱- بیان مسئله و اهداف تحقیق.....	۱
۲-۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه.....	۳
۳-۱- آب و هوای منطقه مورد مطالعه.....	۳
۴-۱- زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه.....	۷
۵-۱- چینه‌شناسی منطقه مورد مطالعه.....	۹
۶-۱- زمین‌ریخت‌شناسی منطقه مورد مطالعه.....	۹
۷-۱- هیدرولوژی منطقه مورد مطالعه.....	۱۱
۸-۱- هیدروژئولوژی منطقه مورد مطالعه.....	۱۳
فصل دوم: مروری بر مطالعات پیشین در مورد عوامل مؤثر بر آبدهی چشمه‌های کارستی.....	۱۵
۱-۲- اقلیم.....	۱۵
۲-۲- خصوصیات آبخوان کارستی.....	۱۸
۳-۲- خصوصیات حوضه آگیر چشمه.....	۱۸
۴-۲- درجه توسعه کارست.....	۲۱
۵-۲- سیستم غالب جریان.....	۲۲
۶-۲- عوامل انسانزاد.....	۲۳
۷-۲- پمپاژ از آبخوان کارستی.....	۲۳
۸-۲- پمپاژ از آبخوان آبرفتی مجاور.....	۲۴
۹-۲- سایر عوامل انسانزاد.....	۲۵
فصل سوم: روش انجام کار.....	۲۹
۱-۳- جمع‌آوری اطلاعات و آمار.....	۲۹
۲-۳- انتخاب چشمه‌های معرف.....	۳۱
۳-۳- برداشت‌های صحرائی.....	۳۲
۴-۳- ارزیابی توسعه کارست در منطقه.....	۳۳

۳۳	۵-۳- برآورد تغذیه منطقه
۳۹	۶-۳- ترسیم حوضه آبخیز چشمه‌ها
۴۰	۷-۳- اندازه‌گیری ایزوتوپ‌های محیطی
۴۱	۸-۳- جمع‌بندی عوامل مؤثر ارزیابی شده
۴۳	فصل چهارم: بررسی‌های هیدروژئولوژیکی، هیدروشیمیایی و ایزوتوپی
۴۳	۱-۴- مطالعات هیدروژئولوژیکی انجام شده
۴۳	۱-۱-۴- چشمه‌ها و قنوات موجود در منطقه
۴۷	۲-۴- مقدار بارش در منطقه
۴۸	۳-۴- برآورد تغذیه در منطقه مورد مطالعه
۶۷	۴-۴- ترسیم حوضه‌های آبخیز چشمه‌های مهم منطقه
۶۹	۵-۴- جهت حرکت آب زیرزمینی در مناطق اطراف چشمه‌ها
۷۱	۶-۴- آنالیزهای هیدروشیمیایی چشمه‌های منتخب
۸۵	۷-۴- آنالیزهای ایزوتوپی چشمه‌های منتخب
۹۲	۸-۴- هیدروژئولوژی چشمه‌های منتخب
۱۰۱	فصل پنجم: بررسی عوامل مؤثر بر آبدهی چشمه‌های کارستی استان کرمانشاه
۱۰۲	۱-۵- عوامل طبیعی مؤثر در آبدهی چشمه‌ها
۱۰۲	۱-۱-۵- تغییرات اقلیم
۱۲۲	۲-۱-۵- ویژگی‌های آبخوان چشمه کارستی
۱۲۶	۳-۱-۵- سایر
۱۲۷	۲-۵- اثر دخالت‌های بشری بر روی آبدهی چشمه‌های کارستی
۱۲۹	۱-۲-۵- برداشت از آبخوان‌های کارستی
۱۲۹	۲-۲-۵- برداشت از آبرفت‌های مجاور
۱۳۵	۳-۲-۵- سایر
۱۳۵	۳-۵- جمع‌بندی عوامل مؤثر بر آبدهی
۱۸۷	فصل ششم: نتیجه‌گیری و پیشنهادها
۱۸۷	۱-۶- نتیجه‌گیری
۱۸۷	۱-۱-۶- اثرات اقلیم بر نوسانات آبدهی چشمه‌ها

- ۱۸۸۲-۱-۶- اثرات خصوصیات آبخوان بر نوسانات آبدهی چشمه‌ها.
- ۱۸۸۳-۱-۶- اثرات دخالت‌های بشری در نوسانات آبدهی چشمه‌ها.
- ۱۸۹۴-۱-۶- تلفیق عوامل مؤثر.
- ۱۹۰۲-۶- پیشنهادها.

فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه..... ۴
- شکل ۲-۱- ایستگاه‌های هواشناسی انتخابی در منطقه مورد مطالعه ۴
- شکل ۳-۱- پهنه‌بندی بارش در منطقه مورد مطالعه ۵
- شکل ۴-۱- پهنه‌بندی دما در منطقه مورد مطالعه ۶
- شکل ۵-۱- پهنه‌بندی اقلیمی بر اساس ضریب خشکی دومارتن در منطقه مورد مطالعه (کادر مشخص شده) ۷
- شکل ۶-۱- نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه ۱۰
- شکل ۷-۱- نیمرخ توپوگرافی در منطقه مورد مطالعه ۱۱
- شکل ۸-۱- رودخانه‌ها و چشمه‌های مهم منطقه مورد مطالعه ۱۲
- شکل ۱-۳- تصاویری از برداشت‌های صحرایی انجام شده در منطقه ۳۴
- شکل ۲-۳- نمودار جریانی برآورد درصد تغذیه با استفاده از GIS ۳۸
- شکل ۳-۳- نمونه‌های جمع‌آوری شده جهت انجام آنالیز ایزوتوپی ۴۰
- شکل ۱-۴- موقعیت مکانی چشمه‌های آماربرداری شده در استان ۴۴
- شکل ۲-۴- توزیع ایستگاه‌های باران‌سنجی استان کرمانشاه ۴۷
- شکل ۳-۴- منطقه‌بندی میانگین بارش در استان کرمانشاه ۴۷
- شکل ۴-۴- فروچاله‌ها (سمت راست) و پلیه (سمت چپ) موجود در یکی از ارتفاعات منطقه ۵۲
- شکل ۵-۴- آثار انحلالی بر سطح سنگهای موجود در منطقه ۵۳
- شکل ۶-۴- زهکشی زیر سطحی در پوشش خاک موجود در ارتفاعات منطقه ۵۳
- شکل ۷-۴- لایه‌های اطلاعاتی تهیه شده جهت برآورد تغذیه ۵۵
- شکل ۸-۴- لایه‌های اطلاعاتی تهیه شده جهت برآورد تغذیه ۵۶
- شکل ۹-۴- نمودار شماتیک از نحوه تاثیرگذاری پارامترهای مؤثر بر روی یکدیگر ۵۹
- شکل ۱۰-۴- نقشه نهایی برآورد تغذیه به روش تأثیرگذاری پارامترها ۶۵
- شکل ۱۱-۴- نقشه نهایی برآورد تغذیه به روش AHP ۶۵
- شکل ۱۲-۴- نقشه نهایی برآورد تغذیه به روش کارشناسی ۶۶
- شکل ۱۳-۴- نقشه نهایی برآورد تغذیه ۶۶
- شکل ۱۴-۴- حوضه آبرگیر چشمه‌های منتخب ۶۷
- شکل ۱۵-۴- حوضه آبرگیر چشمه‌های کبوترلانه، دربند صحنه و هرسین ۶۸
- شکل ۱۶-۴- حوضه آبرگیر چشمه روانسر ۶۸

- شکل ۴-۱۷- حوضه آبخیز چشمه‌های طاقبستان، نیلوفر و کاشنبه ۶۹
- شکل ۴-۱۸- توزیع پیژومترهای استان کرمانشاه ۷۰
- شکل ۴-۱۹- تصاویری از چشمه روانسر ۷۳
- شکل ۴-۲۰- اصلی‌ترین خروجی چشمه، و محل نمونه برداری در چشمه روانسر ۷۳
- شکل ۴-۲۱- نمایی از چشمه کبوترلانه، از ارتفاعات مشرف به چشمه ۷۴
- شکل ۴-۲۲- حوضچه تشکیل شده در مقابل چشمه کبوترلانه ۷۴
- شکل ۴-۲۳- حوضه آبخیز چشمه و دره گسلی محل بروزند چشمه ۷۶
- شکل ۴-۲۴- باغ‌های پایین دست چشمه دربند صحنه ۷۶
- شکل ۴-۲۵- چشمه کاشنبه و محل نمونه‌برداری از آن ۷۷
- شکل ۴-۲۶- سراب نیلوفر پیش (منبع عکس خبرگزاری فارس) و پس از خشک شدن ۷۸
- شکل ۴-۲۷- رخنمون چشمه نیلوفر خارج از دریاچه در فصل بهار و محل نمونه‌برداری ۷۸
- شکل ۴-۲۸- چشمه و محوطه تاریخی طاقبستان ۷۹
- شکل ۴-۲۹- بخشی از خروجی آب چشمه هرسین در دو فصل مختلف از سال ۷۹
- شکل ۴-۳۰- مقایسه آبدهی (الف) و هدایت الکتریکی (ب) در چشمه‌های مورد مطالعه ۸۳
- شکل ۴-۳۱- ارتباط T-Q-EC چشمه‌های روانسر، کبوترلانه، کاشنبه و دربند صحنه ۸۴
- شکل ۴-۳۲- ارتباط T-Q-EC چشمه‌های هرسین، نیلوفر و طاقبستان و نسبت Ca/Mg چشمه‌های منتخب ۸۵
- شکل ۴-۳۳- خط‌های آب جوی جهانی: GMWL، کرمانشاه: KRMWL جوی روانسر: RSMWL و معادله خط حوضه آبخیز طاقبستان ۸۹
- شکل ۴-۳۴- نمودار پراکنش dD و ^{18}O نمونه چشمه‌های منتخب در ماه‌های مختلف ۹۰
- شکل ۴-۳۵- نمودار پراکنش dD و ^{18}O نمونه چشمه‌های منتخب به تفکیک ماه ۹۱
- شکل ۴-۳۶- نمودار پراکنش dD و ^{18}O نمونه چشمه‌های منتخب ۹۲
- شکل ۴-۳۷- منحنی فرود چشمه‌های مورد مطالعه ۹۳
- شکل ۵-۱- روند تغییرات بارش ثبت شده در ۷ ایستگاه سینوپتیک منطقه مورد مطالعه در طولانی‌مدت ۱۰۳
- شکل ۵-۲- روند تغییرات مقدار بارش در ایستگاه کرمانشاه در ۶۶ سال اخیر (شش ماهه اول) ۱۰۵
- شکل ۵-۳- روند تغییرات مقدار بارش در ایستگاه کرمانشاه در ۶۶ سال اخیر (شش ماهه دوم) ۱۰۵
- شکل ۵-۴- روند تغییرات فصلی و سالانه مقدار بارش در ایستگاه کرمانشاه در ۶۶ سال اخیر ۱۰۶
- شکل ۵-۵- روند ماهانه مقدار بارش در ایستگاه روانسر در ۶۴ سال اخیر ۱۰۷
- شکل ۵-۶- روند تغییرات فصلی و سالانه مقدار بارش در ایستگاه روانسر در ۶۴ سال اخیر ۱۰۸

- شکل ۷-۵- روند ماهانه مقدار بارش در ایستگاه هرسین در ۶۰ سال اخیر ۱۰۹
- شکل ۸-۵- روند تغییرات فصلی و سالانه مقدار بارش در ایستگاه هرسین در ۶۰ سال اخیر ۱۱۰
- شکل ۹-۵- روند ماهانه مقدار بارش در ایستگاه صحنه در ۶۰ سال اخیر ۱۱۱
- شکل ۱۰-۵- روند تغییرات سالانه مقدار بارش در ایستگاه صحنه در ۶۰ سال اخیر ۱۱۲
- شکل ۱۱-۵- روند ماهانه مقدار بارش در ایستگاه کنگاور در دو دهه اخیر ۱۱۳
- شکل ۱۲-۵- روند تغییرات فصلی و سالانه مقدار بارش در ایستگاه کنگاور در دو دهه اخیر ۱۱۴
- شکل ۱۳-۵- روند ماهانه مقدار بارش در ایستگاه ماهیدشت در دو دهه اخیر ۱۱۵
- شکل ۱۴-۵- روند تغییرات فصلی و سالانه مقدار بارش در ایستگاه ماهیدشت در دو دهه اخیر ۱۱۶
- شکل ۱۵-۵- ناهماهنگی مشاهده شده بین مقدار بارش کل رخ داده و روند دبی چشمه‌ها ۱۲۱
- شکل ۱۶-۵- مقایسه رابطه بین بارش کل، بارش بیشتر از ۱۰ میلیمتر و بارش مؤثر بر روی هیدروگراف چشمه ... ۱۲۲
- شکل ۱۷-۵- محل قرارگیری چشمه‌های منتخب در استان ۱۲۳
- شکل ۱۸-۵- رابطه دبی و مساحت حوضه (برگرفته از علیزاده ۱۳۸۸) ۱۲۴
- شکل ۱۹-۵- شکستگی‌های موجود در آهک بیستون در منطقه مورد مطالعه ۱۲۵
- شکل ۲۰-۵- مگادولین موجود در حوضه آبرگیر چشمه روانسر (برگرفته از قربانی و همکاران ۱۳۸۹) ۱۲۵
- شکل ۲۱-۵- مکانهای دارای پتانسل تغذیه متمرکز در حوضه آبرگیر چشمه طاقبستان ۱۲۶
- شکل ۲۲-۵- نقش گسل در پایداری آبدهی چشمه قرهدانه ۱۲۶
- شکل ۲۳-۵- نقش گسل در پایداری آبدهی چشمه شاه‌حسین ۱۲۷
- شکل ۲۴-۵- مقدار تغییرات سطح آب زیرزمینی در محدوده‌های مطالعاتی استان طی سه دهه اخیر ۱۳۰
- شکل ۲۵-۵- تغییر ماهانه سطح آب در محدوده‌های مطالعاتی استان کرمانشاه ۱۳۱
- شکل ۲۶-۵- رابطه میان سطح آب زیرزمینی و آبدهی چشمه ۱۳۴
- شکل ۲۷-۵- نمودار تعداد چاه‌های مجاز عمیق و نیمه عمیق در استان کرمانشاه ۱۳۷
- شکل ۲۸-۵- نمودار میزان مصرف چاه‌های مجاز در مصارف مختلف استان کرمانشاه ۱۳۷
- شکل ۲۹-۵- رابطه میزان بارش، دبی چشمه‌ها و مجوزهای حفر چاه در استان کرمانشاه ۱۳۸
- شکل ۳۰-۵- نمودار دبی- بارش چشمه هرسین، با زمان تأخیر دو ماه ۱۳۹
- شکل ۳۱-۵- حوضه آبرگیر چشمه هرسین ۱۵۰
- شکل ۳۲-۵- ارتباط هدایت هیدرولیکی و دمای چشمه هرسین با آبدهی چشمه‌ها ۱۵۲
- شکل ۳۳-۵- چاه‌های پایین دست حوضه آبرگیر چشمه هرسین ۱۵۳
- شکل ۳۴-۵- کانال‌های چشمه هرسین منتهی به زمین‌های کشاورزی و رودخانه ۱۵۴

- شکل ۳۵-۵- نمودار میانگین تجمعی تغییرات سطح آب زیرزمینی از ابتدای تشکیل ۱۵۵
- شکل ۳۶-۵- نمودار آبدهی چشمه هرسین در سال آبی پایان دهه‌های مختلف ۱۵۵
- شکل ۳۷-۵- مقادیر دبی اندازه‌گیری شده و دبی محاسباتی ۱۵۷
- شکل ۳۸-۵- مقادیر دبی اندازه‌گیری شده و دبی محاسباتی با استفاده از معادله به دست آمده و اعمال اثر فعالیت بشری ۱۵۸
- شکل ۳۹-۵- نمودار دبی- بارش چشمه کبوترلانه، با زمان تأخیر دو ماه ۱۶۱
- شکل ۴۰-۵- حوضه آبگیر چشمه کبوترلانه و صحنه ۱۶۳
- شکل ۴۱-۵- چاه‌های پایین دست حوضه آبگیر چشمه‌های کبوترلانه و صحنه ۱۶۴
- شکل ۴۲-۵- مقادیر دبی اندازه‌گیری شده و دبی محاسباتی با استفاده از معادله به دست آمده، ۱۶۴
- شکل ۴۳-۵- عملیات عمرانی در پایین دست چشمه (سد کبوترلانه) و یکی از بندهای احداثی در حوضه آبگیر چشمه ۱۶۵
- شکل ۴۴-۵- کانال اصلی اندازه‌گیری دبی چشمه کبوترلانه و مسیل سیلاب. وجود احتمال تداخل پیش از احداث کانال ۱۶۶
- شکل ۴۵-۵- رواناب و احتمال تداخل با دبی چشمه پیش از احداث کانال ۱۶۶
- شکل ۴۶-۵- نمودار میانگین تجمعی تغییرات سطح آب زیرزمینی آبخوان صحنه ۱۶۸
- شکل ۴۷-۵- محل ورود رواناب به دره محل چشمه ۱۶۸
- شکل ۴۸-۵- دره محل رخنمون چشمه و ورود رواناب- دید از بالا ۱۶۹
- شکل ۴۹-۵- نمودار دبی- بارش چشمه دربند صحنه، با زمان تأخیر یک ماه ۱۷۰
- شکل ۵۰-۵- مقادیر دبی اندازه‌گیری شده و دبی محاسباتی ۱۷۱
- شکل ۵۱-۵- نمودار میانگین تجمعی تغییرات سطح آب زیرزمینی دشت پایین دست چشمه کاشنبه ۱۷۱
- شکل ۵۲-۵- چاه‌های اطراف حوضه آبگیر چشمه‌های کاشنبه و نیلوفر ۱۷۳
- شکل ۵۳-۵- نمودار دبی- بارش چشمه کاشنبه، با زمان تأخیر دو ماه ۱۷۵
- شکل ۵۴-۵- مقادیر دبی اندازه‌گیری شده و دبی محاسباتی چشمه کاشنبه بدون اعمال اثر فعالیت انسانی ۱۷۵
- شکل ۵۵-۵- مقادیر دبی اندازه‌گیری شده و دبی محاسباتی چشمه کاشنبه ۱۷۶
- شکل ۵۶-۵- نمودار دبی- بارش چشمه روانسر، با زمان تأخیر یک ماه ۱۷۶
- شکل ۵۷-۵- نمودار دبی- بارش چشمه طاقبستان، با زمان تأخیر یک ماه ۱۸۲
- شکل ۵۸-۵- مقادیر دبی اندازه‌گیری شده و دبی محاسباتی چشمه طاقبستان ۱۸۳
- شکل ۵۹-۵- نمودار دبی- بارش چشمه نیلوفر، با زمان تأخیر دو ماه ۱۸۴
- شکل ۶۰-۵- مقادیر دبی اندازه‌گیری شده و دبی محاسباتی چشمه نیلوفر ۱۸۵

فهرست جدول‌ها

- جدول ۱-۱- طبقه‌بندی اقلیمی بر اساس روش دومارتن..... ۵
- جدول ۲-۱- ضریب دومارتن در ایستگاه‌های انتخابی ۶
- جدول ۳-۱- مشخصات چشمه‌های منتخب و بارش ثبت شده در ایستگاه‌های هواشناسی نزدیک آنها..... ۳۲
- جدول ۱-۴- ارزشدهی به لایه‌های مختلف (روش کارشناسی)..... ۵۸
- جدول ۲-۴- وزن‌های اعمال شده به لایه‌های مختلف (روش تأثیرگذاری پارامترها) ۶۰
- جدول ۳-۴- وزن‌های اعمال شده به لایه‌های مختلف (روش تأثیرگذاری پارامترها)- ادامه..... ۶۱
- جدول ۴-۴- مقادیر ترجیحات برای مقایسه‌های زوجی (برگرفته از قدسیپور ۱۳۸۱)..... ۶۲
- جدول ۵-۴- مقادیر ارزش و وزن اعمال شده در روش مقایسه زوجی..... ۶۳
- جدول ۶-۴- درصد تغذیه محاسبه شده و مساحت هر رده ۶۴
- جدول ۷-۴- ضریب تغییرات تقریبی برای پارامترهای فیزیکی- شیمیایی در هر دو نوع سیستم جریان..... ۸۰
- جدول ۸-۴- ضریب تغییرات پارامترهای اندازه‌گیری شده در چشمه‌ها..... ۸۲
- جدول ۹-۴- ضرایب کاهش دبی در چشمه‌های انتخابی..... ۹۴
- جدول ۱-۵- توزیع بارش و بارش‌های متمرکز در ایستگاه کرمانشاه- در دهه‌های مختلف..... ۱۱۷
- جدول ۲-۵- توزیع بارش و بارش‌های متمرکز در ایستگاه روانسر- در دهه‌های مختلف..... ۱۱۸
- جدول ۳-۵- توزیع بارش و بارش‌های متمرکز در ایستگاه کنگاور- در دهه‌های مختلف..... ۱۱۸
- جدول ۴-۵- توزیع بارش و بارش‌های متمرکز در ایستگاه قزوینه- در دهه‌های مختلف..... ۱۱۹
- جدول ۵-۵- توزیع بارش و بارش‌های متمرکز در ایستگاه ماهیدشت- در دهه‌های مختلف..... ۱۱۹
- جدول ۶-۵- توزیع بارش و بارش‌های متمرکز در ایستگاه نیلوفر- در دهه‌های مختلف..... ۱۱۹
- جدول ۷-۵- توزیع بارش و بارش‌های متمرکز در ایستگاه هرسین- در دهه‌های مختلف..... ۱۲۰
- جدول ۸-۵- توزیع بارش و بارش‌های متمرکز در ایستگاه صحنه- در دهه‌های مختلف..... ۱۲۰
- جدول ۹-۵- روند آبدی چشمه‌های موجود در منطقه در چند دهه اخیر..... ۱۳۳
- جدول ۱۰-۵- محاسبه حداقل سطح آب زیرزمینی پیش از خشک شدن چشمه..... ۱۳۳
- جدول ۱۱-۵- پیش‌بینی نرخ تجمعی تغییرات سالانه در سطح آب زیرزمینی..... ۱۳۵
- جدول ۱۲-۵- مقدار تغییرات بارش و دبی در بازه‌های زمانی مختلف..... ۱۳۶
- جدول ۱۳-۵- آمار چاه‌های مجاز استان کرمانشاه در دو دهه اخیر..... ۱۳۹
- جدول ۱۴-۵- تفسیر شدت رابطه در همبستگی پیرسون..... ۱۴۲
- جدول ۱۵-۵- محاسبه ضریب همبستگی پیرسون بین بارش مؤثر و دبی چشمه کاشنبه- دوره ۳۱ ساله..... ۱۴۳
- جدول ۱۶-۵- محاسبه ضریب همبستگی پیرسون بین بارش مؤثر و دبی چشمه کبوترلانه- دوره ۳۱ ساله..... ۱۴۳
- جدول ۱۷-۵- محاسبه ضریب همبستگی پیرسون بین بارش مؤثر و دبی چشمه دربند صحنه- دوره ۲۱ ساله..... ۱۴۳
- جدول ۱۸-۵- محاسبه ضریب همبستگی پیرسون بین بارش مؤثر و دبی چشمه روانسر - دوره ۱۵ ساله..... ۱۴۴
- جدول ۱۹-۵- محاسبه ضریب همبستگی پیرسون بین بارش مؤثر و دبی چشمه نیلوفر - دوره ۴۶ ساله..... ۱۴۴
- جدول ۲۰-۵- محاسبه ضریب همبستگی پیرسون بین بارش مؤثر و دبی چشمه هرسین - دوره ۳۹ ساله..... ۱۴۴

- جدول ۵-۲۱- محاسبه ضریب همبستگی پیرسون بین بارش مؤثر و دبی چشمه طاقبستان - دوره ۱۳ ساله ۱۴۵
- جدول ۵-۲۲- محاسبه ضریب همبستگی پیرسون بین بارش مؤثر و دبی چشمه طاقبستان - دوره ۶ ساله ۱۴۵
- جدول ۵-۲۳- امتیازدهی به فاکتورهای شکل و اندازه حوضه آبرگیر چشمه‌ها ۱۴۶
- جدول ۵-۲۴- امتیازدهی به فاکتورهای توسعه کارست حوضه آبرگیر چشمه‌ها ۱۴۶
- جدول ۵-۲۵- دبی ماهانه چشمه هرسین ۱۴۸
- جدول ۵-۲۶- بارش ماهانه ثبت شده در ایستگاه هرسین ۱۴۹
- جدول ۵-۲۷- محاسبه فاکتور شکل و ضریب فشردگی حوضه آبرگیر هرسین ۱۵۲
- جدول ۵-۲۹- وضعیت آبخوان هرسین از ابتدای تشکیل شبکه سنجش ۱۵۵
- جدول ۵-۳۰- محاسبات انجام شده براساس معادله ۵-۸ برای چشمه هرسین ۱۵۹
- جدول ۵-۳۱- دبی ماهانه چشمه کبوترلانه ۱۶۰
- جدول ۵-۳۲- بارش ماهانه ثبت شده در ایستگاه کنگاور ۱۶۱
- جدول ۵-۳۳- محاسبات انجام شده براساس معادله ۵-۸ برای چشمه کبوترلانه ۱۶۷
- جدول ۵-۳۴- دبی ماهانه چشمه صحنه ۱۶۹
- جدول ۵-۳۵- بارش ماهانه ایستگاه صحنه ۱۷۰
- جدول ۵-۳۶- وضعیت آبخوان ماهیدشت - پایین دست چشمه کاشنبه ۱۷۲
- جدول ۵-۳۷- دبی ماهانه چشمه کاشنبه ۱۷۴
- جدول ۵-۳۸- بارش ماهانه ایستگاه ماهیدشت ۱۷۵
- جدول ۵-۳۹- دبی ماهانه چشمه روانسر ۱۷۷
- جدول ۵-۴۰- بارش ماهانه در ایستگاه روانسر ۱۷۸
- جدول ۵-۴۱- دبی ماهانه چشمه طاقبستان ۱۸۰
- جدول ۵-۴۱- بارش ماهانه ایستگاه کرمانشاه ۱۸۰

فصل اول: مقدمه

کارست به گستره‌ای اطلاق می‌شود که دارای مورفولوژی خاص و سیستم زهکشی زیرسطحی قابل توجهی است که در اثر انحلال سنگ‌های با قابلیت انحلال در آب‌های طبیعی ایجاد می‌شود (Karami 2002). کارست عمدتاً در سنگ‌های کربناته توسعه پیدا می‌کند و همچنین به طور محدودی در سایر سنگ‌های انحلال‌پذیر (از جمله نمک، ژپس و...) نیز ایجاد می‌شود. میلانویچ (Milanovic 1981) اظهار کرده که ۲۵ درصد سطح کره زمین را سنگ‌های قابل انحلال پوشانده است، در مجموع شامل سنگ‌های کربناته (با وسعت حدود ۴۰ میلیون کیلومتر مربع)، سنگ نمک (حدود ۴ میلیون کیلومتر مربع) ژپس و انیدریت (حدود ۷ میلیون کیلومتر مربع) می‌باشند، لاموراکس (LaMoreaux 1991) این مقدار را حدوداً ۲۰ درصد برآورد کرده است. چشمه‌های مناطق کارستی جزو بزرگترین چشمه‌های موجود قلمداد می‌شوند و عمدتاً دارای آبدهی قابل توجهی هستند. این منابع آبی علاوه بر جاذبه‌های توریستی، می‌توانند تأمین‌کننده آب برخی رودخانه‌های محلی و دریاچه‌ها باشند؛ همچنین به عنوان منبع آب مورد نیاز شرب، کشاورزی و صنعت مناطق اطراف آن‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند (Kang et al. 2011). بیش از ۲۵ درصد جمعیت جهان بر روی مناطق کارستی زندگی می‌کنند و یا اینکه آب مورد نیاز خود را از منابع کارستی تأمین می‌نمایند. این مقدار مصرف در برخی از کشورها مانند آمریکا به حدود ۴۰ درصد از مقدار آب مصرفی می‌رسد (Ford and Williams 2007). در ایران حدود ۱۱ درصد از سطح کشور از سازندهای کارستی تشکیل شده است (ناصری ۱۳۷۱، افراسیابیان ۱۳۷۷).

۱-۱- بیان مسئله و اهداف تحقیق

کمبود آب همواره یکی از بزرگترین چالش‌های بشر است. در کرمانشاه به دلیل مورفولوژی خاص حاکم بر آن و دشت‌های حاصل‌خیز، توجه به منابع آبی بسیار حائز اهمیت است. منابع آب آبرفتی از نظر کمی

و کیفی در بسیاری از بخش‌های استان دارای محدودیت می‌باشند، به دلیل سهولت حفر چاه در آبرفت، برداشت از دشت‌های آبرفتی به گونه‌ای است که بسیاری از دشت‌ها دارای بیلان منفی می‌باشند وجود افت مداوم در آبرفت احتمال ایجاد مشکلاتی مانند فرونشست وجود دارد. از طرفی در بسیاری از مناطق، دشت‌های آبرفتی توسط منابع آب کارستی تغذیه می‌شوند و وجود این ارتباط موجب می‌شود افت سطح آب زیرزمینی در آبرفت‌ها بر روی آبخوان‌های کارستی مجاور مؤثر باشد. میزان اثر ذکر شده وابسته به ویژگی‌های آبخوان کارستی است.

در استان کرمانشاه بیش از ۲۰۰ چشمه کارستی (که در اصطلاح محلی سراب نامیده می‌شوند) با میانگین آبدهی بیش از ۸۰۰ لیتر بر ثانیه وجود دارد که بسیاری از آن‌ها در سه دهه گذشته کاهش آبدهی قابل توجهی را نشان می‌دهند. مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر آبدهی چشمه‌های کارستی را می‌توان عوامل اقلیمی، خصوصیات و ویژگی‌های آبخوان کارستی و همچنین اقدامات بشری دانست. منابع آب کارستی به تغییرات اقلیمی حساس هستند و با توجه به ویژگی‌های حوضه آبرگیر و خصوصیات آبخوان، به تغییرات اعمال شده، واکنش نشان می‌دهند؛ اما درصد کاهش آبدهی چشمه‌ها، بسیار متفاوت و از حدود پنج درصد تا بیش از ۹۵ درصد متغیر است، بنابراین به نظر می‌رسد تأثیرگذارترین عامل بر کاهش آبدهی چشمه‌ها فعالیت‌های بشری می‌باشد. علیرغم اهمیت موضوع تاکنون معادله جامعی برای بیان سهم هر کدام از عوامل فوق‌الذکر در کاهش آبدهی چشمه‌های کارستی ارائه نشده است، به نحوی که سهم اثر عوامل طبیعی مؤثر در کنار اثر فعالیت‌های بشری بر روی تغییرات آبدهی چشمه‌های استان برآورد گردد. عدم شناخت صحیح تأثیر این موارد، با در نظر گرفتن خصوصیات آبخوان و بهره‌برداری بی‌رویه از آبخوان‌ها، خسارت جبران‌ناپذیری مانند تغییر الگوی جریان آب زیرزمینی، افت شدید و غیرقابل برگشت و در نهایت مرگ چشمه‌ها را در پی دارد. بنابراین هدف اساسی از انجام این تحقیق، رفتارسنجی چشمه‌های کارستی بزرگ و عوامل مؤثر بر تغییرپذیری آبدهی آن‌ها است. در این تحقیق سعی می‌شود به سؤالات زیر پاسخ داده شود:

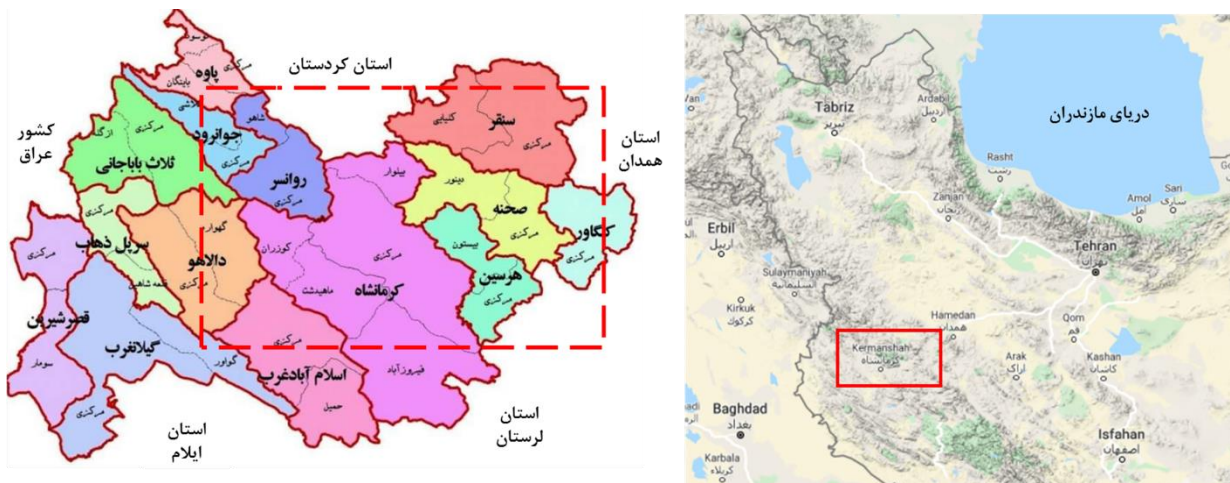
- تأثیر اقلیم (مقدار و نوع بارش) بر روی آبدهی چشمه‌ها و تغییرپذیری آن‌ها چگونه است؟
- خصوصیات آبخوان (درجه توسعه کارست، ابعاد آبخوان و شکل آبخوان) چه نقشی در آبدهی چشمه‌ها و تغییرپذیری دبی آن‌ها دارد؟
- سهم عوامل انسان‌زاد (حفر چاه در آبخوان کارستی و آبخوان آبرفتی مجاور) در تغییرپذیری رژیم آبدهی چشمه‌ها چقدر است؟

۱-۲- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

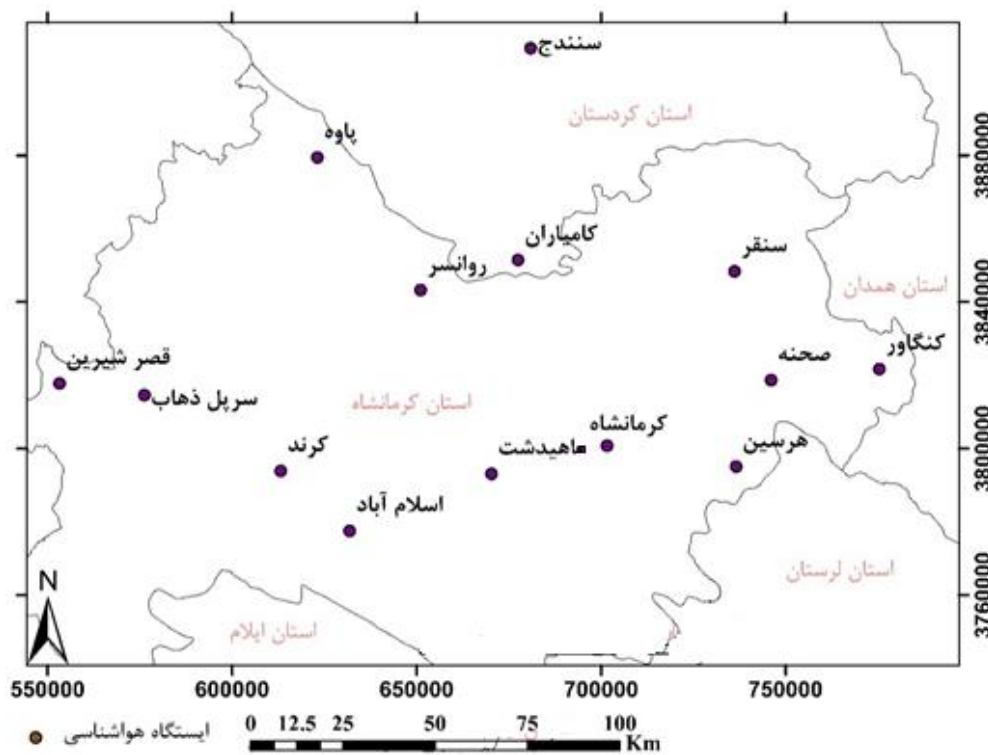
منطقه مورد مطالعه حدود دو سوم از مساحت استان کرمانشاه و بخشی از مساحت استان کردستان را در بر می‌گیرد که با وسعتی در حدود ۲۵۰۰۰ کیلومترمربع در میانه ضلع غربی کشور قرار گرفته است. استان کرمانشاه از شمال به استان کردستان، از جنوب به استان‌های لرستان و ایلام، از شرق به استان همدان و از غرب به کشور عراق محدود شده است. بخش عمده این منطقه را ارتفاعات رشته کوه‌های زاگرس پوشانده است که در حد فاصل فلات ایران، دشت خوزستان و صفحه عربی قرار می‌گیرد. دشتهای مرتفع کوهستانی در میان این کوه‌ها، از نظر کشاورزی دارای اهمیت هستند. این منطقه بر سر شاهراه‌های ارتباطی مهمی مانند جاده ابریشم بوده و از مناطق جغرافیایی مهم ایران باستان بوده است. زبان مردم منطقه کردی و برخی از بزرگترین اقوام و ایلات و طوایف نظیر قوم لک، ایل‌های کلهر، زنگنه، گوران، سنجایی، جمور، قلخانی و زوله در آن زندگی می‌کنند. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه در شکل ۱-۱۱ نشان داده شده است.

۱-۳- آب و هوای منطقه مورد مطالعه

در استان کرمانشاه ۱۵۳ ایستگاه جهت اندازه‌گیری پارامترهای هواشناسی وجود دارد، از این میان ۱۲۸ ایستگاه باران‌سنج، ۹ ایستگاه خودکار، ۳ ایستگاه اقلیم‌شناسی، ۷ ایستگاه تکمیلی، ۵ ایستگاه سینوپتیک و یک ایستگاه کشاورزی است. براساس تحقیقات میرموسوی (۱۳۹۱) که ۲۲ ویژگی اقلیمی را در ۱۲ ایستگاه سینوپتیک در دو استان کردستان و کرمانشاه مورد بررسی قرار داده است، اقلیم دو استان تحت تأثیر ۶ عامل اقلیمی، شامل گرما، بارش، رطوبت، ابر، تندر، باد و غبار می‌باشد. به منظور بررسی وضعیت آب و هوای منطقه مورد مطالعه ۱۱ ایستگاه (شامل ۵ ایستگاه سینوپتیک، ۲ ایستگاه خودکار، ۴ ایستگاه باران‌سنجی) با پراکنش مطلوب و داده طولانی مدت در استان کرمانشاه و ۲ ایستگاه کامیاران و سنندج در استان کردستان، انتخاب شده است. نقشه پراکندهای ایستگاه‌های انتخابی در شکل ۱-۲ نشان داده شده است.



شکل ۱-۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه



شکل ۲-۱- ایستگاه‌های هواشناسی انتخابی در منطقه مورد مطالعه

از آنجایی که از میان پارامترهای اقلیمی بررسی شده در تحقیق مذکور، دما و بارش مهم‌ترین پارامترهای اقلیمی در منطقه مورد مطالعه هستند و به تنهایی نقش مهمی در توجیه ویژگی‌های اقلیمی دارند، پهنه‌بندی بارش، دما و اقلیمی منطقه مورد مطالعه، با استفاده از داده‌های ثبت شده در ایستگاه‌های انتخابی، در شکل ۱-۴۵ مشاهده می‌شود. در این پهنه‌بندی از ضریب خشکی دومارتن (I) استفاده شده است (جداول ۱-۱ و ۲-۱) و از معادله ۱-۱ به دست می‌آید.

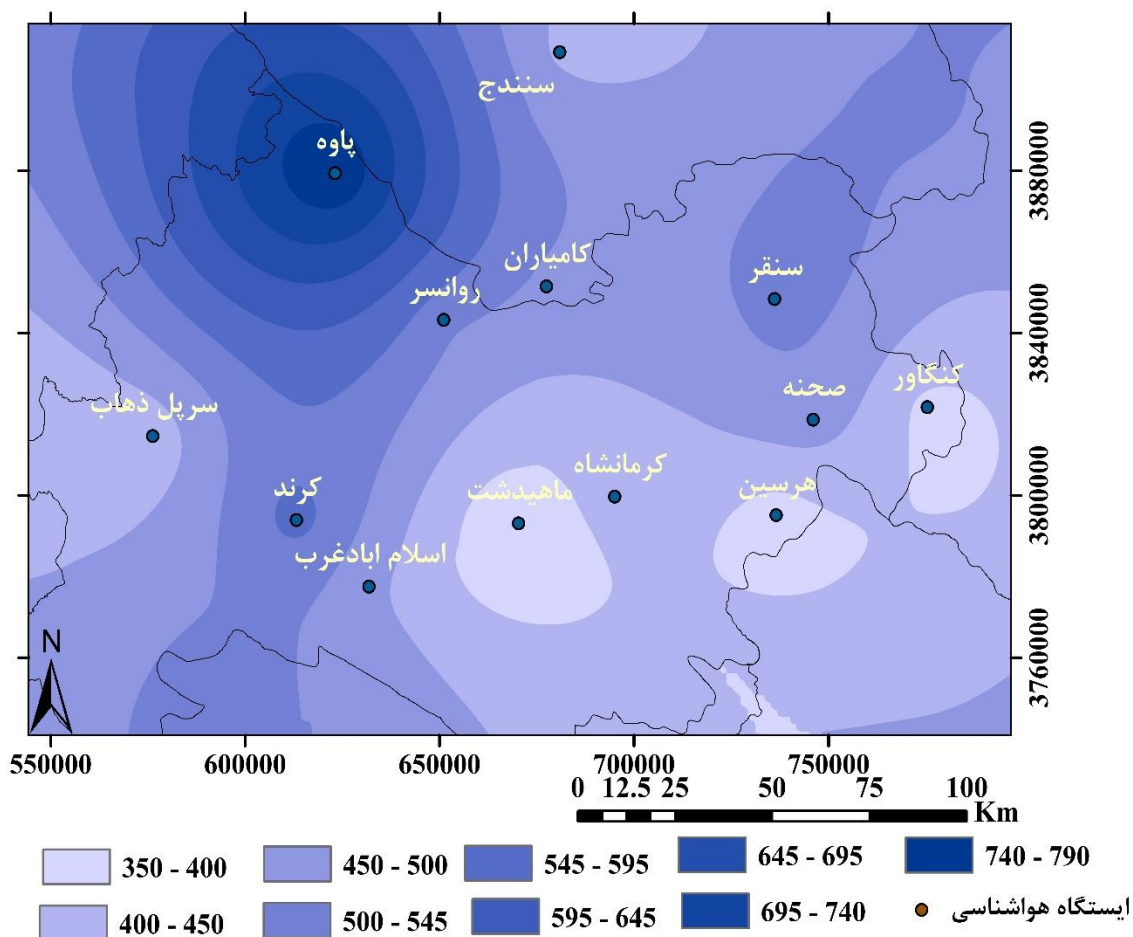
$$I = \frac{P}{T + 10}$$

معادله ۱-۱

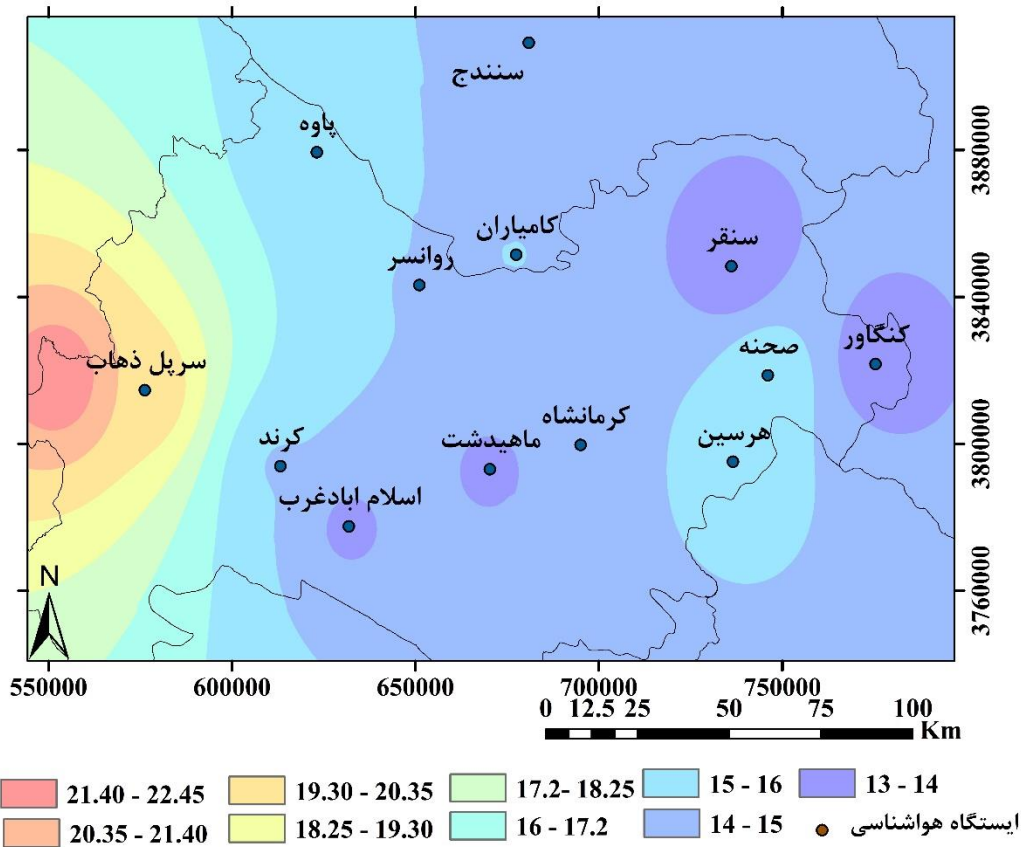
در این معادله P متوسط بارندگی سالانه بر حسب میلی‌متر و T متوسط دمای سالانه بر حسب درجه سانتیگراد در منطقه است.

جدول ۱-۱- طبقه‌بندی اقلیمی بر اساس روش دومارتن

نام اقلیم	محدوده ضریب خشکی دومارتن
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



شکل ۱-۳- پهنه‌بندی بارش در منطقه مورد مطالعه

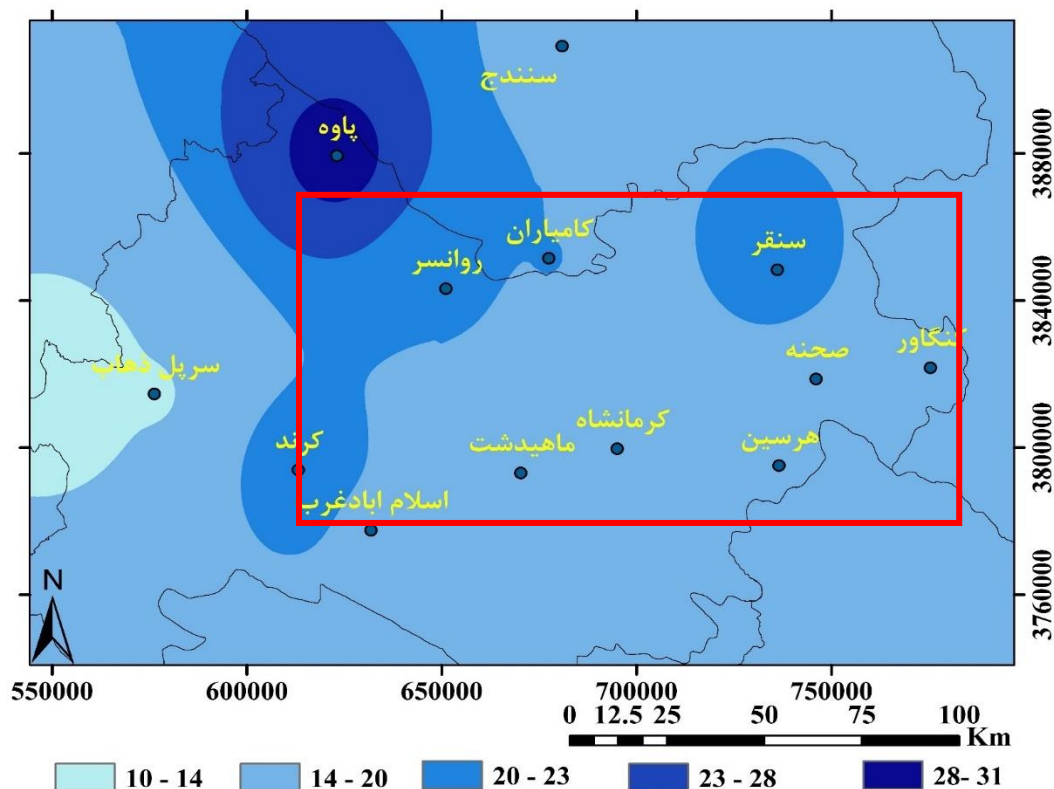


شکل ۱-۴- پهنه‌بندی دما در منطقه مورد مطالعه

جدول ۱-۲- ضریب دومارتن در ایستگاه‌های انتخابی

نام اقلیم	ضریب دومارتن	نام ایستگاه	ردیف	نام اقلیم	ضریب دومارتن	نام ایستگاه	ردیف
مدیترانه‌ای	۲۲/۲	سنقر	۸	مرطوب	۳۰/۷	پاوه	۱
نیمه خشک	۱۶/۵	کنگاور	۹	مدیترانه‌ای	۲۲/۵	کرد	۲
مدیترانه‌ای	۲۰/۳	روانسر	۱۰	نیمه خشک	۱۳/۷	سرپل ذهاب	۳
نیمه خشک	۱۹/۳	اسلام آباد	۱۱	نیمه خشک	۱۰/۲	قصر شیرین	۴
نیمه خشک	۱۷/۵	کرمانشاه	۱۲	نیمه خشک	۱۴/۷	ماهیدشت	۵
نیمه خشک	۱۸/۰	سنندج	۱۳	نیمه خشک	۱۴/۵	هرسین	۶
مدیترانه‌ای	۲۰/۰	کامیاران	۱۴	نیمه خشک	۱۸/۳	صحنه	۷

با استفاده از درونیابی مقادیر به دست آمده در ایستگاه‌های مختلف، نقشه پهنه‌بندی کلی در منطقه مورد مطالعه در شکل ۱-۵ نشان داده شده است.



شکل ۱-۵- پهنه‌بندی اقلیمی بر اساس ضریب خشکی دومارتن در منطقه مورد مطالعه (کادر مشخص شده)

۴-۱- زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

نخستین بررسی‌های اکتشافی نفت، در سال ۱۸۸۹، توسط شخصی به نام مورگان (Morgan 1889)، در بسیاری از نقاط ایران و از جمله در کرمانشاه صورت گرفته است. اگر چه این بررسی‌های اکتشافی به نتیجه منتهی نشد و بیشتر جنبه شناسایی کلی ویژگی‌های زمین‌شناسی، اجتماعی و تاریخی داشت، ولی نخستین گام در بررسی‌های زمین‌شناسی استان بود. نقشه زمین‌شناسی کرمانشاه، به عنوان اولین مطالعه زمین‌شناسی انتشار یافته، به مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ (Braud 1987) توسط سازمان زمین‌شناسی به چاپ رسیده است. از نگاه زمین‌ریخت‌شناسی، دو بخش شمال شرق و جنوب غرب استان دارای مورفولوژی متفاوت است. ارتفاعات شمال و مورفولوژی آن بیشتر حاصل عملکرد گسل‌های راندگی منطقه است، در حالی که، در سایر نواحی زمین‌ساختی از نوع چین‌خوردگی است و بنابراین عمدتاً به شکل تاقدیس‌ها و ناودیس‌های موازی با روند شمال غربی- جنوب شرقی هستند.

داده‌های زمین‌شناسی سراسری و منطقه‌ای نشان می‌دهد که بخش عمده استان کرمانشاه جزو حوضه رسوبی - ساختاری زاگرس است با این وجود بخش شمال شرقی آن ویژگی‌های زمین‌شناسی زون سنندج - سیرجان را دارد. به طور کلی، گستره منطقه مورد مطالعه را می‌توان به دو زیر پهنه جدا تقسیم کرد که مرز بین آنها با گسل جوان صحنه مشخص می‌شود. این گسل در حد فاصل دو گسل نهاوند و مروارید قرار دارد.

بخش کوچکی از پهنه دگرگون شده سنندج - سیرجان در شمال شرق استان کرمانشاه رخنمون دارد، که توسط گسل ذکر شده از سایر قسمت‌های استان جدا شده است. در این منطقه رخنمون‌های سنگی شامل واحدهای دگرگونی مزوزوئیک (مجموعه ولکانیکی آهکی سنقر) و اوایل سنوزوئیک هستند. شواهد زمین‌شناسی موجود نشان می‌دهد که در این نواحی فعالیت‌های آتشفشانی وجود داشته است به همین جهت بخش بزرگی از سنگ‌های این منطقه از نوع روانه‌های آتشفشانی همزمان با رسوب‌گذاری‌اند. علاوه بر توده‌های نفوذی گرانیت الوند (کرتاسه پسین) می‌توان به توده‌های نفوذی ائوسن - اولیگوسن، مانند توده کامیاران، اشاره کرد (نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ کرمانشاه).

بخش عمده منطقه مورد مطالعه و استان کرمانشاه در زون زاگرس قرار دارد، زون زاگرس به دو بخش زاگرس مرتفع و زاگرس چین‌خورده تقسیم می‌شود. مرز بین این دو زیر پهنه چندان آشکار نیست و به نظر می‌رسد که گذر از زاگرس مرتفع به زاگرس چین‌خورده تدریجی است (پیرامون شهر کرمانشاه).

در بخش شمال غرب استان در نتیجه عملکرد فرآیند راندگی ارتفاع زیاد دارد در اینجا سنگ‌های پرکامیرین پسین - تریاس میانی برونزد ندارند ولی سنگ‌های تریاس بالا تا کرتاسه رسوب‌های نواحی عمیق است که در بین آنها ردیف‌های رسوبی از نوع رادیولاریت و کربنات‌ها و نیز سنگ‌های افیولیتی (رادیولاریت‌های کرمانشاه، سنگ آهک‌های بیستون و افیولیت‌های صحنه - هرسین) دارای رخنمون‌های قابل توجهی است. استان کرمانشاه در واقع قسمتی از فروافتادگی حاشیه‌ای سپر عربستان است که در زمان مزوزوئیک در حال نشست مداوم بوده ولی در زمان سنوزوئیک به یک حوضه رسوبی همزمان با کوهزائی تبدیل شده است. بر همین اساس سنگ‌های مزوزوئیک آن معرف حوضه‌های رسوبی با عمق متوسط و سنگ‌های سنوزوئیک، نشانگر ردیف‌های رسوبی یک دریای پسرونده به سمت جنوب است. ردیف‌های کربناتی زمان کرتاسه، سازند بیستون، فلیش‌های امیران و سازندهای تله رنگ، کشکان، شهبازان عمده‌ترین واحدهای سنگ‌چینه‌ای رخنمون یافته در استان کرمانشاه هستند.

۱-۵- چینه‌شناسی منطقه مورد مطالعه

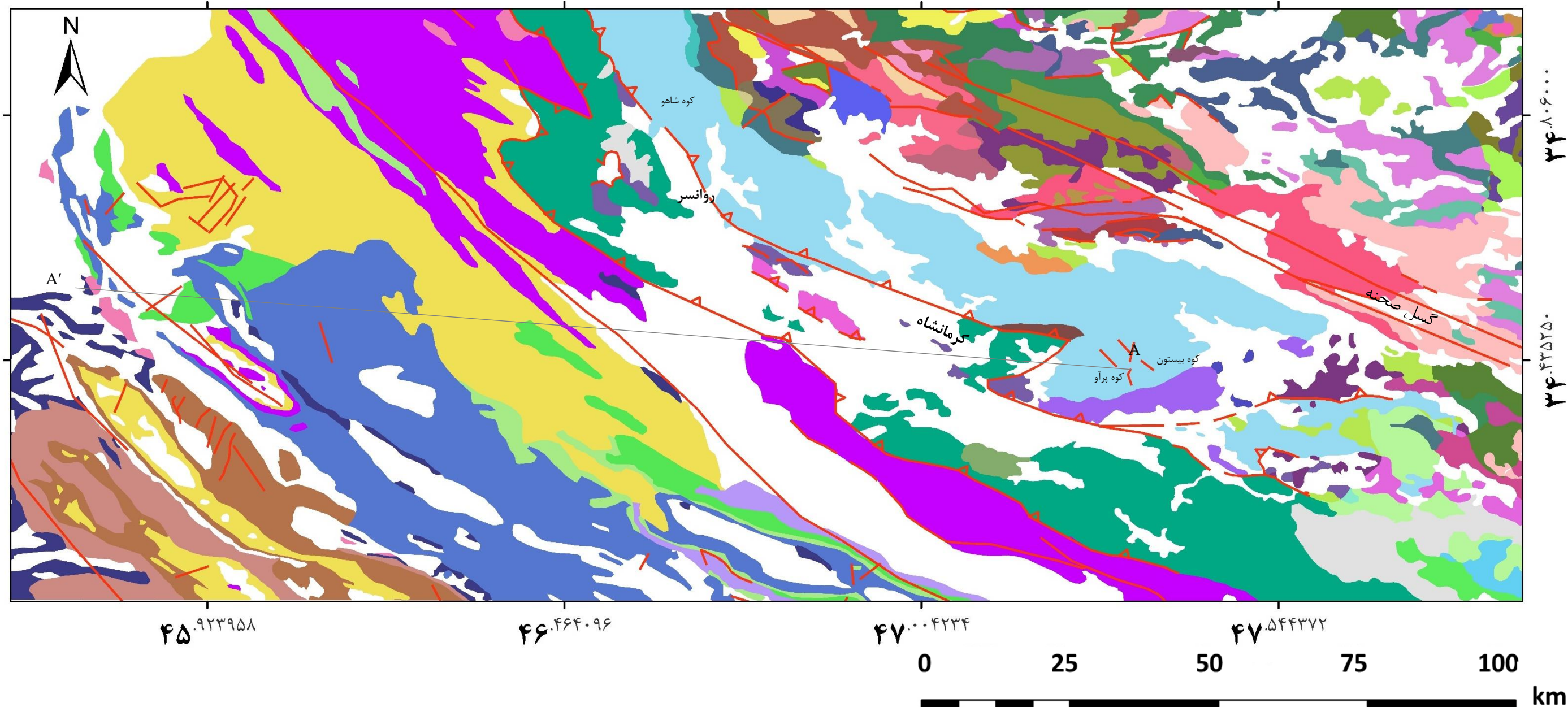
همانگونه که در بخش پیش ذکر شد بیشترین رخنمون سازندها در استان کرمانشاه شامل رسوبات کربناته با سن کرتاسه، سازند بیستون، تله زنگ، فلپش‌های امیران، کشکان و شهبازان است. با توجه به نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه (شکل ۱-۶) مشخص است که بخش عمده سطح منطقه به وسیله سازندهای کربناته پوشیده شده است؛ از مهمترین این سازندها می‌توان به سازند آهکی بیستون و آهک‌های کرتاسه اشاره کرد.

واحدهای کربناته منطقه، گزینه‌های مناسبی برای ایجاد آبخوان‌هایی با کیفیت آب مناسب است که گسترش قابل توجهی در سطح استان کرمانشاه دارند، گواه این موضوع چشمه‌های فراوان با آبدهی مختلف موجود در منطقه مورد مطالعه است.

۱-۶- زمین‌ریخت‌شناسی منطقه مورد مطالعه

بررسی‌های ژئومورفولوژیکی در مناطق دارای سنگ‌های کربناته از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، پوشش منطقه مورد مطالعه آهکی، با قابلیت انحلال بالا است و اشکال ویژه‌ای ایجاد می‌کنند که اصطلاحاً به آن کارست گفته می‌شود؛ از جمله عوارض کارستی می‌توان به پرتگاه‌های بزرگ (Scarps)، فروچاله (Sinkhole)، پلیه (Polje) و ... اشاره کرد. وجود عوارض یاد شده و چشمه‌های بزرگ کارستی در اطراف منطقه نشان‌دهنده توسعه شبکه‌های کارستی در ارتفاعات منطقه مورد مطالعه است.

براساس تقسیم‌بندی‌ها چنانچه مناطق مرتفع از نواحی اطراف خود بیشتر از ۵۰۰ متر اختلاف ارتفاع داشته باشد به ژئومورفولوژی منطقه، کوهستان و چنانچه بین ۵۰ تا ۵۰۰ متر اختلاف ارتفاع داشته باشد تپه‌ماهور و در نهایت مناطقی با اختلاف ارتفاع کمتر از ۵۰ متر را، دشت می‌گویند. بنابراین، تیپ ژئومورفولوژیکی غالب منطقه کوهستانی است، اکثر مناطق استان ارتفاعی بیشتر از ۱۰۰۰ متر دارند. بلندترین ارتفاع منطقه ۳۴۴۰ متر است که نسبت به مناطق اطراف خود حدود ۲۰۰۰ متر اختلاف ارتفاع دارد، بخشی از استان که در زاگرس مرتفع قرار دارد دارای ارتفاع قابل توجهی است، به یکباره در غرب استان و در نزدیکی مرز ایران با کشور عراق، ارتفاع کاهش یافته، به گونه‌ای که در برخی نقاط به حدود ۲۵۰ متر بالاتر از سطح دریا می‌رسد (شکل ۱-۷).



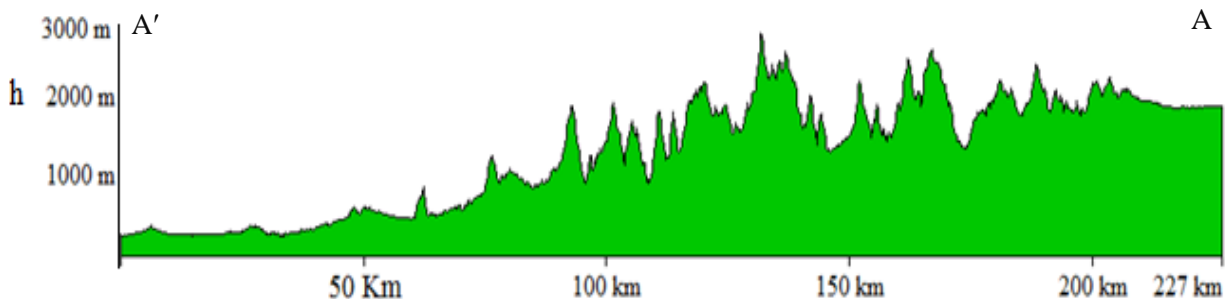
- | | | | | | |
|-----------------|-----------------------|------------------------------|----------------------------|-----------------|---------------------|
| سازند آغاچاری | شیل سنندج | آبرفت | آهک کریستاله و کالک شیست | آندزیت | سرپانتین |
| سازند بیستون | بازالت | ماسه سنگ، شیل، آهک و ولکانیک | آهک دگرگونی | آندزیت و بازالت | پریدوتیت هارزبورژیت |
| سازند امیران | دیاباز | سازند تله زنگ | مجموعه آهک، مارن، ماسه سنگ | آندزیت، توف | پریدوتیت |
| سازند تله زنگ | آسماری - شهبازان | سازند کشکان | رادئولاریت کرمانشاه | بازالت | گابرو |
| سازند کژدمی | گابرو | آهک اوربیتولین دار | سازند امیران | دیاباز | ریولیت |
| رادئولاریت | کنگومرا و ماسه سنگ | آهک بیستون | سازند سنندج و شیل سنندج | گسلهای اصلی | |
| آندزیت و بازالت | آهک، رادئولاریت و شیل | سازند امیران | مجموعه رسوبی دگرگونی | | |

شکل ۱-۶- نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

تنوع در ارتفاع و زمین‌ریخت‌شناسی یکی از دلایل ایجاد تنوع اقلیم در منطقه است. مناطق غربی استان که دارای ارتفاع کمتر هستند دارای آب و هوای گرم‌تر نیز می‌باشند. بازدیدهای صحرائی از بخش‌های کوهستانی منطقه مورد مطالعه علاوه بر عوارض کارستی که در بالا اشاره شد در برخی نواحی آثار انحلالی آب، شکستگی‌های کم و بیش بزرگ را نشان می‌دهد.

۷-۱- هیدرولوژی منطقه مورد مطالعه

به طور کلی ایران دارای چند حوضه آبریز مهم و بزرگ است شامل حوضه‌های آبریز دریای مازندران، دریاچه ارومیه، فلات مرکزی، مرزی شرقی، سرخس و حوضه آبریز خلیج فارس و دریای عمان. منطقه مورد مطالعه در دو حوضه آبریز که متعلق به حوضه آبریز خلیج فارس و دریای عمان هستند قرار دارد. همانگونه که از شکل ۷-۱ مشخص است، استان کرمانشاه در یک حوضه داخلی و یک حوضه مرزی قرار دارد، به عبارت دیگر حوضه آبریز کرخه و مرزی غربی منطقه غرب ایران را در برمی‌گیرند.



شکل ۷-۱- نیم‌رخ توپوگرافی در منطقه مورد مطالعه

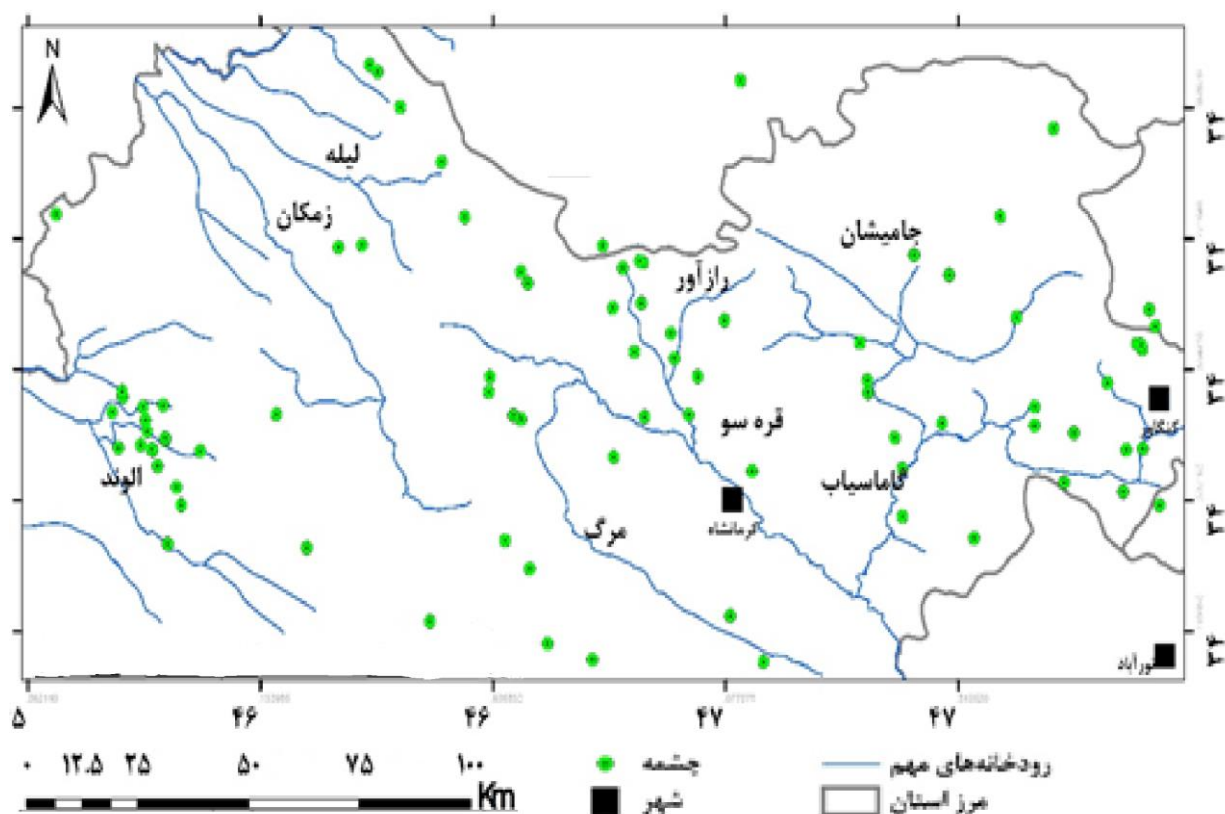
حوضه آبریز کرخه شامل ۱۵ زیرحوضه اصلی می‌باشد که در مرکز و شرق استان شامل شهرستان‌های کرمانشاه، اسلام‌آباد غرب، کنگاور، جوانرود (بخش روانسر)، صحنه و هرسین می‌شود و آب رودخانه‌های آن‌ها به رودخانه سیمره می‌ریزد.

حوضه آبریز مرزی غرب کشور (حوضه آبریز خارجی) با ۱۹ زیرحوضه اصلی در شمال غرب استان کرمانشاه شامل شهرستان‌های قصرشیرین، پاره، سرپل ذهاب، گیلان غرب، بخشی از سنقر، جوانرود (غیر از بخش روانسر) و بخشی از شهرستان اسلام‌آباد غرب بوده و آب رودخانه‌های آن‌ها وارد کشور

عراق می‌گردد. در حال حاضر بخشی از آب‌های سطحی استان از کشور خارج می‌شود. مهم‌ترین رودخانه‌های استان کرمانشاه به شرح زیر می‌باشد (شکل ۸-۱).

رودخانه سیروان: این رودخانه از بخش رزاب و مریوان در کردستان سرچشمه گرفته و پس از عبور از شمال غربی اورامانات، دوآب و شمال هرتا، رودخانه‌های ژادرود، قشلاق رود، ليله، لوشه، زمكان، دشت حر به آن پیوسته و سپس وارد کشور عراق می‌شود.

رودخانه رازآور: این رودخانه از کوه‌های اطراف کندوله و کامیاران سرچشمه گرفته و پس از عبور از کوه‌های جنوب شرقی کامیاران، در پای کوه قرال به مسیرش ادامه داده و در جنوب قزانچی به رودخانه قره‌سو می‌ریزد.



شکل ۸-۱- رودخانه‌ها و چشمه‌های مهم منطقه مورد مطالعه

رودخانه مرگ: این رودخانه از چشمه فیروزآباد واقع در جنوب غربی ماهیدشت سرچشمه گرفته و در شمال شرقی روستای میرعزیزی، به قره‌سو متصل می‌شود. پس از عبور از ماهیدشت و دریافت آب

سراب کا شنبه، وارد دشت کوزران شده و در آنجا آب رودخانه زردآب به آن می پیوندد. پس از آن در پای کوه ویس به رودخانه قره سو می ریزد.

رودخانه جامیشان: این رودخانه از ارتفاعات و چشمه سارهای اطراف سنقر کلیایی سرچشمه گرفته و به طرف جنوب غربی از تنگ میان کوه جامیشان عبور می کند. پس از عبور از این تنگ وارد دشت دینور شده و در تنگ دینور به رودخانه دینور آب می ریزد.

رودخانه قره سو: سرچشمه اصلی این رودخانه سراب روانسر واقع در ۵۰ کیلومتری شمال غرب کرمانشاه می باشد. این رودخانه با جهت شمال غربی به جنوب شرقی جریان پیدا می کند و در ۱۵ کیلومتری کرمانشاه، رودخانه رازآور و شاخه های فرعی آن به قره سو می پیوندد و با مسیر پر پیچ و خم، در سطح دشت جریان یافته و رودخانه مرگ به آن متصل می شود. این رودخانه از شهر کرمانشاه عبور کرده و در نزدیکی فرامان به رودخانه گاماسیاب ملحق می شود.

رودخانه گاماسیاب: از سراب سنگ سوراخ و چشمه سارهای اطراف نهاوند سرچشمه گرفته در مسیر به رشته های فرعی مختلفی از جمله آب ملایر، آب نهاوند و آب تویسرکان ملحق می شود. این رودخانه در جنوب بیستون به دینور آب پیوسته و به نام گاماسیاب ادامه مسیر داده و در نزدیکی فرامان به رودخانه قره سو متصل شده و پس از آن به نام سیمره وارد خاک لرستان می شود و سپس در استان خوزستان به نام کرخه جریان یافته و وارد هورالعظیم می شود.

رودخانه الوند: این رودخانه از آب چشمه های سیاوانه و سراب اسکندر در کوه دالاهو در شمال غربی کرند سرچشمه گرفته و پس از مشروب نمودن دشت ذهاب، به طرف قصر شیرین جریان یافته و نهایتاً وارد خانقین عراق می شود، در محل دو آب خانقین وارد دیاله می شود. این رودخانه از لحاظ این که از سرپل ذهاب (حلوان) می گذرد، به نام رودخانه حلوان نیز معروف است.

۸-۱- هیدروژئولوژی منطقه مورد مطالعه

هیدروژئولوژی هر منطقه تحت تأثیر زمین شناسی منطقه است؛ به عبارت دیگر زمین شناسی هر منطقه در نحوه ایجاد و توسعه سفره های آب زیرزمینی آن ناحیه تأثیر بسزایی دارد. سفره های کارستی نیز از این قاعده مستثنی نیستند. بخش وسیعی از منطقه مورد مطالعه توسط ارتفاعات آهکی پوشیده

شده است. با توجه به بارندگی نسبتاً بالا و سنگ مخزن مناسب در این کوه‌ها منابع آب زیرزمینی به صورت کارست تو سعه خوبی پیدا کرده‌اند. در این کارست‌ها چشمه‌های فراوانی تشکیل شده که حجم فراوانی از مصارف شرب و کشاورزی منطقه را تأمین می‌کنند. در ارتفاعات فروچاله‌ها با دریافت و ذخیره برف تا اواخر تابستان سبب افزایش توسعه کارست و تغذیه آب زیرزمینی می‌شوند و می‌توانند عمده بارش‌ها را از طریق عوارض کارستی از جمله فروچاله‌ها و حفره‌های انحلالی به درون زمین هدایت کنند. اگر بارش به صورت باران باشد، تقریباً تمام آب باران از طریق عوارض کارستی را به سفره‌های آب زیرزمینی منتقل شده و این موضوع دلیل اصلی عدم سیل‌خیزی در منطقه است. آب نفوذ یافته از طریق چشمه‌های کارستی و تخلیه مستقیم به درون رودخانه‌ها دوباره به سطح زمین برمی‌گردد.

بر اساس اطلاعات اخذ شده از شرکت آب منطقه‌ای کرمانشاه، در سال آبی ۱۳۸۲-۱۳۸۱ این استان دارای تعداد ۷۰۵۷ حلقه چاه نیمه‌عمیق و ۲۶۷۰ حلقه چاه عمیق (مجموعاً ۹۷۲۷ حلقه چاه مجاز) بوده است، این تعداد در سال آبی ۹۵-۹۶ به ۱۵۱۴۰ حلقه چاه رسیده است (۱۱۰۴۱ حلقه چاه نیمه‌عمیق و ۴۰۹۹ حلقه چاه عمیق). آمار دقیقی از تعداد چشمه‌های موجود در استان در دست نیست. برخی از چشمه‌های استان در ترسالی دارای آبدهی و در زمان‌های خشکسالی خشک هستند. اما به طور کلی می‌توان برای استان کرمانشاه حدود ۱۰۰۰ چشمه شناخته شده برآورد کرد. تعداد زیادی از چشمه‌های استان در دو دهه گذشته دچار کاهش شدید دبی، آبدهی فصلی و حتی در برخی موارد خشک شدن چند ساله شده‌اند. حدود ۲۰۰ چشمه در استان کرمانشاه دارای سابقه اندازه‌گیری ماهانه است.

از میان این چشمه‌ها حدود ۴۰ چشمه مهم که دارای دوره آماربرداری چند ساله و نیز آبدهی مناسب هستند انتخاب شده‌اند (جدول اطلاعات دبی چشمه‌ها در فصل ۴ آورده خواهد شد). همانگونه که از میانگین آبدهی چشمه‌های ذکر شده مشخص است، روند کاهش آبدهی در برخی از چشمه‌ها کاملاً مشهود است.

فصل دوم: مروری بر مطالعات پیشین درباره

عوامل مؤثر بر آبدهی چشمه‌های کارستی

مهم‌ترین عوامل طبیعی شامل اقلیم و خصوصیات آبخوان کارستی و اصلی‌ترین عامل انسانزاد برداشت آب از منابع زیرزمینی است. جهت بررسی سابقه مطالعات انجام شده در راستای موضوع مورد مطالعه، این فصل در دو بخش نگارش خواهد شد. نخست به عوامل مؤثر بر آبدهی چشمه‌های کارستی به صورت کلی پرداخته می‌شود و سپس سعی می‌شود به مطالعاتی که بر روی چشمه‌های کارستی منطقه مورد مطالعه صورت گرفته است اشاره شود. چگونگی عملکرد این عوامل بر مقدار آبدهی و تغییرپذیری آن در چشمه‌های کارستی به طور مختصر در زیر ارائه می‌شود.

۲-۱- اقلیم

تغییر اقلیم یکی از عوامل مهم تأثیرگذار بر کیفیت و کمیت منابع آب سطحی و زیرزمینی می‌باشد. به این ترتیب که تغییر اقلیم باعث تغییر در دما، میزان تبخیر و تعرق، رطوبت خاک، سرعت باد و نیز تغییرات زمانی و مکانی بارش می‌گردد که به دنبال آن نیاز به آبیاری افزایش می‌یابد. از طرف دیگر با توجه به بالا رفتن نرخ رشد جمعیت، تغییرات اقلیم بر روی کشاورزی، صنایع و مصارف خانگی نیز تأثیرگذار خواهد بود. عوامل ذکر شده، پیش‌زمینه تغییر پارامترهای هیدروژئولوژیکی از جمله تراز آب زیرزمینی و مقدار آبدهی چشمه‌ها خواهد شد. مطالعات انجام شده بر روی آبخوان‌های کارستی با استفاده از روابط بین ورودی و خروجی (بارش به عنوان ورودی و آبدهی به عنوان خروجی) صورت گرفته است (Mangin 1975, Mangin et al. 1994).

کنگ و همکاران (Kang et al. 2011) به منظور تأمین آب مورد نیاز منطقه و با حفظ آبدهی یک چشمه کارستی در شمال چین، با استفاده از داده‌های بارش، سطح آب زیرزمینی و آبدهی چشمه، به

ارزیابی دبی پایدار یک آبخوان کارستی پرداخته‌اند. آرخوا (Orehova 2004) به بررسی تغییر اقلیم در بازه زمانی ۱۲ ساله و تأثیر آن بر روی چشمه‌های کارستی در کشور بلغارستان پرداخته است. وی اظهار داشته که تغییرات آب و هوایی مانند خشکسالی، افزایش دما و به دنبال آن تبخیر، کاهش بارش برف و تغییر الگوی بارش باران در یک منطقه می‌تواند به صورت مستقیم بر روی تغذیه آبخوان کارستی تأثیرگذار باشد (Fiorillo 2009, Fiorillo and Guadagno, 2012).

الف - مقدار بارش

عوامل مختلفی مقدار آبدهی چشمه‌ها را تحت تأثیر خود قرار می‌دهند که یکی از مهمترین آن‌ها مقدار بارش می‌باشد (Han *et al.* 1993, Ma *et al.* 2004, Rimmer 2006). در واقع آبخوان‌های کارستی به عنوان مخازن بزرگ طبیعی برای بارندگی عمل می‌کنند، دبی چشمه‌های کارستی منعکس کننده دوره خشک، تر و تغییرات طولانی مدت بارشی هستند (Smith and Hunt 2010). صحت این مطلب بر روی چشمه‌های مختلف بررسی شده است از جمله داده‌های دو چشمه باتیر (Batir) و جامیا (Jamia) نشان‌دهنده ارتباط مستقیم میان بارش و آبدهی چشمه‌ها است، به این صورت که هر چه مقدار بارندگی بیشتر باشد آبدهی چشمه افزایش می‌یابد (Peleg *et al.* 2011).

پاسخ چشمه‌ها به بارش به صورت روند افزایشی در هیدروگراف چشمه نشان داده می‌شود، در نتیجه با افزایش مقدار بارش، سطح آب زیرزمینی و دبی چشمه افزایش یافته و به دنبال آن کاهش بارندگی موجب افت در هیدروگراف چشمه می‌شود (Bonacci and Zivaljevic 1993, Bonacci 1995). در بسیاری از پژوهش‌های انجام شده، آسیب‌پذیری منابع آب کارستی در اثر تغییرات اقلیمی مورد ارزیابی قرار گرفته است. به این ترتیب که پژوهشگران دلیل کاهش آبدهی چشمه‌های کارستی را کاهش در مقدار بارش سالانه، افزایش دما و در نتیجه تبخیر و تعرق بالاتر در مناطق کارستی ذکر کرده‌اند (Hao *et al.* 2006, Gremaud and Goldscheider 2006, Ekmekci, and Tezcan 2011).

جیلانی (Jeelani 2008) میانگین ماهانه دبی چهل چشمه بزرگ در هندوستان که حوضه آبرگیر آن‌ها در لیتولوژی‌های مختلف قرار دارد را مورد ارزیابی قرار داد. طبق بررسی‌های وی دبی چشمه‌های کارستی و آبرفتی مورد مطالعه در دو دهه گذشته روند کلی کاهشی را نشان می‌دهند. این مطلب را به تغییر

اقلیم جهانی، کاهش بارش کمتر از میانگین نرمال و از طرف دیگر کمتر شدن بارش برف و در نتیجه کم شدن حجم یخچال‌ها مرتبط می‌داند. محمدی و شجاع (Mohammadi and Shoja 2013) تأثیر بارش را بر روی پارامترهای هیدروگراف چشمه از جمله ضریب فرود (α)، حجم جریان دینامیک، جریان پایه و جریان سریع در دو چشمه کارستی (پیرغار و دیمه) در زاگرس بررسی کرده‌اند. نتایج به دست آمده بیانگر رابطه منفی بین بارش و α_1 ، رابطه مثبت بین بارش و حجم جریان دینامیک و جریان سریع می‌باشد. چشمه دیمه روند افزایشی بین بارش و جریان دینامیک را نشان نداد و این مربوط به درجه توسعه کارست در حوضه این دو چشمه است. لازم به ذکر است که آبخوان مربوط چشمه پیرغار در مقایسه با آبخوان دیمه از توسعه‌یافتگی بیشتری برخوردار است.

ب- نوع بارش

پولیود بوش و همکاران (Puliod-Bosch *et al.* 1995) سهم ذوب برف را در جریان سریع و پایه چشمه‌ها مهم دانسته‌اند. با بررسی سری زمانی سه چشمه کارستی در بلغارستان (که بخشی از سال حوضه آبرگیر آن‌ها دارای پوشش برف است) نشان دادند که هر چه پوشش برف بیشتر باشد هیدروگراف چشمه دارای مدت زمان اوج بیشتری است. وینگارد و همکاران (Winograd *et al.* 1998) با مقایسه محتوی ایزوتوپ‌های پایدار آب چشمه کارستی، برف، آب حاصل از ذوب برف، بارش تابستانه و زمستانه منطقه نوادا و نیز با اندازه‌گیری دبی روزانه چشمه و ترسیم هیدروگراف آن، در بازه زمانی ۹۴-۱۹۷۴، به این نتیجه رسیدند که در این منطقه برف (Snowpacks) به طور قابل ملاحظه‌ای در طی حوادث ال نینو افزایش یافته است. به اعتقاد آن‌ها به طور کلی ذوب برف در اواخر تابستان مهم‌ترین منبع تغذیه آهک‌های جنوب نوادا در آمریکا می‌باشد.

ون کمپ و والرینوس (Van Camp and Walraevens 2008) با مطالعه منطقه کارستی رازلوگ (Razlog) واقع در جنوب شرق بلغارستان بیان داشتند که تجمع و ذوب برف در نواحی تغذیه کننده چشمه‌های این منطقه تأثیر بسزایی در تغذیه و نوسانات دبی این چشمه‌ها داشته است. همچنین آن‌ها آب خروجی از چشمه‌ها در اواخر فصل تابستان را به ذوب برف نسبت داده‌اند. برخی از محققین معتقدند رابطه مستقیمی بین ضخامت برف تجمع یافته و دبی چشمه‌های اصلی در منطقه ماجلا واقع در کشور ایتالیا (Majella)

وجود دارد (Nanni and Rusi 2003). مطالعات فیوریلو و دوگلیونی (Fiorillo and Doglioni 2010) در ارتفاعات ۱۰۰۰ متر بالاتر از سطح دریا در جنوب ایتالیا نشان داده است که تجمع برف در طی چند هفته و ذوب شدن تدریجی آن، سبب جابجایی زمانی در اوج هیدروگراف چشمه‌ها می‌شود.

ج- تمرکز بارش

تغذیه متفاوت از سطح حوضه، به دلیل توزیع مکانی متفاوت بارش، یکی از عوامل تغییردهنده مسیرهای زیرزمینی آب است (Bonacci 2004). فیوریلو (Fiorillo 2014) دبی چندین چشمه در ایتالیا را در بازه یک سال آبی بررسی کرد و نوسانات رخ داده در تخلیه آن‌ها را در ارتباط با رژیم بارشی مورد ارزیابی قرار داد. از سال ۱۹۸۷ دبی این چشمه‌ها ۱۵ تا ۳۰ درصد کاهش یافته که می‌تواند به دلیل تغییرات زمانی و مکانی بارش و درجه حرارت، باشد این تغییرات ناشی از تغییرات آب و هوایی رخ می‌دهد. مطالعات دوسی و ترانفاگلیا (Ducci and Tranfaglia 2008) همین موضوع را با برآورد کاهش ۳۰ درصدی میانگین نفوذ در این منطقه تأیید می‌کند.

۲-۲- خصوصیات آبخوان کارستی

طبق مطالعات صورت گرفته در زمینه عوامل مؤثر بر روی چشمه‌های کارستی (که در ادامه به برخی از آن‌ها اشاره خواهد شد) یکی از عوامل مهم تعیین کننده - پس از ویژگی‌های اقلیمی - خصوصیات سیستم کارست است. براین اساس ویژگی‌های آبخوان که بر روی آبدهی چشمه‌های کارستی مؤثر است می‌توان به خصوصیات حوضه آبرگیر، درجه توسعه کارست، سیستم غالب جریان و گرا دیان هیدرولیکی اشاره کرد.

۲-۳- خصوصیات حوضه آبرگیر چشمه

یکی از فاکتورهای مهم و تعیین کننده در کارست مرزهای هیدرولوژیکی حوضه آبرگیر چشمه‌های کارستی می‌باشد (Palmer 2007). خصوصیات چشمه شامل هیدروگراف، پارامترهای فیزیکی و

شیمیایی از قبیل هدایت الکتریکی، دما و ترکیب شیمیایی و ایزوتوپی، نشان دهنده پاسخ کلی حوضه به آب ورودی است (Rehol and Birk 2010).

شکل منحنی‌های فرود چشمه‌های کارستی به خصوصیات هیدرودینامیکی آبخوان (از قبیل هدایت هیدرولیکی، ضریب ذخیره، شیب هیدرولیکی) و خصوصیات ژئومورفولوژیکی حوضه آبرگیر بستگی دارد (Eisenlohr 1997). غالباً هر چه کارست توسعه‌یافته‌تر باشد شیب اولیه منحنی فرود و گاهاً تعداد شیب‌های نمودار بیشتر است.

الف- مساحت حوضه آبرگیر چشمه

اندازه حوضه آبرگیر در آبخوان‌های کارستی ممکن است در زمان‌های مختلف تغییر کند. مقدار این تغییرات به مکان و شرایط ژئومورفولوژیکی و زمین‌شناسی آبخوان بستگی دارد (Bonacci et al. 2015). هراک (Herak et al. 1981) بیان کرد که مساحت حوضه آبرگیر رودخانه کتینا (Cetina River) در کارست دیناریک ۲/۷ برابر بزرگتر از حوضه آبرگیر توپوگرافی آن می‌باشد. این مطلب بارها توسط بناچی (Bonacci 1987) نیز مطرح شده است. تغییر در اندازه حوضه آبرگیر ناشی از تفاوت سطح آب زیرزمینی در طی دوره‌هایی است که سطح آب دارای نوسان است (Bonacci et al. 2015, Stevanovic 2015). میلانویچ (Milanovich 2010) با مطالعه بر روی چهار چشمه کارستی در منطقه شرق صربستان با اندازه حوضه‌های مختلف، نشان داد که ذخیره استاتیک و دینامیک آبخوان و تخلیه آن با مساحت حوضه ارتباط مستقیم دارد. در واقع با افزایش فعالیت هیدرولوژیکی، حوضه آبرگیر چشمه‌ها عمیق‌تر شده و آبدهی بیشتری خواهند داشت، بدین ترتیب به تدریج چشمه‌های کوچک حذف شده و به چند چشمه بزرگ با آبدهی بیشتر تبدیل می‌شوند (Bogli 1980). بناچی (Bonacci 2010) با بررسی چندین چشمه کارستی نشان داد تحت شرایط شدت بارش یکسان، حداکثر دبی به اندازه حوضه وابسته است. ایشان با جمع‌بندی کارهای مختلف انجام شده بر روی چشمه‌های کارستی در کرواسی، یوگسلاوی، فرانسه و ایالات متحده آمریکا، رابطه مثبت معناداری بین اندازه حوضه و دبی نشان داد. مصطفی و همکاران (Mustafa et al. 2015) حداکثر دبی (D_{me}) را برای چشمه کارستی با استفاده از معادله (۱-۲) محاسبه کرده‌اند:

$$Dme = P \times Ac$$

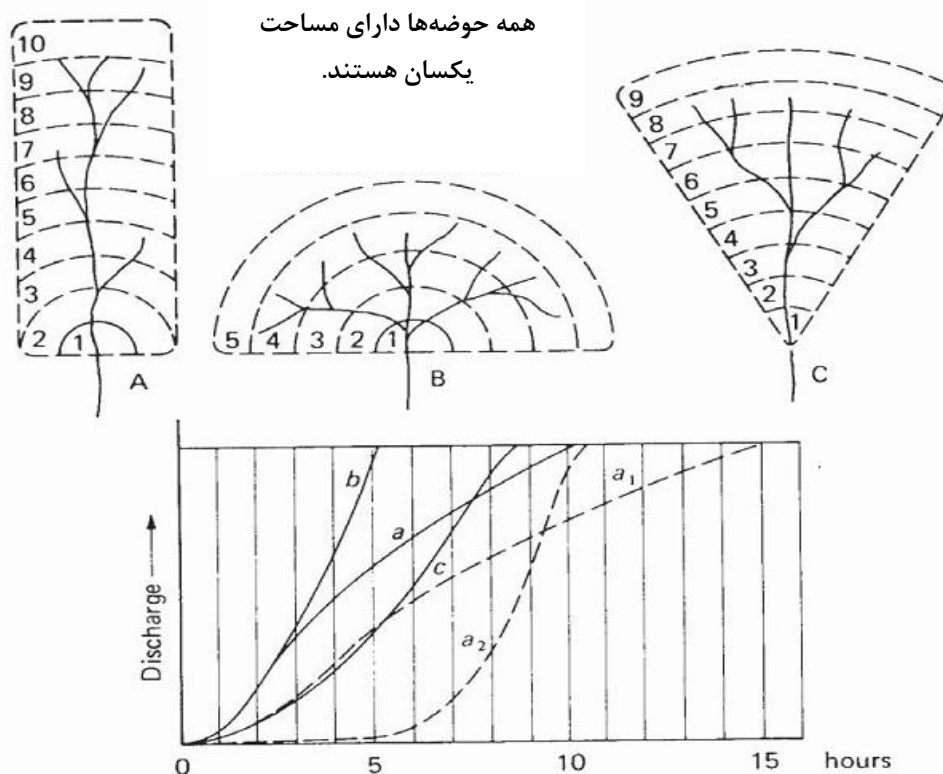
معادله ۱-۲

جایی که P میانگین بارش سالانه بر حسب میلی‌متر و Ac ، مساحت حوضه آبرگیر بر حسب مترمربع است. همانگونه که مشخص است دبی حداکثری و مساحت حوضه آبرگیر دارای رابطه مستقیم هستند.

ب- شکل حوضه آبرگیر چشمه

حوضه‌های آبرگیر از نظر ظاهری دارای شکل‌های متنوعی هستند که بر روی شکل هیدروگراف و دبی اوج مؤثر می‌باشد. شکل (۱-۲) تأثیر شکل‌های مختلف حوضه بر وضعیت هیدروگراف سیل را نشان می‌دهد. در این شکل حوضه‌های آبرگیری که از نظر وسعت، بارش و سایر خصوصیات مشابه هستند و تنها از نظر شکل متفاوتند با یکدیگر مقایسه شده‌اند.

همانگونه که مشخص است حوضه B دارای کوتاهترین زمان برای خروج آب از حوضه است و پس از ۵ ساعت به دبی اوج می‌رسد و حالت برعکس در حوضه آبرگیر A اتفاق می‌افتد. این مطلب می‌تواند در مورد حوضه آبرگیر چشمه‌ها نیز صادق باشد.



شکل ۱-۲- تأثیر شکل حوضه بر هیدروگراف سیل (برگرفته از Wilson 1983 ، به نقل از Bell 2002)

ج- نوع تغذیه

چشمه‌های کارستی با جریان غالب افشان، از تنوع شیمیایی و نوسانات آبدهی کمتری برخوردارند (Lehman 1932) عوارض (Shaster and White 1971, Hess and White 1988, Moore *et al.* 2009). لهماً (Lehman 1932) عوارض کارستی را به عنوان یک رابط، جهت انتقال سریع آب تغذیه شده به آب زیرزمینی معرفی کرده و تراکم این عوارض را عامل پاسخ سریع آبخوان به آب ورودی می‌داند (به نقل از Bonacci 2001).

۲-۴- درجه توسعه کارست

وجود ساختارهای خطی و عوارض کارستی وسیع، باعث ایجاد مسیری برای نفوذ راحت‌تر آب شده که خود موجب انحلال بیشتر و در نتیجه توسعه کارستی می‌شود، این مسئله در نهایت بر روی ظهور و آبدهی چشمه‌ها تأثیر می‌گذارد (۱۳۸۶ و حدتی و طاهری و Benavent *et al.* 1985). آبخوان‌های کارستی توسعه یافته دارای مجاری بزرگ بوده به علت ظرفیت ذخیره‌سازی کم این مجاری به تغییرات اعمال شده بر آبخوان پاسخ سریع می‌دهند (Panagopoulos and Lambrakis 2006). ارزیابی شکل هیدروگراف چشمه‌های کارستی، به عنوان نحوه پاسخ سیستم به بارش، از جمله اقدامات ضروری است که به درک ساختارهای درونی کارست و بررسی توسعه آن کمک می‌کند (Atkinson 1977, Gunn 1986, Bonacci 1989 and 1993, White 2002).

اتکینسون (Atkinson 1977) جریان موجود در مجاری را بیشترین حجم جریان دانست، در حالی که ورتینگتون و همکاران (Woethington *et al.* 2000) با بررسی چشمه‌ها به این نتیجه رسیدند که در چشمه‌های مورد مطالعه ۹۶ درصد از ذخیره آبخوان در ماتریکس سنگ و ۴ درصد از جریان در مجاری رخ می‌دهد.

غلامی و همکاران (Gholami *et al.* 2008) با بررسی ۸۰ چشمه کارستی در البرز نشان دادند که مهم‌ترین عامل مؤثر بر آبدهی این چشمه‌ها تخلخل (درجه توسعه کارست) و ارتفاع چشمه می‌باشد. یونگ هونگ و شیای (Yonghong and Chyi 2006) بارش و منطقه قرارگیری آبخوان را مهم‌ترین فاکتور در میزان کارستی شدن حوضه آبرگیر دانسته و درجه توسعه کارست را دلیل تفاوت در مقدار آبدهی چشمه‌های کارستی بیان کرده‌اند.

۲-۵- سیستم غالب جریان

شاستر و وایت (Shuster and White 1971) پاسخ شیمیایی آبخوان‌های کارستی را به دو دسته تقسیم بندی کرده‌اند: گروهی که نوسانات زیاد در سختی را نشان می‌دهند، سیستم مجرای (Conduit) و دسته دیگر با تغییرات کمتر افشان (Diffuse) نامیده می‌شوند. بندریتر و همکاران (Benderitter *et al.* 1993) بر روی نوسانات دمایی در آبخوان کم عمق کارستی مطالعه کردند، مشاهدات فصلی و کوتاه مدت نشان داد که نوسانات سریع معرف جریان سریع در مجاری و شکستگی‌های بزرگ‌تر و تغییرات فصلی در نتیجه تغییرات دمایی آبخوان است و استفاده از این اطلاعات در محاسبه عمق آبخوان مفید است.

۲-۶- سایر عوامل طبیعی

ویژگی‌های منحصر به فرد و خاص مناطق کارستی، آبخوان‌های کارستی را از آبرفتی به طور خاصی متمایز می‌کند. عوامل تأثیرگذار بر روی آبدهی چشمه‌های کارستی و تغییرپذیری آن را می‌توان به دو گروه کلی، شامل عوامل طبیعی و انسانزاد تقسیم‌بندی نمود. عوامل طبیعی تأثیرگذار بر مقدار آبدهی و تغییرپذیری آن در چشمه‌های کارستی شامل اقلیم، خصوصیات حوضه آبرگیر، خصوصیات آبخوان و سایر عوامل طبیعی مانند گسل‌ها می‌باشند. اثر گسل بر روی جریان آب در کارست همیشه به یک صورت نیست. گسل‌ها و چین‌خوردگی‌ها می‌توانند نقش‌های متفاوتی را در چرخه آب در کارست داشته باشند. تخلیه سریع مخازن آب موجود در کارست ممکن است یکی از نتایج گسلش در منطقه باشد و یا گاهی گسل‌ها به عنوان یک مانع عمل می‌کنند (Choppy 1977). از طرفی ممکن است در برخی موارد گسل‌ها تأثیر چندانی بر روی حرکت آب در کارست نداشته باشند. بناچی (Bonacci 2004) با اشاره به اثر زلزله ۵/۵ ریشتری سال ۲۰۰۴ در بخش جنوب کرواسی و غرب هرزگوین، این زلزله را عامل تغییر در رژیم هیدرولوژیکی منطقه معرفی می‌کند. به گونه‌ای که با وقوع زلزله سطح آب رودخانه که توسط کارست‌های منطقه تغذیه می‌شد ۶۰ الی ۱۸۰ سانتی‌متر کاهش یافت و چشمه موجود در منطقه نیز خشک گردید و بعد از گذشت حدود ۱۰ ساعت وضعیت هیدرولوژیکی منطقه به قبل از زلزله بازگشت. زلزله می‌تواند یکی از مخربترین عوامل تخریب فروچاله‌ها باشد (Bonacci 2004). علاوه بر گسل‌ها و زلزله، سیل نیز بر روی چشمه‌های کارستی

تأثیرگذار است. بناچی و همکاران (Bonacci *et al.* 2006) بیان داشتند به علت سیل‌های ناگهانی رخ داده در ماه دسامبر ۲۰۰۴، در منطقه کارستی دیناریک در کشور کرواسی (Croatia) چشمه‌های کارستی فراوان، موقت و ناگهانی در منطقه ظاهر شده است.

۲-۷- عوامل انسانزاد

با وجود اینکه چشمه‌ها سیستم زهکشی مناسبی برای آبخوان‌های کارستی محسوب می‌شوند، اما اکتفا به چشمه‌ها جهت رفع نیازها به علل مختلف میسر نیست (از جمله این دلایل می‌توان به فاصله زیاد برخی چشمه‌ها از محل مصرف اشاره نمود) در واقع این امر مستلزم صرف هزینه‌های سنگین جهت انتقال آب می‌باشد. از طرفی دیگر سیستم‌های انتقال دهنده نیز دارای مشکلات فراوانی در جهت حفظ و نگهداری تأسیسات مربوطه هستند. اما نکته بسیار مهم در این زمینه یافتن مکان مناسب جهت بهره‌برداری از این آبخوان‌هاست. متأسفانه به علت عدم انجام مطالعات صحیح و کافی در زمینه حفر چاه‌ها در مناطق کارستی و دشت‌های اطراف آبخوان‌ها، حفاری چاه‌ها اثر سوئی بر روند آبدهی چشمه‌ها می‌گذارد. شاید بتوان مهم‌ترین عامل ایجاد مخروط‌های افت شدید، که مسبب ایجاد تغییر در جهت جریان آب زیرزمینی و در برخی نقاط اختلال در روند آبدهی چشمه‌ها می‌شود، برداشت بیش از توان سفره‌های آب زیرزمینی دانست.

در دو دهه گذشته فعالیت‌های بشری در چرخه هیدرولوژی، تغذیه، رواناب و تخلیه سیستم‌های کارستی تأثیر گذاشته است. کینگ‌های (Qinghai 2004) به بررسی فعالیت‌های انسانی و تغییر اقلیم بر هفت چشمه کارستی در چین پرداخته است که تأثیر اقلیم بر روی خروجی آب از این سیستم را ۷۰ درصد و فعالیت‌های بشری را ۴۰ درصد تخمین زده است.

۲-۸- پمپاژ از آبخوان کارستی

کینگ و همکاران (Kang *et al.* 2011) برداشت پایدار از آب زیرزمینی و آبدهی ثابت چشمه‌ها را مستلزم شناخت مقدار حداکثر افت مجاز در آبخوان می‌دانند، بر این اساس اقدام به مدل‌سازی عددی تفاضل محدود منطقه کارستی در شمال چین به صورت سه بعدی نموده‌اند، نتایج نشان می‌دهد جهت

رسیدن به اهداف ذکر شده در بالا حداکثر افت مجاز در این آبخوان کارستی ۲۷/۵ متر بالاتر از سطح دریاست. بنابراین توزیع، محل و مقدار استخراج از آبخوان و طرح‌های تغذیه مصنوعی باید به گونه‌ای باشد که این میزان حداکثری افت در نظر گرفته شود. ایشان با استفاده از پایش طولانی مدت آبدهی چشمه و سطح آب زیرزمینی در حوضه یک چشمه کارستی رابطه دو پارامتر آبدهی چشمه و کمترین حد سطح آب زیرزمینی را به صورت فرمول ارائه کردند.

شی و همکاران (Xi et al. 2004) به شبیه سازی آبدهی چشمه کارستی در چین پرداختند و اعلام داشتند که افت سریع دبی چشمه از حدود ۸/۰۶ متر مکعب بر ثانیه در دهه ۸۰ میلادی به حدود ۴/۴۸ مترمکعب در دهه ۹۰، ناشی از افزایش برداشت آب زیرزمینی جهت مصارف کشاورزی و صنعتی است. هائو و همکاران (Hao et al. 2009) چشمه کارستی نیانگزیگوان (Niangziguan) واقع در چین را در دو بازه زمانی ۱۹۵۷-۱۹۷۸ و ۲۰۰۷-۱۹۹۷ مورد مطالعه قرار داده‌اند. آنها نتیجه گرفتند که دبی این چشمه در بازه زمانی اول متأثر از تغییرات آب و هوایی و در بازه زمانی دوم عمدتاً متأثر از فعالیت‌های بشری بوده است. آنها تأثیر برداشت از آب زیرزمینی را ۳۴ تا ۵۲ درصد برآورد کرده‌اند.

۲-۹- پمپاژ از آبخوان آبرفتی مجاور

علاوه بر حفر مستقیم چاه در آبخوان‌های کارستی، برداشت بیش از حد، از دشت‌های اطراف نیز باعث ایجاد مخروط افت و تغذیه آبخوان‌های آبرفتی توسط آبخوان کارستی می‌شود که این امر موجب کاهش ذخیره در مخزن کارست شده و در نتیجه بر روی دبی چشمه کارستی نیز مؤثر خواهد بود. جیلانی (Jeelani 2008) با بررسی داده‌های ۴۰ چشمه از سال ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۵، به صورت ماهانه، دلیل دبی کم اما ثابت چشمه‌های آبرفتی را ارتباط هیدرولیکی آبرفت‌های منطقه با سازندهای کارستی می‌داند. ماسی و همکاران (Massei et al. 2000) با بررسی بر روی ذرات حل شده از چشمه‌های کارستی و آبرفت‌های اطراف آن در فرانسه، تفاوت بین ذراتی که از چشمه‌ها خارج می‌شوند به خوبی بر این موضوع تأکید دارد که آب پمپ شده از دشت آبرفتی از آبخوان کارستی تغذیه می‌شود. داده‌های هیدروشیمیایی آب زیرزمینی در ایتالیا توسط پیلی (Pilli 2012) بررسی شد، نتایج نشان داد که ارتباط

هیدرولیکی بین واحدهای کربناته و دشت‌های اطراف عمدتاً از طریق گسل‌های موجود در منطقه صورت می‌گیرد.

امروزه با افزایش بهره‌وری از چاه‌ها، تعادل طبیعت برای جایگزینی آب تخلیه شده از سیستم بر هم خورده است، به این ترتیب که در بسیاری از نواحی افت شدید دبی خروجی از آبخوان‌های کارستی و حتی گاهی مرگ یک چشمه مشاهده می‌شود. به منظور جلوگیری از این اثر سوء، نیاز است که این عوامل به دقت مورد بررسی قرار گرفته و راهکار عملی با حداقل هزینه وارده بر اقتصاد و طبیعت پیشنهاد گردد. کرمی و همکاران (۱۳۹۱) به منظور ارزیابی عوامل مؤثر بر کاهش آبدهی سراب نیلوفر در کرمانشاه، به بررسی تغییرات زمانی سطح آب‌های زیرزمینی در آبرفت‌های مجاور تشکیلات آهکی تغذیه کننده سراب نیلوفر پرداخته‌اند. نتایج نشانگر این است که سطح آب زیرزمینی در این آبخوان‌ها، به ویژه در سال‌هایی که بارش کمتر رخ می‌دهد، به علت برداشت بی‌رویه آب زیرزمینی به طور مداوم در حال پایین افتادن است و این امر منجر به تخلیه آبخوان کارستی به داخل آبخوان آبرفتی مجاور شده است. کرمی و همکاران (۱۳۹۱) در مطالعه دیگری بر روی دشت ذهاب نشان دادند که بخش عمده تغذیه آبخوان‌های آبرفتی از طریق آهک‌های مجاور دشت صورت می‌گیرد. بنابراین افت سطح آب در این آبخوان‌ها منجر به انتقال آب بیشتر از آبخوان کارستی تغذیه کننده می‌گردد.

دگیرمنسی و گونای (Degirmenci and Gunay 1995) رابطه بین دبی چند چشمه کارستی در ترکیه که حدوداً دارای دبی ۳۹/۵ متر مکعب بر ثانیه است با حوضه مجاور را بررسی کردند. مشاهدات حاکی از آن است که از نواحی کارستی مجاور حدود ۱۰ متر مکعب بر ثانیه به این مجموعه چشمه‌ها آب منتقل می‌شود.

۲-۱۰- سایر عوامل انسانزاد

در مطالعه‌ای که هائو و همکاران (Hao *et al.* 2009) بر روی چشمه کارستی در چین انجام دادند سهم کاهش آبدهی چشمه مورد نظر در اثر فعالیت‌های بشری مانند معدنکاری، ساخت سد و جنگل‌زدایی را ۴۸-۶۶ درصد می‌دانند. مطالعات پتی‌تا و تالیانی (Petitta and Tallini 2002) بر روی آبخوان گرن‌ساسو بیانگر (Gran Sasso) تأثیر تغییرات طبیعی و تغییرات ناشی از فعالیت‌های صنعتی مربوط به زهکشی تونل بر روی دبی چشمه‌های این آبخوان می‌باشد (به نقل از Fiorillo *et al.* 2015).

نتایج پژوهش‌ها بیانگر این مطلب است که رخداد تغییرات در اقلیم و نیز دخالت‌های بشر منابع آبی، به ویژه منابع آب کارست را تحت تأثیر قرار دهد. این موضوع به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک، مانند ایران، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. براساس مطالعاتی که در این زمینه بر روی مناطق زاگرس انجام شده است، نشان می‌دهد که تغییرات اقلیمی رخ داده، به ویژه در طی دو دهه اخیر، زمینه‌ساز آغاز بحران آب در این مناطق و عدم پایداری محیط زیست این منطقه از کشور، مانند خشکیدگی جنگل‌های بلوط، فرسایش در زاگرس، تغییر و از بین رفتن گونه‌های گیاهی و ... به خصوص در استان‌های کرمانشاه و ایلام شده است (میری ۱۳۹۵، نوروزی ۱۳۹۵). تاکنون مطالعات مختلفی بر روی چشمه‌های کارستی استان کرمانشاه انجام شده است. فتوت و مهرابی (۱۳۸۶) به ارزیابی اثر خشکسالی بر آبدهی چشمه نیلوفر پرداخته‌اند، نتایج آن‌ها بیانگر وجود سیستم افشان در این چشمه است که به خشکسالی واکنش کمتری نشان می‌دهد. بررسی صورت گرفته به وسیله معصوم‌پور سماکوش و همکاران (۱۳۹۵) بر روی اثر تغییرات اقلیم بر آبدهی چشمه‌های کارستی دو حوضه فرعی در استان کرمانشاه (از زاگرس چین‌خورده و مرتفع)، نشان داد که چشمه‌های زاگرس چین‌خورده وابستگی کمتری به بارش دارند؛ اما به طور کلی شرایط کمی و کیفی چشمه‌های منطقه، تحت تأثیر تغییرات اقلیمی منطقه است. تأخیر زمانی بین وقوع خشکسالی هواشناسی و آب زیرزمینی در منطقه کارستی بیستون-پراو نسبت به منطقه پاتاق در استان کرمانشاه کمتر است، در این مناطق بدون تأخیر زمانی و یا حداکثر یک ماه مشاهده شده است (رحمتی و همکاران ۱۳۹۶). چشمه‌های موجود در منطقه کارستی بیستون-پراو به دلیل توسعه‌یافتگی بیشتر در کارست واکنش شدیدتر و سریعتری را نشان می‌دهند (رحمتی و همکاران ۱۳۹۴).

بر روی سیستم مجرایی و افشان برخی چشمه‌ها، از جمله ریجاب، مطالعه صورت گرفته است، (کریمی ۲۰۰۹)، کریمی و همکاران (۲۰۰۵) با مطالعه هیدروژئوشیمیایی چشمه‌های کارستی حوضه الوند، در غرب کرمانشاه و به منظور شناسایی فاکتورهای کنترل‌کننده خصوصیات شیمیایی آب چشمه‌ها، چشمه‌های ریجاب، سراب گرم، پیران، ماراب، گلین، گیلان و چند چشمه دیگر این حوضه را در دو گروه دسته‌بندی کرده‌اند. یک گروه دارای ارتفاع منطقه تغذیه بالا، غلظت یونی (به ویژه سولفات)، پایین، ترکیب ایزوتوپی رقیق و درجه حرارت کمتر، گروه دوم دمای بالاتر، ارتفاع منطقه تغذیه کمتر، ترکیب ایزوتوپی سنگین

تر، ترکیب یونی متوسط تا زیاد. پارامترهای اصلی کنترل کننده ترکیبات آب زیرزمینی و تغییرات فصلی آن را، زمین شناسی، ارتفاع و نرخ توسعه کارست می دانند.

فصل سوم: روش انجام کار

در این فصل، کلیه کارهای انجام شده برای انجام این تحقیق به طور مختصر ارائه شده است. به دلیل وسعت قابل توجه منطقه مورد مطالعه و تعداد زیاد چشمه‌های کارستی موجود در منطقه، در شروع کار از اکثر چشمه‌های کارستی مهم استان بازدید صورت گرفت، از فرودین ۱۳۹۵ تا پایان مرداد ۱۳۹۶ بازدیدهای صحرایی مفصلی به جهت شناسایی حوضه‌های آبگیر چشمه‌های کارستی، انتخاب چشمه‌های معرف در منطقه و اندازه‌گیری دبی و نمونه‌برداری از چشمه‌های منتخب صورت گرفته است. مراحل دستیابی به اهداف ذکر شده در این تحقیق به صورت مختصر در زیر ارائه شده‌اند:

- جمع‌آوری اطلاعات و آمار
- انتخاب چشمه‌های معرف
- برداشت صحرایی
- ارزیابی توسعه کارست در منطقه
- برآورد تغذیه منطقه
- ترسیم حوضه آبگیر چشمه‌ها
- اندازه‌گیری ایزوتوپ‌های محیطی
- جمع‌بندی عوامل مؤثر ارزیابی شده

۳-۱- جمع‌آوری اطلاعات و آمار

گام اول در انجام هر تحقیقی، جمع‌آوری آمار و اطلاعات پایه مرتبط با موضوع مورد نظر است. داده‌های موجود شامل نقشه‌های توپوگرافی، زمین‌شناسی، داده‌های مربوط به آبدهی چشمه‌ها، قنات‌ها، چاه‌ها

مورد نیاز است. داده‌های بارش به صورت روزانه و ماهانه، آبدهی چشمه‌ها و قنات‌ها به صورت ماهانه، مقدار برداشت از چاه‌ها به صورت دبی لحظه‌ای و برآورد مقدار برداشت سالانه چاه‌ها و تصاویر ماهواره‌ای منطقه است. این داده‌ها از سازمان هواشناسی، شرکت آب منطقه‌ای کرمانشاه و کردستان، شهرداری کرمانشاه، شرکت آب و فاضلاب استان کرمانشاه، شرکت مدیریت منابع آب ایران و سازمان فضایی کشور جمع‌آوری گردید. سپس نقشه‌های پایه منطقه تهیه شده و جهت بازدید صحرایی برنامه‌ریزی صورت گرفت. این بازدیدها به گونه‌ای انجام شده است که چشمه‌های مهم و رخنمون‌های اصلی کارستی منطقه مورد بررسی قرار گیرد.

بدون بررسی صحت و دقت داده‌ها، خروجی تحلیل‌های صورت گرفته بر روی آن‌ها، نتایج قابل اعتمادی ندارد. از این رو جهت استفاده و تحلیل درست بر مبنای داده‌های جمع‌آوری شده مهمترین موضوع صحت و کفایت داده‌های موجود است. این کار با استفاده از مقایسه داده‌های همزمان ایستگاه‌های مختلف بارش، کنترل داده‌های برداشت شده در یک بازه زمانی مشخص که قابل مقایسه با داده‌های متناظر خود باشد، انجام گرفت و در نهایت داده‌هایی که در زمان‌هایی که نبود داده‌ای وجود دارد کنترل و در بازه‌هایی که امکان داشت برآورد شد و به این صورت، آمار برای استفاده در مراحل بعدی آماده گردید.

داده‌های مربوط به بارندگی از سازمان هواشناسی و شرکت آب منطقه‌ای استان‌های کرمانشاه و کردستان جمع‌آوری گردید. هم‌چنین ایستگاه‌های مجاور هم متعلق به آب منطقه‌ای و هواشناسی، با یکدیگر مقایسه شد. به دلیل اهمیت داده‌های طولانی مدت، ایستگاه‌هایی انتخاب گردید که دارای طولانی‌ترین دوره آماری هستند و در منطقه دارای پراکندگی قابل قبولی باشند (جدول ۳-۲). در نهایت اطلاعات اخذ شده از سازمان هواشناسی مبنای کار قرار گرفت. این اطلاعات شامل پارامترهای دمایی (میانگین، حداقل و حداکثر دما) و رطوبتی (بارش، رطوبت نسبی، روزهای آفتابی، روزهای برفی) هستند. در این پژوهش از آزمون من‌کنдал برای بررسی تغییرات اقلیمی، شدت و مدت خشکسالی‌های رخ داده و اثر آن بر رفتار چشمه‌های کارستی منطقه استفاده شده است.

۲-۳- انتخاب چشمه‌های معرف

به طور کلی از نظر آبدهی چشمه‌های کارستی استان را می‌توان به چند دسته تقسیم‌بندی نمود. چشمه‌های کارستی با آبدهی بالا که با وجود اینکه آبدهی آن‌ها کاهش یافته، اما تاکنون خشک نشده‌اند، چشمه‌های کارستی که به صورت فصلی دارای آبدهی هستند و دسته دیگری که چشمه‌هایی هستند که در دوره‌ای مشخصی خشک شده‌اند. این چشمه‌ها از نظر خصوصیات آبخوان در شرایط مختلفی قرار دارند. چشمه‌های میرعیزی، جابری، بوربور، تیران، شیخ مصطفی (رجوع به شکل ۵-۱۷) مثال‌هایی از مواردی هستند که آبدهی آن‌ها در طی سال‌های گذشته دچار تغییر شده است. چشمه‌های یآوری، آرکوازی، میله‌سر، متروان گاورانی، شیان، قلعه‌حسن‌خان، قلاع‌قیسوند، گرزان، نیلوفر، سورکال، گاورانی، خضریاس، کوره خسروی، بابا رسول و... چشمه‌هایی هستند که یا به صورت فصلی دارای آبدهی هستند و یا این که کاملاً خشک شده‌اند (آمار ذکر شده تا سال آبی ۹۶-۹۵ می‌باشد). در سال‌های آبی بعد به دلیل تغییر نسبی در مقدار بارش‌ها، در برخی چشمه‌ها تغییراتی رخ داده است که در فصل بعد به این موضوع پرداخته می‌شود. از این میان بحث‌برانگیزترین چشمه استان که تابستان ۱۳۹۴ در طی مدت زمان کوتاهی خشک شد، چشمه طاق‌بستان است. با توجه به جایگاه این چشمه از نظر تاریخی و جذب گردشگر و نیز اهمیت آن در روند ثبت جهانی محوطه تاریخی طاق‌بستان، موضع خشک شدن چشمه طاق‌بستان در رسانه‌ها انعکاس چشمگیری داشت.

پس از انجام بازدیدهای صحرایی در سطح استان، در راستای اهداف این تحقیق، ۷ چشمه برای اندازه‌گیری ماهانه و نمونه‌برداری انتخاب گردید، در گزینش این چشمه‌ها سعی شده است موارد زیر رعایت شود:

- حوضه آبرگیر چشمه به طور نسبی مشخص باشد. حتی‌الامکان حوضه آبرگیر مشخص داشته باشند به گونه‌ای که امکان تعیین حوضه آبرگیر با دقت مناسبی وجود داشته باشد و از چشمه‌های اطراف دارای فاصله قابل قبولی باشند.
- آبخوان‌های کارستی به لحاظ درجه توسعه‌یافتگی گوناگون باشند به همین دلیل چشمه‌هایی انتخاب شدند که در سازندهای مختلف کارستی استان و در مناطق مختلف استان قرار داشتند.
- علاوه بر این ویژگی‌های زمین‌شناسی منطقه، شکل حوضه آبرگیر چشمه‌ها از جمله موارد دیگری است که مورد توجه قرار گرفت و از هر دو زون زاگرس مرتفع و چین‌خورده به گونه‌ای انتخاب صورت گرفته است که شکل حوضه آبرگیر آن‌ها یکسان نباشد.

- از آنجایی که در این کار آنالیز سری زمانی طولانی مدت نیاز هست، تا حد امکان سعی شد چشمه‌هایی انتخاب شوند که دارای اندازه‌گیری دقیق، بلند مدت و قابل توجه باشند.
- چشمه‌ها دارای اهمیت اجتماعی، طبیعی و ... به عبارت دیگر از چشمه‌های مهم و تأثیرگذار منطقه باشند.
- موضوع دیگری که در انتخاب این چشمه‌ها مد نظر قرار داشت وجود یا عدم وجود دخالت‌های انسانی در حوضه آبرگیر این چشمه‌ها است.

به این صورت سعی شد چشمه‌هایی انتخاب شوند که از نظر شکل حوضه آبرگیر، سازندها و شرایط زمین‌شناسی و مقدار دخالت‌های مؤثر بشر متفاوت باشند. خلاصه بررسی‌های انجام شده بر روی چشمه های منتخب در جدول ۳-۱ ذکر شده است. سعی شده است سال‌هایی انتخاب شوند که میانگین بارش در مناطق مختلف و همه ایستگاه‌ها، تقریباً مشابه و یا نزدیک به هم باشند.

جدول ۳-۱- مشخصات چشمه‌های منتخب و بارش ثبت شده در ایستگاه‌های هواشناسی نزدیک آن‌ها

نام چشمه	آبدهی متوسط در سال ۱۳۶۵	میانگین بارش در سال آبی ۶۴-۶۵	آبدهی متوسط سال ۱۳۹۵	میانگین بارش در سال آبی ۹۴-۹۵	مساحت حوضه آبرگیر** (km ²)
روانسر	۲۵۸۲	۵۲۳	۲۲۵۹	۶۰۵	۱۰۰
نیلوفر	۸۸۱	۴۸۸	۲۱۰	۴۸۱	۱۴۰
کاشنبه	۲۳۶	*	۱۵۶	۵۸۷	۳۰
طاق‌بستان	۲۰۲۳	۴۸۸	۱۰۹۷	۴۸۱	۱۸۰
کبوترلانه	۱۷۳۵	۴۳۰	۱۴۵۹	۴۵۱	۱۱۵
صحنه	*	۵۵۰	۳۶۸	۵۴۸	۵۰
هرسین	۱۳۲۰	۴۱۱	۱۲۴۵	۵۵۴	۱۲۰

*نبود آمار

** نحوه ترسیم حوضه آبرگیر بخش ۳-۶

۳-۳- برداشت‌های صحرائی

به منظور شناسایی خصوصیات حوضه آبرگیر چشمه‌ها، بررسی شرایط زمین‌شناسی و مورفولوژی با مقیاس مناسب برای هر چشمه لازم است. برای دستیابی به این مهم نقشه‌های زمین‌شناسی و توپوگرافی منطقه به دقت مورد بررسی قرار گرفت. پس از اتمام بررسی‌های ذکر شده انجام بازدید صحرائی به منظور کنترل

داده‌ها و اطلاعات زمین‌شناسی لازم و ضروری است. در بازدید صحرایی اولیه به بررسی عوارض سطحی کارست مانند کارن‌ها، فروچاله‌ها، دره‌های خشک و عوارض ساختاری مانند گسل‌ها، چین خوردگی‌ها، درزه‌ها پرداخته شد، در این مرحله جهت ارزیابی اطلاعات موجود تعدادی از چشمه‌ها، در چند مرحله مورد اندازه‌گیری دقیق قرار گرفتند. در بین چشمه‌های منطقه تعداد اندکی از چشمه‌ها دارای کانال بوده و اشل نیز نصب می‌باشد، برخی از چشمه‌ها صرفاً دارای کانال بوده و تعداد دیگری فاقد آن‌ها می‌باشند.

نمونه‌برداری انجام شده به جهت آزمایش عناصر اصلی، فلزات سنگین و ایزوتوپ اکسیژن و دوتریم به صورت ماهانه در بازه زمانی مختلف بوده است. علاوه بر نمونه برداری از چشمه‌های انتخاب شده، حوضه آبرگیر این چشمه‌ها، در طی چند دوره بازدید صحرایی، به منظور بررسی عوارض کارستی موجود در آن‌ها، مورد ارزیابی قرار گرفت (شکل ۳-۱).

۳-۴- ارزیابی توسعه کارست در منطقه

هر چه کارست توسعه‌یافته‌تر باشد نوسانات دبی چشمه بیشتر خواهد بود. برای ارزیابی درجه توسعه‌یافتگی کارست از عوارض کارستی و خصوصیات سیستم ورودی کارست، تغییرات آبدهی چشمه‌ها، منحنی فرود آن‌ها، تغییرات کیفی استفاده شده است. ارزیابی توسعه کارست بر اساس ویژگی‌های زمین‌شناسی و ژئومورفولوژیکی، خصوصیات هیدروژئولوژیکی و مطالعات هیدروژئوشیمیایی و ایزوتوپی انجام خواهد شد که در فصل ۴ به شرح آن پرداخته می‌شود.

۳-۵- برآورد تغذیه منطقه

آب می‌تواند در داخل زمین به حرکت عمقی خود (Percolation) ادامه دهد تا سرانجام وارد آبخوان شده و جزء منابع آب زیرزمینی به حساب آید و یا آنکه فقط صرف مرطوب کردن خاک شده و دوباره در اثر تبخیر به هوا بازگردد. نفوذ آب را از دو جهت می‌توان بررسی کرد، شدت و یا سرعت نفوذ و

دیگری مقدار نفوذ آب فقط زمانی در سطح زمین انباشته یا جاری می‌شود که شدت بارندگی از سرعت نفوذ آب بیشتر باشد.



زمین‌های کشاورزی واقع در حوضه آبرگیر چشمه طاق‌بستان



حوضه آبرگیر چشمه کبوترلانه



محل نمونه‌برداری چشمه نیلوفر



آماده کردن ظرف نگهداری نمونه آب چشمه جهت آنالیز ایزوتوپی



چشمه نجوبران که به دلیل تغییر پذیری زیاد و داشتن حوضه آبرگیر مشترک با چند چشمه دیگر انتخاب نگردید.



چشمه قنبر، تأمین کننده بخشی از آب شرب شهر کرمانشاه، به دلیل عدم امکان نمونه‌برداری جزو چشمه‌های منتخب قرار نگرفت.

شکل ۳-۱- تصاویری از برداشت‌های صحرائی انجام شده در منطقه

سرعت نفوذ یکی از ویژگی‌های فیزیکی خاک است که به عوامل مختلفی بستگی دارد و تحت تأثیر عواملی مانند شرایط سطحی، پوشش گیاهی، تخلخل، هدایت هیدرولیکی، رطوبت موجود و... قرار دارد (علیزاده ۱۳۸۸). در نواحی کارستی به دلیل درزه و شکاف‌ها، فروچاله‌ها و سایر عوارض کارستی مقدار نفوذ به طور قابل توجهی بالا است (به ویژه در مناطقی که کارست فاقد اپی کارست باشد)، به همین دلیل در اغلب نواحی کارستی، رواناب قابل توجهی مشاهده نمی‌شود. زمین‌هایی که نفوذ پذیرند را می‌توان به زمین‌هایی با قابلیت نفوذ مستقیم و زمین‌هایی با قابلیت نفوذ غیرمستقیم تقسیم کرد. نفوذ مستقیم در رسوبات غیرپیوسته مانند شن و ماسه و ریگ رخ می‌دهد هر چند سرعت آب در اثر اصطکاک و تماس با این مواد کم است، با این وجود، اغلب به آسانی آب نفوذ می‌کند. به قابلیت نفوذ آب در شکاف‌ها و درزه‌ها و ترک‌های بزرگ سازندهای سخت آهکی و غیرآهکی مانند بازالت قابلیت نفوذ غیرمستقیم می‌گویند، که در اثر به وجود آمدن فضاهای خالی و مجراها و یا فضاهای انحلالی و یا شکستگی‌ها به وجود می‌آید. قابلیت نفوذ علاوه بر مقدار آب از لحاظ ترکیب و خواص آب نیز دارای اهمیت زیادی است، آب در موقع نفوذ در زمین‌هایی که قابلیت نفوذ غیرمستقیم دارند تمام مواد معلق را با خود می‌برد و نسبت به نوع اول دارای خاصیت صاف‌کنندگی کمتری است. مقدار نفوذ اولیه در سنگ‌های آهکی بدون درزه، شکاف و یا عوارض کارستی بسیار ناچیز است، ولی بر اثر انحلال، قابلیت نفوذ غیرمستقیم پیدا می‌کنند (کارستی شدن). بعضی از سنگ‌آهک‌ها از نظر نگهداری و ذخیره آب اهمیت بسیار زیادی دارند. پتانسیل ذخیره کردن آب در کارست بستگی به مقدار حفره‌ها و وضع شکاف‌ها، منافذ و اتصالات دارد. این دلایل، موجب ناهمگنی توزیع آب در یک سنگ آهکی است. طبقات و توده‌های آهکی که در دوره‌های اخیر به وجود آمده‌اند، از دانه‌بندی نسبتاً درشت سنگ‌های کم‌تراکم آهک تشکیل شده‌اند و منافذ و فواصل بیشتری نسبت به سنگ‌های آهک متراکم قدیمی‌تر دارند. ورود آب به این فضاهای خالی، مواد کربناتی داخل منافذ را حل می‌کند، اما سنگ‌های با قدمت بیشتر به دلیل متراکم بودن دارای فضای خالی بین دانه‌ای کمتری می‌باشند و از نظر ذخیره آب، ضعیف‌تر از سنگ‌های جدیدتر هستند (ترابی تهرانی ۱۳۷۹). درزه‌ها و شکاف‌ها بیشتر در نتیجه حرکات تکتونیکی و نیز بر اثر فعالیت‌های مکانیکی و شیمیایی آب به وجود می‌آید و نقش مهمی را در

نفوذ آب به اعماق توده‌های آهکی ایفا می‌کند. در آهک‌ها فضای خالی که بر اثر عمل مکانیکی و شیمیایی آب ایجاد می‌شوند معمولاً پر نمی‌شوند. با عریض و عمیق شدن شکاف‌ها و درزه‌ها ممکن است ذخایر عظیم آب در آن‌ها به وجود آید. در برآورد اینکه چه میزان از بارش در منطقه تبدیل به ذخایر آب زیرزمینی می‌شود روش‌های مختلفی وجود دارد. فراگیر بودن و هوشمندی نسبی سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، این بانک اطلاعاتی را از سایر بانک‌های اطلاعاتی معمولی متمایز می‌کند، این قابلیت GIS را می‌توان به جمع‌آوری یکجای اطلاعات مکانی و توصیفی در زمینه‌های مختلف دانست که قادر است داده‌های مختلف را با هم انتخاب، تلفیق و تحلیل کند. عظیمی حسینی و همکاران (۱۳۸۹) سیستم اطلاعات جغرافیایی را شامل چهار رکن اندازه‌گیری، نقشه‌کشی، پایش و مدل‌سازی می‌دانند. برای GIS تعاریف مختلفی ارائه شده است، به طور کلی GIS را مجموعه‌ای از سخت‌افزار، نرم‌افزار، داده، کاربر، سازمان‌ها و سلسله مراتب برای جمع‌آوری، ذخیره، پردازش، تجزیه تحلیل و انتشار اطلاعات درباره نواحی مختلف زمین تعریف می‌کنند. به منظور تعیین نواحی با پتانسیل تغذیه بالا می‌توان از سنجش از دور و GIS استفاده کرد، استفاده از این روش به دلیل اینکه توانایی در نظر گرفتن چندین متغیر را به صورت همزمان داراست، در بسیاری از امور مفید است. از طرف دیگر صرف هزینه کمتر و استفاده از آن در مقیاس وسیع که امکان انجام عملیات صحرایی و آزمایشگاهی نیست، از دیگر مزایای استفاده از روش مذکور است. در این روش متغیرهای مختلف دخیل در مسئله مورد نظر به صورت لایه اطلاعاتی استخراج و جهت پردازش‌های بعدی وارد محیط نرم‌افزار GIS می‌گردد. فاکتورهایی مانند پوشش گیاهی، لیتولوژی، کاربری اراضی، خطواره‌ها و ... که بر روی افزایش یا کاهش پتانسیل تغذیه مؤثرند، به صورت لایه‌های اطلاعاتی وارد محیط GIS کرده و با وزن‌دهی مناسب سرانجام یک نقشه نهایی از پتانسیل تغذیه به دست می‌آید.

به طور کلی می‌توان مراحل انجام کار را به صورت پنج مرحله شامل گردآوری داده‌ها، آماده‌سازی لایه‌های اطلاعاتی، طبقه‌بندی داده‌ها، امتیازدهی و تلفیق داده‌ها مرتب کرد. در شکل ۳-۲ این مراحل جهت برآورد میزان نفوذ در منطقه مورد مطالعه، ارائه شده است، در ادامه این مراحل تشریح شده‌اند.

تولید و ساخت لایه‌های اطلاعاتی مورد نیاز

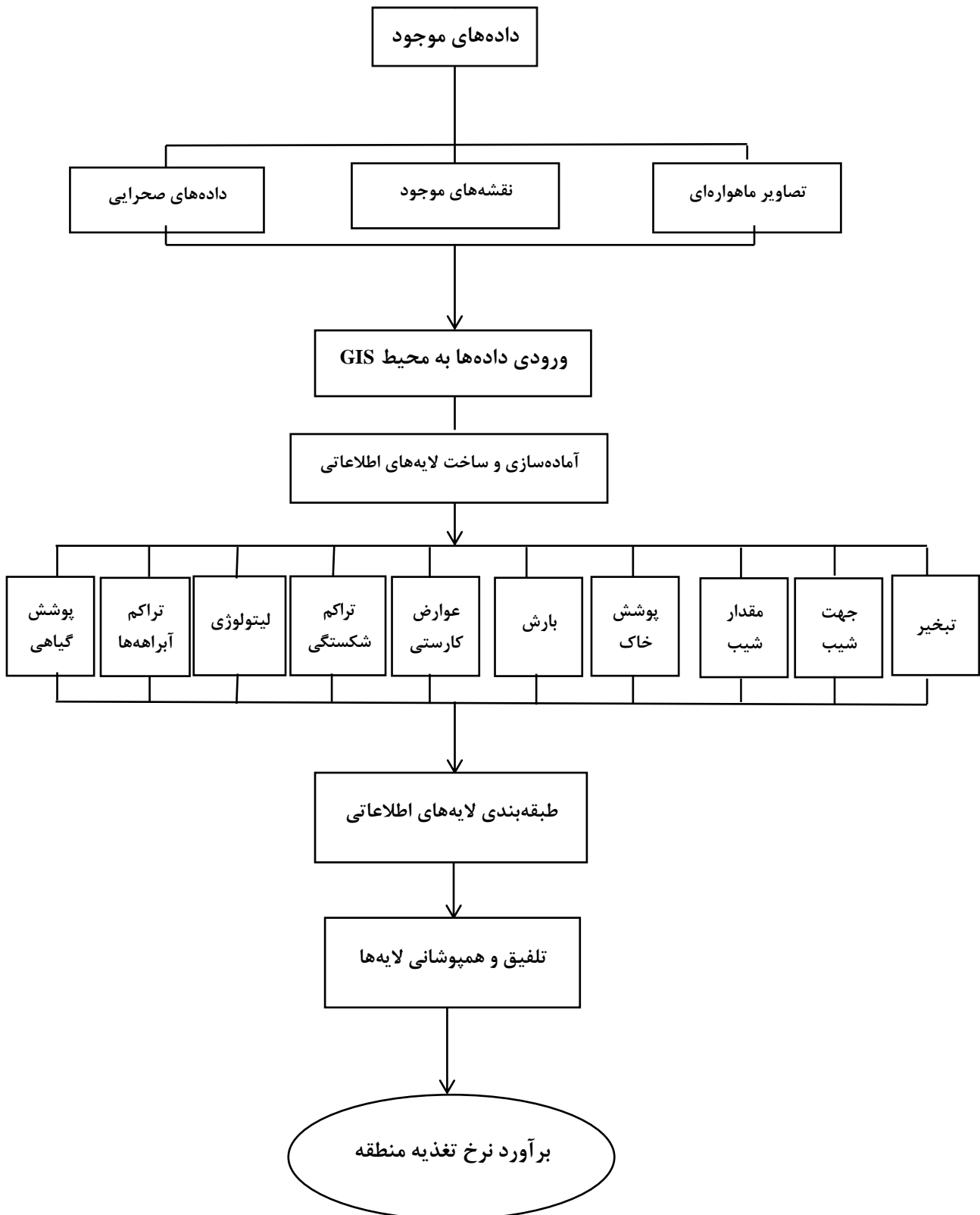
پس از انجام بازبینی‌های صحرائی مفصل و شناسایی عوامل موثر بر تغذیه در کارست‌های منطقه و جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز، جهت تهیه لایه‌های اطلاعاتی، لازم است اطلاعات جمع‌آوری شده دارای فرمت قابل قبول برای ورود به محیط نرم‌افزار Arc GIS باشند. اطلاعات تصویری مانند نقشه‌ها با فرمت JPEG و سایر اطلاعات آماری با فرمت اکسل (Xls) جمع‌آوری شده و سپس با توجه به نقشه‌های پایه و آمار موجود اقدام به تهیه لایه‌های اطلاعاتی به عنوان مرحله دوم کار می‌شود. لایه‌های مورد نیاز شامل لایه اطلاعاتی جهت شیب (Aspect)، مقدار شیب (Slope)، لیتولوژی، مناطق داری پوشش خاک، عوارض کارستی مهم، تراکم شکستگی‌ها (Density)، تراکم پوشش گیاهی، تراکم آبراهه‌ها، تبخیر و مقدار بارش می‌باشند. نرم‌افزارهای مختلفی که جهت تولید این لایه‌ها استفاده شده است در جدول (۳-۲) قابل مشاهده است.

جدول ۳-۲- برخی از نرم‌افزارهای مورد استفاده و موارد کاربرد آن

نرم‌افزار	کاربرد
ArcGIS 10	تهیه نقشه‌های مختلف با استفاده از توابع و دستوالعمل‌های مختلف
ENVI 4.3	استخراج پوشش گیاهی و خاک، و نیز اعمال فیلتر جهت استخراج نقشه شکستگی‌ها
Expert Choice 2000	ایجاد سلسله مراتب و وزن‌دهی به روش AHP
Google Earth	استخراج لایه پوشش خاک و عوارض کارستی
Global Mapper 13	تهیه نقشه توپوگرافی و استخراج آبراهه‌ها

با استفاده از منابع مختلف نقشه و تصاویر مورد نیاز تهیه و با فرمت مناسب به محیط GIS وارد شدند. لایه‌های اطلاعاتی در مرحله نخست در قالب برداری و رستری تولید گردید، جهت پردازش داده‌ها، تمامی لایه‌ها به رستر تبدیل شدند. در واقع در پردازش داده‌ها اقدام به واضح سازی و استخراج اطلاعات می‌گردد.

پس از تهیه لایه‌ها، هم مقیاس شده و با وزن‌های مختلف ارزش‌دهی می‌شوند و در نهایت به هر لایه وزنی اختصاص می‌یابد. وزن‌دهی به ۳ روش قضاوت کارشناسی، مقایسه زوجی و تأثیرگذاری پارامترها انجام گرفته است. نتایج و جزییات این بخش در فصل بعد آورده شده است.



شکل ۳-۲- نمودار جریان‌ی برآورد درصد تغذیه با استفاده از GIS

۳-۶- ترسیم حوضه آبخیز چشمه‌ها

یکی از عوامل مهم در آبدهی چشمه‌های کارستی حوضه آبخیز آن است. به منظور تعیین حدود آن در چشمه‌های کارستی، در مرحله نخست، نزدیکترین توده آهکی به چشمه در نظر گرفته می‌شود، براساس ژئومورفولوژی، هیدروژئولوژی کلی و چینه‌شناسی منطقه، حد و مرز اولیه برای حوضه آبخیز تخمین زده می‌شود. با توجه به اینکه جهت حرکت آب زیرزمینی غالباً از جهت شیب توپوگرافی پیروی می‌کند و براساس ویژگی‌های ریخت‌شناسی ارتفاعات مشرف به خروجی چشمه، اقدام به ترسیم حوضه آبخیز می‌گردد، حوضه ترسیمی از تمام ارتفاعاتی که به سمت چشمه دارای شیب است از خط‌الراس آن که محل خط تقسیم آب است ترسیم می‌شود. مهم‌ترین مواردی که در ترسیم اولیه حوضه آبخیز باید در نظر گرفته شود شامل موارد زیر است:

- تسلط منطقه بر روی مظهر چشمه
- تناسب آبدهی چشمه با مساحت ترسیمی
- چینه‌شناسی منطقه و بررسی وجود و یا عدم وجود لایه ناتراوا و ناپیوستگی در مسیر منتهی به چشمه
- در نظر گرفتن چشمه‌های مجاور
- بررسی وجود و یا عدم وجود عوارض کارستی مهم و اپی‌کارست در حوضه آبخیز چشمه
- ارزیابی میزان تغییر پذیری آبدهی چشمه

مرز تقریبی که با اطلاعات مذکور ترسیم شده نیاز به صحت‌سنجی دارد. در مساحت حوضه آبخیز میزان تغذیه صورت گرفته در آن حوضه نیز مؤثر است. پس از مرحله نخست ترسیم حوضه‌های آبخیز، با به کارگیری روش بیلان هیدروژئولوژیکی دقت حوضه ترسیمی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد؛ برای این منظور پس از برآورد تغذیه در مرحله قبل، با استفاده از میانگین تخلیه سالانه چشمه و میانگین درصد تغذیه و بارش در ارتفاعات مشرف به چشمه، مساحت ترسیم شده، صحت‌سنجی شده. که به صورت قابل توجهی دارای همپوشانی است.

۳-۷- اندازه‌گیری ایزوتوپ‌های محیطی

به منظور شناسایی منشأ و ارتباط هیدرولیکی آبخوان‌های مختلف، اندازه‌گیری‌های ایزوتوپی در چشمه‌های معرف صورت گرفت. نتایج حاصله از این اندازه‌گیری‌ها می‌تواند در تعیین منشأ آب خروجی از چشمه‌ها بسیار مفید واقع شود. برای دستیابی به این هدف از ردیاب‌های محیطی O^{18} و دوتریم استفاده شد. نمونه‌برداری ایزوتوپی از آذر ماه تا مرداد ماه سال بعد به مدت ۹ ماه انجام شد. تنها تفاوت در مورد چشمه نیلوفر است که به دلیل مشکلات ناشی از نمونه‌برداری و وجود اثر تبخیر بر روی نتیجه آنالیز، تنها در مواقعی که امکان نمونه‌برداری از چشمه به صورت مستقیم فراهم بود صورت گرفت و در سایر مواقع سال که چشمه بدون خروجی از دریاچه بود، برای ایزوتوپی نمونه‌برداری صورت نگرفت. در مجموع ۹۵ نمونه آنالیز ایزوتوپی ماهانه از آب ۷ چشمه منتخب و ۶ نمونه بارش تجمعی ماهانه از حوضه آبرگیر چشمه طاق‌بستان در آزمایشگاه موزه تاریخ طبیعی برلین و با همکاری پروفیسور مایکل اشنایدر در بخش هیدروژئولوژی دانشگاه Free University of Berlin (FUB) انجام شده است. در ادامه تصاویری از نمونه‌های جمع‌آوری شده قابل مشاهده است (شکل ۳-۳). نمونه‌های جمع‌آوری شده بارندگی، به صورت ماهانه و در حوضه آبرگیر چشمه طاق‌بستان جمع‌آوری شده است. نمونه چشمه‌ها براساس استانداردهای موجود در زمینه نمونه‌برداری در بطری‌های در بسته و بدون نفوذ هوا، جمع‌آوری و تا زمان آنالیز در محیط با دما و نور کم نگهداری شده است.



شکل ۳-۳- نمونه‌های جمع‌آوری شده جهت انجام آنالیز ایزوتوپی

به منظور بررسی و ارزیابی غلظت یون‌های اصلی، تعداد ۷۰ نمونه از آب چشمه‌های منتخب در دانشگاه صنعتی شاهرود به روش تیتراسیون اندازه‌گیری شد و جهت ارزیابی دقت آنالیزهای انجام شده، ۷ نمونه از موارد آزمایش شده، مجدداً در دانشگاه برلین و به روش کروماتوگرافی یونی اندازه‌گیری شد. همچنین تعداد ۱۰ نمونه نیز برای ارزیابی غلظت فلزات سنگین در چشمه‌های منتخب در برلین مورد آزمایش قرار گرفت.

۳-۸- جمع‌بندی عوامل مؤثر ارزیابی شده

پس از ارزیابی عوامل مؤثر بر نوسانات دبی چشمه‌ها، میزان حساسیت و آسیب‌پذیری آبخوان‌های کارستی مورد مطالعه، در برابر عوامل تأثیرگذار، به صورت منفرد و نیز در مجموع ارزیابی شد و سهم تأثیر هر پارامتر مشخص گردید. به این ترتیب که ابتدا دبی چشمه‌ها تا پیش از افت شدیدی که تقریباً در همه چشمه‌ها قابل مشاهده است، مورد ارزیابی قرار می‌گیرد، از این طریق رابطه میان عوامل طبیعی مؤثر در آبدهی چشمه تا حدودی مشخص می‌گردد. این رابطه تقریباً در عمده چشمه‌ها یکسان است. به این صورت که با داشتن اطلاعات کلی یک چشمه شامل، حوضه آبرگیر، میزان توسعه کارست، خصوصیات آبخوان کارستی آن، بارش‌های منطقه و ... می‌توان دبی چشمه را برآورد کرد. بررسی بعدی مربوط به زمان شروع روند افت آبدهی چشمه‌هاست و عوامل مؤثر بر آن مورد بررسی قرار خواهد گرفت. اثرات تغییرات اقلیم تقریباً به کل مناطق اعمال شده است، پس تفاوت در میزان کاهش آبدهی‌ها متأثر از فعالیت‌های بشری می‌باشد، این اثر بر روی چشمه‌های مختلف، متفاوت است. در نهایت سهم تعیین شده به صورت یک شاخص کمی برای متغیرهای مؤثر بیان خواهد شد. با بررسی و تعیین تأثیر عوامل غیرطبیعی بر نوسانات دبی چشمه‌های کارستی و مدیریت این عوامل، می‌توان برنامه‌ای جهت جلوگیری از خشک شدن چشمه‌های کارستی ارائه داد.

فصل چہارم: بررسی های هیدروژنولوژیکی، هیدروشیملی و ایزوتوپی

فصل چهارم: بررسی های هیدروژئولوژیکی، هیدروشیمیایی و ایزوتوپی

با وجود اینکه در غرب ایران منابع آب سطحی قابل توجهی وجود دارد، اما به دلیل عدم توزیع مناسب و خشکسالی های دو دهه اخیر، آب زیرزمینی به منبع اصلی تهیه آب شرب، کشاورزی و صنعتی در اکثر نقاط ایران و از جمله غرب کشور مبدل شده است. تقریباً ۶۵ درصد از ایران دارای آب و هوای خشک است که خود این موضوع میزان استفاده از منابع آب زیرزمینی در کشور را افزایش داده است. لازمه مدیریت صحیح منابع آب در هر منطقه، شناخت خصوصیات هیدروژئولوژیکی مربوط به آن است؛ در این فصل به کلیات هیدروژئولوژیکی منطقه مورد مطالعه پرداخته خواهد شد. در این فصل، ابتدا مطالعات هیدروژئولوژیکی انجام شده ارائه می شود و به دنبال مطالعات هیدروشیمیایی و ایزوتوپی شرح داده خواهد شد.

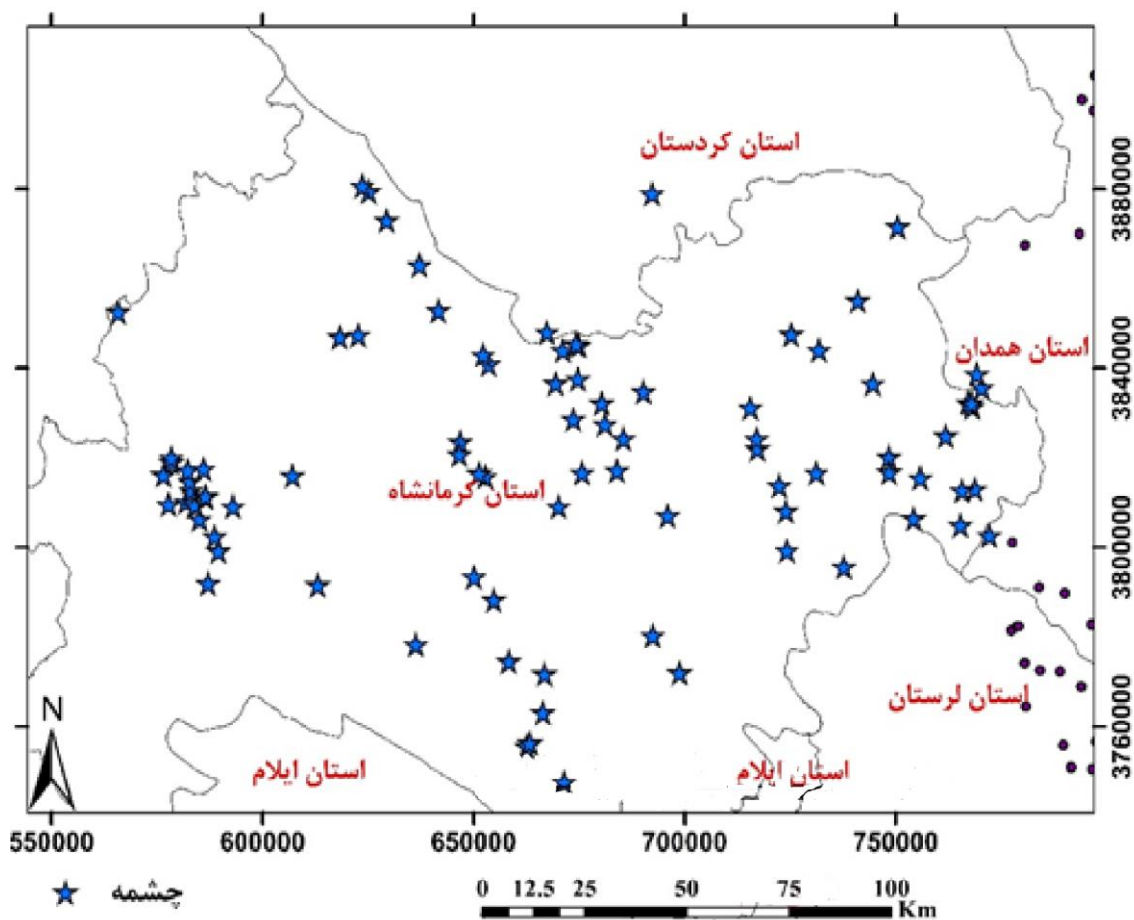
۴-۱- مطالعات هیدروژئولوژیکی انجام شده

در این بخش به بررسی و ارزیابی کلی وضعیت هیدروژئولوژیکی منطقه پرداخته می شود.

۴-۱-۱- چشمه ها و قنات موجود در منطقه

همانطور که در فصل اول اشاره شد، به دلیل کارست های عمدتاً توسعه یافته و نیز شکستگی های موجود در آهک های منطقه، سیل خیزی منطقه نسبتاً ناچیز است. به عبارت بهتر، عمده بارش در ارتفاعات منطقه به آبخوان منطقه نفوذ کرده و یا تبخیر می شود. وجود چشمه های زیاد در منطقه و حجم تقریباً قابل توجه دبی این چشمه ها و نیز دبی پایه رودخانه های جاری در منطقه، بیانگر وجود منابع آب زیرزمینی غنی در منطقه است. به طور کلی محل قرارگیری چشمه ها با عوامل مختلف از جمله لیتولوژی،

شیب، ارتفاع، آبراهه‌ها و گسل‌های اصلی منطقه بررسی شده است. تمامی چشمه‌های منطقه در دامنه ارتفاعات دیده می‌شوند، آب ناشی از ذوب برف و آب‌های درون سیستم کارستی منطقه بر اثر شیب توپوگرافی به سمت پایین حرکت می‌کنند و سرانجام در مظهر چشمه از زمین خارج می‌شوند. تمامی چشمه‌های منطقه در شیبی کمتر از ۲۰ درجه قرار گرفته‌اند. موقعیت مکانی چشمه‌هایی که اطلاعات آبدهی آن‌ها به صورت دوره‌ای توسط شرکت آب منطقه‌ای استان کرمانشاه اندازه‌گیری می‌شود در شکل ۱-۴ مشاهده می‌شود.



شکل ۱-۴- موقعیت مکانی چشمه‌های آماربرداری شده در استان

از میان چشمه‌های مذکور حدود ۵۵ چشمه دارای میانگین آبدهی قابل توجه بوده و از طرفی آماربرداری از آن‌ها در بازه زمانی طولانی مدت موجود می‌باشد؛ جدول ۴-۱ و ۴-۲ نشان‌دهنده میانگین دبی چشمه‌های مهم منطقه در طی چند دهه اخیر می‌باشد.

جدول ۴-۱- میانگین آبدهی چشمه های مهم منطقه

ردیف	نام چشمه	میانگین آبدهی در دهه های مختلف (لیتر بر ثانیه)				
		۴۰-۵۰	۵۰-۶۰	۶۰-۷۰	۷۰-۸۰	۸۰-۹۰
۱	چرمه	-	-	-	-	۴۰
۲	قره دربند	-	-	-	۱۴	۲
۳	گلوپیچ	-	-	-	۸۵	۹۴
۴	چشمه ناورون	-	-	-	۱	۱
۵	سیریجان	-	-	-	۳۰۰	۴۸۴
۶	فش	-	-	۴۳۴	۴۶۹	۴۱۵
۷	گرمخانی	-	-	-	۱۲۴	۱۲۸
۸	بایجان	-	-	۱۲۵	۱۱۸	۱۱۴
۹	کبوتر لانه	-	-	۱۴۶۵	۱۶۸۵	۱۲۱۵
۱۰	ماراب کنگاور	-	-	۷۵۵	۸۰۳/۱	۵۳۶
۱۱	چشمه سلطان	-	-	۵۲	۶۳	۳۴
۱۲	بابا علی - خیرومندان	-	-	-	۶۲۶	۵۸۱
۱۳	بابارسلول	-	-	۱۸۴	۱۵۳	۴
۱۴	گروس	-	-	-	۷۷	۱۱۰
۱۵	بیدسرخ	-	-	۱۰۳	۱۱۰	۶۱
۱۶	دهمراخان	-	-	۱۰	۸	۳
۱۷	دربند صحنه	-	-	-	۳۴۵	۳۰۰
۱۸	هرسین	-	۱۱۸۴	۱۰۴۰	۹۰۴	۶۷۰
۱۹	چهر	-	-	۲۷	۲۸	۲۰
۲۰	بیستون	۵۰۶	۷۹۶	۸۳۰	۷۳۷	۵۲۰
۲۱	نجیبران	-	۱۱۶۱	۱۵۰۰	۹۴۴	۷۰۰
۲۲	برکه	-	۱۴۹	۱۸۷	۱۶۵	۱۳۰
۲۳	برناج	۱۵۶۵	۱۸۳۶	۲۴۰۵	۱۵۰۷	۱۱۷۷
۲۴	گزنهله	-	-	۶۶۶	۵۵۵	۵۵۰
۲۵	چشمه سهراب	-	-	۳۵۵	۲۶۰	۲۱۱
۲۶	ارمنی جان	-	-	-	۵۸۱	۲۶۲
۲۷	کمیجه	-	-	۲۴۸	۱۶۶	۱۵۵
۲۸	طاق بستان	-	-	-	-	۲۶۲
۲۹	قنبر	-	-	-	-	۱۱۸
۳۰	سرونو	-	۶۱	۴۶	۴۹	۲۷
۳۱	کوره خسروی	-	۱۶	۱۴	۱۵	۸
۳۲	شاهینی	-	-	۸۰	۷۱	۴۴
۳۳	شیان	-	-	۶۱۹	۶۱۸	۲۲۲

جدول ۴-۲- میانگین آبدهی چشمه های مهم منطقه - ادامه

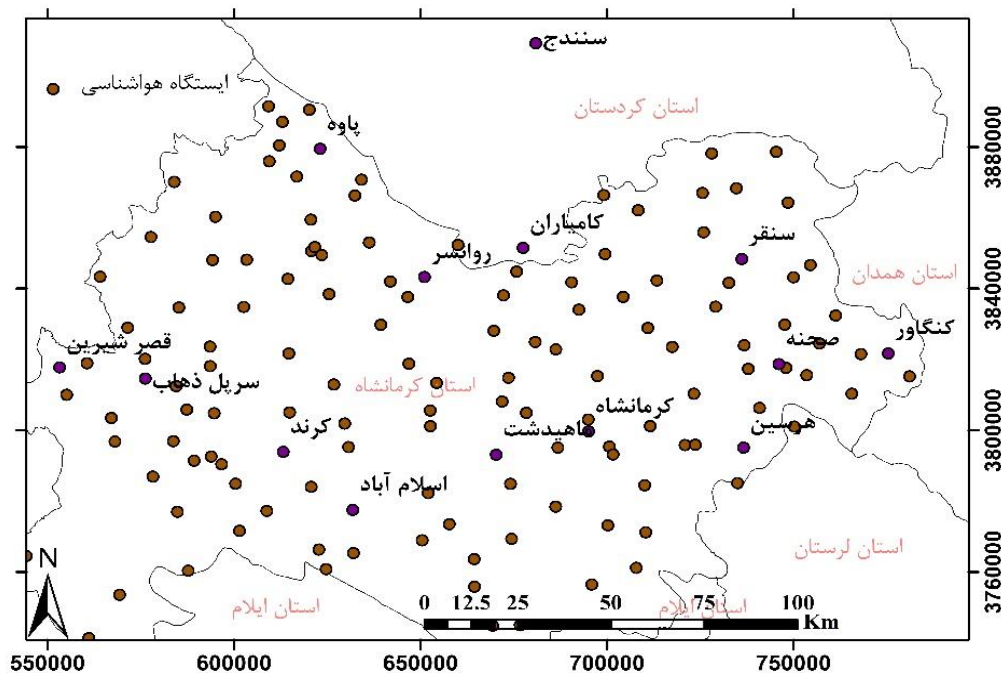
میانگین آبدهی در دهه های مختلف (لیتر بر ثانیه)						نام چشمه	ردیف
۴۰-۵۰	۵۰-۶۰	۶۰-۷۰	۷۰-۸۰	۸۰-۹۰	۹۰-۹۵		
-	-		۶۳	۲۹	۶	چهارزیر	۳۴
-	-	۲۳۸	۲۵۷	۱۳۰	۹۵	کاشنبه	۳۵
۱۰۵۱	۹۸۰	۱۰۲۷	۸۷۸	۴۰۰	۳۳	نیلوفر	۳۶
-	-	۴۷۴	۳۹۰	۱۰۰	۰/۵	یاوری	۳۷
-	-	-	-	۳۰	۰	خضریاس	۳۸
۵۴۰	۱۸۱	۲۲۰	۱۵۲	۱۲۰	۸	خضر زنده	۳۹
-	۸۶۶	۹۸۶	۵۸۰	۳۶۴	۳۳۵	سرایله	۴۰
-	۲۰	۱۹	۲۷	۱۵	۲/۵	سورکال	۴۱
-	-	۵۷۰	۳۷۰	۲۱۲	۱۸۰	ورمنجه	۴۲
-	-	۲۳۰	۴۶۲	۲۱۵	۳۴۷	شاه حسین	۴۳
-	-			۲۲	۳۴	برنجان	۴۴
	۳۰۱	۳۰۷	۲۹۳	۱۳۲	۱۹۳	سبزیلی - هشیلان	۴۵
۱۵۷	۱۷۳	۱۱۳	۹۷	۱۰	۰	میرعزیزی	۴۶
-	-	۱۱۴	۱۱۱	۵	۰	بوربور	۴۷
-	۱۹۰	۲۰۰	۲۰۰	۱۳۰	۱۲۱	قره دانه	۴۸
-	-	۲۶۲	۲۵۰	۸۳	۱۴۴	بی ابر	۴۹
-	۴۵۷	۴۲۰	۳۹۲	۷۴	۰	تیران	۵۰
-	-	۱۹۰	۲۵۰	۲۱۰	۲۴۲	میراحمد	۵۱
-	-	۵۸	۱۴	۱۱	۳۲	قلعه حسن خان	۵۲
-	-	۱۶۹	۱۰۹	۱۲	۰	قلاع قیسوند	۵۳
-	-	۱۲۶	۶۶	۵۷	۳۷	ماراب	۵۴
۲۵۶۷	۲۶۸۸	۲۳۶۸	۲۰۰۸	۱۹۴۰	۱۵۹۳	روانسر	۵۵
-	۲۹۲	۳۰۲	۱۸۰	۷۷	۶۳	جابری	۵۶

چشمه روانسر با میانگین های دبی ده ساله بین ۱۵۰۰ تا ۲۵۰۰ لیتر بر ثانیه، بیشترین آبدهی را دارد؛ از میان چشمه های ذکر شده در جدول ۴-۱ و ۴-۲، تعداد ۲۰ چشمه جهت بررسی دقیق تر انتخاب شدند. به دلیل وسعت منطقه مورد مطالعه، سعی شد از میان چشمه های انتخابی در مرحله قبل، مواردی که دارای حوضه آبیگیر مجزا و حتی الامکان حوضه آبیگیر با شکل متفاوت و سایر ویژگی های

ذکر شده در فصل سوم، هستند انتخاب شود. به منظور ترسیم حوضه آبرگیر چشمه‌ها علاوه بر میانگین آبدهی چشمه‌ها، میزان تغذیه در حوضه آبرگیر آن‌ها نیز مورد نیاز است. بنابراین ابتدا به مبحث برآورد تغذیه در منطقه پرداخته خواهد شد و سپس حوضه آبرگیر چشمه‌ها ترسیم می‌گردد. برای برآورد تغذیه در منطقه مقدار بارش در آن منطقه نیز مورد نیاز است و با توجه به وسعت منطقه مورد مطالعه و تنوع در رژیم بارشی حاکم بر آن، نیاز به بررسی بیشتر دارد که در ادامه شرح داده خواهد شد.

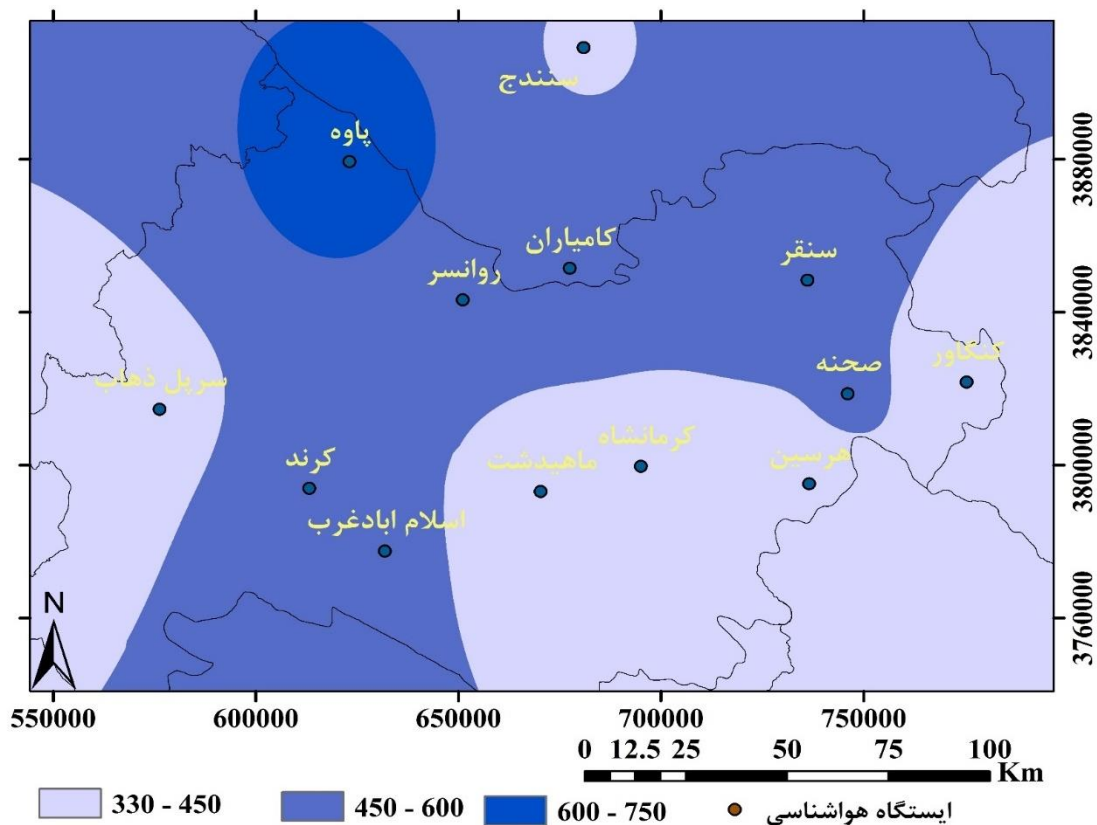
۲-۴- مقدار بارش در منطقه

با استفاده از داده‌های ۱۵۰ ایستگاه باران سنجی سطح استان - همانگونه که در فصل اول اشاره شد- تنوع در اقلیم و مقدار بارش کاملاً مشخص است. این موضوع می‌تواند مربوط به ویژگی توپوگرافی و زمین‌شناسی استان کرمانشاه باشد. بر همین اساس برای برآورد مقدار بارش نمی‌توان از یک میانگین برای تعمیم به کل منطقه استفاده کرد، مناطقی که دارای الگو و مقدار بارش یکسان و یا نزدیک به هم هستند، یک میانگین بارشی در نظر گرفته شده است. شکل ۲-۴ توزیع مکانی ایستگاه‌های باران سنجی و نیز ایستگاه‌های سینوپتیک سطح استان کرمانشاه را نشان می‌دهد.



شکل ۲-۴- توزیع ایستگاه‌های باران سنجی استان کرمانشاه

در استان های همجوار به دلیل عدم دسترس به داده های باران سنجی، تنها از اطلاعات ایستگاه های سینوپتیک مهم این استان ها استفاده شده است. ایستگاه هایی که نام آنها مشخص شده است، ایستگاه های مذکور منطقه هستند که در بخش اقلیم منطقه مورد مطالعه (فصل ۱) به آنها اشاره شد. همانگونه که از شکل ۳-۴ مشهود است، می توان منطقه مورد مطالعه را به سه بخش با میانگین های بارشی مختلف دسته بندی کرد. بیشترین مقدار بارش در منطقه پاوه در شمال غرب استان کرمانشاه رخ می دهد و مناطق گرمسیری غرب استان و مناطق جنوب شرق و شرق استان دارای میانگین بارشی کمتری نسبت به مناطق مرکزی و شمالی استان است.



شکل ۳-۴ - منطقه بندی میانگین بارش در استان کرمانشاه

۳-۴ - برآورد تغذیه در منطقه مورد مطالعه

بر اساس روش کار ذکر شده در برآورد تغذیه (فصل سوم)، پس از بررسی های اولیه انجام شده، اقدام به تهیه لایه های اطلاعاتی مؤثر در تغذیه شد. لایه های تهیه شده در این زمینه در ادامه شرح داده خواهد شد (شکل های ۴-۷ و ۴-۸).

الف- لایه لیتولوژی

لایه لیتولوژی با استفاده از نقشه‌های زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ هر سین، سنقر، کرمانشاه، کامیاران، اسلام آبادغرب و نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ کرمانشاه، قصر شیرین و سنندج در نرم افزار Arc GIS 10 تهیه گردید. ابتدا نقشه زمین شناسی مورد نظر زمین مرجع شد و سپس سازندهای مختلف بر روی نقشه زمین شناسی و تصاویر ماهواره‌ای شناسایی شدند. نقشه مذکور جهت انطباق و بررسی بیشتر با تبدیل فرمت مناسب به نرم افزار Google Earth وارد شد و نیز از ترکیب رنگ باندهای مختلف تصویر ماهواره‌ای هم استفاده شد. در نهایت با تبدیل فرمت برداری حاصل شده، به فرمت رستری و نیز استفاده از ابزار Spatial Analyst به هر سازند ارزش دهی شد و وزن مناسب تعلق گرفت. به دلیل عدم وجود اطلاعات کافی و مورد نیاز به منظور برآورد تغذیه در آبرفت‌های منطقه، ارزش‌دهی به گونه‌ای صورت گرفت که دشت‌های آبرفتی در محاسبات بعدی در نظر گرفته نشود. ارزش‌های اختصاص یافته در ادامه در جداول مربوط به هر روش ذکر شده است. با توجه به اینکه اکثر سازندهای منطقه آهکی و یا دارای ترکیبات کربناته هستند، وزن داده شده به لیتولوژی علیرغم اهمیت آن نسبتاً کم است.

ب- لایه مقدار شیب

شیب توپوگرافی یکی از عوامل مهم و تأثیرگذار بر مقدار نفوذ و در نتیجه مقدار تغذیه می‌باشد. در مناطق با شیب زیاد امکان باقی ماندن خاک با ضخامت زیاد و رویش گیاه فراهم نیست، بنابراین آب باران به سرعت جاری شده و فرصت نفوذ نخواهد داشت. در مناطقی که دارای شیب کمتر و تقریباً مسطح هستند، آب حاصل از بارندگی یا ذوب برف‌ها در سطح زمین جمع شده و در نتیجه میزان آب نفوذ یافته افزایش می‌یابد. ایجاد و توسعه فروچاله‌ها (Sinkhole) در چنین شرایطی صورت می‌گیرد. این لایه اطلاعاتی با استفاده از مدل رقومی ارتفاع (Digital Elevation Model (DEM)) مربوط به منطقه تهیه شده است. نقشه شیب تهیه شده با استفاده از تابع Reclassify از مجموع توابع Spatial Analyst در Arc GIS می‌باشد، به چند دسته بر حسب درجه، طبقه‌بندی شد.

ج- لایه جهت شیب توپوگرافی

از آنجایی که زاویه تابش خورشید در دامنه‌های رو به شمال و شمال شرق نسبت به دامنه‌های جنوب و جنوب غرب متفاوت است و زمان ماندگاری برف بر روی دامنه‌های شمالی بیشتر بوده و این عامل تأثیر مهمی در مقدار تغذیه دارد. لایه جهت شیب توپوگرافی، با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی منطقه تهیه گردید. سپس در تابع Reclassify در Arc GIS طبقه‌بندی شد. به دامنه‌های رو به شمال ارزش بیشتر و دامنه‌های رو به جنوب ارزش کمتری تعلق گرفت.

د- لایه تراکم خطواره‌ها

خطواره اصطلاحی است که برای برخی عوارض خطی زمین شناسی به کار می‌رود. مهم‌ترین عوارض خطی زمین‌شناسی در زیر ارائه شده است.

- گسل‌ها
- امتداد خطی دایک‌ها و شکاف‌ها و توده‌های نفوذی
- دره‌های ریفتی
- روندهای خطی ناشی از لایه‌بندی لیتولوژی
- قطع شدگی امتداد برونزدها
- خطواره ناشی از تغییرات مهم رخساره‌های رسوبی
- آثار محوری چین‌ها
- امتداد خطی رودخانه‌ها و دره‌ها
- درزه‌ها و آثار شکست
- امتداد توپوگرافیکی خط‌الراس‌ها
- امتداد پوشش گیاهی
- وجود آبفشان‌ها و چشمه‌ها در یک امتداد
- تغییرات رنگ‌مایه خاک
- ...

گسل‌ها و درزه‌ها به عنوان یکی از نقاط ضعف امکان نفوذ آب به لایه‌های زیرین را فراهم می‌کنند. آب نفوذ یافته با انحلال بیشتر باعث تشکیل معابر بزرگ‌تر می‌شود. دقیق‌ترین روش تهیه نقشه خطواره‌ها روش صحرائی است، اما به دلیل کم بودن زاویه دید و مشکلات ناشی از عملیات صحرائی، این امکان مقدور نمی‌باشد. در عکس‌های هوایی نیز خطواره‌های بزرگ که از حد پوشش عکس‌های هوایی خارج می‌شوند به علت بزرگ مقیاس بودن نمی‌توانند آشکار شوند، اما با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای با میدان دید وسیع می‌توان نقشه‌های قابل اطمینانی از خطواره‌ها فراهم کرد. جهت شناسایی شکستگی‌ها و گسل‌ها از نقشه‌های زمین‌شناسی، تصاویر ماهواره‌ای و Google Earth استفاده شده است.

استخراج خطوطها از عکسهای ماهواره‌ای باند پنکروماتیک ماهواره IRS (۸ آگوست ۲۰۱۶ میلادی) با قدرت تفکیک مکانی ۵ متر و با تبدیل فرمت مناسب به نرم‌افزار ENVI وارد شد و با استفاده از فیلتر مناسب، خطوطهای موجود در منطقه آشکار می‌شود. جهت تصحیح و استخراج خطوطهای ناشی از شکستگی‌ها و درزه‌ها، با نرم‌افزار Google Earth کنترل گردید. در نهایت نقشه تراکم با استفاده از تابع تراکم (Density) در نرم‌افزار Arc GIS تهیه شد. هر چه تراکم خطوطها (گسل‌ها و شکستگی‌ها) بیشتر باشد، ارزش بیشتری داده می‌شود و برعکس.

۵- لایه تراکم آبراهه‌ها

آبراهه‌ها به عنوان مسیری برای عبور آب از ارتفاعات به مناطقی با ارتفاع پایین‌تر محسوب می‌شوند و می‌توانند در نفوذ یافتن آب به درون زمین مؤثر باشند. اهمیت آبراهه‌ها زمانی که در مناطق کم‌شیب و یا در محل عبور گسل‌ها و درزه‌های بزرگ تشکیل شده باشند، بیشتر می‌شود زیرا آب در هنگام عبور مدت زمان بیشتری برای نفوذ در اختیار دارد. این موضوع در آبراهه‌های رده بالاتر که حجم بیشتری از آب را در زمان طولانی‌تری در اختیار دارند نمایان‌تر است.

لایه آبراهه‌ها با استفاده از مدل رقومی ارتفاع منطقه با استفاده از ابزار Arc GIS و Global Mapper ترسیم و با یکدیگر انطباق یافت. ایجاد آبراهه‌ها در اثر عوامل مختلفی صورت می‌گیرد، عواملی مانند لیتولوژی، توپوگرافی و اقلیم (شدت و میزان ریزش جوی) از عوامل مؤثر هستند. در صورتی که لیتولوژی نفوذناپذیر باشد جریان سطحی جاری شده و تشکیل آبراهه می‌دهد. لیتولوژی منطقه مورد مطالعه عمدتاً کربناته و یا دارای ترکیبات کربناته هستند، توسعه کارست در منطقه به نحوی است که در ارتفاعات منطقه جریان سطحی مداومی وجود ندارد، بنابراین عامل لیتولوژی تأثیر زیادی در ایجاد آبراهه نداشته و بین آبراهه‌های رده پایین و رده بالاتر تفاوت چندانی از نظر حجم آب قابل مشاهده نیست، به همین دلیل از رده آبراهه‌ها استفاده نشده است. به منظور تصحیح خطای احتمالی از نرم‌افزار Google Earth استفاده شده است. لایه تراکم آبراهه با استفاده از تابع Density آبراهه‌های ترسیمی در نرم‌افزار Arc GIS ترسیم گردید.

و- لایه بارش

با شناخت ویژگی‌های بارش یک منطقه می‌توان میزان تبخیر و تعرق، نفوذ، رواناب و ظرفیت آب را در منطقه پیش‌بینی کرد. با توجه به اهمیت میزان بارش در میزان نفوذ آب به درون زمین، اقدام به تهیه لایه بارش شد. لایه اطلاعاتی مورد اشاره با استفاده از پیاده کردن اطلاعات ایستگاه‌های باران سنجی که در منطقه مورد مطالعه قرار دارند در نرم‌افزار Arc GIS تهیه شده است.

ز- لایه عوارض کارستی

در مناطق که دارای شیب کم هستند و در شرایطی که به علت بالا بودن ارتفاع، میزان تبخیر کم باشد، بیش از ۹۰ درصد بارش می‌تواند به درون سیستم کارست نفوذ کند (کریمی وردنجانی ۱۳۸۹). در بازدید از منطقه در بسیاری از مناطق فروچاله‌هایی متعددی مشاهده شد که احتمالاً در یک پلایه کارستی واقع شده‌اند.

مکانیسم تشکیل فروچاله‌ها شامل انحلال (Solution)، انحلال - فرونشست (Solution-Subsidence) و ریزش (Collapse) است، که در اکثر موارد فروچاله‌های ریزشی در اثر انحلال اولیه رخ می‌دهند. فروچاله‌های مشاهده شده در منطقه از نوع ریزشی تشخیص داده شد. شکل ۴-۴ تصاویری از نمونه‌ای از فروچاله‌ها و نیز پلایه مشاهده شده در ارتفاعات و شکل ۴-۵ آثار انحلالی بر روی برخی سنگ‌های منطقه را نشان می‌دهند. مناطق با عوارض کارستی عمده شناسایی شده، بر روی Google Earth ترسیم گردید و سپس این اطلاعات به صورت یک لایه اطلاعاتی به Arc GIS منتقل شد.



شکل ۴-۴ - فروچاله‌ها (سمت راست) و پلایه (سمت چپ) موجود در یکی از ارتفاعات منطقه



شکل ۴-۵- آثار انحلالی بر سطح سنگ‌های موجود در منطقه

ح- لایه پوشش خاک

معمولاً در بخش اعظم منطقه مورد مطالعه حتی در مناطقی که پوشش خاک وجود دارد، رواناب مشاهده نمی‌شود در واقع آب حاصل از ریزش‌های جوی یا به درون زمین نفوذ می‌کند و یا اینکه تبخیر می‌شود. در بازدید از منطقه در پوشش خاک منطقه ترک‌هایی مشاهده می‌شود که خود بیانگر این مطلب است. وجود شکستگی‌هایی فراوان در سنگ‌های زیرین، سبب ایجاد سیستم زهکشی زیر سطحی قوی در منطقه شده است (شکل ۴-۶). لایه پوشش خاک در نرم‌افزار ENVI ترسیم و در نرم‌افزار Google Earth تدقیق شد، در نهایت مناطقی از ارتفاعات که دارای پوشش خاک است و نیز دامنه‌هایی که از واریزه و خاک پوشیده شده است، از مناطق عاری از پوشش خاک جدا گردید، سپس تصاویر ترسیمی به محیط نرم‌افزار Arc GIS وارد و اقدامات لازم بر روی آن انجام شد.



شکل ۴-۶- زهکشی زیر سطحی در پوشش خاک موجود در ارتفاعات منطقه

ط - لایه تراکم پوشش گیاهی

لایه پوشش گیاهی با اعمال فیلتر مناسب بر روی تصویر ماهواره‌ای ETM^+ و اعمال خطی وزنی NDVI ایجاد گردید. این شاخص از تفاضل دو باند سه و چهار و تقسیم بر مجموع آن‌ها محاسبه می‌شود. دامنه NDVI از (-۱ تا +۱) متغیر است، اگر زمین فاقد پوشش گیاهی باشد شاخص صفر و با داشتن پوشش گیاهی در جهت مثبت افزایش می‌یابد. برای تهیه این لایه نیز از نرم افزار ENVI استفاده شده است.

ظ - لایه تبخیر

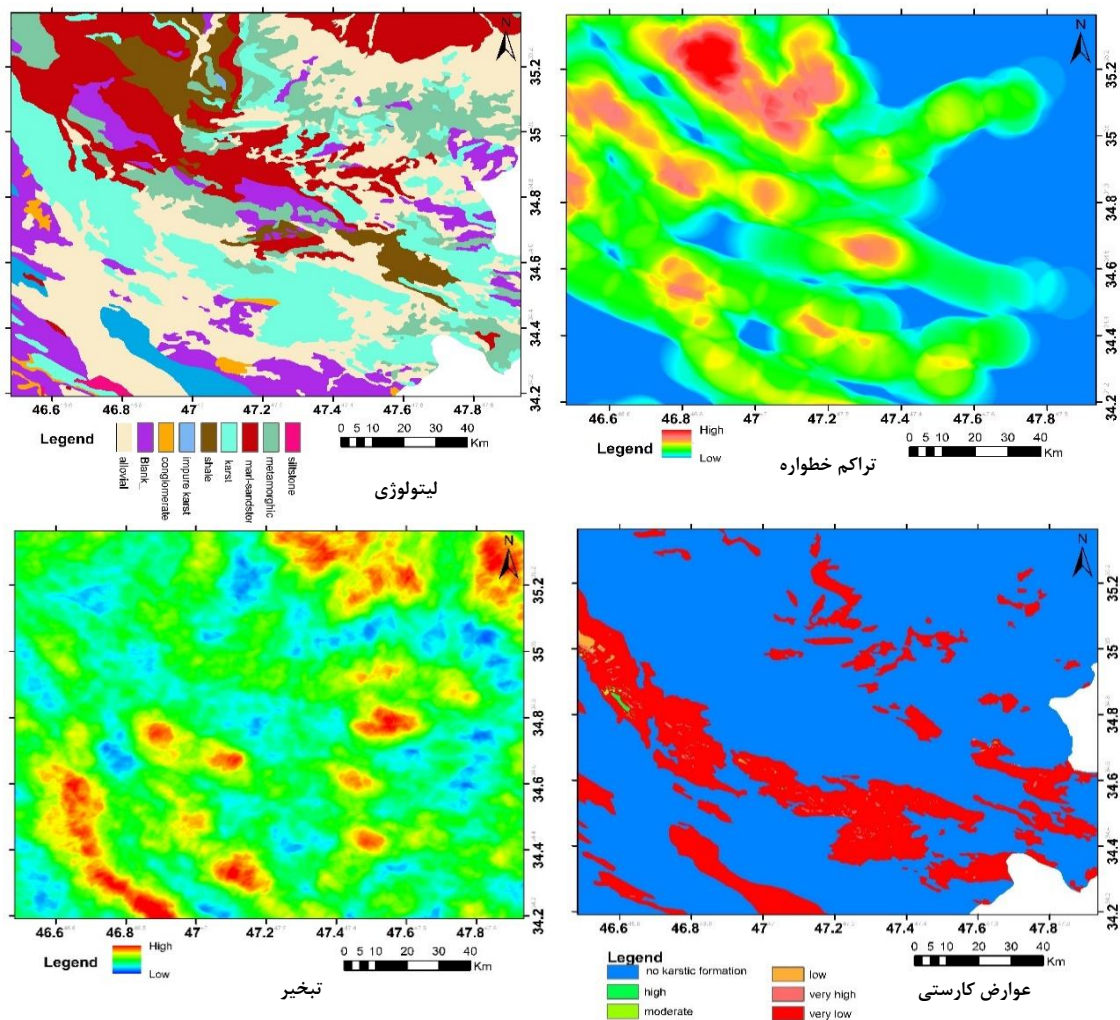
با توجه به شرایط منطقه که رواناب در ارتفاعات بسیار اندک است و با در نظر گرفتن اهمیت تبخیر در نفوذ آب باران، اقدام به تهیه لایه تبخیر شد. این لایه نیز مانند لایه بارش با استفاده از پیاده کردن اطلاعات ایستگاه‌های باران‌سنجی که در اطراف منطقه مورد مطالعه قرار دارند در نرم‌افزار Arc GIS تهیه شده است.

هم‌مقیاس‌سازی لایه‌های اطلاعاتی

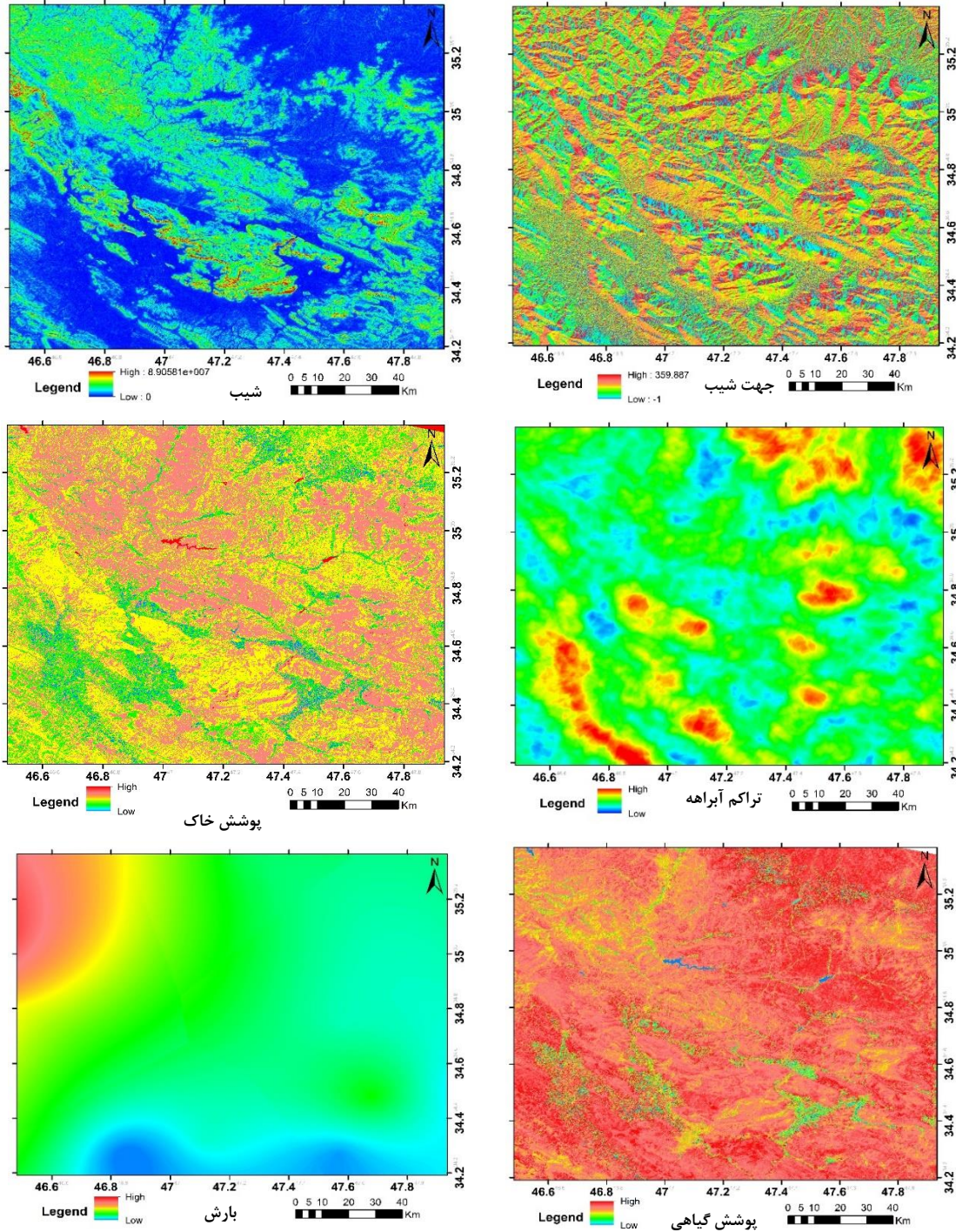
مرحله بعد از ایجاد لایه‌های اطلاعاتی، ترکیب لایه‌های ایجاد شده است، جهت ارزیابی مقدار تغذیه در منطقه لازم است لایه‌ها را به یک مقیاس واحد تبدیل نمود. هم‌پوشانی و تلفیق داده‌ها زمانی امکان‌پذیر است که لایه‌های تشکیل شده همگی دارای مقیاس یکسانی باشند، در حالی که نقشه‌های ذکر شده دارای واحدهای متفاوتی هستند (مانند متر برای فاصله، درجه برای شیب، درصد برای تراکم و...). برای این منظور با استفاده از دانش کارشناسی نقشه‌های تهیه شده در محدوده صفر تا ۱۰ طبقه‌بندی شدند، ارزش داده شده به هر طبقه از لایه‌های اطلاعاتی در ادامه شرح داده شده است. ارزش لایه‌ها طبق عوامل مختلف مؤثر بر تغذیه تعیین شده‌اند. مقیاس‌بندی این لایه‌ها بر اساس نظرات کارشناسی است و لایه‌های اطلاعاتی به نسبت فواصل مساوی طبقه‌بندی می‌شوند که بیانگر این است که هر موقعیت مشخص (هر پیکسل) تا چه میزان برای تغذیه مناسب می‌باشد. ارزش‌های بالاتر به گروه‌هایی داده می‌شود که دارای اهمیت بیشتر در تغذیه هستند.

امتیازدهی لایه های اطلاعاتی

از مهم ترین مراحل کار تعیین اهمیت نسبی پارامترهای مؤثر در تغذیه و وزن دهی مناسب به هر یک از آن ها است. روش های مختلفی برای تلفیق لایه های اطلاعاتی در مطالعات مکانیابی وجود دارد. برخی از این روش ها بر پایه داده ها و به عبارت دیگر، داده محورند و برخی دیگر از روش ها بر اساس دانش کارشناسی یا کارشناس محور هستند. روش اول (داده محور)، در مدل هایی مانند تجزیه و تحلیل شبکه عصبی استفاده می شوند. در مدل های فازی بیشتر از روش کارشناس محور استفاده می شود که مبتنی بر دانش و تجربه کارشناسان است. در این مطالعه از نظر کارشناسی استفاده شده است.



شکل ۴-۷- لایه های اطلاعاتی تهیه شده جهت برآورد تغذیه



شکل ۴-۸- لایه های اطلاعاتی تهیه شده جهت برآورد تغذیه

همپوشانی و تلفیق لایه ها و تهیه نقشه معیار

جهت اعمال تحلیل های تصمیم گیری، ارزش های موجود در نقشه معیار تغییر داده می شود و تبدیل به واحدهایی می شوند که قابل مقایسه باشند. به عبارت دیگر جهت تلفیق لایه ها بایستی مقیاس معیارها یکسان باشند.

تأثیر هر عامل در میزان تغذیه نسبت به عوامل دیگر متفاوت است، در نتیجه لازم است در مرحله بعد و پیش از هم‌پوشانی لایه‌ها، اهمیت نسبی هر عامل نسبت به سایر عوامل تعیین شود و به هر عامل وزن اختصاص یابد. وزن هر معیار نشان‌دهنده میزان اهمیت و ارزش آن معیار نسبت به سایر معیارها در عملیات مکانیابی است، با توجه به اینکه میزان تأثیر هر پارامتر در هدف مورد نظر متفاوت است، ارزش هر معیار، قبل از تلفیق نقشه‌ها مشخص می‌گردد. اغلب ارزش‌گذاری‌ها براساس نظر کارشناسی و با لحاظ کردن فاکتورهای مختلف و پارامترهایی که برای مکانیابی لحاظ می‌شود، صورت می‌گیرد. در این تحقیق از چند روش وزن‌دهی استفاده شده است که در برخی از روش‌ها نظر کارشناسی به میزان بیشتر اعمال شده و در برخی از روش‌ها اثر آن کمتر است و در نهایت نتایج حاصله با یکدیگر مقایسه شده‌اند.

روش‌های وزن‌دهی مورد استفاده در این تحقیق عبارت است از نظر کارشناسی، تأثیرگذاری معیارها بر هم و در نهایت روش مقایسه زوجی. که به ترتیب اثر اعمال نظر کارشناسی کمتر می‌شود.

الف- وزن‌دهی کارشناسی

در این روش تصمیم‌گیرنده وزن معیار را بر اساس نظر کارشناسی در یک مقیاس مشخص (برای مثال صفر تا ۱۰۰) تخمین می‌زند و از تصمیم‌گیرنده خواسته می‌شود این ۱۰۰ امتیاز را بین معیارهای مختلف تقسیم نماید. امتیاز صفر به معنی صرفه‌نظر از آن معیار است و امتیاز ۱۰۰ برای معیاری به کار می‌رود، که اگر قرار بود فقط یک معیار برای تصمیم‌گیری در نظر گرفته می‌شد، همان یک معیار مورد توجه قرار می‌گرفت. طبق لایه‌هایی که تهیه شده، هر لایه به رده‌هایی تقسیم‌بندی گردید. این دسته‌بندی به گونه‌ای انتخاب شده است که تمام محدوده مورد نظر را پوشش دهد. به دسته‌هایی که در نفوذ آب نقش مؤثرتری دارند ارزش بیشتری و دسته‌های که نقش کمتر و یا منفی در نفوذ دارند ارزش کمتری اختصاص یافت. دسته‌بندی، ارزش‌گذاری و وزن‌دهی در این روش طبق نظر کارشناسی است و بر اساس آن نقشه مربوط به هر عامل تهیه گردید (جدول ۴-۳ و شکل ۴-۷).

ارزش‌دهی در محدوده صفر تا ۱۰ متغیر است، هر چه پارامتری در نفوذ تأثیر مثبت‌تری داشته باشد، ارزش بیشتری را به خود اختصاص می‌دهد. به این منظور لایه‌های تشکیل شده به دسته‌هایی

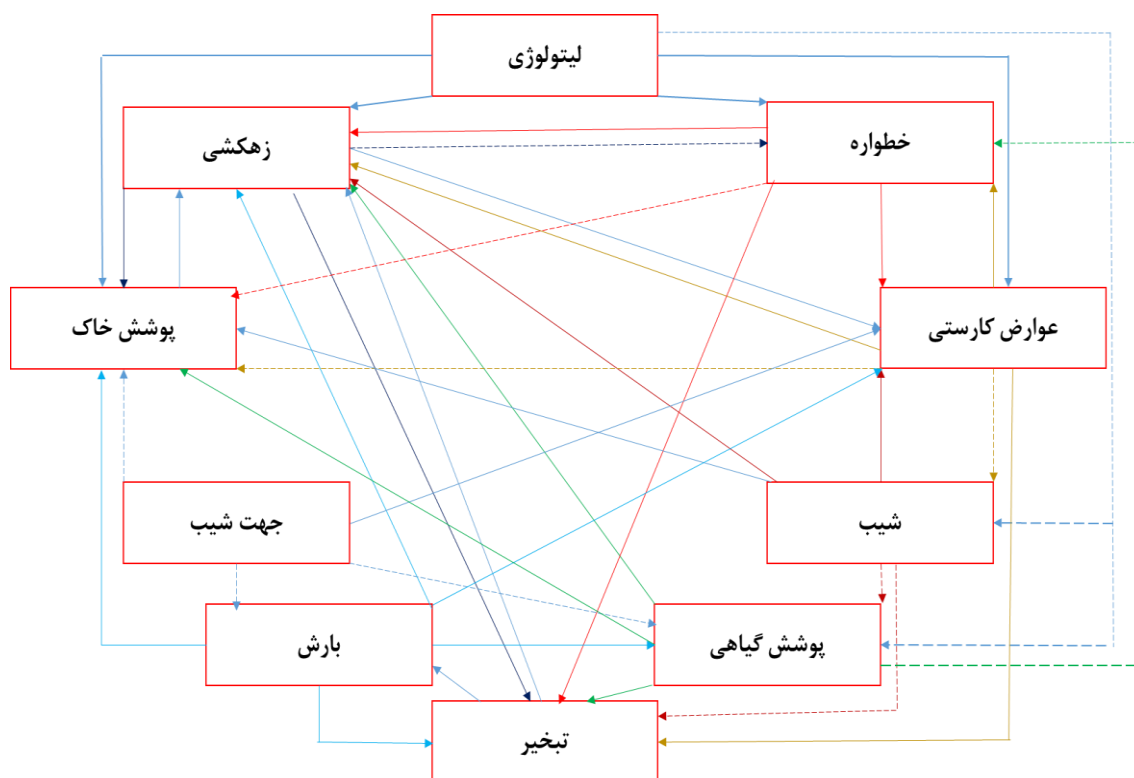
تقسیم بندی شده و به هر دسته ارزشی اختصاص یافت. بر طبق نظر کارشناسی بیشترین وزن، در این روش به عوارض کارستی اختصاص پیدا کرده است. از آنجایی که در مناطق با کارست توسعه یافته، معمولاً رواناب و سیل خیزی تقریباً ناچیز است، آبراهه در مناطق کارستی نسبت به سایر مناطق دارای اهمیت کمتری است.

جدول ۴-۳- ارزش دهی به لایه های مختلف (روش کارشناسی)

وزن هر دسته	ارزش اختصاص یافته	دسته بندی محدوده	عوامل مؤثر	وزن هر دسته	ارزش اختصاص یافته	دسته بندی محدوده	عوامل مؤثر
%۱۵	۱۰	۲-۰	میزان شیب	%۵	۱۰	آهک توده ای	لیتولوژی
	۹	۵-۲			۹	آهک و دولومیت	
	۶	۸-۵			۷	آهک ناخالص	
	۵	۱۲-۸			۰	سنگ های	
	۴	۲۰-۱۲			۰	دگرگونی	
	۳	۳۰-۲			۰	سنگ آذرین	
۲	۳۰<			آبرفت			
%۱۰	۲	۰-۲۵%	تراکم خطواره	%۵	۲	۰-۲۵%	تراکم آبراهه
	۴	۲۵-۵۰%			۴	۲۵-۵۰%	
	۷	۵۰-۷۵%			۷	۵۰-۷۵%	
	۹	>۷۵%			۹	>۷۵%	
%۲۵	۱۰	خیلی زیاد	عوارض کارستی	%۱۵	۶	خیلی زیاد	پوشش خاک
	۹	زیاد			۷	زیاد	
	۸	متوسط			۸	متوسط	
	۷	کم			۹	کم	
	۶	خیلی کم			۱۰	بدون پوشش	
%۱۰	۹	N-NE SE-E NW-W SW-S ----	جهت شیب	%۵	۷	زیاد	پوشش گیاهی
	۷				۶	متوسط	
	۶				۴	کم	
	۵				۲	خیلی کم	
	۳				۱	بدون پوشش	
%۵	۱۰	۴۲۰-۴۳۴	تبخیر	۵%	۲	۴۲۰-۴۳۴	بارش
	۸	۴۳۴-۴۴۶			۲	۴۳۴-۴۴۶	
	۶	۴۴۶-۴۶۰			۶	۴۴۶-۴۶۰	
	۴	۴۶۰-۴۷۳			۸	۴۶۰-۴۷۳	
	۲	۴۷۳-۴۸۶			۱۰	۴۷۳-۴۸۶	

ب- تأثیرگذاری پارامترها

شعبان (Shaban 2003) برای نخستین بار این روش را معرفی کرد. ابتدا تأثیر پارامترهای مختلف بر روی یکدیگر بررسی می شود و اثر عوامل مؤثر به دو دسته اثر مستقیم و غیر مستقیم (اصلی و فرعی) تقسیم می گردد. هر اثر اصلی، امتیاز یک و هر تأثیر فرعی عدد $0/5$ را به خود اختصاص می دهد. با جمع این اعداد برای هر معیار یک نرخ (Rate)، به دست می آید. حاصلضرب نرخ هر معیار در ارزش هر دسته، وزن هر دسته را مشخص می کند و وزن کل معیار، با جمع وزن دسته های آن معیار به دست می آید. از تقسیم وزن کل هر معیار بر مجموع وزن ها، وزن نهایی به صورت درصد محاسبه می گردد. در این روش اعمال نظر مستقیم کارشناسی در زمان ارزش دهی به دسته ها در لایه های اطلاعاتی صورت می گیرد. سپس تأثیرگذاری هر کدام از این معیارها به صورت تأثیر اصلی و فرعی بر روی هم بررسی می شود. این روش را می توان جزء روش وزن دهی نسبتی دانست با این تفاوت که در این روش نظر کارشناسی تنها در مراحل ابتدایی مؤثر است. در شکل ۹-۴ هر خط ممتد بیانگر تأثیر اصلی و عمده و خطوط نقطه چین، مبین تأثیر فرعی بر پارامتر است. طبق این روش به هر خط ممتد ارزش یک داده شد و هر خط نقطه چین دارای ارزش $0/5$ است.



شکل ۹-۴- نمودار شماتیک از نحوه تأثیرگذاری پارامترهای مؤثر بر روی یکدیگر

$1 \times 4 + 0/5 \times 1 = 3/5$	پوشش خاک :	$0/5 \times 2 + 1 \times 4 = 5$	لیتولوژی:
$1 \times 3 + 0/5 \times 1 = 3/5$	پوشش گیاهی:	$0/5 \times 1 + 1 \times 3 = 3/5$	تراکم شکستگی:
$1 \times 2 + 0/5 \times 2 = 3$	جهت شیب:	$0/5 \times 2 + 1 \times 3 = 4$	زهکشی (تراکم آبراهه)
$1 \times 3 + 0/5 \times 2 = 4$	مقدار شیب:	$0/5 \times 2 + 1 \times 3 = 4$	عوارض کارستی:
$1 \times 3 = 4$	مقدار تبخیر:	$1 \times 5 = 5$	مقدار بارش:

وزن های محاسبه شده بر اساس این روش در جدول (۴-۴ و ۴-۵) آمده است.

جدول ۴-۴- وزن های اعمال شده به لایه های مختلف (روش تأثیرگذاری پارامترها)

وزن نهایی	جمع کل هر فاکتور	وزن (a*b)	تأثیر محاسبه شده (b)	ارزش اختصاص یافته (a)	دسته بندی محدوده	عوامل مؤثر
۱۲	۱۳۰	۵۰ ۴۵ ۳۵ ۰ ۰ ۰	۵	۱۰ ۹ ۷ ۰ ۰ ۰	آهک توده ای آهک و دولومیت آهک ناخالص سنگ های دگرگونی سنگ آذرین آبرفت	لیتولوژی
۹	۸۰	۲۵ ۲۰ ۱۵ ۱۲/۵ ۷/۵	۲/۵	۱۰ ۸ ۶ ۵ ۳	<۸۰٪ ۶۰-۸۰٪ ۴۰-۶۰٪ ۲۰-۴۰٪ >۲۰٪	تراکم شکستگی (خطواره)
۶	۶۷/۵	۲۲/۵ ۱۷/۵ ۱۲/۵ ۱۰ ۵	۲/۵	۹ ۷ ۵ ۴ ۲	<۸۰٪ ۶۰-۸۰٪ ۴۰-۶۰٪ ۲۰-۴۰٪ >۲۰٪	زهکشی (تراکم آبراهه)
۱۲	۱۲۶	۱۷/۵ ۲۱ ۲۴/۵ ۲۸ ۳۵	۳/۵	۵ ۶ ۷ ۸ ۱۰	خیلی زیاد زیاد متوسط کم بدون پوشش خاک	پوشش خاک

جدول ۴-۵- وزن های اعمال شده به لایه های مختلف (روش تأثیرگذاری پارامترها) - ادامه...

وزن نهایی	جمع کل هر فاکتور	وزن (a*b)	تأثیر محاسبه شده (b)	ارزش اختصاص یافته (a)	دسته بندی محدوده	عوامل مؤثر
۶	۶۴	۲۱/۵ ۱۵ ۱۲/۵ ۵ ۱۰	۲/۵	۹ ۶ ۵ ۲ ۴	شمال - شمال شرق جنوب شرق - شرق شمال غرب - غرب جنوب - جنوب غرب صاف	جهت شیب
۱۱	۱۰۸	۳۰ ۲۴ ۲۱ ۱۸ ۱۵	۳	۱۰ ۸ ۷ ۶ ۵	خیلی زیاد زیاد متوسط کم خیلی کم	عوارض کارستی
۱۰	۸۷/۵	۲۸ ۲۴/۵ ۱۷/۵ ۱۰/۵ ۷	۳/۵	۸ ۷ ۵ ۳ ۲	زیاد متوسط کم خیلی کم بدون پوشش	پوشش گیاهی
۱۲	۱۱۶	۱۲ ۱۶ ۲۴ ۲۸ ۳۶	۴	۳ ۴ ۶ ۷ ۹	۴۲۰-۴۴۶ ۴۴۶-۴۷۳ ۴۷۳-۴۹۸ ۴۹۸-۵۴۰ ۵۴۰<	مقدار بارش
۱۰	۱۰۵	۳۱/۵ ۲۸ ۲۱ ۱۴ ۱۰/۵	۳/۵	۹ ۸ ۶ ۴ ۳	۵> ۱۰-۵ ۲۰-۱۰ ۳۰-۲۰ ۳۰<	مقدار شیب
۱۲	۱۱۶	۱۲ ۱۶ ۲۴ ۲۸ ۳۶	۴	۳ ۴ ۶ ۷ ۹	۴۲۰-۴۳۴ ۴۳۴-۴۴۶ ۴۴۶-۴۶۰ ۴۶۰-۴۷۳ ۴۷۳-۴۸۶	تبخیر

ج- روش مقایسه زوجی

فرآیند تحلیل سلسله مراتبی یا AHP توسط توماس ال ساعتی (Saaty 1986) برای حل مسائل چند متغیره طراحی شد. ارزش های اختصاص یافته به هر پارامتر در این روش با استفاده از مقیاسی که توسط ساعتی، در محدوده یک تا نه، طراحی شده است، استفاده می شود. این مقیاس در جدول ۴-۴-۶ ارائه شده است.

در فرایند تحلیل سلسله مراتبی متغیرهای عناصر در هر سطح، نسبت به عنصر در سطح بالاتر به صورت دو به دو مقایسه می‌شود. که این وزن‌ها را وزن نسبی می‌گویند و با تلفیق وزن‌های نسبی وزن مطلق پارامتر مورد نظر محاسبه می‌شود. با استفاده از نظر چند کارشناس، و استفاده از نرم‌افزار EC وزن نسبی و مطلق مربوط به هر پارامتر محاسبه می‌گردد.

ابتدا با استفاده از نظر کارشناسی، به هر کدام از لایه‌های تهیه‌شده ارزشی اختصاص می‌یابد (ارزش نسبی). با استفاده از این ارزش‌ها برای هر پارامتر به صورت دو به دو مقایسه صورت می‌گیرد و در نهایت برای هر رده از لایه‌ها وزنی محاسبه می‌شود که بین صفر تا یک متغیر است، هر چه دسته مورد نظر دارای ارزش بیشتری باشد، عدد حاصل به عدد یک نزدیک‌تر است و برعکس. برای وزندهی لایه‌ها نیز طبق این مراحل عمل می‌شود. ارزش اختصاص یافته به لایه‌های مختلف به نرم‌افزار Expert Choice وارد شد و وزن محاسبه شده توسط این نرم‌افزار در جدول ۴-۷ نمایش داده شده است.

جدول ۴-۴- مقادیر ترجیحات برای مقایسه‌های زوجی (برگرفته از قدسی‌پور ۱۳۸۱)

مقدار عددی	ترجیحات
۹	کاملاً مطلوب‌تر
۷	مطلوبیت خیلی قوی
۵	مطلوبیت قوی
۳	کمی مطلوب‌تر
۱	مطلوبیت یکسان
۲ و ۴ و ۶ و ۸	ترجیحات بین فواصل فوق

بر اساس هر یک از این وزندهی‌ها میزان نفوذ منطقه برآورد شده و با یکدیگر مقایسه خواهد شد. در نهایت یک نقشه خروجی با استفاده از انطباق سه روش ذکر شده حاصل شده و محاسبه تغذیه بر اساس آن نقشه صورت می‌گیرد (شکل ۴-۱۳).

محاسبه تغذیه

بر اساس نقشه نهایی به دست آمده از توان تغذیه در منطقه مورد مطالعه (شکل های ۴-۱۰ تا ۴-۱۲) و همینطور پراکندگی مقدار بارش میانگین در منطقه، محاسبه برآورد مقدار تغذیه به صورت زیر است: برای به دست آوردن میزان تغذیه سالانه ابتدا ضریب نفوذ را از معادله (۴-۱) محاسبه کرده و با استفاده از معادله (۴-۲) حجم تغذیه سالانه برآورد شده است.

$$I = \frac{\sum_{1}^n A_1 \cdot I_1 + A_2 \cdot I_2 + \dots + A_n \cdot I_n}{A_t} \quad \text{معادله (۴-۱)}$$

$$W = P \cdot I \cdot A \quad \text{معادله (۴-۲)}$$

جدول ۴-۷- مقادیر ارزش و وزن اعمال شده در روش مقایسه زوجی

فاکتور	دسته بندی	نرخ	وزن محاسبه شده توسط نرم افزار	فاکتور	دسته بندی	نرخ	وزن محاسبه شده توسط نرم افزار
لینئولوی	شیل - سیلستون دگرگون مارن - ماسه سنگ کارست - کارست ناخالص کنگولومرا - آبرفت	۶	۰/۰۷	شیب	<۵ ۵-۱۲ ۱۲-۲۲ ۲۲-۳۳ >۳۳	۷	۰/۱۴۰
تراکم خطواره	۰-٪۲۰ ۲۰-٪۳۰ ۳۰-۴۵٪ ۴۵-٪۷۰ >۷۰٪	۷	۰/۱۴۰	جهت شیب	N-NE SE-E NW-W SW-S -	۴	۰/۰۳۲
تراکم آبراهه	۰-٪۲۰ ۲۰-٪۳۰ ۳۰-۴۵٪ ۴۵-٪۷۰ >۷۰٪	۵	۰/۰۵۰	عوارض کارستی	خیلی زیاد زیاد متوسط کم خیلی کم و بدون عوارض کارستی	۹	۰/۱۶۸
پوشش گیاهی	زیاد متوسط کم خیلی کم بدون پوشش گیاهی	۵	۰/۰۵۰	پوشش خاک	خیلی زیاد زیاد متوسط کم بدون پوشش خاک	۶	۰/۰۷
تبخیر	۴۲۰-۴۳۴ ۴۳۴-۴۴۶ ۴۴۶-۴۶۰ ۴۶۰-۴۷۳ ۴۷۳-۴۸۶	۷	۰/۱۴	بارش	۳۶۰-۴۵۰ ۴۵۰-۵۵۰ ۵۵۰-۶۴۰ ۶۴۰-۷۴۰ >۷۴۰	۷	۰/۱۴۰

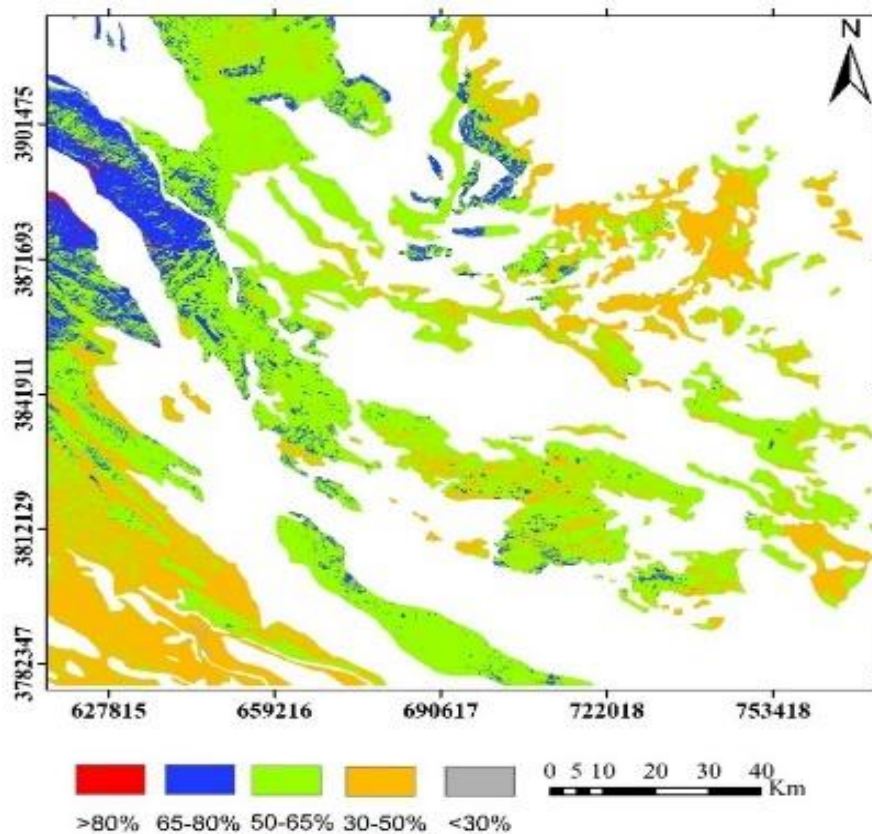
جایی که I نرخ نفوذ سالانه، W حجم آب نفوذ یافته، A مساحت، P بارندگی است. معادله (۳-۴) مشابه معادله (۲-۴) است که برای برآورد نفوذ می‌توان به کار رود، در زیر میزان نفوذ با استفاده از این معادله نیز محاسبه شده است، که نتایج حاصل یکسان است.

$$W = P \cdot \sum I_1 \frac{A_1}{A_t} + I_2 \frac{A_2}{A_t} + \dots + I_n \frac{A_n}{A_t} \quad \text{معادله (۳-۴)}$$

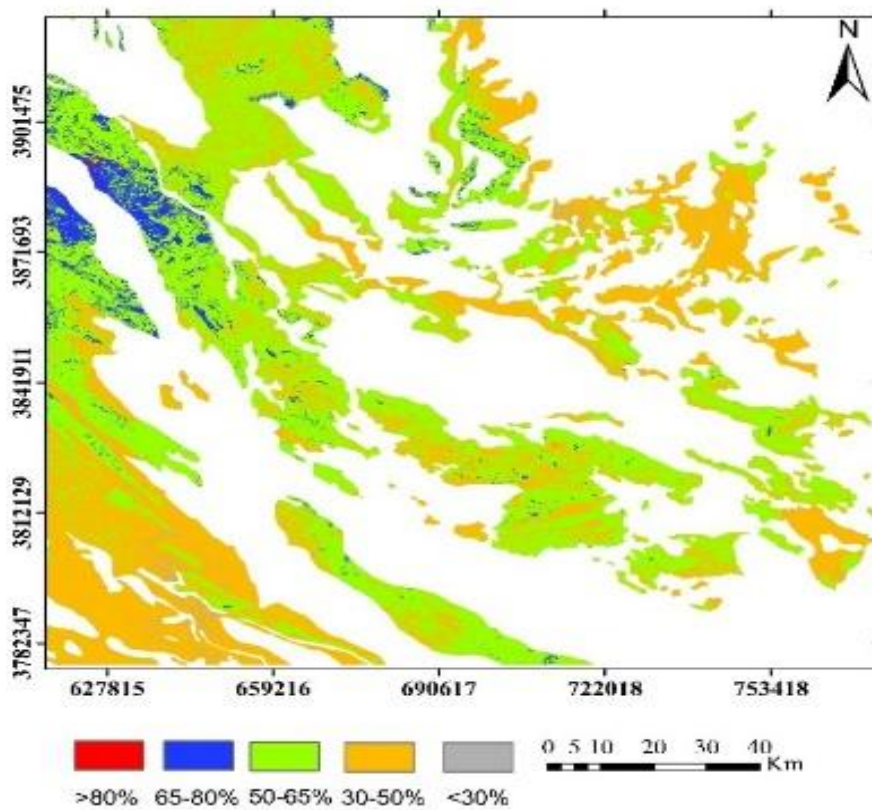
در این معادله P ، حجم بارش سالانه، I ، نرخ نفوذ مربوط به هر رده، A مساحت مربوط به هر رده و A_t مساحت کل منطقه است و در نهایت W حجم نفوذ سالانه در منطقه می‌باشد. با در نظر گرفتن ضریب نفوذ محاسبه شده، میانگین بارش در منطقه و مساحت مناطق کوهستانی استان، مقدار تغذیه صورت گرفته از طریق ارتفاعات حدود ۲۲۵۰ میلیون متر مکعب برآورد شده است (به دلیل تنوع در پارامترها و نامشخص بودن برخی از عوامل مؤثر در مقدار تغذیه در آبرفت‌های منطقه، برآورد ضریب نفوذ و به دنبال آن تغذیه تنها در ارتفاعات منطقه مورد مطالعه، بررسی شده است (جدول ۴-۸).

جدول ۴-۸- درصد تغذیه محاسبه شده و مساحت هر رده

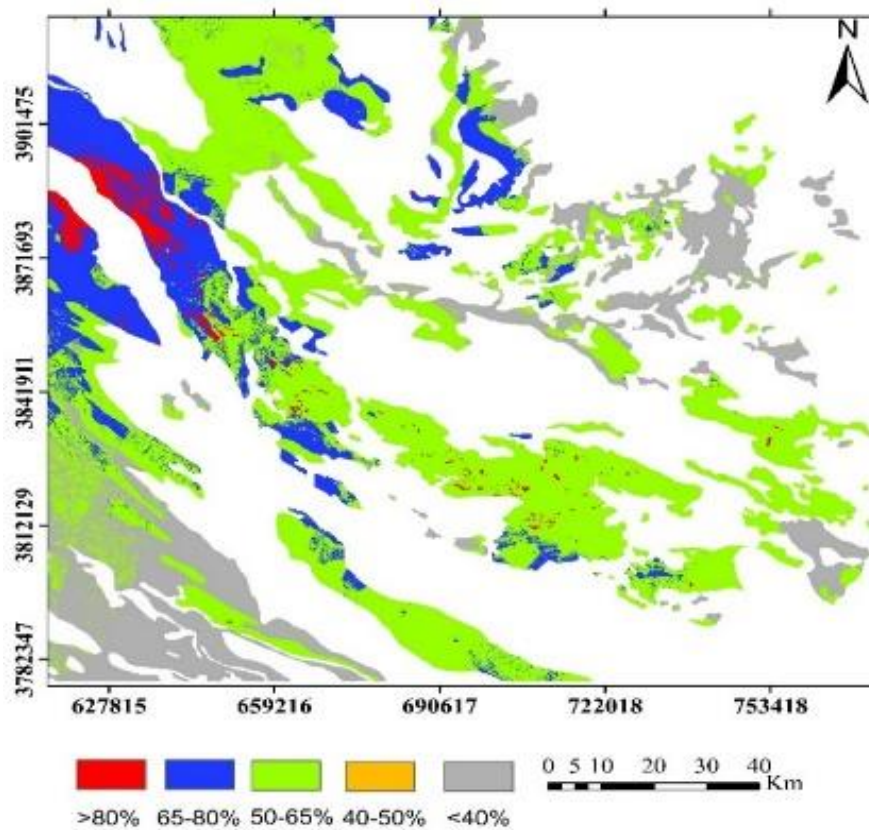
ردیف	روش	درصد نفوذ	میانگین درصد نفوذ	مساحت (km ²)	ردیف	روش	درصد نفوذ	میانگین درصد نفوذ	مساحت (km ²)
۱	روش کارشناسی	$\geq 30\%$	۰/۴۶	۶۹	۳	روش مقایسه زوجی	$\geq 30\%$	۰/۴۸	۴۷۳۲
		۳۰-۵۰٪		۴۳۹۰					
		۵۰-۶۵٪		۱۹۸					
		۶۵-۸۰٪		۰/۲۵					
		$< 80\%$							
۲	روش تأثیرگذاری پارامترها	$\leq 30\%$	۰/۵۰	۸	۴	جمع‌بندی	$\geq 30\%$	۰/۵۴	۲۷۹۰
		۳۰-۵۰٪		۵۴۴۴					
		۵۰-۶۵٪		۱۱۲۴					
		۶۵-۸۰٪		۲۱					
		$< 80\%$							



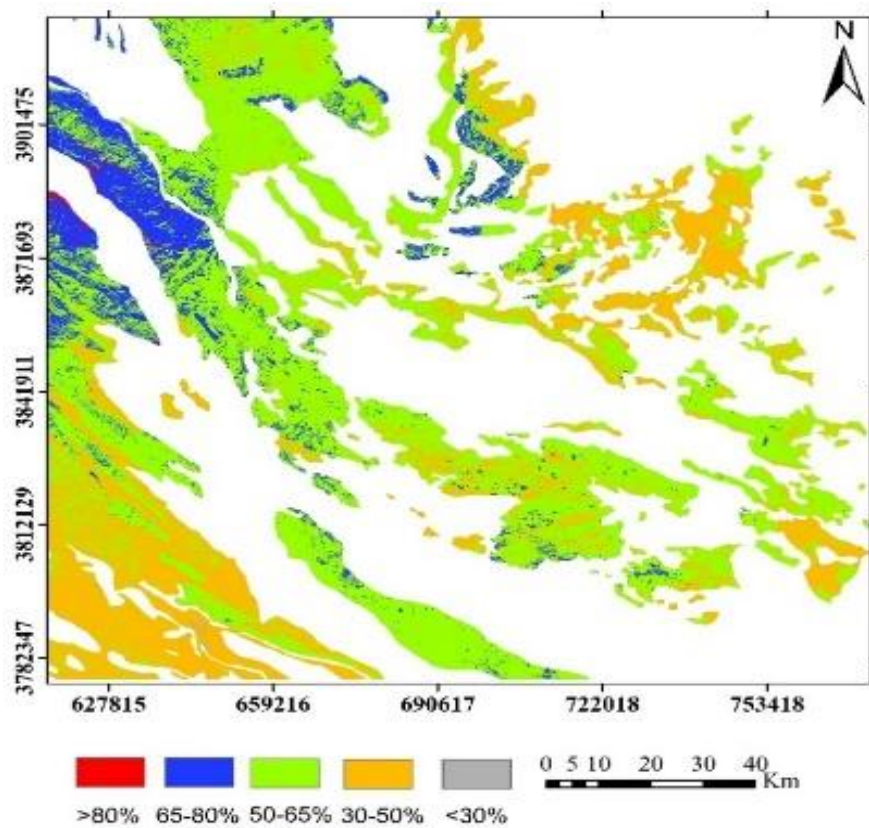
شکل ۱۰-۴- نقشه نهایی برآورد تغذیه به روش تأثیرگذاری پارامترها



شکل ۱۱-۴- نقشه نهایی برآورد تغذیه به روش AHP



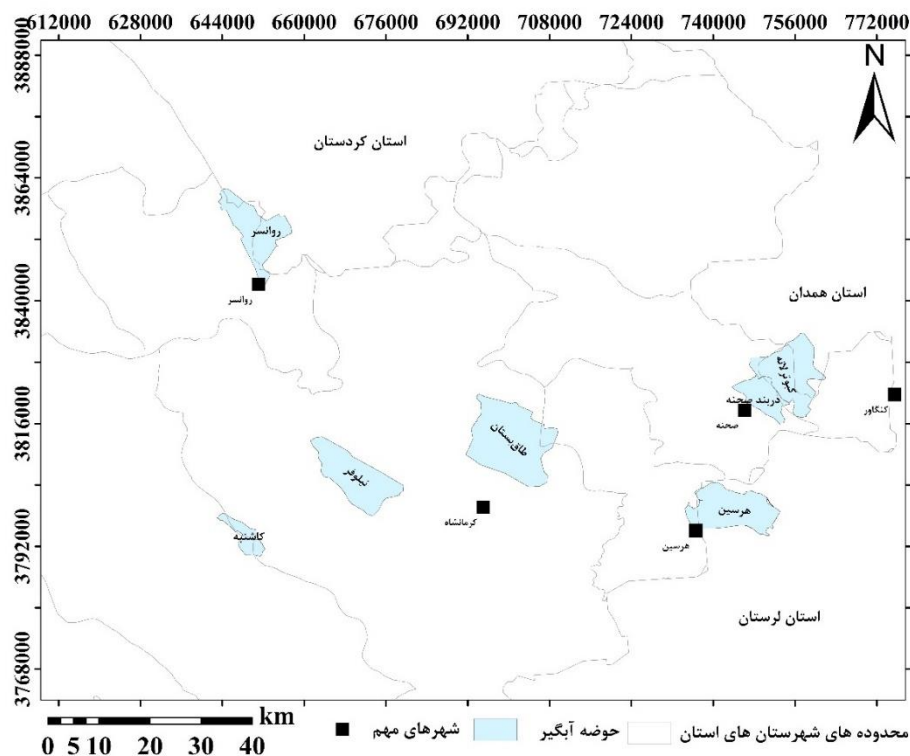
شکل ۴-۱۲- نقشه نهایی برآورد تغذیه به روش کارشناسی



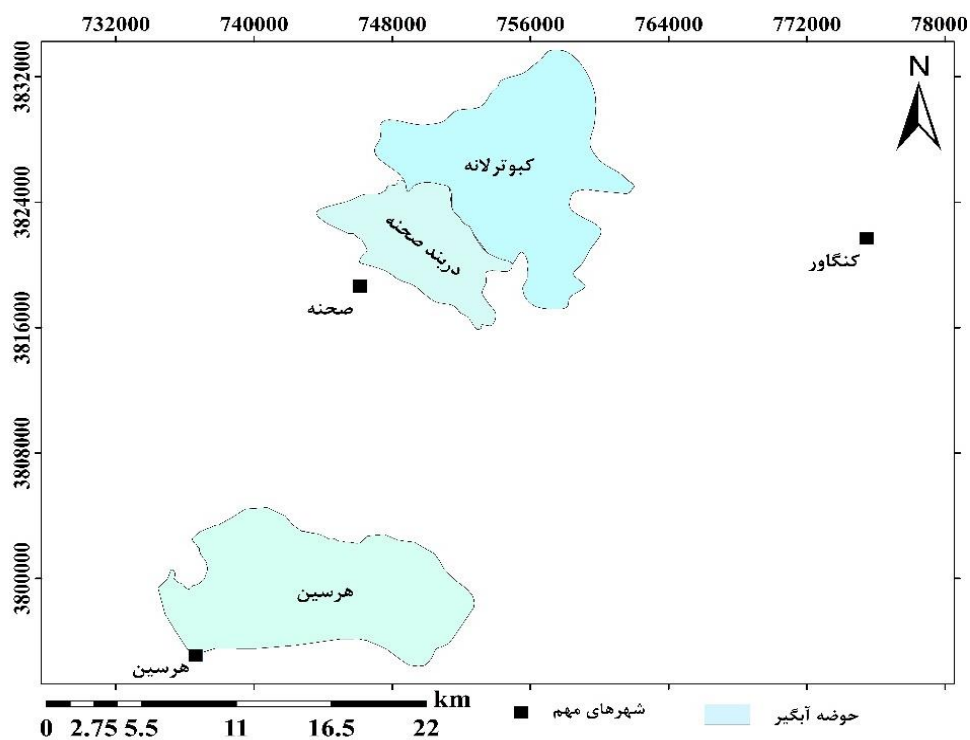
شکل ۴-۱۳- نقشه نهایی برآورد تغذیه

۴-۴- ترسیم حوضه‌های آبرگیر چشمه‌های مهم منطقه

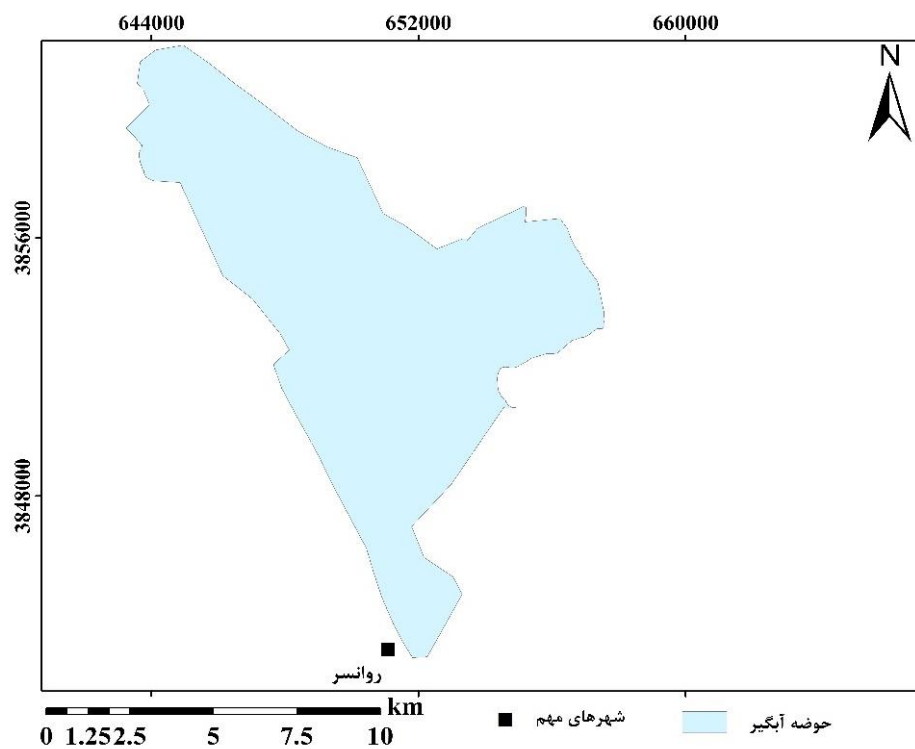
به منظور ترسیم حوضه آبرگیر چشمه‌ها از روش زمین شناسی و با استفاده از مقدار تخمینی تغذیه در منطقه آبرگیر چشمه‌ها، میانگین بارش در منطقه و توپوگرافی، حوضه آبرگیر چشمه‌ها، در طی چند دوره مختلف برآورد و ترسیم شد (شرح روش ترسیم در بخش ۳-۶). به دلیل وسعت قابل توجه، منطقه مورد مطالعه به چند بخش تقسیم‌بندی شده و حوضه آبرگیر چشمه‌های هر بخش به صورت جداگانه ترسیم شده است. شکل ۴-۱۴، حوضه آبرگیر ترسیم شده چشمه‌های مهم و منتخب استان را نشان می‌دهد. به دلیل تعدد چشمه‌های استان، در نهایت چشمه‌هایی با ویژگی‌های خاص، جهت نمونه‌برداری و بررسی دقیق‌تر مکانیسم آبدهی آن‌ها انتخاب شدند. در انتخاب چشمه‌ها تنوع لیتولوژی، اندازه و شکل حوضه آبرگیر چشمه، مقدار و میزان نوسان آبدهی چشمه، مشهود بودن فعالیت انسانی در حوضه آبرگیر و یا آبخوان‌های مجاور آن چشمه مورد توجه قرار گرفته است. چشمه‌های منتخب شامل روانسر در شهر روانسر، هرسین در شهر هرسین، طاق‌بستان در شهر کرمانشاه، نیلوفر در ۲۰ کیلومتری شمال غرب شهر کرمانشاه، کبوترلانه به فاصله حدود ۱۲ کیلومتری شمال شرق شهر کنگاور، دربند صحنه در شهر صحنه و کاشنبه به فاصله حدود ۱۰ کیلومتری تنگه چارزبر (مرصاد) انتخاب شدند (شکل‌های ۴-۱۴ تا ۴-۱۶).



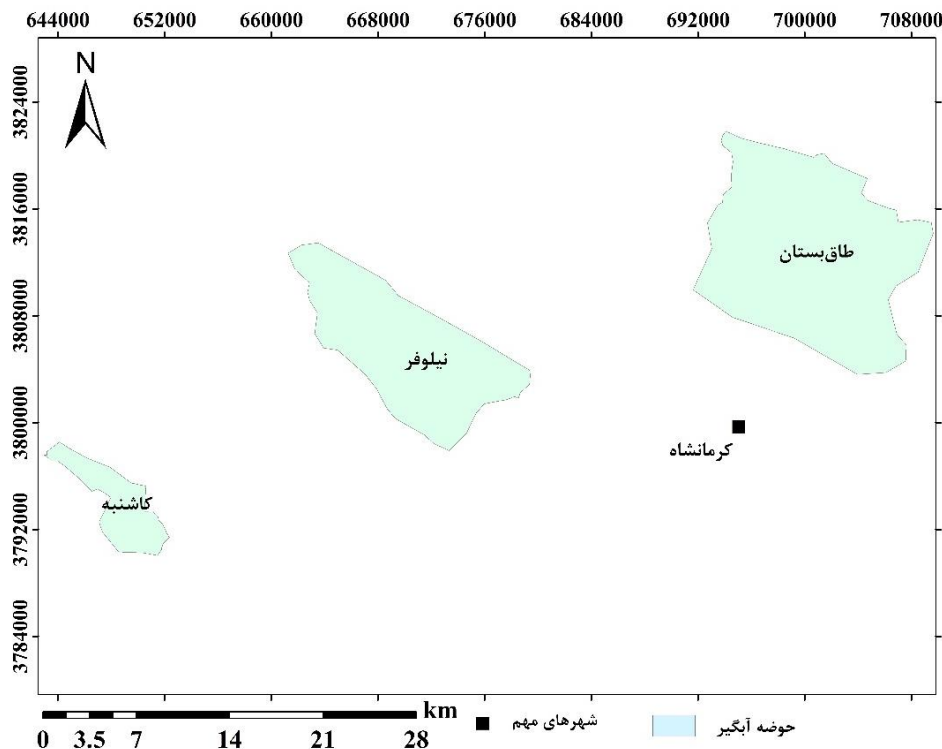
شکل ۴-۱۴- حوضه آبرگیر چشمه‌های منتخب



شکل ۴-۱۵- حوضه آبخیز چشمه های کبوترلانه، دربند صحنه و هرسین



شکل ۴-۱۶- حوضه آبخیز چشمه روانسر



شکل ۴-۱۷- حوضه آبخیز چشمه‌های طاق‌بستان، نیلوفر و کاشنبه

در مناطق غربی ایران برای انواع خاصی از چشمه‌های کارستی اصطلاح سراب به کار می‌رود، این چشمه‌ها منشاء گرفته از سازندهای سخت (به ویژه کارست)، دارای آبدهی نسبتاً خوب و دائمی هستند، از طرف دیگر سراب‌ها دارای فضای کافی در مظهر چشمه هستند، به گونه‌ای که حوضچه‌ای در مقابل آن ایجاد شود. اکثر چشمه‌های انتخابی در دیدگاه محلی سراب نامیده می‌شوند بنابراین از این ببعد گاهاً از این واژه استفاده خواهد شد.

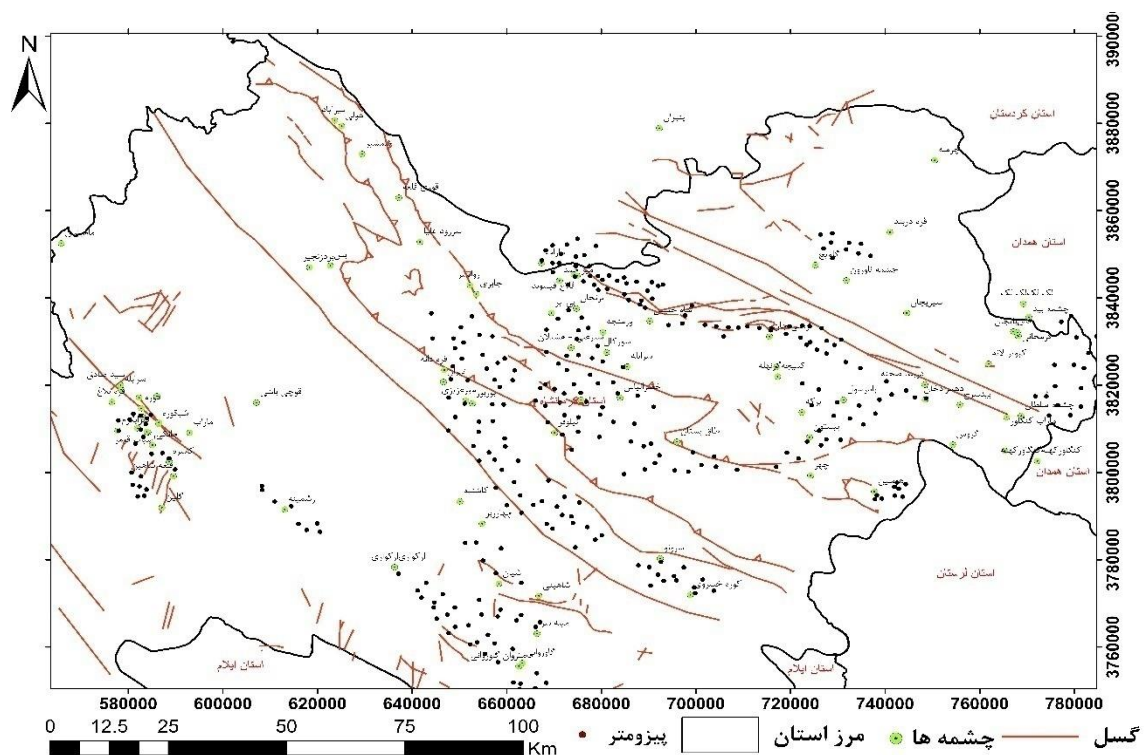
به منظور انجام آنالیزهای هیدروشییمیایی و ایزوتوپی از چشمه‌های مذکور در فاصله زمانی شهریور ۹۵ لغایت مرداد ۹۶ نمونه‌برداری صورت گرفت که در ادامه شرح داده خواهد شد.

۴-۵- جهت حرکت آب زیرزمینی در مناطق اطراف چشمه‌ها

در استان کرمانشاه بالغ بر ۳۶۰ پیژومتر حفر شده است که داده‌های آن به صورت ماهانه اندازه‌گیری می‌شوند. شکل ۴-۱۸ محل پیژومترها، چشمه‌های مهم و نیز گسل‌های اصلی استان را نشان می‌دهد. ارزیابی سطح آب زیرزمینی و همچنین جهت جریان در منطقه در سه بازه زمانی صورت گرفته است.

نخستین داده‌های در دسترس از سطح آب استان مربوط به سال آبی ۶۸-۶۷ می‌باشد. در این تحقیق نخستین بازه زمانی که سطح آب زیرزمینی در استان مورد ارزیابی قرار گرفته است مربوط به زمستان ۱۳۷۰، سپس با نقشه سال ۱۳۸۰، ۱۳۹۱ و ۱۳۹۵ مقایسه شده است. داده‌های پیژومترهای ارائه شده در استان کرمانشاه تنها مربوط به پیژومترهای حفر شده در آبرفت‌های منطقه است و از سطح آب در مناطق کوهستانی اطلاعاتی در دست نیست.

در اوایل دهه هفتاد پیژومترهای محدودی در شرق استان و نواحی مرکزی حفر شده‌اند. عمده جهت جریان آب زیرزمینی در مناطق مرکزی استان از سمت شمال به جنوب است، در مناطق شمال شرق جهت حرکت از شمال غرب به سمت جنوب شرق است. یک چشمه قرار دارد و همانطور که از تصویر مشخص است در این بازه زمانی جهت جریان زیرزمینی به سمت تغذیه این چشمه می‌باشد.



شکل ۴-۱۸- توزیع پیژومترهای استان کرمانشاه

ارزیابی بعدی سطح آب زیرزمینی، ده سال بعد و بر اساس داده‌های سطح آب در زمستان ۱۳۸۰ انجام شد. تعداد پیژومترها در این بازه زمانی افزایش یافته و از طرفی جهت حرکت آب زیرزمینی نیز تغییراتی را نشان می‌دهد.

در مناطق شرقی و شمالی جهت حرکت تقریباً از شمال به جنوب و در جنوب غرب منطقه از جنوب شرق به سمت شمال غرب که چشمه‌های بوربور، تیران و میرعیزی قرار دارند. در اطراف چشمه کبوترلانه به دلیل کوهستانی بودن منطقه تعداد پیژومترهای بسیار محدود است، بنابراین در خصوص جهت جریان آب زیرزمینی به درستی نمی‌توان نظر داد، اما در اوایل دهه هفتاد در دشت کنگاور جهت جریان از ارتفاعات جنوبی دشت، به سمت شمال دشت کاملاً واضح است.

افت سطح آب زیرزمینی در دشت کنگاور کاملاً مشخص است. جهت جریان در اطراف چشمه دربند صحنه چندان متفاوت نیست و تقریباً سطح آب زیرزمینی پایین دست چشمه تغییر زیادی نشان نمی‌دهد. در سال ۱۳۷۰ در اطراف چشمه کاشنبه، پیژومتر حفر نشده است، اما مقایسه داده‌های سال ۱۳۸۰ و ۱۳۹۱ نشان‌دهنده افت حدود ۴۰ متری سطح آب است. این درحالی است که تا فاصله چند صدمتری از چشمه، چاه آب حفر نشده است اما گرادیان هیدرولیکی به نحوی است که شاهد افت زیاد آب در این نواحی هستیم. به دلیل حاصل‌خیزی دشت ماهیدشت (پایین‌دست چشمه کاشنبه) کشاورزی بسیار رونق دارد، پس از خشکسالی دهه ۸۰ مجوز چاه بسیار زیادی صادر شد به نحوی که در برخی نواحی این دشت به طور میانگین سالانه یک متر سطح آب زیرزمینی افت نشان می‌دهد. به طور کلی در دشت ماهیدشت جهت حرکت آب زیرزمینی از ارتفاعات به سمت مرکز دشت است. در اطراف چشمه طاقبستان و نیلوفر نیز کاهش سطح آب زیرزمینی مشاهده می‌شود.

۴-۶- آنالیزهای هیدروشیمیایی چشمه‌های منتخب

در مطالعات منابع آب زیرزمینی، به همان اندازه که کمیت آب‌های زیرزمینی مهم می‌باشد، کیفیت آن نیز حائز اهمیت است. هیدروژئولوژی شیمیایی می‌تواند به عنوان مطالعه کنترل‌های زمین‌شناسی و هیدرولوژیکی بر روی خصوصیات شیمیایی آب زیرزمینی تعریف گردد (Alley 1993). اهداف تحقیقات هیدروژئوشیمی تعیین نحوه چرخش، سرعت و منشأ آب زیرزمینی و غلظت، رفتار و ثبات اجزا شیمیایی آب می‌باشد. کیفیت آب، یکی از جنبه‌های هیدروژئوشیمی می‌باشد که درباره توصیف شیمیایی آب، توزیع مکانی انواع اجزا شیمیایی و قابلیت مصرف آب برای اهداف صنعت، کشاورزی و مصارف خانگی و شهری بحث می‌نماید (Walton 1970).

هیدروشیمی آب های زیرزمینی، اثرات حال و گذشته عوامل اقلیمی، زمین شناسی، هیدرولوژیکی و بیولوژیکی را بر روی شیمی آب ها مورد ارزیابی قرار می دهد. این عوامل شامل شیمی آب نفوذی، که عمدتاً به وسیله درجه حرارت هوا کنترل می شود شامل: تناوب، میزان و مدت زمان بارش، کانی شناسی، پوشش گیاهی و خاک می باشند. عوامل دیگری که بر روی شیمی آب زیرزمینی مؤثر هستند، شامل ضخامت لایه های زمین شناسی و توزیع بار پتانسیومتریک می باشند، که به وسیله توزیع نفوذپذیری، نوع تخلخل و وضعیت توپوگرافی مشخص می گردد. در حقیقت این عوامل نرخ تغذیه، مسیر جریان و زمان ماندگاری را کنترل می نمایند. پدیده اختلاط خواه بین آب های نواحی مختلف باشد خواه بین آب های آبخوان های مختلف، کنترل هیدرولوژیکی را بر روی کیفیت آب های زیرزمینی اعمال می نماید (Alley 1993).

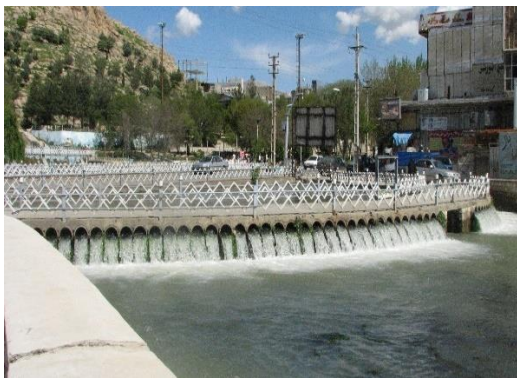
با بررسی نقشه های زمین شناسی منطقه، هفت چشمه کارستی که حوضه آبگیر آن ها دارای وضعیت لیتولوژی های متفاوت هستند، انتخاب شد. به طور خلاصه می توان مراحل انجام نمونه برداری و آزمایش های هیدروشیمیایی را بشرح زیر بیان کرد:

- ارزیابی اولیه نقشه های زمین شناسی در منطقه مورد نظر و انتخاب چشمه هایی که حوضه آبگیر آن ها در سازندهای کربناته متفاوت قرار دارد و یا وضعیت سنگ چینه نگاری مختلفی را دارا هستند
- بررسی های صحرائی درباره چینه شناسی منطقه و ارزیابی هیدروژئولوژیکی حوضه آبگیر چشمه ها
- نمونه برداری ماهانه از چشمه ها
- اندازه گیری هدایت الکتریکی و دمای چشمه در محل
- اندازه گیری غلظت یون های اصلی آب در آزمایشگاه

دوره نمونه برداری به منظور تجزیه و تحلیل هیدروشیمیایی از چشمه ها، از شهریور ماه سال ۱۳۹۵ شروع و به مدت یکسال به صورت ماهانه صورت گرفته است. در ابتدا به تشریح زمین شناسی حوضه آبگیر چشمه ها اشاره خواهد شد و سپس نتایج آنالیز ماهانه همه چشمه ها با یکدیگر و همچنین به تفکیک، ارائه و تحلیل خواهد شد. شایان ذکر است به دلیل پراکندگی چشمه ها و نیز عدم دسترسی به برخی از چشمه ها در ماه های خاص، بعضی چشمه ها، در بعضی از ماه های سال با اندکی تأخیر نمونه برداری شده اند.

سرآب روانسر

سرآب روانسر از سازند آهکی ضخیم لایه و توده‌ای بیستون، برونزد دارد. متوسط دبی این چشمه حدود ۲۰۰۰ لیتر بر ثانیه است در مقابل چشمه حوضچه‌هایی تشکیل شده و سپس به عنوان سرمنشا رودخانه قره‌سو در سطح استان کرمانشاه جریان می‌یابد. این چشمه یک چشمه دائمی است، نوسان آبدهی در این چشمه بسیار زیاد است که با توجه به عوارض شاخص کارستی موجود در حوضه آبرگیر این چشمه، بیانگر توسعه یافتگی کارست در این منطقه است. علاوه بر چشمه اصلی که تصویر آن در شکل مشخص است و محل نمونه‌برداری است، در تمام محدوده حوضچه‌ها به آب چشمه افزوده می‌شود، به طوری که چشمه بعد از حوضچه‌ها دارای آبدهی قابل توجهی است (۴-۱۹ و ۴-۲۰).



شکل ۴-۱۹- تصاویری از چشمه روانسر



شکل ۴-۲۰- اصلی‌ترین خروجی چشمه، و محل نمونه‌برداری در چشمه روانسر

سراب کبوترلانه

این چشمه از واحدهای آهکی کرتاسه برونزد دارد. متوسط دبی این چشمه حدود ۱۱۰۰ لیتر بر ثانیه است در مقابل چشمه حوضچه‌هایی تشکیل شده و سپس به عنوان منبع اصلی تأمین کننده آب سد پایین دست این چشمه - که در حال احداث است - عمل می‌کند. این چشمه نیز یک چشمه دائمی است، نوسان آبدهی در این چشمه زیاد است که با توجه به عوارض شاخص کارستی موجود در حوضه آبرگیر این چشمه، بیانگر توسعه یافتگی کارست در این منطقه است (شکل ۴-۲۱ و ۴-۲۲).



شکل ۴-۲۱- نمایی از چشمه کبوترلانه، از ارتفاعات مشرف به چشمه



شهریور ماه

فرودین ماه

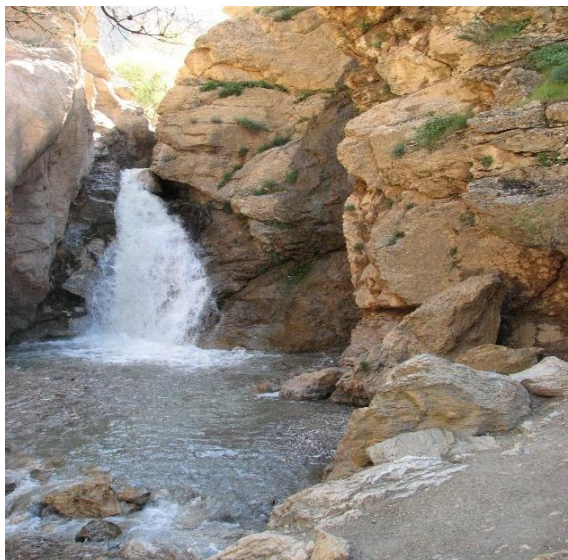
شکل ۴-۲۲- حوضچه تشکیل شده در مقابل چشمه کبوترلانه

چشمه دربند صحنه

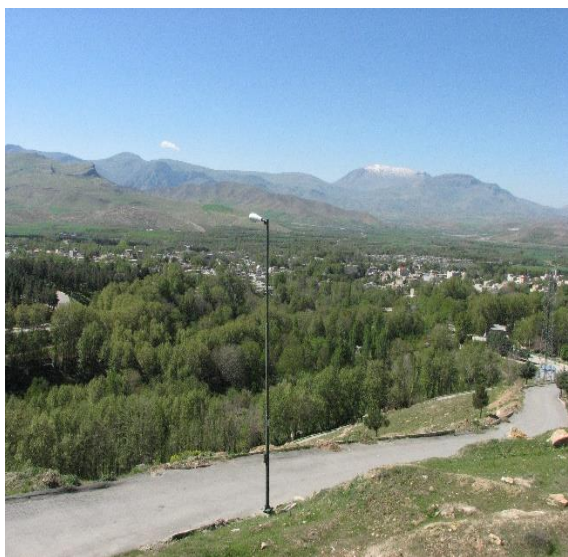
بخش عمده حوضه آبخیز چشمه دربند صحنه از آهک‌های اربیتولین‌دار روشن تا خاکستری رنگ نازک لایه تا ضخیم با سن کرتاسه تشکیل شده است، اما در نزدیکی محل خروج چشمه واحدهای شیلی و مارنی قابل مشاهده است. متوسط دبی این چشمه حدود ۳۲۰ لیتر بر ثانیه است چشمه در دره گسله‌ای ایجاد شده است، در دو طرف دیواره گسله به صورت چشمه‌های کوچک تخلیه صورت می‌گیرد و در مجموع چشمه دربند را تشکیل می‌دهد. این چشمه نیز یک چشمه دائمی است، نوسان آبدهی در این چشمه کمتر از دو چشمه ذکر شده پیشین است از طرفی عوارض شاخص کارستی در حوضه آبخیز این چشمه مشاهده نمی‌شود، دسترسی به محل اصلی چشمه از طریق ارتفاعات مشرف به دره چشمه امکان‌پذیر است. چشمه پس از طی مسافتی در دره، به صورت آبشار و با ارتفاع حدود ۱۰ متر به مسیر خود ادامه می‌دهد، آبشار در شمال شهر صحنه واقع است و در پایین دست آن به سمت شهر مجموعه تفریحی ساخته شده است. آب چشمه یکی از منابع اصلی آب شرب شهر صحنه است و از طرف دیگر، تأمین کننده اصلی آب مورد نیاز برای آبیاری باغات گیلاس و گردو در پایین دست چشمه می‌باشد (شکل ۴-۲۳ و ۴-۲۴).

سراب کاشنبه

ارتفاع مظهر اصلی سراب کاشنبه حدود ۹۵۰ متری از سطح دریا قرار دارد. آب این چشمه از سازند تله زنگ برونزد دارد. متوسط دبی این چشمه حدود ۱۹۰ لیتر بر ثانیه است. در مقابل چشمه کاشنبه حوضچه‌ای تشکیل شده و سپس به عنوان منبع اصلی تأمین‌کننده آب کشاورزی پایین دست این چشمه عمل می‌کند، به نحوی که تا کیلومترها چاه کشاورزی حفر نشده است. این چشمه نیز یک چشمه دائمی است، نوسان آبدهی در این چشمه وجود دارد، اما نسبتاً کم است. در حوضه آبخیز این چشمه برخلاف سایر حوضه‌های آبخیزی که در این تحقیق بحث شد پوشش گیاهی به خوبی قابل مشاهده است. هر چند در این منطقه چندین غار کوچک و حفره انحلالی وجود دارد اما سایر عوارض کارستی به فراوانی دیگر مناطق مشاهده نمی‌شود. این چشمه دارای چند مظهر است، برخی از آن‌ها در فصول خشک سال خشک می‌شوند؛ محل نمونه‌برداری از آن محلی انتخاب شد که دارای آبدهی دائمی است (شکل ۴-۲۵).



شکل ۴-۲۳- حوضه آبگیر چشمه و دره گسلی محل برونزد چشمه



شکل ۴-۲۴- باغهای پایین دست چشمه دربند صحنه



شکل ۴-۲۵- چشمه کاشنبه و محل نمونه برداری از آن

سراب نیلوفر

از نظر توپوگرافی ارتفاع مظهر چشمه به طور متوسط ۱۳۲۰ بالاتر از سطح دریا را نشان می دهد و در مجاورت روستایی به این نام قرار دارد؛ این چشمه در مرز بین یال شمالی واحد آهکی که کوه کوماجار را تشکیل می دهد و دشت های آبرفتی سمت جنوب و شرق چشمه، قرار دارند. تا اواسط دهه ۸۰ مملو از گل های نیلوفر آبی بود و در فصول گرم سال غنچه ها و برگ های آن سر از آب بر آورده و قسمت زیادی از آن را می پوشاند. سراب نیلوفر پنجاه و پنجمین اثر طبیعی ملی کشور است که توسط سازمان میراث فرهنگی به عنوان میراث ملی به ثبت رسید. دلیل نامگذاری این چشمه هم پوشیده شدن سطح آن توسط گل های نیلوفر است. تا پیش از دهه ۸۰ میانگین آبدهی چشمه ۴۰۰ لیتر در ثانیه بوده است. از اواسط دهه هشتاد خشکسالی و برداشت بی رویه آب های زیرزمینی به وسیله چاه های حفر شده در دشت های آبرفتی مجاور چشمه از یک سو و تخریب حوضه آبرگیر چشمه به منظور معدنکاری از سوی دیگر، دلیلی شد تا چشمه های تأمین کننده آب این دریاچه چندین بار به طور کامل خشک شوند و همین امر سبب از بین رفتن کامل نیلوفر های آبی شده است. مظهر اصلی چشمه در دریاچه این سراب قرار دارد که نمونه برداری را با مشکل روبرو می کرد. این چشمه در طی فصل تر سال که نمونه برداری انجام شد در خارج از دریاچه برونزدی پیدا کرد که نمونه برداری ایزوتوپی در این محل صورت گرفت (شکل ۴-۲۶ و ۴-۲۷).



شکل ۴-۲۶- سراب نیلوفر پیش (منبع عکس خبرگزاری فارس) و پس از خشک شدن



شکل ۴-۲۷- رخنمون چشمه نیلوفر خارج از دریاچه در فصل بهار و محل نمونه‌برداری

سراب طاق‌بستان

از این میان چشمه‌های انتخابی، بحث‌برانگیزترین چشمه استان که تابستان ۱۳۹۴ خشک شد، چشمه طاق‌بستان است و با توجه به جایگاه آن از نظر تاریخی و جذب گردشگر و نیز اهمیت آن در روند ثبت جهانی محوطه تاریخی طاق‌بستان، در رسانه‌ها انعکاس چشمگیری داشت. علی‌رغم اینکه این چشمه در شهر کرمانشاه واقع است اما متأسفانه دوره اندازه‌گیری آن دارای نواقص بسیاری است، با توجه به داده‌های موجود دبی میانگین چشمه ۸۵۰ لیتر بر ثانیه می‌باشد، چشمه از سازند بیستون برونزد دارد و عوارض شاخص کارستی در ارتفاعات مشرف بر آن کاملاً قابل مشاهده است. در ادامه تصویری از چشمه ارائه شده است (شکل ۴-۲۸).



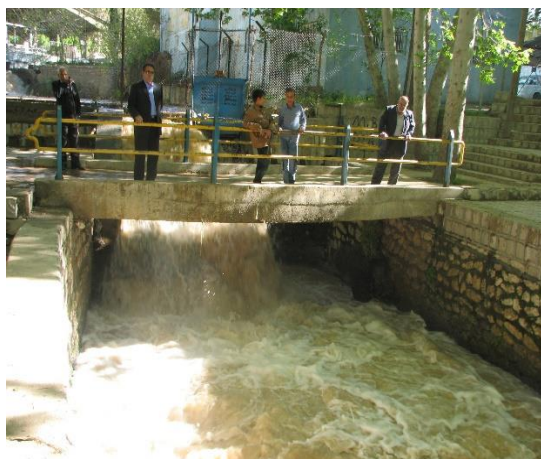
شکل ۴-۲۸- چشمه و محوطه تاریخی طاقستان

سراب هر سین

چشمه دائمی دیگر که جهت ارزیابی و نمونه برداری انتخاب شد، چشمه هر سین، واقع در شهرستان هر سین است. این چشمه با میانگین آبدهی ۶۰۰ لیتر در ثانیه، تأمین کننده آب شرب و کشاورزی بخش و سیعی از مناطق اطراف خود است. مظهر چشمه هر سین نیز مانند روان سر و طاقستان در سازند بیستون برونزد دارد، تفاوت چشمه هر سین از چشمه های مذکور وجود سازند وسیع اولترابازیک در حوضه آبگیر این چشمه است. آب این چشمه در فصل بهار کاملاً گل آلود است (شکل ۴-۲۹-۲۹۲۹).



شهریور ماه



فرودین ماه

شکل ۴-۲۹- بخشی از خروجی آب چشمه هر سین در دو فصل مختلف از سال

پس از بازدید صحرایی و نمونه برداری از چشمه ها، خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آنها مورد ارزیابی قرار گرفت. پارامترهای اندازه گیری شده هدایت الکتریکی، اسیدیتته، درجه حرارت آب، غلظت دی اکسید کربن محلول و غلظت یون های اصلی آب چشمه شامل یون های کلسیم، منیزیم، سدیم، پتاسیم، بیکربنات، کلر، سولفات نیترات به طور ماهانه در آزمایشگاه اندازه گیری شده اند.

جریان آب زیرزمینی در آبخوان های کارستی را می توان به طور کلی به دو دسته کلی تقسیم بندی کرد. نوع اول، جریانی است که از مجاری، درزه شکاف های با باز شدگی معمولاً بزرگتر از یک سانتیمتر عبور کرده که آن را جریان مجرای می گویند. نوع دوم جریان از داخل درزه و شکاف های کوچک با باز شدگی نسبتاً کم (معمولاً کوچکتر از یک سانتیمتر) است. این نوع جریان عموماً به صورت خطی می باشد به آن جریان افشان گفته می شود (Shuster and White 1971, Karami 2002). درجه ناهمگنی و اتصالات مجاری انتقال دهنده آب در این دو سیستم متفاوت است، به این معنی که در جریان مجرای درجه ناهمگنی بالا و درجه اتصالات اندک دارد و این امر در جریان افشان برعکس می باشد. به منظور ارزیابی سیستم غالب جریان در آبخوان های کارستی معیارهای مختلفی وجود دارد که از مهمترین آنها بررسی تغییرات زمانی خصوصیات فیزیکی شیمیایی آب چشمه های کارستی است. ضریب تغییرات تقریبی برای پارامترهای فیزیکی - شیمیایی در هر دو نوع سیستم جریان در آبخوان کارستی در جدول ۴-۹ ارائه شده است.

جدول ۴-۹- ضریب تغییرات تقریبی برای پارامترهای فیزیکی - شیمیایی در هر دو نوع سیستم جریان در آبخوان کارستی (کرمی ۱۳۸۸)

پارامتر	سیستم جریان افشان	سیستم جریان مجرای
دبی	کمتر از ۳۰ درصد	بیشتر از ۳۰ درصد
دما	کمتر از ۱۰ درصد	بیشتر از ۱۰ درصد
هدایت الکتریکی	کمتر از ۱۰ درصد	بیشتر از ۱۰ درصد
اسیدیتته	کمتر از ۵ درصد	بیشتر از ۵ درصد
سختی	کمتر از ۱۰ درصد	بیشتر از ۱۰ درصد
کاتیون ها و آنیون های اصلی	کمتر از ۱۰ درصد	بیشتر از ۱۰ درصد

آهک‌های ضخیم لایه و توده‌ای با درجه خلوص بالاتر، مستعد انحلال بیشتر و در واقع ایجاد مجاری بازتر و داشتن جریان مجرای هستند، سیستم‌های کارستی با جریان مجرای عمده‌تاً در سنگ‌های آهکی ضخیم لایه توده‌ای ایجاد می‌شوند. حال آن که جریان افشان عمده‌تاً در آهک‌های با خلوص کمتر (مانند آهک‌های نازک لایه آهک‌های مارنی) بوجود می‌آیند (کرمی ۱۳۸۸). در سراب روانسر به دلیل خلوص آهک‌ها و توده‌ای بودن لایه‌ها، درجه کارستی شدن آن زیاد و مجاری و فضاهای انحلالی بیشتری نسبت به حوضه آبگیر کاشنبه وجود دارد. به گونه‌ای که این فضای انحلالی حتی در دهانه اصلی این چشمه به خوبی دیده می‌شود. چشمه‌هایی که دارای چند واحد سنگ‌شناسی مختلف در حوضه آبگیر خود می‌باشند، واحدی سنگی که از نظر کارستی توسعه یافته‌تر است و مساحت بیشتری از حوضه آبگیر را به خود اختصاص می‌دهد، نقش بیشتری در آبدهی و نوسانات دبی آن چشمه دارد.

بررسی تغییرات زمانی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آب چشمه

در مناطق کارستی ویژگی‌های چشمه، شامل تغییرات آبدهی، تغییر در دمای چشمه و تغییرات در خصوصیات کیفی آن می‌تواند بیانگر ویژگی‌های توسعه کارست در آن منطقه باشد. برای این منظور، به صورت ماهانه، در طی یک سال آبی (مهر ۱۳۹۵ تا شهریور ۱۳۹۶) تغییرات دبی چشمه، هدایت الکتریکی، دما در محل چشمه و کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی در آزمایشگاه آب و زیست محیطی دانشگاه صنعتی شاهرود مورد اندازه‌گیری قرار گرفت (جدول ۴-۱۰).

صحت سنجی اندازه‌گیری‌های انجام شده، به وسیله نمونه‌هایی که در دانشگاه FUB کشور آلمان آنالیز شد، صورت گرفت. در ادامه به بررسی روند تغییرات پارامترهای اندازه‌گیری شده پرداخته می‌شود و با توجه به تغییرات سیستم جریان هر کدام از چشمه تحلیل می‌شود.

علاوه بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی که ذکر شد، ارزیابی و تحلیل هیدروگراف چشمه (تغییرات زمانی دبی چشمه)، روشی است که به وسیله آن بستر تغذیه و میزان کارستی بودن حوضه آبگیر را به خوبی نشان داده می‌شود (مقصودی و همکاران ۱۳۸۸).

همانطور که از شکل ۴-۳۰ مشخص است، آبدهی سراب روانسر با تغییرات زیادی همراه است و دبی آن از در اواخر زمستان در طول بهار به شدت افزایش یافته و یک اوج کاملاً مشخص را نشان می‌دهد.

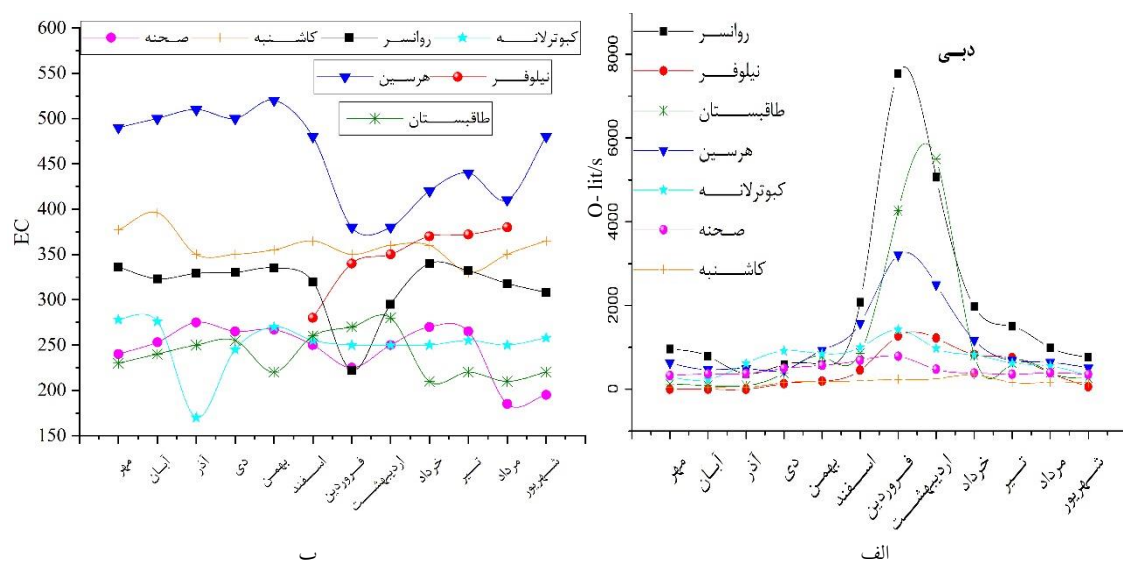
جدول ۴-۱۰- ضریب تغییرات پارامترهای اندازه گیری شده در چشمه ها

در بند		کاشنبه		کبوترلانه		روانسر		پارامتر
ضریب تغییرات (درصد)	میانگین	ضریب تغییرات (درصد)	میانگین	ضریب تغییرات (درصد)	میانگین	ضریب تغییرات (درصد)	میانگین	
۳۰	۴۶۲	۴۹	۱۶۶	۴۶	۷۷۱	۱۰۷	۱۹۳۲	دبی (l/s)
۲	۱۶	۳	۱۴	۲	۱۳	۷	۱۵	دما (C°)
۱۱	۲۴۵	۴	۳۵۹	۱۰	۲۵۰	۹	۳۱۵	هدایت الکتریکی
۶	۲/۲۶	۷	۲/۴۵	۱۴	۲/۲۷	۹	۲/۶۱	کلسیم (meq/l)
۲۱	۱/۱۱	۱۷	۱/۸۶	۴۹	۱/۰۵	۱۵	۱/۲۰	منیزیم (meq/l)
۲۸	۰/۰۹	۱۳	۰/۱۱	۳۹	۰/۰۷	۱۱	۰/۰۶	سدیم (meq/l)
۰/۱	۰/۰۱	۱۰	۰/۰۱	۰/۱	۰/۰۰۸	۴۳	۰/۰۱	پتاسیم (meq/l)
۳	۲/۷۶	۴	۳/۶	۶	۲/۷۱	۷	۳/۰۹	بی کربنات (meq/l)
۱۰	۰/۰۹	۱۹	۰/۰۱	۱۶	۰/۱۲	۴۵	۰/۳۶	کلر (meq/l)
۱۳	۰/۲۰	۸	۰/۳۱	۱۹	۰/۳۸	۳۱	۰/۵۷	سولفات (meq/l)
		هرسین		نیلوفر		طاقبستان		پارامتر
		ضریب تغییرات (درصد)	میانگین	ضریب تغییرات (درصد)	میانگین	ضریب تغییرات (درصد)	میانگین	
		۴۹	۱۱۰۴	۱۰۰	۴۴۰	۹۰	۱۹۸۳	دبی (l/s)
		۳	۱۹			۱	۱۳	دما (C°)
		۱۰	۴۷۰	۱۰	۲۵۰	۸	۲۵۰	هدایت الکتریکی
		۵	۲/۴۵	۱۴	۲/۰۷	۱۰	۲/۳۱	کلسیم (meq/l)
		۱۵	۱/۰۶	۲۵	۱/۱۵	۱۳	۱/۴۵	منیزیم (meq/l)
		۱۳	۰/۱۱	۳۶	۰/۰۸	۱۱	۰/۰۶	سدیم (meq/l)
		۱۰	۰/۰۱	۰/۱	۰/۰۰۹	۴۳	۰/۰۱	پتاسیم (meq/l)
		۸	۴/۶	۵	۲/۶۱	۷	۳/۱۵	بی کربنات (meq/l)
		۱۹	۰/۰۱	۱۴	۰/۱۳	۴۵	۰/۳۱	کلر (meq/l)
		۸	۰/۳۵	۱۲	۰/۳۵	۳۰	۰/۴۷	سولفات (meq/l)

چنین هیدروگرافی بیانگر تخلیه ناگهانی و زیاد آب زیرزمینی به وسیله مجاری انحلالی باز می باشد که به خواص هیدروژئولوژیکی آبخوان کارستی سراب روانسر نقش کارست های توسعه یافته در آهک های ضخیم لایه و توده ای سازند بیستون در تخلیه ناگهانی آب از این آبخوان کارستی مربوط می شود. این شرایط برای سراب کبوترلانه بعد از سراب روانسر با شدت کمتری وجود دارد که نشان دهنده توسعه کارست در منطقه اما اندکی کمتر از سفره آبدار سراب روانسر است، وجود واحدهای ماسه سنگی و آذرین هم در این رخداد مؤثر است، از طرف دیگر به دلیل کوچک تر بودن حوضه آبرگیر این چشمه، آبدهی کمتری نیز دارد.

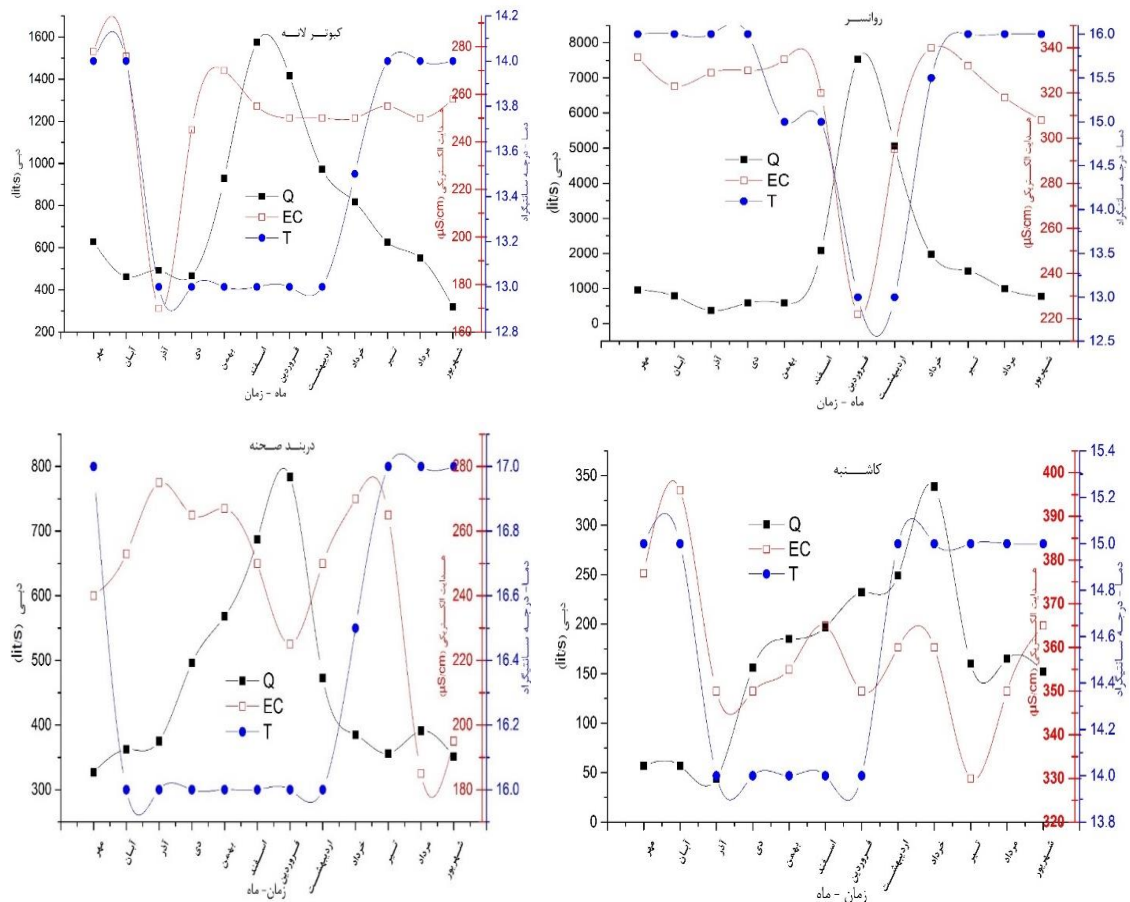
در هیدروگراف چشمه صحنه ملاحظه می شود که دبی چشمه در زمستان تا اواسط بهار مقداری افزایش می یابد یک اوج نسبتاً مسطح را نشان می دهد. در حقیقت تغییرات دبی ناچیز است که بیانگر تخلیه تدریجی آب زیرزمینی می باشد. این موضوع نقش واحد آهک مارنی با میان لایه های شیل و همچنین اسلیت های آهکی در تخلیه تدریجی آب از این منطقه کارستی را نشان می دهد.

هیدروگراف سراب کاشنبه تغییرات بسیار کمتری را نشان می دهد اوج هیدروگراف این چشمه با تأخیر زمانی نسبت به دیگر هیدروگراف های مطرح شده در این پژوهش، در اریبهشت و خرداد اتفاق می افتد، که خود این مسئله مبین عدم حضور مجاری انحلالی بزرگ در آبخوان کارستی این چشمه است که آب تغذیه شده در آن به صورت تدریجی و با تأخیر زمانی نسبت به بارش های رخ داده در منطقه اتفاق افتاده است. چنین هیدروگرافی بیانگر تخلیه تدریجی آب زیرزمینی است.



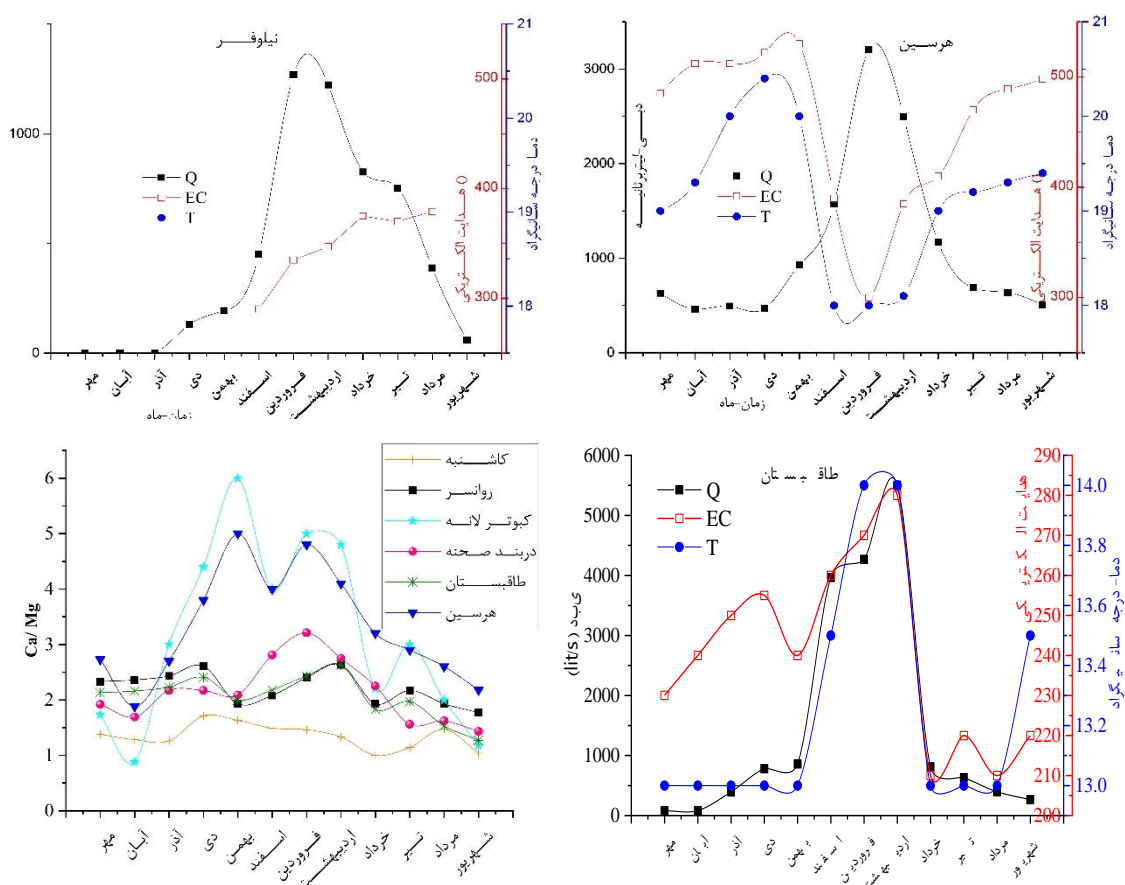
شکل ۴-۳ - مقایسه آبدهی (الف) و هدایت الکتریکی (ب) در چشمه های مورد مطالعه

در سراب کاشنبه اگرچه مقادیر هدایت الکتریکی تقریباً ثابت است اما نوسانات اندک در آن قابل مشاهده است. بیشترین نوسان در مقدار این پارامتر مربوط به سراب روانسر است، چشمه دربند و سراب کبوترلانه بین این دو قرار دارند؛ این موضوع مؤید درجه توسعه کارست در حوضه های آبرگیر این چشمه ها است. از میان چشمه ها، دربند صحنه دارای دمای نسبتاً بالاتری است، بیشترین نوسان مربوط به سراب روانسر است که تغییرات دما، دبی و هدایت الکتریکی ارتباط خوبی را نشان می دهند به گونه ای که با افزایش دبی، دما و هدایت الکتریکی کاهش فاحشی را از خود نشان می دهند و مربوط به ورود آب تازه به مجاری بزرگ کارست و انتقال سریع آب به خروجی چشمه است. سراب کبوترلانه کمترین میزان هدایت الکتریکی را قبل از اوج گرفتن دبی نشان می دهد، پس از افزایش مقدار دبی، مقدار هدایت الکتریکی نیز افزایش می باید که مربوط به ماندگاری آب در مجاری انحلالی و درزه ها و شکافهاست که با افزایش دبی ابتدا آب باقی مانده خارج شده و سپس میزان هدایت الکتریکی به مقدار تقریباً ثابتی می رسد (شکل ۴-۳۱).



شکل ۴-۳۱- ارتباط T-Q-EC چشمه های روانسر، کبوترلانه، کاشنبه و دربند صحنه

از میان چشمه‌های بررسی شده نسبت کلسیم به منیزیم در سراب کاشنبه از همه کم‌تر، نزدیک به یک و تقریباً بدون نوسان خاصی است که مربوط به دولومیت سازند تله‌زنگ در حوضه آبرگیر این چشمه است. در حوضه آبرگیر کبوترلانه میزان آهک بیشتر از دولومیت بوده و نسبت مقدار کلسیم به منیزیم در چشمه در بند صحنه نیز مانند سراب کبوترلانه اندکی نوسان و اوج گرفتن مشاهده می‌شود اما میزان آن نسبت به کبوترلانه کمتر است (شکل ۴-۲۰۳).



شکل ۴-۲۲- ارتباط T-Q-EC چشمه‌های هرسین، نیلوفر و طاق‌بستان و نسبت Ca/Mg چشمه‌های منتخب

۴-۷- آنالیزهای ایزوتوپی چشمه‌های منتخب

بدون بررسی چرخه آب‌شناسی منطقه مدیریت یکپارچه منابع آب میسر نخواهد شد، به دلیل کمبود اطلاعات از یک سو و محدودیت‌های مالی از سوی دیگر، شناخت و درک سیستم هیدرولوژیکی یک

منطقه به ویژه در مبحث آب زیرزمینی با چالش روبروست، استفاده از روش ایزوتوپ های پایدار آب زیرزمینی (^{18}O , ^2H) به عنوان ردیاب های طبیعی عمل کرده و در این زمینه کمک کننده است. در واقع یکی از بارزترین روابط در ژئوشیمی آب که رابطه تقریباً خطی است که میان دو ایزوتوپ پایدار آب جوی (^{18}O , ^2H) وجود دارد (محمدزاده و ابراهیم پور ۱۳۹۱).

امروزه تحقیقات در زمینه ایزوتوپ های محیطی اهمیت زیادی دارد. به این ترتیب که این ایزوتوپ ها می توانند به عنوان ابزار کاربری اطلاعات سیستم های مذکور را افزایش دهد. در آبشناسی از این ردیاب های طبیعی می توان به عنوان پیش فرض های تکمیلی در ارتباط با رفتار حوضه استفاده کرد (Buttle 1994, Kendall and McDonall 1998)، در دهه ۱۹۶۰ استفاده از آنالیزهای ایزوتوپی به عنوان روش تکمیلی در مقیاس حوضه و در پاسخ سوالاتی مانند هنگامی که باران می بارد چه مسیری را طی می کند تا به آبراهه برسد و چه مدتی در حوضه جریان دارد، معرفی شد (Lyon et al. 2009)، چنین تخمین هایی می تواند به ارتقا ما از درک فرایندهای حوضه آبرگیر کمک کند.

ایزوتوپ های اکسیژن و هیدروژن به عنوان تشکیل دهنده مولکول های آب، در سیستم های هیدرولوژیکی و هیدروژئولوژیکی مهم هستند. هیدروژن دارای دو ایزوتوپ پایدار پرتیم (^1H) با یک پروتون، و دوتریم (^2H یا D) با یک پروتون و یک نوترون و همچنین یک ایزوتوپ رادیواکتیو به نام تریتم (^3H یا T) با یک پروتون و دو نوترون می باشد. درصد ایزوتوپ های موجود در طبیعت برای هیدروژن، دوتریم و تریتم به ترتیب ۹۹/۹۸۴، ۰/۰۱۶ و ۰/۰۰۰۰۰۵ درصد از کل هیدروژن می باشد (Hoefs 2004, Mazor 2004)؛ اکسیژن نیز دارای ایزوتوپ های اکسیژن معمولی (^{16}O) با هشت پروتون و هشت نوترون، اکسیژن سنگین (^{17}O) با هشت پروتون و نه نوترون و اکسیژن خیلی سنگین (^{18}O) با هشت پروتون و ده نوترون در طبیعت یافت می شود. درصد ایزوتوپ های پایدار اکسیژن که در طبیعت موجود می باشد برای اکسیژن ۱۶، ۱۷ و ۱۸ به ترتیب برابر است با: ۹۹/۷۶، ۰/۰۴ و ۰/۲۰ درصد از کل ایزوتوپ های پایدار اکسیژن (Hoefs 2004, Mazor 2004). بنابر ایزووپ های مختلفی که شرح داده شد، آب های موجود در طبیعت محتوی ایزوتوپی مختلفی دارند. محتوی ایزوتوپی مواد مختلف و از جمله آب را با استفاده از معادله (۴-۴) به عنوان انحراف نسبی از میانگین استاندارد بیان می کنند:

$$\delta \text{ ‰} = \frac{\alpha_{\text{sample}} - \alpha_{\text{standard}}}{\alpha_{\text{standard}}} \times 100 \quad \text{معادله ۴-۴}$$

میانگین استاندارد اقیانوس وین (NSMOV) به عنوان استاندارد برای محتوی ایزوتوپی آب توسط آژانس بین‌المللی انرژی اتمی اعلام شده است (Hoefs 2004). آب با دوتریم و اکسیژن کمتر از میانگین استاندارد به صورت منفی و با چنانچه مقادیر آنها بیشتر از میانگین مذکور باشد به صورت مثبت نشان داده می‌شوند. مقادیر حاصل به صورت یک در هزار (‰) بیان می‌گردد.

روش معمول مطالعه ایزوتوپی آب یک منطقه، تفسیر رابطه بین اکسیژن ۱۸ و دوتریم و مقایسه آن با خط جوی جهانی و محلی است. با توجه به مطالعات خط آب جوی که توسط آقای دکتر محمدزاده در سطح استان کرمانشاه انجام شد و خط آب جوی این استان را -به عنوان نخستین استانی که خط آب جوی آن در اکثر مناطق ترسیم شده است (سال ۱۳۹۵)- تهیه کردند، در این تحقیق از مطالعات ایشان به عنوان خط آب جوی محلی استفاده شده و نمونه‌برداری‌های ماهانه که از آب چشمه‌ها و نمونه‌های باران گرفته شده است با آن مقایسه خواهد شد.

به منظور تحلیل آنالیزهای ایزوتوپی، به صورت دو مجموعه نمودار ارائه شده است و در هر دو مجموعه از پراکنش نتایج آنالیز ایزوتوپی چشمه‌های کارستی منطقه در قیاس با خط آب جوی جهانی (GMWL)، خط آب جوی کرمانشاه (KRMWL) و خط آب جوی روانسر (RSMWL) استفاده شده است. شایان ذکر است در سال آبی که نمونه‌برداری انجام شد، در حوضه آبخیز چشمه روانسر، کبوترلانه، کاشنبه و طاق‌بستان، اقدام به نمونه‌گیری از بارش‌های رخ داده در منطقه، شد که متأسفانه به دلیل پاره‌ای از مشکلات تنها در حوضه آبخیز طاق‌بستان نمونه‌گیری در طول دوره بارش به اتمام رسید، که دلیل آن را می‌توان به قرار داشتن ظروف تعبیه شده در محوطه تاریخی و حفاظت شده طاق‌بستان نسبت داد. در نهایت علاوه بر خط آب جوی محدوده مطالعاتی کرمانشاه، برای چشمه طاق‌بستان به طور جداگانه خط آب جوی ترسیم شد. خلاصه نتایج آنالیز انجام شده بر روی نمونه‌های بارش در جدول ۴-۱۱ ارائه شده است. و در شکل ۴-۳۴۳۳ به

عنوان LMWL معرفی شده است. معادله خط آب جوی حوضه آبخیز طاق‌بستان $\delta^2 H = 7.01\delta^{18} O + 7.8$ می‌باشد. نسبت به خط آب جوی محدوده کرمانشاه اندکی تفاوت نشان می‌دهد. نمونه‌ها از دو ارتفاع مختلف در حوضه آبخیز چشمه طاق‌بستان اندازه‌گیری شده است، که از نظر ترکیب ایزوتوپی به هم نزدیک هستند، تغییرات ^{18}O از مقدار $-5/731$ تا $0/750$ و D از $9/9$ تا

۴۹/۷۱- می باشد. به طور کلی در فصول سرد سال دارای ترکیب ایزوتوپی سبک تر و بارش در ماه های گرم تر دارای ترکیب ایزوتوپی سنگین تری هستند. شکل ۴-۳۴۳۳ و شکل ۴-۳۵۳۴ بیانگر پراکندگی نمونه های آنالیز شده در ماه های مختلف چشمه ها است. نخست تفاوت ترکیب ایزوتوپی چشمه های مختلف در یک ماه مشخص نسبت به خطوط آب جوی محلی و جهانی قابل مشاهده است و سپس همان ترکیب در یک چشمه در طی مدت زمان نمونه گیری آورده شده است.

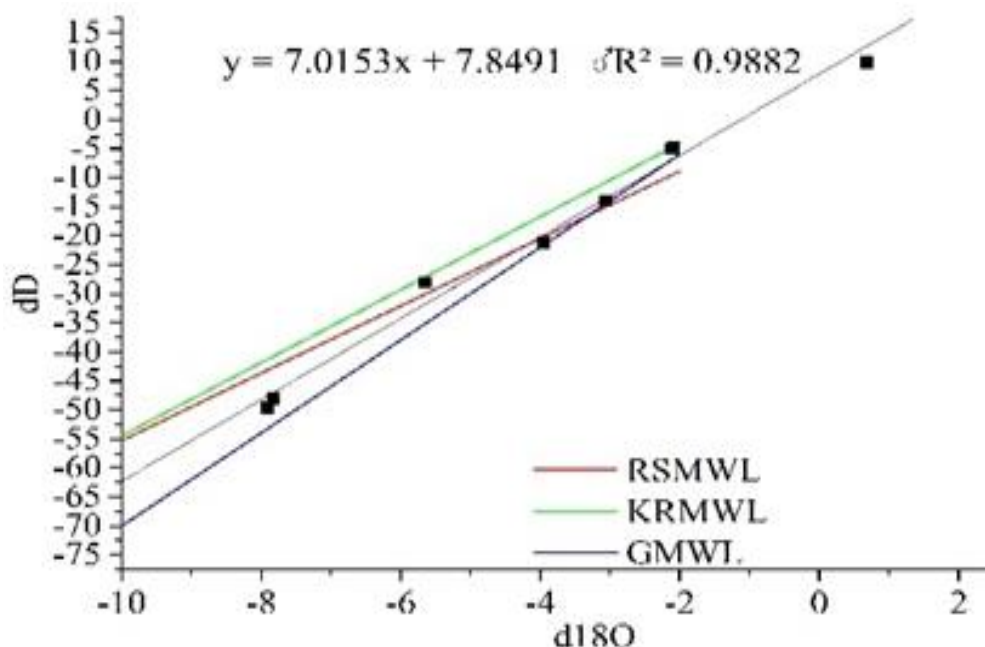
جمع آوری نمونه های آب چشمه ها از آذر ماه (پیش از شروع بارندگی در سال آبی مذکور) شروع و تا پایان مرداد ماه ادامه داشته است. در برخی از ماه های سال از بعضی از چشمه ها دو نمونه گرفته شده است که گاهاً مربوط به زمان هایی است که آبدهی چشمه تغییراتی داشته است و یا اینکه از مکان های غیر از محل های نمونه برداری همیشگی انجام شده است. دلیل گرفتن نمونه های مازاد مقایسه ترکیب ایزوتوپی آن ها و منشایابی آب های خروجی بوده است.

جدول ۴-۱۱- ترکیب ایزوتوپی بارش در ایستگاه طاق بستان

نمونه	نوع بارش	تاریخ	مقدار بارش در ماه	$D (‰)$	$O (‰)$
۱	باران	۱۳۹۵/۰۹/۳۰	۱۴/۴	-۵/۰۱۶	-۲/۱۲۸
				-۴/۸۳۴	-۲/۰۸۳
۲	باران	۱۳۹۵/۱۰/۳۰	۷۵/۴	-۴۵/۰۵	-۷/۸۳
				-۴۹/۷۱	-۷/۹۱
۳	باران	۱۳۹۵/۱۱/۳۰	۸۰/۸	-۲۸/۱۳۸	-۵/۶۵۴
				-۲۸/۱۵۳	-۵/۷۳۱
۴	باران	۱۳۹۵/۱۲/۳۰	۷۰	-۲۱/۲۳۹	-۳/۹۴۵
				-۲۱/۲۴۱	-۴/۰۱۱
۵	باران	۱۳۹۶/۰۱/۳۰	۱۳۳/۵	-۱۳/۹۶۳	-۳/۰۶۳
				-۱۴/۰۱۵	-۳/۱۲۴
۶	باران	۱۳۹۶/۰۲/۳۰	۲۱/۹	۹/۸۱۹	۰/۶۸۰
				۹/۹۰۱	۰/۷۵۰

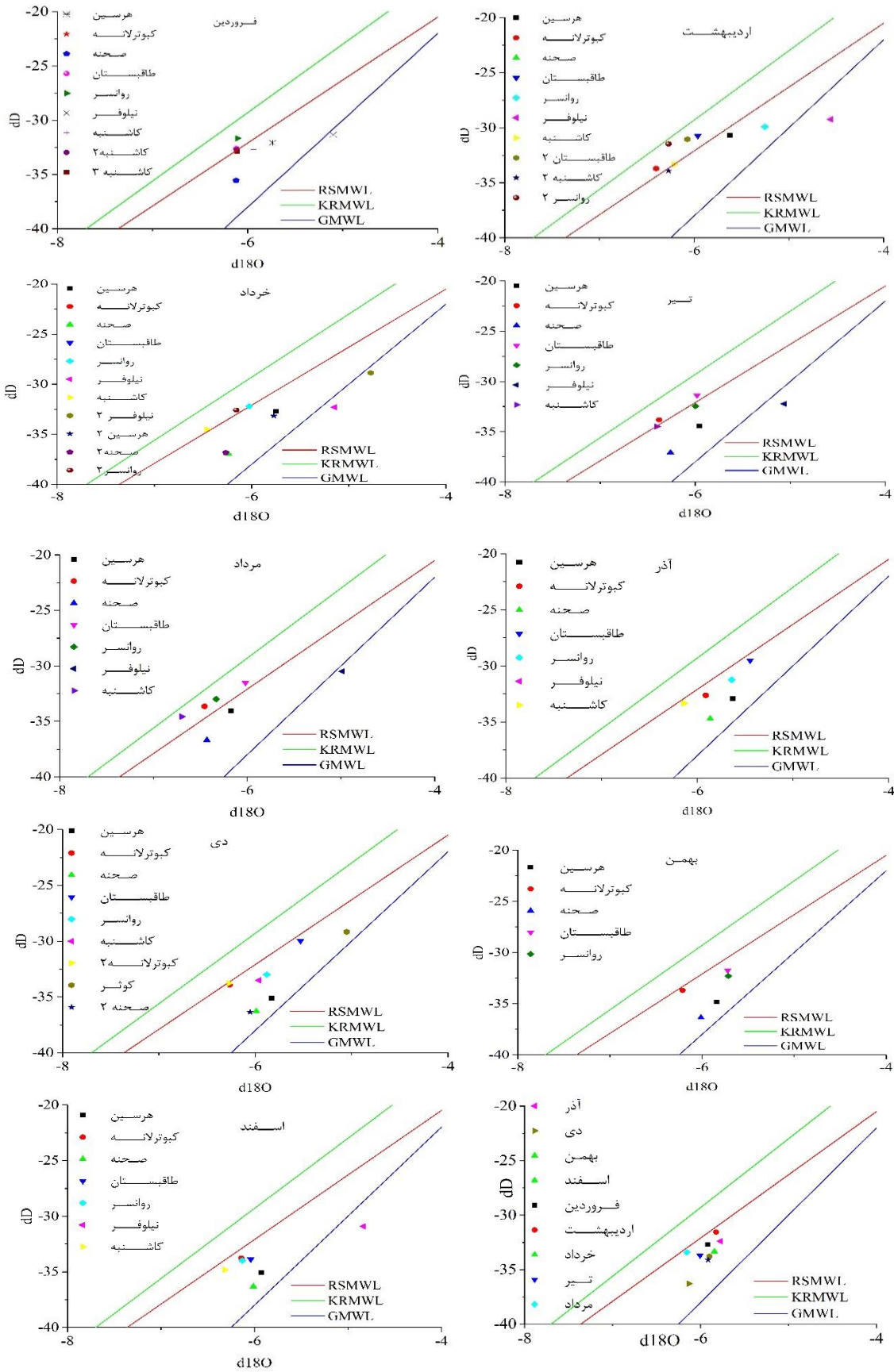
از آنجایی که همبستگی قوی میان دما و محتوی ایزوتوپی وجود دارد، ارتباط دمای چشمه ها و غنی شدگی ایزوتوپها در نمونه های حاصل از چشمه هایی که دارای دمای آب بالاتری هستند مشاهده

می شود. از میان هفت چشمه انتخابی دمای چشمه هرسین از سایر چشمه های مذکور بیشتر (با میانگین دمای ۱۹ درجه سانتی گراد) و چشمه دیگر که تقریباً دارای دمای به نسبت بالایی است چشمه دربند صحنه (با میانگین دمای ۱۶ درجه سانتی گراد) بوده است (شکل های ۴-۳۴ تا ۴-۳۶).

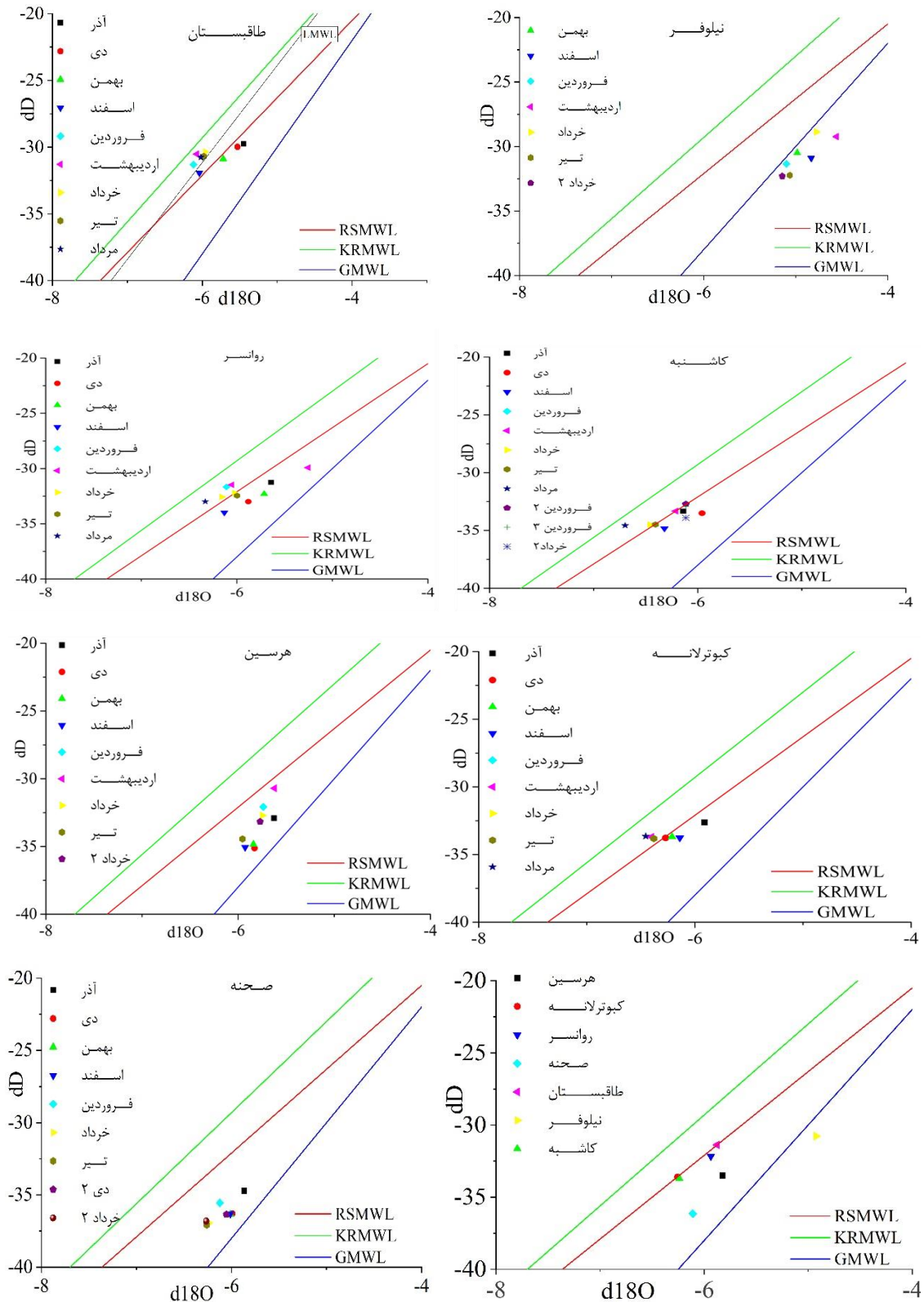


شکل ۴-۳۳- خط های آب جوی جهانی: GMWL، کرمانشاه: KRMWL جوی روانسر: RSMWL و معادله خط حوضه آبرگیر طاق بستان

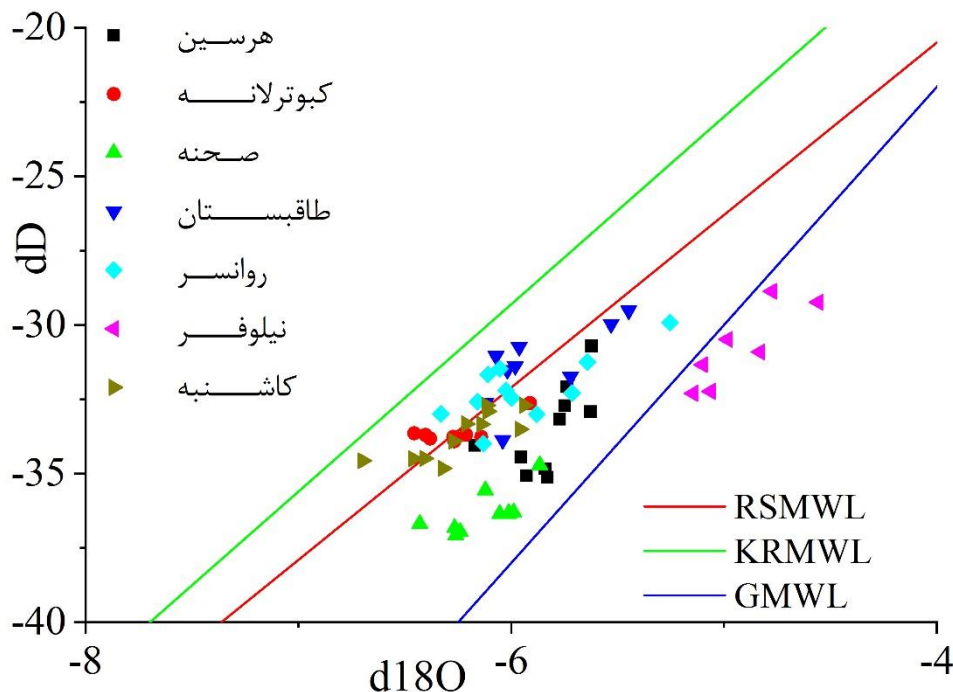
نمونه هایی که از سراب نیلوفر برداشت شده است به دلیل در معرض تبخیر دریاچه قرار گرفتن از یک سو و نداشتن حوضه آبرگیر مرتفع از سوی دیگر، غنی شدگی بیشتری نسبت به نمونه های دیگر از خود نشان می دهد. با وجود اینکه ترکیب ایزوتوپی هر چشمه دارای تغییراتی در سری زمانی خود است، در میان چشمه های مورد مطالعه، بیشینه، کمینه و میانگین غلظت ^{18}O به ترتیب ۴/۵۵، -۶/۶۹، -۵/۸۷ و برای D نیز به ترتیب ۲۹/۲۳، -۳۷/۰۷ و -۳۳/۰۴ می باشد. ترسیم تغییرات ایزوتوپ پایدار در برابر یکدیگر بیانگر آن است که نمونه های تمامی چشمه ها، بجز نیلوفر، بالاتر از خط آب جوی جهانی قرار می گیرند (شکل ۴-۳۴). مظهر اصلی چشمه نیلوفر در دریاچه آن قرار دارد و دلیل اینکه نمونه های این چشمه پایین خط آب جوی جهانی قرار گرفته است تبخیری است که به آن اعمال می شود و سبب سنگین تر شدن ترکیب ایزوتوپی نمونه های گرفته شده از این چشمه می گردد.



شکل ۴-۳۴- نمودار پراکنش δD و $\delta^{18}O$ نمونه چشمه های منتخب در ماه های مختلف



شکل ۴-۳- نمودار پراکنش δD و $\delta^{18}O$ نمونه چشمه‌های منتخب به تفکیک ماه



شکل ۴-۳۶- نمودار پراکنش dD و $d^{18}O$ نمونه چشمه های منتخب

میانگین ترکیب ایزوتوپی ماهانه چشمه ها بالاتر از خط جهانی و در اطراف خط آب جوی روانسر قرار می گیرد. پس از چشمه نیلوفر، چشمه های هرسین و سپس طاقبستان ترکیب سنگین تری را از خود نشان می دهند. نمونه کاشنبه و کیوترلانسه نسبت به سایر چشمه ها سبک تر بوده، با توجه به فاصله مکانی زیاد این دو چشمه، عامل تعیین کننده در این موضوع مربوط به دمای محیط در حوضه آبریز دو چشمه می باشد. هر دو حوضه نسبت به سایر چشمه ها سردتر هستند.

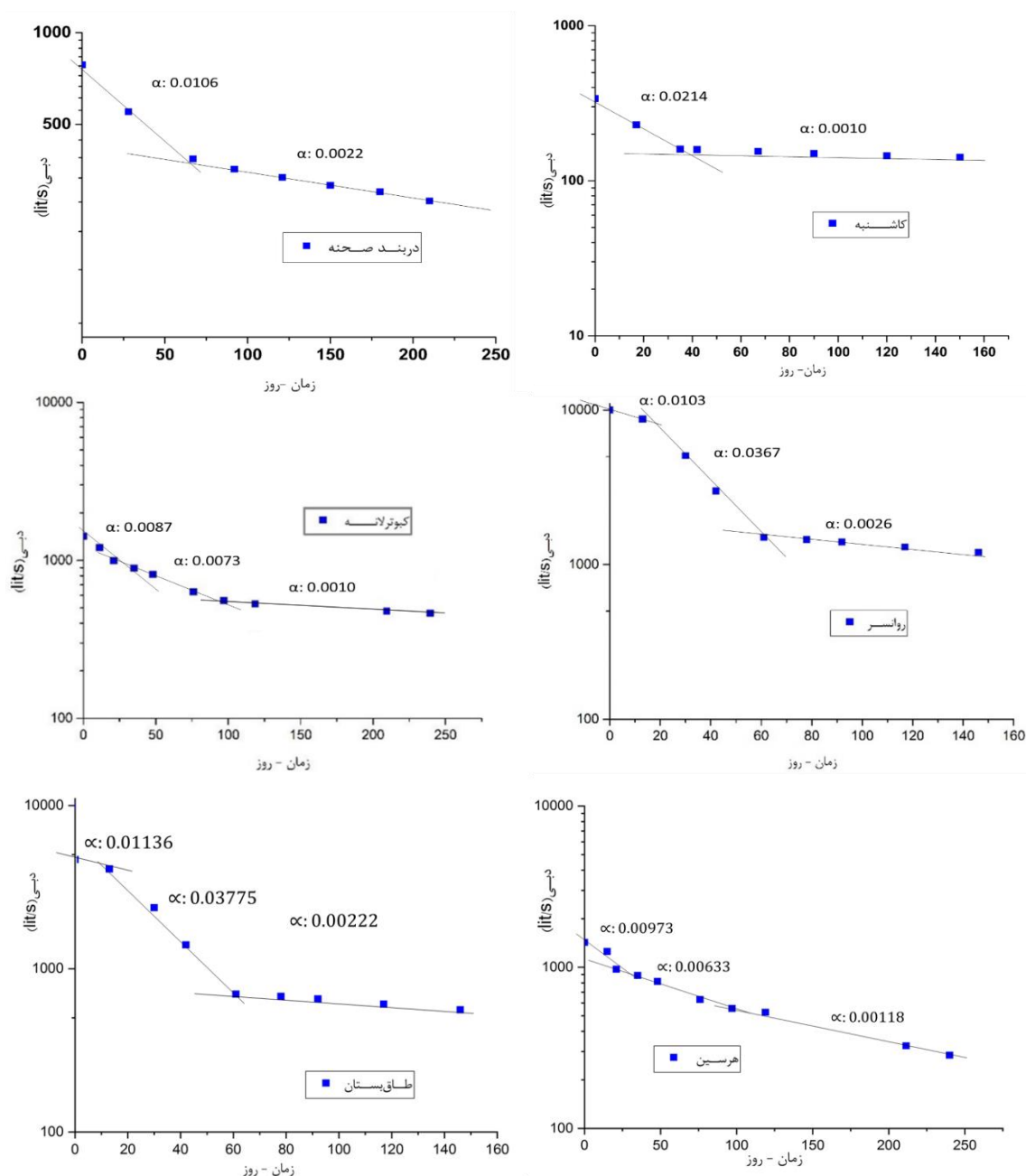
۴-۸- هیدروژنولوژی چشمه های منتخب

برآورد ضریب یا ضرایب دبی چشمه از طریق ترسیم منحنی فرود چشمه حاصل می گردد. منحنی فرود هر چشمه در واقع معرف رو به خشکی رفتن جریان سطحی هر چشمه است و از ترسیم نیمه لگاریتمی دبی در برابر زمان، از زمان اوج دبی تا افزایش مجدد دبی در شروع دوره تر بعدی است (شکل ۴-۳۷). در سال آبی ۹۵-۹۶ تا دی ماه بارش قابل توجهی رخ نداد و این امر را می توان دلیل تأخیر در اوج هیدروگراف در این سال آبی دانست. پس از ترسیم منحنی فرود چشمه شیب خط یا خطوط شکسته ایجاد شده معرف ضریب یا ضرایب کاهش دبی (α) آن چشمه هستند که از معادله زیر

محاسبه می شود (Maillet 1905, به نقل از Milanovic 1981, Bonacci 1993). ضریب دبی توانایی آبخوان کارستی را در ذخیره سازی آب بیان می کند و تابع تخلخل مؤثر و قابلیت انتقال آن آبخوان است.

$$\alpha = \frac{\log Q_0 - \log Q_t}{0.4343 t - t_0} \quad \text{معادله ۴-۵}$$

در این معادله α ضریب کاهش دبی، Q دبی چشمه بر حسب متر مکعب بر ثانیه در زمان های t_0 و t است.



شکل ۴-۳۷- منحنی فرود چشمه های مورد مطالعه

یک چشمه بر اساس میزان تو سعه کار ست حوضه آبیگیر آن چشمه می تواند از یک تا چند ضریب چشمه متفاوت داشته باشد. در آبخوان های کارستی تو سعه یافته، مانند حوضه آبیگیر چشمه روانسر، منحنی فرود چشمه معمولاً از چند رژیم با ضرایب بده متفاوت پیروی می کند. در رژیم اول، تخلیه آب زیرزمینی از غارها مجاری بزرگ صورت گرفته و حجم زیادی از آب ذخیره شده در آبخوان از طریق این مجاری با سرعت زیاد تخلیه شده و تشکیل جریان متلاطم را می دهد. در رژیم دوم، از طریق شکاف های مرتبط که به طور نسبتاً کمتری باز شدگی دارند، آب چشمه تأمین می شود و در نهایت رژیم های آخر، آب خارج شده از خلل فرج ریزتر، درزه شکاف های با باز شدگی اندک است (کرمی ۱۳۸۸).
حجم ذخیره دینامیک یک آبخوان، به عنوان تابعی از شرایط زمین شناسی و میزان کارستی شدن آن را می توان از طریق معادله (۴-۶) به دست آورد (Bonacci 1993).

$$V = Q_0/\alpha \quad \text{معادله ۴-۶}$$

در چشمه هایی با ضرایب دبی متفاوت حجم ذخیره دینامیک را از معادله زیر به دست می آید (مقصودی و همکاران ۱۳۸۸).

$$V = 86400 \left(\frac{Q_{01}}{\alpha_1} + \frac{Q_{02}}{\alpha_2} + \dots + \frac{Q_{0n}}{\alpha_n} \right) \quad \text{معادله ۴-۷}$$

بر این اساس ضرایب کاهش دبی چشمه های مورد نظر به شرح زیر می باشد (جدول ۴-۱۲).

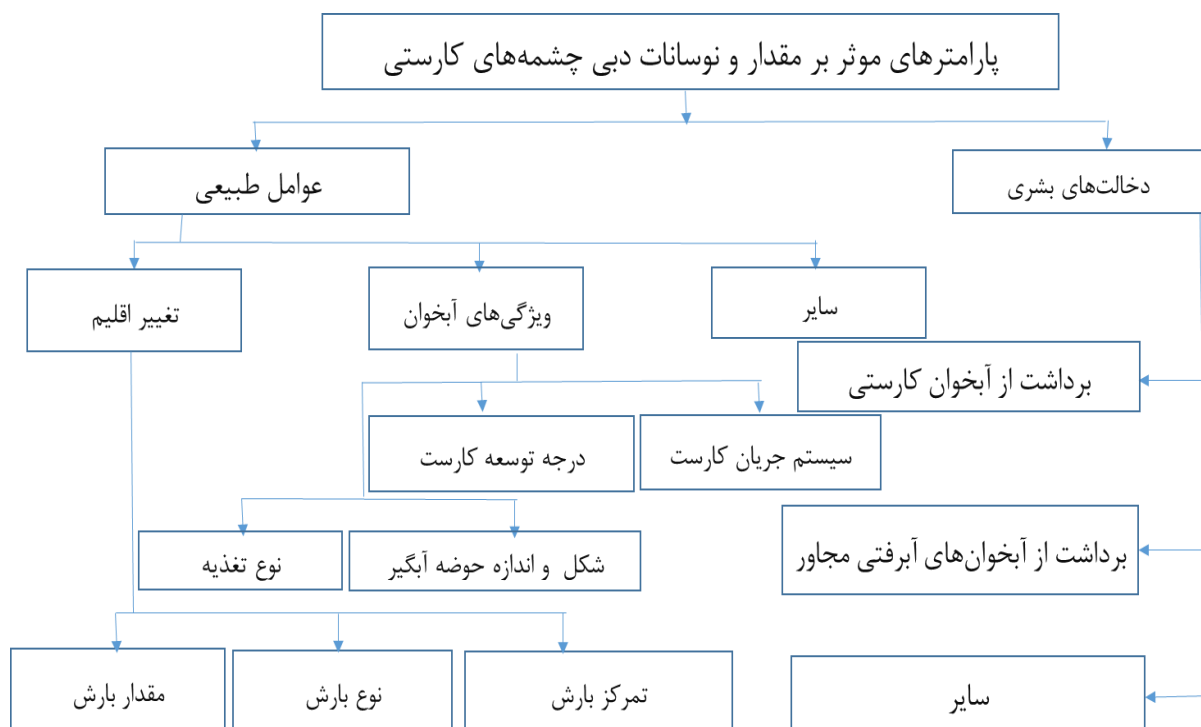
جدول ۴-۱۲- ضرایب کاهش دبی در چشمه های انتخابی

نام چشمه	α_1	α_2	α_3	V (MCM)
روانسر	۰/۰۱۰۳۶	۰/۰۳۶۷۱	۰/۰۰۲۶۲	۱۵۳
کیوترانه	۰/۰۰۸۷۳	۰/۰۰۷۳۳	۰/۰۰۱۰۸	۵۱
در بند صحنه	۰/۰۱۰۶۱	۰/۰۰۲۲۲	---	۲۱
کاشنبه	۰/۰۲۱۴۵	۰/۰۰۱۰۳	---	۱۴
طاق بستان	۰/۰۱۱۳۶	۰/۰۳۷۷۵	۰/۰۰۲۲۲	۱۲۵
هرسین	۰/۰۰۹۷۳	۰/۰۰۶۳۳	۰/۰۰۱۱۸	۱۴۰
نیلوفر	۰/۰۱۰۵۲	۰/۰۰۳۱۲	-	۲۰

بر اساس ضرایب به دست آمده و مشاهدات صحرایی به عمل آمده از حوضه آبرگیر چشمه‌ها، چشمه روانسر با درجه توسعه کارست بالا دارای سه ضریب دبی مختلف است. این چشمه تأمین کننده آب سطحی (به صورت رودخانه) موجود در منطقه است. در میان چشمه‌های مورد مطالعه، چشمه کاشنبه با ضرایب دبی کمتر، مؤید مشاهدات صحرایی مبنی بر توسعه یافتگی کمتر حوضه آبرگیر این چشمه است. این مطلب توسط چینه شناسی نیز تأیید می شود و چشمه در بند صحنه به دلیل وجود لایه کنترل کننده آبدهی در مظهر چشمه نیز دارای دو ضریب دبی است. حجم ذخیره دینامیک چشم روانسر از میان چشمه‌های بررسی شده دارای بیشترین مقدار است، و چشمه کاشنبه با ۱۴ میلیون متر مکعب کمترین مقدار را نشان می دهد.

فصل پنجم: بررسی عوامل مؤثر بر آبدی چشمه‌های کارستی استان کرمانشاه

بر اساس مطالعات مختلفی که بر روی چشمه‌ها به طور کلی و چشمه‌های کارستی به طور خاص، انجام شده است و همانگونه که در فصل دوم ذکر شد می‌توان مهم‌ترین پارامترهای تأثیرگذار در آبدی چشمه‌های کارستی به صورت زیر دسته بندی شود:



نمودار ۵-۱- دسته‌بندی عوامل مؤثر بر آبدی چشمه‌های کارستی

همانطور که در فصل پیش اشاره شد، از میان حدود ۸۰ چشمه استان کرمانشاه، ۲۰ چشمه دقیق‌تر بررسی شد و از آن میان، در نهایت ۷ چشمه به منظور نمونه‌برداری انتخاب شد. در انتخاب چشمه‌های معرف،

تلاش شده است چشمه‌هایی انتخاب شوند که ارزیابی عوامل دسته‌بندی شده مذکور تا حدودی قابل انجام باشد. به طور خلاصه سعی شده است موارد زیر مد نظر قرار گیرد:

- | | |
|--|--|
| (۱) وجود پمپاژ شدید در آبرفت‌های مجاور | } گروه اول:
چشمه‌هایی که در حوضه آبخیز و یا اطراف آن‌ها دستکاری انسانی رخ داده است. |
| (۲) عدم وجود پمپاژ شدید در آبرفت‌های مجاور | |
| (۱) وجود پمپاژ شدید در آبرفت‌های مجاور | } گروه دوم:
چشمه‌هایی که در حوضه آبخیز و یا اطراف آن‌ها دستکاری انسانی مشهود نیست. |
| (۲) عدم وجود پمپاژ شدید در آبرفت‌های مجاور | |

گروه دوم به منظور ارزیابی اثر عوامل طبیعی بر روی آبدی چشمه‌ها و گروه دوم بیانگر اثر توأمان عوامل طبیعی و انسانی بر روی چشمه‌ها انتخاب شدند.

۵-۱- عوامل طبیعی مؤثر در آبدی چشمه‌ها

چشمه‌های کارستی نسبت به تغییرات اقلیمی حساس بوده و آبدی آن‌ها به طور مستقیم تحت تأثیر ویژگی‌های اقلیمی است به نحوی که این پارامتر جزو اصلی‌ترین عوامل مؤثر دسته‌بندی می‌شود. اما در شرایط اقلیمی یکسان، تعیین کننده شدت پاسخ آبخوان کارستی به تغییر پارامترهای اقلیمی، شرایط آبخوان کارستی است. در ادامه به شرح این مطالب پرداخته می‌شود.

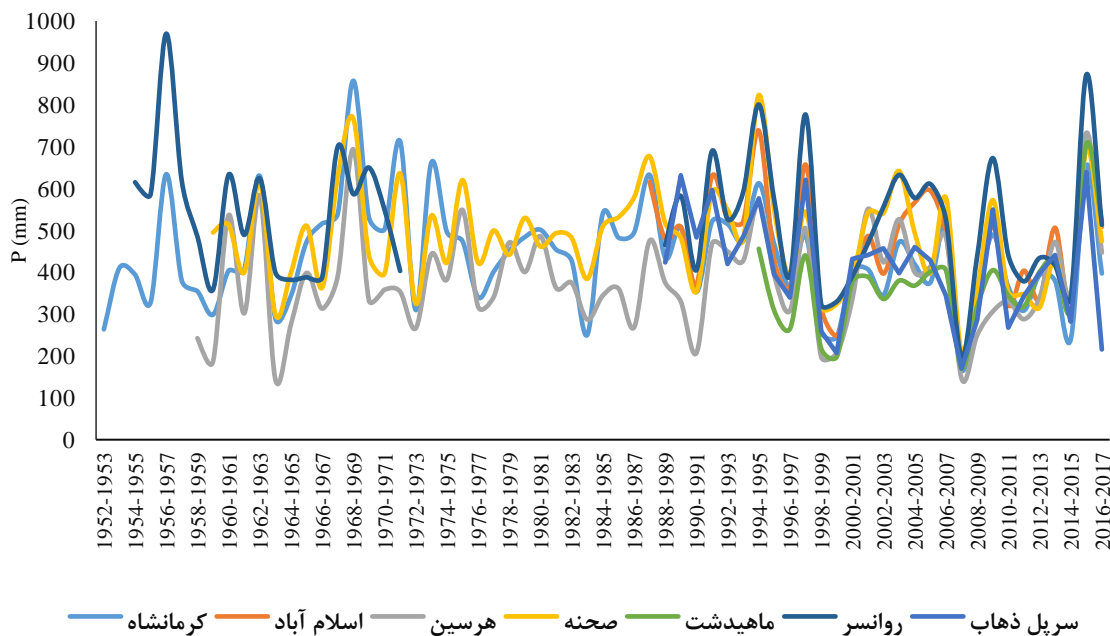
۵-۱-۱- تغییرات اقلیم

یکی از چالش‌های پیش روی بشر تغییر اقلیم ارزیابی می‌شود و مباحث تغییرات آب و هوایی مورد توجه همگان است. بررسی‌های بارش به عنوان یکی از مهم‌ترین و شناخته شده‌ترین پارامترهای آب و هوایی، از اصلی‌ترین مراحل ارزیابی تغییر اقلیم است، از طرف دیگر یکی از ابزارهای معمول در تشخیص تغییرات در سری‌های زمانی اقلیمی، تجزیه و تحلیل روند پارامترهای اقلیمی می‌باشد. در ارتباط با اقلیم منطقه مورد مطالعه در فصل اول اندکی بحث شد. با در نظر گرفتن مباحث مطرح شده

در آن فصل، در این بخش به تشریح عوامل مهم و تأثیرگذار در اقلیم -به ویژه بارش- از جنبه‌های مختلف، پرداخته می‌شود.

الف - مقدار بارش

از میان ایستگاه‌های اصلی واقع در شهرستان‌های استان تعدادی از ایستگاه‌ها در مناطق مرزی استان واقع شده‌اند. ایستگاه‌های اصلی استان در شکل ۱-۳ نشان داده شده است، در این فصل از ایستگاه‌های سینوپتیک نزدیک چشمه‌ها استفاده می‌گردد. شهرهای استان عمدتاً در اطراف چشمه‌ها گسترش یافته‌اند. در مواردی که نیاز است، از اطلاعات ایستگاه‌های بالادست حوضه آبرگیر چشمه‌ها نیز استفاده خواهد شد. همانگونه که از شکل ۵-۱ قابل مشاهده است، با وجود نوسات مختلف در مقدار بارش در طی سال‌های گذشته، در همه ایستگاه‌ها روند مشابهی ثبت گردیده است. از ۷ دهه گذشته تاکنون چندین دوره ترسالی و خشک‌سالی قابل رؤیت است که در ایستگاه‌های مختلف، در مکان‌های جغرافیایی متفاوت، به صورت یکسان قابل مشاهده است.



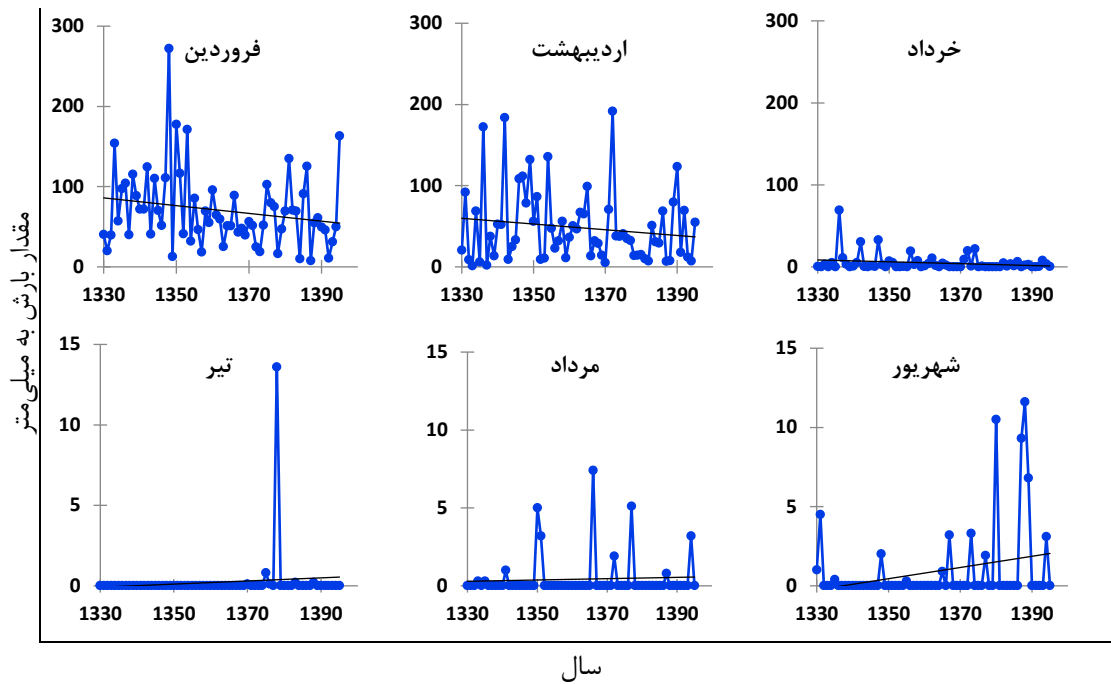
شکل ۵-۱- روند تغییرات بارش ثبت شده در ۷ ایستگاه سینوپتیک منطقه مورد مطالعه در طولانی مدت

در مرحله نخست میانگین بارش در هشت ایستگاه اصلی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. پارامترهای اقلیمی

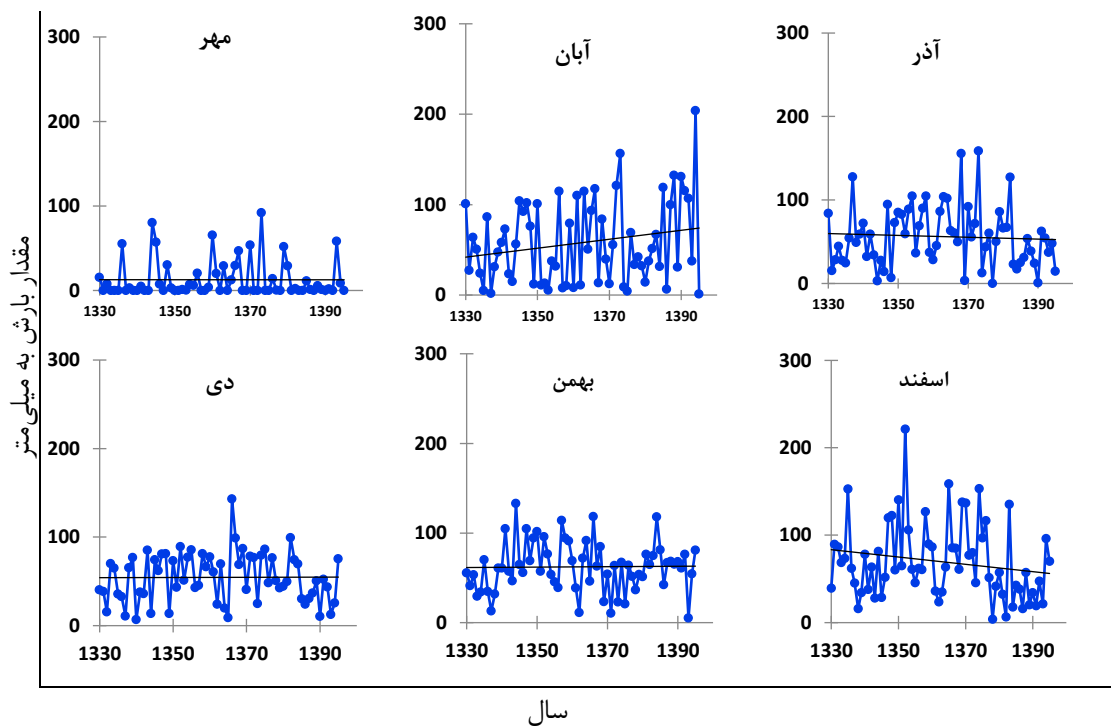
در مقیاس زمان و مکان به دلایل زیادی تغییر می‌کنند که باید نحوه تغییرات آن‌ها بر اساس مشاهدات و با بهره‌گیری از روش‌های آماری تعیین شود. آزمون ناپارامتریک برای تحلیل سری‌هایی که کشیدگی زیادی دارند مناسب‌تر از آزمون‌های پارامتریک می‌باشد (Bihrat and Mehmetcik, 2003). یکی از متداول‌ترین روش‌های تحلیل ناپارامتریک سری‌های زمانی هیدرولوژیکی، روش من-کندال است (حیدری و همکاران، ۱۳۹۶)، اما وجود خودهمبستگی در سری‌های هیدرولوژیکی باعث می‌شود تا احتمال وقوع خطا افزایش پیدا کند. جهت بررسی روند داده‌های هیدروکلیماتولوژی بایستی اثر خود همبستگی از سری‌های زمانی حذف گردد تا منجر به ارائه نتایج صحیح و قابل اعتماد گردد (قره‌چایی و همکاران، ۱۳۹۴). در این پژوهش با اعمال روش پیش سفید کردن بدون روند (TFPW) و حذف اثر خودهمبستگی داده‌ها، آمار مورد تحلیل قرار گرفت. ایستگاه‌های کرمانشاه، روانسر، هر سین و صحنه دارای آماربرداری حدود ۶۰ ساله هستند، دو ایستگاه کنگاور و ماهیدشت به ترتیب از میانه دهه ۶۰ و ۷۰ دارای آمار هستند.

روند تغییرات بارش و شیب سن در ایستگاه کرمانشاه در ماه‌های مختلف در شکل زیر نشان داده شده است. داده‌های موجود از ایستگاه مذکور به مدت ۶۶ سال در دسترس است. بر این اساس ترسیم سری زمانی بر اساس آزمون من-کندال به صورت شکل ۵-۳ است. در این نمودارها داده‌های ماهانه این ایستگاه، از سال ۱۳۳۰، به منظور ارزیابی روند تغییرات ماهانه، فصلی و سالانه آمار بارش این ایستگاه مورد آزمون قرار گرفته است.

از نظر مقدار بارش رخ داده، در ماه‌های فروردین، اردیبهشت، خرداد، آذر و اسفند روند نزولی مشاهده می‌شود. در ماه آبان و بارش‌های اندک تابستانه روند صعودی است و در سایر ماه‌ها تغییرات محسوسی قابل بررسی نمی‌باشد. به طور کلی در ارزیابی‌های مقدار بارش فصلی (شکل ۵-۴)، مشخص گردید، در ایستگاه کرمانشاه مقدار بارش در فصل بهار و زمستان روند کاهشی و در تابستان و پاییز با روند افزایشی ثبت شده است. روند کلی مقدار بارش سالانه ثبت شده، کاهش را نشان می‌دهد.



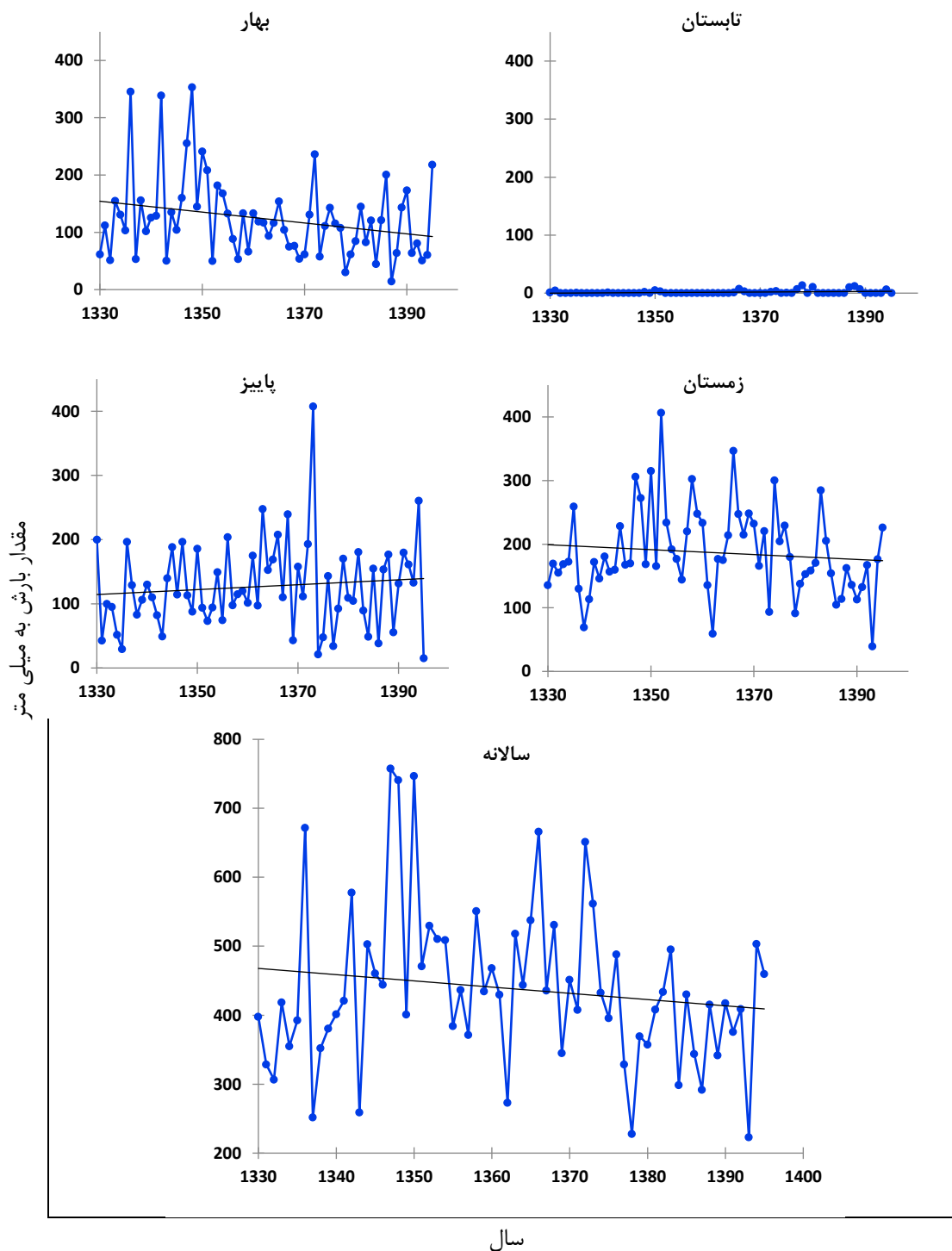
شکل ۵-۲- روند تغییرات مقدار بارش در ایستگاه کرمانشاه در ۶۶ سال اخیر (شش ماهه اول)



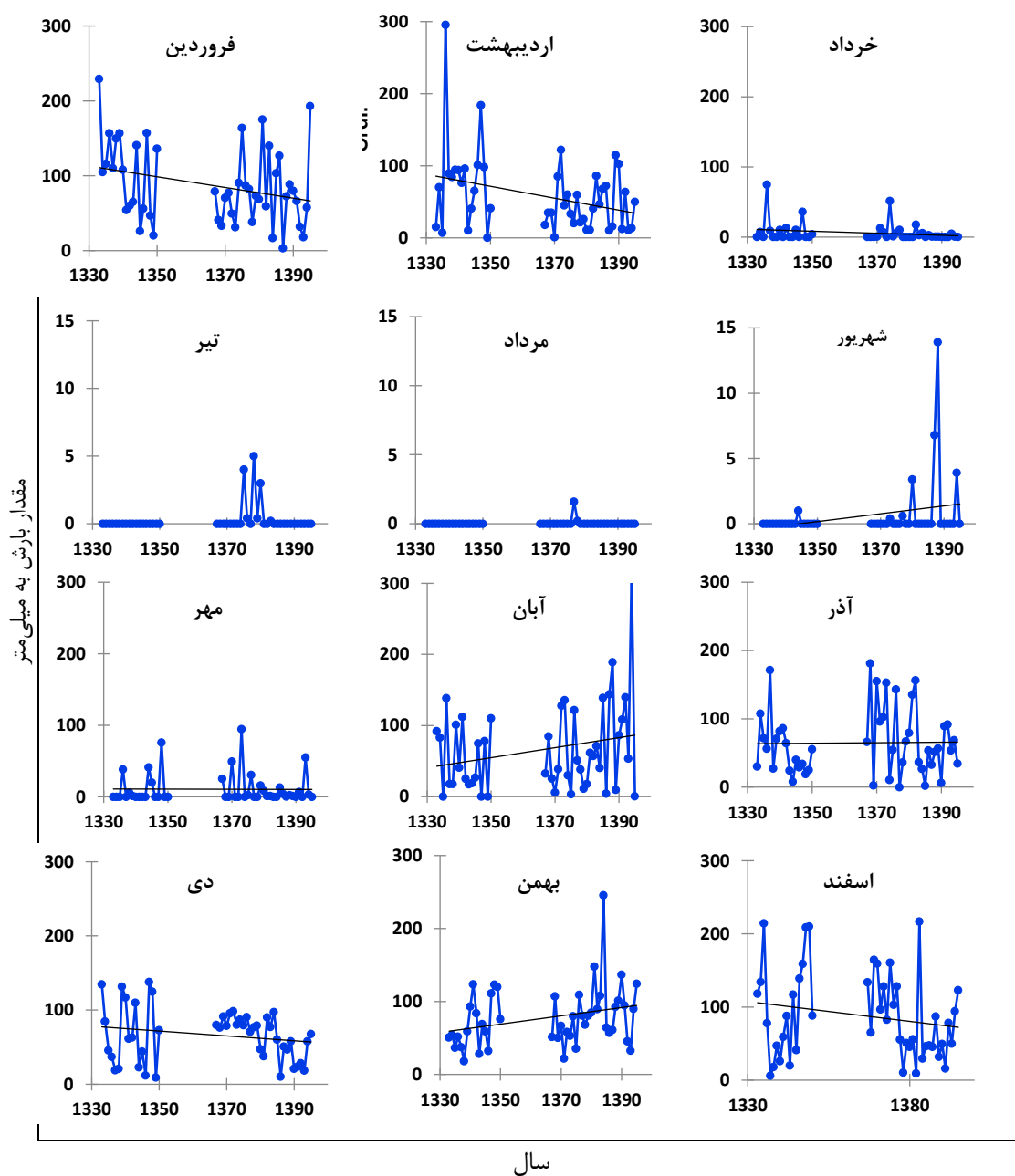
شکل ۵-۳- روند تغییرات مقدار بارش در ایستگاه کرمانشاه در ۶۶ سال اخیر (شش ماهه دوم)

روند ماهانه مقدار بارش در ایستگاه روانسر نشان‌دهنده روند کاهشی در فروردین، اردیبهشت، خرداد، دی و اسفند و روند افزایشی در شهریور، آبان و بهمن است در سایر ماه‌ها روند خاصی قابل مشاهده

نیست. در حالت کلی در فصل بهار روند کاهشی داشته و در پاییز اندکی افزایشی است. تغییراتی قابل ملاحظه‌ای در سایر فصول مشاهده نمی‌شود (شکل ۵-۵، شکل ۵-۶).

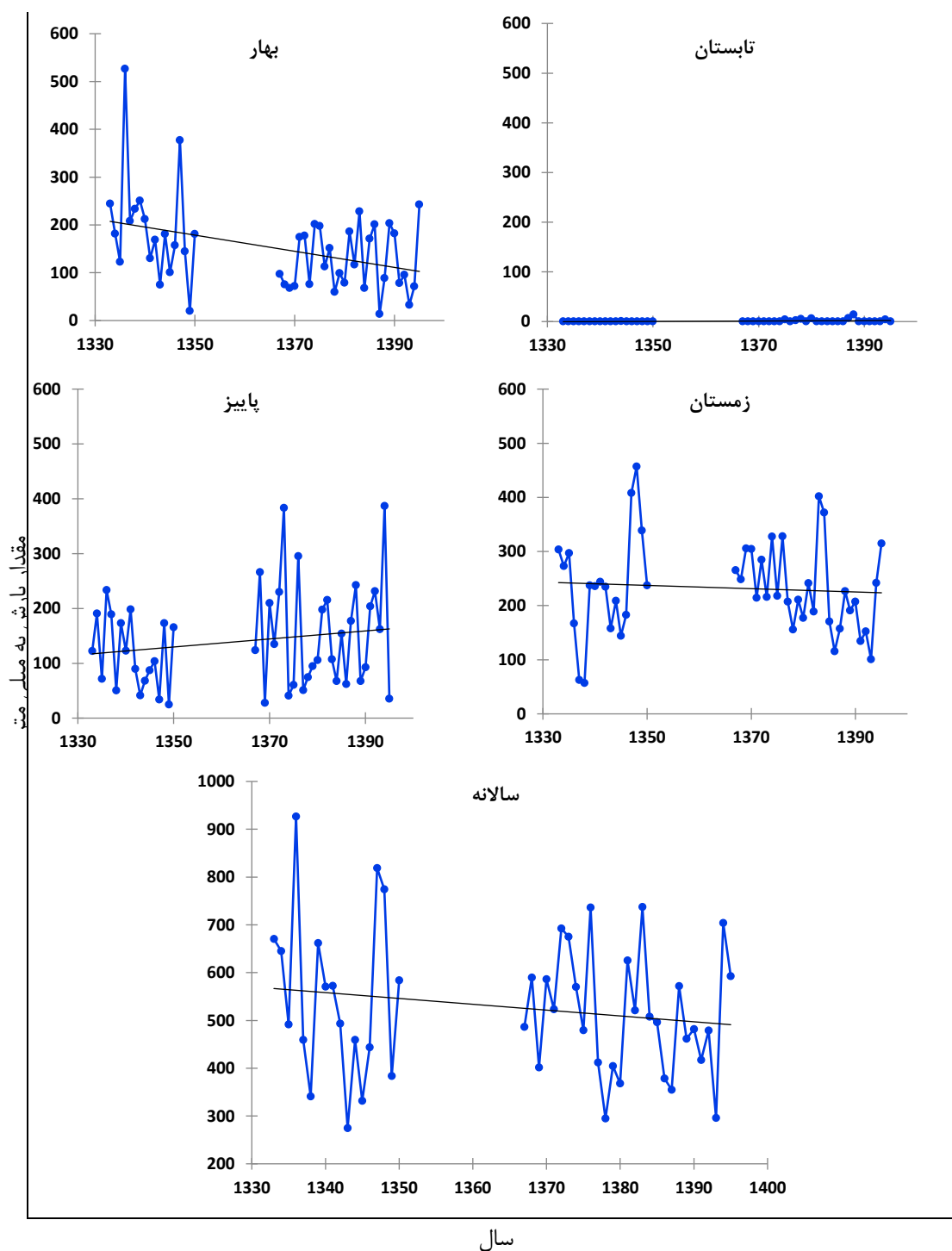


شکل ۵-۴- روند تغییرات فصلی و سالانه مقدار بارش در ایستگاه کرمانشاه در ۶۶ سال اخیر



شکل ۵-۵- روند ماهانه مقدار بارش در ایستگاه روانسر در ۶۴ سال اخیر

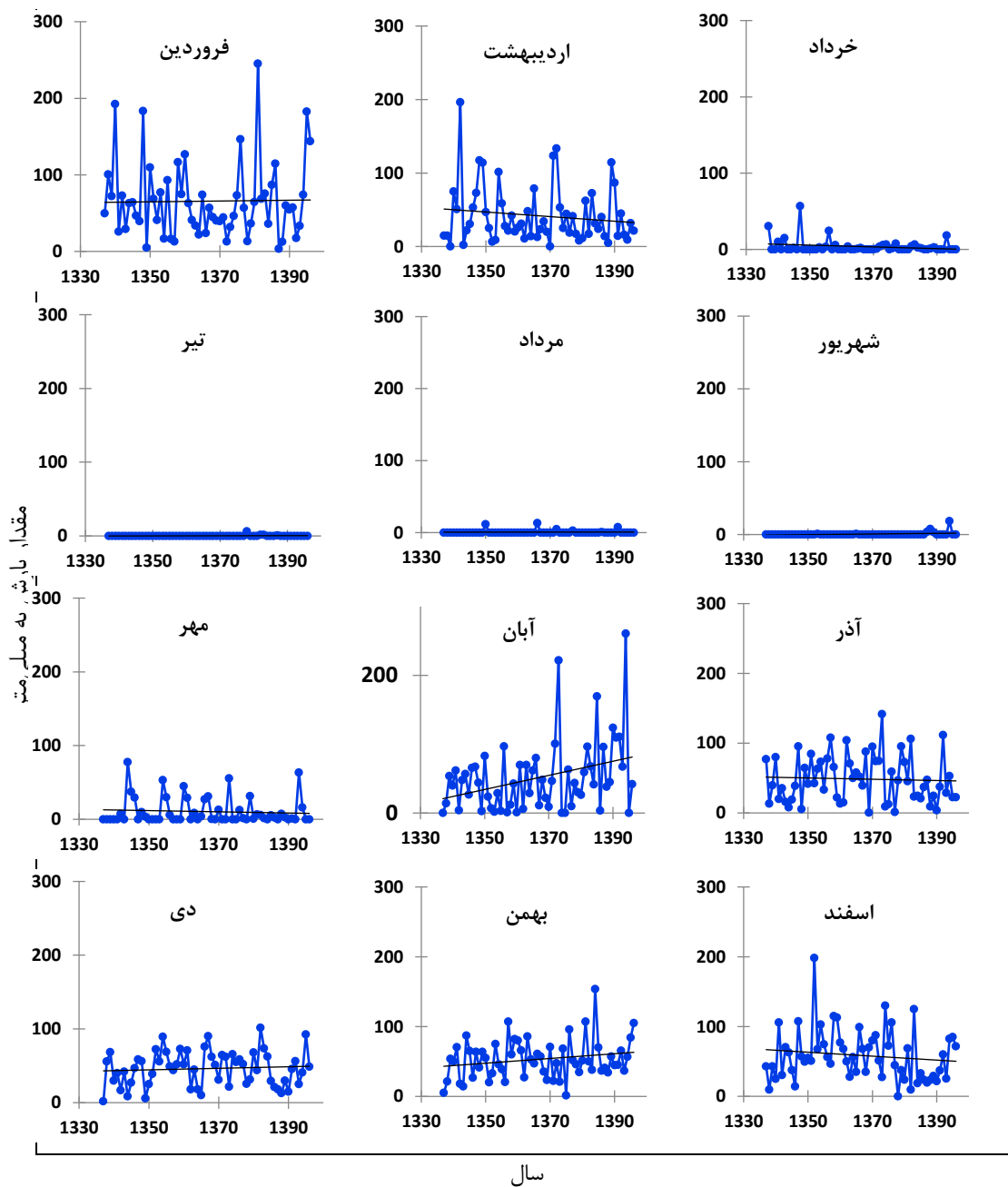
مقدار بارش سالانه در ایستگاه روانسر نیز مانند ایستگاه کرمانشاه، روند کاهش نشان می‌دهد. اندازه‌گیری مقدار بارش در بازه زمانی، ۱۳۵۰ تا ۱۳۶۶ در ایستگاه روانسر و چند ایستگاه مجاور آن فاقد آمار هستند، از این رو در این بازه زمانی نمودارها دارای نبود داده‌ای است.



شکل ۵-۶- روند تغییرات فصلی و سالانه مقدار بارش در ایستگاه روانسر در ۶۴ سال اخیر

می‌توان گفت تغییر در مقدار بارش در اکثر ماه‌های سال چشمگیر نیست، حتی در برخی از ماه‌های سال افزایش اندکی نیز نشان می‌دهند. کاهش در مقدار بارش بهاره و افزایش بارندگی تابستانه و پاییز از تغییرات مشاهده شده است. کاهش سالانه بارش را می‌توان به روند کاهش بارندگی در فصل بهار نسبت داد که

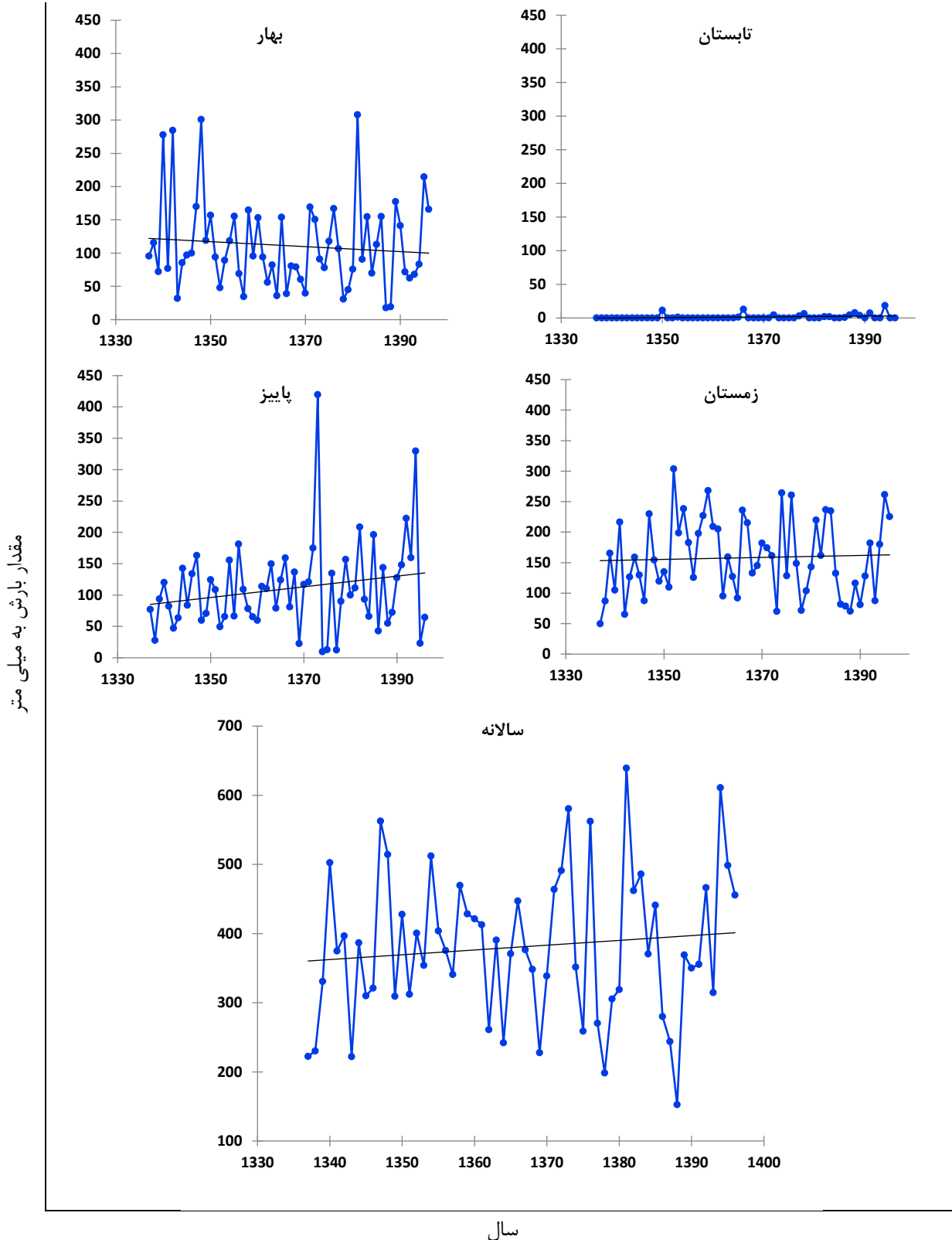
بیانگر تأثیر بسزای بارش این فصل در مقدار کل بارش در مناطق اطراف این ایستگاه است. در ایستگاه هرسین نیز کاهش در بارش بهاره و افزایش بارش پاییزه قابل رویت است (شکل ۵-۷).



شکل ۵-۷- روند ماهانه مقدار بارش در ایستگاه هرسین در ۶۰ سال اخیر

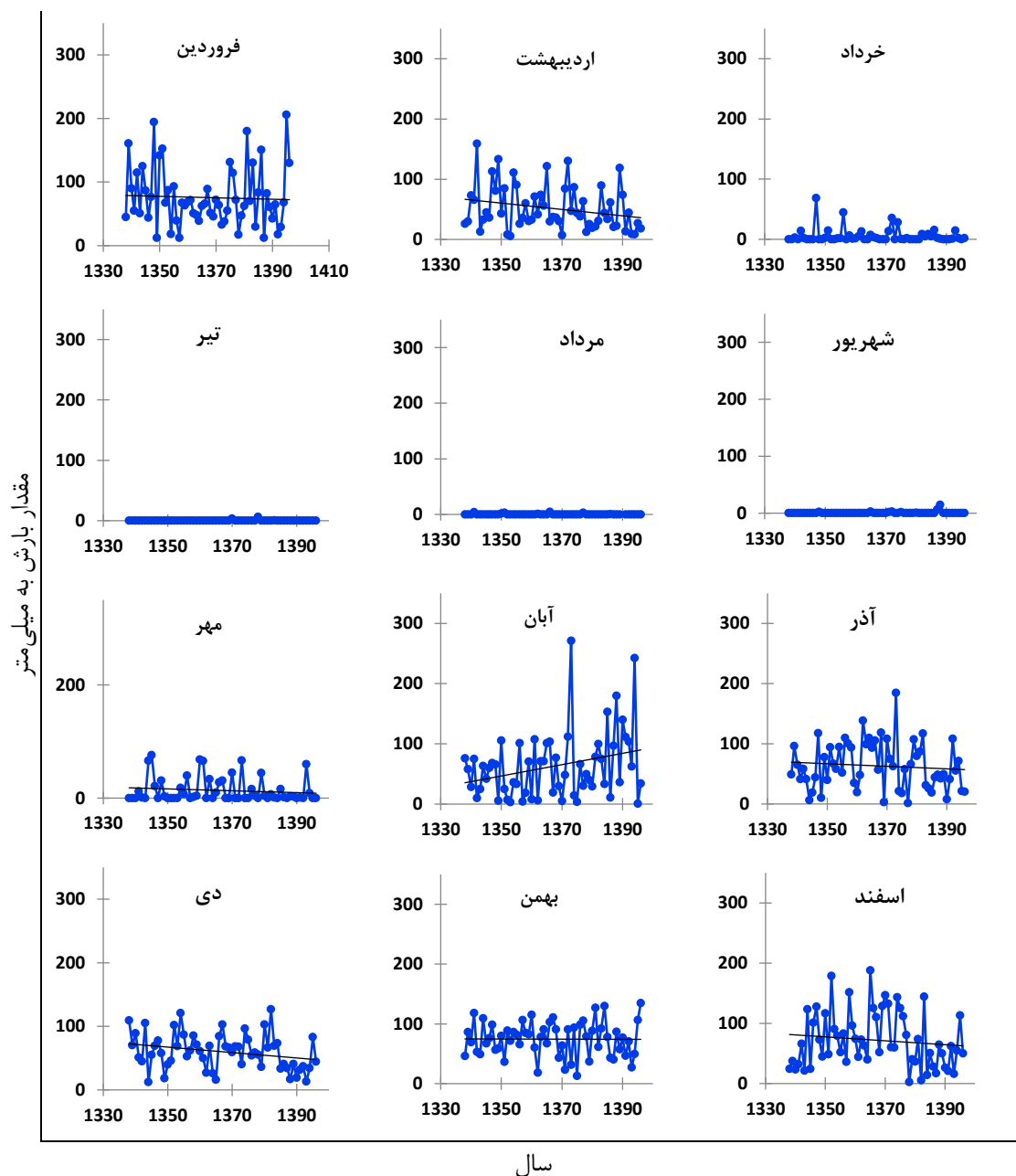
بارش ثبت شده در فصل زمستان ایستگاه هرسین، تغییرات قابل توجهی را در ۶ دهه گذشته نشان نمی‌دهد.

فصل پنجم: بررسی عوامل مؤثر بر آبدی پهنمای کارستی



شکل ۵-۸- روند تغییرات فصلی و سالانه مقدار بارش در ایستگاه هرسین در ۶۰ سال اخیر

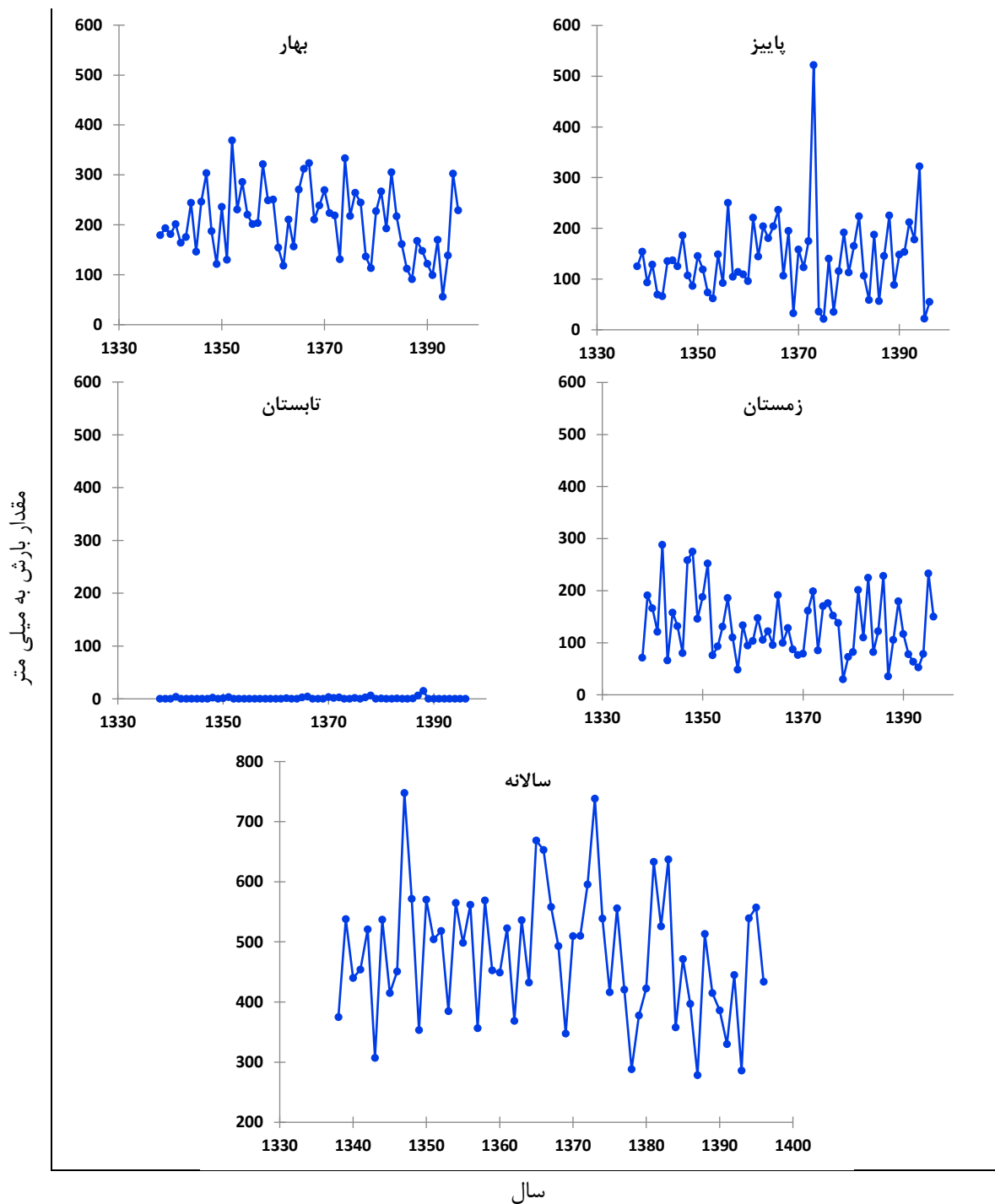
ثبت اطلاعات بارش در ایستگاه صحنه مبین روند کاهشی بارش در ماه‌های اردیبهشت، آذر، دی و اسفند است در سایر ماه‌ها یا تغییرات قابل ملاحظه نیست و یا اینکه افزایش در بارش (مانند ماه آبان) قابل رصد است.



شکل ۵-۹- روند ماهانه مقدار بارش در ایستگاه صحنه در ۶۰ سال اخیر

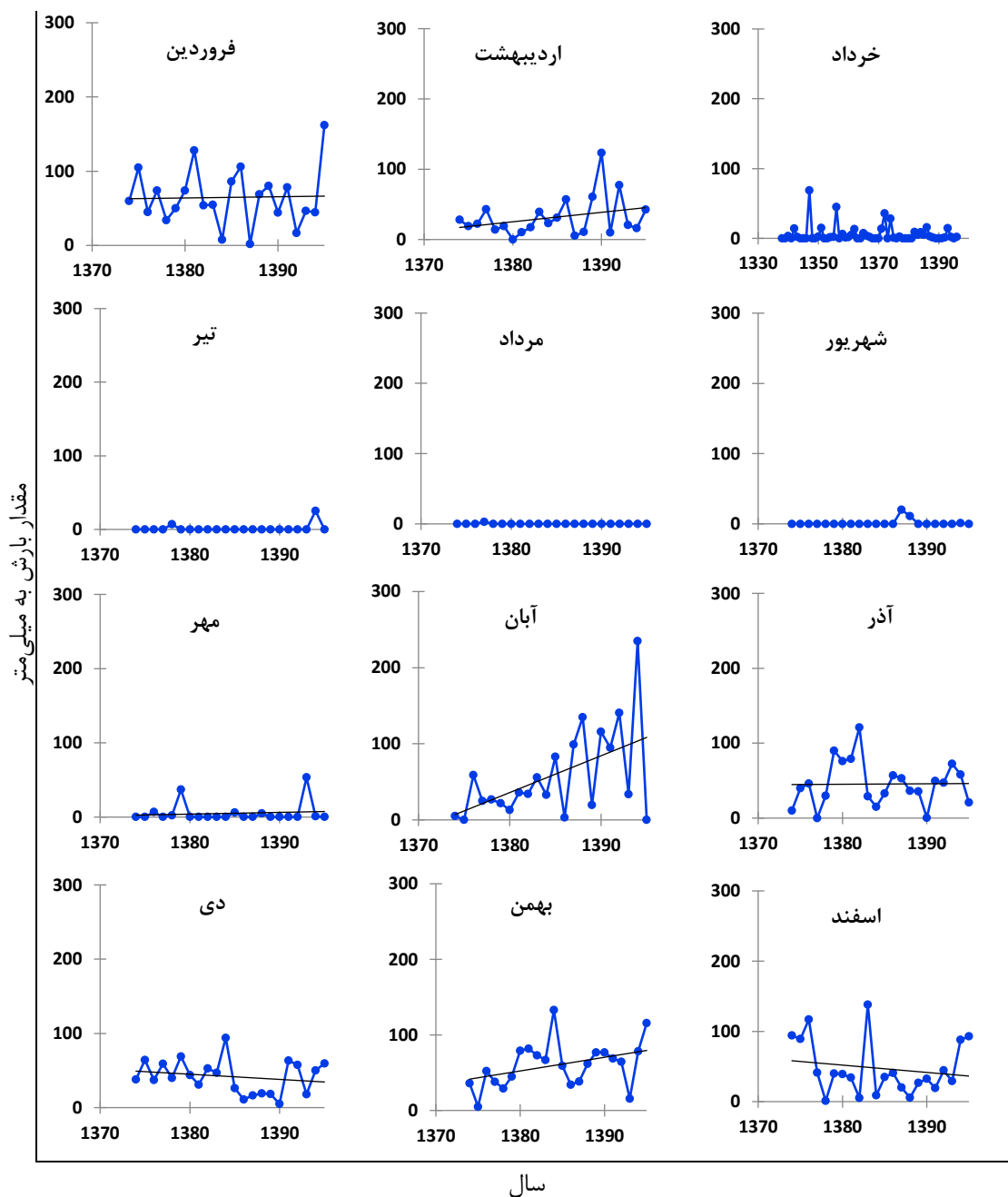
به طور کلی بارش ۶ دهه اخیر ایستگاه سینوپتیک صحنه، نشان‌دهنده روند کاهشی بارش‌های فصل بهار، افزایش اندک بارش آبان ماه و کاهش واضح مقدار بارندگی در اسفند ماه است. به طور کلی روند

کاهشی در مقدار بارش در بهار و زمستان و افزایش اندک در فصل پاییز قابل رؤیت است که تأثیر افزایش بارش در آبان ماه است. تغییرات مقدار بارش در ماه‌های مختلف می‌تواند بر روی نوع بارش تأثیر مستقیم بگذارد که در بخش بعدی شرح داده خواهد شد.



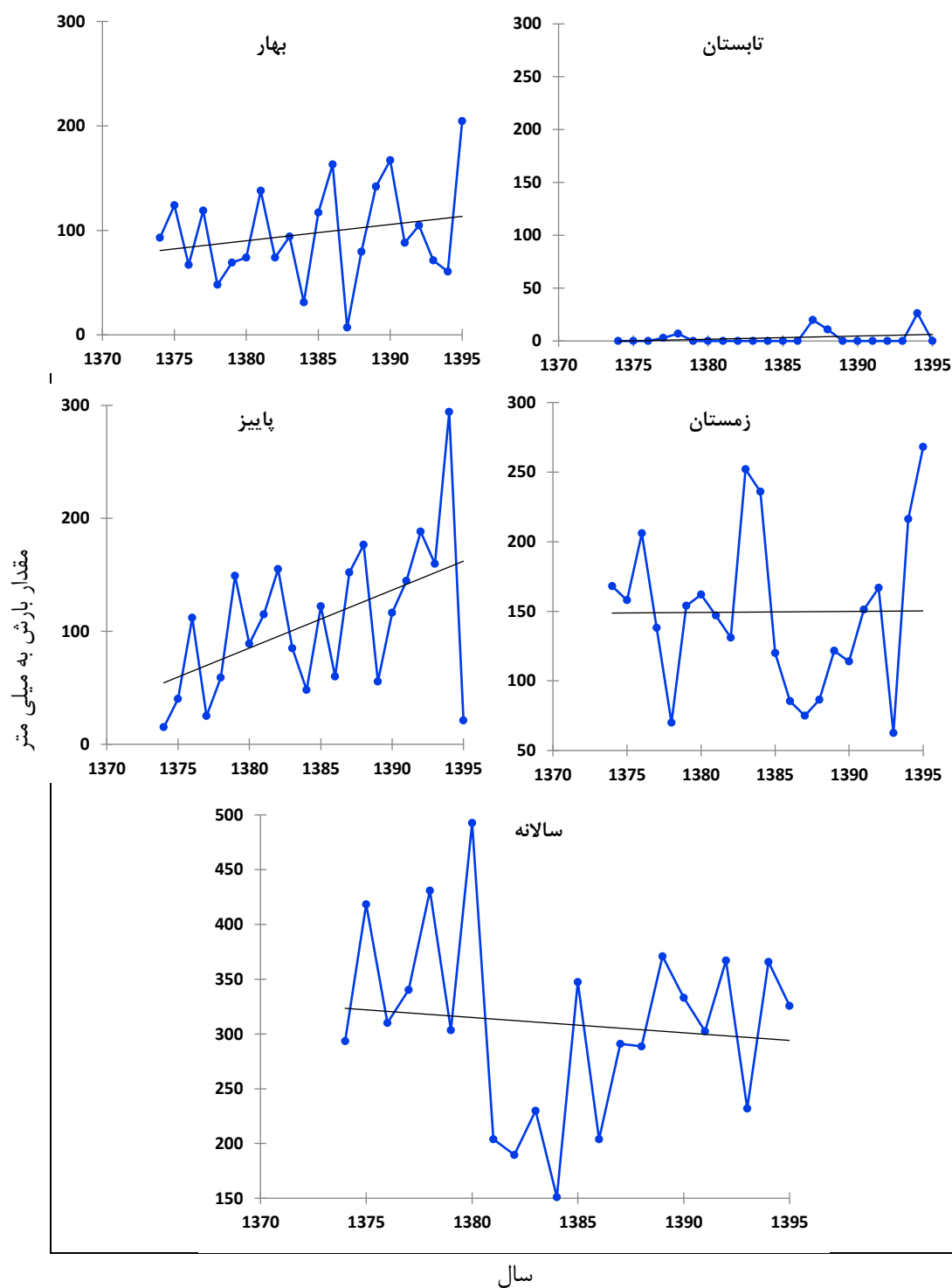
شکل ۵-۱۰- روند تغییرات سالانه مقدار بارش در ایستگاه صحنه در ۶۰ سال اخیر

ایستگاه سینوپتیک کنگاور نیز همانند اغلب ایستگاه‌های منطقه، روند افزایشی مقدار بارش در فصل‌هایی که دارای میانگین دمایی اندکی بالاتر هستند (به ویژه آبان و اردیبهشت) و روند کاهشی در اغلب ماه‌های زمستان را نشان می‌دهد (شکل ۵-۱۱). در بررسی‌های مقدار بارش به صورت فصلی، روند کاهشی و افزایشی به خوبی قابل مشاهده است (شکل ۵-۱۲).



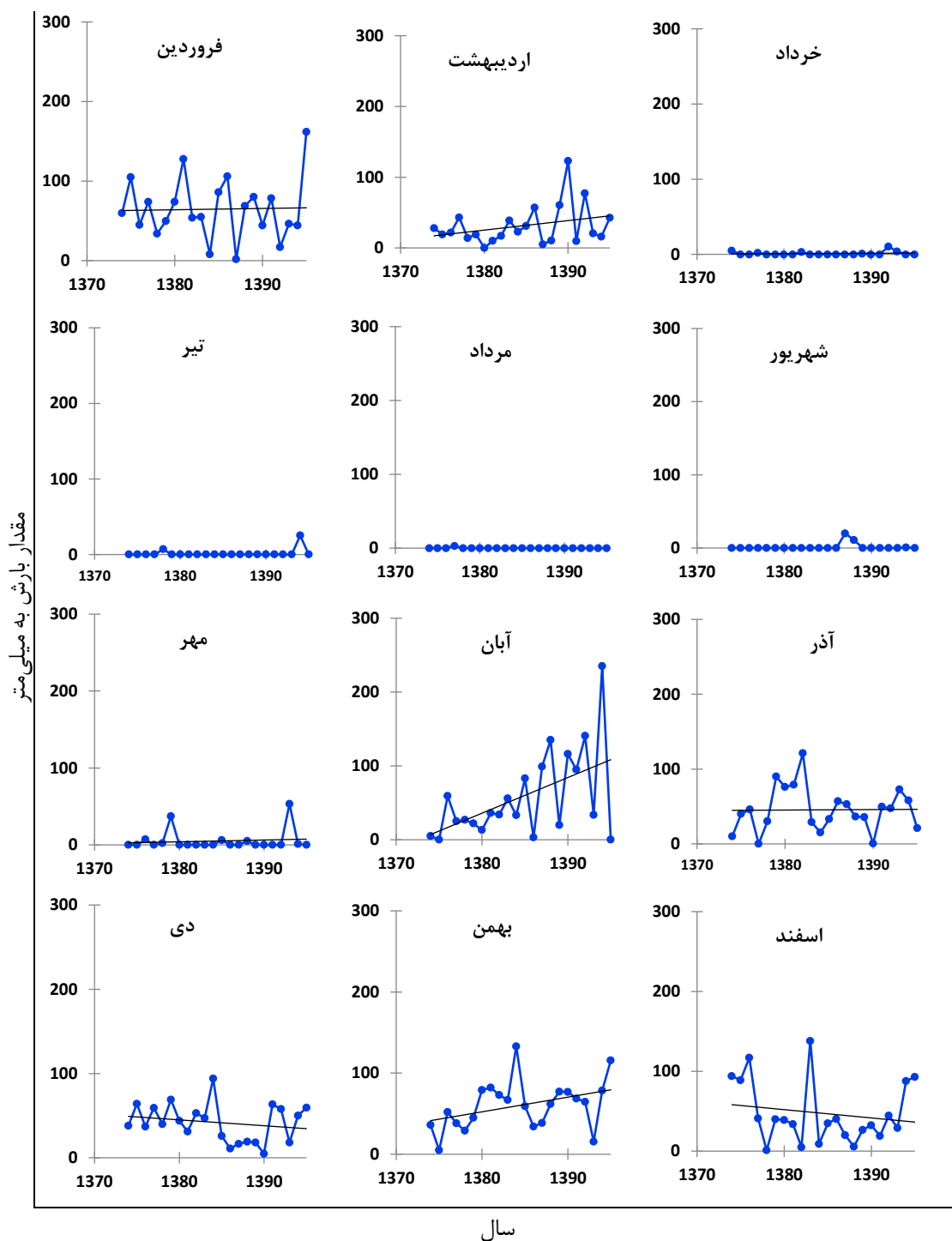
شکل ۵-۱۱- روند ماهانه مقدار بارش در ایستگاه کنگاور در دو دهه اخیر

با وجود اینکه در فصل بهار و پاییز افزایش در مقدار بارش (با استفاده از روند یابی) مشاهده می‌گردد اما در مقدار بارش سالانه روند کاهشی است که این موضوع می‌تواند به دلیل نوسانات و خشکسالی و ترسالی‌هایی باشد که در بازه اندازه‌گیری شده رخ داده است.



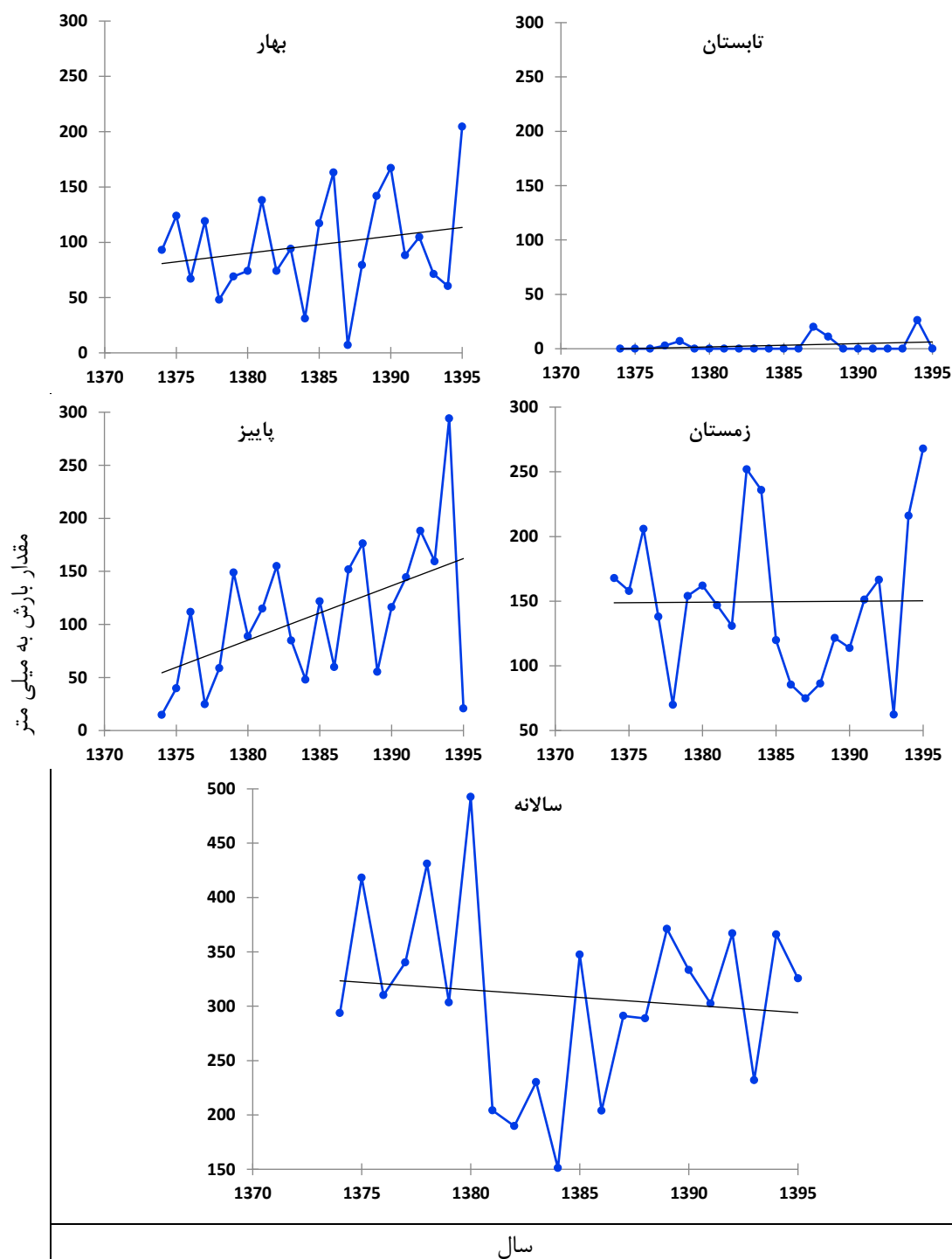
شکل ۵-۱۲- روند تغییرات فصلی و سالانه مقدار بارش در ایستگاه کنگاور در دو دهه اخیر

مقدار بارش ماهانه در ایستگاه ماهیدشت در ماه‌های اردیبهشت، آبان و بهمن افزایشی و در دی ماه و اسفند ماه کاهش‌ی است. تغییرات در فروردین ماه و آذر ماه قابل ملاحظه نیست.



شکل ۵-۱۳- روند ماهانه مقدار بارش در ایستگاه ماهیدشت در دو دهه اخیر

روند مقدار بارش در ایستگاه ماهیدشت مشابه ایستگاه کنگاور است. به این ترتیب در مقادیر بارش در فصل‌های بهار و پاییز روند افزایشی دیده می‌شود و روند در فصل زمستان کاهش می‌دهد. این سیر تغییرات به نحوی است که مقدار کل بارش سالانه کاهش را نشان می‌دهد.



شکل ۵-۱۴- روند تغییرات فصلی و سالانه مقدار بارش در ایستگاه ماهیدشت در دو دهه اخیر

ج- تمرکز بارش

در این مبحث تعداد روزهای بارانی، مقدار بارش، بارش بیشتر از ۱۰، ۲۰، ۴۰ و ۶۰ میلی‌متر در منطقه مورد مطالعه و در ایستگاه‌های منتخب مورد ارزیابی قرار خواهند گرفت. جهت ارزیابی این مورد نیاز به بارش‌های روزانه در ایستگاه‌های مورد نظر است. ثبت اطلاعات مربوط به تعداد روزهای بارانی به صورت مسنجم و یکپارچه در تمام استان انجام نشده است، از این رو تا حد امکان از داده‌های موجود استفاده می‌شود.

اندازه‌گیری روزانه داده‌های بارش ایستگاه کرمانشاه از سال دی ماه سال ۱۳۳۸ شروع شده است و داده‌های آن تا پایان سال ۱۳۹۶ موجود است، بر اساس داده‌های موجود بارش‌ها با شدت ۱۰، ۲۰، ۴۰ و ۶۰ میلیمتر در روز در دهه‌های مختلف ارزیابی شده‌اند. ثبت اطلاعات در دهه‌ی ۳۰ به صورت کامل انجام نشده است و چند ماه از آن اندازه‌گیری روزانه نشده است، از این رو ارزیابی تمرکز بارش از آغاز دهه ۴۰ در نظر گرفته شده است.

همانطور که از جدول ۵-۱ مشاهده می‌شود، از دهه ۴۰ تا کنون، از نظر تعداد روزهای بارندگی افزایش دیده می‌شود. اما مقدار بارش کلی باران در دهه‌های اخیر کمتر بوده است، این به این معنی که تمرکز بارندگی کمتر شده است. مقادیر بارش بیشتر از ۱۰، ۲۰، ۴۰ و ۶۰ میلی‌متر نیز مبین این مطلب است (جدول ۵-۱).

جدول ۵-۱- توزیع بارش و بارش‌های متمرکز در ایستگاه کرمانشاه- در دهه‌های مختلف

ایستگاه کرمانشاه	تعداد روزهای بارانی	P (mm)	P>10 mm	P (mm)	P>20 mm	P (mm)	P>40 mm	P (mm)	P>60 mm
دهه ۴۰	۶۵۰	۴۴۴۱	۱۶۰	۲۹۸۶	۵۳	۱۵۸۳	۸	۳۶۹	۱
دهه ۵۰	۷۶۰	۴۸۱۳	۱۷۲	۲۹۷۳	۵۰	۱۳۱۰	۲	۸۵	-
دهه ۶۰	۸۲۷	۴۵۴۴	۱۵۴	۲۸۵۳	۴۵	۱۳۵۶	۳	۱۹۸	۱۰۸
دهه ۷۰	۸۴۱	۴۳۲۸	۱۴۱	۲۶۸۱	۵۲	۱۴۸۳	۵	۲۵۹	۸۱
دهه ۸۰	۷۵۴	۳۸۲۹	۱۲۴	۲۳۱۲	۴۲	۱۱۶۷	۳	۱۳۳	-
دهه ۹۰*	۴۰۱	۲۱۲۳	۶۶	۱۳۷۷	۲۲	۷۶۰	۶	۳۰۸	۷۳
مجموع	۴۳۳۳	۲۴۰۷۸	۸۱۷	۱۵۱۸۲	۲۶۴	۷۶۵۹	۲۷	۱۳۵۲	۴

*در ۶ سال نخست دهه ۹۰

ایستگاه سینوپتیک روانسر از سال ۱۳۶۷ دارای داده روزانه می‌باشد. به طور کلی شرایط توزیع و

تمرکز بارش در ایستگاه روانسر نیز مشابه ایستگاه سینوپیتک کرمانشاه است. به این صورت که از مقدار بارش و تعداد بارش‌های بالاتر از ۱۰، ۲۰، ۴۰ و ۶۰ میلی‌متر کاسته شده است. در دهه هشتاد با وجود اینکه مقدار کل بارش کمتر از دهه قبل از آن است، اما مقدار بارش بیشتر از ۴۰ و ۶۰ میلی‌متر از دهه قبل بیشتر بوده است (جدول ۵-۲).

جدول ۵-۲- توزیع بارش و بارش‌های متمرکز در ایستگاه روانسر- در دهه‌های مختلف

ایستگاه روانسر	تعداد روزهای بارانی	P(mm)	P>10 mm	P(mm)	P>20 mm	P(mm)	P>40 mm	P(mm)	P>60 mm
دهه ۶۰	۲۲۶	۱۴۹۰	۴۷	۱۰۲۳	۲۱	۶۶۹	۳	۱۶۱	۱
دهه ۷۰	۸۱۳	۵۴۱۳	۱۸۳	۳۶۹۱	۷۱	۲۱۵۰	۸	۴۳۱	۳
دهه ۸۰	۷۷۸	۵۰۰۵	۱۷۳	۳۵۲۱	۶۶	۲۰۶۰	۹	۵۳۵	۴
دهه ۹۰	۳۴۴	۱۹۸۰	۶۴	۱۳۵۴	۲۳	۷۷۶	۴	۲۵۶	۲
مجموع	۲۱۶۱	۱۳۸۸۸	۴۶۷	۹۵۸۹	۱۸۱	۵۶۵۵	۲۴	۱۳۸۳	۱۰

* از سال ۶۷

بازه زمانی ثبت اطلاعات روزانه بارش ایستگاه کنگاور از سال ۱۳۶۷ می‌باشد و شرایط تمرکز بارش نیز مشابه ایستگاه‌های کرمانشاه و روانسر است. در ایستگاه کنگاور تعداد بارش‌های بیشتر از ۶۰ میلی‌متر کمتر از دو ایستگاه ذکر شده قبلی است (جدول ۵-۳).

جدول ۵-۳- توزیع بارش و بارش‌های متمرکز در ایستگاه کنگاور- در دهه‌های مختلف

ایستگاه کنگاور	تعداد روزهای بارانی	P (mm)	P>10 mm	P (mm)	P>20 mm	P (mm)	P>40 mm	P (mm)	P>60 mm
دهه ۶۰*	۲۹۴	۱۵۰۵	۵۲	۸۹۰	۱۶	۴۱۷	۱	۵۰	--
دهه ۷۰	۷۹۳	۴۰۱۳	۱۳۴	۲۳۸۸	۴۰	۱۱۱۹	۴	۱۸۷	-
دهه ۸۰	۸۱۲	۳۸۴۳	۱۱۴	۲۲۱۷	۳۸	۱۱۸۷	۷	۳۳۴	-
دهه ۹۰	۲۶۴	۱۱۷۰	۳۲	۵۴۴	۶	۱۹۱	۱	۶۲	۱
مجموع	۲۱۶۳	۱۰۵۳۱	۳۳۲	۶۰۳۹	۱۰۰	۲۹۱۴	۱۳	۶۳۳	۱

* از سال ۶۶

به دلیل تفاوت در این دو ایستگاه، علاوه بر ایستگاه کنگاور، قزوین نیز مورد ارزیابی قرار گرفته است. ایستگاه قزوین در حوضه آبخیز چشمه کبوترلانه قرار دارد و از نظر ارتفاع بالاتر از ایستگاه کنگاور واقع شده است. از این

رو تعداد بارش‌های با مقدار بالاتر از ۶۰ میلی‌متر در روز در این ایستگاه بیشتر از کنگاور است (جدول ۴-۵). در ایستگاه ماهیدشت و نیلوفر اطلاعات بارش روزانه از سال ۱۳۷۳ ثبت شده است. از آنجایی که مقدار بارش در سایر ایستگاه‌ها در هر دهه با سایر دهه‌ها مقایسه شده است، بنابراین داده‌های تمرکز بارش در این دو ایستگاه چندان قابل ارزیابی نیست (جدول ۵-۵، جدول ۶-۵).

جدول ۴-۵- توزیع بارش و بارش‌های متمرکز در ایستگاه قزوینه- در دهه‌های مختلف

ایستگاه قزوینه	تعداد روزهای بارانی	P(mm)	P>10 mm	P(mm)	P>20 mm	P(mm)	P>40 mm	P(mm)	P>60 mm	P(mm)
دهه ۷۰*	۱۳۱	۱۵۶۶	۵۳	۱۱۷۳	۲۵	۷۷۲	۴	۲۳۶	۱	۷۳
دهه ۸۰	۵۷۰	۶۷۶۶	۲۴۰	۵۲۱۴	۹۸	۳۱۷۱	۲۳	۱۲۳۷	۶	۴۰۹
دهه ۹۰	۲۳۵	۲۲۸۳	۷۹	۱۶۳۹	۲۹	۹۵۱	۷	۳۸۷	۲	۱۵۰
مجموع	۹۳۶	۱۰۶۱۵	۳۷۲	۸۰۲۶	۱۵۲	۴۸۹۴	۳۴	۱۸۶۰	۹	۶۴۲

* از سال ۷۷

جدول ۵-۵- توزیع بارش و بارش‌های متمرکز در ایستگاه ماهیدشت- در دهه‌های مختلف

ایستگاه ماهیدشت	تعداد روزهای بارانی	P(mm)	P>10 mm	P(mm)	P>20 mm	P(mm)	P>40 mm	P(mm)	P>60 mm	P(mm)
دهه ۷۰*	۲۶۴	۱۸۵۳	۶۶	۱۱۸۳	۱۶	۵۱۰	۳	۱۳۶	-	-
دهه ۸۰	۴۳۸	۳۳۳۰	۱۱۶	۲۰۶۹	۴۲	۱۱۳۴	۳	۱۵۴	-	-
دهه ۹۰	۳۳۴	۲۲۳۰	۷۴	۱۳۱۷	۱۶	۵۳۱	۳	۱۶۵	۱	۷۳
مجموع	۱۰۳۶	۷۴۱۳	۲۵۶	۴۵۶۹	۷۴	۲۱۷۵	۹	۴۵۵	۱	۷۳

* از سال ۱۳۷۳

جدول ۶-۵- توزیع بارش و بارش‌های متمرکز در ایستگاه نیلوفر- در دهه‌های مختلف

ایستگاه نیلوفر	تعداد روزهای بارانی	P(mm)	P>10 mm	P(mm)	P>20 mm	P(mm)	P>40 mm	P(mm)	P>60 mm	P(mm)
دهه ۷۰*	۴۴۳	۳۰۵۴	۱۰۶	۲۰۷۳	۳۱	۱۰۴۹	۳	۲۳۶	۱	۷۷
دهه ۸۰	۴۴۹	۳۹۶۳	۱۲۳	۲۴۹۷	۵۱	۱۵۰۸	۶	۲۶۴	-	-
تا سال ۹۳	۱۷۴	۱۳۵۹	۴۹	۸۳۴	۱۴	۳۷۵	۱	۵۴	-	-
مجموع	۱۰۶۶	۸۳۷۶	۲۷۸	۵۴۰۴	۹۶	۲۹۳۲	۱۰	۵۵۴	۱	۷۷

* از سال ۱۳۷۳

در ایستگاه هر سین و صحنه اندازه گیری بارش روزانه تنها در مدت زمان کوتاهی صورت گرفته است (از سال ۱۳۸۷). در سه سال انتهایی دهه ۸۰ بارش بیشتر از ۶۰ میلی متر رخ نداده است. عدم وجود داده طولانی مدت، تحلیل داده های بارش موجود را با مشکل مواجه کرده است (جدول ۵-۷، جدول ۵-۸).

جدول ۵-۷- توزیع بارش و بارش های متمرکز در ایستگاه هر سین- در دهه های مختلف

ایستگاه هر سین	تعداد روزهای بارانی	P(mm)	P>10 mm	P(mm)	P>20 mm	P(mm)	P>40 mm	P(mm)	P>60 mm	P(mm)
دهه ۸۰	۲۳۸	۱۰۹۷	۳۰	۶۰۴	۱۲	۳۵۵	۱	۴۹	-	-
دهه ۹۰	۳۱۰	۲۰۶۰	۶۸	۱۳۸۱	۲۷	۸۱۰	۴	۱۹۸	۱	۶۱
مجموع	۵۴۸	۳۱۵۷	۹۸	۱۹۸۵	۳۹	۱۱۶۵	۵	۲۴۷	۱	۶۱

*از سال ۸۷

جدول ۵-۸- توزیع بارش و بارش های متمرکز در ایستگاه صحنه- در دهه های مختلف

ایستگاه صحنه	تعداد روزهای بارانی	P(mm)	P>10 mm	P(mm)	P>20 mm	P(mm)	P>40 mm	P(mm)	P>60 mm	P(mm)
دهه ۸۰	۶۳	۳۷۷	۱۰	۱۹۳	۲	۸۷	۱	۴۳	-	-
دهه ۹۰	۱۲۶	۲۰۸۸	۶۲	۱۳۶۵	۲۴	۸۵۰	۸	۴۵۷	۳	۲۷۲
مجموع	۱۸۹	۲۴۶۵	۷۲	۱۵۵۸	۲۶	۹۳۷	۹	۵۰۰	۳	۲۷۲

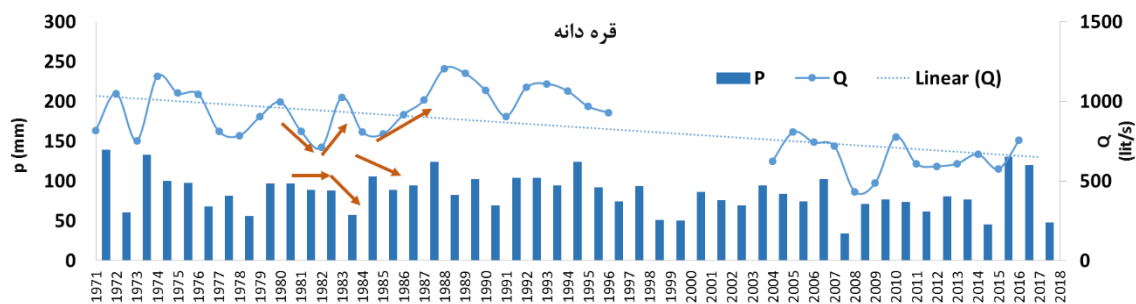
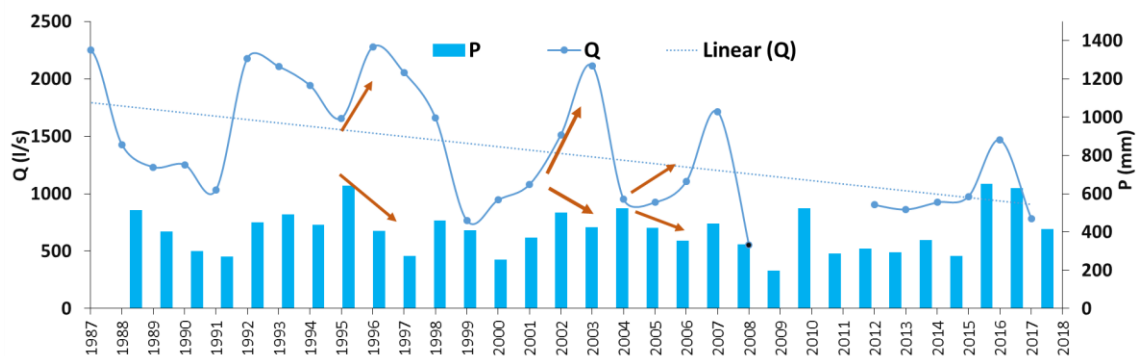
*از سال ۸۷

ب- نوع بارش

آمار دریافتی از سازمان هواشناسی فاقد اطلاعات در خصوص نوع بارش است. اما از آنجایی که حوضه آبرگیر چشمه ها در ارتفاعات واقع شده است و بر اساس مشاهدات، عمده بارش های ماه آخر پاییز، فصل زمستان و ماه اول بهار، عمدتاً به صورت برف است، کم شدن مقدار بارش در زمستان و افزایش آن در فصل پاییز و تابستان، بیانگر تغییر نوع بارش از برف به باران است. این موضوع به صورت ضمنی در بخش مقدار بارش نیز ذکر شد. به طور کلی علاوه بر اینکه عمده ایستگاه های منطقه روند کاهشی مقدار بارش سالانه را نشان می دهند، اما سیر کاهش در فصول و ماه های سرد سال، مبین تغییر در الگوی نوع بارش منطقه است. کما اینکه تغییر رخ داده در حافظه مردم محلی نیز ماندگار است و از کم شدن مقدار بارش برف صحبت می کنند، داده های بارش منطقه نیز این موضوع را تأیید می نماید.

ج: رابطه مقدار و تمرکز بارش با دبی چشمه‌های منطقه

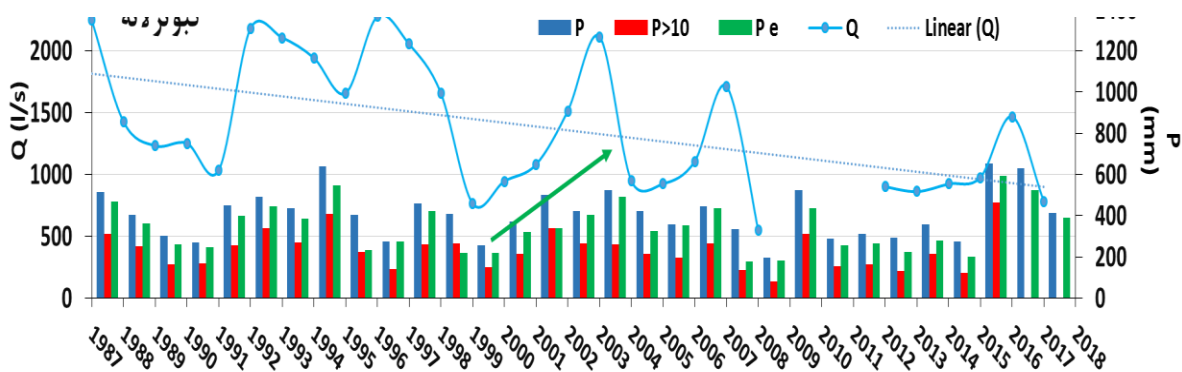
به منظور ارزیابی رابطه دبی چشمه‌ها و بارشی که در منطقه رخ می‌دهد، مقدار بارش سالانه، در یک سال آبی و دبی چشمه‌ها در هر سال شمسی (برای در نظر گرفتن فاصله بین بارش و اثر آن بر روی آبدی چشمه) با هم به نقشه درآمد که در ادامه نمونه‌ای از این نمودارها قابل مشاهده است. برطبق نمودارها ملاحظه شد که در تمام چشمه‌های کارستی بین بارش و آبدی (حتی در سال‌هایی که دخالت بشری تا حدی وجود نداشته و یا اندک بوده است) ناهماهنگی زیادی به چشم می‌خورد (شکل ۵-۱۵).



شکل ۵-۱۵- ناهماهنگی مشاهده شده بین مقدار بارش کل رخ داده و روند دبی چشمه‌ها

به طوری که در شکل ۵-۱۵ مشاهده می‌شود در برخی زمان‌ها با وجود افزایش در میزان بارندگی کل در حوضه آگیر چشمه، اما روند هیدروگراف چشمه، کاهشی است و یا برعکس. نمونه‌هایی از این مشاهدات در شکل ۵-۱۵ قابل رویت است. از این رو علاوه بر بارش کل، به شدت و تمرکز بارش نیز دقت شد و نتایج مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور داده‌های بارش به صورت داده‌های بارش بیشتر از ۱۰ و ۲۰ میلی‌متر نیز تفکیک شد و با هیدروگراف مذکور مورد مقایسه قرار گرفت، اما همچنان

در برخی موارد عدم هماهنگی مشاهده گردید. جهت توضیح این موارد شرایط اقلیمی و توپوگرافی منطقه مورد توجه قرار گرفت. با در نظر گرفتن موارد مذکور، مشخص شد در ارتفاعات - که حوضه آبرگیر چشمه‌ها واقع شده است - از آبان ماه تا فرودین بارش‌ها عمدتاً به صورت برف است و لذا فرصت مناسب برای نفوذ تدریجی آب ذوب شده و تغذیه منابع آب زیرزمینی وجود دارد، بنابراین اصطلاحی تحت عنوان بارش مؤثر تعریف گردید. این بارش مبین مقدار بارشی است که از آبان ماه تا فروردین ماه و همچنین بارش‌های بیشتر از ۱۰ میلی‌متر در سایر ماه‌ها، در منطقه وجود دارد. با مقایسه این بارش و هیدروگراف چشمه‌ها، همخوانی کاملی مشاهده شد. در ادامه به صورت نمونه بارش در چند حوضه آبرگیر مشاهده می‌گردد.



شکل ۵-۱۶- مقایسه رابطه بین بارش کل، بارش بیشتر از ۱۰ میلی‌متر و بارش مؤثر بر روی هیدروگراف چشمه

همانگونه که از شکل ۵-۱۶ مشخص است، روند صعودی هیدروگراف که از سال ۱۹۹۹ آغاز شده است، با وجود کاهش بارش در ۲۰۰۲ اما همچنان تا سال ۲۰۰۴ ادامه دارد، در سال ۲۰۰۲ با وجود کمتر شدن مقدار بارش کل، اما بارش مؤثر در این سال بیشتر از سال گذشته بوده است، تکرار این اتفاق در سال ۲۰۰۵ و ۲۰۰۶ نیز قابل مشاهده است. بنابراین در این تحقیق به جای مقدار بارش کل از بارش مؤثر استفاده می‌شود.

۵-۱-۲- ویژگی‌های آبخوان چشمه کارستی

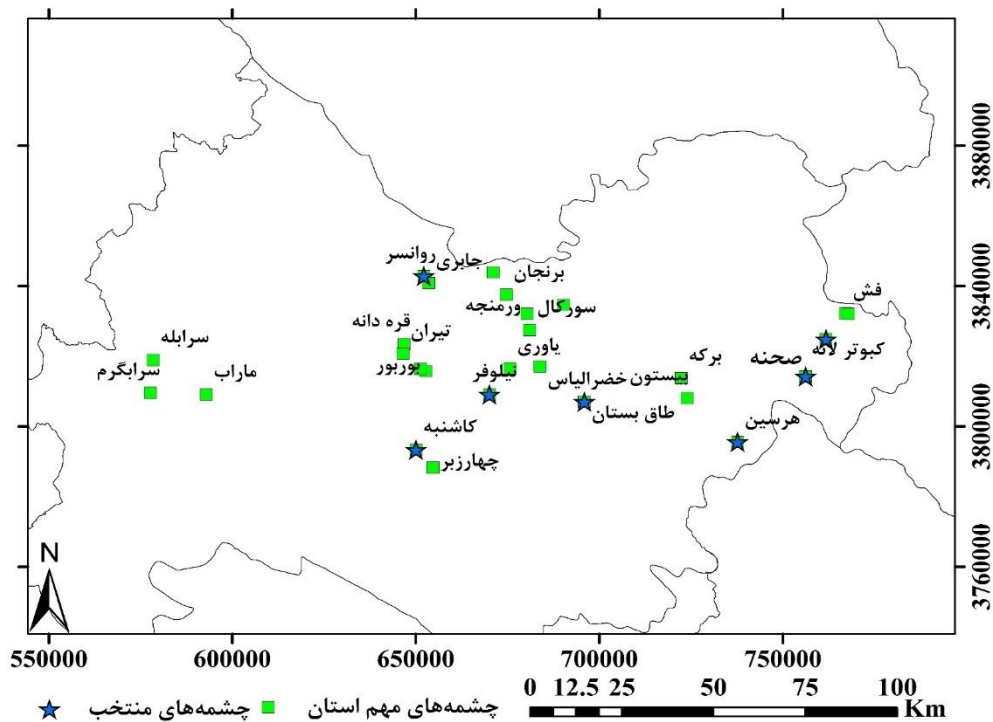
همانطور که در بخش انتخاب چشمه‌های معرف اشاره شد، در بررسی‌های انجام شده بر روی خصوصیات بارش در منطقه، تغییراتی مشاهده شد، اما پاسخ چشمه‌ها به تغییرات مذکور متفاوت

است، به گونه‌ای که چشمه‌های مجاور هم، تغییرات دبی متفاوتی داشته‌اند، در شرایطی که محیط جغرافیایی چشمه‌ها یکسان است، عامل تعیین کننده، ویژگی‌های آبخوان کارستی است. عوامل مؤثر در پاسخ هیدرولوژیک آبخوان، متعدد هستند.

خصوصیات هندسی حوضه آبرگیر شامل ویژگی‌های مؤثر مانند محیط، شکل، موقعیت، طول اصلی ترین مسیر حرکت آب، گرادیان هیدرولیکی، موقعیت قرارگیری حوضه آبرگیر و ... است. خاک پوشاننده حوضه با توجه به دانه‌بندی، بافت، ساختمان، قابلیت فرسایش و نفوذپذیری در پاسخ هیدرولوژیک آبخوان اثر دارد. نوع و تراکم پوشش گیاهی حوضه آبرگیر در تبخیر، ترق و نفوذ آب به آبخوان اهمیت دارد. لیتولوژی، درزه و شکاف‌ها، گسل‌ها و چین خوردگی‌ها از جمله ویژگی‌های زمین‌شناسی تأثیرگذار بر پاسخ حوضه آبرگیر به محرک‌های محیطی است.

الف- اندازه و شکل حوضه آبرگیر

یکی از فاکتورهای مهم در انتخاب چشمه‌ها حوضه آبرگیر آن‌هاست. گام نخست در ارزیابی این بخش، ترسیم حوضه آبرگیر چشمه‌هاست. در بخش ۳-۶ در مورد ترسیم آن شرح داده شد. موقعیت چشمه های منتخب در سطح استان در شکل زیر نشان داده شده است.



شکل ۵-۱۷- محل قرارگیری چشمه‌های منتخب در استان

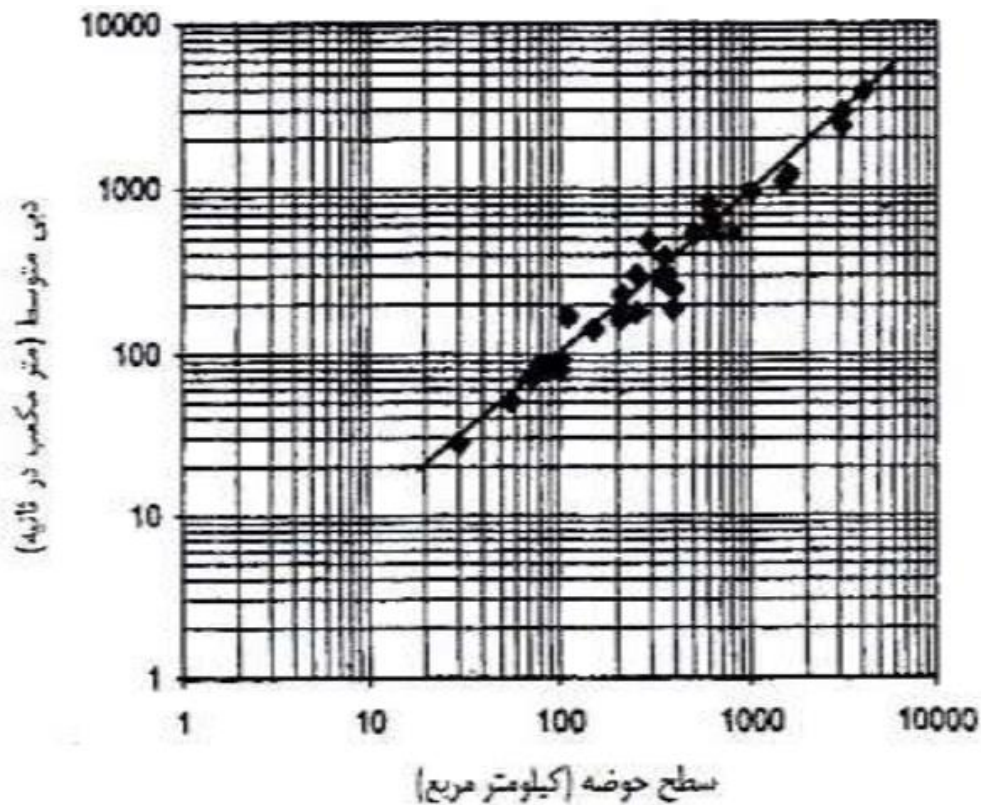
به منظور ارزیابی شکل و اندازه حوضه آبرگیر چشمه‌ها از فاکتورهای شکل حوضه استفاده می‌شود. هر چند بیشترین استفاده از این فاکتورها در مورد حوضه آبرگیر سطحی است اما در اغلب موارد در مورد حوضه‌های زیرزمینی نیز قابل استفاده است. مساحت حوضه آبرگیر در تخمین حجم آبدی کل و حداکثر دبی لحظه‌ای مؤثر است. در بسیاری از مناطق رابطه میان مساحت حوضه و حجم رواناب سالانه مانند شکل زیر قابل مشاهده است.

می‌توان حالت کلی رابطه میان دبی و مساحت حوضه را با معادله (۵-۱) نشان داده شود.

$$Q = K A$$

معادله ۵-۱

که در آن K یک ضریب است که وابسته به خصوصیات حوضه آبرگیر است. شاخص‌های گردی و کشیدگی برای هر ۷ چشمه منتخب در ادامه محاسبه می‌گردد. حوضه‌های آبرگیر چشمه‌ها در فصول پیشین ترسیم شد.



شکل ۵-۱۸- رابطه دبی و مساحت حوضه (برگرفته از علیزاده ۱۳۸۸)

ب- نوع تغذیه

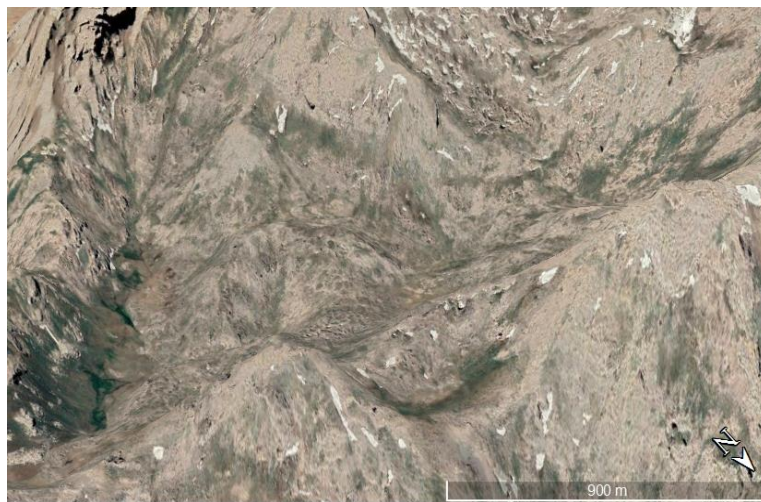
بررسی نوع تغذیه در آبخوان‌های کارستی، می‌تواند به صورت متمرکز و افشان دسته‌بندی شود. در مناطقی که تمرکز عوارض کارستی وجود دارد، این عوارض به عنوان مجرای ورود آب عمل کرده و تغذیه به صورت متمرکز انجام می‌شود (شکل‌های ۴-۱۹ تا ۴-۲۱). نواحی پلویه، فروچاله‌ها و نواحی با شکستگی فراوان مثالی از این موارد است که در ادامه تصاویری از آن قابل مشاهده است. در نواحی توسعه یافته، عوارض کارستی به نحوی است در هر کیلومتر مربع ۲۰-۱۵ فروچاله مشاهده می‌شود، در نواحی این‌چنینی تغذیه به صورت متمرکز انجام می‌شود، برخی معتقدند تغذیه ۱۰۰ درصد رخ می‌دهد (قربانی و همکاران ۱۳۸۹).



شکل ۵-۱۹- شکستگی‌های موجود در آهک بیستون در منطقه مورد مطالعه



شکل ۵-۲۰- مگادولین موجود در حوضه آبخیز چشمه روانسر (برگرفته از قربانی و همکاران ۱۳۸۹)



شکل ۵-۲۱- مکان‌های دارای پتانسل تغذیه متمرکز در حوضه آبخیز چشمه طاق‌بستان

۵-۱-۳- سایر

علاوه بر عوامل طبیعی ذکر شده که اثر آن بر روی آبدی چشمه‌ها اشاره شد، چند چشمه در منطقه وجود دارد که با وجود تغییرات مشاهده شده در آبدی چشمه‌های مجاور آن‌ها، اما تغییرات محسوسی در آبدی آن چشمه‌ها مشاهده نشد. ضمن بررسی‌های دقیق‌تر گسل‌های عبوری از محل رخنمون چشمه‌ها قابل ردیابی هستند. از جمله این چشمه‌ها چشمه قره‌دانه و چشمه شاه‌حسین است (شکل ۵-۲۲).



شکل ۵-۲۲- نقش گسل در پایداری آبدی چشمه قره‌دانه

با وجود اینکه چشمه‌های تیران و میرعزیزی به فاصله بسیار کمی از قره‌دانه کاملاً خشک شده‌اند، اما میانگین آبدی این چشمه در سال‌ها و دهه‌های مختلف تغییرات محسوس از خود نشان نمی‌دهد. هم‌راستای حوضه آبرگیر این چشمه گسل رخنمون دارد که دو واحد سنگی آهک به سن کرتاسه بالایی و ترکیبی از لادیولاریت‌ها و واحدهای آهکی به سن ژوراسیک را در مجاورت هم قرار داده است. در محل برخورد این گسل و آبرفت‌های عهد حاضر، چشمه قره‌دانه رخنمون دارد. گسلی که بنظر می‌رسد مهم‌ترین مسیر کنترل کننده آب چشمه شاه‌حسین را فراهم می‌کند، بعد از عبور از جاده کرمانشاه-کامیاران دو تشکیلات آهکی سازند بیستون را به هم مرتبط می‌کند. تصویر مربوط به این چشمه‌ها در شکل زیر نشان داده شده است (شکل ۵-۲۳).



شکل ۵-۲۳- نقش گسل در پایداری آبدی چشمه شاه‌حسین

۵-۲- اثر دخالت‌های بشری بر روی آبدی چشمه‌های کارستی

طی دهه‌های اخیر تغییر در معیارهای اجتماعی و اقلیم و نیز برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی شرایطی را به وجود آورده است که بر روی طبیعت تأثیرگذار است. منابع آب سطحی در بیشتر نواحی محدود هستند، از این رو، مانند اکثر نواحی ایران، منبع اصلی تهیه آب شرب، کشاورزی و صنعتی در استان کرمانشاه آب زیرزمینی است. در گذشته استفاده از قنات تأمین کننده جریان پایدار از آب زیرزمینی بوده است که بدون صرف انرژی و اعمال فشار خارج از توان سفره‌های آب زیرزمینی، آب

مورد نیاز مصارف مختلف را فراهم می‌آورد. امروزه با افزایش نیاز به منابع آب، برداشت از آب زیرزمینی نیز افزایش یافته است. سازندهای کربناته ۱۱ درصد (۱۸۵۰۰۰ کیلومتر مربع) از سطح ایران را می‌پوشاند، رشته کوه زاگرس در غرب ایران، نیمی از کارست‌های ایران را شامل می‌شود (Raeisi, 2002). با وجود اینکه چشمه‌ها سیستم زهکشی مناسبی برای آبخوان‌های کارستی محسوب می‌شوند، اما اکتفا به چشمه‌ها جهت رفع نیازها به علل مختلف میسر نیست (از جمله این دلایل می‌توان به فاصله زیاد برخی چشمه‌ها از محل مصرف اشاره نمود) در واقع این امر مستلزم صرف هزینه‌های سنگین جهت انتقال آب می‌باشد. از طرفی دیگر سیستم‌های انتقال دهنده نیز خود دارای مشکلات فراوانی در جهت حفظ و نگهداری تأسیسات مربوطه هستند. اما نکته بسیار مهم در این زمینه یافتن مکان مناسب جهت بهره‌برداری از این آبخوان‌هاست. متأسفانه به علت عدم انجام مطالعات صحیح و کافی در این زمینه حفر چاه‌ها در مناطق کارستی و دشت‌های اطراف آبخوان‌ها به نحوی عمل می‌کند که اثر سوئی بر روند آبدی چشمه‌ها می‌گذارد.

در منطقه مورد مطالعه می‌توان توزیع آب زیرزمینی را در دو نوع از آبخوان‌ها دانست، آبخوان آبرفتی و آبخوان کارستی. آبخوان کارستی موجود در منطقه توسط آبخوان‌های آبرفتی احاطه شده است. اطلاعات مربوط به میزان برداشت آب از آبخوان‌های آبرفتی منطقه مورد مطالعه، از شرکت آب منطقه‌ای کرمانشاه و همین‌طور سایت وزارت نیرو جمع‌آوری گردیده است. این اطلاعات شامل دبی پمپاژ، ساعات کارکرد چاه‌ها و حجم آب برداشتی سالانه از آبخوان است. بر اساس این اطلاعات چاه در مناطق مختلف دارای دبی و عمق متفاوت هستند، عمق چاه‌ها از کمتر از ۱۰ متر تا بیشتر از ۲۵۰ متر متغیر است. تعداد چاه‌های کل استان کرمانشاه حدود ۲۱۰۰۰ چاه (با حجم برداشت حدوداً MCM ۱۳۸۰) است که تعداد چاه‌های مجاز و دارای پروانه بهره‌برداری در استان بیش از ۱۱۰۰۰ چاه با حجم برداشت سالانه MCM ۹۰۰ است. از تعداد کل چاه‌ها بیش از ۱۹۰۰۰ چاه در بخش کشاورزی فعالیت دارند. تأثیر تغییر آب و هوایی بر روی تعداد چاه‌ها قابل توجه است. در کنار خشکسالی اتفاق افتاده در طی ۳ دهه اخیر، سیاست‌های اعمال شده در جهت خودکفایی در برخی از محصولات کشاورزی، باعث صدور مجوزهای بی‌رویه حفر چاه در آبخوان‌های آبرفتی شده است.

۵-۲-۱- برداشت از آبخوان‌های کارستی

به دلیل فقدان پیرومتر در آبخوان‌های کارستی، از سطح آب در این آبخوان‌ها، اطلاعاتی در دسترس نیست. بر اساس قوانین و بخشنامه‌های موجود، برداشت از آبخوان‌های کارستی صرفاً برای مصارف شرب امکان‌پذیر است، سقف کف شکنی و عمق چاه باید به نحوی باشد که چاه به سنگ کف و احیاناً آبخوان کارستی نرسد و برداشت آب صورت نگیرد. اما متأسفانه در برخی مناطق در حوضه آبرگیر چشمه‌ها حفاری صورت گرفته و از آنجایی که نظارت و کنترل دقیقی بر روی برداشت چاه‌ها تا کنون صورت نگرفته است امکان برداشت آب از منابع آب کارستی بسیار زیاد است. از جمله این موارد حفر چاه در حوضه آبرگیر چشمه طاق‌بستان توسط ارگان‌های نظامی و همچنین شهرداری (به فاصله بسیار کم از ارتفاعات آهکی حوضه آبرگیر چشمه) است. برداشت آب از چاه‌ها با توجه به فاصله اندک از چشمه، به گونه‌ای است که در ماه‌هایی که چشمه دارای آبدی کم است، با هر بار روشن بودن چاه‌ها اثر آن بر روی دبی چشمه طاق‌بستان قابل مشاهده است.

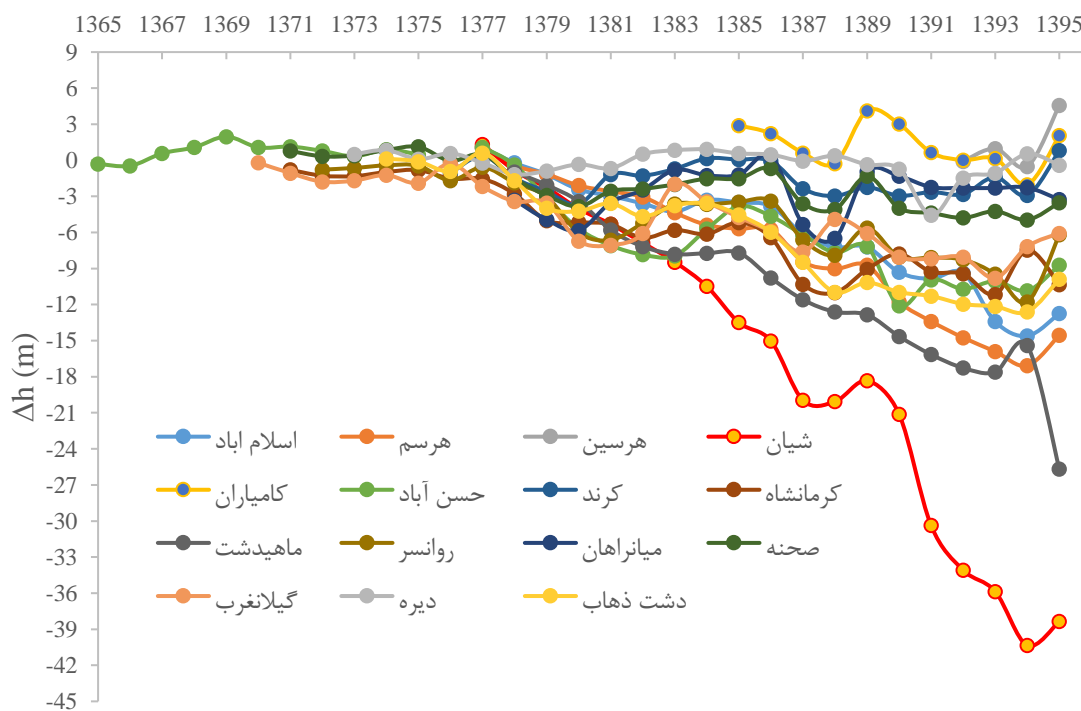
۵-۲-۲- برداشت از آبرفت‌های مجاور

در منطقه مورد مطالعه بیشتر از ۸۵٪ از آب استخراج شده به مصارف کشاورزی اختصاص دارد. برداشت از منابع آب در طی سالیان اخیر باعث برهم خوردن تعادل طبیعی در بسیاری از مناطق مورد مطالعه و به دنبال آن، کاهش سطح آب زیرزمینی در آبخوان‌های آبرفتی شده است. نتیجه این امر در برخی نقاط زهکشی آبخوان‌های کارستی به آبخوان‌های آبرفتی مجاور می‌باشد و آبدی چشمه‌های کارستی، که تابعی از شرایط هیدروژئولوژیکی و همچنین زمین‌شناسی حوضه آبریز آن چشمه‌هاست (Todd, 2005) تحت تأثیر قرار خواهد گرفت.

به طور کلی فعالیت‌های بشری و تغییرات آب و هوایی بر روی آبدی چشمه‌ها اثرات قابل توجهی را بر جای می‌گذارند، که در دهه‌های اخیر شدت گرفته است. علاوه بر حفر مستقیم چاه در آبخوان‌های کارستی، برداشت بیش از حد از دشت‌های اطراف نیز باعث ایجاد مخروط افت و تغذیه آبخوان‌های آبرفتی توسط آبخوان کارستی می‌شود که این امر موجب کاهش ذخیره در مخزن کارست شده و در نتیجه بر روی دبی چشمه کارستی نیز مؤثر خواهد بود.

در آبخوان آبرفتی منطقه ۳۶۰ پیژومتر حفر شده است. روند کاهشی در سطح آب زیرزمینی قابل مشاهده است، به گونه‌ای که در طی دهه اخیر تعدادی از پیژومترها کاملاً خشک شده‌اند. هیدروگراف واحد آب زیرزمینی دشت در این آبخوان‌ها در شکل ۵-۲۴ نشان داده شده است. مقادیر تغییرات سطح آب زیرزمینی در آبخوان آبرفتی در شکل ۵-۲۵ نشان داده شده است. به طور کلی این تغییرات مربوط به کل دشت است.

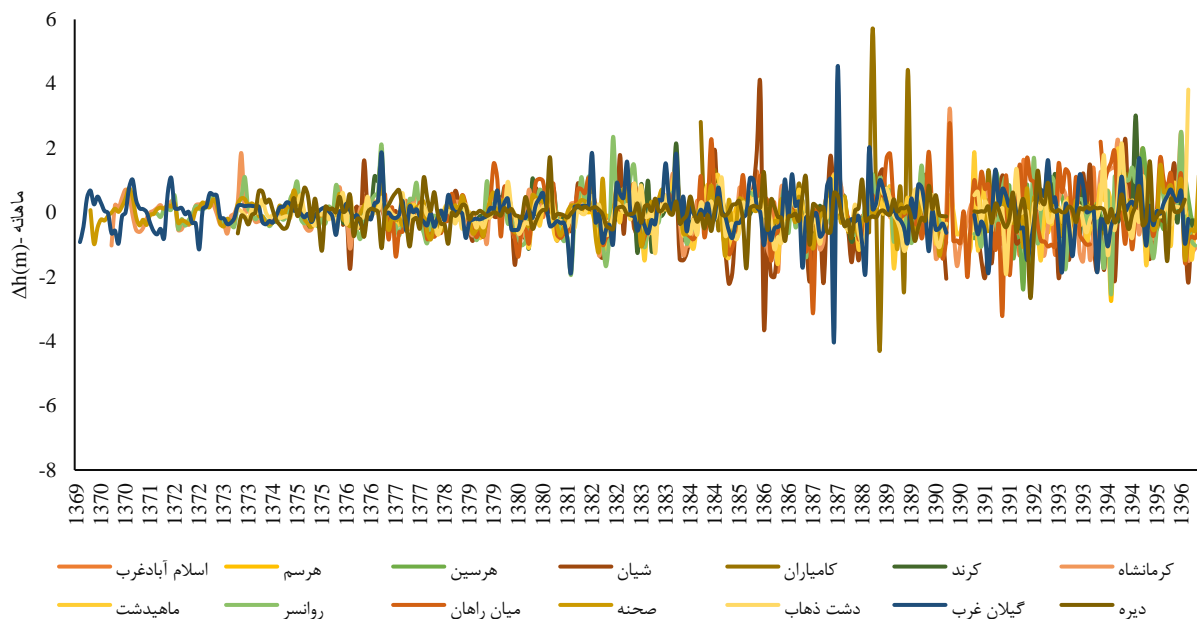
با استفاده از متوسط ضریب ذخیره آبخوان‌های منطقه، متوسط سالانه تغییر در حجم آبخوان محاسبه شده است. همانطور که قابل مشاهده است روند افت تقریباً از سال آبی ۱۳۷۷-۱۳۷۸ آغاز شده است. با بررسی صورت گرفته بر روی بارش منطقه و مجوزهای صادر شده جهت حفر چاه‌های کشاورزی، این سال همزمان با شدت گرفتن خشکسالی و افزایش درخواست حفر چاه است.



شکل ۵-۲۴- مقدار تغییرات سطح آب زیرزمینی در محدوده‌های مطالعاتی استان طی سه دهه اخیر

همانطور که از شکل ۵-۲۴ مشخص است، بازه زمانی مورد ارزیابی جهت تغییر سطح آب از سال ۱۳۶۵ صورت گرفته است، این بازه زمانی در اکثر محدوده‌ها کمتر است، در برخی محدوده‌ها، مانند شیان، در طی ۲ دهه، افت ۴۲ متری سطح آب را نشان می‌دهد (به طور میانگین سالی ۲ متر). در سایر محدوده

نیز افت با شدت کمتری مشاهده می‌شود. تنها در محدوده کامیاران بالا آمدن سطح آب قابل رؤیت است که می‌تواند مربوط به وجود منابع آب سطحی فراوان در منطقه و حفر کمتر چاه‌ها دانست. با ارزیابی ماهانه تغییر سطح آب در محدوده‌های استان مشخص شد که تغییرات سطح آب در هر ماه نسبت به ماه قبل خود تا اوایل دهه ۸۰ در محدوده ۱/۵ متر است، پس از این زمان مقدار نوسانات بیشتر شده است، طوریکه در بعضی محدوده‌ها به بیشتر از ۴ متر رسیده است (شکل ۵-۲۵).



شکل ۵-۲۵- تغییر ماهانه سطح آب در محدوده‌های مطالعاتی استان کرمانشاه

برداشت پایدار از آب زیرزمینی و آبدهی ثابت چشمه‌ها مستلزم شناخت مقدار حداکثر افت مجاز در آبخوان است که در مدیریت آب زیرزمینی بسیار حائز اهمیت است (Kang et al., 2011)، بنابراین توزیع، محل و مقدار استخراج از آبخوان و طرح‌های تغذیه مصنوعی باید به گونه‌ای باشد که این میزان حداکثری افت در نظر گرفته شود. بر این اساس با استفاده از پایش طولانی مدت آبدهی چشمه و سطح آب زیرزمینی در حوضه یک چشمه کارستی می‌توان بین دو پارامتر آبدهی چشمه و کمترین حد سطح آب زیرزمینی رابطه برقرار کرد.

الف- ارتباط سطح آب زیرزمینی در آبرفت و چشمه‌های کارستی

جدول شماره ۵-۹ روند آبدهی چشمه‌های موجود در منطقه را نشان می‌دهد، افت شدید در مقدار

آبدی اغلب چشمه‌ها مشهود است، به منظور ارزیابی دقیق‌تر سطح آب زیرزمینی در اطراف چشمه‌هایی که بیشتر تحت تأثیر ارتباط آبخوان کارستی و آبرفتی هستند و در طی چند سال گذشته تجربه خشک شدن را داشته‌اند با دقت بیشتری مورد بررسی قرار گرفت، که نتایج با داده‌های واقعی قابل صحت‌سنجی نیز باشد.

در این ارتباط چهار چشمه که سابقه خشک شدن چند ساله داشته‌اند، انتخاب شد. از آنجایی که پیژومتر در آبخوان‌های کارستی این چشمه‌ها وجود نداشت، به ناچار از داده‌های پیژومتری آبرفت‌های اطراف چشمه‌ها استفاده شد و رابطه سطح آب نزدیک‌ترین پیژومترهای آن‌ها ارزیابی گردید. پیژومتری که کمترین فاصله را با چشمه داشت و از طرفی در مسیر حرکت آب زیرزمینی از آبخوان کارستی به آبخوان آبرفتی بود بهترین همخوانی با آبدی چشمه را نشان داد. رابطه آبدی چشمه و سطح آب زیرزمینی در این چشمه‌ها ترسیم شد، همانگونه که از نمودارهای ترسیمی مشخص است، تا زمانی که سطح آب زیرزمینی افت چندانی نداشته است، آبدی چشمه و سطح آب پیژومترها ارتباطی را نشان نمی‌دهند. با کاهش سطح آب زیرزمینی روند نزولی آبدی چشمه نیز همراه است طوری که می‌توان برای آن رابطه ریاضی را تعریف کرد. جهت رسیدن به این هدف چهار چشمه که دارای دوره خشک شدن کامل بودند، برای ارزیابی دقیق‌تر انتخاب شدند. چهار چشمه انتخابی شامل چشمه‌های یآوری، نیلوفر، تیران و خضر الیاس هستند. محاسبات انجام شده، نتایج حاصل و داده‌های واقعی سطح آب این چشمه‌ها در جدول ۵-۱۰ آورده شده است. سطح آب محاسبه شده، حداقل مجاز سطح آب زیرزمینی نامگذاری شده است (Minimum Allowable Ground Water Level). نتایج حاصله تطبیق قابل توجهی را با داده‌های واقعی رخ داده در سطح آب زیرزمینی اطراف چشمه‌ها و آبدی آن‌ها را نشان می‌دهد.

اعداد به دست آمده با داده‌های سال آبی (۹۶-۹۵) نیز مورد قیاس قرار گرفت و تأیید کننده آن بود. این چشمه‌ها در زمانی که سطح آب زیرزمینی به بالاتر از حداقل مجاز سطح آب زیرزمینی می‌رسد به صورت موقت دارای آبدی هستند و پس از افت مجدد سطح آب زیرزمینی شاهد خشک شدن چشمه هستیم، این روند خشک شدن و داشتن آبدی در چند دوره اتفاق افتاده است.

جدول ۵-۹- روند آبدی چشمه‌های مهم موجود در منطقه در چند دهه اخیر

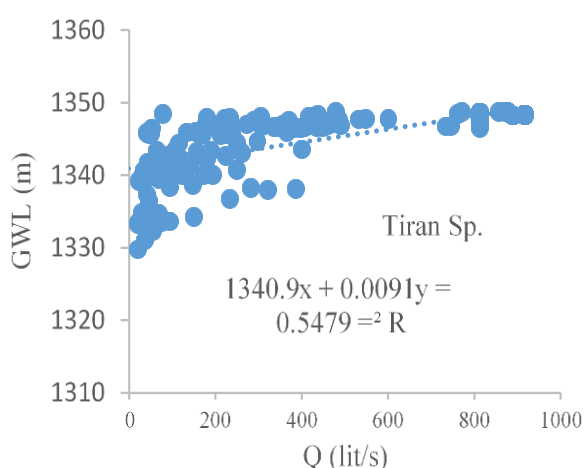
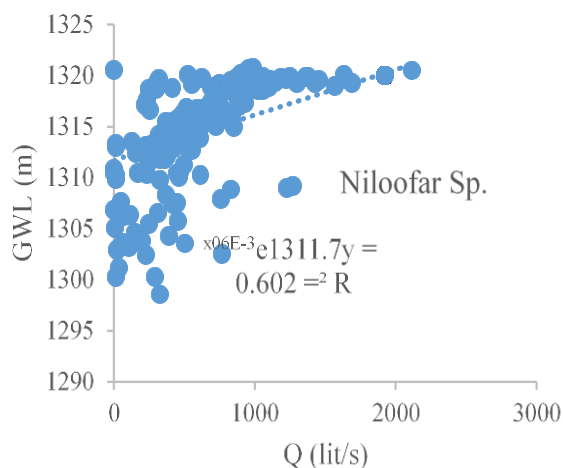
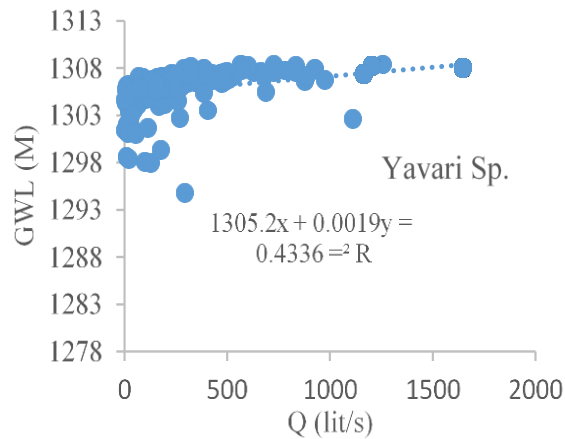
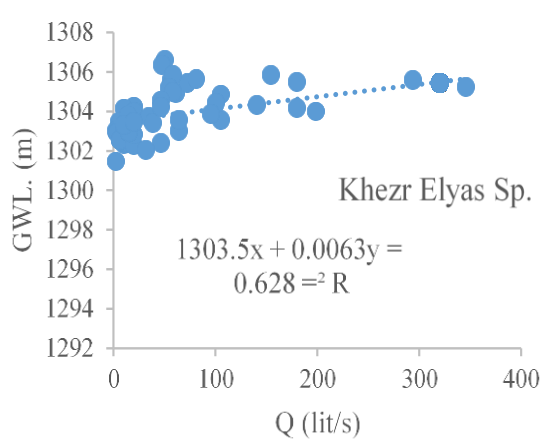
ردیف	محدوده مطالعاتی	نام چشمه	میانگین آبدی در دهه‌های مختلف (لیتر بر ثانیه)				
			۹۰-۹۵	۸۰-۹۰	۷۰-۸۰	۶۰-۷۰	۵۰-۶۰
۱	میانراهان	ارمنی جان	۳/۳۲	۲۶۱/۸۸	۵۸۱/۳۴۲		
۲	کرمانشاه	طاقبستان	۵۶۲/۳۳				
۳		قنبر	۸۱/۱۴	۱۱۸/۱۸			
۴		نیلوفر	۳۳/۸۴	۴۰۰/۰۲	۸۷۸/۰۱	۱۰۲۷/۰۹	۹۸۰/۰۶
۵		یاوری	۰/۴۳	۹۹/۸۷	۳۸۹/۹۲	۴۷۴/۲۱	
۶		خضر الیاس	۰	۳۰/۱۱			
۷		خضر زنده	۸/۷۳	۱۲۰/۴۳	۱۵۲/۹۷	۲۲۰/۶۲	۱۸۱/۳۲
۸		سرابله	۳۳۵/۴۶	۲۶۴/۰۹	۵۷۹/۴۹	۹۸۶/۹۱	۸۶۶/۸۱
۹		ورمنجه	۱۸۰/۷۵	۲۱۲/۴۸	۳۷۰/۱۶	۵۶۹/۰۲	
۱۰		سبز علی هشیلان	۱۹۳/۲۷	۱۳۲/۳۳	۲۹۳/۵۲	۳۰۷/۲۸	۳۰۱/۵۹
۱۱		بی ابر	۱۴۴/۲۳	۸۳/۳۰	۲۴۹/۰۳	۲۲۶/۴۹	
۱۲	ماه‌دشت	سرونو	۲۱/۴۱	۲۷/۷۸	۴۸/۹۶	۴۶/۰۵	۶۱/۴۷
۱۳		چهارزبر	۶/۸۶	۲۸/۵۳	۶۳/۳۱		
۱۴		کاشنبه	۹۴/۵۵	۱۳۰/۸۹	۲۵۷/۶۰	۲۳۸/۹۱	
۱۵	روانسر	میر عزیزی	۰	۱۰/۶۳	۹۷/۴۷	۱۱۳/۶۳	۱۷۳/۶۰
۱۶		بور بور	۰/۰۳	۵/۰۷	۱۱۱/۹۶	۱۱۴/۷۶	
۱۷		قره دانه	۱۲۱/۹۸	۱۳۰/۲۷	۱۹۹/۸۲	۲۰۰/۷۵	۱۸۶/۴۶
۱۸		تیران	۰	۷۴/۶۲	۳۹۲/۸۱	۴۲۰/۶	۴۵۷/۴۳
۱۹		روانسر	۱۵۹۴/۳۰	۱۹۴۰	۲۰۰۸/۶۵	۶۸۲۳/۰۳	۲۶۸۸/۱۰
۲۰		جابری	۶۳/۴۷	۷۷/۰۵	۱۷۹/۴۷	۳۰۲/۸۰	۲۸۳/۳۱
۲۱		کامران	میراحمد	۲۴۲/۷۶	۲۱۰/۰۲	۲۵۰/۰۰	۱۸۹/۹۱
۲۲	شاه حسین		۳۴۷/۷۱	۲۱۵/۹۴	۴۶۲/۷۰	۲۳۰/۸۱	
۲۳	قلعه حسن خان		۳۲/۸۰	۱۰/۸۸	۱۳/۹۲	۵۸/۳۳	
۲۴	قلعه قیسوند		۰	۱۲/۱۸	۱۰۹/۳۳	۱۶۹/۲۵	
۲۵	ماراب		۳۷/۳۶	۵۷/۳۰	۶۶/۷۹	۱۲۶/۱۵	

این محاسبات می‌تواند برای سایر چشمه‌هایی که در خطر خشک شدن قرار دارند انجام شود. در مرحله بعد یافتن چشمه‌هایی است که خطرپذیری بیشتری دارند، برای اینکار پیش‌بینی سطح آب زیرزمینی می‌تواند کمک کننده باشد. بر این اساس سطح آب زیرزمینی برای دشتهای مختلف در نرم افزار SPSS وارد شد و برای سالیان آینده روندیابی صورت گرفت. داده‌های وارد شده به نرم افزار تا سال آبی ۹۵-۹۶ است و از داده‌های سال آبی ۹۶-۹۷ بعنوان صحت‌سنج داده‌های خروجی استفاده شده است. نتایج حاصل تطبیق بسیار خوبی را نشان می‌دهد و چنانچه شرایط به همین صورت ادامه پیدا کند، در

سالیان آینده بسیاری از چشمه‌ها در معرض خشک شدن قرار دارند. میزان تغییر در سطح آب زیر زمینی و حجم سالانه تغییر در ذخیره آبخوان‌های مناطق مورد مطالعه تا ۱۲ سال آینده (۱۴۰۹) در جدول ۵-۱۱ قابل مشاهده است.

جدول ۵-۱۰- محاسبه حداقل سطح آب زیرزمینی پیش از خشک شدن چشمه

چشمه	تیران	نیلوفر	یاوری	خضر الیاس
MAGWL (m a. s. l.)	۱۳۴۰	۱۳۱۱	۱۳۰۵	۱۳۰۳
سطح آب زیرزمینی در زمان خشک شدن	۱۳۳۸	۱۳۰۹	۱۳۰۴	۱۳۰۲
سطح آب زیرزمینی در سال ۹۵-۹۶	۱۳۲۱	۱۳۰۳	۱۳۰۴	۱۲۹۹



شکل ۵-۲۶- رابطه میان سطح آب زیرزمینی و آبدی چشمه

جدول ۵-۱۱- پیش‌بینی نرخ تجمعی تغییرات سالانه در سطح آب زیرزمینی

مدت زمان ارزیابی تا سال	نام محدوده	تغییر سالانه در سطح آب زیرزمینی (m)	تغییرات تجمعی در سطح آب زیرزمینی (m)	مساحت آبرفت موجود در محدوده (km ²)	متوسط ضریب ذخیره	متوسط سالانه تغییر در حجم ذخیره آبخوان (MCM)
۱۴۰۹	میانراهان	-۰/۲	-۶	۱۴۰	۰/۰۲	-۰/۵۶
	کامیاران	۰/۰۸	۲	۳۰۰	۰/۰۲	۰/۴۸
	کرمانشاه	-۰/۷۵	-۲۹	۶۵۰	۰/۰۳۵	-۱۷/۰۶
	روانسر	-۰/۲۴	-۹	۳۵۰	۰/۰۲	-۱/۶۸
	ماهیدشت	-۱/۰۴	-۳۳	۴۶۰	۰/۰۲	-۱۲/۸۸

۵-۲-۳- سایر

علاوه بر برداشت از طریق چاه، فعالیت‌های انسانی تنها به این مورد محدود نشده و عملکردهای دیگر مانند احداث سد و آب‌بند، اجرای پروژه‌های تغذیه مصنوعی و پخش سیلاب، احداث استخر به منظور پمپاژ ثانویه، احداث سد زیرزمینی و ... می‌تواند بر روی جهت حرکت آب زیرزمینی و سطحی و تغذیه آب به منابع آب زیرزمینی اثر بگذارد.

۵-۳- جمع‌بندی عوامل مؤثر بر آبدی

در این تحقیق سعی شد به صورت جامع به اصلی‌ترین عوامل مؤثر بر آبدی چشمه‌های کارستی پرداخته شود. از آنجایی که برخی از عوامل ذکر شده طبیعی و خارج از کنترل هستند، در نهایت به منظور بررسی آبدی چشمه‌ها و همین‌طور برآورد وضعیت چشمه‌ها در آینده عوامل اشاره شده در زیر را به عنوان مرجع و اصلی‌ترین عوامل در نظر گرفته می‌شوند. به صورت خلاصه مهم‌ترین و اثرگذارترین پارامترهای طبیعی دخیل در آبدی چشمه‌ها را می‌توان عامل تغذیه‌ای و به طور مشخص مقدار ریزش‌های جوی، عوامل توسعه کارست و از جمله اپی کارست حوضه آبرگیر چشمه دانست. از طرف دیگر مؤثرترین پارامتر بشری دخیل نیز به برداشت بیش از حد آب زیرزمینی و خارج از توان آبدی سفره آب زیرزمینی است. در ادامه سعی می‌شود ارتباطی دقیق و همزمان این عوامل بر روی چشمه‌ها ارزیابی شود.

در ابتدا میزان کاهش دبی در سال آبی ۹۵-۹۶، و میانگین ۳ سال اخیر با میانگین ۳ سال گذشته

مقایسه می‌شود. از آنجایی که هر چشمه با خودش مقایسه می‌شود از یک تاریخ ثابت استفاده نشده است و هر بازه زمانی که اطلاعات آماربرداری موجود است به عنوان دبی مرجع در نظر گرفته شده است. جهت مقایسه از میانگین‌های ۳ ساله و ۵ ساله به عنوان مرجع استفاده شده است. جدول ۵-۱۲ مقدار تغییرات بارش و دبی رخداده در چشمه‌های مختلف نشان داده شده است.

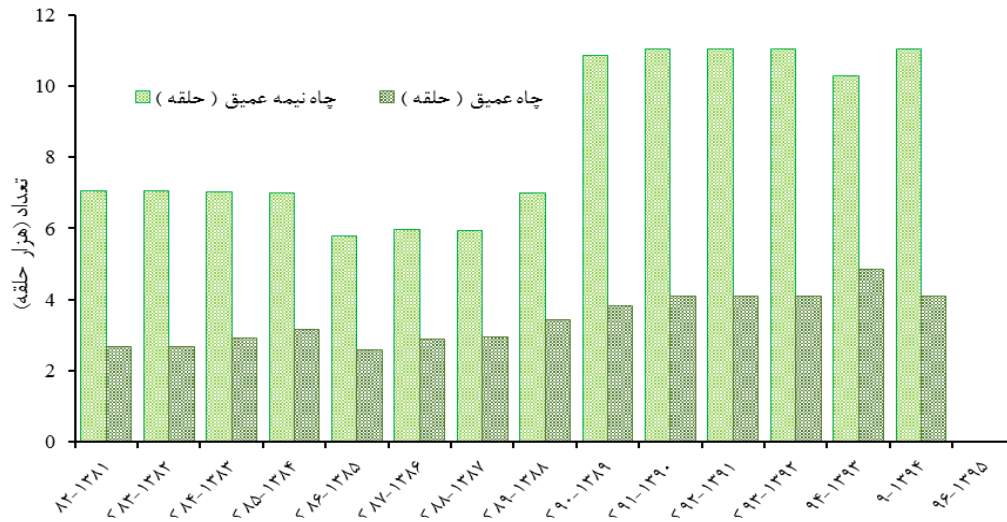
در ایستگاه هرسین و صحنه مقدار بارش افزایش نشان می‌دهد؛ میزان مذکور در ایستگاه هرسین بیشتر از صحنه است. در ایستگاه هرسین حدود ۱۵ درصد و ایستگاه صحنه بین ۵ تا ۹ درصد افزایش بارندگی نشان می‌دهد. داده‌های سایر ایستگاه‌ها شامل ایستگاه روانسر، کرمانشاه و کبوترلانه مبین کاهش مقدار بارندگی هستند. مقدار بارش در سال ۹۶-۹۵ افزایش یافته است و بر همین اساس مقدار ثبت شده آن بیشتر از میانگین ۵ ساله نخست است. داده‌های بارش و دبی در یک سال انتخاب و با هم مقایسه شده است. کاهش دبی در میانگین دبی سه و پنج ساله به وضوح قابل مشاهده است. بیشترین تغییر مربوط به چشمه نیلوفر است که دبی ۵ ساله اخیر در مقایسه با دبی ۵ ساله سال ۱۳۴۸ تا ۱۳۵۲، ۹۹ درصد کاهش یافته است و از دبی میانگین ۱۰۰۰ لیتر در ثانیه به میانگین ۵ ساله، ۵ لیتر در ثانیه رسیده است. چشمه هرسین و کرمانشاه نیز کاهش حدود ۵۰ درصدی نسبت به اوایل دهه پنجاه از خود نشان می‌دهد. دبی چشمه روانسر و کبوترلانه حدود ۲۵ درصد کاهش یافته است.

جدول ۵-۱۲- مقدار تغییرات بارش و دبی در بازه‌های زمانی مختلف

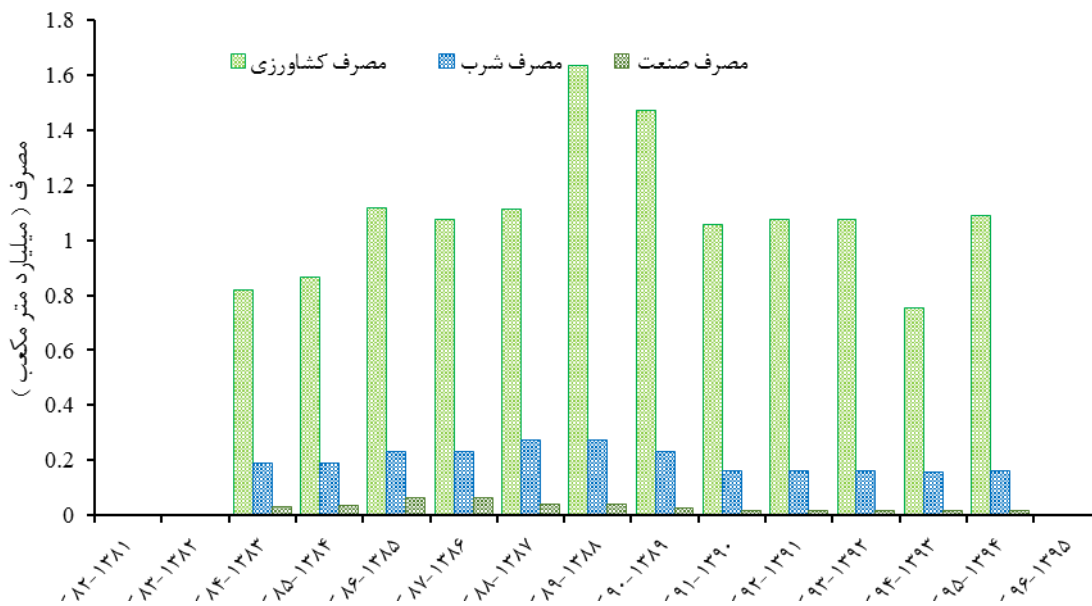
نام چشمه	درصد تغییرات دبی			درصد تغییرات مقدار بارش		
	۵ سال اول و آخر	۳ سال نخست و آخر	سال آخر و ۵ سال نخست	۵ سال اول و آخر	۳ سال نخست و آخر	سال آخر و ۵ سال نخست
روانسر	-۲۶	-۲۷	-۱۳	-۱۸	-۹	-۳
صحنه	-۵	-۱۶	۱۵	۵	۹	۳۵
طاقبستان	-۵۲	-۵۲	-۳۲	-۱۳	-۱۳	۲
کاشنبه	-۵۸	-۵۴	-۳۷	-۹	-۱۰	۶
کبوترلانه	-۲۵	-۲۷	۲	-۸	-۱۴	۶
نیلوفر	-۹۹	-۹۱	-۷۹	-۱۳	-۱۳	۲
هرسین	-۵۰	-۳۳	۳	-۱۵	۱۴	۲۹

در مورد تغییرات رخ داده در تعداد چاه‌های حفر شده در استان و حجم برداشت از آنها متأسفانه

اطلاعات دقیقی در دست نیست. از آنجایی که سال حفر بسیاری از چاه‌ها و نیز موقعیت جغرافیایی آن‌ها مشخص نیست، تنها به داده‌های دهه ۸۰ و ۹۰ اشاره می‌گردد.



شکل ۵-۲۷- نمودار تعداد چاه‌های مجاز عمیق و نیمه عمیق در استان کرمانشاه

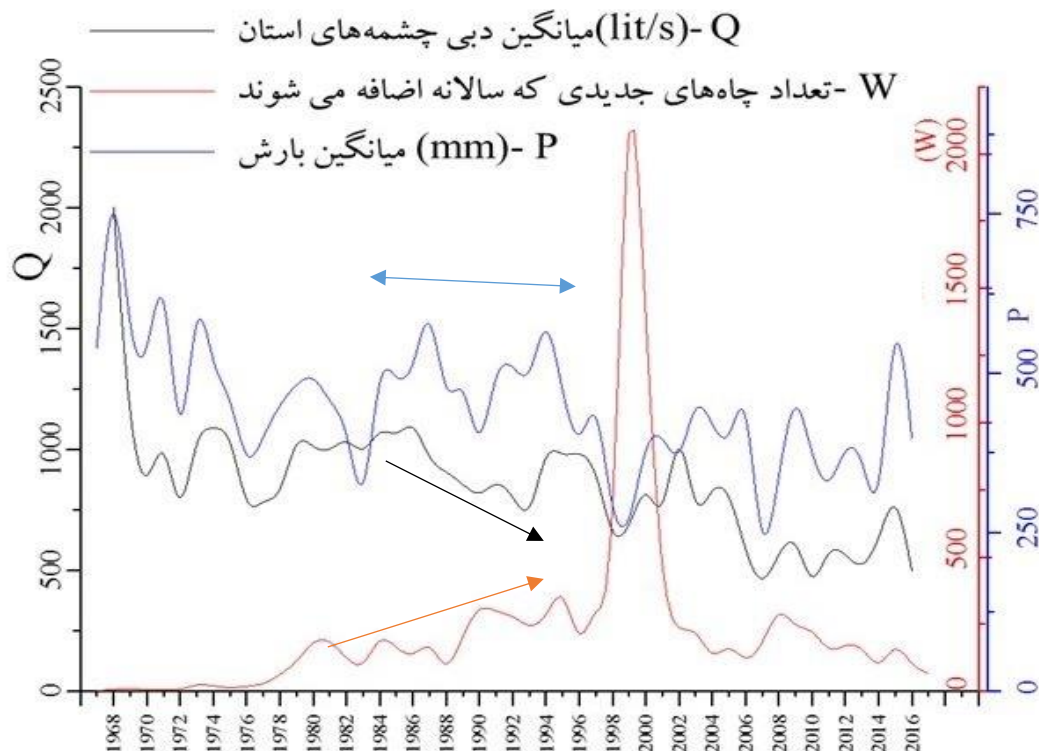


شکل ۵-۲۸- نمودار میزان مصرف چاه‌های مجاز در مصارف مختلف استان کرمانشاه

همانطور که از جدول ۵-۱۳ مشخص است تعداد چاه‌های مجاز استان از ۹۱۹۰ چاه در سال آبی ۸۲-۱۳۸۱ به ۱۴۱۳۰ چاه در سال آبی ۹۵-۱۳۹۴ رسیده است. نکته شایان توجه این است که با وجود افزایش ۳۵ درصدی در تعداد چاه‌های کم عمق اما مقدار برداشت از این چاه‌ها حدود ۱۵ درصد کاهش نشان می‌دهد، که می‌تواند ناشی از کاهش سطح آب و توان آبدی چاه‌های کم عمق در این بازه زمانی باشد. در مورد چاه‌های عمیق نیز تقریباً به همین صورت است. علی‌رغم افزایش چشمگیر تعداد چاه‌ها،

مقدار برداشت از آن‌ها به همان نسبت افزایش نیافته است. در سال آبی ذکر شده نخست اطلاعات چاه‌های مجاز در محدوده‌های کامیاران، بیستون-دینور در دسترس نیست. علاوه بر چاه‌های مجاز، در استان کرمانشاه مانند سایر استان‌های کشور تعداد بسیار زیادی چاه غیر مجاز حفر شده است که از نظر تعداد نزدیک به تعداد چاه‌های مجاز است. با بررسی آمار موجود از خشکسالی‌هایی که در دو دهه اخیر رخ داده است و تعداد مجوزهایی که برای حفر و بهره‌برداری از چاه‌های صادر شده است، رابطه مستقیم مشاهده می‌شود.

بیشترین سطح زیر کشت دیم کشور، در استان کرمانشاه قرار دارد (آمارنامه کشاورزی ۱۳۹۵). شدیدترین خشکسالی که در استان کرمانشاه رخ داده است مربوط نیمه دوم دهه ۸۰ می‌شود، به گونه‌ای که بسیاری از کشاورزان قادر به برداشت گندم نشدند. در دهه ۸۰ طرح‌های تشویقی جهاد کشاورزی برای تولید مضاعف گندم تا رسیدن به خودکفایی مطرح می‌شد، این دو عامل سبب شد که بسیاری از کشاورزان به سمت حفر چاه (مجاز و غیر مجاز) سوق داده شوند. به نحوی که بیشترین مجوز حفر چاه در سال، مختص همین بازه زمانی است (شکل ۵-۲۹).



شکل ۵-۲۹- رابطه میزان بارش، دبی چشمه‌ها و مجوزهای حفر چاه در استان کرمانشاه

جدول ۵-۵۱۳- آمار چاه‌های مجاز استان کرمانشاه در دو دهه اخیر

چاه عمیق		چاه نیمه عمیق		سال آمار	چاه عمیق		چاه نیمه عمیق		سال آمار	وسعت (km ²)		نام محدوده مطالعاتی
تخلیه (MCM)	تعداد (حلقه)	تخلیه (MCM)	تعداد (حلقه)		تخلیه (MCM)	تعداد (حلقه)	تخلیه (MCM)	تعداد (حلقه)		دشت	محدوده مطالعاتی	
۰/۱۲۲	۱	۳/۳۶۸	۱۰۴	۱۳۹۴-۹۵	۰/۱۲۲	۱	۲/۹۹۴	۵۵	۱۳۸۱-۸۲	۲۱	۸۷۲	دیره
۳/۷۰۸	۱۸	۲۰/۴۷۱	۲۷۵		۳/۰۱۵	۱۲	۱۸/۴۳۴	۱۹۵		۱۰۷	۶۴۳	پل ذهاب
۰/۰۰۶	۱	۴/۰۸۸	۱۱۴		۰/۰۰۶	۱	۵/۷۲۴	۵۳		۵۲	۱۳۶۸	چرداول
۱۷/۵۰۰	۸۵	۱۹/۸۴۹	۲۳۳		۶/۳۶۶	۳۴	۱۴/۰۶۵	۱۶۸		۷۱	۶۸۶	هرسم
۱۹/۳۸۰	۱۰۷	۱۳/۰۴۲	۲۵۵		۱۲/۰۸۳	۴۷	۱۴/۶۶۴	۱۶۴		۱۹۰	۶۸۹	حسن آباد - قلعه شیان
۲۷/۴۴۰	۲۰۲	۱۲/۳۰۳	۲۹۲		۳۰/۶۸۲	۱۲۴	۲۶/۵۵۶	۲۸۸		۲۶۰	۸۵۵	اسلام آباد
۲/۶۴۴	۱۹	۰/۸۹۱	۳۱		۲/۱۸۱	۱۴	۱۶/۷۰۳	۳۷		۱۱۰	۲۲۷	کرند
۱۵۲/۵۷۲	۱۱۳۰	۸۲/۲۷۸	۲۹۵۵		۲۱۱/۲۰۴	۸۳۴	۱۱۴/۶۲۱	۱۵۱۳		۷۰۰	۱۹۶۴	کرمانشاه
۱۰/۳۰۶	۹۶	۱/۹۴۷	۳۱۴							۱۸۹	۴۹۸	کامیاران
۱۰۲/۶۶۴	۷۹۷	۱۴/۰۰۸	۳۹۴		۹۹/۱۵۰	۶۲۹	۳۵/۸۸۰	۴۹۳		۴۵۷	۱۲۶۲	روانسر - سنجابی
۵۴/۳۱۶	۶۴۲	۳۹/۵۱۵	۹۵۱		۵۳/۷۹۴	۲۸۹	۹۰/۴۸۳	۱۱۱۸		۵۰۸	۱۵۰۷	ماهیدشت
۶/۰۲۱	۵۹	۶۹/۷۰۶	۱۱۶۵		۰/۰۹۰	۳	۱۲/۷۷۹	۱۲۵		۷۱	۶۸۶	هرسین
۲/۳۰۱	۱۸	۲۹/۳۸۴	۳۵۸							۲۵۱	۸۷۵	بیستون - دیناور
۲۴/۸۵۴	۱۴۹	۴۳/۷۵۲	۷۵۲		۱۵/۸۳۱	۶۵	۲۰/۲۴۴	۳۶۱		۸۳	۱۱۷۳	میان راهان
۰/۶۹۱	۲۵	۶/۲۱۴	۴۷۷		۰/۶۹۱	۲۵	۴۳/۳۹۰	۸۰۲		۲۳۸	۵۴۱	سنقر
۹/۷۱۴	۴۷	۳۵/۵۶۰	۶۰۷		۲۷/۱۹۶	۱۱۸	۶۴/۳۲۲	۸۶۳		۳۳۸	۷۰۵	صحنه
۸۳/۰۸۵	۵۸۷	۲۰/۳۴۶	۵۰۲		۵۱/۹۱۷	۴۰۴	۲۱/۱۱۱	۳۵۵		۲۰۰	۱۰۸۷	کنگاور
۵۲۳/۴۲۹	۳۹۸۹	۴۲۴/۷۱۷	۱۰۱۵۳	۵۱۴/۳۲۷	۲۶۰۰	۵۰۱/۹۶۹	۶۵۹۰	۳۴۰۶	۱۴۲۷۵	مجموع		

همانطور که در شکل ۵-۲۹ مشاهده می‌شود، با وجود کاهش بارش در سال‌های ۱۹۸۲، دبی چشمه‌ها کاهش چشمگیری از خود نشان نمی‌دهند و صرفاً کاهش بارش در یک سال سبب نشده است دبی چشمه‌ها کاهش می‌شوند، با این حال در مجموع بارش و دبی چشمه‌ها همخوانی بسیار خوبی را نشان می‌دهند. اما پس از این خشکسالی که به نام خشکسالی اول ذکر خواهد شد، تعداد چاه‌های استان رو به افزایش می‌نهد، این موضوع می‌تواند مهمترین دلیل کاهش دبی چشمه‌ها با وجود افزایش بارش باشد. براساس داده‌های موجود همزمان با افزایش تعداد چاه‌ها از یک سو و کاهش بارش از سوی دیگر در سالهای ۱۹۹۸-۱۹۹۷ سیر کاهشی دبی چشمه‌های کارستی استان شدت بیشتری گرفته است. به منظور جمع‌بندی عوامل تأثیرگذار بر آبدبی چشمه‌های کارستی استان کرمانشاه، از مهمترین آن‌ها که شامل برداشت از آبخوان‌ها، مقدار بارش و خصوصیات حوضه آبرگیر و آبخوان کارستی است، استفاده می‌شود. همانگونه که در بخش مطالعات پیشین اشاره شد، در خصوص برآورد دبی چشمه‌ها تاکنون چند پژوهش منتشر شده است که عمدتاً بر روی عوامل طبیعی متمرکز هستند، از جمله این موارد می‌توان به رابطه‌ای که دیوداتو و همکاران (Diodato et. al. 2014) اشاره کرد که دو عامل هواشناسی (HMF) و عوامل اقلیمی (ClimF) را به عنوان مهم‌ترین فاکتورها در پیش‌بینی دبی چشمه‌ها در نظر گرفته‌اند و بر این اساس معادله‌های زیر را معرفی نموده‌اند:

$$Q_t = f(HMF, ClimF)_{t,m,y} \quad \text{معادله ۵-۲}$$

سپا و همکاران (Sappa et. al. 2019) معادله زیر را معرفی نمود:

$$Q_0 = k \left[\sum_{i=-n}^0 p_i \cdot C_{p_{iQ}} \right] \quad \text{معادله ۵-۳}$$

جایی که Q_0 میزان دبی در ماه مشخص را نشان می‌دهد (بر حسب l/s)، k یک فاکتور کاهشی از بارش تا دبی چشمه است که براساس هر چشمه و حوضه آبرگیر آن تعیین می‌شود. p_i بارش ماهانه به میلی‌متر است و $C_{p_{iQ}}$ ضریبی است که رابطه میان سری زمانی دبی و بارش در زمان تأخیر برای i امین تا n امین

ماه تا زمان صفر محاسبه می‌شود. مقدار این عدد بین صفر تا ۱ متغیر است. همانگونه که در معادله‌های پیشین قابل مشاهده است اثر فعالیت‌های بشری بر روی دبی چشمه‌ها لحاظ نشده است. به منظور ارزیابی دقیق و تخمین دبی چشمه‌ها لازم است مهمترین عوامل تأثیرگذار بر روی دبی چشمه مد نظر قرار گیرد. با در نظر گرفتن مهمترین عوامل تأثیرگذار و به صورت اولیه معادله می‌تواند به صورت زیر نوشته شود:

دبی تخمینی/دبی مرجع = ویژگی‌های اقلیمی + خصوصیات حوضه آبرگیر + تأثیر فعالیت‌های انسانی

مفهوم ریاضی رابطه فوق به صورت زیر می‌تواند نوشته شود:

$$Q_i = C_1 \frac{P_i}{P_r} + C_2 K_d + C_3 H_i \quad \text{معادله ۴-۵}$$

که در آن، Q_i دبی تخمینی است، C_1 ضریب مربوط به اقلیم، C_2 مربوط به خصوصیات آبخوان و حوضه آبرگیر چشمه و C_3 ضریبی است که تاثیرات فعالیت‌های انسانی، به ویژه برداشت از خود آبخوان و یا آبخوان‌های آبرفتی مجاور حوضه آبرگیر چشمه کارستی را نشان می‌دهد. در این رابطه سعی می‌شود دبی سالانه چشمه برآورد شود، به این معنی که برای مثال چنانچه میزان برداشت سالانه از آبخوان‌های اطراف چشمه و میزان بارش سالانه پیش‌بینی شود، میانگین دبی سالانه چشمه برآورد گردد.

به دلیل فقدان اطلاعات کافی بلندمدت در تمامی حوضه چشمه‌ها، سعی می‌شود یک سال به عنوان مبنا در نظر گرفته شود. خصوصیات اقلیمی که در این معادله در نظر گرفته خواهد شد، مقدار و شدت بارش خواهد بود. در بخش خصوصیات حوضه آبرگیر درجه توسعه کارست، اندازه و شکل حوضه آبرگیر ملاک می‌گیرد و در نهایت فعالیت‌های بشری که بر روی تغذیه و یا تخلیه چشمه‌ها اثر دارد بررسی خواهد شد. براساس مطالب ذکر شده، معادله به سه بخش تقسیم می‌گردد و هر بخش به صورت مجزا شرح و سپس به صورت مجموع آورده می‌شود.

در بخش نخست که دو معادله پیشین نیز تا حدودی به آن اشاره شده است و تنها مقدار بارش در معادله دخیل است در این فرمول نه مقدار بارش کل، بلکه بارش مؤثر که پیش از این به آن

اشاره شد، دخیل می‌گردد. گسترده‌ترین کاربرد شاخص آماری همبستگی دو متغیری، ضریب همبستگی گشتاوری پیرسون است که به طور معمول همبستگی پیرسون نامیده می‌شود. ضریب پیرسون نشان می‌دهد که تا چه اندازه بین متغیرهای کمی رابطه خطی وجود دارد (Meyers et. al. 2012، ترجمه حسن آبادی و همکاران ۱۳۹۹). یکی از تحلیل‌های آماری بسیار مهم نرم افزار spss تحلیل همبستگی پیرسون می‌باشد که جهت بررسی ارتباط دو متغیر استفاده می‌شود و آن را می‌توان پیشامد برخی تحلیل‌های دیگر مانند تحلیل رگرسیون محسوب نمود زیرا قبل از انجام تحلیل رگرسیون معمولاً ماتریس همبستگی بین متغیرها محاسبه می‌شود تا مشخص گردد آیا بین متغیرها اصلاً رابطه‌ای وجود دارد یا خیر. در واقع ضریب پیرسون (r_{XY}) معیاری از همبستگی خطی بین دو متغیر X و Y است که به صورت کوواریانس دو متغیر تقسیم بر انحراف معیار آنها بیان می‌شود ($r_{XY} = \sigma_{XY} / \sigma_X \sigma_Y$). بعد از تعیین معنی‌داری و جهت رابطه، باید شدت رابطه ارزیابی شود. برای تفسیر شدت رابطه دو متغیر، تقسیم‌بندی‌های گوناگونی ارائه شده است. تقسیم‌بندی زیر یکی از آن‌هاست (جدول ۵-۱۴).

جدول ۵-۱۴- تفسیر شدت رابطه در همبستگی پیرسون (Miller et. al. 2012)

تفسیر	شدت رابطه
رابطه بسیار قوی	۰.۸ تا ۱
رابطه قوی	۰.۶ تا ۰.۸
رابطه متوسط	۰.۴ تا ۰.۶
رابطه کم (یا ضعیف)	۰.۲ تا ۰.۴
فقدان رابطه یا رابطه ناچیز	صفر تا ۰.۲

متغیرهای بارش مؤثر (Pp) مربوط به رخدادهایی است که بر روی مقادیر تخلیه چشمه اثر می‌گذارد (رجوع شود به شکل ۵-۱۶). مقدار ضریب تأثیر این فاکتور، با ارزیابی ضریب همبستگی متقابل (ضریب پیرسون) بین سری زمانی دبی چشمه‌ها به صورت ماهانه و سری زمانی بارندگی (ماهانه) ارزیابی می‌شود، بنابراین ضریب ذکر شده برای چشمه‌های مختلف متفاوت خواهد بود. این عدد در زمان‌های مختلف تأخیر ماهانه، مقدار مثبتی است ($C_{PpQ} > 0$ یا C_1).

ارتباط مستقیم میان بارش و دبی چشمه‌های کارستی کاملاً مشخص است، اما بررسی‌های انجام شده

بر روی ضریب پیرسون محاسبه شده در برخی چشمه‌ها همبستگی منفی و یا ضعیف را نشان می‌دهد. در ادامه بررسی ضریب پیرسون بارش و دبی چشمه‌ها ذکر خواهد شد (جدول ۵-۱۵ تا ۵-۲۲). قوی‌ترین همبستگی در چشمه کاشنبه ملاحظه می‌گردد. به این معنی که با هر افزایش بارندگی، افزایش مقدار دبی و با هر کاهش، دبی کمتری ثبت شده است. بررسی صورت گرفته در آمار ماهانه ۳۱ ساله بارش و دبی چشمه انجام شده است (جدول ۵-۱۵). پس از چشمه کاشنبه، دربند صحنه بالاترین ضریب همبستگی را نشان می‌دهد (جدول ۵-۱۷).

جدول ۵-۱۵- محاسبه ضریب همبستگی پیرسون بین بارش مؤثر و دبی چشمه کاشنبه- دوره ۳۱ ساله

		Q	Pe
Q	Pearson Correlation	1	0.98
	Sig. (2-tailed)		0.041
	N	31	31
Pe	Pearson Correlation	0.98	1
	Sig. (2-tailed)	0.041	
	N	31	31

جدول ۵-۱۶- محاسبه ضریب همبستگی پیرسون بین بارش مؤثر و دبی چشمه کبوترلانه- دوره ۳۱ ساله

		Q	Pe
Q	Pearson Correlation	1	0.379
	Sig. (2-tailed)		0.036
	N	31	31
Pe	Pearson Correlation	0.379	1
	Sig. (2-tailed)	0.036	
	N	31	31

جدول ۵-۱۷- محاسبه ضریب همبستگی پیرسون بین بارش مؤثر و دبی چشمه دربند صحنه- دوره ۲۱ ساله

		Q	Pe
Q	Pearson Correlation	1	0.84
	Sig. (2-tailed)		0.05
	N	21	21
Pe	Pearson Correlation	0.84	1
	Sig. (2-tailed)	0.05	
	N	21	21

رابطه بین بارش در حوضه آبخیز چشمه‌های روانسر و هرسین و دبی این چشمه‌ها، به صورت همبستگی متوسطی نشان داده شده است (جدول‌های ۵-۱۸ و ۵-۲۰) و ضریب پیرسون در چشمه‌های نیلوفر و کبوترلانه بیانگر همبستگی ضعیف است (جداول ۵-۱۹ و ۵-۱۶).

جدول ۵-۱۸- محاسبه ضریب همبستگی پیرسون بین بارش مؤثر و دبی چشمه روانسر - دوره ۱۵ ساله

		Q	Pe
Q	Pearson Correlation	1	0.549
	Sig. (2-tailed)		0.034
	N	15	15
Pe	Pearson Correlation	0.549	1
	Sig. (2-tailed)	0.034	
	N	15	15

جدول ۵-۱۹- محاسبه ضریب همبستگی پیرسون بین بارش مؤثر و دبی چشمه نیلوفر - دوره ۴۶ ساله

		Q	Pe
Q	Pearson Correlation	1	0.302
	Sig. (2-tailed)		0.042
	N	46	46
Pe	Pearson Correlation	0.302	1
	Sig. (2-tailed)	0.042	
	N	46	46

جدول ۵-۲۰- محاسبه ضریب همبستگی پیرسون بین بارش مؤثر و دبی چشمه هرسین - دوره ۳۹ ساله

		Q	Pe
Q	Pearson Correlation	1	0.422
	Sig. (2-tailed)		0.007
	N	39	39
Pe	Pearson Correlation	0.422	1
	Sig. (2-tailed)	0.007	
	N	39	39

آمار بلند مدت و مستمر دبی چشمه طاق‌بستان در دسترس نیست و در دو بازه زمانی سال‌های ۶۹-۱۳۵۷ و سال ۱۳۸۹ به بعد اندازه‌گیری مستمر وجود دارد. برای هر دو بازه زمانی به صورت مجزا ضرایب پیرسون محاسبه شد. همانگونه که از جدول‌های ۵-۲۱ و ۵-۲۲ مشخص است در بازه زمانی نخست (اواخر دهه ۵۰ و دهه ۶۰) همبستگی تقریباً قوی بین بارش و دبی چشمه ملاحظه می‌گردد اما در دهه اخیر داده‌ها به نحوی است که رابطه معناداری بین بارش و دبی مشاهده نمی‌شود و حتی با فرض معنادار بودن رابطه، مقدار منفی است. دلیل این امر را می‌توان در بهم ریختگی رابطه دبی-بارش به دلیل دخالت‌های انسانی دانست.

جدول ۵-۲۱- محاسبه ضریب همبستگی پیرسون بین بارش مؤثر و دبی چشمه طاق‌بستان - دوره ۱۳ ساله نخست

		Q	Pe
Q	Pearson Correlation	1	0.556
	Sig. (2-tailed)		0.048
	N	13	13
Pe	Pearson Correlation	0.556	1
	Sig. (2-tailed)	0.048	
	N	13	13

جدول ۵-۲۲- محاسبه ضریب همبستگی پیرسون بین بارش مؤثر و دبی چشمه طاق‌بستان - دوره ۶ ساله

		Q	Pe
Q	Pearson Correlation	1	-0.296
	Sig. (2-tailed)		0.569
	N	6	6
Pe	Pearson Correlation	-0.296	1
	Sig. (2-tailed)	0.569	
	N	6	6

پس از ارزیابی رابطه همبستگی داده‌های دبی و بارش دهه ۵۰ و ۶۰ در چشمه‌های نیلوفر و کبوترلانه ضریب همبستگی بالاتری را نشان می‌دهد. این موضوع مبین این مطلب است در دهه‌های اخیر عوامل

تأثیرگذار به نحوی عمل کرده‌اند که همبستگی بسیار قوی پاسخ دبی چشمه‌ها به بارندگی را تحت تأثیر قرار داده است. از طرفی همبستگی بسیار قوی دبی چشمه کاشنبه و بارش نشان می‌دهد، تأثیر عملکرد انسانی در این چشمه اندک است، موقعیت جغرافیایی چشمه مذکور نیز مبین این مطلب است. عامل مؤثر دیگر مربوط به خصوصیات و ویژگی‌های حوضه آبرگیر چشمه‌ها است. برخلاف بارش که در ماه و سال‌های مختلف، مقادیر متفاوتی دارد و اثر آن بر روی دبی متغیر است، این فاکتور بدون تغییر است و مقادیر آن وابسته به زمان نیست. تنها موردی که می‌تواند نسبت به متغیرهای محیطی اندکی متفاوت باشد، اندازه حوضه آبرگیر است که در سال‌های ترسالی و خشکسالی می‌تواند یکسان نباشد. در این بخش فاکتور شکل، اندازه و درجه توسعه کارست در نظر گرفته می‌شود. به منظور بررسی شکل حوضه آبرگیر چشمه‌های کارستی از فاکتور شکل که برای سایر حوضه‌ها تعریف شده است، استفاده می‌شود.

جدول ۵-۲۳- امتیازدهی به فاکتورهای شکل و اندازه حوضه آبرگیر چشمه‌ها

فاکتور اندازه		فاکتور شکل	
امتیاز	اندازه - km ²	امتیاز	ضریب
0.15	20>	0.15	1-1.15
0.35	20-40	0.35	1.15-1.5
0.55	40-50	0.55	1.5-2.5
0.85	50-100	0.85	2.5-3.5
1	100<	1	>3.5

جدول ۵-۲۴- امتیازدهی به فاکتورهای توسعه کارست حوضه آبرگیر چشمه‌ها

امتیاز	بررسی فاکتورهای مهم در توسعه کارست		امتیاز	بررسی فاکتورهای مهم در توسعه کارست	
	عوارض کارستی	وضعیت اپی کارست		عوارض کارستی	وضعیت اپی کارست
۰/۶	بیشتر از ۵۰٪	۵۰-۷۵٪	۱	بیشتر از ۵۰٪	کمتر از ۲۵٪
۰/۵	کمتر از ۵۰٪	۵۰-۷۵٪	۰/۹	کمتر از ۵۰٪	کمتر از ۲۵٪
۰/۴۵	بیشتر از ۵۰٪	بیشتر از ۷۵٪	۰/۸	بیشتر از ۵۰٪	۲۵-۵۰٪
۰/۴	کمتر از ۵۰٪	بیشتر از ۷۵٪	۰/۷	کمتر از ۵۰٪	۲۵-۵۰٪

اثر خصوصیات مربوط به آبخوان را می‌توان به صورت زیر نمایش داد:

$$K_2 = \frac{(f_s + f_A + f_k)}{3}$$

معادله ۵-۵

عدم همخوانی مقادیر و شدت بارش با دبی خروجی چشمه‌ها و از طرفی کم شدن سالانه آبدی اکثر چشمه‌های مهم و کارستی استان کرمانشاه، بیان‌کننده اهمیت غیر قابل چشمپوشی عامل دیگری است که حتی واکنش ثابت شده دبی- بارش را تحت شعاع قرار داده است. این عامل تاکنون در روابطی که برای برآورد دبی چشمه‌های کارستی پیشنهاد شده است، به کار نرفته است. ارزیابی اثر این روش را با در نظر گرفتن خصوصیات که پیش از این در انتخاب چشمه‌های معرف، ذکر شد، آغاز گردید. ضریب همبستگی پیرسون بین دبی چشمه‌ها و بارش ثبت شده در طولانی مدت نیز، این موضوع را تأیید نمود. به نحوی که بالاترین ضریب همبستگی مربوط به چشمه و بازه‌های زمانی است که دخالت‌های انسانی به شدت دو دهه گذشته نبوده است.

مهمترین پارامتر دخالت بشری ناشی از برداشت از منابع آب زیرزمینی از طریق چاه‌هاست. این اثر را می‌توان با حجم آبی که سالانه به آبخوان‌ها تغذیه می‌شوند مورد مقایسه قرار داد. چنانچه حجم پمپاژ به حجم آب تغذیه شده نزدیک باشد، اثر فعالیت‌های انسانی کم خواهد بود و برعکس.

تقریباً تمامی چاه‌های کشاورزی استان در آبرفت حفر شده است، منظور از حجم تغذیه شامل تغذیه‌ایی است که می‌تواند توسط ارتفاعات آهکی اطراف دشت‌ها تأمین شود. به این منظور نیاز به داده‌های بافت خاک در منطقه، ضریب ذخیره، قابلیت انتقال، برآورد تغذیه صورت گرفته به آهک‌ها به صورت مستقیم و زیر سطحی است. نقشه‌های ضرایب ذخیره و قابلیت انتقال در مناطق مورد مطالعه از شرکت آب منطقه‌ای کرمانشاه اخذ گردیده است و ملاک عمل قرار خواهد گرفت.

ارزیابی چشمه هرسین

رابطه دبی-بارش چشمه هرسین

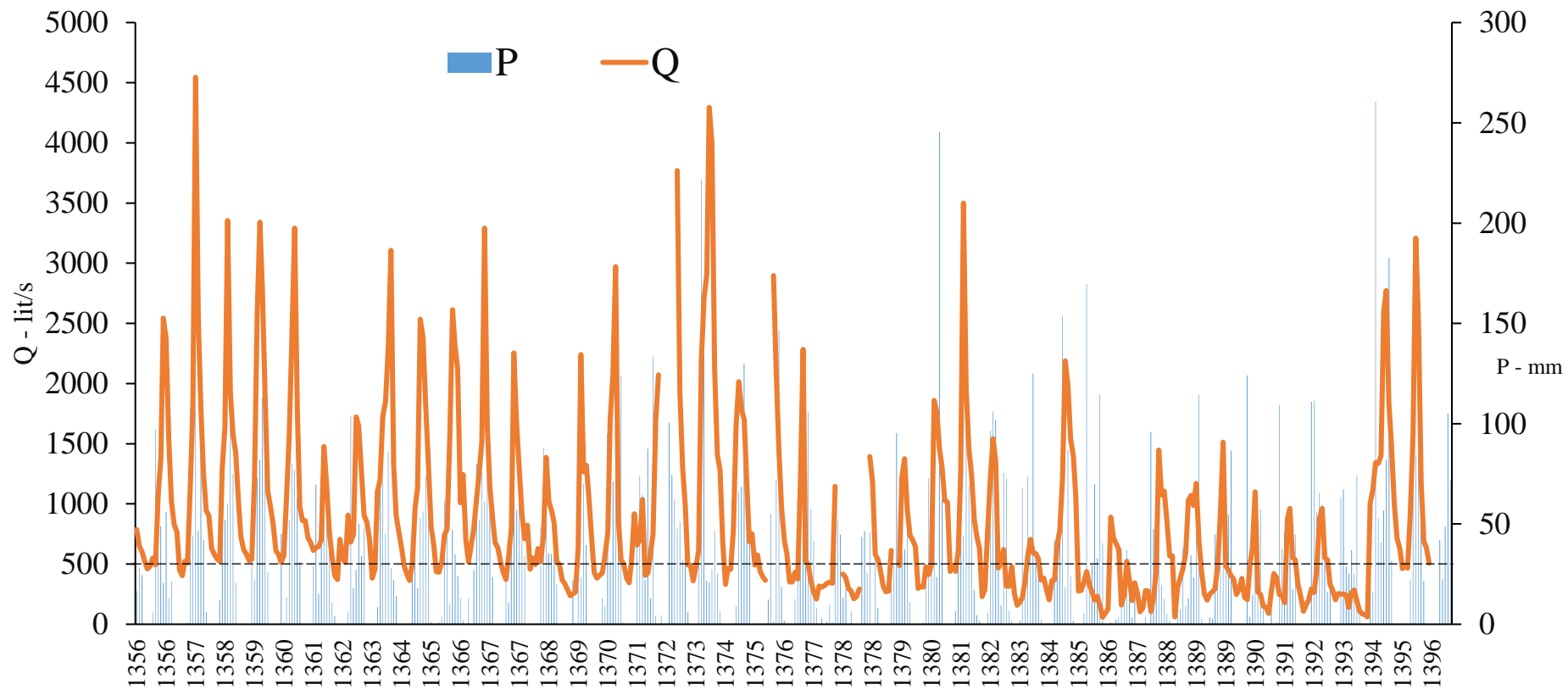
به دلیل اینکه چشمه هرسین دارای آمار بلند مدت بارش در منطقه و دبی چشمه است (جدول‌های ۲۵-۵ و ۲۶-۵)، معادله مطرح شده ابتدا با استفاده از داده‌های این چشمه راستی آزمایی خواهد شد و در ادامه سایر چشمه‌ها به منظور جلوگیری از تکرار، با اختصار نتایج و جداول آورده خواهد شد.

جدول ۵-۲۵- دبی ماهانه چشمه هر سین

Date	Q (lit/s)												
	Farvardin	Ordibehesht	Khordad	Tir	Mordad	Shahrivar	Mehr	Aban	Azar	Day	Bahman	Sfand	Average
1357	2544	2382	1550	1019	830	769	448	404	524	510	1115	1811	1158
1358	4545	2527	1766	1261	945	902	631	580	543	524	1290	1632	1428
1359	3356	1935	1577	1423	1018	727	620	585	530	539	1198	2580	1340
1360	3342	2796	1913	1104	977	827	612	579	513	569	1048	1570	1320
1361	2389	3292	1778	978	862	862	719	678	613	636	644	696	1178
1362	1476	1156	764	556	403	373	250	350	513	609	683	749	656
1363	1723	1649	1278	904	851	706	383	457	1103	1201	1732	1849	1153
1364	2299	3107	1322	907	767	636	483	414	362	510	970	1131	1075
1365	2534	2388	1827	1328	809	654	437	432	509	740	792	1567	1168
1366	2613	2318	2114	1800	1244	698	516	663	789	1033	1253	1518	1379
1367	3292	1642	1128	872	677	636	518	431	371	573	801	2254	1099
1368	1666	1288	909	850	823	457	400	495	521	628	730	1387	846
1369	1022	944	847	523	495	370	336	286	236	253	269	635	518
1370	2242	1268	1322	1039	734	430	383	405	427	575	753	1700	939
1371	2071	2971	880	535	500	385	344	540	618	659	698	1038	936
1372	2100	2500	1060	758	495	471							
1373	3770	1920	1303	978	493	490	361	481	612	2200	2710	2905	1518
1374	4294	3999	2115	1410	1279	675	332	463	455	780	1648	2015	1622
1375	1783	1700	1200	685	750	492	574	437	393	366			
1376	2897	2083	1434	953	694	589	352	351	430	376	1180	2283	1135
1377	529	494	357	269	209	317	310	320	340	350	341	1145	415
1378			417	388	297	276	213	230	294				
1379	1394	1181	580	537	435	318	270	275	613			487	
1380	1224	1375	950	738	700	644	297	313	310	478	412	497	661
1381	1860	1757	1450	1310	1028	1014	439	490	440	614	1273	3500	1264
1382	1958	1461	1238	867	719	634	231	289	772	1212	1542	1354	1023
1383	467	514	621	317	316	479	252	158	180	222	357	570	371
1384	706	590	587	543	368	384	288	204	362	370	656	782	486
1385	1211	2189	1983	1538	1400	1063	274	281	350	438	331	265	943
1386	200	232	153	58	93	129.5	891	718	674	624	159	241	347
1387	523	358	197	344	262	104	135	280	274	106	211	428	268
1388	1448	1073	1108	853	568	569	60	309	384	463	589	1030	704
1389	1070	987	1171	690	430	250	200	250	268	293	487	924	585
1390	1512	483	448	403	375	248	286	382	224	206	500	630	474
1391	1100	269	248	151	140	90	260	421	388	247	238	178	310
1392	876	963	553	535	331	230	108	163	200	292	263	450	413
1393	876	963	553	535	331	282	203	255	250	251	244	139	406
1394	262	285	195	111	85	79	61	1004	1121	1344	1336	1402	607
1395	2602	2774	1831	1468	996	715	629	462	492	467	929	1575	1245
1396	3208	2499	1167	686	637	507							

جدول ۵-۲۶- بارش ماهانه ثبت شده در ایستگاه هرسین

Date	P (mm)												Sum
	Farvardin	Ordibehesht	Khordad	Tir	Mordad	Shahrivar	Mehr	Aban	Azar	Day	Bahman	Sfand	
1356	16.5	28	24.5	0	0	0	6	97	78	49	20.5	56	375.5
1357	13	21.5	0	0	0	0	0	1	108	44	107	46.5	341
1358	116.5	42	6	0	0	0	0	12	66	52	60	115	469.5
1359	75	20.5	0	0	0	0	0	43	22	73	82	113	428.5
1360	127	26	0	0	0	0	45	1	13.5	52	80	77	421.5
1361	63	31	0	0	0	0	29.1	69.7	15.1	71	66	68	412.9
1362	41	11	4	0	0	0	0	6	104	18	27	50	261
1363	34	48	0	0	0	0	8.5	70	71	45	86	28	390.5
1364	22	14	0	0	0	0	0	29	50	18	53	56	242
1365	74	79	1	0	0	1	4	62	58	10	47	35	371
1366	24	13	2	0	13	0	27	80	52	76	61	99	447
1367	57	23.5	0	0	0	0	31	11	39	90	57	68	376.5
1368	45	34.1	0	0	0	0	0.5	48.5	87.7	62.1	35.5	35	348.4
1369	40.5	20	0	0	0	0	0	22	0.5	51.3	23.5	70	227.8
1370	39.5	0.3	0	0	0	0	12.8	9	95	31	71	80	338.6
1371	44.5	123.5	1	0	0	0	0	46.7	74	64.6	22	87.5	463.8
1372	13	133.5	4	0	4.5	0	0	100.5	74.4	62.3	47.7	51.3	491.2
1373	31.9	53.2	6	0	0	0	55.7	221.9	141.8	21.6	20.9	27.5	580.5
1374	46.5	25.1	6.5	0	0	0	0	0.3	9.1	65.9	68.4	129.9	351.7
1375	73.4	44.3	0	0	0	0	0	0.3	12.3	54.9	1.4	72.2	258.8
1376	146.7	18.6	1.7	0	0	0	12.5	62.9	59.3	58.7	96	105.9	562.3
1377	57.2	41.4	7.9	0	2.8	0	1.4	9.7	1.2	52.2	51.7	44.7	270.2
1378	13.3	17.3	0	6.3	0	0	0	43.6	46.6	25.6	45.8	0	198.5
1379	36.7	8.1	0	0	0	0	31.5	30.1	95.3	31.5	34.7	37.4	305.3
1380	64.7	11.2	0	0	0	0	0.7	26.5	72.8	68.1	51.4	23.6	319
1381	245.5	62.4	0	0	0	0	6.5	59.5	45.5	44.1	107.1	68.6	639.2
1382	69	17.1	4.5	1.8	0	0	5.7	96.6	106.2	101.7	50.2	9.5	462.3
1383	75.6	72.5	6.5	1.8	0	0	1.7	67.9	23.5	73.7	38	125	486.2
1384	36.1	31.3	2.3	0	0	0	0	41.7	24.4	62.6	153.6	18.5	370.5
1385	87	24.1	1.7	0	0	0	5.6	169.7	20.7	29.5	69.9	33	441.2
1386	114.6	40.3	0	0	0.8	0	2.3	3.5	37	21	36.9	23.7	280.1
1387	3.4	14.2	0	0.7	0	3.6	0	95.9	47.6	18.1	40.8	19.6	243.9
1388	12.7	5.1	1.5	0	0	7.9	7.6	38.2	9	12.8	34.4	23.3	152.5
1389	60.1	114.4	2.7	0	0	3.5	2.9	44.8	24.5	29.8	57.3	29.2	369.2
1390	54.8	86.6	0	0	0	0	0	124.1	3.6	14.7	44.5	21.7	350
1391	57.4	14.4	0	0	7.4	0	1.1	109.4	37.6	45.8	45.2	37.1	355.4
1392	17.6	44.8	0	0	0	0	0	110.9	111.5	56.2	65.5	60	466.5
1393	33.5	16.1	18.5	0	0	0	63.4	67.2	28.8	25.1	36.9	25.2	314.7
1394	74.1	9.3	0	0	0	18.4	16.1	260.6	52.7	40.9	56.7	82.2	611
1395	182.6	31.8	0	0	0	0	0	0.3	22.5	92.4	84.1	84.8	498.5
1396	144.1	21.7	0	0	0	0	0	42.1	22.4	48.7	105	71.6	455.6



شکل ۵-۳- نمودار دبی- بارش چشمه هر سین، با زمان تأخیر دو ماه

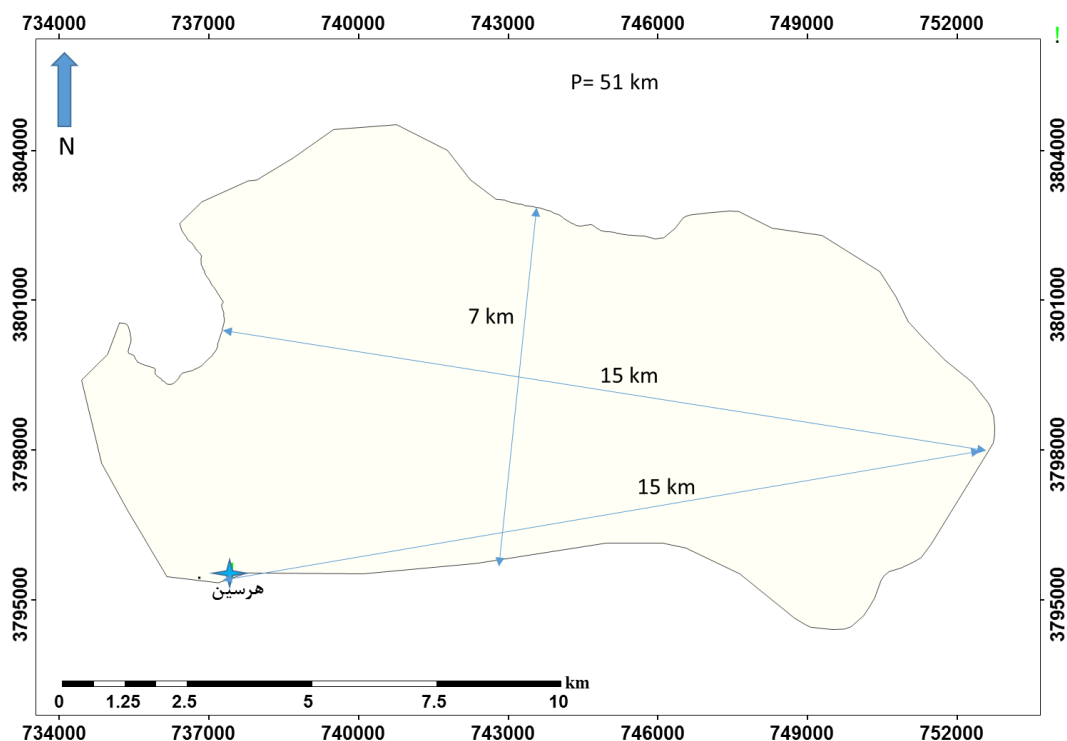
بررسی بر روی نمودار دبی-بارش چشمه (شکل ۵-۳۰) نشان می‌دهد، بین ۱-۲ ماه زمان تأخیر بارش است. به همین دلیل بارش ماهانه ایستگاه هرسین از سال ۱۳۵۶ در جدول (۵-۲۶) ذکر شده است.

ویژگی‌های حوضه آبرگیر

به منظور محاسبه ویژگی‌های آبخوان و حوضه آبرگیر، مقادیر فاکتور شکل و درجه توسعه کارست براساس جدول‌های پیشین تعیین می‌شود.

فاکتور شکل حوضه:

به منظور مقایسه حوضه‌ها از نظر شکل ضرایب یا نمایه‌های مختلفی وجود دارد، از جمله این موارد می‌توان به عامل شکل حوضه، ضریب فشردگی حوضه، نسبت دایره‌ای و نسبت کشیدگی است. در ادامه دو مورد نخست از این موارد برای حوضه آبرگیر هرسین محاسبه خواهد شد تا در نهایت بهترین نمایه انتخاب شود. گام نخست ترسیم حوضه آبرگیر چشمه است (شکل ۵-۳۱)

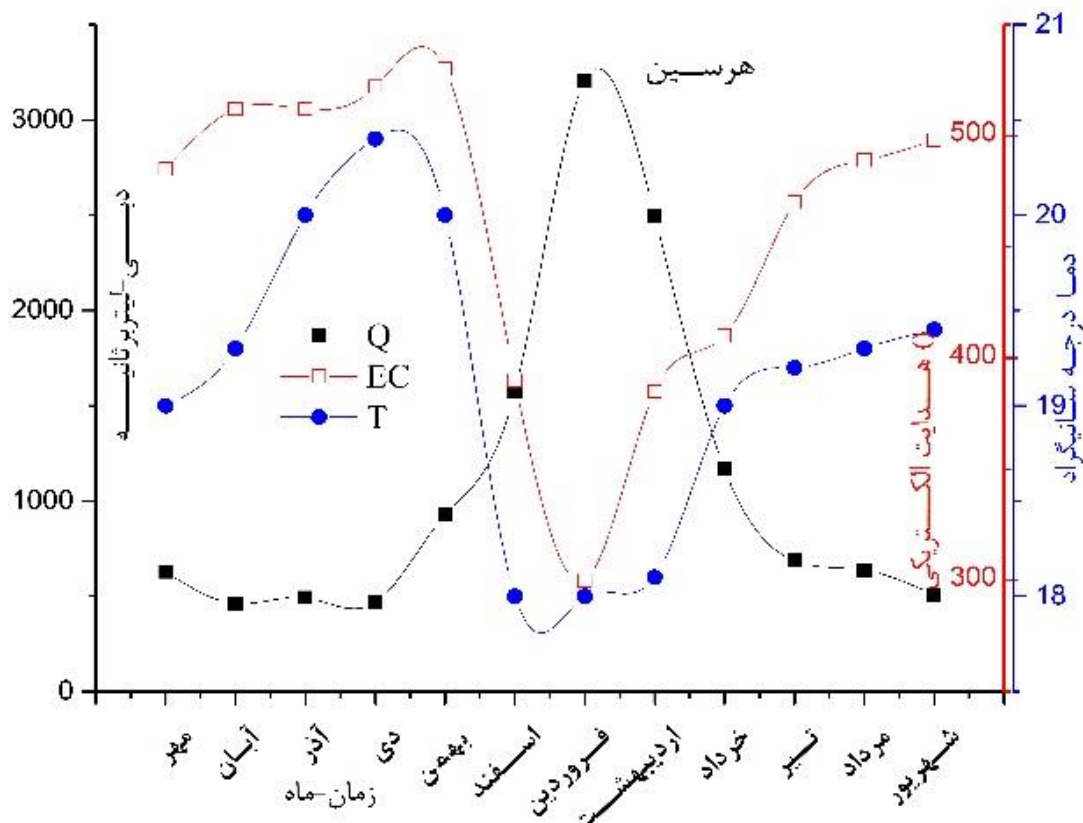


شکل ۵-۳۱- حوضه آبرگیر چشمه هرسین

جدول ۵-۲۷- محاسبه فاکتور شکل و ضریب فشردگی حوضه آبرگیر هرسین

مقدار ضریب	معادله	روش
1.9	$SF = \frac{L^2}{A}$	عامل شکل
1.3	$C = \frac{0.28 P}{\sqrt{A}}$	ضریب فشردگی

برای ارزیابی توسعه کارست در منطقه از نقشه‌های عوارض کارستی و پوشش خاک در حوضه آبرگیر چشمه استفاده خواهد شد و نتیجه حاصله با آنالیزهای هیدروشیمی چشمه مقایسه می‌گردد (شکل ۵-۳۲).



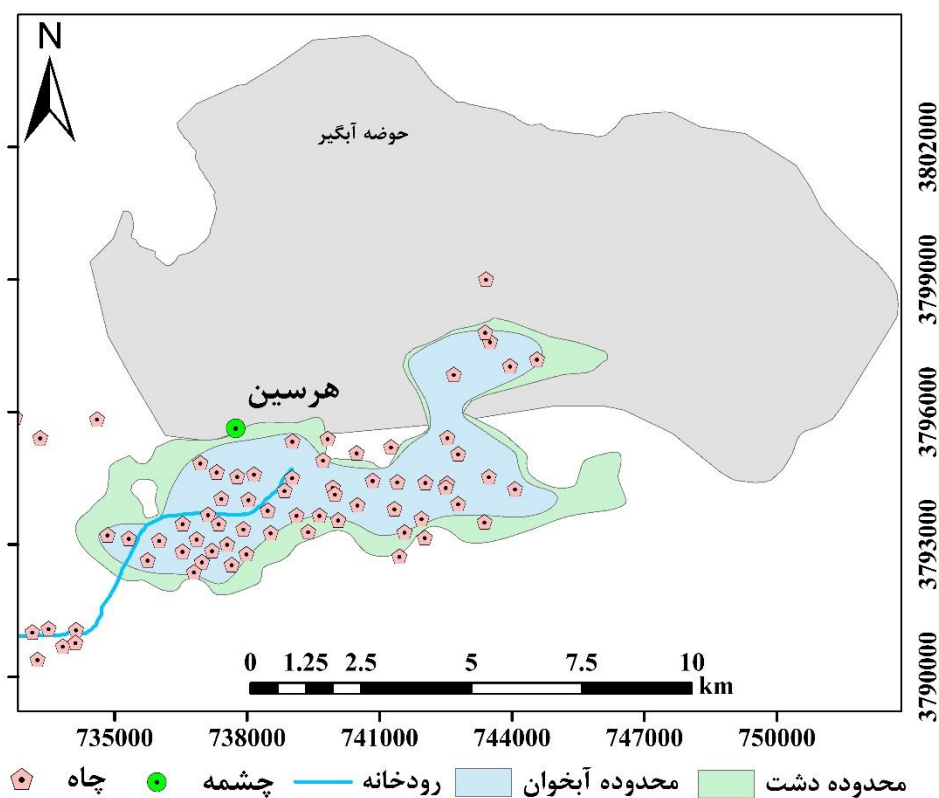
شکل ۵-۳۲- ارتباط هدایت هیدرولیکی و دمای چشمه هرسین با آبدی چشمه‌ها

خصوصیات هیدروژئوشیمیایی نشان از درجه توسعه کارستی خوب می‌دهد و بنابراین مقدار توسعه کارست بیشتر از ۵۰ درصد در نظر گرفته می‌شود. پوشش خاک در حوضه آبرگیر چشمه بیشتر از ۵۰ و کمتر از ۷۵ درصد و عوارض کارستی منطقه کمتر از ۵۰ درصد است. بنابراین:

$$k_2 = \frac{1+0.55+0.5}{3} = 0.71$$

اثر فعالیت بشری

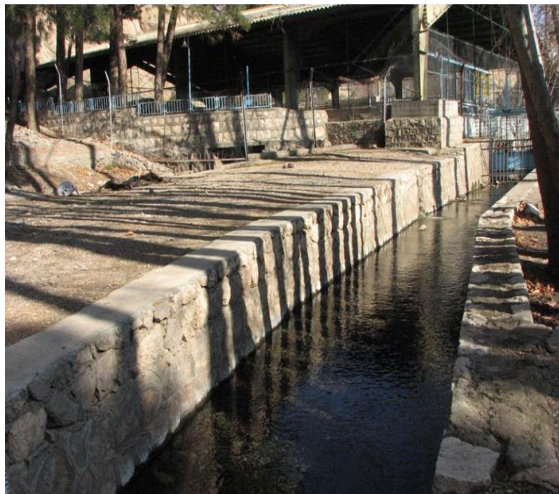
توزیع پراکندگی چاه‌های محدوده مطالعاتی هر سین به صورت شکل ۵-۳۳ است. این چاه‌ها می‌توانند به وسیله حوضه آبرگیر چشمه تغذیه شوند. موقعیت جغرافیایی چشمه و حوضه آبرگیر به نحوی است که به وسیله ارتفاعات محصور شده است و به نسبت چشمه‌های بخش مرکزی استان کرمانشاه، آبرفت چندان وسیعی در اطراف آن نیست. از طرف دیگر به دلیل وجود رودخانه‌ای که به وسیله آبدی چشمه به وجود آمده است، اکثر مناطق اطراف به وسیله کانال‌های مخصوص، آبرسانی می‌شوند و بنابراین حفر چاه در این منطقه با تراکم زیاد صورت نگرفته است (شکل ۵-۳۴).



شکل ۵-۳۳- چاه‌های پایین دست حوضه آبرگیر چشمه هر سین

در مجموع به حدود ۱۰۰ چاه، با عمق متوسط ۳۰ متر و دبی میانگین ۸ لیتر در ثانیه مجوز داده شده است، چنانچه ساعت کارکرد مجاز چاه‌های کشاورزی استان کرمانشاه را برای این چاه‌ها در نظر گرفته

شود (۲۲۰۰ ساعت)، سالانه حدود ۶/۵ میلیون متر مکعب، از طریق چاه، از منابع آب زیرزمینی آبرفت‌های پایین دست چشمه برداشت می‌شود.



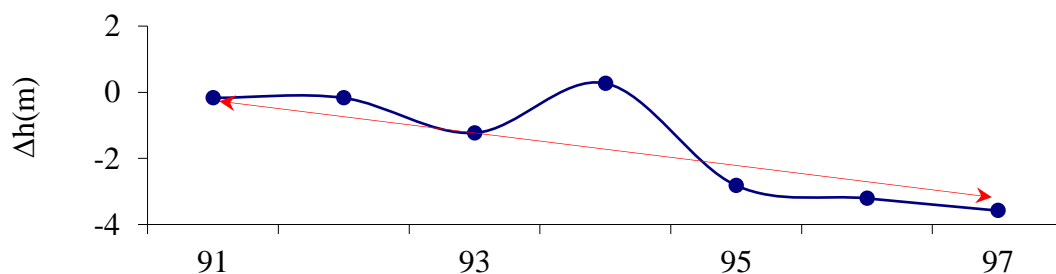
شکل ۵-۳۴- کانال‌های چشمه هر سین منتهی به زمین‌های کشاورزی و رودخانه

تغذیه محاسبه شده در حوضه آبرگیر چشمه هر سین برابر است با حدود ۲۹ میلیون مترمکعب، که به طور میانگین با دبی حدود ۸۷۰ لیتر در ثانیه، سالانه حدود ۲۷ میلیون متر مکعب، به وسیله چشمه تخلیه می‌گردد. همانگونه که از اعداد ذکر شده قابل مشاهده است، مقدار برداشت صورت گرفته از آبخوان کارستی و آبرفتی پایین دست، بیش از مقدار تغذیه محاسبه شده است، البته افت هر چند اندک سطح آب زیرزمینی نیز تأییدکننده این مطلب است. اختلاف موجود می‌تواند از طریق تغذیه آبخوان آبرفتی به وسیله رودخانه حاصل از چشمه کارستی و همچنین آب برگشتی کشاورزی و یا جریانات زیر

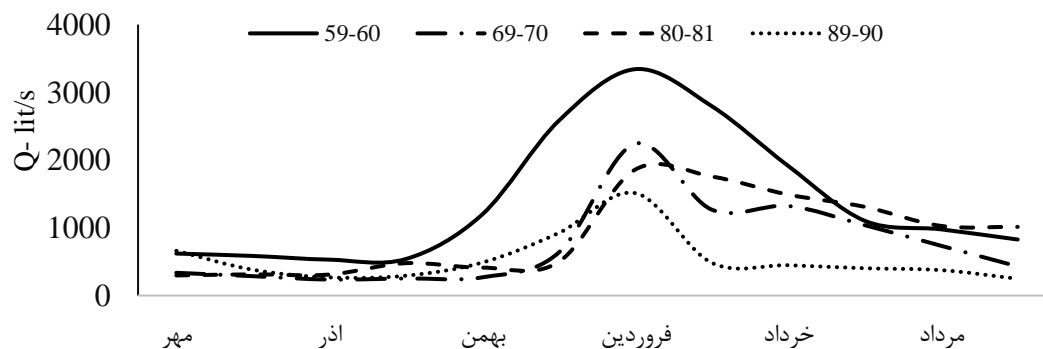
سطحی دیگر تا حدودی جبران شود. اما در نهایت سالانه ۰/۴ میلیون مترمکعب کسری مخزن وجود دارد (جدول ۵-۲۸). در طی چند سال اخیر همزمان با انسداد چاه‌های غیر مجاز و نظارت بیشتر بر برداشت از چاه‌های مجاز، تلاش شده است که از افت بیشتر آبخوان‌ها در منطقه جلوگیری به عمل آید. به طور کلی می‌توان آبخوان هرسین را جزو مناطق با تنش آبی پایین دانست و همانطور که از شکل ۵-۳۶ مشخص است در دبی میانگین سالانه، نسبت به دهه ۵۰ و ۶۰، افت قابل ملاحظه‌ای رخ داده است.

جدول ۵-۲۹- وضعیت آبخوان هرسین از ابتدای تشکیل شبکه سنجش

سال آبی		میانگین تغییر سطح ایستابی آبخوان (M)	میانگین تجمعی تغییر سطح ایستابی آبخوان (M)	میانگین تغییر حجم آبخوان (MCM)	میانگین تجمعی تغییر حجم آبخوان (MCM)	وسعت آبخوان (km ²)	متوسط ضریب ذخیره
1390	91	-0.17	-0.17	-0.14	-0.14	22	0.037
1391	92	0.00	-0.17	0.00	-0.14	متوسط سالانه تغییر حجم آبخوان: 0.4 MCM	
1392	93	-1.06	-1.23	-0.86	-1.00		
1393	94	1.50	0.27	1.22	0.22		
1394	95	-3.09	-2.82	-2.52	-2.30		
1395	96	-0.39	-3.21	-0.32	-2.61		
1396	97	-0.37	-3.58	-0.30	-2.91		



شکل ۵-۳۵- نمودار میانگین تجمعی تغییرات سطح آب زیرزمینی از ابتدای تشکیل



شکل ۵-۳۶- نمودار آبدی چشمه هرسین در سال آبی پایان دهه‌های مختلف

در نهایت معادله حاصل را برای چشمه هرسین می‌توان به صورت زیر نوشته شود.

$$Q_t = \sum_{i=t-m}^i a \cdot P_{mi} + (P_{t-1} - \bar{P}_{ti}) + k_d P_t + \bar{\alpha}_i Q_{t-1} \quad \text{معادله ۵-۶}$$

که در آن Q_t میانگین دبی سالانه چشمه

a ضریبی است که از رابطه دبی-بارش محاسبه می‌گردد

P_{mi} بارش ماهانه مؤثر در دبی چشمه که در واقع زمان تأخیر در آن در نظر گرفته شده است

P_{t-1} مجموع بارش سالانه سال $t-1$ ، \bar{P}_{ti} میانگین بارش ماهانه مربوط به سال $t-1$

k_d ضریب مربوط به خصوصیات حوضه آبرگیر و آبخوان چشمه

P_t بارش سالانه مربوط به سال t

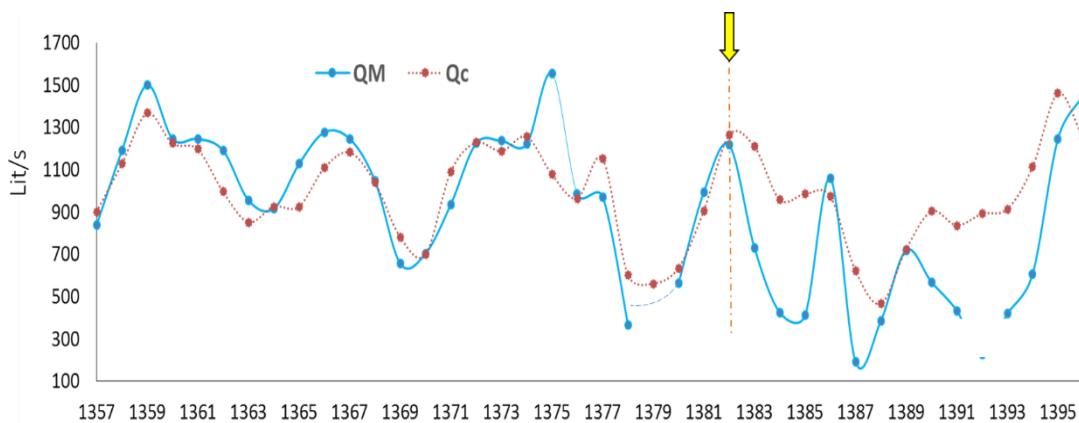
$\bar{\alpha}_i$ میانگین ضرایب فرود چشمه

Q_{t-1} مجموع دبی ماهانه مربوط به سال آبی $t-1$ است.

شکل ۵-۳۷ مقایسه داده‌های حاصل از معادله ۵-۶ با داده‌ها واقعی اندازه‌گیری شده را نشان می‌دهد. سایر ارزیابی‌های صورت گرفته به منظور تکمیل معادله حاصل است. نتایج نشان می‌دهد که تا اوایل دهه ۸۰ معادله ۵-۶ با تقریب بسیار نزدیک، دبی چشمه را برآورد کرده است. پس از این تاریخ هم شدت نوسانات دبی اندازه‌گیری شده بیشتر شده است و هم فاصله میان داده‌های محاسباتی و واقعی. شکل ۵-۳۷ به خوبی نشان می‌دهد که از دهه ۸۰ علاوه بر عامل بارش، خصوصیات حوضه آبرگیر و آبخوان عامل تأثیرگذار دیگری دخیل است. بررسی بر روی مجوز چاه‌های محدوده مطالعاتی هرسین نشان می‌دهد، تا پایان دهه ۷۰ تنها ۳ چاه کشاورزی دارای مجوز حفر بوده است، در دهه ۸۰ تقریباً ۶۰ درصد از چاه‌های موجود حفر شد و پس از آن نیز همچنان صدور مجوز حفاری در این محدوده ادامه یافت. به عبارت بهتر تا دهه ۸۰ ضریب فاکتور عامل انسانی ۱ در نظر گرفته می‌شود و پس از آن، به نسبت افزایش دخالت‌ها، تأثیر آن در معادله افزایش خواهد یافت. بنابراین معادله ۵-۶ به صورت زیر توسعه می‌یابد (معادله ۵-۷):

$$Q_t = K \cdot \left(\sum_{i=t-m}^i a \cdot P_{mi} + (P_{t-1} - \bar{P}_{ti}) + k_d P_t + \bar{\alpha}_i \sum Q_{t-1} \right) \cdot H \quad \text{معادله ۵-۷}$$

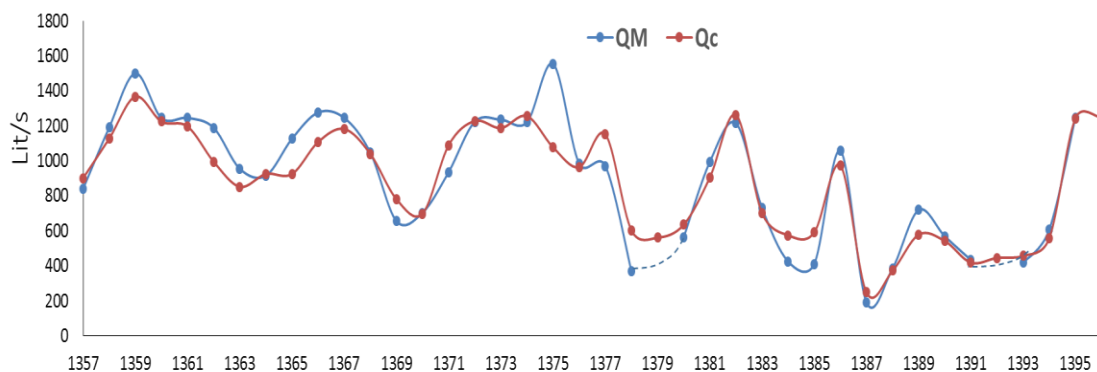
که در آن، K ضریب تجربی است که عمدتاً وابسته به توسعه کارست و پاسخ چشمه به نوسانات بارندگی دارد. هر چه پاسخ چشمه به بارندگی، شدیدتر باشد، عدد به یک نزدیکتر و در مواقعی که تقریباً چشمه نوسانات شدیدی ندارد و نسبت حداکثر به حداقل دبی حدود ۲ باشد این عدد، کمتر خواهد بود و H ضریبی از میزان دخالت‌های بشری است. ارزیابی‌های دبی ثبت شده در دو دهه اخیر نشان می‌دهد، هر زمان بارش به صورت قابل ملاحظه‌ای افزایش یافته است، میزان اثر دخالت بشری کاهش می‌یابد. علاوه بر افزایش تغذیه به آبخوان در این حالت، کاهش اثر عوامل انسانی را می‌توان در خاموشی چاه‌ها نیز دانست.



شکل ۵-۳۷- مقادیر دبی اندازه‌گیری شده و دبی محاسباتی، Q_c : دبی محاسباتی، Q_M دبی اندازه‌گیری شده

به عبارت دیگر، با افزایش تعداد روزهای بارندگی در بهار و یا تمرکز بارش به نحوی که نیاز آبی گیاه تامین شود، نیاز به آبیاری کاهش یافته و در عمل اثر برداشت از منابع آب زیرزمینی کاهش می‌یابد و از طرف دیگر سبب افزایش تغذیه نیز می‌شود، به همین دلیل مقدار دبی محاسباتی در جدول ۵-۳۰ و شکل ۵-۳۸ به میزان دبی اندازه‌گیری شده، مقادیر نزدیکتری نشان می‌دهد. بنابراین اعمال مقدار ضریب تأثیر فعالیت‌های انسانی با دید کارشناسی اعمال می‌گردد، در بازه‌های زمانی که مقدار بارش مؤثر به بارش کل نزدیک است و از میانگین دهه گذشته بارش در منطقه بیشتر است، ضریب تأثیر مقدار کمتر را به خود اختصاص می‌دهد و برعکس.

محاسبات نهایی انجام شده در این زمینه در جدول ۵-۳۰ آورده شده است. به منظور سهولت در نگارش و نظم بیشتر جدول مذکور محاسبات مربوط به بخش‌های معادله که با علامت جمع به هم مرتبط شده‌اند را با یک شماره نمایش داده می‌شود:



شکل ۵-۳۸- مقادیر دبی اندازه‌گیری شده و دبی محاسباتی با استفاده از معادله به دست آمده و اعمال اثر فعالیت بشری

$$Q_t = K \cdot \left(\underbrace{\sum_{i=t-m}^i a \cdot P_{mi}}_1 + \underbrace{(P_{t-1} - \bar{P}_{tl})}_2 + \underbrace{k_d P_t}_3 + \underbrace{\bar{\alpha}_i \sum Q_{t-1}}_4 \right) \cdot H \quad \text{معادله ۵-۸}$$

به طور کلی می‌توان اثر فعالیت‌های انسانی را به صورت تجربی به دست آورد. هر چه از زمان شروع برداشت انسانی از منابع آب زیرزمینی مدت زمان بیشتری می‌گذرد اثر این فعالیت‌ها با توجه به افزایش برداشت و همینطور کسری تجمعی مخازن آب زیرزمینی، بیشتر خواهد شد. از این رو ضریب در نظر گرفته شده در دهه ۸۰، ۰/۶ و دهه ۹۰، ۰/۵ است. همانطور که اشاره شد، در سال‌هایی که نیاز آبی زراعت از طریق بارش تأمین شده است و خاموشی چاه‌ها وجود دارد، مقدار برداشت کمتر و در نتیجه، ضریب مؤثر به مقدار ۰/۸ لحاظ شده است. از سوی دیگر برای مواقعی که شدت برداشت به دلیل خشکسالی افزایش یافته است این ضریب به مقدار ۰/۴ افزایش می‌یابد. در ادامه معادله به دست آمده برای سایر چشمه‌ها نیز به کار گرفته خواهد شد.

ارزیابی چشمه کبوترلانه

نزدیکترین ایستگاه به حوضه آبرگیر چشمه کبوترلانه، ایستگاه شهرستان کنگاور است که در فاصله حدود ۱۵ کیلومتری آن قرار دارد. داده‌های دبی چشمه از اوایل دهه ۶۰ اندازه‌گیری شده است (جدول ۵-۳۱) اما داده‌های بارش مربوط به اواسط این دهه است. بررسی بر روی نمودار دبی-بارش چشمه نشان می‌دهد، ۲ ماه زمان تأخیر بارش است. به همین دلیل بارش ماهانه ایستگاه کنگاور از سال ۱۳۶۵ در جدول (۵-۳۲) و شکل ۵-۳۹ ذکر می‌گردد.

جدول ۵-۳۰ محاسبات انجام شده براساس معادله ۵-۸ برای چشمه هرسین

year	1*	2*	3*	4*	Q _c *	Q _M *	H*	Q _c *	توضیحات
1357	111.4	344.2	242.1	203.6	901.3	839.7	1.0	901.3	
1358	189.1	312.6	333.3	292.0	1127.0	1191.2	1.0	1127.0	
1359	172.4	430.4	304.2	360.1	1367.1	1499.8	1.0	1367.1	
1360	193.9	392.8	299.3	337.8	1223.8	1243.9	1.0	1223.8	
1361	183.9	386.4	293.2	332.9	1196.3	1245.4	1.0	1196.3	
1362	134.2	378.5	185.3	297.1	995.1	1188.8	1.0	995.1	
1363	149.2	239.3	277.3	185.5	851.2	954.4	1.0	851.2	
1364	104.2	358.0	171.8	290.6	924.6	915.1	1.0	924.6	
1365	168.0	221.8	263.4	271.1	924.3	1126.3	1.0	924.3	
1366	155.7	340.1	317.4	294.4	1107.5	1276.0	1.0	1107.5	
1367	173.7	409.8	267.3	331.1	1181.9	1245.4	1.0	1181.9	
1368	170.0	345.1	247.4	277.1	1039.6	1046.5	1.0	1039.6	
1369	86.4	319.4	161.7	213.4	781.0	655.7	1.0	781.0	
1370	118.6	208.8	240.4	130.5	698.4	703.7	1.0	698.4	
1371	213.2	310.4	329.3	236.8	1089.8	936.0	1.0	1089.8	
1372	211.7	425.2	348.8	242.3	1227.9	1223.7	1.0	1227.9	
1373	266.3	450.3	412.2	58.5	1187.2	1235.3	1.0	1187.2	
1374	85.2	532.1	249.7	389.0	1256.0	1220.6	1.0	1256.0	
1375	161.8	322.4	183.7	408.8	1076.7	1554.2	1.0	1076.7	
1376	183.1	237.2	399.2	135.0	963.6	983.1	1.0	963.6	
1377	158.5	515.4	191.8	286.1	1151.9	971.0	1.0	1151.9	
1378	105.1	247.7	140.9	108.7	602.5	367.8	1.0	602.5	
1379	117.7	182.0	216.8	44.4	560.9		1.0	560.9	
1380	133.4	279.9	226.5	127.9	634.6	562.7	1.0	634.6	
1381	142.8	292.4	311.8	156.9	904.0	993.3	1.0	904.0	
1382	244.0	402.6	328.2	288.2	1263.1	1215.4	1.0	1263.1	
1383	143.6	423.8	315.0	287.2	1169.7	731.3	0.6	701.8	صدور مجوزهای چاه
1384	152.5	445.7	263.1	96.9	958.1	424.7	0.6	574.9	حفر چاه‌های موجود در حوضه آبخیز چشمه
1385	215.4	339.6	313.3	116.1	984.3	410.9	0.6	590.6	حفر چاه‌های موجود در حوضه آبخیز چشمه
1386	136.1	404.4	198.9	234.6	973.9	1057.6		973.9	احتمال خطا در اندازه گیری
1387	103.0	256.8	173.2	87.6	620.6	191.6	0.4	248.0	خشکسالی، صدور مجوز ۴۰ درصد از چاه‌ها
1388	65.5	223.6	108.3	67.7	465.0	385.3	0.8	372.0	بارش متمرکز، خاموشی چاه‌ها
1389	143.6	139.8	262.1	177.5	723.1	719.3	0.8	578.5	بارش متمرکز، خاموشی چاه‌ها
1390	156.3	338.4	248.5	159.8	903.0	568.8	0.6	541.8	
1391	143.2	320.8	252.3	119.6	836.0	433.4	0.5	418.0	
1392	178.6	325.8	331.2	61.5	897.2		0.5	445.4	
1393	159.6	427.6	223.4	102.7	913.3	418.7	0.5	456.7	
1394	267.6	288.5	504.8	52.5	1113.4	607.1	0.5	556.7	
1395	197.7	651.8	353.9	349.7	1553.1	1245.0	0.8	1242.5	بارش متمرکز، خاموشی چاه‌ها
1396	189.0	457.0	323.5	278.4	1247.9			1247.9	

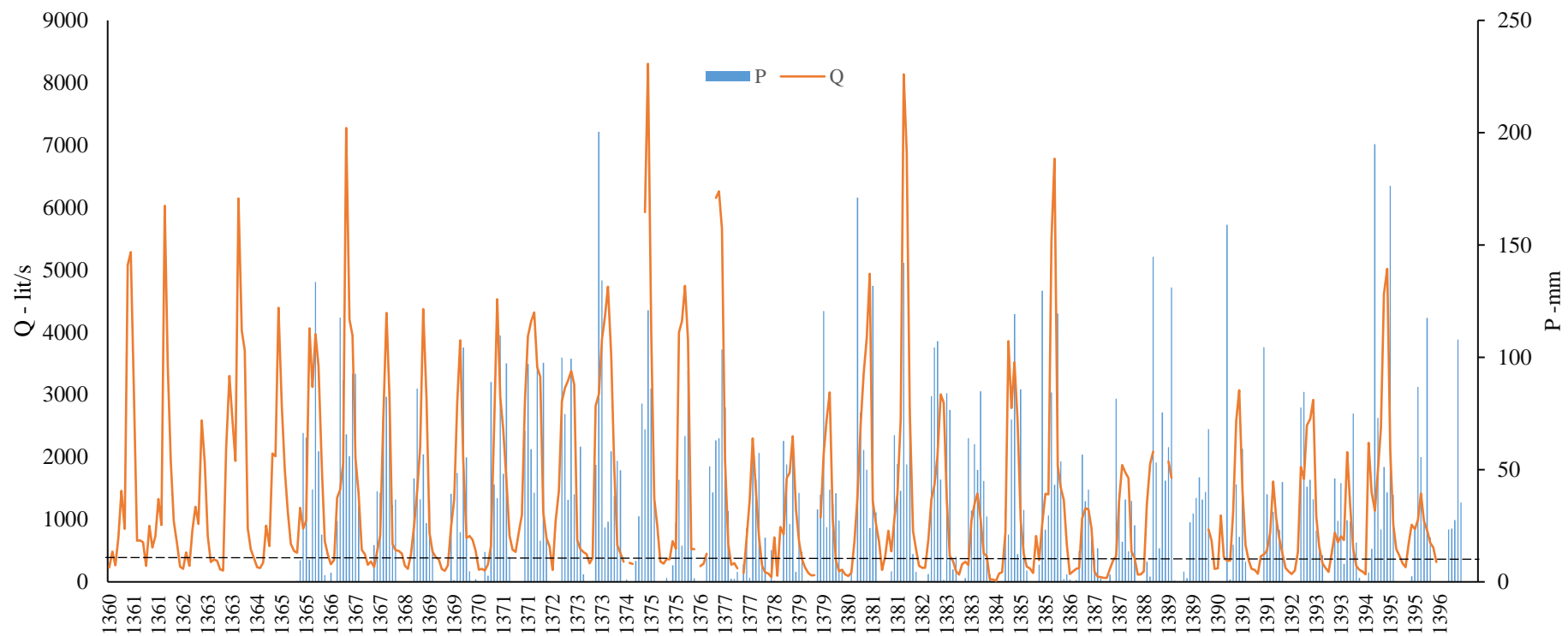
* Q_c: دبی محاسباتی، Q_M دبی اندازه‌گیری شده، شماره‌های ۱ تا ۴ بخش‌های معادله ۵-۸

جدول ۵-۳۱- دبی ماهانه چشمه کبوترلانه

Date	Q- lit/s												
	Farv.	Ordi.	Khor.	Tir	Mor.	Shah.	Mehr	Aban	Azar	Day	Bah.	Sfand	Q
1361	5078	5285	3149	659	664	635	258	899	553	734	1327	910	1679.2
1362	6029	3472	1937	974	607	242	208	470	256	833	1206	927	1430.0
1363	2589	1912	734	317	358	342	201	183	2132	3300	2598	1938	1383.6
1364	6146	4029	3708	855	522	387	235	223	308	904	573	2059	1662.4
1365	2015	4392	2830	1800	1127	609	495	466	689	855	983	4066	1693.9
1366	3972	3972	3462	1848	654	436	285	353	1348	1478	1901	7275	2248.6
1367	4203	3949	1973	1435	513	446	274	326	241	488	742	2549	1428.2
1368	4311	2958	607	507	498	454	263	210	432	912	1457	2170	1231.5
1369	4372	2944	787	484	402	358	202	178	266	855	1320	2865	1252.7
1370	3870	1950	706	735	674	502	193	210	181	278	569	2536	1033.6
1371	4530	2967	2439	1596	740	514	479	802	1075	2884	3939	4178	2178.5
1372	4320	3440	3289	1116	697	569	191	973	1462	2896	3108	3220	2106.7
1373	3380	3158	670	530	478	445	294	386	2820	3010	3885	4250	1942.1
1374	4732	3610	1825	584	466	324	250	303	287	900	2500	4100	1656.7
1375	5927	8304	3960	1331	896	329	293	366	363	654	900	3998	2276.7
1376	4178	4745	3882	524	524	300	252	290	450	850	2500	6153	2054
1377	6261	5656	1967	594	276	299	217	180	144	707	1311	2299	1659.2
1378	1445	727	263	156	134	76	714	750	760	763	1664	1748	766.6
1379	2333	1156	653	362	231	141	101	108	550	1035	2612	2055	944.7
1380	3035	1020	341	169	193	119	93	145	635	1337	2531	3344	1080.1
1381	3900	4937	1299	925	644	190	400	350	490	1013	1400	2607	1512.9
1382	8137	6880	2751	816	521	256	224	226	677	1324	1546	2009	2113.9
1383	3006	2868	1325	414	330	170	114	284	322	368	977	1239	951.4
1384	1416	991	449	421	42	38	18	133	154	787	3858	2785	924.3
1385	3519	2618	972	448	242	218	144	736	850	914	1200	1404	1105.4
1386	5482	6784	1861	1509	1316	600	126	168	208	300	1021	1181	1713
1387	1163	857	166	80	78	63	65	215	346	409	1309	1871	551.8
1388	1751	1660	483	384	116	122	167	1244	1892	2088			
1389													
1390				840	665	208	218	164	396	341	342	1131	
1391	2582	3071	1462	590	355	207	192	230	410	440	500	788	902.2
1392	1610	1018	701	445	220	167	124	182	477	1243	1647	2510	862
1393	2610	2918	1051	558	296	220	162	448	588	634	732	868	923.7
1394	2078	1209	527	256	195	163	122	229	1239	1441	1784	2467	975.8
1395	4616	5017	2116	920	525	422	294	233	610	917	950	996	1468
1396	1416	972	817	626	552	319							

جدول ۵-۳۲- بارش ماهانه ثبت شده در ایستگاه کنگاور

Date	P (mm)												Sum
	Farv.	Ordi.	Khordad	Tir	Mordad	Shah.	Mehr	Aban	Azar	Day	Bah.	Sfand	
1365	-	-	-	-	-	0.4	9.6	66.3	64.2	9.9	41.2	133.5	325.1
1366	58.1	21	3	0	4.1	0	27.1	117.6	89.8	65.7	55.9	92.7	535
1367	92.7	33.8	0	0	0	0	16.4	40.3	39.7	73.3	82.4	75.2	453.8
1368	34.2	36.6	0	0	0	0	0	46.1	86.1	36.8	56.8	26.1	322.7
1369	36.7	13.7	0	0	0	0	0	39.2	0.8	48.5	22.1	104.4	265.4
1370	55.4	4.7	0	1.2	0	0	13.4	2.7	89	43.3	37.3	109.7	356.7
1371	48.1	97.3	11.1	0	0	0	0	67.3	97	59.1	39.7	94.8	514.4
1372	18.3	97.5	18.8	0	0	0	0	99.9	74.7	36.5	99.3	39	484
1373	26.3	60.2	3.3	0	0	0.4	52.2	200.4	134.3	24.2	26.8	58.1	586.2
1374	38.2	53.9	49.7	0	1	0	0	9.3	29.2	79.3	67.9	120.9	449.4
1375	86	37	0.3	0	0	1.8	0	7.4	26.3	45.4	16.2	64.9	285.3
1376	94	18.2	1.6	0	0	0	10.8	51.4	39.8	63	64	103.5	446.3
1377	77.7	31.5	1.4	1.4	4.4	0	7.9	24	1.7	55.9	45.6	57.4	308.9
1378	9.6	19.7	0	14.2	0.4	0	0.1	62.7	52.3	25.8	56.3	4.4	245.5
1379	39.6	13.4	0	0.6	0	0	32.2	38.8	120.6	24.3	41.1	34.4	345
1380	39.4	27.2	4.7	0.2	0	5.6	0.4	171.1	75.4	58.7	50	24	456.7
1381	131.8	30.9	0	0	0	0	4.7	65.3	52.5	40.5	142.1	52.3	520.1
1382	77.6	12.4	4.5	0	0	0	3.5	82.7	104.4	107.2	45.6	0.9	438.8
1383	84	76.5	5.5	11.2	0	0	1.6	64	31.8	61.3	49.8	84.8	470.5
1384	45	29.1	3.4	0	0.2	0.2	0	31.8	21	72.3	119.3	12.4	334.7
1385	85.7	32	5.1	0	0	0	7.6	129.6	23.2	29.6	84.4	43.2	440.4
1386	119.5	53.6	1.3	3.3	0.9	0	0.8	13.7	56.6	35.9	41	23	349.6
1387	10.1	14.9	1.6	0	0	3.2	0	81.5	36	17.9	36.7	13.6	215.5
1388	36.1	25.2	0.2	0	0	8.9	2.4	144.7	53.1	14.9	75.4	45.1	406
1389	59.9	131.1	0.6	0	0	4.6	1.6	26.5	30.4	37.4	46.5	36.6	375.2
1390	40.1	68	0.2	0	0	0	0	159	1	16.5	43.4	20	348.2
1391	59.2	8.9	0	0	0	0	0.3	104.5	39	23.1	31.2	26.9	293.1
1392	23.1	44.5	0	0	0	0	0	77.6	84.6	42.4	45.4	36.8	354.4
1393	22.9	15.2	11.9	0	0	0	46.1	27.1	44	8	27.4	26.9	229.5
1394	75	17.5	1.7	0	0	4.2	14.7	194.9	73	23.3	51.2	39.8	495.3
1395	176.3	38.7	0	0	0	0	0	2.5	23.3	86.8	55.6	26.9	410.1
1396	117.5	19.8	0	0	0	0	0	23.4	23.7	27.5	107.9	35.3	355.1

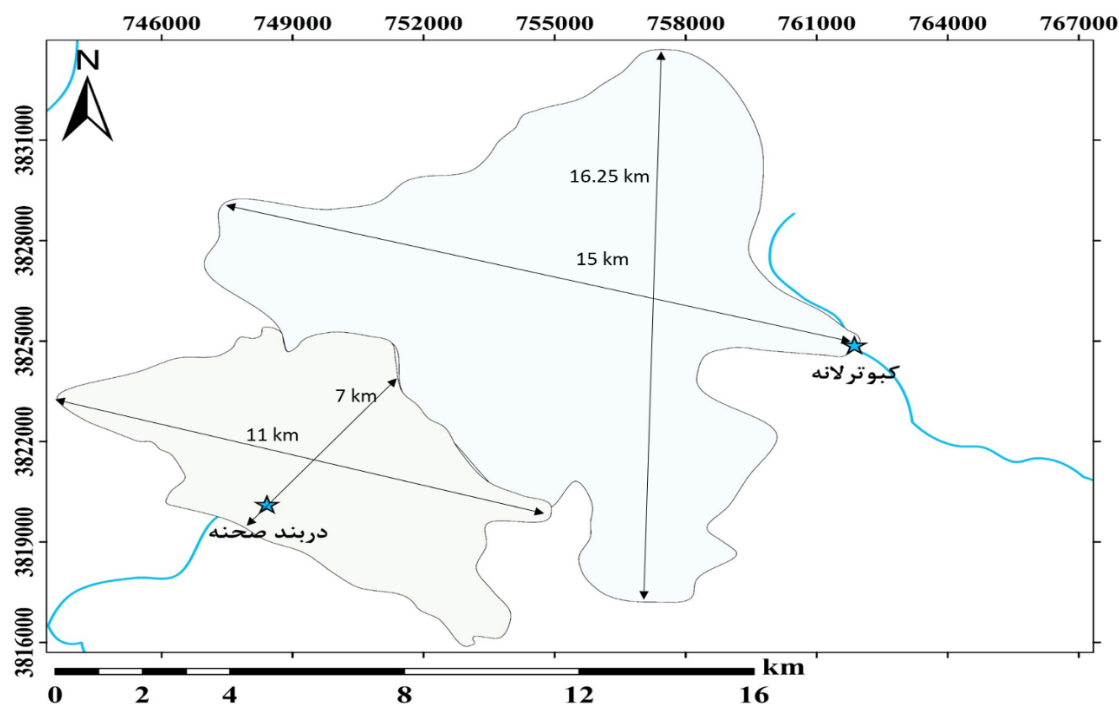


شکل ۵-۳۹ - نمودار دبی - بارش چشمه کبوترلانه، با زمان تأخیر دو ماه

ویژگی‌های حوضه آبرگیر

به منظور محاسبه ویژگی‌های آبخوان و حوضه آبرگیر، مقادیر فاکتور شکل و درجه توسعه کارست به براساس جدول‌های پیشین تعیین می‌شود.

فاکتور شکل حوضه:



شکل ۵-۴- حوضه آبرگیر چشمه کبوتر لانه و صحنه

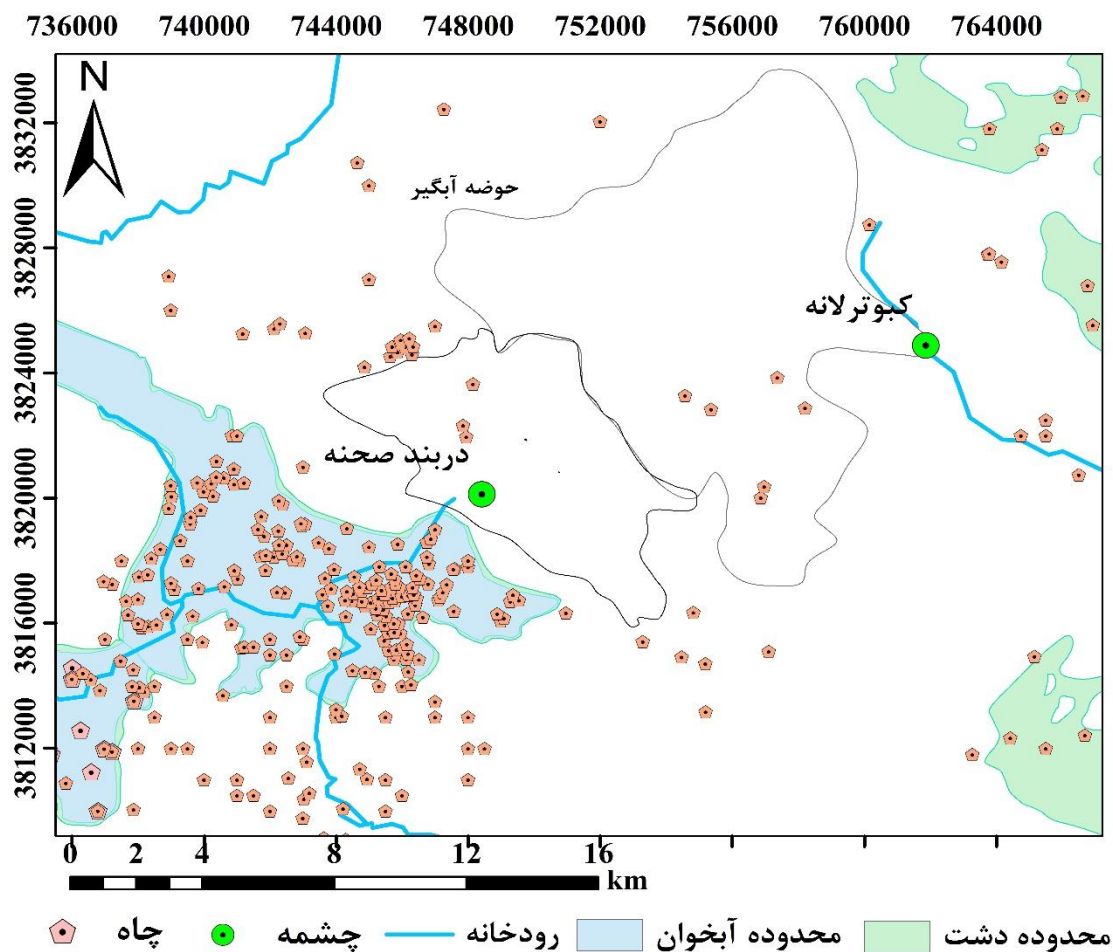
به منظور ارزیابی توسعه کارست در منطقه از نقشه‌های عوارض کارستی، پوشش خاک در حوضه آبرگیر چشمه استفاده می‌گردد. پوشش خاک در حوضه آبرگیر چشمه کبوتر لانه بیشتر از ۵۰ و کمتر از ۷۵ درصد و در حوضه آبرگیر صحنه بیشتر از ۷۵ درصد برآورد می‌شود. عوارض کارستی هر دو چشمه کمتر از ۵۰ درصد است. بنابراین:

$$k_2 = \frac{1+0.55+0.5}{3} = 0.71$$

کبوتر لانه

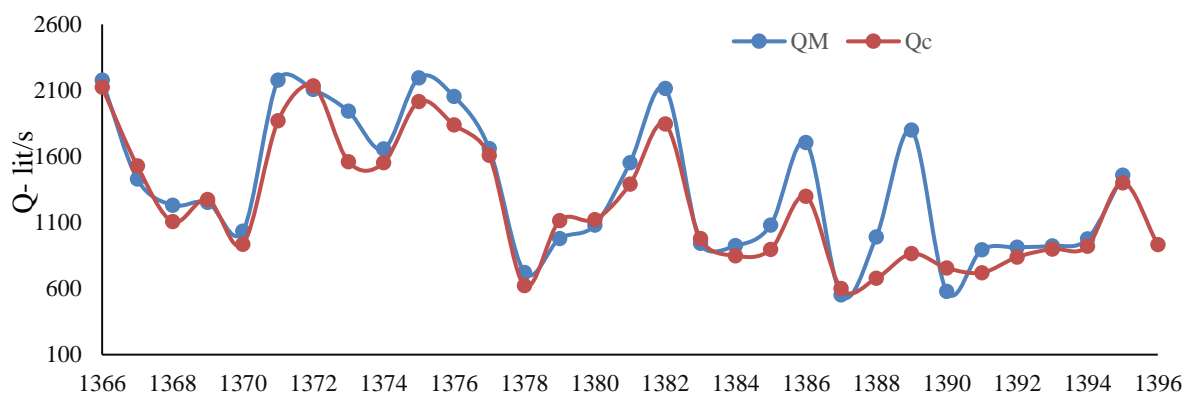
$$k_2 = \frac{0.55+0.55+0.4}{3} = 0.5$$

در بند صحنه



شکل ۵-۴۱- چاه‌های پایین دست حوضه آبخیز چشمه‌های کبوترلانه و صحنه

ارزیابی بر روی دبی‌های اندازه‌گیری شده نشان داد، در زمانی که دبی دارای مقادیر زیاد است، محاسبات با دبی اندازه‌گیری شده دارای اختلاف است (شکل ۵-۴۲).



شکل ۵-۴۲- مقادیر دبی اندازه‌گیری شده و دبی محاسباتی با استفاده از معادله به دست آمده،

این موضوع می‌تواند به دو دلیل اصلی باشد. احتمال نخست تأثیر بندهای متعددی است که در حوضه آبخیز چشمه به منظور کنترل سیلاب و تغذیه مصنوعی احداث شده است و احتمال دوم که می‌تواند قوی‌تر باشد، خطا در اندازه‌گیری پیش از احداث کانال اندازه‌گیری است (شکل ۵-۴۳ تا ۵-۴۵).



شکل ۵-۴۳- عملیات عمرانی در پایین دست چشمه (سد کبوترلانه) و یکی از بندهای احداثی در حوضه آبخیز چشمه (بالادست)



شکل ۴۴-۵- کانال اصلی اندازه‌گیری دبی چشمه کبوترلانه و مسیل سیلاب. وجود احتمال تداخل بیش از احداث کانال



شکل ۴۵-۵- رواناب و احتمال تداخل با دبی چشمه پیش از احداث کانال

از آنجایی که اختلاف در داده‌ها تنها در زمان‌هایی است که دبی اوج زیاد است، احتمال فرضیه تداخل با رواناب بیشتر است. علاوه بر این با وجود اینکه میانگین بارش سالانه در منطقه تفاوت زیادی نشان نمی‌دهد، میانگین دبی اندازه‌گیری شده کاهش چشمگیری نشان می‌دهد. با این وجود، نمی‌توان تأثیر تغذیه بیشتر به دلیل بندهای موجود هم نادیده گرفته شود. در این شرایط چنانچه اثر فعالیت‌های بشری در نظر گرفته شود مقدار H بیشتر از ۱ خواهد بود.

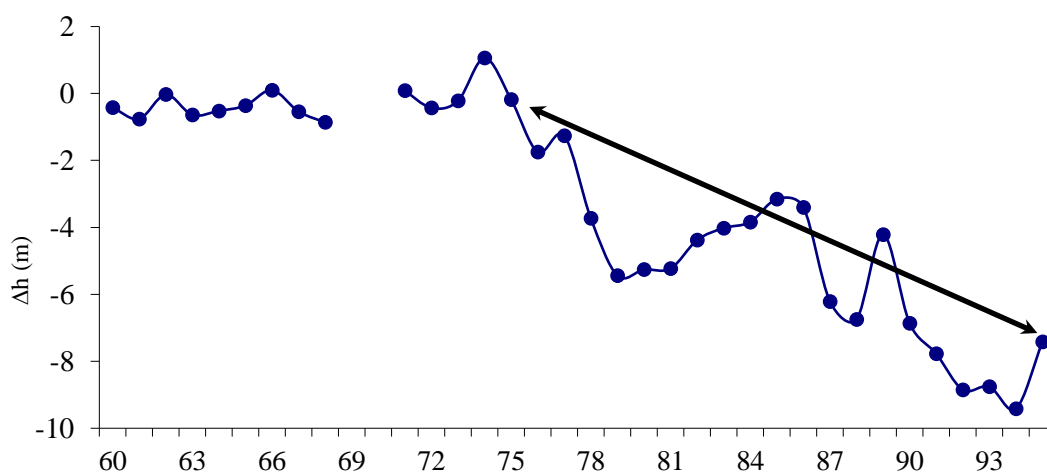
جدول ۵-۳۳- محاسبات انجام شده براساس معادله ۵-۸ برای چشمه کبوترلانه

year	1*	2*	3*	4*	Q _c *	Q _M *	H*
1366	236.8	278.7	379.9	1228.4	2123.6	2178.0	1.0
1367	187.7	490.4	322.2	528.3	1528.7	1428.3	1.0
1368	167.7	416.0	229.1	293.1	1105.9	1231.6	1.0
1369	93.6	295.8	188.4	696.7	1274.5	1252.8	1.0
1370	141.9	243.3	253.3	296.6	935.0	1033.7	1.0
1371	222.4	327.0	365.2	954.9	1869.5	2178.6	1.0
1372	202.6	471.5	343.6	1117.1	2134.9	2106.8	1.0
1373	269.9	443.7	416.2	430.7	1560.5	1942.2	1.0
1374	145.8	537.4	319.1	549.9	1552.1	1656.8	1.0
1375	165.8	412.0	202.6	1234.2	2014.5	2195.7	1.0
1376	151.9	261.5	316.9	1108.9	1839.2	2054.0	1.0
1377	157.6	409.1	219.3	821.3	1607.3	1659.3	1.0
1378	121.5	283.2	174.3	43.7	622.6	722.6	1.0
1379	139.3	225.0	245.0	505.1	1114.4	978.1	1.0
1380	193.4	316.3	324.3	481.3	1121.8	1080.2	1.0
1381	168.7	418.6	369.3	433.6	1390.2	1552.0	1.0
1382	247.6	476.8	311.5	808.8	1844.7	2113.9	1.0
1383	161.4	402.2	334.1	80.5	978.1	943.1	1.0
1384	142.5	431.3	237.6	37.4	848.8	924.3	1.0
1385	187.6	306.8	312.7	89.8	896.9	1081.0	1.0
1386	174.4	403.7	248.2	472.6	1298.9	1706.3	1.0
1387	96.7	320.5	153.0	30.4	600.6	551.8	1.0
1388	141.7	197.5	288.3	49.8	677.3	990.7	1.0
1389	174.1	372.2	266.4	51.2	863.9	1799.0	1.0
1390	155.3	343.9	247.2	9.8	756.2	578.3	1.0
1391	125.9	319.2	208.1	67.0	720.2	893.9	1.0
1392	139.4	268.7	251.6	178.8	838.5	912.0	1.0
1393	108.6	324.9	162.9	303.2	899.6	923.8	1.0
1394	193.5	210.4	351.7	165.1	920.6	975.8	1.0
1395	176.6	454.0	291.2	478.8	1400.6	1459.3	1.0
1396	124.2	375.9	252.1	180.6	932.8		1.0

* Q_c: دبی محاسباتی، Q_M دبی اندازه‌گیری شده، شماره‌های ۱ تا ۴ بخش‌های معادله ۵-۹

ارزیابی چشمه در بند صحنه

در چشمه در بند صحنه با وجود اینکه در پایین دست چشمه، چاه‌های متعددی حفر شده است و سطح پیزومتری آبخوان نیز سالانه دارای افت است (شکل ۵-۴۶)، اما اندازه‌گیری‌های انجام شده بیشتر تحت تأثیر بالادست چشمه است. همانگونه که از شکل ۵-۴۷ و ۵-۴۸ مشخص است و بیشتر نیز اشاره شده، این چشمه در دره، واقع شده است و اصلی‌ترین مشکل اندازه‌گیری این چشمه تداخل روانایی است که از بالادست به دره وارد شده و با آب خروجی چشمه تداخل می‌یابد. داده‌های دبی و بارش و نمودار رابطه آن‌ها در ادامه آورده شده است (جداول ۵-۳۴ و ۵-۳۵ و شکل ۵-۴۹).



شکل ۵-۴۶- نمودار میانگین تجمعی تغییرات سطح آب زیرزمینی آبخوان صحنه



شکل ۵-۴۷- محل ورود رواناب به دره محل چشمه



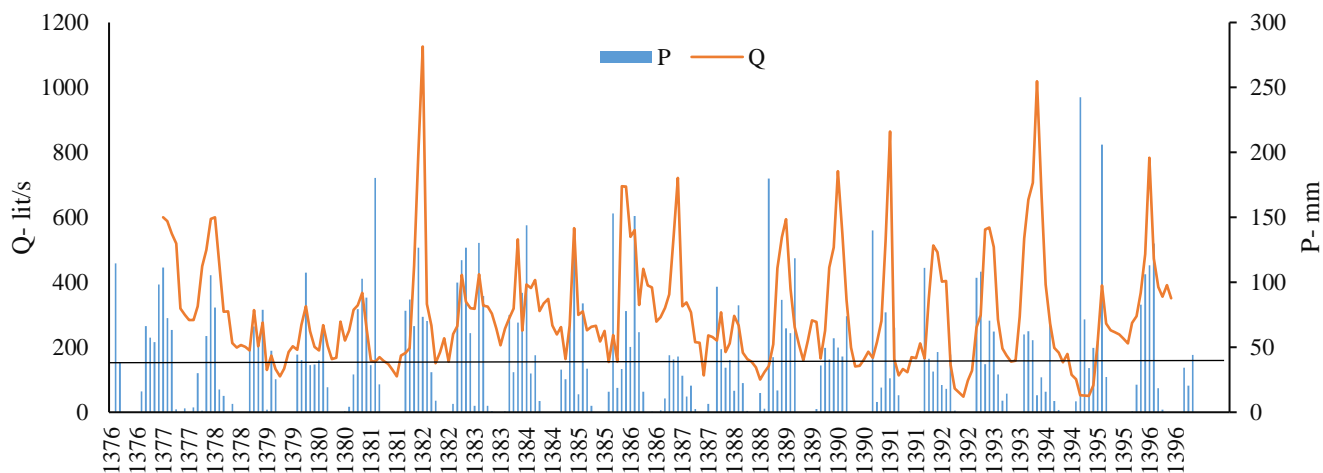
شکل ۵-۴۸- دره محل رخنمون چشمه و ورود رواناب- دید از بالا

جدول ۵-۳۴- دبی ماهانه چشمه صحنه

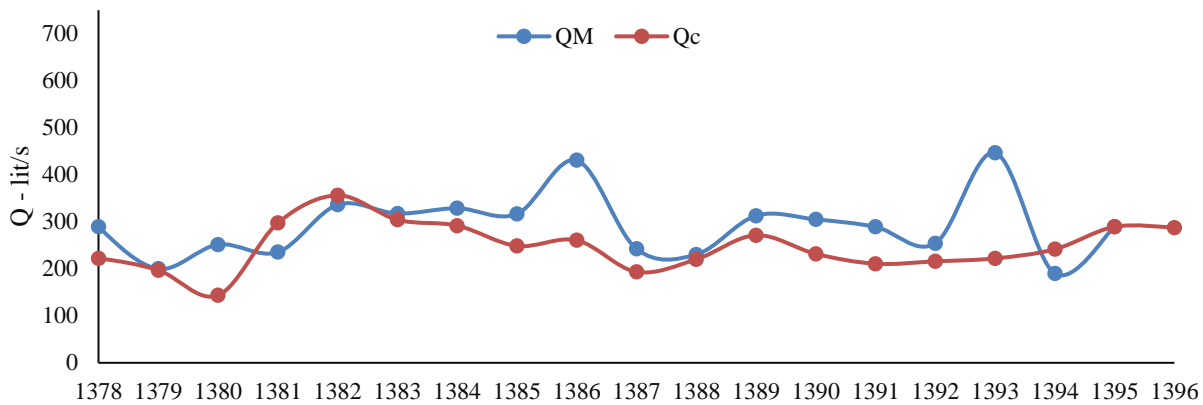
Date	Q- lit/s												
	Farv.	Ordi.	Khor.	Tir	Mordad	Shah.	Mehr	Aban	Azar	Day	Bah.	Sfand	Q
1377	600	588	550	519	319	300	284	284	326	449	500	595	442.0
1378	600	450	310	311	213	199	207	201	190	314	203	276	289.5
1379	130	275	133	110	134	185	203	192	269	326	249	201	200.0
1380	190	268	204	164	168	279	221	251	315	329	368	262	251.6
1381	159	155	170	158	149	131	110	175	182	197	450	789	235.4
1382	1126	333	267	151	184	228	156	241	265	423	340	320	336.2
1383	318	425	328	325	304	257	206	257	289	319	532	251	317.6
1384	393	382	407	312	335	349	267	240	262	164	267	567	328.8
1385	300	311	252	263	266	218	250	155	238	156	696	695	316.7
1386	540	561	330	442	390	384	279	293	321	363	544	721	430.7
1387	326	338	308	216	214	113	237	232	221	308	185	212	242.5
1388	297	267	183	164	156	138	101	124	142	209	444	539	230.3
1389	594	380	262	206	160	220	283	278	166	251	446	508	312.8
1390	742	549	345	199	141	143	162	186	168	216	281	528	305.0
1391	864	164	113	133	123	170	167	212	166	351	514	493	289.2
1392	402	404	146	73	60	48	98	128	261	299	563	569	254.3
1393	509	286	196	175	156	159	295	535	654	707	1019	672	446.9
1394	393	273	198	183	154	179	115	120	152	155	170	183	190
1395	210	390	273	252	246	240	227	212	275	296	368	487	289.7
1396	784	473	385	356	391	351							

جدول ۵-۳۵- بارش ماهانه ایستگاه صحنه

Date	P (mm)												
	Farv.	Ordi.	Khor.	Tir	Mor.	Shah.	Mehr	Aban	Azar	Day	Bah.	Sfand	Sum
1376	114.5	37.9	0	0	0	0	16	66.2	57.5	54.1	98.3	111.4	555.9
1377	72.4	63.4	2.2	0	3	0	3.8	30	1.2	58.6	105.4	80.5	420.5
1378	17.5	12.5	0	6.5	0	0	0	49.7	66	55.2	78.9	2	288.3
1379	47.3	25.3	0	0	0	0	44.3	40.1	107.4	36.2	36.8	40	377.4
1380	62.7	19.2	0	0	0	0.7	4.2	29.2	79.4	102.7	88.2	36.2	422.5
1381	180.3	21.4	0	0	0	0	0	78.2	86.7	66.4	126.6	73.5	633.1
1382	70.2	30.8	9	0	0	0	6.4	99.8	117.1	126.7	61	5	526
1383	130.4	89.5	4.9	0.8	0	0	0.8	74.9	30.8	69.1	92	144	637.2
1384	29.9	43.8	8.7	0	0	0	0	32.9	25.5	73.5	129.6	13.9	357.8
1385	83.8	33.6	4.9	0	0	0	15.9	153	18.7	33.4	77.8	50.2	471.3
1386	151	61.5	15.7	0	0.6	0	1.5	10.7	44	40.8	42.8	28.1	396.7
1387	12.2	20.5	2.6	0	0	6.5	0	96.7	48.6	34.2	40.2	16.6	278.1
1388	82.2	22.4	1	0	0	14.8	2.8	179.9	42.3	16.7	86.6	64.5	513.2
1389	60.9	118.6	0	0	0	0	2.4	36.1	49.6	40.7	57	49.7	415
1390	42.8	74	0	0		0	0	139.9	7.8	18.9	76.8	26.1	386.3
1391	65	13.2	0	0	0	0	0.8	111.1	41.1	31.4	46.4	20.9	329.9
1392	18	44.4	1.2	0	0	0	0	103.5	108.2	37	70.6	62.2	445.1
1393	29.2	8.8	14.4	0	0	0	59.9	62.3	55.5	13	26.8	15.9	285.8
1394	68.2	8.6	1.8	0	0	0	8.5	242.4	71.4	34.1	49.5	54.6	539.1
1395	206.1	27.1	0	0	0	0	0	0.7	21.2	82.9	106.2	113.1	557.3
1396	129.9	18.4	2	0	0	0	0	34.2	20.5	44.2	134.6	49.9	433.7



شکل ۵-۴۹- نمودار دبی - بارش چشمه دربند صحنه، با زمان تأخیر یک ماه

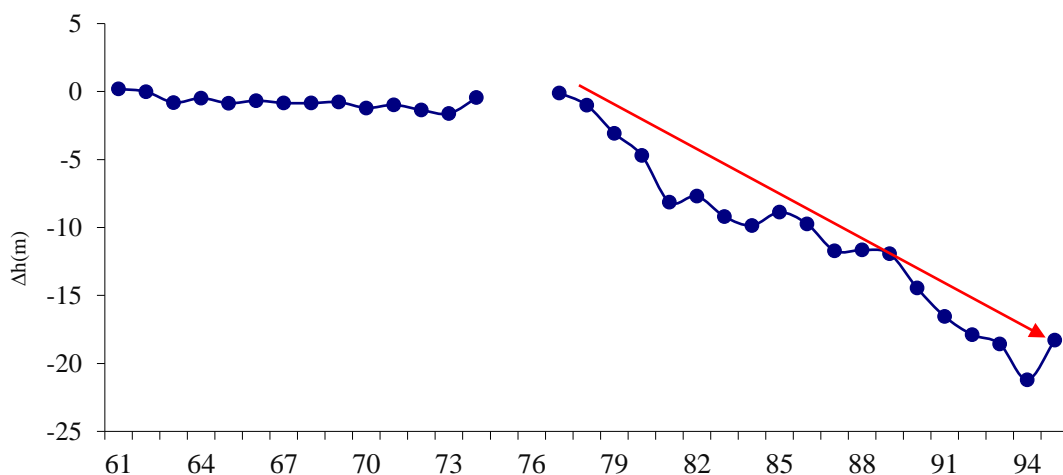


شکل ۵-۵- مقادیر دبی اندازه‌گیری شده و دبی محاسباتی، Q_c : دبی محاسباتی، Q_M : دبی اندازه‌گیری شده

به نظر می‌رسد اختلاف در دبی‌های اندازه‌گیری شده مربوط به زمان‌هایی است که حجم رواناب تداخلی با دبی چشمه زیاد است.

ارزیابی چشمه کاشنبه

با وجود اینکه تا چند کیلومتری حوضه آبرگیر کاشنبه چاه حفر نشده است (برخلاف چشمه نیلوفر، شکل ۵-۵۲)، اما روند کاهشی آبدهی چشمه از دهه ۸۰ مشخص است (شکل ۵-۵۱ و جدول ۵-۳۶)، و این می‌تواند به دلیل گرادیان هیدرولیکی باشد که در اثر افت شدید سطح آب زیرزمینی در ماهیدشت، ایجاد شده است. رودخانه‌ای که سرچشمه اصلی آن از چشمه کاشنبه بوده است، در طی دو دهه اخیر تنها ۱-۲ ماه دارای آب است.

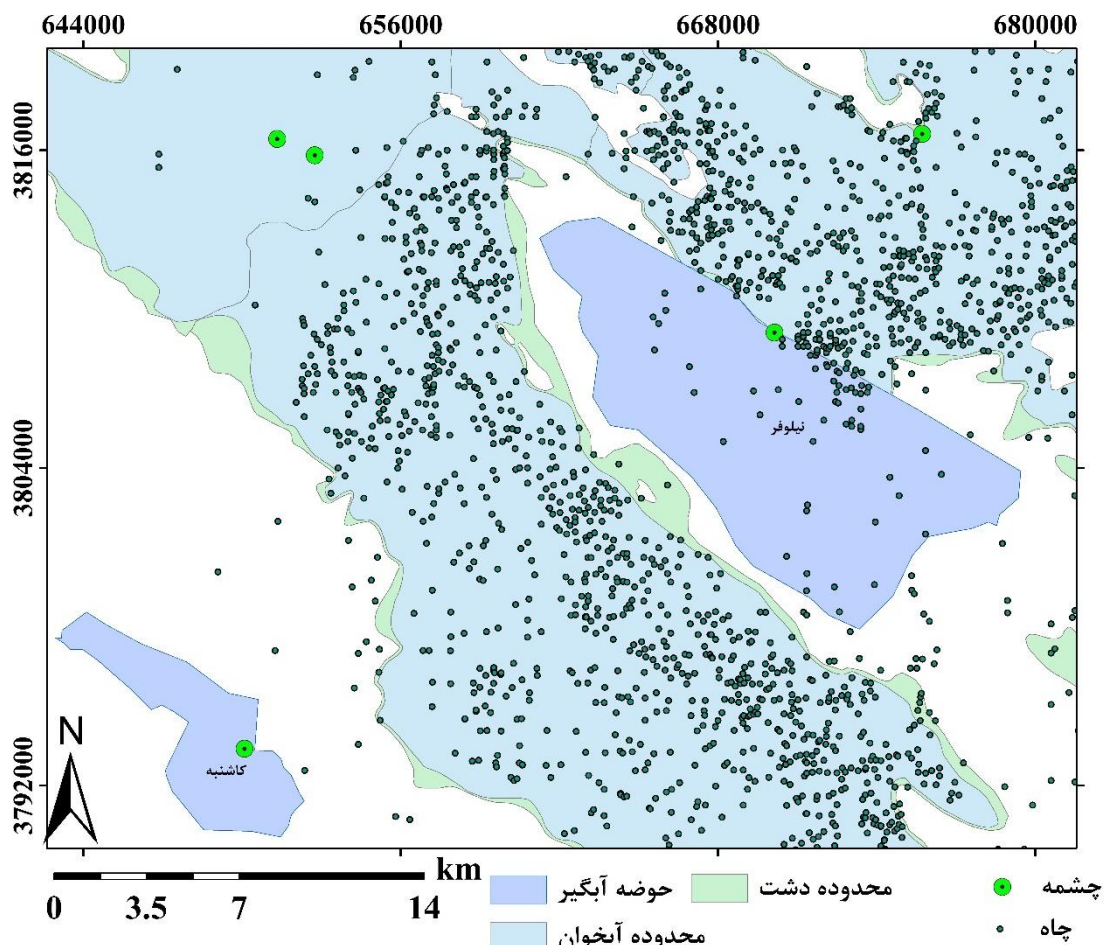


شکل ۵-۵۱- نمودار میانگین تجمعی تغییرات سطح آب زیرزمینی دشت پایین دست چشمه کاشنبه

جدول ۵-۳۶- وضعیت آبخوان ماهیدشت - پایین دست چشمه کاشنبه

سال آبی		میانگین تغییر سطح ایستابی آبخوان (M)	میانگین تجمعی تغییر سطح ایستابی آبخوان (M)	میانگین تغییر حجم آبخوان (MCM)	میانگین تجمعی تغییر حجم آبخوان (MCM)
1360	61	0.19	0.19	1.93	1.93
1361	62	-0.20	-0.01	-2.03	-0.10
1362	63	-0.80	-0.81	-8.13	-8.23
1363	64	0.33	-0.48	3.35	-4.88
1364	65	-0.38	-0.86	-3.86	-8.74
1365	66	0.19	-0.67	1.93	-6.81
1366	67	-0.17	-0.84	-1.73	-8.53
1367	68	-0.01	-0.85	-0.10	-8.64
1368	69	0.07	-0.78	0.71	-7.92
1369	70	-0.43	-1.21	-4.37	-12.29
1370	71	0.23	-0.98	2.34	-9.96
1371	72	-0.38	-1.36	-3.86	-13.82
1372	73	-0.26	-1.62	-2.64	-16.46
1373	74	1.17	-0.45	11.89	-4.57
1374	75				
1375	76				
1376	77	0.34	-0.11	3.45	-1.12
1377	78	-0.89	-1.00	-9.04	-10.16
1378	79	-2.07	-3.07	-21.03	-31.19
1379	80	-1.63	-4.70	-16.56	-47.75
1380	81	-3.43	-8.13	-34.85	-82.60
1381	82	0.44	-7.69	4.47	-78.13
1382	83	-1.50	-9.19	-15.24	-93.37
1383	84	-0.66	-9.85	-6.71	-100.08
1384	85	0.97	-8.88	9.86	-90.22
1385	86	-0.85	-9.73	-8.64	-98.86
1386	87	-1.98	-11.71	-20.12	-118.97
1387	88	0.05	-11.66	0.51	-118.47
1388	89	-0.27	-11.93	-2.74	-121.21
1389	90	-2.52	-14.45	-25.64	-146.85
1390	91	-2.09	-16.54	-21.23	-168.09
1391	92	-1.34	-17.89	-13.65	-181.73
1392	93	-0.68	-18.57	-6.91	-188.64
1393	94	-2.64	-21.21	-26.82	-215.47
1394	95	2.91	-18.30	29.57	-185.90

متوسط افت سالانه در آبخوان ماهیدشت، از اواسط دهه ۷۰ تاکنون، حدود ۹۰ سانتی متر است.



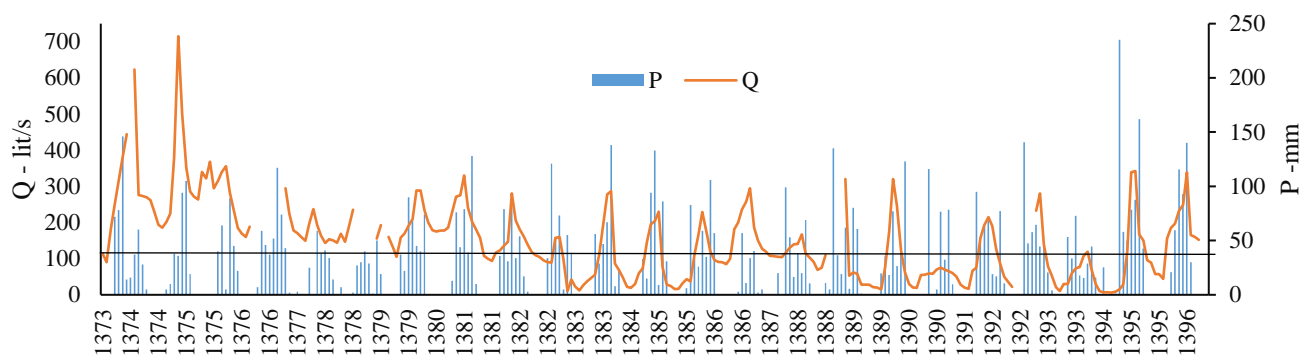
شکل ۵-۲- چاه‌های اطراف حوضه آبخیز چشمه‌های کاشنبه و نیلوفر

همانگونه که در فصل ۴ ذکر شد حوضه آبخیز این چشمه کوچکتر و توسعه کارست در آن به نسبت دیگر چشمه‌های منتخب کمتر و پوشش گیاهی قابل توجهی نسبت به حوضه‌های آبخیز سایر چشمه‌ها قابل مشاهده است. داده‌های مربوط به دبی چشمه و بارش در منطقه در جداول ۵-۳۷ و ۵-۳۸ ذکر شده است. رابطه دبی-بارش چشمه در شکل ۵-۵۳ قابل مشاهده است. براساس توضیحاتی که در ارزیابی چشمه هرسین ذکر شد، ضرایب مربوط به خصوصیات حوضه آبخیز حدود ۰/۵ و میانگین ضرایب فرود در چشمه ۰/۰۱۱ محاسبه شد. در نهایت با توجه به روند آبدی چشمه و ارتباط آن با بارش در منطقه، می‌توان تا اواخر دهه ۷۰ و اوایل دهه ۸۰، ضریب مربوط به اثر فعالیت‌های انسانی (ناشی از برداشت آب زیرزمینی که منجر به شروع افت آبخوان شده است) را یک در نظر گرفت. به دلیل توسعه کارست پایین‌تر ضریب K برای این چشمه ۰/۳۲ برآورد گردید.

چنانچه بر اساس معادله به دست آمده بدون اعمال ضرایب K و H دبی برآورد شود روند مشابه شکل ۵-۵۴ خواهد بود. که در آن ، Q_c : دبی محاسباتی، Q_M دبی اندازه‌گیری شده است. با اعمال اثر فعالیت انسانی روند برآورد دبی در شکل ۵-۵۵ آورده شده است.

جدول ۵-۳۷- دبی ماهانه چشمه کاشنبه

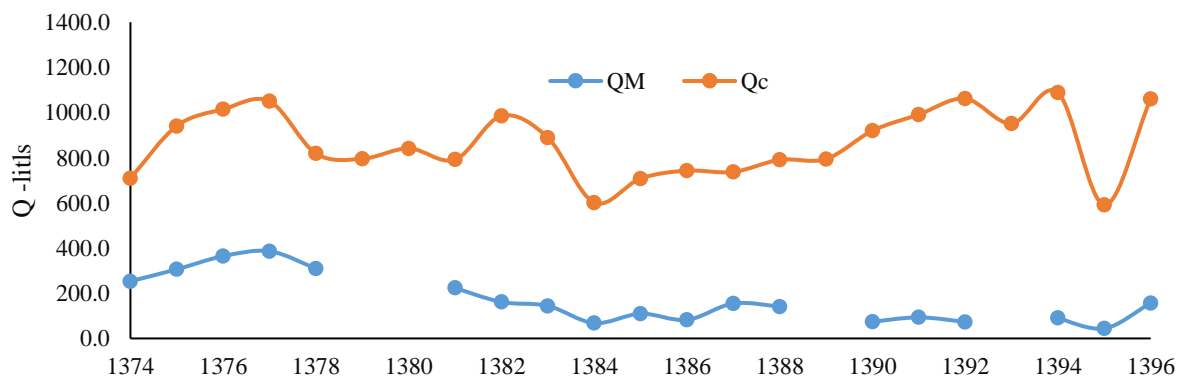
Date	Q- lit/s												Q
	Farvardin	Ordibehesht	Khordad	Tir	Mordad	Shahrivar	Mehr	Aban	Azar	Day	Bahman	Sfand	
1365	256	272	275	220	211	185	165	155	150	151	205	281	210.5
1366	291	278	265	231	205	200	190	187	204	220	258	340	239.1
1367	350	355	327	326	319	274	250	240	239	261	270	307	293.2
1368	371	314	303	301	238	210	205	188	221	325	353	367	283.0
1369	370	366	158	153	149	133	123	153	184	181	192	211	197.8
1370	242	216	155	130	93	90	85	85	100	178	190		142.2
1371	422	533					608	301	348				
1372				163	144		201	302	207	173	303	405	
1373	277	150	166	166	131	113	90	180	248	317	380	444	221.8
1374	970	623	276	273	270	262	230	194	186	202	225	380	340.9
1375	715	502	352	286	272	264	340	322	368	295	315	340	364.3
1376	356	283	235	185	170	160	188		474		782		314.8
1377				295	224	178	171	160	149	196	237	193	200.3
1378	164	143	154	150	144	169	147	188	235				166.0
1379			156	193		160	133	105	158	170	190	210	163.9
1380	288	288	234	200	179	175	178	178	186	230	272	275	223.6
1381	330	241	202	181	157	108	100	94	117	123	135	147	161.3
1382	280	206	180	162	138	118	110	104	95	90	89	157	144.1
1383	160	100	10	42	23	12	26	38	47	56	111	191	68.0
1384	278	287	87	68	48	22	19	30	60	73	146	195	109.4
1385	204	230	76	28	25	16	17	32	43	37	113	166	82.3
1386	229	174	120	96	91	90	85	100	181	200	236	257	154.9
1387	295	186	150	127	119	108	107	105	104	117	130	140	140.7
1388	141	167	114	103	91	69	75	110					108.8
1389	320	53	62	58	28	28	28	21	20	15	75	176	73.7
1390	320	247	122	63	30	20	19	55	56	59	58	70	93.3
1391	75	70	65	60	50	28	20	17	66	75	157	193	73.0
1392	215	190	127	85	50	35	22						103.4
1393	233	280	140	79	53	21	10	30	30	59	73	77	90.4
1394	107	119	71	30	10	7	7	6	9	15	28	122	44.3
1395	339	342	167	150	95	89	57	57	44	156	185	197	156.5
1396	232	249	339	165	160	152							216



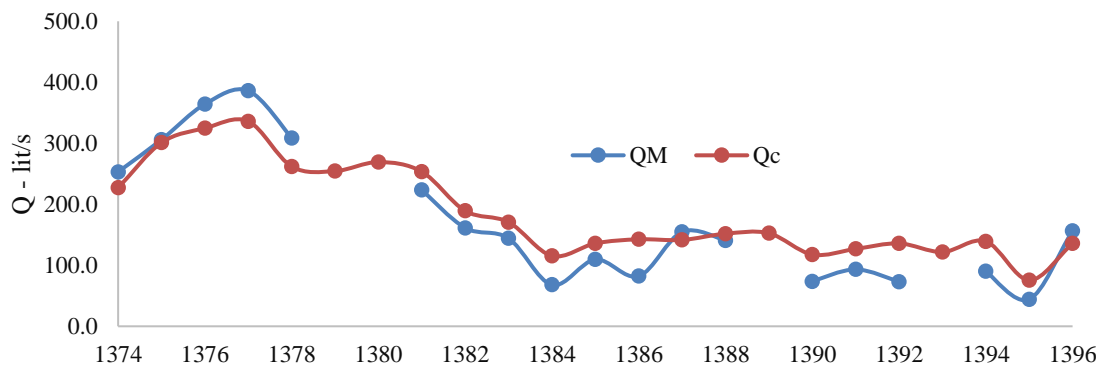
شکل ۵-۳-۵- نمودار دبی - بارش چشمه کاشنبه، با زمان تأخیر دو ماه

جدول ۵-۳۸-۵- بارش ماهانه ایستگاه ماهیدشت

Date	P- mm												
	Farv.	Ordi.	Khordad	Tir	Mordad	Shah.	Mehr	Aban	Azar	Day	Bahman	Sfand	Sum
1374	60	28	5	0	0	0	0	5	10	38	36	94	276
1375	105	19	0	0	0	0	0	0	40	64	5	89	322
1376	45	22	0	0	0	0	7	59	46	37	52	117	385
1377	74	43	2	0	3	0	0	25	0	59	38	41	285
1378	34	14	0	7	0	0	2	27	30	40	29	1	184
1379	50	19	0	0	0	0	37	22	90	69	45	40	372
1380	74	0	0	0	0	0	0	13	76	44	79	39	325
1381	128	10	0	0	0	0	0	36	79	31	82	34	400
1382	54	17	3	0	0	0	0	34	121	53	73	5	360
1383	55	39	0	0	0	0	0	56	29	47	67	138	431
1384	8	23	0	0	0	0	0	33	15	94	133	9	315
1385	86	31	0	0	0	0	6	83	33	26	59	35	359
1386	106	57	0	0	0	0	0	3	57	11	34	40.5	308.5
1387	2	5	0	0	0	20	0	99	53	16.5	38.5	20	254
1388	69	10.5	0	0	0	11	5	135	36.5	19	62	5.5	353.5
1389	80.2	60.7	1	0	0	0	0	19.7	35.7	18.2	76.9	26.5	318.9
1390	44.2	123	0	0	0	0	0	115.9	0.5	4.9	76.7	32.3	397.5
1391	78.5	9.7	0	0	0	0	0	95	49.5	63.5	68.7	19	383.9
1392	17	77.2	10.5	0	0	0	0	140.7	47.5	57.7	64.5	44.5	459.6
1393	46.5	20.7	4	0	0	0	53.3	33.7	72.7	18	15.5	29	293.4
1394	44.5	16	0	25.2	0	1	1	235	58.2	50	78.5	87.7	597.1
1395	162	42.6	0	0	0	0	0	0	21	59.5	115.5	93	493.6
1396	130	40	0	0	0	0							170



شکل ۵-۳۴-۵- مقادیر دبی اندازه‌گیری شده و دبی محاسباتی چشمه کاشنبه بدون اعمال اثر فعالیت انسانی



شکل ۵-۵۵- مقادیر دبی اندازه‌گیری شده و دبی محاسباتی چشمه کاشنبه

ارزیابی چشمه طاق‌بستان و نیلوفر

داده‌های آبدی چشمه‌های طاق‌بستان و نیلوفر به دلیل نزدیک بودن و شرایط آب‌وهوایی یکسان، با آمار بارش ایستگاه کرمانشاه که دارای آمار بلندمدت است مقایسه می‌شوند.

سایر مراحل محاسبه ضرایب مربوط به ضرایب فرود، اثر فعالیت‌های انسانی و خصوصیات آبخوان برای چشمه‌های نیلوفر و طاق‌بستان مشابه چشمه‌های پیشین انجام شد و نتایج آن در جداول ۵-۳۹ تا ۵-۴۳ و شکل‌های ۵-۵۷ تا ۵-۶۰ آورده شده است. چشمه طاق‌بستان در طی دهه ۷۰ و ۸۰ اندازه‌گیری نشده است و بنابراین با وجود برآورد دبی، قابل مقایسه با داده‌های واقعی در این بازه زمانی نیست.

نکته دارای اهمیت در خصوص چشمه نیلوفر اثر قابل توجه فعالیت انسانی است که همانطور که از شکل ۵-۵۹ مشخص است، دبی چشمه نیلوفر به حدی کاهش یافته است و تحت برداشتهای خارج از توان آبخوان، قرار گرفته است که دبی این چشمه در زیر خط دبی حداقلی در دهه‌های قبلی قرار گرفته است. اثر فعالیت‌ها بر روی این چشمه تا بیش از ۹۰ درصد رسیده است.

ارزیابی چشمه روانسر

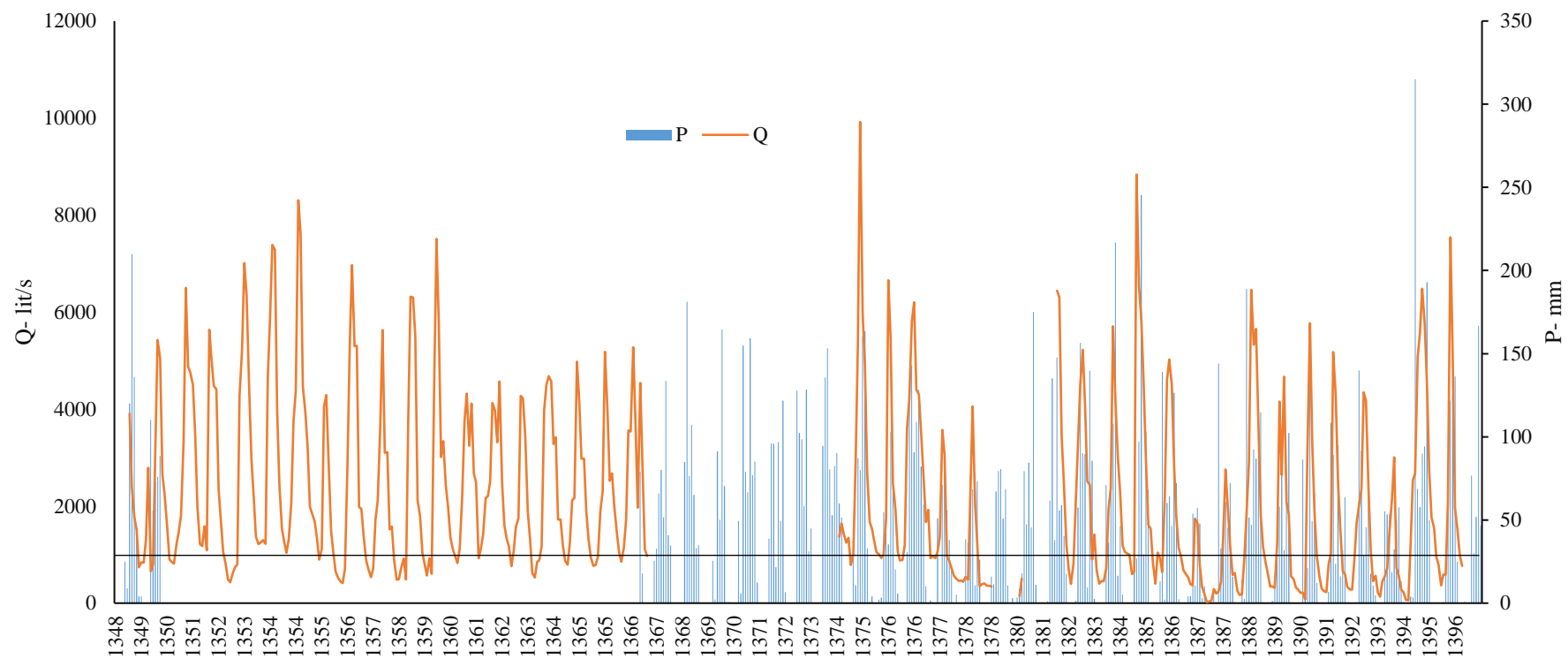
متأسفانه در حوضه آبرگیر وانسر به دلیل عدم اندازه‌گیری دبی و بارش به صورت منظم، معادله محاسبه شده قابل ارزیابی دقیق نیست. زیرا نیاز است سهم اثر فعالیت‌های انسانی با استفاده از پایش طولانی مدت رابطه دبی-بارش امکان‌پذیر است.

جدول ۵-۳۹- دبی ماهانه چشمه روانسر

Date	Q- lit/s												
	Farv.	Ordi.t	Khor.	Tir	Mordad	Shah.	Mehr	Aban	Azar	Day	Bah.	Sfand	Q
1349	3904	2383	1771	1511	741	840	838	1320	2790	659	800	3175	1727.7
1350	5424	5044	2662	2228	1564	904	847	814	1216	1474	1820	3335	2277.7
1351	6500	4875	4750	4500	3479	1983	1216	1176	1586	1090	5633	5004	3482.7
1352	4473	4410	2341	1697	1058	801	489	428	617	737	799	4277	1843.9
1353	5231	7014	6343	4438	2975	2203	1369	1218	1252	1298	1221	4660	3268.5
1354	5883	7387	7285	3986	2445	1534	1261	1035	1310	2052	3754	4378	3525.8
1355	8307	7623	4470	3926	3213	1986	1840	1684	1336	897	1117	4056	3371.3
1356	4291	2929	1489	1034	654	520	447	411	708	2870	5316	6968	2303.1
1357	5300	5302	1982	1947	1332	884	698	537	715	1721	2117	3652	2182.3
1358	5632	3100	3113	1520	1578	886	480	493	729	921	487	3774	1892.8
1359	6319	6300	5496	2127	1784	1034	806	571	924	608	4221	7509	3141.6
1360	5790	3015	3338	2418	1983	1361	1105	966	829	1118	2206	3738	2322.3
1361	4321	3245	4117	2673	2490	923	1125	1415	2169	2210	2516	4125	2610.8
1362	3970	3317	4567	2495	1616	1335	1179	764	1067	1578	1750	4273	2325.9
1363	4218	3443	1894	1320	615	530	845	888	1175	3987	4500	4679	2341.2
1364	4572	3279	3420	1722	1726	1198	872	794	1252	2119	2169	4975	2341.5
1365	4180	2976	2980	1892	1318	945	769	787	957	1907	2299	5181	2182.6
1366	3970	2521	2677	2005	1464	1050	856	1141	1729	3558	3536	5273	2481.7
1367	3752	1970	4537	2802	1120	971							
1368													
1374				1371	1640	1427	1246	1343	785	1012	2867	5322	1890.3
1375	9919	5966	4903	2680	1672	1534	1273	1049	1008	933	1009	1743	2807.4
1376	6657	5453	2480	1940	1071	879	889	1200	3600	4200	5803	6200	3364.3
1377	4397	4300	3500	2649	1674	1925	928	971	925	1057	1362	3572	2271.7
1378	3052	965	879	709	563	506	462	465	441	541	483	2221	940.6
1379	4058	2047	1166	349	392	409	359	358	343				1053.4
1380									142	508			
1381													
1382	6438	6307	3463	2479	1211	705	393	807	2063	3283	4503	5220	3072.7
1383	4083	2513	2436	905	1413	682	402	455	455	719	1927	2369	1529.9
1384	5707	4094	3012	2294	1183	1055	1024	1002	597	652	8835	6523	2998.2
1385	5853	4601	3032	1605	1537	842	400	1040	934	641	2168	4608	2271.8
1386	5023	4500	2846	1776	1150	950	678	608	527	392	367	1742	1713.3
1387	1646	782	335	178	23	34	43	289	198	237	430	1367	463.5
1388	2755	1894	1136	579	621	257	169	182	960	1905	2914	6456	1652.3
1389	5329	5654	3776	1780	1161	859	637	345	342	312	1238	4156	2132.4
1390	2644	4666	2084	1825	550	492	323	279	215	212	77	3183	1379.2
1391	5769	3289	1872	986	567	304	251	224	808	1025	5177	4291	2046.9
1392	2515	1560	660	591	335	282	281	889	1656	2042	2348	4350	1459.1
1393	4174	2367	1077	455	565	223	132	446	558	714	1457	2136	1192.0
1394	3009	726	570	275	224	66	55	1208	2532	2677	5064	5565	1830.9
1395	6479	5748	4500	2704	1764	1556	954	784	369	590	589	2073	2342.5
1396	7539	5063	1968	1501	994	768							

جدول ۵-۴- بارش ماهانه در ایستگاه روانسر

Date	P- mm												
	Farv.	Ordi.	Khor.	Tir	Mor.	Shah.	Mehr	Aban	Azar	Day	Bah.	Sfand	Sum
1333	229.3	15	0	0	0	0	0	92.2	30.3	134.8	50.7	118.2	670.5
1334	104.8	69.9	7	7	0	0	0	83.2	107.6	84.6	54.2	134.1	652.4
1335	115.8	7	0	0	0	0	0	0	71.7	45.9	36.4	214.6	491.4
1336	156.6	295.2	74.7	74.7	0	0	38.3	138.7	56.4	37.1	52	78	1001.7
1337	109.8	89	9	9	0	0	0	17.7	171.5	19	37.5	6	468.5
1338	149.5	84.2	0	0	0	0	5.6	18	27	21	18	18	341.3
1339	156.5	94.5	0	0	0	0	1	101.2	71	131.6	59	47	661.8
1340	108	94	10	10	0	0	0	41	82	117	93	26	581.0
1341	54	76	0	0	0	0	0	112.2	86	61.3	123.6	59.3	572.4
1342	59.9	96	13	13	0	0	0	25	64.5	63	84	87.9	506.3
1343	65	10	0	0	0	0	0	17.6	24	110	28	20	274.6
1344	140.6	40.6	0	0	0	1	41	19	8	23	69	117	459.2
1345	26	65	10	10	0	0	20	27	40	44	59	41	342.0
1346	56	101	0	0	0	0	0	75	29	12	32	139	444.0
1347	157	184	36	36	0	0	0	0	34	138	111	159	855.0
1348	46.5	98	0	0	0	0	76	78	19	125	123	209	774.5
1349	20	0	0	0	0	0	0	0	25	9	120	210	384.0
1350	136	41	4	4	0	0	0	110.1	55.5	73	76	88.4	588.0
1351													
1365													
1366													
1367	79.1	17.9	0.2	0	0	0	25.4	32.7	66	80	51.6	133.6	486.5
1368	40.8	34.7	0	0	0	0	0	84.8	181.2	76.5	107	65	590.0
1369	33.1	34.8	0	0	0	0	0	25.5	2.2	91.3	50.1	164.5	401.5
1370	70.4	0.7	0.6	0	0	0	49.4	5.7	154.9	79	66.6	159.2	586.5
1371	77	85.2	12.4	0	0	0	0	38.7	96.1	95.8	21.6	96.8	523.6
1372	49.2	121.7	6.6	0	0	0	0	127.9	102.3	98.5	58.2	128.3	692.7
1373	31.1	44.9	0	0	0	0.4	94.5	135.6	153.1	80.4	52.9	82.5	675.4
1374	90.3	59.9	51.4	0	0	0	0	30.3	10.6	87.1	80	160.5	570.1
1375	163.6	33	0.8	4	0	0	2.2	3.4	54.7	79.8	35.3	102.9	479.7
1376	86.9	20.2	5.8	0.4	0	0	30.5	121.7	143	90.8	109	128.1	736.4
1377	82	59.3	10.1	0	1.6	0.6	0	50.9	0	71.1	80.5	55.7	411.8
1378	38.1	21.5	0	5	0.2	0	0	38.4	36.1	76.7	68.4	10.6	295.0
1379	73.2	26	0	0.4	0	0	16	11.4	67.1	79.3	80.6	50.8	404.8
1380	68.4	10.7	0	3	TR	3.4	8.4	17.8	79.4	47.2	84.5	45.6	368.4
1381	175.1	11	0	TR	0	0	1.2	61.6	135.2	37.9	147.7	55.8	625.5
1382	58.9	40.5	17.6	0	0	0	1.3	57.4	156.5	90.1	89.6	9.4	521.3
1383	139.7	85.7	2.6	0.2	0	0	TR	71.1	36.4	77.2	107.7	216.8	737.4
1384	16.4	46.4	5.3	0	0	0	0.1	40.5	26.9	97.2	245.5	29.4	507.7
1385	103.2	68	0	0	0	0	13	139	2.1	60.2	64.3	46.3	496.1
1386	126.4	72.2	2.4	0	0	0	4.1	4.2	53.7	10.5	57.2	47.7	378.4
1387	3	10.2	0.5	0	0	6.8	0.4	143.9	32.9	51	60.9	45.4	355.0
1388	72.3	15.9	0.6	0	0	13.9	2.5	188.9	51.4	47.1	92.5	86.9	572.0
1389	88.3	114.7	0.4	0	0	0	1.3	9.5	56.6	57.9	101.2	31.9	461.8
1390	79.7	102.4	0.1	0	0	0	0	86.4	6.3	21.1	136.6	49.4	482.0
1391	66.2	12.2	0	0	0	0	6.7	108.4	89	23.6	94.8	16.2	417.1
1392	31.6	63.7	0	0	0	0	0	139.9	91.6	28.3	45.6	78.2	478.9
1393	17.7	10.5	4.7	0	0	0	55.2	53.4	53.7	18.7	32.4	49.8	296.1
1394	57.6	13.3	0.6	0	0	3.9	3.3	315	68.6	57.8	89.9	94.1	704.1
1395	192.9	49.8	0	0	0	0	0	0.7	34.5	67.6	121.9	125	592.4
1396	136.4	24.9	0	0	0.9	0	0	76.6	30.1	51.9	166.7	46.6	534.1



شکل ۵-۵۶- نمودار دبی - بارش چشمه روانسر، با زمان تأخیر یک ماه

جدول ۴۱-۵ - دبی ماهانه چشمه طاق بستان

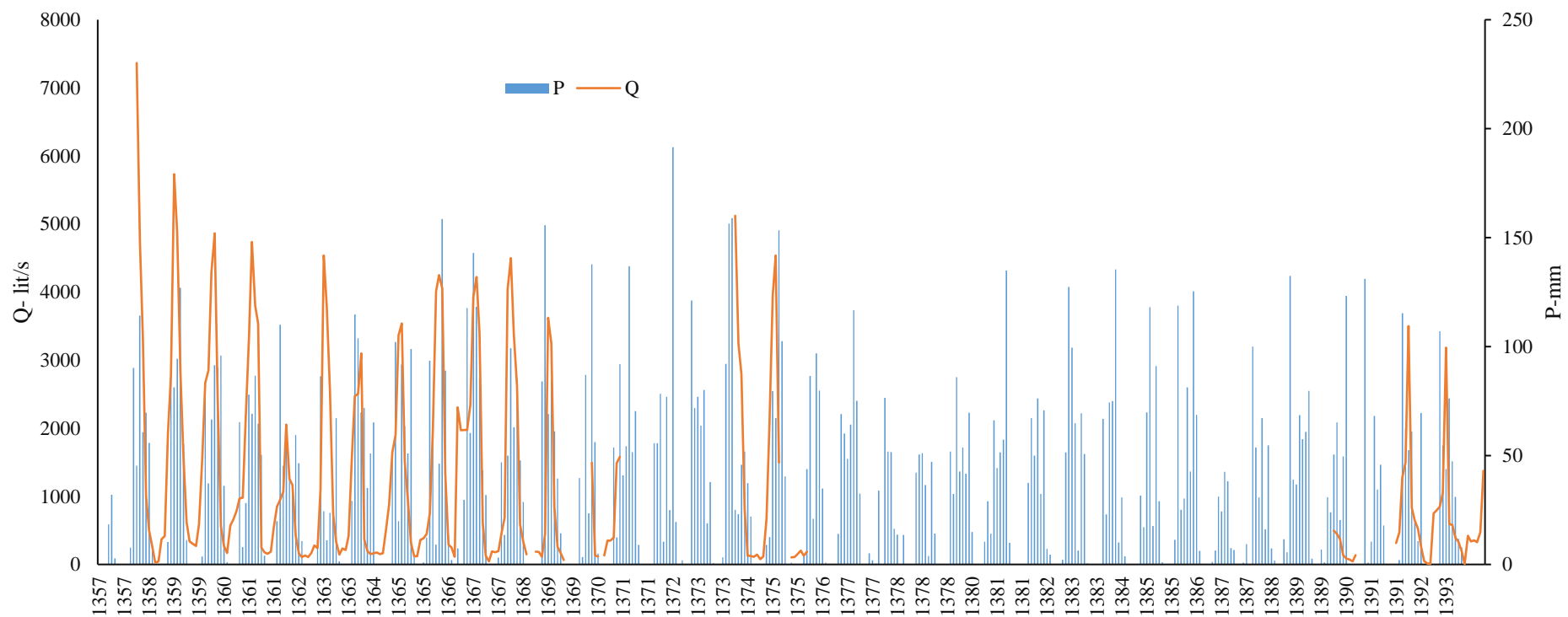
Date	Q- lit/s												
	Far.	Ordi.	Khor.	Tir	Mor.	Shah.	Mehr	Aban	Azar	Day	Bah.	Sfand	Q
1358	7365	4749	3328	998	496	259	22	44	369	418	1936	2780	1897.0
1359	5730	4880	2844	1619	618	339	302	270	594	1564	2667	2849	2023.0
1360	4297	4862	2449	570	275	168	571	659	785	967	981	2159	1561.9
1361	3331	4737	3800	3538	248	177	154	188	550	853	945	1066	1632.3
1362	2056	1258	1166	420	159	108	132	109	166	279	239	1109	600.1
1363	4537	3800	2549	732	329	145	237	213	416	1557	2476	2500	1624.3
1364	3100	364	197	150	165	177	152	163	526	877	1646	1903	785.0
1365	3366	3539	1516	925	320	119	121	360	380	444	755	1958	1150.3
1366	4010	4250	4056	1347	290	253	113	2306	1972	1973	1973	2341	2073.7
1367	3930	4223	3390	607	127	43	190	179	197	450	687	4041	1505.3
1368	4500	3381	2608	588	335	148			189	185	112	448	1249.4
1369	3622	3245	846	257	164	66							
1370			1494	132	115		134	349	349	395	1489	1584	671.2
1373													
1374	5123	3243	2800	806	129	124	112	146	75	118	671	2075	1285.2
1375	3948	4539	1494		115		104	110	150	203	129	188	1098.0
1391									313	470	1276	1500	
1392	3500	835	646	524	250	49	15	10	750	795	850	1055	773.3
1393	3182	590	583	388	333	191	8	422	339	353	325	474	599.0
1394	1377	985	323	0	2	0	2477	801	850	867	739	525	745.5
1395	3965	3138	2932	464	254	92	122	84	82	394	779	860	1097.2
1396	4269	5501	812	632	396	265							

جدول ۴۲-۵ - بارش ماهانه ایستگاه کرمانشاه

Date	P- mm												
	Far.	Ordi.	Khor.	Tir	Mor.	Shah.	Mehr	Aban	Azar	Day	Bah.	Sfand	Sum
1340	71.9	52.6	0.8	0	0	0	0	58	72	7	61	78.1	401.4
1341	71.8	52.1	5	0	1	0	5	73	32.3	38	105	37.9	421.1
1342	124.4	183.8	30.4	0	0	0	0	23.3	59	36	57.4	63.6	577.9
1343	40.7	9	0.4	0	0	0	0	15	34	85.4	46.6	28	259.1
1344	110	24.8	0	0	0	0	80.4	56.4	3	13.6	133.2	81.6	503
1345	70.1	33	1.2	0	0	0	57	104	27.5	74.4	64.9	28.6	460.7
1346	51.3	108.4	0.2	0	0	0	7.6	92.4	14.3	62.3	55.8	52	444.3
1347	111	111.4	32.8	0	0	0	0	102	94.6	81	104.8	120	757.6
1348	272	78.6	2.5	0	0	2	30.2	76	7	81.4	69	122.4	741.1
1349	12.6	131.9	0	0	0	0	3	12.2	72.8	13.8	94.4	60.4	401.1
1350	177.7	56.1	7	0	5	0	0	101	85	73.4	101.6	140.3	747.1
1351	116.6	86.2	5.2	0	3.2	0	0	11	83	43.3	57.4	65	470.9
1352	41	9	0	0	0	0	1	13	59.4	89.2	95.8	221.4	529.8
1353	171.3	10.6	0	0	0	0	0.2	5.2	89	51.3	76.8	106	510.4
1354	31.8	135.4	0.4	0	0	0	7	37.4	104.8	77.2	53.8	61	508.8
1355	85.3	47.4	0	0	0	0.3	6.1	32	36.3	85.7	45.6	45.7	384.4
1356	46.2	22.9	19.3	0	0	0	20.3	114.6	69.1	43	39	62.2	436.6
1357	18.4	32	2.8	0	0	0	0	7.7	90.2	45.4	114.2	60.7	371.4
1358	69.6	55.8	7.6	0	0	0	0	10.3	104.8	81.3	94.4	127	550.8
1359	55.1	11.2	0	0	0	0	3.6	79.4	37.2	66.5	91.4	90.1	434.5

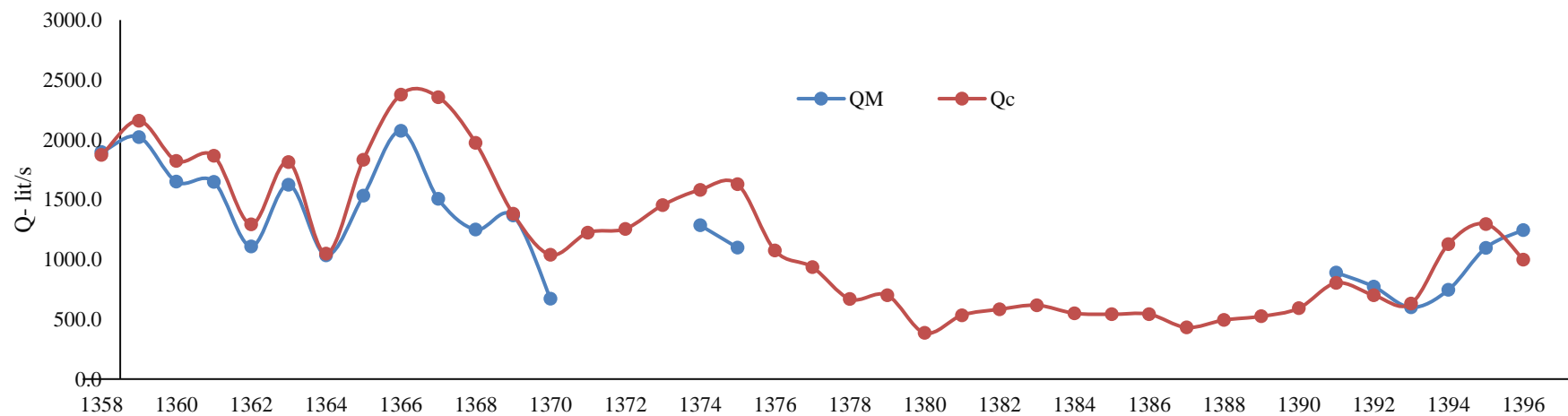
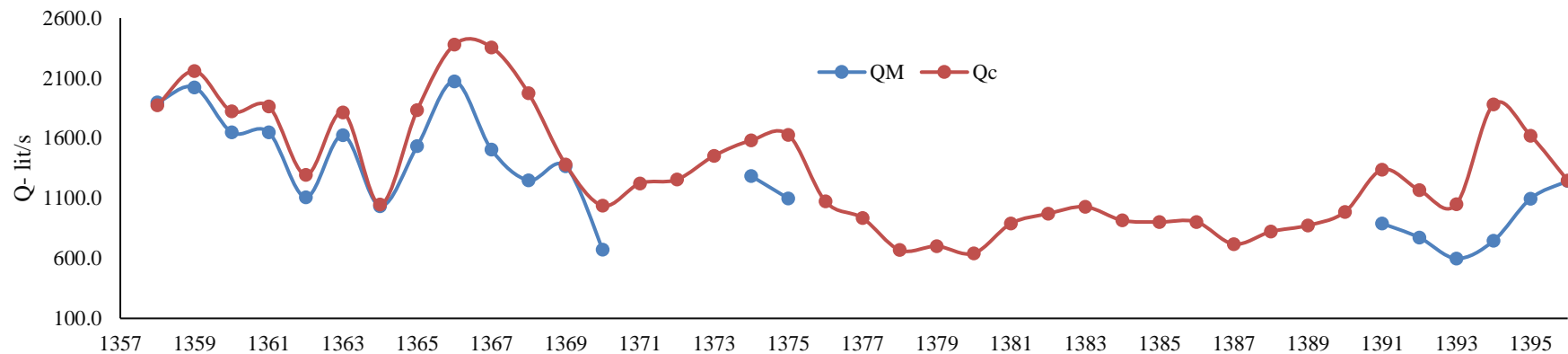
جدول ۵-۴۳- بارش ماهانه ایستگاه کرمانشاه - ادامه

Date	P- mm												
	Far.	Ordi.	Khor.	Tir	Mor.	Shah.	Mehr	Aban	Azar	Day	Bah.	Sfand	Sum
1360	95.9	36.1	1	0	0	0	65.3	8	28.2	77.9	69.2	86.6	468.2
1361	64.5	50.3	4	0	0	0	19.9	110	45.2	60.7	38.9	36.1	429.6
1362	59.3	46.5	10.7	0	0	0	0	11	86.3	24.4	11.1	23.7	273
1363	25.2	67.1	1.4	0	0	0	29.2	114.7	103.8	69.7	71.9	35.1	518.1
1364	50.9	65.2	0	0	0	0	0	50.7	102.1	19.8	91.8	63.4	443.9
1365	50.9	98.8	4.2	0	0	0.9	12.3	93.5	63.3	9.1	46.2	158.6	537.8
1366	89	13.2	2	0	7.4	0	29.6	117.7	60.4	143	118.3	85.4	666
1367	43.1	31.9	0	0	0	3.2	46.9	13.6	49.9	99.2	63	85.1	435.9
1368	47.7	28.7	0	0	0	0	0	84	155.7	69	84.9	61.1	531.1
1369	39.4	14.3	0	0	0	0	0	39.7	3.4	87	23.4	137.8	345
1370	56.1	5	0	0.1	0	0	53.7	12.4	91.9	40.9	54.3	136.9	451.3
1371	51.5	70.4	8.9	0	0	0	0	55.6	55.7	78.3	10.5	77	407.9
1372	24.9	191.5	19.5	0	1.9	0	0.1	121.1	71.8	76.9	63.7	80.1	651.5
1373	18.9	37.8	0.6	0	0	3.3	92.1	156.5	158.9	25	23.1	45.7	561.9
1374	51.8	37.3	22	0	0	0	0	8.9	12.5	79.6	67.2	153.4	432.7
1375	102.5	40.4	0	0.8	0	0	0.1	4.1	43.7	86.5	21	96.9	396
1376	79.8	34.8	0.8	0.1	0	0	14	69	60.1	48.5	64.2	116.7	488
1377	75.1	32.5	0.1	0	5.1	1.9	0.4	33.8	0	76.5	51.8	51.6	328.8
1378	16.4	13.7	0.1	13.6	0	0	0	42.2	50.4	51.1	36.5	3.9	227.9
1379	47.1	14.2	0	0	0	0	51.8	32.4	86	42.7	53.7	41.6	369.5
1380	69.6	14.9	0	TR	TR	10.5	29	14.1	66.2	44.3	51.4	57.3	357.3
1381	134.9	9.9	0	0	0	0	TR	37.5	67.2	50	76.2	32.4	408.1
1382	70.7	7.1	4.5	0	0	0	2.1	51.4	127.3	99.5	64.8	6.4	433.8
1383	69.4	50.7	0.6	0.2	0	0	0	66.8	22.9	74.3	75	135.4	495.3
1384	10.1	30.8	3.7	0	TR	0	0	31.6	17.1	69.8	118.1	17.6	298.8
1385	91	29	1	0	0	0	11.3	118.8	25	30.3	81.3	42.6	430.3
1386	125.4	68.7	6.2	0	0	0	1.2	6.3	31.1	24.3	42.5	38.2	343.9
1387	7.5	6.6	0	0	0.8	9.3	TR	100	53.7	30.8	67.1	16.1	291.9
1388	54.7	7.4	1.8	0.2	0	11.6	5.6	132.4	38.9	36.7	68.5	57.5	415.3
1389	60.9	79.7	2.7	0	0	6.8	0.9	30.9	24	50.5	65.2	20.4	342
1390	49.6	123.2	0	0	0	0	0	131	0.8	10.4	68.2	34.3	417.5
1391	45.7	17.9	0	0	0	0	2	115.3	62.4	52.4	61	19.2	375.9
1392	10.7	69.5	0.2	0	0	0	0	107	54.5	43.7	76.2	47.3	409.1
1393	31	11.8	7.8	0	0	0	58.4	37.4	37.2	12.5	5.3	21.6	223
1394	49.9	6.9	3.5	0	3.2	3.1	8.6	203.8	48.1	25.6	54.4	96.2	503.3
1395	163.1	54.6	0.3	0	0	0	0	1	14.4	75.4	80.8	70	459.6
96	132.5	22.1	0	0	0	0	0	33.8	10.2	27.2	95.1	30.1	351

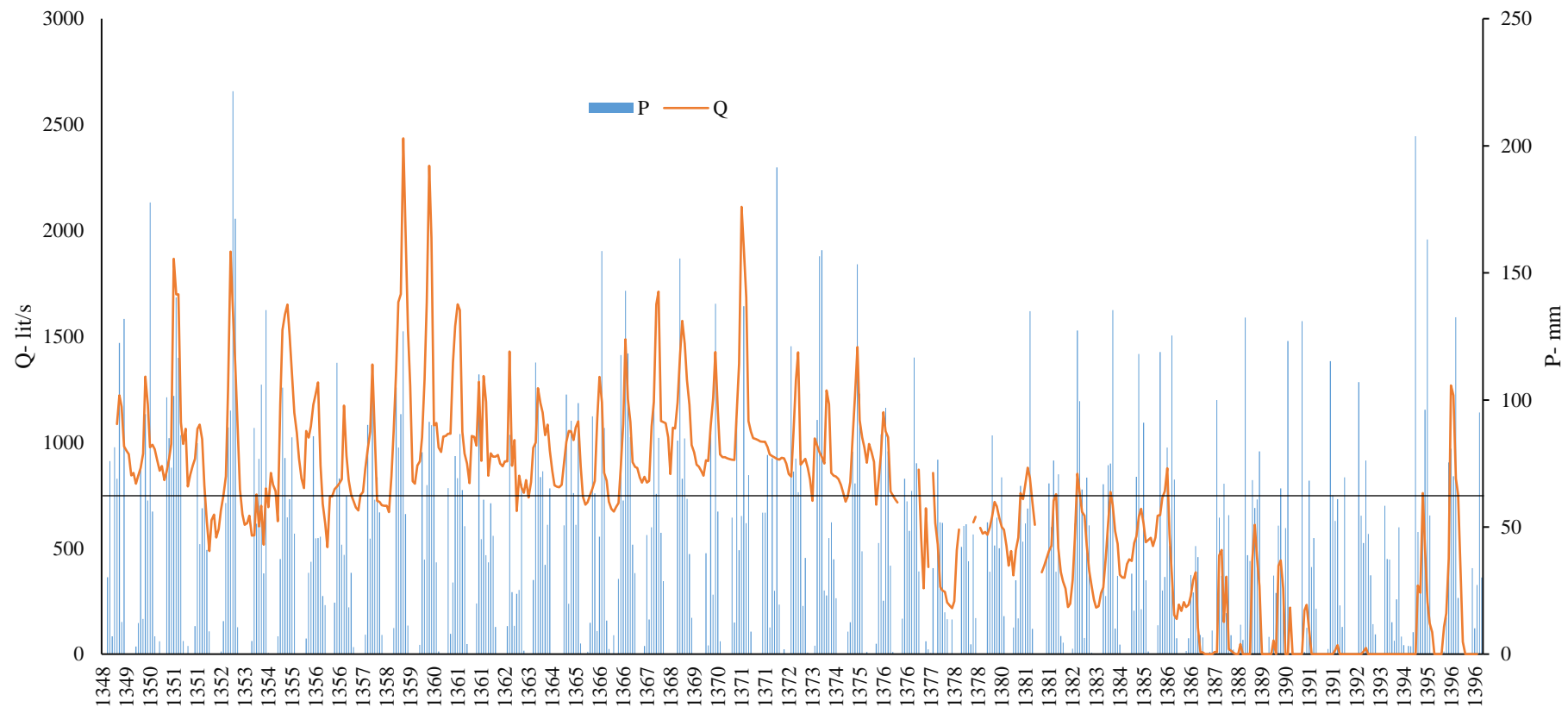


شکل ۵-۵۷- نمودار دبی - بارش چشمه طاق بستان، با زمان تأخیر یک ماه

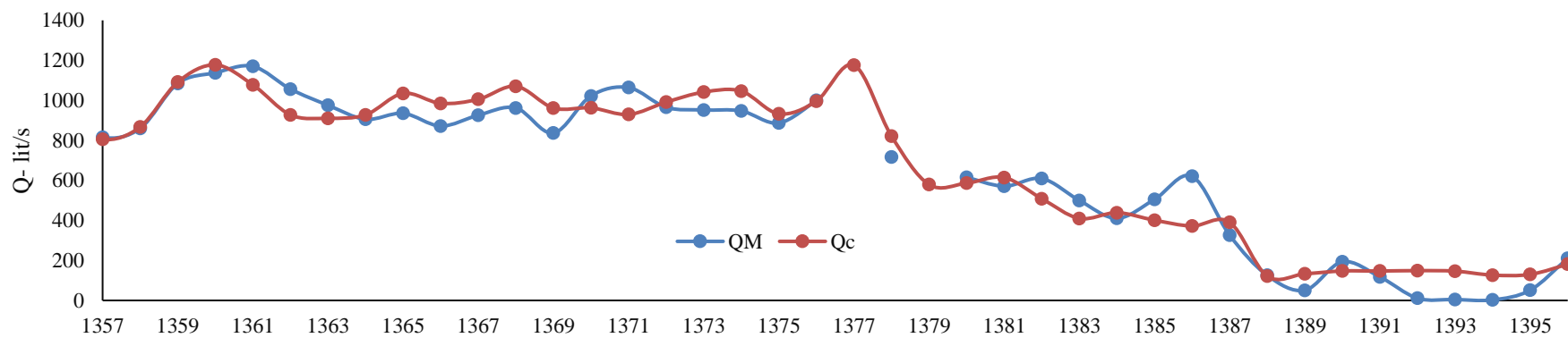
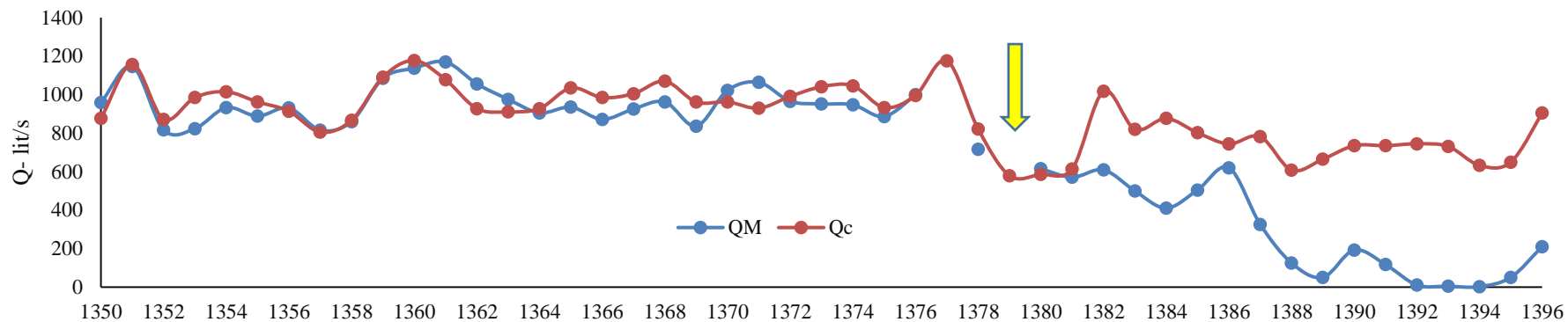
فصل پنجم: بررسی عوامل مؤثر بر آبدی چشمه‌های کارستی



شکل ۵-۵۸- مقادیر دبی اندازه‌گیری شده و دبی محاسباتی چشمه طاق‌بستان، Q_c : دبی محاسباتی، Q_M : دبی اندازه‌گیری شده



شکل ۵-۵۹- نمودار دبی- بارش چشمه نیلوفر، بازمان تأخیر دو ماه



شکل ۵-۶- مقادیر دبی اندازه گیری شده و دبی محاسباتی چشمه نیلوفر، Q_c : دبی محاسباتی، Q_M دبی اندازه گیری شده

فصل ششم: نتیجه گیری و پیشنهاد

فصل ششم: نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در فصل پیش‌رو به‌طور خلاصه مهم‌ترین یافته‌های تحقیق انجام شده در خصوص عوامل مؤثر بر نوسانات آبدهی چشمه‌های کارستی کرمانشاه، آورده شده است. در بخش پیشنهادها نیز با توجه به نتایج این تحقیق، توصیه‌هایی برای مطالعات بیشتر در تحقیقات آتی ارائه می‌گردد.

۱-۶- نتیجه‌گیری

مهم‌ترین نتایج و دستاوردهای حاصله از این تحقیق، شامل ارزیابی اثر اقلیم، ویژگی‌ها حوضه‌های آبگیر، خصوصیات آبخوان کارستی، اثر دخالت‌های بشری و در نهایت تلفیق اثرات مذکور و معرفی معادله‌ای برای تعیین سهم و اثر هر کدام از عوامل مذکور است که در ادامه به صورت مختصر شرح داده خواهد شد.

نکته دارای اهمیت در این تحقیق، انتخاب چشمه‌هایی با شرایط خاص به منظور ارزیابی اثرات مؤثر است. به دلیل محدودیت‌های مختلف، امکان بررسی تمامی ۲۰۰ چشمه مهم استان کرمانشاه فراهم نیست. از این رو از میان چشمه‌های با اهمیت استان، در مرحله نخست ۴۰، سپس ۲۰ و در نهایت ۷ چشمه، انتخاب شد. در گزینش چشمه‌های منتخب سعی شد که حتی المقدور، حوضه آبگیر آن‌ها به نحوی باشد که توسط چشمه‌های متعدد تخلیه نشده و عملکرد انسانی در اطراف آن‌ها متنوع باشد.

۱-۱-۶- اثرات اقلیم بر نوسانات آبدهی چشمه‌ها

مطالعه داده‌های بلند مدت نزولات جوی در منطقه مورد مطالعه نشان داد که در طی ۲-۳ دهه گذشته همزمان با افزایش نسبی دما، نوع ریزش‌های جوی نیز به سمت برف کمتر و باران بیشتر سوق پیدا کرده است. به عبارت دیگر در بسیاری از ایستگاه‌های باران سنجی مشاهده شد که بارش‌های بهار و پاییز از نظر مقدار افزایش و بارندگی زمستان روند کاهشی نشان داده است. به منظور بررسی اثر بارش و دبی، مشاهده شد در برخی از سال‌ها با وجود افزایش در مقدار بارش کل در سال، اما دبی چشمه‌ها افزایش نشان نداده و بعضاً روند کاهشی نیز داشته است. به همین دلیل به جای استفاده از مقدار کل

بارندگی از بارش مؤثر استفاده شد که عبارت است از مجموع کل بارش‌های آبان ماه تا آخر فرودین و بارش‌های بیشتر از ده میلی‌متر در سایر ماه‌های سال است.

بارش سالانه با آبدھی چشمه‌ها در نظر گرفته شد که تقریباً در تمامی چشمه‌ها ناهماهنگی‌های زیادی مشاهده گردید. به منظور تعیین اثرات بارش بر روی دبی، بررسی وقفه زمانی بین بارش و ظهور آن در هر چشمه ضروری است. از آنجایی که داده‌های دبی روزانه در دسترس نیست، به ارزیابی‌های ماهانه اکتفا شد. به طور کلی این زمان، در محیط‌های کارستی از چند ساعت تا چندین سال متغیر است. در منطقه مورد مطالعه از کمتر از یک ماه تا حدود دو ماه، دارای وقفه است. بر این اساس، بارش سالانه، مقدار بارش با احتساب زمان وقفه و میانگین بارش ماهانه در محاسبات دارای اهمیت است که با ضرایبی که تحت تأثیر خصوصیات آبخوان است در نظر گرفته می‌شود.

۶-۱-۲- اثرات خصوصیات آبخوان بر نوسانات آبدھی چشمه‌ها

مهمترین ویژگی‌های طبیعی مربوط به آبخوان در پاسخ چشمه به بارش، شکل، اندازه و درجه توسعه کارست است. درجه توسعه کارست از طریق پوشش اپی کارست و مشاهده عوارض کارستی مورد بررسی قرار گرفت و با خصوصیات هیدروشیمی و دبی چشمه مقایسه شد. در نهایت این خصوصیات کیفی به صورت کمی تعریف و با میانگین از آن‌ها، ضریبی حاصل شد که در یکی از آیتم‌های بارش ضرب شد. هر چه حوضه کشیده‌تر، دارای درجه توسعه کارست بالاتر و بزرگتر باشد، ضریب حاصل به یک نزدیکتر است.

ویژگی دیگر آبخوان که در رابطه دبی و چشمه لحاظ شد، ضرایب تاریرسمان چشمه‌هاست. میانگین ضریب مورد نظر هم در مقدار بارش سال گذشته چشمه ضرب و با سایر مؤلفه‌های بارش جمع می‌گردد.

۶-۱-۳- اثرات دخالت‌های بشری در نوسانات آبدھی چشمه‌ها

اگر صرفاً اقلیم و خصوصیات آبخوان عوامل اثر گذار بر روی چشمه‌ها باشند، میبایست تغییرات آبدھی چشمه‌ها به یک صورت باشد اما مقدار دبی چشمه‌ها از تغییرات حدود پنج درصد تا بیش از ۹۵ درصد

و حتی خشک شدن چشمه، قابل مشاهده است. اصلی‌ترین عامل که در چند دهه اخیر تعیین‌کننده است دخالت‌های انسانی است. سهم این اثر از چشمه به چشمه دیگر متفاوت است، این میزان با درصد داده‌های بلند مدت چشمه‌ها قابل استخراج است. برای این منظور مقدار تغذیه آبخوان کارستی و مقادیری که از طریق چشمه تخلیه می‌شود و نیز میزان برداشتی که از آبرفت‌هایی که توسط آبخوان کارستی تغذیه می‌شود مورد ارزیابی قرار گرفت.

۶-۱-۴- تلفیق عوامل مؤثر

در نهایت با تلفیق عوامل انسانی و عوامل طبیعی شامل بارش، توسعه کارست و خصوصیات آبخوان معادله زیر معرفی گردید:

$$Q_t = K \cdot \left(\sum_{i=t-m}^i a \cdot P_{mi} + (P_{t-1} - \bar{P}_{ti}) + k_d P_t + \bar{\alpha}_i \sum Q_{t-1} \right) \cdot H \quad \text{معادله ۶-۱}$$

که در آن Q_t میانگین دبی سالانه چشمه

a ضریبی است که از رابطه دبی- بارش محاسبه می‌گردد

P_{mi} بارش ماهانه مؤثر در دبی چشمه که در واقع زمان تأخیر در آن در نظر گرفته شده است

P_{t-1} مجموع بارش سالانه سال $t-1$ ، \bar{P}_{ti} میانگین بارش ماهانه مربوط به سال $t-1$

k_d ضریب مربوط به خصوصیات حوضه آبرگیر و آبخوان چشمه

P_t بارش سالانه مربوط به سال t

$\bar{\alpha}_i$ میانگین ضرایب فرود چشمه

Q_{t-1} مجموع دبی ماهانه مربوط به سال آبی $t-1$ است.

K ضریب تجربی است که عمدتاً وابسته به توسعه کارست و پاسخ چشمه به نوسانات بارندگی دارد. هر چه پاسخ چشمه به بارندگی، شدیدتر باشد، عدد به یک نزدیکتر و در مواقعی که تقریباً چشمه نوسانات شدیدی ندارد و نسبت حداکثر به حداقل دبی حدود ۲ باشد این عدد، کمتر خواهد بود. H ضریبی از

میزان دخالت‌های بشری است. ارزیابی‌های دبی ثبت شده در دو دهه اخیر نشان می‌دهد، هر زمان بارش به صورت قابل ملاحظه‌ای افزایش یافته است، میزان اثر دخالت بشری کاهش می‌یابد. علاوه بر افزایش تغذیه به آبخوان در این حالت، کاهش اثر عوامل انسانی را می‌توان در خاموشی چاه‌ها نیز دانست.

۶-۲- پیشنہادها

طبق برآوردهای صورت‌گرفته حدود ۱۱ درصد از سطح کشور به وسیله کارست پوشیده شده است که بیش از نیمی از آن در زاگرس قرار دارد. زندگی مردم این منطقه به منابع آب کارستی بسیار وابسته است. مدیریت ناکارآمد در بخش آب، اثرات منفی خود را بر روی چشمه‌های کارستی به عنوان یکی از بزرگترین منابع آب غرب کشور داشته است. از طرف دیگر عدم وجود شبکه پایش دقیق سطح آب زیرزمینی، اندازه‌گیری‌های نامنظم و دارای خطا در چشمه‌ها، عدم اطلاعات دقیق از سنگ بستر در بسیاری از مناطق مطالعات بر روی منابع آبی را با چالش مواجه می‌کند. بنابراین برای درک بهتر تغییرات در منطقه مورد مطالعه و سایر مناطق با شرایط مشابه، پیشنهاد می‌شود اقدامات زیر صورت گیرد:

- احداث کانال اندازه‌گیری و نصب اشل در تمامی چشمه‌ها به منظور به حداقل رساندن خطا در زمان اندازه‌گیری و جلوگیری از تداخل رواناب‌های بالادست چشمه

- پاکسازی کانال‌ها به صورت مستمر برای ثبت مقدار واقعی دبی چشمه

- با توجه به تنوع بارش در استان، پیشنهاد می‌گردد در ارتفاعات مختلف اقدام به نصب باران‌سنج شوده و ترکیبات ایزوتوپی و مقدار بارش در حوضه‌های آبرگیر چشمه‌های مختلف با دقت بیشتر مورد ارزیابی قرار گیرد.

- انسداد چاه‌های غیر مجاز و کنترل برداشت از چاه‌های مجاز تنها راه حفظ آخوان‌های موجود است که نیاز به فرهنگ‌سازی و مدیریت توانمند است.

منابع

- افراسیابیان، ا.، (۱۳۷۷)، اهمیت مطالعات و تحقیقات منابع آب کارست در ایران، مجموعه مقالات دومین همایش جهانی آب در سازندهای کارستی، کرمانشاه.
- ترابی تهرانی، پ.، (۱۳۷۹)، هیدرولوژی زیرزمینی، انتشارات دانشگاه بوعلی سینا، ص ۲۴۲-۲۶۱
- رحمتی، م.، جلیلی خ.، کریمی، ح.، مرادی ح.، (۱۳۹۴) بررسی اثر توسعه یافتگی کارست بر رفتار هیدروژئولوژیکی چشمه‌های کارستی استان کرمانشاه، اکولوژی، ۲(۲)، ۱۷۳-۱۶۳
- عظیمی حسینی، م؛ نظری فر، م؛ مومنی، ر.، (۱۳۸۹) کاربرد GIS در مکانیابی، تهران: مهرگان قلم، جلد اول.
- علیزاده، ا.، (۱۳۸۹)، اصول هیدرولوژی کاربردی، مشهد، انتشارات دانشگاه فرودسی مشهد، ص ۹۴۲.
- فتوت، م.، و مهربانی، ع.، (۱۳۸۶)، بررسی واکنش چشمه کارستی نیلوفر نسبت به خشکسالی‌های اخیر استان کرمانشاه، کنفرانس بررسی منابع آب استان کرمانشاه، کرمانشاه
- قدسی پور، ح.، (۱۳۸۱)، مباحثی در تصمیم‌گیری چندمعیاره: فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر. تهران. صص ۲۰-۱۲.
- قربانی، م.، محمودی؛ ف.، یمانی؛ م.، مقیمی، (۱۳۸۹) نقش تغییرات اقلیمی کوتاه‌تر در تحول ژئومورفولوژیکی فروچاله‌های کارستی (مطالعه موردی: ناهمواری شاهو، غرب ایران)، فصلنامه پژوهش‌های جغرافیایی، ۷۴
- قره‌چایی، ح.، سلاجقه، ع.، نورالهی، م.، خسروی، ح.، (۱۳۹۶)، اثرات حذف اثر خودهمبستگی بر تحلیل روند متغیرهای هیدرو اقلیمی، (مطالعه موردی استان فارس)، مدیریت بیابان، ۱۳-۳ (۲)
- کرمی، غ. ح.، طاهری، ک.، سلیم، ق.، (۱۳۹۱)، ارزیابی نقش آبخوان کارستی در آبدهی چاه‌های حفر شده در دشت‌های مجاور مناطق کارستی استان کرمانشاه، شرکت آب منطقه‌ای کرمانشاه، کمیته تحقیقات شماره نشر ۱۰۱، کد طرح KSHW88006
- کرمی، غ. ح.، محسنی‌پور، ف.، غزنوی، ک.، (۱۳۹۱)، بررسی عوامل کاهش دبی چشمه‌های کارستی استان کرمانشاه مطالعه موردی سراب نیلوفر، شرکت آب منطقه‌ای کرمانشاه، کمیته تحقیقات شماره نشر ۱۰۲، کد طرح KSHW88010
- کرمی، غ.، (۱۳۸۸)، نقش چینه‌شناسی در توسعه کارست در حوضه آبگیر چشمه علی دامغان، پژوهش‌های چینه‌نگاری رسوب‌شناسی سال بیست‌ونجم، شماره اول، بهار تابستان ۱۳۸۸.
- کریمی وردجانی، ح.، (۱۳۸۹)، "هیدروژئولوژی کارست مفاهیم و روش‌ها"، ارم شیراز، ۴۱۴ ص.

- محمدزاده ح.، ابراهیم پور ص.، (۱۳۹۱) کاربرد ایزوتوپ های پایدار و هیدروژئوشیمی بمنظور بررسی منشا و تغییرات کیفی منابع آب حوضه آبریز دریاچه زریوار آب و خاک، علوم و صنایع کشاورزی، (۴) ۲۶.
- مطیعی، ه.، (۱۳۷۲)، "زمین شناسی ایران: چینه شناسی زاگرس"، سازمان زمین شناسی کشور، ۵۳۶ ص.
- معروف نژاد، ع.، قاسمی، ش.، (۱۳۹۶)، روند تغییرات دما با استفاده از روش من - کندال (مطالعه موردی چهار شهرستان استان چهار محال و بختیاری)، *آمایش محیط*، ۱۰ (۳۷)
- معصوم پور سماکوش ج.، میری م.، و باقری سیدشکری س.، (۱۳۹۵) اثر تغییر اقلیم بر آبدهی و ویژگی های چشمه های کارستی استان کرمانشاه. *جغرافیا و پایداری محیط*، ۶ (۴)، ۶۶-۵۱.
- مقصودی، م.، کرمی، ح.، صفری، ف.، چهارراهی، ذ.، (۱۳۸۸)، بررسی توسعه کارست در آبخوان پرآو - بیستون با استفاده از ضرایب فرود، زمان مرگ چشمه ها و تحلیل نتایج ایزوتوپی و شیمیایی، پژوهش های جغرافیایی طبیعی، شماره ۶۹، پاییز ۱۳۸۸، صص ۶۵-۵۱.
- میرموسوی، سید ح.، خائفی، ن.، گروسی، ه.، (۱۳۹۳)، مطالعه ویژگی های اقلیمی استان های کرمانشاه و کردستان بر مبنای تحلیل های عاملی و خوشه ای، *جغرافیا و برنامه ریزی*، سال ۱۸، شماره ۴۷، بهار ۱۳۹۳، صص ۲۳۳-۲۱۵.
- میری، م.، (۱۳۹۵)، واکاوی ارتباط تغییر اقلیم و زوال جنگل های زاگرس (منطقه ایلام)، رساله دکتری، استاد راهنما: قاسم عزیزی، دانشگاه تهران.
- نوروزی، ع.، (۱۳۹۵)، گزارش نهایی سامانه پایش خشکیدگی جنگل های بلوط غرب کشور، گزارش پژوهشی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری.
- وحدتی، م.، طاهری، ک.، (۱۳۸۶)، دستهبندی ساختاری چشمه های کارستی حوضه الوند جنوب غربی استان کرمانشاه، کنفرانس بررسی منابع آب استان، شرکت آب منطقه ای کرمانشاه.
- Al Saud, M., (2010), "Mapping potential areas for groundwater storage in Wadi Aurnah Basin, western Arabian Peninsula, using remote sensing and geographic information system techniques", *Hydrogeology J.*, Vol 18, pp 1481-1495.
- Allen, D. M., D. C. Mackie and M. Wei (2004). "Groundwater and climate change: a sensitivity analysis for the Grand Forks aquifer, southern British Columbia, Canada." *Hydrogeology Journal* 12(3): 270-290.
- Alley, W. M. (1993). *Regional ground-water quality*: John Wiley & Sons.
- Alley, W. M., T. E. Reilly and O. L. Franke (1999). Sustainability of ground-water resources. Circular.
- Andreo, B., Vías, J., Durán J. J., Jiménez P., López-Geta J. A., Carrasco, F., (2008), "Methodology for groundwater recharge assessment in carbonate aquifers: application to pilot sites in southern Spain", *Hydrogeology J.*, Vol. 16, pp 911-925.

- Atkinson, T.C., (1977), Diffuse flow and conduit flow in limestone terrain in the Mendip Hill, Somerset (Great Britain), *Journal of Hydrology*
- Barthel, R. and Banzhaf, S. (2016) Groundwater and surface water interaction at the regional-scale—A review with focus on regional integrated models. *Water Resources Management* 30(1), 1-32.
- Beldring, S., (2002), Multi-criteria validation of a precipitation-runoff model. *Journal of Hydrology* 257 (1–4), 189.
- Bell, F. G., (2002), Geological hazards: their assessment, avoidance and mitigation, CRC Press, 656 pages.
- Benavente, R., Krohne, G., & Franke, W. W. (1985). Cell type-specific expression of nuclear lamina proteins during development of *Xenopus laevis*. *Cell*, 41(1), 177-190.
- Benderitter, Y., Roy, B., Tabbagh, A., (1993), Flow characterization through heat transfer evidence in a carbonate fractured medium: First approach. *Water Resources Research* 29, no. 11: 3741–3747.
- Berberyan, M., King, G.G.P., (1981). Towards a paleogeography and tectonic evolution of Iran: *Canadian Journal of Earth Sciences*, 18, 210–265.
- Bihrat O, Mehmetcik B (2003), The power of statistical tests for trend detection. *Turkish J Eng Env Sci* 27:247–251
- Bogli, A., (1980), *Karst Hydrology and Physical Speleology*: Springer-Verlag Berlin Heidelberg; 284 p.
- Bonacci, O., & Magdalenic, A. (1993). The catchment area of the Sv. Ivan Karst spring in Istria (Croatia). *GROUND WATER-WORTHINGTON THEN DUBLIN OHIO-*, 31, 767-767.
- Bonacci, O., (1993), Karst springs hydrographs as indicators of karst aquifers. *Hydrological Sciences Journal*.
- Bonacci, O., (1995), Ground water behaviour in karst: example of the Ombla Spring (Croatia). *Journal of Hydrology*, 165:113–134
- Bonacci, O., (2001), Analysis of the maximum discharge of karst springs, *Hydrogeology Journal* 9:328–338
- Bonacci, O., (2004), Hazards caused by natural and anthropogenic changes of catchment area in karst. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 4, 655–661.
- Bonacci, O., Buzjak, N., Roje-Bonacci, T., (2015), Changes in hydrological regime caused by human intervention in karst: a case of the Rumin Springs, *Hydrological Sciences Journal*.1414
- Bonacci, O., Ljubenkovic, I., Bonacci, T.R., (2006), Karst flash floods: an example from the Dinaric karst (Croatia), *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 6, 195–203, 2006
- Bonacci, O., Zivaljevic, R., (1993), Hydrological explanation of the flow in karst: example of the Crnojevic spring. *Journal of Hydrology*, 146:405–419

- Buttle, J. (1994). Isotope hydrograph separations and rapid delivery of pre-event water from drainage basins. *Progress in Physical Geography*, 18(1), 16-41.
- Cook PG, Kilty S (1992). A helicopter-borne electromagnetic survey to delineate groundwater recharge rates. *Water Resour Res* 28(11):2953-2961.
- Cox, W. D., L. Meng, C. P. Khedun, A. Nordfelt and S. M. Quiring (2009). "Discharge variability for an artesian spring of the Edwards Aquifer: Comal Springs (1933–2007)." *International Journal of Climatology* 29(15): 2324-2336.
- Degirmenci, M., Gunay, G., (1990), Origin and catchment area of the olukkopro karst springs, *Hydrogeological Processes in Karst Terranes (Proceedings of the Antalya Symposium and Field Seminar, October 1990)*.
- Diodato, N., Guerriero, L., Fiorillo, F., Esposito, L., Revellino, P., Grelle, G., & Guadagno, F. M. (2014). Predicting monthly spring discharges using a simple statistical model. *Water Resources Management*, 28(4), 969-978.
- Dragoni, W. and B. S. Sukhija (2008). "Climate change and groundwater: a short review." *Geological Society, London, Special Publications* 288(1): 1-12.
- Ducci, D., Tranfangli, G., (2015), Effects of climate change on groundwater resources in Campania (southern Italy). *Climate Change and Groundwater*.
- Duvert, C., Cendón, D.I., Raiber, M., Seidel, J.-L. and Cox, M.E. (2015) Seasonal and spatial variations in rare earth elements to identify inter-aquifer linkages and recharge processes in an Australian catchment. *Chemical Geology* 396, 83-97.
- Eisenlohr, L., Kiraly, L., Bouzelboudjen, M., Rossier, Y., (1997), Numerical simulation as a tool for checking the interpretation of karst spring hydrographs. *Journal of Hydrology* 193, 306-315.
- Ekmekci, M., & Tezcan, L. (2011). Management of karst aquifers under climate change: implications for sustainable use *Climate Change and its Effects on Water Resources* (pp. 77-85): Springer.
- Falcon, N.L., (1969). Problems of the relationship between surface structure and deep displacements illustrated by the Zagros range. In: Kent, P.E. (Ed.), *Time and Place in Orogeny*. Geological Society Special Publications, London 3, pp. 9–22.
- Fan, Y., H. Li and G. Miguez-Macho (2013). "Global patterns of groundwater table depth." *Science* 339(6122): 940-943.
- Fiorillo F., Petitta M., Preziosi E., Rusi S., Esposito L., Tallini M., (2015), Long-term trend and fluctuations of karst spring discharge in a Mediterranean area (central-southern Italy), *Environ Earth Sci*, 74:153–172
- Fiorillo, F. (2009). Spring hydrographs as indicators of droughts in a karst environment. *Journal of Hydrology*, 373(3), 290-301.
- Fiorillo, F., (2014), The Recession of Spring Hydrographs, Focused on Karst Aquifers. *Water Resour Manage* 28, 1781–1805.
- Fiorillo, F., Doglioni, A., (2010), The relation between karst spring discharge and rainfall by cross-correlation analysis (Campania, southern Italy), *Hydrogeology Journal* 18: 1881–1895

- Ford, D.C., Williams, P.W., (2007), *Karst Hydrology and Geomorphology*: London, Wiley Chichester, 2nd ed., 76 p.
- Foster, S. and D. P. Loucks (2006). *Non-renewable groundwater resources: a guidebook on socially-sustainable management for water-policy makers*, Unesco.
- Gholami, V., Azodi, M., Taghvaye Salami, E., (2008), Modeling of karst and alluvial springs discharge in the central Alborz highlands and on the Caspian southern coasts, *Caspian J. Env. Sci.* Vol. 6 No. 1 pp. 41~45
- Gleeson, T., J. VanderSteen, M. A. Sophocleous, M. Taniguchi, W. M. Alley, D. M. Allen, and Y. Zhou (2010). "Groundwater sustainability strategies." *Nature Geoscience* **3**: 378.
- Goes, B. J. M., U. N. Parajuli, M. Haq and R. B. Wardlaw (2017). "Karez (qanat) irrigation in the Helmand River Basin, Afghanistan: a vanishing indigenous legacy." *Hydrogeology Journal* **25**(2): 269-286.
- Gremaud, V., & Goldscheider, N. (2010). Climate change effects on aquifer recharge in a glacierised karst aquifer system, Tsanfleuron-Sanetsch, Swiss Alps *Advances in Research in Karst Media* (pp. 31-36): Springer.
- Han, X.R., Lu, R.A., Li, Q.S., (1993), *Karst Water System: A Study on Big Karst Spring in Shanxi*. Geological Publishing House, Beijing (in Chinese with English abstract).
- Hao, Y., Wen, J.-C., Wang, Y., Zhu, Y., Yeh, T.-C. J., (2009), Response of karst springs to climate change and anthropogenic activities: the Niangziguan Springs, China. *Progress in Physical Geography*, *33*(5), 634–649.
- Hao, Y., Yeh, T.-C.J., Hu, C., Wang, Y., Li, X., (2006), Karst groundwater management by defining protection zones based on regional geological structures and groundwater flow field. *Environ Geol.* *50*, 415–422.
- Herak, M., Magdalenic, A., Bahun, S., (1981), Karst hydrogeology, In: Halasi Kun GJ (ed) *Pollution and water resources. Columbia University seminar series*, vol XIV, part 1, Hydrogeology and other selected reports. Pergamon Press, New York, pp 163-178.
- Hess, J. W., & White, W. B. (1988). Storm response of the karstic carbonate aquifer of southcentral Kentucky. *Journal of Hydrology*, *99*(3-4), 235-252.
- Hocking, M. and Kelly, B.F.J. (2016) Groundwater recharge and time lag measurement through Vertosols using impulse response functions. *Journal of Hydrology* *535*, 22-35.
- Hoefs, J. (2004). Isotope fractionation mechanisms of selected elements *Stable Isotope Geochemistry* (pp. 31-76): Springer.
- Hsu, K.-C., H.-F. Yeh, Y.-C. Chen, C.-H. Lee, C.-H. Wang and F.-S. Chiu (2012). "Basin-scale groundwater response to precipitation variation and anthropogenic pumping in Chih-Ben watershed, Taiwan." *Hydrogeology Journal* **20**(3): 499-517.
- IGRAC (International Groundwater Resources Assessment Centre), UNESCO-IHP (UNESCO International Hydrological Programme), (2015). *Transboundary*

Aquifers of the World [map]. Edition 2015. Scale 1: 50 000 000. Delft, Netherlands: IGRAC, 2015.

- Islam, S. (2017). Water security in the Middle East essays in scientific and social cooperation, Anthem press.
- Jackson D, Rushton KR (1987) Assessment of recharge components for a chalk aquifer unit. *J Hydrol* 92:1-15.
- James, G.A. and Wynd, J.G. (1965) Stratigraphic nomenclature of Iranian Oil Consortium Agreement area. American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 49, 2182-2245.
- Jeelani, G., (2008), Aquifer response to regional climate variability in a part of Kashmir Himalaya in India. *Hydrogeology Journal* 16, 1625–1633.
- Kalf, R. P. F., Woolley RD., (2005), Applicability and methodology of determining sustainable yield in groundwater systems. *Hydrology Journal* 13:295–312
- Kaliraj, S., Chandrasekar, N., Magesh, N. S., (2014), “Identification of potential groundwater recharge zones in Vaigai upper basin, Tamil Nadu, using GIS-based analytical hierarchical process (AHP) technique”, Arab J Geosciences, Volume 7, Issue 4, pp 1385–1401
- Kang, F., (2005), Allowable yield of groundwater and its potential evaluation. *Geotech Investig Surveying* 2:29–33
- Kang, F., M. Jin and P. Qin (2011). "Sustainable yield of a karst aquifer system: a case study of Jinan springs in northern China." *Hydrogeology Journal* 19(4): 851-863.
- Kang, F., Menggui J., Pinrui Q., (2011), Sustainable yield of a karst aquifer system: a case study of Jinan springs in northern China, *Hydrogeology Journal* 19: 851–863.
- Karami, Gh.H., (2002), Ph.D. Thesis, “Assessment of heterogeneity and flow systems in karstic aquifers using pumping test data”, Civil engineering and geosciences, University of Newcastle, pp180.
- Karimi, H., & Ashjari, J. (2009). Periodic breakthrough curve of tracer dye in the Gelodareh Spring, Zagros, Iran. *Cave Karst Sci*, 36(1), 5-10.
- Karimi, H., Raeisi, E., Bakalowicz, M., (2005), Characteristics the main karst aquifers of the Alvand Basin, Northwest of Zagros, Iran, by a hydrogeochemical approach. *Journal of Hydrogeology* 13, 787–799.
- Kendall, C., & McDonnell, J. J. (2012). *Isotope tracers in catchment hydrology*: Elsevier.
- Labat, D., Ababou, R., Mangin, A., (2000), Rainfall–runoff relations for karstic springs. Part I: convolution and spectral analyses. *Journal of Hydrology* 238 (3–4), 123.
- Labat, D., Mangin, A., Ababou, R., (2002), Rainfall–runoff relations for karstic springs: multifractal analyses. *Journal of Hydrology* 256 (3–4), 176.

- Lamoreaux, P. E. (1991). *History of karst hydrogeological studies*. Paper presented at the Proceedings of the International Conference on Environmental Changes in Karst Areas. IGU–UIS, Italy.
- Lamy, F., Arz, H. W., Bond, G. C., Bahr, A. & Patzold, J. (2006). Multicentennial-scale hydrological changes in the Black Sea and the northern Red Sea during the Holocene and the Arctic/North Atlantic Oscillation. *Paleoceanography*, 21, PA1008, 11.
- Lamy, F., Hebbeln, D., & Wefer, G. (1999). High-Resolution Marine Record of Climatic Change in Mid-latitude Chile during the Last 28,000 Years Based on Terrigenous Sediment Parameters. *Quaternary Research*, 51(1), 83–93. <http://doi.org/10.1006/qres.1998.2010>
- Li C. M., (1985) Karst groundwater resources and springs protection in Jinan City. *Carsol Sin* 1(2):31–39
- Luhmann, A. J., M. D. Covington, A. J. Peters, S. C. Alexander, C. T. Anger, J. A. Green, A. C. Runkel and E. C. Alexander, Jr. (2011). "Classification of thermal patterns at karst springs and cave streams." *Ground Water* 49(3): 324-335.
- Lyon, S. W., Desilets, S. L., & Troch, P. A. (2009). A tale of two isotopes: differences in hydrograph separation for a runoff event when using δD versus $\delta 18O$. *Hydrological Processes: An International Journal*, 23(14), 2095-2101.
- Ma, T., Wang, Y., & Guo, Q. (2004). Response of carbonate aquifer to climate change in northern China: a case study at the Shentou karst springs. *Journal of Hydrology*, 297(1-4), 274-284.
- Mangin, A., (1975). Contribution à l'étude hydrodynamique des aquifères karstiques, Thesis, Université de Dijon, 422 pp.
- Mangin, A., (1981). Utilisation des analyses corrélatrice et spectrale dans l'approche des systèmes hydrologiques. *Comptes Rendus de l'Academie des Sciences, Paris* 293, 401–404.
- Massuel, S. and J. Riaux (2017). "Groundwater overexploitation: why is the red flag waved? Case study on the Kairouan plain aquifer (central Tunisia)." *Hydrogeology Journal* 25(6): 1607-1620.
- Mazor, E., (2004). *Chemical and Isotopic Groundwater Hydrology*. Marcel Dekker Inc., New York.
- Milanovic, P. T., (1981), "Karst hydrogeology", Water Resources Publications, pp. 434.
- Milanovic, S., (2010): Creation of physical model of karst aquifer on example of beljanica Mt. (Eastern Serbia).-Doct dissert (draft), Dept. of Hydrogeol. FMG, University of Belgrade, pp. 339.
- Mohammadi, Z., Shoja, A., (2014), Effect of annual rainfall amount on characteristics of karst spring hydrograph. *Carbonates Evaporate* 29, 279–289.
- Moore, P.J., Martin, J.B., Screaton, E. J., (2009), Geochemical and statistical evidence of recharge, mixing, and controls on spring discharge in an eogenetic karst aquifer. *Journal of Hydrology*, 443–455.

- Moussua, F., Oudina, L., Plagnes, V., Manginb, A., Bendjoudi, H., (2011), A multi-objective calibration framework for rainfall–discharge models applied to karst systems. *Journal of Hydrology* 400, 364–376.
- Mustafa, O., Merkel, B., Weise, M. S., (2015), Assessment of Hydrogeochemistry and Environmental Isotopes in Karst Springs of Makook Anticline, Kurdistan Region, Iraq, *Hydrology Journal*, 2, 48-68
- Mustafa, S. M. T., K. Abdollahi, B. Verbeiren and M. Huysmans (2017). "Identification of the influencing factors on groundwater drought and depletion in north-western Bangladesh." *Hydrogeology Journal* 25(5): 1357-1375.
- Nanni T., Rusi S., 2003, Idrogeologia del massiccio carbonatico della Majella (Abruzzo) (Hydrogeology of the _Montagna della Majella_ carbonate massif (central Apennines–Italy)). *Boll Soc Geol It.* 122(2):173–202
- Orehova, T., & Rousev, R. (2004). *Overview of national hydrogeological network of Bulgaria*. Paper presented at the BALWOIS-Conference on Water Observation and Information System for Decision Support, 25-29 May 2004, Ohrid, FY Republic of Macedonia.
- Palmer, A., (2007), Cave geology. Cave Books, National Speleological Society, Trenton, N.J.
- Panagopoulos, G., & Lambrakis, N. (2006). The contribution of time series analysis to the study of the hydrodynamic characteristics of the karst systems: Application on two typical karst aquifers of Greece (Trifilia, Almyros Crete). *Journal of Hydrology*, 329(3-4), 368-376.
- Peleg N., Morin E., Gvirtzman H., Enzel Y., (2011), Rainfall, spring discharge and past human occupancy in the Eastern Mediterranean, *Climatic Change*, 112:769–789
- Petitta, M., & Tallini, M. (2002). Idrodinamica sotterranea del massiccio del Gran Sasso (Abruzzo); muove indagini idrologiche, idrogeologiche e idrochimiche (1994-2001). *Bollettino della Società geologica italiana*, 121(3), 343-363.
- Pilli, A., Sapigni, M. and Zuppi, G.M., (2012), Karstic and alluvial aquifers: a conceptual model for the plain – Prealps system (northeastern Italy) *Journal of Hydrology* 464-465, 94–106.
- Pulido-Bosch, A., Padilla, A., Dimitrov, D., & Machkova, M. (1995). The discharge variability of some karst springs in Bulgaria studied by time series analysis. *Hydrological Sciences Journal*, 40(4), 517-532.
- Qinghai, G., Yanxin, W., Teng, M., Luxiu, L., (2005), Variation of karst spring discharge in the recent five decades as an indicator of global climate change: A case study at Shanxi, northern China, 2005, Science in China Ser. D, *Earth Sciences*, Vol.48 No.11 2001—2010
- Radulovic, M., Stevanovic, Z., Radulovic, M., (2012), “A new approach in assessing recharge of highly karstified terrains–Montenegro case studies”, *J. Environ Earth Sci.*, Special issue. DOI 10.1007/s12665-011-1378-0
- Raeisi E (2002) Carbonate karst caves in Iran. In: Kranjc A (ed) Evolution of karst: from prekarst to cessation. Ljubljana-Postojna, pp 339–344

- Raeisi, E., Stevanovic, Z., (2010), chapter 10.7: Case Study: Springs of the Zagros mountain range (Iran and Iraq), in: groundwater hydrology of spring, edited by Kresic, N., Stevanovic, Z.
- Rahmati, O., Nazari Samani, A., Mahdavi, M., Pourghasemi, H.R., Zeinivand, H., (2015). “Groundwater potential mapping at Kurdistan region of Iran using analytic hierarchy process and GIS, *Arabian Journal of Geosciences*, Volume 8, Issue 9, pp 7059–7071.
- Rimmer, A., (2006), Modeling recession curve of karstic springs- parallel or serial reservoirs? *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 8, 01761.
- Rimmer, A., Salinger, Y., (2006). Modelling precipitation-streamflow processes in karst basin: the case of the Jordan River sources, Israel. *Journal of Hydrology* 331 (3–4), 524.
- Ritorto, M., Sreaton, E.J., Martin, J.B., Moore, P.J., (2009), Relative importance and chemical effects of diffuse and focused recharge in an eogenetic karst aquifer: an example from the unconfined upper Floridan aquifer, USA. *Hydrogeology Journal*.
- Saaty, T. L. (1986). Axiomatic foundation of the analytic hierarchy process. *Management science*, 32(7), 841-855.
- Sappa, G., De Filippi, F. M., Iacurto, S., & Grelle, G. (2019). Evaluation of minimum karst spring discharge using a simple rainfall-input model: the case study of Capodacqua di Spigno Spring (Central Italy). *Water*, 11(4), 807.
- Selvam, S., Magesh, N. S., Chidambaram, S., Rajamanickam, M., Sashikkumar, M. C., (2015) “A GIS based identification of groundwater recharge potential zones using RS and IF technique: a case study in Ottapidaram taluk, Tuticorin district, Tamil Nadu”, *Environ Earth Sci.*, 73:3785–3799
- Shaban, A., Khawlie, M., Abdallah, Ch., (2004), “Use of remote sensing and GIS to determine recharge potential zones: the case of Occidental Lebanon”, *Hydrogeology J.*, Vol. 14, pp 433–443.
- Shuster, E.T., White, W.B., (1971), Seasonal fluctuations in the chemistry of limestone springs: A possible means for characterizing carbonate aquifers. *Journal of Hydrology* 14, no. 2: 93–128.
- Smith, B. A., & Hunt, B. B. (2010). A comparison of the 1950s drought of record and the 2009 drought, Barton Springs segment of the Edwards Aquifer, Central Texas.
- Stephens DB, Knowlton R (1986) Soil water movement and recharge through and at a semiarid site in New Mexico. *Water Resour. Res* 22(6):881-889.
- Stevanovic, Z. (2015). Subsurface dams as a solution for supplementary recharge and groundwater storage in Karst aquifers in Arid areas *Engineering Geology for Society and Territory-Volume 5* (pp. 471-474): Springer.
- Stocklin, J., (1968). Structural history and tectonics of Iran, a review: *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 52, 1229-1258.

- Stone DB, Moomaw CL, Davis A. (2001) Estimating recharge distribution by incorporating runoff from mountainous area in an alluvium basin in Great Basin Region of the Southwestern United States. *Groundwater* 39(6):807-818
- Szilagyi, J.S., Zlotnik, V.A., Gates, J.B., Jozsa, J., (2011), "Mapping mean annual groundwater recharge in the Nebraska Sand Hills, USA", *Hydrogeology J.*, Vol 19, pp 1503–1513.
- Szucs, P., M. Virag, B. Zakanyi, L. Kompar and J. Szanto (2013). "Investigation and water management aspects of a Hungarian-Ukrainian transboundary aquifer." *Water Resources* 40(4): 462-468.
- Taylor, C. J. and W. M. Alley (2001). Ground-water-level monitoring and the importance of long-term water-level data, Geological Survey (USGS).
- Taylor, R. G., B. Scanlon, P. Döll, M. Rodell, R. Van Beek, Y. Wada, L. Longuevergne, M. Leblanc, J. S. Famiglietti and M. Edmunds (2013). "Ground water and climate change." *Nature Climate Change* 3(4): 322.
- Todd, D. K., & Mays, L. W. (2004). *Groundwater hydrology*: John Wiley & Sons.
- Van Camp, M., Walraevens, K., (2008), Identifying and Interpreting Baseline Trends, Edited by W. Mike Edmunds, Paul Shand, Natural Groundwater Quality, Blackwell Publishing, 463 pages. ISBN: 978-14051-5675-2
- Walton, W. C. (1970). Groundwater resource evaluation. *McGraw-Hill series in water resources and environmental engineering (USA) eng.*
- Winograd, I. J., Riggs, A. C., Coplen, T. B., (1998), The relative contributions of summer and cool-season precipitation to groundwater recharge, Spring Mountains, Nevada, USA, *Hydrogeology Journal* 6:77–93
- Worthington, S. R., & Smart, C. C. (2003). Empirical determination of tracer mass for sink to spring tests in karst *Sinkholes and the engineering and environmental impacts of karst* (pp. 287-298).
- Xi, C., Chuanji, L., Zhongming, H., Zhonggui, W., (2004), Simulation methods of spring discharge variations in karst area
- Xu, C.-Y. and V. P. Singh (1998). "A Review on Monthly Water Balance Models for Water Resources Investigations." *Water Resources Management* 12(1): 20-50.
- Yang, M., Yao, T., Wang, H. & Gou, X. (2006). Climatic oscillations over the past 120 kyr recorded in the Guliya ice core, China. *Quaternary International*, 154–155, 11–18.
- Yeh, H., Lee, C., Chen, J., Chen, W., (2007), "Estimation of groundwater recharge using water balance model", *J. Water Resources*, Vol. 34, No. 2, pp. 153–162.
- Yonghong H., Yajie W., Yuen Z., Yi L., Jet-Chau W., Tian-Chyi J., 2009, Response of karst springs to climate change and anthropogenic activities: the Niangziguan Springs, China, *Progress in Physical Geography* 33(5) pp. 634–649
- Yonghong, H., Chyi, T. (2006), A gray system model for studying the response to climatic change: The Liulin karst spring, China. *Journal of Hydrology*. 328, 668-676.

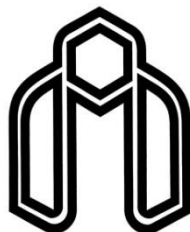
- Yurong, L. and G. Guodong (1984). "A study of water balance in china." *Advances in Atmospheric Sciences* **1**(2): 165-178.
- Zarafshani, K., L. Sharafi, H. Azadi, G. Hosseininia, P. De Maeyer and F. Witlox (2012). "Drought vulnerability assessment: The case of wheat farmers in Western Iran." *Global and Planetary Change* **98-99**: 122-130.
- Zeitoun, M. and Mirumachi, N. (2008). "Transboundary water interaction I: reconsidering conflict and cooperation." *International Environmental Agreements: Politics, Law and Economics* **8**(4): 297.

Abstract

There are many karst springs (that is called “sarab” in the local lingo) in Kermanshah province (more than 200 springs). Many of them show a significant decrease in discharge in the last three decades. An important point in this research is selecting springs with special conditions to evaluate the effects affecting their discharge. Therefore, among the important springs of the province, in the first step, 40, then 20, and finally 7 springs were selected. In selecting the selected springs, it was tried that as much as possible, springs have been selected that have a discrete catchment area and different conditions in the human activity in the neighborhood alluvial aquifer hydrologically. Lack of understanding of the impact of climate change by considering the characteristics of the aquifer and uncontrolled exploitation of the aquifer has caused many problems, including changes in groundwater flow, intense and irreversible decline in water level, and drying springs ultimately. On the other hand, in many areas, alluvial plains are recharge by karst water sources, and this relationship causes the decrease of groundwater level in alluviums to be effective on adjacent karst aquifers. The mentioned effect depends on the characteristics of the karst aquifer. Studies show that the contribution of anthropogenic activity varies from less than 5% to more than 95% in the karst springs selected.

To more accurately assess the relationship between springs and groundwater level, this issue was examined for 4 springs previously dried and, according to the formula that was extracted (the MAGWL before drying springs), the obtained results matched to occurred actual data. The most important results and achievements of this research include evaluating the effect of natural factors and the effect of the anthropogenic activity, and finally combining the mentioned effects and introducing an equation to determine the contribution and effect of each of these factors. Finally, by combining human and natural factors including precipitation, karst development, and aquifer characteristics, an equation was introduced that is very closely consistent with the actual data of the springs.

Keywords: karst spring, Kermanshah, effective factors on karst spring discharge, anthropogenic activities, natural factors, minimum allowable groundwater level



Shahrood University of Technology

Faculty of Earth Sciences

Ph.D Thesis in Hydrogeology

Evaluating the effective parameters on the variation of large karst springs
discharge in Kermanshah Province

By: Zeinab Najafi

Supervisor:
Dr. G.H. Karami

Advisor:
Dr. H. Karimi

Jan 2021