

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده علوم زمین

گروه آبشناسی

رساله دکتری جهت اخذ درجه دکتری

عنوان

ارزیابی تغذیه سالانه در واحدهای کربناته حوضه هراز

نگارش

عبدا.. شمسی

استاد راهنما

غلامحسین کرمی

استاد مشاور

عزیزالله طاهری

تیر ۹۸



فرم شماره ۱۲: صورت جلسه نهایی دفاع از رساله دکتری (Ph.D)

(ویژه دانشجویان ورودی های ۹۴ و ما قبل)

بدینوسیله گواهی می شود آقای عبدالله شمسی دانشجوی دکتری رشته آشناسی به شماره دانشجویی ۹۱۲۷۳۸۵ ورودی بهمن ماه سال ۱۳۹۱ در تاریخ ۱۳۹۸/۴/۲۵ از رساله نظری / عملی خود با عنوان: ارزیابی تغذیه سالانه در واحدهای کربناته حوضه هراز دفاع و با اخذ نمره ۱۹/۲۰ به درجه : نائل گردید.

<input checked="" type="checkbox"/> الف) درجه عالی: نمره ۱۹-۲۰	<input type="checkbox"/> ب) درجه بسیار خوب: نمره ۱۸/۹۹ - ۱۷
<input type="checkbox"/> ج) درجه خوب: نمره ۱۶/۹۹ - ۱۵	<input type="checkbox"/> د) غیر قابل قبول و نیاز به دفاع مجدد دارد
<input type="checkbox"/> ه) رساله نیاز به اصلاحات دارد	

ردیف	هیئت داوران	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	امضاء
	دکتر غلامحسین کرمی	استاد راهنما	رئیس	
	دکتر عزیزالله طاهری	مشاور	استاد	
	دکتر حسین محمدزاده	استاد مدعو خارجی	دانشیار	
	دکتر رحیم باقری	استاد مدعو داخلی	استاد	
	دکتر هادی جعفری	استاد مدعو داخلی	استاد	
	دکتر افشین قشلاقی	سرپرست (نماینده) تحصیلات تکمیلی دانشکده	استاد	

مدیر محترم تحصیلات تکمیلی دانشگاه:

ضمن تأیید مراتب فوق مقرر فرمائید اقدامات لازم در خصوص انجام مراحل دانش آموختگی آقای عبدالله شمسی بعمل آید.

نام و نام خانوادگی رئیس دانشکده : دکتر پرویز امیدی

تاریخ و امضاء و مهر دانشکده:

از طرف: مسعود علی پورامل

۹۸،۶،۶



تقدیم به پیشگاه امام زمان (عج)،

دست‌های پینه‌بسته پدرم،

قلب مهربان مادرم

و خانواده عزیزم

تقدیر و تشکر

سپاس و ستایش خدایی که آثار قدرت او بر چهره روز روشن، تابان است و انوار حکمت او در دل شب تار، درخشان. آفریدگاری که درهای علم را بر ما گشود و عمری و فرصتی عطا فرمود تا بدان، بنده ضعیف، خویش را در طریق علم و معرفت بیازماید. اکنون که به لطف پروردگار، نگارش این رساله به سرانجام رسیده بر خود لازم میدانم از تمامی بزرگوارانی و عزیزانی که در این راه مرا یاری نمودند، قدردانی نمایم. از استاد راهنمای ارجمندم جناب آقای دکتر غلامحسین کرمی که همواره با راهنمایی‌های ارزنده‌شان و صبر و حوصله مرا یاری فرمودند، کمال قدردانی را دارم. همچنین از جناب آقای دکتر عزیزالله طاهری استاد مشاور محترم به خاطر راهنمایی‌هایشان سپاسگزارم.

از پدر و مادر مهربانم، که هرچه دارم از آنهاست و در طول تحصیل، تکیه‌گاه من در مواجهه با مشکلات بودند و وجودشان همیشه مایه دلگرمی است تشکر و قدردانی می‌نمایم.

از ریاست محترم دانشکده علوم زمین جهت همکاری و اساتید محترم دانشکده علوم زمین که هر چه از علم آموخته‌ام حاصل زحمات دلسوزانه آنهاست به ویژه اساتید ارجمندم دکتر محمود صادقیان، دکتر رحیم باقری و دکتر هادی جعفری که سنگ صبور من در حین ناامیدی‌ها بودند، کمال تشکر دارم. از سرکار خانم مهندس زهره فارسی به خاطر صبر و حوصله در پاسخگویی به مسائل آموزشی سپاسگزارم. بر خود لازم میدانم از خانواده محترم هدایتی که در طول مدت بازدیدهای صحرایی پذیرای من بودند تشکر و قدردانی نمایم. از پروفسور دانیل هونکлер (استاد دانشکده علوم زمین دانشگاه نیوشاتل) و استفان ترزر (کارمند سازمان بین‌المللی انرژی اتمی) به خاطر همکاری و فراهم آوردن شرایط فرصت مطالعاتی و تقبل هزینه آنالیز ایزوتوپی و هیدروشیمی تشکر می‌نمایم. از تمامی دوستان و اساتید که وقت خود را در اختیار اینجانب قرار داده و ایده‌های من را نقد و یا بررسی نموده‌اند، تشکر می‌نمایم.

از همسر ارجمندم سرکار خانم دکتر سکینه شکاری و فرزندان عزیزم محمد رحیم و محمد مهدی که با تمام کاستی‌های زندگی مرا تحمل کرده و با دلسوزی مرا در طول مدت انجام این تحقیق همراهی کرده‌اند تشکر ویژه می‌نمایم.

به امید آنکه توفیق یابم جز در خدمت به خلق خداوند نکوشم.

عبدا... شمسی

۱۳۹۸/۲/۳۰

تعهدنامه

اینجناب عبدا... شمسی دانشجوی دوره دکتری رشته زمین‌شناسی گرایش آبشناسی دانشکده علوم زمین دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه: ارزیابی تغذیه سالانه در واحدهای کربناته حوضه هراز تحت راهنمایی دکتر غلامحسین کرمی متعهد می‌شوم:

تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجناب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است. در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است. مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.

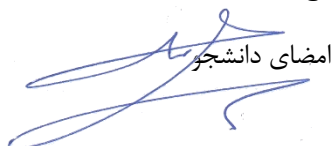
کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد و مقالات مستخرج با نام «دانشگاه صنعتی شاهرود» و یا «Shahrood University of Technology» به چاپ خواهد رسید.

حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می‌گردد.

در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.

در کلیه مراحل انجام این 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 ۱۳۹۸/۴/۲۵

امضای دانشجو


مالکیت نتایج و حق نشر

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

چکیده

تغذیه از بارش‌های آسمانی به عنوان اصلی‌ترین و مهم‌ترین ورودی به بیشتر آبخوان‌ها به شمار می‌رود و از مهمترین پارامترهای معادله بیلان بوده که در اغلب مطالعات هیدرولوژیکی و هیدروژئولوژیکی مورد نیاز است. بر خلاف مطالعات زیادی که در چند دهه بر روی ارزیابی مقدار تغذیه، تخمین مقدار تغذیه هنوز مشکل است. تعیین دقیق مقدار تغذیه آبخوان به دلیل نقش عوامل مختلف و به مقادیر ناشناخته در عمل بسیار مشکل و پیچیده و عملاً ناممکن است. اما با افزایش دقت در مطالعه برخی از این پارامترها می‌توان تا حد قابل قبولی تغذیه به آبخوان را برآورد نمود. بر اساس شواهد و مطالعات موجود در بسیاری از مناطق، تغذیه فصلی بوده و به بیان دیگر هر بارشی توان تغذیه را ندارد. با بررسی خصوصیات بارش در هر منطقه می‌توان یک آستانه تغذیه برای بارش‌های به صورت باران تعیین نمود.

بررسی و مطالعات یک ساله انجام گرفته بر روی ترکیب ایزوتوپی بارش‌های حوضه هراز در ۵ ایستگاه با ارتفاع مختلف بیانگر این است که ترکیب ایزوتوپی بارش‌های منطقه از روند خطی $\delta D(\%) = 66\delta^{18}O(\%) - 8.48$ تبعیت می‌نمایند. بارش‌های تابستانه دارای سنگین‌ترین و بارش‌های زمستانه دارای سبک‌ترین مقادیر ایزوتوپی می‌باشند. مطالعات ایزوتوپی بر روی نمونه‌های جمع‌آوری شده از چشمه‌های منطقه بیانگر این است که ترکیب ایزوتوپی اغلب چشمه‌ها شباهت بسیار زیادی به نمونه‌های برف متراکم دارند

مطالعات ایزوتوپی باران‌ها و چشمه‌های منطقه بیانگر این است که در چشمه‌های با شیب غالب حوضه آبگیر به سوی جنوب (بخش شمالی لاسم) تغییر محسوسی در ترکیب ایزوتوپی در پاسخ به بارش‌های تابستانه مشاهده نشده است در حالی که چشمه‌های با شیب حوضه آبگیر به سوی شمال (بخش جنوبی لاسم) و یا به سوی شمال و جنوب (منطقه نمارستاق و لار) از این بارش‌ها متأثر شده‌اند. در این منطقه بارش‌های بیشتر از ۱۵ میلیمتر در دوره مورد مطالعه بر روی چشمه‌ها اثری داشته که دارای رطوبت مازاد ۱۷/۲ میلیمتر بوده است. در صورتی که شاخص رطوبت مازاد به بیش از ۱۷/۲ میلیمتر برسد بارش توان تغذیه را دارد منجر به سنگین شدن ترکیب ایزوتوپی چشمه می‌گردد. مقادیر بارش سالانه در این دوره آماری ۲۷ ساله در ایستگاه پلور بین ۲۹۸ تا ۸۵۷ میلیمتر بوده که به طور متوسط ۶۶ درصد به شکل برف و ۳۴ درصد به شکل باران رخ داده است. نتایج بررسی شاخص رطوبت مازاد در دوره مورد مطالعه بیانگر آن است که تنها ۲۸٪ از بارش‌های باران توان تغذیه را دارند. به تفکیک نوع بارش پتانسیل تغذیه برای باران و برف ۸۵ و ۲۵ درصد می‌باشد. به طور متوسط پتانسیل تغذیه در آهک‌های البرز مرکزی بین ۴۶ تا ۷۶ درصد بارش می‌باشد.

به منظور ارزیابی اثر نسبی پارامترهای مکانی از نرم‌افزار GIS جهت تهیه نقشه لیتولوژی، درزه و شکستگی، پوشش گیاهی، پوشش خاک و جهت شیب استفاده شده است. بعد از طبقه‌بندی اقدام به هم‌پوشانی این لایه‌ها جهت ارزیابی امکان‌پذیری تغذیه در هر منطقه شده و نهایتاً با نقشه پتانسیل تغذیه تلفیق گردیدند. مقادیر تغذیه با روش همپوشانی در آهک‌های منطقه بین ۳۰ تا ۹۰ درصد پتانسیل تغذیه متغیر می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: البرز مرکزی، هراز، هیدروژئولوژی کارست، آستانه تغذیه، ایزوتوپ‌های پایدار، هیدروشیمی، LMWL

مقالات مستخرج از پایان نامه:

الف: مقالات ISI و علمی - پژوهشی

1- Abdollah Shamsi, Gholam Hossein Karami, Daniel Hunkeler, Azizollah Taheri (2018), **Isotopic and hydrogeochemical evaluation of springs discharging from high-elevation karst aquifers in Lar National Park, northern Iran**. Hydrogeology Journal. <https://doi.org/10.1007/s10040-018-1873-4>.

2- Abdollah Shamsi, Gholam Hossein Karami, Azizollah Taheri (2019), **Recession curve analysis of major karstic springs at the Lasem area (north of Iran)**, Carbonates and Evaporites <https://doi.org/10.1007/s13146-019-00501-7>.

3- Abdollah Shamsi, Gholam Hossein Karami, Azizollah Taheri, Daniel Hunkeler, **Hydrochemistry and stable isotopes study of the precipitation at Haraz Basn, north of Iran**, Geopersia, accepted for online publish.

ب: مقالات کنفرانسی

۱- شمسی، ع.، کرمی، غ.، هونکلر، د. طاهری، ع.، (۱۳۹۵)، کاربرد سنجش از دور در پایش تغییرات ذوب برف و اثر آن بر چشمه‌های کارستی منطقه لاسم (حوضه هراز). سی و پنجمین گردهمایی ملی علوم زمین.

۲- شمسی، ع.، کرمی، غ.، هونکلر، د. طاهری، ع.، (۱۳۹۵)، بررسی ترکیب ایزوتوپ‌های پایدار اکسیژن و دوتریوم در بارش‌های حوضه هراز و تعیین خط آب جوی منطقه. سی و پنجمین گردهمایی ملی علوم زمین.

فهرست مطالب

فصل اول: مقدمه

۱-۱- بیان مسأله	۱
۲-۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه	۲
۳-۱- هیدرولوژی منطقه	۳
۴-۱- زمین‌شناسی منطقه	۵
۱-۴-۱- چینه‌شناسی و سنگ‌شناسی	۵
۱-۱-۴-۱- واحدهای سنگی پالئوزوئیک	۹
۲-۱-۴-۱- واحدهای سنگی مزوزوئیک	۱۱
۳-۱-۴-۱- واحدهای سنگی سنوزوئیک	۱۶
۲-۴-۱- سنگ‌های آذرین	۱۹
۱-۲-۴-۱- سنگ‌های آذرین مزوزوئیک	۱۹
۲-۲-۴-۱- سنگ‌های آذرین پالئوسن- ائوسن	۲۰
۳-۲-۴-۱- سنگ‌های آذرین (آتشفشانی) کواترنری	۲۰
۴-۲-۴-۱- سنگ‌های پیروکلاستیک	۲۲
۵-۲-۴-۱- سنگ‌های اپی کلاستیک	۲۳
۳-۴-۱- زمین‌شناسی ساختمانی منطقه	۲۳
۵-۱- ژئومورفولوژی منطقه مورد مطالعه	۲۷

فصل دوم: مروری بر مطالعات پیشین بر آورد تغذیه

۱-۲- روش‌های ارزیابی تغذیه در مناطق کارستی	۳۱
۱-۱-۲- معادله بیلان	۳۲
۲-۱-۲- هیدروگراف خروجی چشمه‌ها و هیدروگراف پایه	۳۲
۳-۱-۲- ردیاب‌های طبیعی	۳۳
۴-۱-۲- استفاده از سری‌های زمانی دبی- بارش	۳۳
۵-۱-۲- استفاده تغییرات فاکتورهای کنترل کننده تغذیه و نرم افزار GIS	۳۳
۲-۲- پارامترهای مؤثر بر تغذیه	۳۴
۱-۲-۲- آب و هوا	۳۵
۲-۲-۲- زمین‌شناسی و خاک‌ها	۳۶
۳-۲-۲- توپوگرافی سطحی	۳۷
۴-۲-۲- شرایط هیدروژئولوژی و هیدرولوژی	۳۸
۵-۲-۲- کاربری اراضی و پوشش گیاهی	۴۰
۳-۲- مکانیسم تغذیه	۴۲
۴-۲- تغذیه سالانه از بارش	۴۴
۵-۲- تغییرات زمانی و مکانی تغذیه	۴۸
۶-۲- مقایسه روش‌های موجود	۵۰
۷-۲- انتخاب روش مناسب در این تحقیق	۵۱

فصل سوم: داده‌ها و روش انجام کار

- ۱-۳- بررسی‌های زمین‌شناسی ۵۳
- ۲-۳- آماربرداری و تهیه سری‌های زمانی از چشمه‌ها ۵۳
- ۳-۳- شناسایی چشمه‌ها، اندازه‌گیری و نمونه برداری از چشمه‌های انتخابی ۵۵
- ۴-۳- نصب باران‌سنج تجمعی و جمع‌آوری نمونه بارش ۵۵
- ۵-۳- آنالیز ایزوتوپی و هیدروشیمی بارش‌ها و چشمه‌ها ۵۷
- ۶-۳- بررسی وقفه زمانی چشمه‌های مورد مطالعه ۵۸
- ۷-۳- تعیین حد آستانه وقوع تغذیه ۵۹
- ۸-۳- تلفیق اطلاعات در محیط GIS با توجه به حد آستانه تغذیه ۵۹

فصل چهارم: هیدروژئولوژی و ژئومورفولوژی کارست

- ۱-۴- هیدروژئولوژی منطقه مورد مطالعه ۶۱
- ۱-۱-۴- چشمه‌های کارستی در حوضه لاسم ۶۲
- ۲-۱-۴- چشمه‌های کارستی در حوضه لار ۶۵
- ۳-۱-۴- چشمه‌های کارستی در حوضه نمارستاق ۶۷
- ۴-۱-۴- چشمه‌های کارستی در حوضه بلده ۶۹
- ۲-۴- هدایت الکتریکی (EC) ۷۰
- ۳-۴- دمای آب چشمه‌ها ($T^{\circ}C$) ۷۱
- ۴-۴- هیدرواستراتیگرافی منطقه ۷۱
- ۵-۴- ژئومورفولوژی کارست ۷۲
- ۱-۵-۴- غارها ۷۳
- ۲-۵-۴- چشمه‌های کارستی ۷۳
- ۳-۵-۴- فروچاله‌ها ۷۵
- ۴-۵-۴- دره‌های خشک ۷۷
- ۵-۵-۴- کارنها ۷۸
- ۶-۵-۴- عوارض انحلالی ۷۹
- ۷-۵-۴- پلیه کارستی ۸۰

فصل پنجم: هیدروژئوشیمی بارش و چشمه‌های کارستی

- ۱-۵- هیدروژئوشیمی بارش ۸۳
- ۲-۵- هیدروژئوشیمی چشمه‌های کارستی ۸۶
- ۱-۲-۵- چشمه‌های کارستی منطقه لاسم ۸۶
- ۲-۲-۵- چشمه‌های کارستی در حوضه لار ۹۱
- ۳-۲-۵- چشمه‌های کارستی در حوضه نمارستاق ۹۲
- ۴-۲-۵- چشمه‌های کارستی در حوضه بلده ۹۴
- ۵-۲-۵- نمودار گیبس ۹۶
- ۳-۵- بررسی شاخص اشباع ۹۷
- ۱-۳-۵- چشمه‌های کارستی در حوضه لاسم ۹۷

۹۹	..... چشمه‌های کارستی در حوضه لار
۱۰۰	..... چشمه‌های کارستی در حوضه نمارستاق
۱۰۱	..... چشمه‌های کارستی در حوضه بلده
۱۰۲	..... فلزات سنگین
۱۰۳	..... تغییرات زمانی ترکیب هیدروشیمیایی چشمه‌ها

فصل ششم: مطالعه ایزوتوپ‌های پایدار ^{18}O و D

۱۰۵	..... ۱-۶- ترکیب ایزوتوپی بارش‌های حوضه هراز
۱۱۲	..... ۲-۶- ترکیب ایزوتوپی چشمه‌های انتخابی حوضه هراز
۱۱۴	..... ۳-۶- تغییرات مکانی ترکیب ایزوتوپی در چشمه‌های منطقه هراز
۱۱۵	..... ۴-۶- تغییرات زمانی ترکیب ایزوتوپی در چشمه‌های منطقه هراز
۱۱۶	..... ۵-۶- ماندگاری برف در حوضه آبخیز و ترکیب ایزوتوپی

فصل هفتم: تعیین وقفه زمانی و حد آستانه تغذیه

۱۱۹	..... ۱-۷- تعیین وقفه زمانی چشمه‌ها
۱۲۲	..... ۱-۱-۷- چشمه‌های منطقه لاسم
۱۲۴	..... ۲-۱-۷- چشمه‌های منطقه نمارستاق
۱۲۵	..... ۳-۱-۷- چشمه‌های منطقه لار
۱۲۶	..... ۲-۷- تعیین حد آستانه تغذیه
۱۲۸	..... ۳-۷- شاخص رطوبتی
۱۳۲	..... ۴-۷- بررسی ویژگی‌های بارشی حوضه هراز
۱۳۵	..... ۵-۷- بررسی پتانسیل تغذیه
۱۳۶	..... ۱-۵-۷- پتانسیل تغذیه از باران
۱۳۷	..... ۲-۵-۷- پتانسیل تغذیه از برف
۱۴۰	..... ۳-۵-۷- پتانسیل تغذیه سالانه در سازندهای کربناته
۱۴۲	..... ۶-۷- ارزیابی تغذیه با استفاده از GIS
۱۵۰	..... ۷-۷- رابطه تغذیه و خروجی چشمه‌ها در دوره پایش

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

۱۵۵	..... ۱-۸- نتیجه‌گیری
۱۵۵	..... ۱-۱-۸- ترکیب ایزوتوپی و هیدروشیمی بارش‌های هراز
۱۵۵	..... ۲-۱-۸- ترکیب ایزوتوپی چشمه‌های مهم کارستی حوضه هراز
۱۵۶	..... ۳-۱-۸- هیدروشیمی چشمه‌های مهم کارستی حوضه هراز
۱۵۶	..... ۴-۱-۸- وقفه زمانی در چشمه‌های مهم کارستی حوضه هراز
۱۵۷	..... ۵-۱-۸- آستانه وقوع تغذیه
۱۵۷	..... ۶-۱-۸- ارزیابی مقدار تغذیه آبخوان‌های کارستی
۱۵۸	..... ۲-۸- پیشنهادها
۱۵۸	..... ۱-۲-۸- پیشنهادهایی برای تحقیقات آتی
۱۵۹	..... ۱-۲-۸- پیشنهادهای مرتبط با منطقه مورد مطالعه
۱۶۱	..... منابع

فهرست شکل‌ها

فصل اول

- شکل ۱-۱- موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی منطقه مورد مطالعه ۳
- شکل ۲-۱- بارندگی سالانه در ایستگاه‌های موجود در منطقه ۱۳۴۷-۱۳۹۳ ۳
- شکل ۳-۱- میانگین بارندگی ماهانه ایستگاه‌های منطقه مطالعاتی ۴
- شکل ۴-۱- نقشه تقسیم‌بندی هراز با توجه به حوضه آبریز ۶
- شکل ۵-۱- نقشه زمین‌شناسی محدوده بلده و نمارستاق ۷
- شکل ۶-۱- نقشه زمین‌شناسی محدوده لار ۷
- شکل ۷-۱- نقشه زمین‌شناسی محدوده لاسم‌رود و نم‌رود ۸
- شکل ۸-۱- نقشه زمین‌شناسی محدوده شاهاندشت ۸
- شکل ۹-۱- رخنمون سازند شمشک در هسته تاقدیس و رارو ۱۲
- شکل ۱۰-۱- سازند دلیچای با لایه‌بندی نازک ۱۳
- شکل ۱۱-۱- تصویر آهک چرتی سازند لار ۱۳
- شکل ۱۲-۱- تصویر هوایی فروچاله‌های موجود در سازندهای گچی ۱۴
- شکل ۱۳-۱- رخنمون آهک تیزکوه در جنوب غرب نمارستاق ۱۷
- شکل ۱۴-۱- تصویر صحرایی از قرارگیری سازند کرج بر روی واحدهای قدیمی ۱۸
- شکل ۱۵-۱- قرارگیری واحد آبرفتی بر روی سازند شمشک ۱۹
- شکل ۱۶-۱- تصویری از تراورتن‌های جوان تشکیل شده در روی سازند شمشک ۱۹
- شکل ۱۷-۱- تصویر قرارگیری گدازه‌های دماوند بر روی شمشک و لار ۲۱
- شکل ۱۸-۱- تصویر روند محور چین خوردگی‌ها ۲۴
- شکل ۱۹-۱- تصویر روند گسل‌های منطقه ۲۵
- شکل ۲۰-۱- تصویر گسله‌های قائم موجود در غرب نمارستاق ۲۶

فصل سوم

- شکل ۱-۳- نمونه تصویراندازه‌گیری صحرایی هدایت الکتریکی ۵۴
- شکل ۲-۳- الف) محل باران‌سنج‌های نصب شده. ب) تصویر نمونه‌ای از باران‌سنج تجمعی ۵۶
- شکل ۳-۳- دستگاه اندازه‌گیری ایزوتوپی در دانشگاه نوشاتل ۵۷
- شکل ۴-۳- تطابق نتایج آنالیز شده در دانشگاه نوشاتل و سازمان بین‌المللی انرژی اتمی ۵۸

فصل چهارم

- شکل ۱-۴- پراکندگی چشمه‌های کارستی منطقه لاسم و حوضه آبریز آنها ۶۲
- شکل ۲-۴- روند تغییرات دبی، دما و هدایت الکتریکی در چشمه‌های بخش جنوبی منطقه لاسم ۶۳
- شکل ۳-۴- روند تغییرات دبی، دما و هدایت الکتریکی در چشمه‌های بخش شمالی منطقه لاسم ۶۴
- شکل ۴-۴- پراکندگی چشمه‌های کارستی منطقه لار و حوضه آبریز آنها ۶۶
- شکل ۵-۴- روند تغییرات دبی، دما و هدایت الکتریکی در چشمه‌های کارستی منطقه لار ۶۸
- شکل ۶-۴- پراکندگی چشمه‌های کارستی منطقه نمارستاق و حوضه آبریز آنها ۶۹
- شکل ۷-۴- روند تغییرات دبی، دما و هدایت الکتریکی در چشمه‌های کارستی منطقه نمارستاق ۶۹

- شکل ۴-۸- پراکندگی چشمه‌های کارستی منطقه بلده و حوضه آبگیر آنها ۷۰
- شکل ۴-۹- روند تغییرات هدایت الکتریکی و مجموع مواد محلول ۷۱
- شکل ۴-۱۰- تصاویر غارهای موجود در منطقه مورد مطالعه ۷۲
- شکل ۴-۱۱- نمونه‌هایی از تصاویر چشمه‌های کارستی حوضه هراز ۷۳
- شکل ۴-۱۲- تصاویر هوایی از فروچاله‌ها در حوضه هراز ۷۴
- شکل ۴-۱۳- تصاویر صحرایی از فروچاله‌ها در منطقه مورد مطالعه ۷۵
- شکل ۴-۱۴- تصاویر ماهواره‌ای از دولین‌های حوضه هراز ۷۷
- شکل ۴-۱۵- تصاویر دره‌های خشک حوضه هراز ۷۸
- شکل ۴-۱۶- تصاویر صحرایی و ماهواره‌ای از کارن‌های موجود در منطقه هراز ۷۹
- شکل ۴-۱۷- تصاویر صحرایی از عوارض انحلالی ۷۹
- شکل ۴-۱۸- تصاویر صحرایی از پلایه شمال شرق حطر و فروچاله‌های آن ۸۰

فصل پنجم

- شکل ۵-۱- محل جمع‌آوری نمونه‌های بارش در ۵ ایستگاه انتخابی در حوضه هراز ۸۴
- شکل ۵-۲- درصد توزیع مقادیر غلظت عناصر اصلی در ۵ ایستگاه و میانگین کل حوضه ۸۴
- شکل ۵-۳- ترکیب شیمیایی عناصر اصلی بارش‌های ماهانه در ۵ ایستگاه ۸۵
- شکل ۵-۴- نمودار شولر و پایپر چشمه‌های بخش جنوبی منطقه لاسم ۸۸
- شکل ۵-۵- الف) نمودار شولر ب) نمودار پایپر چشمه‌های بخش شمالی منطقه لاسم ۹۰
- شکل ۵-۶- الف) نمودار شولر ب) نمودار پایپر چشمه‌های منطقه لار ۹۲
- شکل ۵-۷- الف) نمودار شولر ب) نمودار پایپر چشمه‌های منطقه نمارستاق ۹۴
- شکل ۵-۸- الف) نمودار شولر ب) نمودار پایپر چشمه‌های منطقه بلده ۹۵
- شکل ۵-۹- نمونه‌های چشمه‌های کارستی منطقه هراز بر روی نمودار گیبس ۹۶
- شکل ۵-۱۰- شاخص اشباع چشمه‌های کارستی بخش جنوبی منطقه لاسم ۹۸
- شکل ۵-۱۱- - شاخص اشباع چشمه‌های کارستی بخش شمالی منطقه لاسم ۹۹
- شکل ۵-۱۲- شاخص اشباع چشمه‌های کارستی منطقه لار ۱۰۰
- شکل ۵-۱۳- شاخص اشباع چشمه‌های کارستی منطقه نمارستاق ۱۰۱
- شکل ۵-۱۴- شاخص اشباع چشمه‌های کارستی منطقه بلده ۱۰۲
- شکل ۵-۱۵- نمودار شولر چشمه‌های انتخابی در زمان‌های مختلف ۱۰۳

فصل ششم

- شکل ۶-۱- خطوط آب جوی محلی ایستگاه و کل حوضه هراز ۱۰۷
- شکل ۶-۲- تغییرات ترکیب ایزوتوپی با بارش ۱۰۹
- شکل ۶-۳- رابطه ارتفاع و ترکیب ایزوتوپی در نمونه‌های بارش حوضه هراز ۱۱۰
- شکل ۶-۴- رابطه ارتفاع و ترکیب ایزوتوپی در نمونه‌های متعلق به یک واقعه بارشی ۱۱۱
- شکل ۶-۵- رابطه ^{18}O و D در بارش‌های حوضه هراز بر اساس نوع بارش ۱۱۱
- شکل ۶-۶- ترکیب ایزوتوپی چشمه‌های منطقه هراز و خط آب جوی هراز ۱۱۲
- شکل ۶-۷- تغییرات مکانی ترکیب ایزوتوپی چشمه‌های منطقه هراز با توجه به شیب غالب حوضه آبگیر ۱۱۵

- شکل ۶-۸- سری زمانی ترکیب ایزوتوپی چشمه‌های منطقه هراز..... ۱۱۶
- شکل ۶-۹- رابطه ارتفاع متوسط حوضه آبگیر و ترکیب ایزوتوپی چشمه‌های منطقه هراز..... ۱۱۸

فصل هفتم

- شکل ۷-۱- نمونه تصاویر پوشش برف منطقه لاسم با استفاده از تصاویر سنتینال ۲ و لندست ۸..... ۱۲۱
- شکل ۷-۲- نمودار تغییرات پوشش برف با استفاده از تصاویر سنتینال ۲ و لندست ۸ در حوضه هراز..... ۱۲۲
- شکل ۷-۳- تغییرات دبی چشمه‌های منطقه لاسم و ذوب برف با استفاده از تصاویر سنتینال ۲ و لندست ۸..... ۱۲۳
- شکل ۷-۴- تغییرات دبی چشمه‌های منطقه نمارستاق و ذوب برف با استفاده از تصاویر سنتینال ۲ و لندست ۸..... ۱۲۵
- شکل ۷-۵- تغییرات دبی چشمه‌های منطقه لار و ذوب برف با استفاده از تصاویر سنتینال ۲ و لندست ۸..... ۱۲۵
- شکل ۷-۶- تغییرات ترکیب ایزوتوپی چشمه‌های انتخابی منطقه لار بر اثر بارش باران..... ۱۲۷
- شکل ۷-۷- تغییرات ترکیب ایزوتوپی چشمه‌های انتخابی منطقه لاسم بر اثر بارش باران..... ۱۲۷
- شکل ۷-۸- روند ترکیب ایزوتوپی چشمه‌های منطقه لاسم با شیب غالب رو به جنوب بر اثر بارش باران..... ۱۲۸
- شکل ۷-۹- وقایع بارشی اواخر اردیبهشت تا آبان ماه، شاخص رطوبتی روزانه و پتانسیل تغذیه..... ۱۳۱
- شکل ۷-۱۰- تقسیم‌بندی بارش‌های منطقه با استفاده از آمار روزانه ۲۷ ساله ایستگاه پلور..... ۱۳۳
- شکل ۷-۱۱- رابطه وقایع بارشی منطقه مقدار بارش در ایستگاه پلور..... ۱۳۳
- شکل ۷-۱۲- فراوانی و درصد فراوانی وقایع بارشی ۲۷ ساله در ایستگاه پلور..... ۱۳۴
- شکل ۷-۱۳- فراوانی تجمعی مقادیر بارش وقایع بارشی ۲۷ ساله در ایستگاه پلور..... ۱۳۵
- شکل ۷-۱۴- مقدار بارش سالانه و پتانسیل تغذیه سالانه..... ۱۴۰
- شکل ۷-۱۵- توزیع مقدار بارش سالانه در حوضه هراز..... ۱۴۲
- شکل ۷-۱۶- توزیع مقدار پتانسیل تغذیه (بارش مؤثر) در حوضه هراز..... ۱۴۳
- شکل ۷-۱۷- شاخص سطحی توسعه کارست در منطقه..... ۱۴۴
- شکل ۷-۱۸- شاخص زیر سطحی توسعه کارست در منطقه..... ۱۴۵
- شکل ۷-۱۹- شاخص توسعه کارست در حوضه هراز..... ۱۴۵
- شکل ۷-۲۰- نقشه تراکم گسل و شکستگی‌ها در منطقه مورد مطالعه..... ۱۴۶
- شکل ۷-۲۱- نقشه جهت شیب واحدهای کربناته در حوضه هراز..... ۱۴۷
- شکل ۷-۲۲- نقشه پوشش گیاهی بر روی واحدهای کربناته در حوضه هراز..... ۱۴۸
- شکل ۷-۲۳- نقشه پوشش خاک بر روی واحدهای کربناته در حوضه هراز..... ۱۴۸
- شکل ۷-۲۴- نقشه امکان‌پذیری تغذیه واحدهای کربناته در حوضه هراز..... ۱۵۰
- شکل ۷-۲۵- نقشه توزیع مکانی تغذیه در واحدهای کربناته و حوضه آبگیر چشمه‌ها..... ۱۵۱
- شکل ۷-۲۶- رابطه تغذیه محاسبه شده و تخلیه سالانه از چشمه‌های کارستی..... ۱۵۳

فهرست جدول‌ها

فصل سوم

- جدول ۱-۴-۱- مشخصات عمومی و ضرایب فرود چشمه‌های منطقه لاسم..... ۶۴
- جدول ۲-۴-۲- مشخصات عمومی و ضرایب فرود چشمه‌های منطقه لار..... ۶۵
- جدول ۳-۴-۳- مشخصات عمومی و ضرایب فرود چشمه‌های منطقه نمارستاق..... ۶۷
- جدول ۴-۴-۴- مشخصات عمومی و ضرایب فرود چشمه‌های منطقه بلده..... ۶۸

فصل پنجم

- جدول ۱-۵-۱- میانگین غلظت عناصر اصلی در بارش‌های منطقه هراز..... ۸۵
- جدول ۳-۵-۳- نتایج آنالیز هیدروشیمیایی در چشمه‌های کارستی بخش جنوبی منطقه لاسم..... ۸۷
- جدول ۴-۵-۴- نتایج آنالیز هیدروشیمیایی در چشمه‌های کارستی بخش شمالی منطقه لاسم..... ۸۹
- جدول ۵-۵-۵- ترکیب هیدروژئوشیمیایی چشمه‌های منطقه لار..... ۹۱
- جدول ۶-۵-۶- ترکیب هیدروژئوشیمیایی چشمه‌های منطقه نمارستاق..... ۹۳
- جدول ۱۰-۵-۱۰- ترکیب هیدروژئوشیمیایی چشمه‌های منطقه بلده..... ۹۵
- جدول ۱۱-۵-۱۱- نتایج آنالیز فلزات سنگین در چشمه‌های انتخابی..... ۱۰۳

فصل ششم

- جدول ۱-۶-۱- ترکیب ایزوتوپی بارش در ایستگاه‌های منطقه مورد مطالعه..... ۱۰۶
- جدول ۲-۶-۲- آمار ایستگاه‌های نمونه‌گیری و خط بارش جوی هر ایستگاه..... ۱۰۸
- جدول ۳-۶-۳- ترکیب ایزوتوپی چشمه‌های منطقه هراز..... ۱۱۳

فصل هفتم

- جدول ۱-۷-۱- مشخصات بارش و مقدار پتانسیل تغذیه در بازه زمانی بهار تا پائیز ۱۳۹۴..... ۱۳۰
- جدول ۲-۷-۲- مشخصات بارش سالانه..... ۱۳۲
- جدول ۳-۷-۳- مشخصات بارش و مقدار تغذیه سالانه از باران..... ۱۳۶
- جدول ۴-۷-۴- مشخصات بارش و مقدار تغذیه سالانه از برف..... ۱۳۹
- جدول ۵-۷-۵- مشخصات بارش و مقدار تغذیه سالانه..... ۱۴۱
- جدول ۶-۷-۶- مشخصات همپوشانی لایه‌ها..... ۱۴۹
- جدول ۷-۷-۷- مقایسه مقدار محاسبه شده تغذیه و مقدار تخلیه سالانه چشمه‌های کارستی..... ۱۵۲

فصل اول: مقدمه

۱-۱ - بیان مسأله

به علت کمبود و یا نبود منابع آب سطحی در بسیاری از مناطق جهان، به ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک، آب‌های زیرزمینی نیاز بشر را تأمین کرده و به عنوان مهم‌ترین عامل توسعه و پیشرفت هر منطقه شناخته شده است. با توجه به کمبود منابع آب زیرزمینی موجود در آبخوان‌های آبرفتی در بسیاری از مناطق جهان و رخنمون ۲۰ درصدی سنگ‌های کربناته سطح قاره‌ها و نیز کمیت قابل توجه و کیفیت بسیار عالی اغلب منابع کارستی، این منابع به عنوان یکی از سالم‌ترین و بهترین منابع آب شرب در دنیا به شمار می‌آیند. در کشور ایران نیز رخنمون قابل توجهی از سازندهای آهکی وجود دارد که سهم زیادی از نیازهای آبی کشور را از این منابع تأمین می‌کنند. مطالعه و شناخت پارامترهای هیدرولوژیکی و هیدروژئولوژیکی به منظور درک صحیح شرایط آبخوان‌ها جهت ارائه یک برنامه صحیح و قابل اعتماد برای توسعه پایدار ضروری می‌باشد. با توجه به اهمیت بالای منابع آب کارستی در کشور لازم است که آنها را مطالعه نموده و پارامترهای مختلف جهت ارائه معادله بیلان برای هر آبخوان با دقت قابل زیادی ارزیابی شوند.

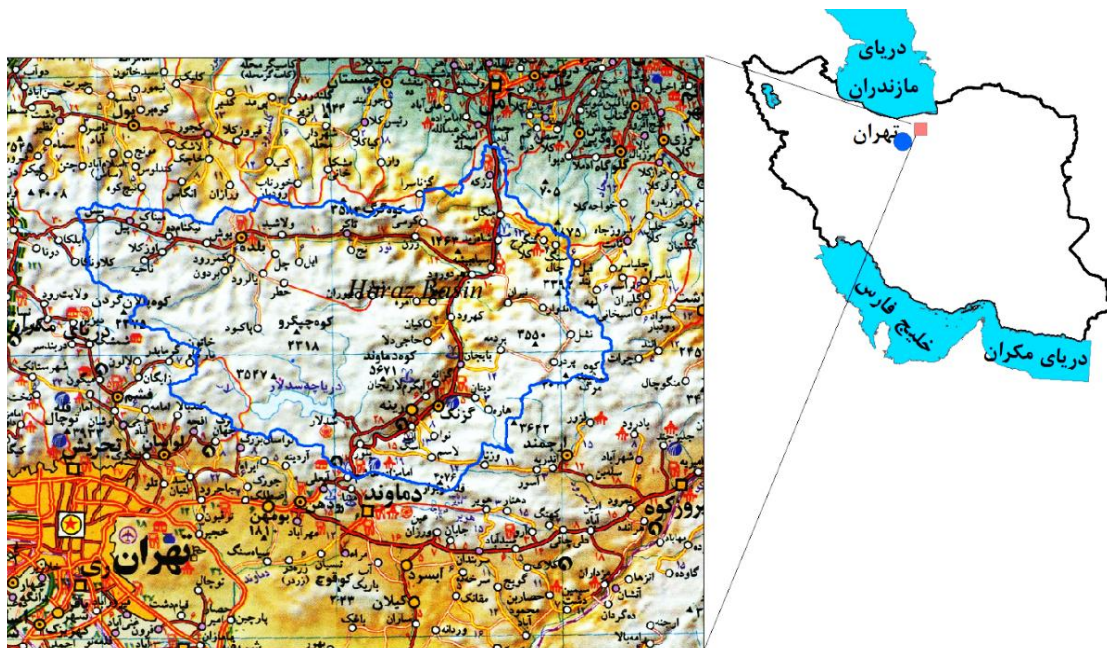
محیط کارست دارای شرایط هیدروژئولوژیکی ویژه‌ای است و در مقایسه با محیط متخلخل (آبرفت) تفاوت زیادی دارد و بسیار پیچیده‌تر می‌باشد. استفاده از روش‌های متداولی که بر مبنای فرض همگنی، برای مناطق آبرفتی ارائه شده‌اند به دلیل ناهمگنی بالا و تغییرات مکانی بسیار زیاد محیط کارستی را با مشکلاتی مواجه کرده است. این موضوع در سفرهای مناطق کوهستانی که دارای ساختار پیچیده زمین‌شناسی هستند، بیشتر می‌باشد.

اصلی‌ترین و مهم‌ترین ورودی به بیشتر آبخوان‌ها، تغذیه از طریق بارش‌های آسمانی می‌باشد. همچنین از مهم‌ترین پارامترهای معادله بیلان بوده و در اغلب مطالعات هیدرولوژیکی و هیدروژئولوژیکی مرتبط با آب‌های زیرزمینی، مورد نیاز است. بر خلاف مطالعات زیادی که در چند دهه بر روی ارزیابی مقدار تغذیه انجام شده، تخمین این مقدار هنوز مشکل است که به دلیل پیچیدگی شرایط هیدرولوژیکی و ناهمگنی موجود در محیط غیراشباع و تغییرات بارش به دلیل تغییرات آب و هوا می‌باشد. تعیین دقیق مقدار تغذیه آبخوان به دلیل تأثیرگذاری عوامل مختلف و مقادیر ناشناخته در عمل بسیار مشکل و پیچیده و عملاً ناممکن است.

هدف از انجام این تحقیق مطالعه و بررسی مقدار تغذیه در سازندهای آهکی منطقه البرز مرکزی می‌باشد. جهت دستیابی به این هدف شناخت هرچه کامل‌تر و بهتر آبخوان‌ها ضروری است. با توجه به اثر مهم مقدار بارش در وقوع تغذیه در مناطق کارستی، در این تحقیق سعی شده که با تعیین حد آستانه لازم برای وقوع تغذیه و ارزیابی زمان ماندگاری آب در سفره‌های کارستی، مطالعه جامعی بر روی مبحث تغذیه در منطقه مذکور به عمل آید.

۱-۲- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

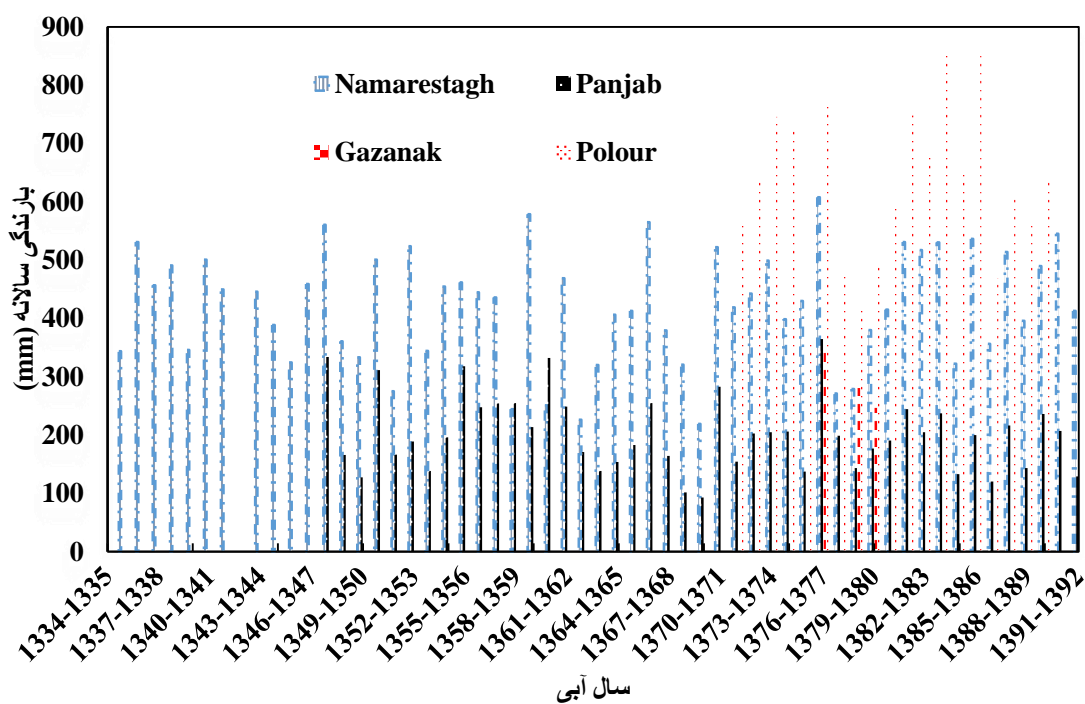
منطقه مورد مطالعه در بخش مرکزی رشته کوه البرز در ۶۰ کیلومتری شمال- شرق تهران و در حوضه آبگیر رودخانه هراز واقع شده است (شکل ۱-۱). این منطقه در بخش کوهستانی و مرتفع قرار دارد و بخشی از حوضه دریای مازندران می‌باشد. به لحاظ تقسیم‌بندی جغرافیایی کشوری، منطقه مورد مطالعه زیرمجموعه استان مازندران است و شهرهای لاریجان و بلده مهم‌ترین مراکز شهری این منطقه می‌باشند. روستاهای این منطقه عموماً بیلاقی است و به دلیل سرمای شدید اکثراً در زمستان‌ها خالی از سکنه می‌باشد. مسیر اصلی دسترسی به این منطقه از طریق جاده هراز است که استان تهران را به بخش شمال کشور متصل می‌کند. به علاوه امکان تردد از طریق مسیر فرعی ارجمند- لاسم نیز به حوضه هراز نیز در فصول خشک وجود دارد.



شکل ۱-۱- موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی منطقه مورد مطالعه

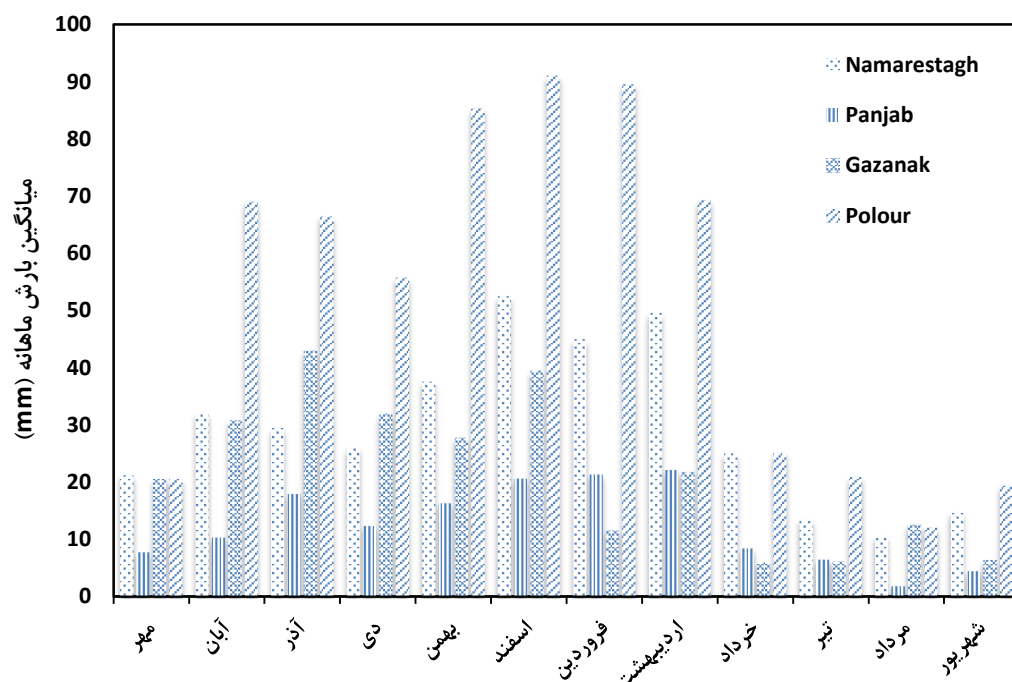
۳-۱- هیدرولوژی منطقه

آب و هوای بخش شمالی البرز مرکزی نسبتاً مرطوب و معتدل است. اما در بخش‌های جنوبی خشک و معتدل بوده و میانگین بارندگی سالانه بر اساس آمار ایستگاه پلور ۵۳۰ میلیمتر می‌باشد (شکل ۲-۱).



شکل ۲-۱- بارندگی سالانه در ایستگاه‌های موجود در منطقه ۱۳۴۷-۱۳۹۳

با توجه به اطلاعات ایستگاه‌های هواشناسی و باران‌سنجی موجود در این منطقه ایستگاه‌های پنجاب و پلور به ترتیب دارای کمترین و بیشترین مقدار بارندگی سالانه هستند. تمرکز بارش‌ها بیشتر در ماه‌های اردیبهشت، فروردین، اسفند و بهمن بوده و کمترین مقدار بارش در ایستگاه‌های مذکور در مرداد و تیرماه است (شکل ۱-۳). لازم به ذکر است که دلیل بارش کم در ایستگاه پنجاب، محاط شدن آن توسط ارتفاعات بلند می‌باشد.



شکل ۱-۳ - میانگین بارندگی ماهانه ایستگاه‌های منطقه مطالعاتی

رودخانه‌های اصلی منطقه مورد مطالعه رودخانه دائمی هراز و نمرود هستند. رودخانه هراز بعد از عبور از بخش کوهستانی به دشت آمل و سپس به دریای مازندران وارد می‌شود. بر اساس آمار ۴۵ ساله دبی حداقل، متوسط و حداکثر ماهانه این رودخانه به ترتیب ۱۵، ۲۵ و ۵۷ مترمکعب بر ثانیه می‌باشد. این رودخانه دائمی دارای ۵ شاخه اصلی است و شامل بلده، نارستاق، لار، دلیچای و لاسم رود می‌شود. رودخانه نمرود در امتداد محور ناودیس لاسم به سمت منطقه ارجمند جریان دارد و در نهایت به سد نمرود وارد می‌شود. دبی بیشینه این رودخانه در هر سال در ماه‌های اردیبهشت تا اواسط خرداد و دبی

حداقل در هر سال در ماه اسفند می‌باشد. احداث سد بر روی رودخانه نمرود به ترتیب، منجر به کاهش دبی در ماه‌های اردیبهشت، خرداد، تیر و فروردین شده اما در سایر زمان‌ها اثر چندانی بر دبی رودخانه ندارد (رومیانی و خادمی، ۱۳۹۲). سطح کل حوضه هراز در بخش کوهستانی حدود ۴۲۰۰ کیلومتر مربع است که توسط رودخانه هراز به دریای مازندران زهکشی می‌شود (شکل ۱-۱). تقریباً تمام شاخه‌های اصلی رودخانه هراز جریان دائمی دارد و در بیش از ۹۰٪ از اوقات سال در آن‌ها آب جاری است.

۱-۴- زمین‌شناسی منطقه

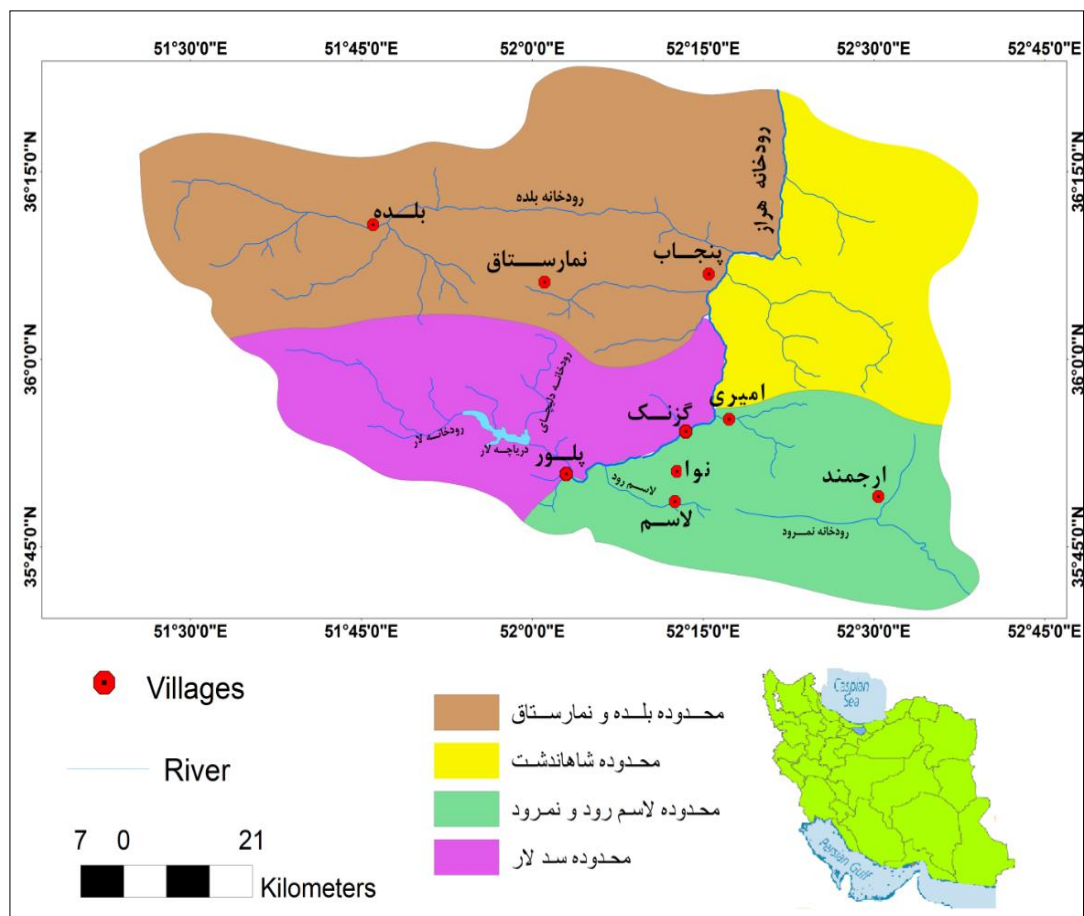
محدوده مورد مطالعه از لحاظ موقعیت جغرافیایی، در بخش جنوبی استان مازندران و شمال استان تهران واقع شده است. ناحیه مورد بررسی در محدوده جغرافیایی ۴۹ درجه و ۴۸ دقیقه تا ۵۴ درجه و ۴۱ دقیقه طول شرقی و ۳۵ درجه و ۳۶ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۱۹ دقیقه عرض شمالی واقع شده است. به لحاظ تقسیمات مناطق ساختاری- رسوبی این منطقه در زون البرز و در بخش مرکزی زیر بخش البرز مرکزی واقع شده است و بر روی نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰۰ آمل، دماوند، بلده و شرق تهران (فشم) قرار گرفته است. بخش اعظم مطالعات زمین‌شناسی در مناطق مرکزی و جنوبی در قالب تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰۰ توسط النباخ (Allenbach 1966)، اسرتو (Assereto 1966) و اشنایدر (Steiger 1966) تهیه شده که پس از تلفیق توسط کارتیر (Cartier 1972) به چاپ رسیده است. بخش شمالی منطقه توسط سوسلی (Sussli 1976) مطالعه شده و تحت عنوان زمین‌شناسی بخش پائینی دره هراز به چاپ رسیده است.

۱-۴-۱- چینه‌شناسی و سنگ‌شناسی

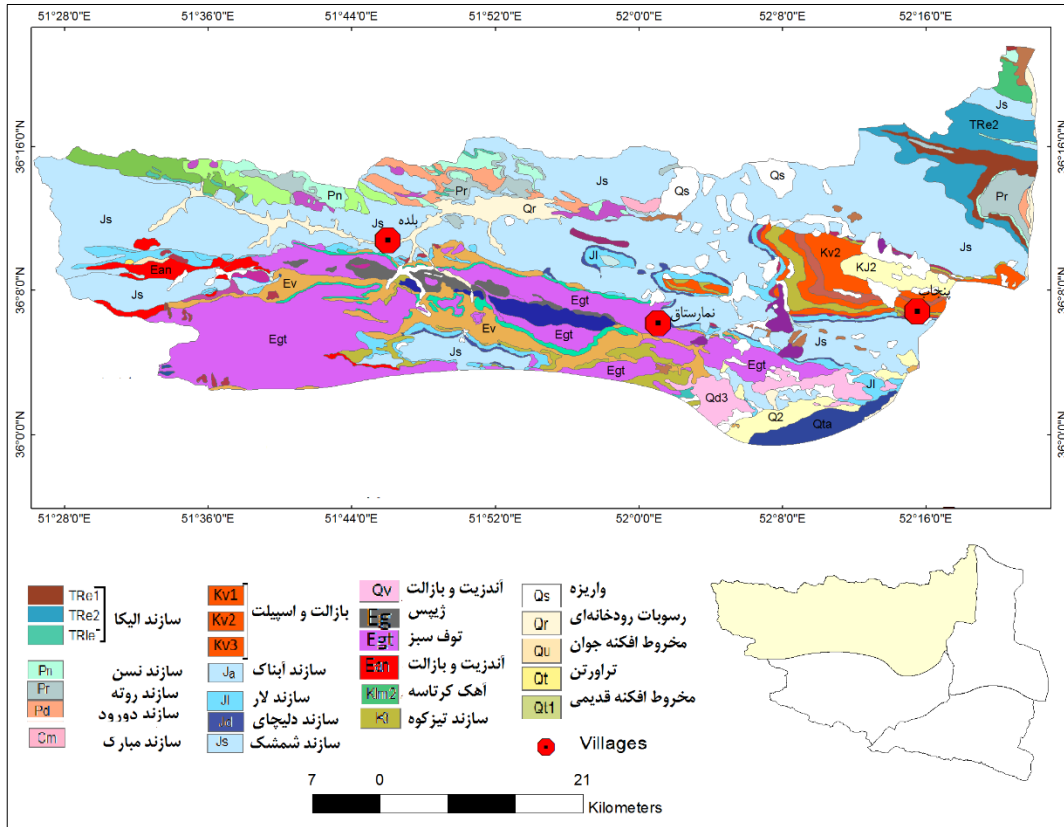
منطقه مورد مطالعه در بخش شمالی ایران، در بخش مرکزی رشته کوه البرز واقع شده است. این منطقه بر روی نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰۰ آمل، دماوند، بلده و شرق تهران (فشم) قرار گرفته است. رخنمون‌های سنگی موجود در این منطقه سازندهای مربوط به کامبرین، دونین، کربنیفر، پرمین، تریاس، ژوراسیک و کرتاسه می‌باشند که عمده‌ترین آنها به ژوراسیک، کرتاسه و ائوسن تعلق دارد. مهمترین

واحدهای کربناته شامل سازند الیکا، به سن تریاس پسین- میانی، سازند دلیچای و لار به سن ژوراسیک میانی- پسین، تیزکوه به سن کرتاسه پسین، آهک‌های کرتاسه بالایی و سازند آهکی زیارت به سن ائوسن پسین هستند. مهمترین واحدهای غیر کربناته در این مناطق شامل سازند شمشک به سن تریاس پسین- لیا، واحدهای بازالتی کرتاسه، سازند آتشفشانی رسوبی کرج و آندزیت‌های آتشفشان دماوند می‌باشند.

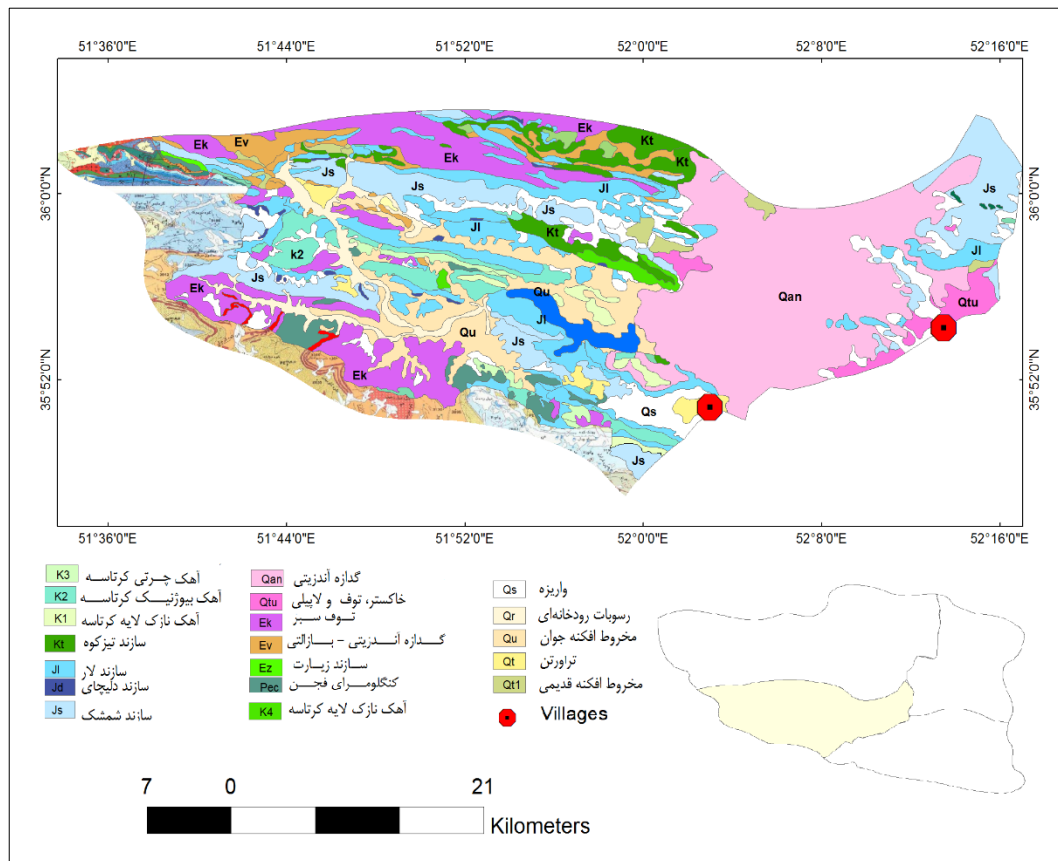
با توجه به گستردگی منطقه امکان نمایش همه واحدهای سنگ‌شناسی در یک نقشه با وضوح قابل قبول وجود ندارد. به همین دلیل منطقه به چهار بخش محدوده لاسمرود و نمرو، محدوده بلده و نمارستاق، محدوده لار و محدوده شاهان‌دشت تقسیم شده است (شکل ۱-۴ تا ۱-۸). لازم به ذکر است این تقسیم‌بندی بر مبنای مرزهای هیدروژئولوژیکی می‌باشد که بعضاً به دلیل ارتباط هیدروژئولوژیکی از مرز حوضه هراز گسترش بیشتری یافته است.



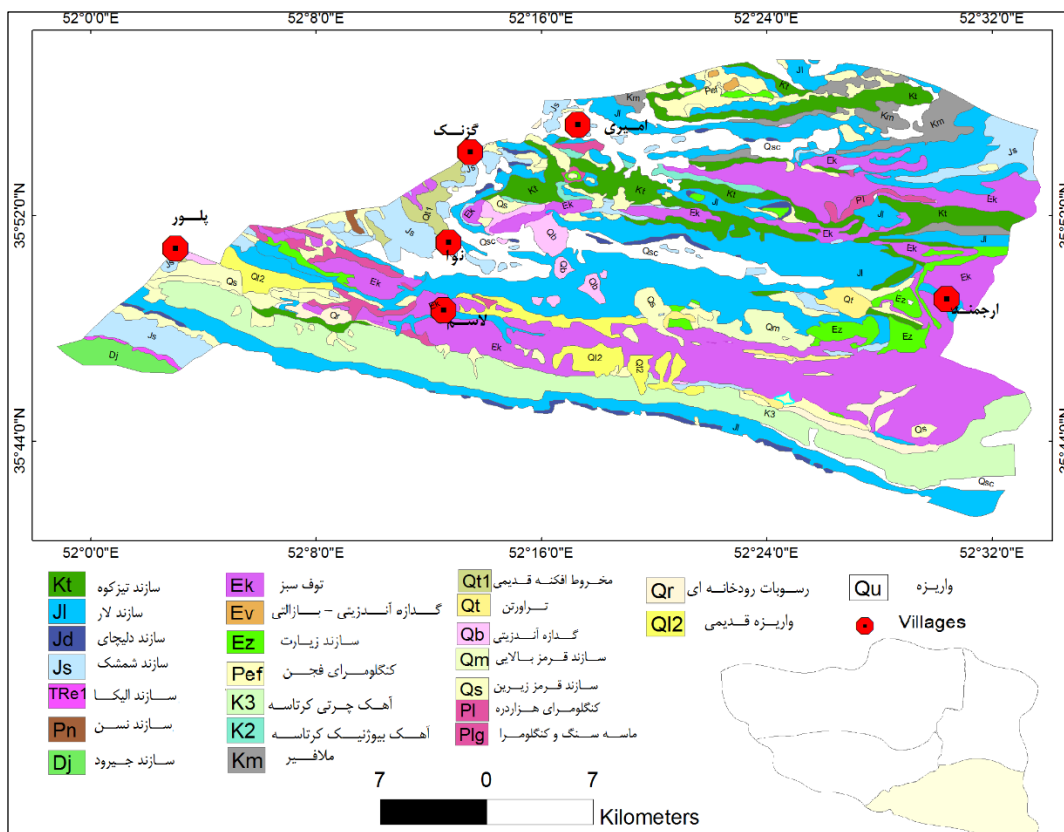
شکل ۱-۴- نقشه تقسیم‌بندی هراز با توجه به حوضه آبخیز



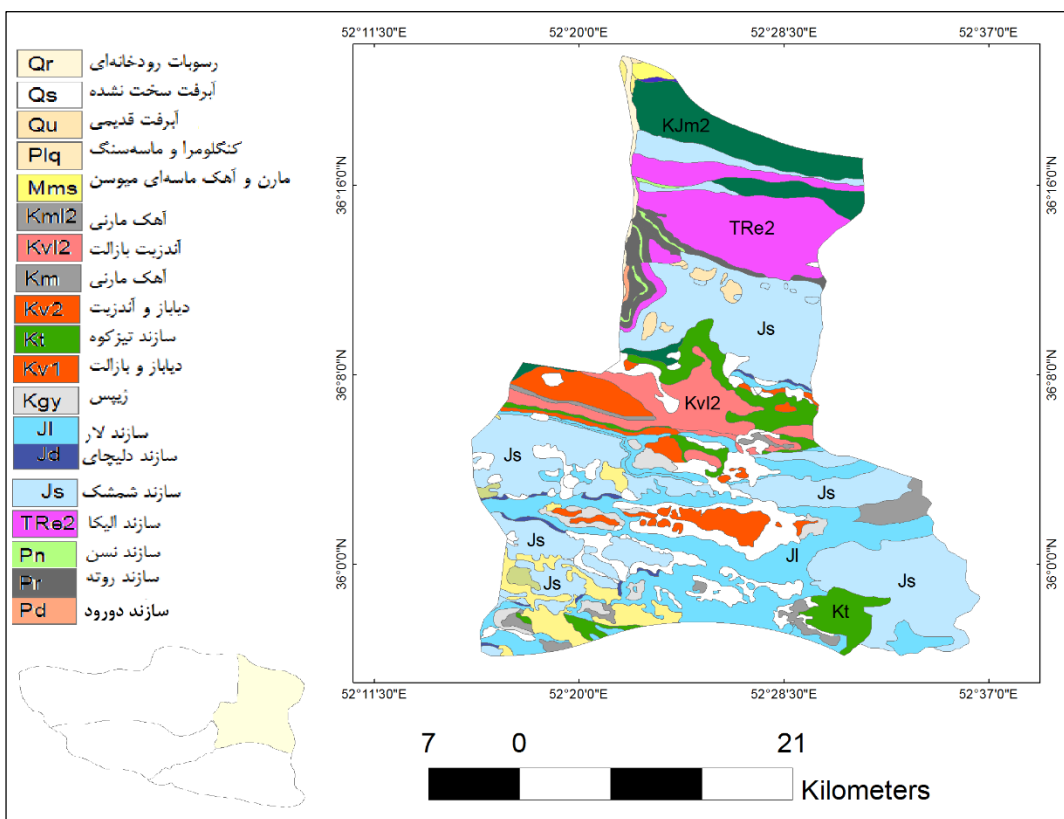
شکل ۱-۵- نقشه زمین‌شناسی محدوده بلده و نامرستاق



شکل ۱-۶- نقشه زمین‌شناسی محدوده لار



شکل ۱-۷- نقشه زمین‌شناسی محدوده لاشمرود و نامرود



شکل ۱-۸- نقشه زمین‌شناسی محدوده شاهان‌دشت

۱-۴-۱-۱- واحدهای سنگی پالئوزوئیک

در منطقه هراز تقریباً رخنمونی از همه واحدهای رسوبی تمامی دوران‌ها به جز چند مورد نبود رسوبگذاری مشاهده می‌شود. واحدهای سنگی پالئوزوئیک این منطقه شامل سازند میلا، سازند مبارک، سازند جیروود، سازند دورود، سازند روته و سازند نسن می‌باشد.

سازند میلا

در شمال راندگی اصلی حوالی امامزاده هاشم و جنوب اسک توالی سازند میلا وجود دارد. کامل‌ترین توالی سازند میلا شامل ۷۰ متر دولومیت خاکستری در بخش زیرین (معادل بخش ۲ میلا) و ۳۰ متر شیل سیلتی قرمز رنگ در بالا می‌باشد. در جنوب اسک نیز ۱۵ متر ماسه‌سنگ کوارتزیتی و ۴۰ متر ماسه سنگ قرمز رنگ همراه با لایه‌های سیلت رخنمون دارد. بر اساس فسیل‌های تریلوبیت که توسط اشتوکلین (Stocklin 1974) بررسی شده، سن این سازند کامبرین میانی- بالایی معرفی شده است. در این ناحیه گذر نهشته‌های این سازند از سمت پائین به سمت ماسه‌سنگ روشن رنگ کوارتزیتی (Top Quartzite) ناپیوسته ولی هم شیب است و در قسمت بالا نیز بین نهشته‌های این سازند و سازند جیروود نبود چینه‌ای وجود دارد و ناپیوسته می‌باشد.

سازند جیروود

در جنوب غرب منطقه بلده سازند جیروود رخنمون دارد و شامل ماسه‌سنگ کوارتزیتی با رنگ‌های خاکستری قهوه‌ای، سنگ آهک اکیئوئیددار همراه با لایه‌هایی از شیل و مارن است که ضخامت آنها به ۱۰۰ متر نیز می‌رسد. سن نهشته‌های جیروود دونین پسین (فرازنین - فامنین) می‌باشد که با ناپیوستگی بر رو سازند شمشک قرار گرفته و توسط واحد گدازه آندزیتی کرتاسه پوشیده شده است.

سازند مبارک

سازند مبارک با ضخامت حداکثر ۴۵۰ متر در اطراف امامزاده هاشم بر روی بخش A سازند جیروود قرار گرفته است. این واحد دارای آهک‌های سیاه رنگ دارای فسیل و اینتراکلیست است که در بخش‌های

زیرین در بین لایه‌های مارنی وجود دارند. بر روی این سازند، سازند الیکا با ناپیوستگی فرسایشی قرار گرفته است. در جنوب اسک سنگ آهک خاکستری رنگ با فسیل‌های براکیوپود، مرجان، کرینویید، بریوزوآ و آهک مارنی رخنمون دارد. سن سازند مبارک کرینیفر زیرین (Tournaisian-Visean) می‌باشد که سنگ‌های این واحد در جنوب اسک در زیر آهک‌های روته قرار گرفته است.

سازند دورود

این واحد سنگی به صورت بسیار محدود در بخش مرکزی تاقدیس عمارت و در بخش غربی منطقه بلده رخنمون دارد. از نظر سنگ‌شناسی شامل ماسه‌سنگ، سیلتستون و شیل‌های قرمز رنگ هستند که دارای بین لایه‌هایی از آهک مارنی، کوارتزیت و کنگلومرای کوارتزیتی می‌باشد. بخش‌های آهکی دارای فسیل شواگرین هستند. سازند دورود به صورت هم شیب توسط سازند روته پوشیده می‌شود. این واحد در بخش‌های مرکزی حوضه هراز رخنمون یافته است.

سازند روته

سازند روته در تاقدیس عمارت، شمال و غرب منطقه بلده و جنوب اسک رخنمون دارد. این سازند بیشتر از سنگ آهک تیره رنگ تشکیل شده است. ضخامت این سازند به ۱۰۵ متر می‌رسد که بسمت باختر از ضخامت آن کاسته می‌شود، در شمال دریاچه تار حاوی خرده‌هائی از خارپوستان و براکیوپود می‌باشد. براساس مطالعات آسرتو (Assereto 1963) و گلاوس (Glaus 1965)، سن آن به پرمین میانی نسبت داده شده است. در جنوب اسک حاوی بقایائی از خارپوستان، براکیوپود، بریوزوآ، کرینویید و فرامینفر پالئوتکستولاریا می‌باشد. نهشته‌های این سازند اغلب با ناپیوستگی بر روی سنگ‌های آهکی سازند مبارک قرار گرفته‌اند و توسط سازند نسن پوشیده می‌شود.

سازند نسن

سازند نسن در بخش مرکزی تاقدیس عمارت و نیز در بخش شمالی و غربی بلده دارای رخنمون‌های اندکی می‌باشد. لیتولوژی این سازند در بخش‌های زیرین شامل مادستون و شیل می‌باشد و در بخش

بالایی از سنگ آهک تیره غنی از فسیل و شیل تشکیل شده است. این سازند توسط سازند الیکا با ناپیوستگی فرسایشی پوشیده می‌شود.

۱-۴-۱-۲- واحدهای سنگی مزوزوئیک

واحدهای سنگی این دوران دارای بیشترین گسترش در این منطقه (تقریباً ۴۰ درصد) می‌باشند. سازندهای این دوران شامل الیکا، شمشک، دلیچای، لار و آبناک است. لازم به ذکر است سازند آبناک معادل دلیچای و لار می‌باشد.

سازند الیکا

این واحد غالباً در بخش مرکزی تاقدیس عمارت، گردنه امامزاده هاشم و شمال و غرب شهرستان بلده رخنمون دارد. از آهک نازک لایه به رنگ خاکستری و بندرت قرمز و زرد، آهک ضخیم لایه خاکستری رنگ، آهک دولومیتی نازک لایه زرد رنگ و دولومیت تشیکل شده است. سنگ‌های آهکی بخش زیرین سازند الیکا به صورت ناپیوسته و هم شیب بر روی سنگ‌های آهکی سازند روته قرار می‌گیرد و توسط سازند شمشک با ناپیوستگی پوشیده می‌شود.

سازند شمشک

سازند شمشک با گسترش وسیعی حدود ۲۷ درصد مساحت در حوضه هراز دیده می‌شود و از سنگ‌های آواری به رنگ قهوه‌ای، زیتونی و بندرت سبز با لیتولوژی کنگلومرا، ماسه سنگ، شیل‌های سیلتی و رسی زغال‌دار و ماسه‌سنگ گریوکی تشیکل شده است. در ذره پنجاب و منطقه نور ضخامت آن به ۱۵۰۰ متر هم می‌رسد (Sussli 1976). در برخی نقاط در قاعده نهشته‌های سازند شمشک سنگ‌های خروجی بازیگ دیده می‌شود که با ناپیوستگی هم شیب بر روی سازندهای قدیمی‌تر قرار گرفته است. نهشته‌های آواری این سازند به سمت بالا تغییرات تدریجی نشان داده و از مقدار مواد آواری کم شده و بر مقدار مواد کربناته آن افزوده می‌شود. رگه‌های زغال منحصر به بخش‌های زیرین این سازند است. در حوالی بایجان در بخش‌های زیرین این سازند در حدود ۴۰-۶۰ متر رسوبات تبخیری شامل گچ، رسوبات سیلتی

و رسی رخنمون دارد. این سازند بر روی سازند الیکا قرار گرفته و توسط سازند دلیچای یا معادل آن پوشیده می‌شود (شکل ۹-۱).



شکل ۹-۱- رخنمون سازند شمشک در هسته تاقدیس وراو (رودخانه سفید آب)

سازند دلیچای

این سازند دارای رخنمون نسبتاً محدود، اما پراکنده‌ای در همه منطقه است. سوسلی (۱۹۷۶) در منطقه پنجاب ضخامت این سازند را ۲۹ متر گزارش کرده است. لیتولوژی این سازند متشکل از آهک‌های مارنی تیره رنگ با لایه‌بندی نازک تا متوسط لایه است (شکل ۱-۱۰). به طور پیوسته و هم‌شیب بر روی نهشته‌های آواری سازند شمشک قرار گرفته است. مرز بالائی آن با کاهش لایه‌های مارنی بطور تدریجی به سنگ‌های آهکی سازند لار تبدیل می‌شود.

سازند لار

سازند لار در جنوب منطقه شامل آهک‌های متراکم و دانه‌ریز به رنگ خاکستری روشن است و غالباً کنکرسیون‌هایی از سیلیس سفید رنگ دارند. این سازند قابل تقسیم به دو بخش است. بخش زیرین آهکی و دارای قطعات چرتی است (شکل ۱-۱۱) و بخش بالایی از دولومیت تشکیل شده است.

در شمال منطقه از آهک‌های تیره تا سیاه‌رنگ و تا حدودی دولومیتی تشکیل شده است که به صورت واحدهای سنگی تند شیب و صخره‌ای دیده می‌شوند. در قسمت زیرین بحالت تدریجی به رسوبات دلیچای برخورد می‌کند. سطح تماس این سازند با رسوبات کرتاسه بالایی، آهک‌های تیزکوه و سازند زیارت ناپیوسته است.



تصویر ۱۰-۱- سازند دلیچای متشکل از آهک‌های مارنی لایه‌بندی نازک (منطقه یالرود)



شکل ۱۱-۱- آهک چرتی سازند لار (جنوب روستای یالرود)

سازند آبناک

این واحد سنگی دارای ضخامت متغییری است و معادل سازندهای لار و دلیچای می‌باشد. در منطقه ورازو به صورت هم‌شیب بر روی سازند شمشک قرار گرفته است. این سازند دارای چهار بخش است که به ترتیب شامل سنگ آهک نازک لایه سیاه رنگ، دولومیت توده‌ای زرد رنگ، سنگ آهک ضخیم لایه خاکستری روشن و سنگ آهک میکرایتی ضخیم لایه تیره رنگ می‌باشد.

سازند تیزه‌کوه

این واحد سنگی در جنوب غربی نمارستاق، غرب قله دماوند، ارتفاعات شرقی شاهان‌دشت رخنمون دارد. این سازند متشکل از سنگ‌های آهکی دانه ریز و متراکم به رنگ روشن و حاوی اوربیتولین است و ضخامتی در حدود ۲۵۰ متر دارد. از نظر مورفولوژی سنگ‌های پرشیب و پله مانندی را تشکیل می‌دهند (شکل ۱-۱۳). با توجه به مطالعات انجام شده بر روی اوربیتولین‌های این سازند، سن آپسین به آن نسبت داده می‌شود. سن سازند تیزکوه نیز با توجه به اربیتولین‌ها بarmین- آپسین می‌باشد. این سازند با ناپیوستگی بر روی سازند لار قرار می‌گیرد.



شکل ۱-۱۳- رخنمون آهک تیزکوه در جنوب غرب نمارستاق

سنگ‌های کرتاسه پسین

واحد K₁

این واحد به ضخامت ۴۰۰ متر متشکل از شیل و ماسه سنگ قرمز رنگ و در برخی نقاط همراه با میان لایه های کنگلومرا و سنگ آهک است. بر اساس فسیل‌های موجود در لایه های آهکی، بخش زیرین این واحد به کرتاسه پسین نسبت داده شده است. توالی فوق در ناحیه جنوبی گسترش داشته و با ناپیوستگی هم شیب فرسایشی بر روی سنگ‌های آهکی سازند تیزکوه و یا سنگ‌های قدیمی تر قرار گرفته است. دایک‌های آندزیتی- تراکی آندزیتی، سنگ‌های این واحد را قطع کرده است. همبری بخش بالائی با واحدهای جوان تر اغلب گسله و یا پوشیده است.

واحد K₂

در ناحیه جنوب و شمال لاسم واحد آهکی نازک لایه‌ای با ناپیوستگی هم شیب بر روی سنگ‌های آهکی لار قرار گرفته و گسترش وسیعی دارد. سن نهشته‌های این واحد براساس مطالعات (Steiger 1966) سنومانین- تورونین می‌باشد.

واحد K₃

واحد K₃ یک ردیف از سنگ‌های آهکی مطبق و دانه‌ریز به رنگ بژ روشن تا خاکستری روشن می‌باشد و ضخامت آنها حدوداً ۴۰۰ متر است. سنگ‌های این واحد با ناپیوستگی هم شیب بر روی واحد K₂ سازند تیزکوه و یا لار قرار گرفته است.

واحدهای تفکیک نشده کرتاسه بالایی K^a_u, K^b_u, K^c_u, K^d_u

این واحدهای سنگی در بخش جنوبی و جنوب غربی روستای لاسم، اطراف محدوده سد لار و حوضه لار رخنمون دارند. K^a_u در پایین دره لار با ضخامت متغیر تا ۵۰ متر از سنگ آهک میکرایتی نودولار تخریبی قهوه‌ای رنگ با یک لایه قاعده‌ای از کنگلومرای آهکی ضخیم‌لایه تشکیل شده است. این واحد

با ناپیوستگی توسط آهک میکرایتی واحد بعدی پوشیده می‌شود. واحد K^b_{II} دارای ضخامت ۴۰۰ متر در بخش میانی دره لار است و به سمت غرب ضخامت آن کاهش می‌یابد. این واحد از آهک‌های پلاژیک میکرایتی فسیل‌دار خاکستری روشن و نازک لایه با میان لایه‌های برش درون سازندی تشکیل شده است. این واحد به صورت تدریجی به واحد بعدی K^c_{II} تبدیل می‌شود. واحد K^c_{II} در دره‌های آلرم رود، چهل چشمه و دمبک‌کوه گسترش دارد. لیتولوژی این واحد از آهک تخریبی فسیل‌دار قهوه‌ای رنگ و ضخیم‌لایه می‌باشد. در درون آن قطعات چرتی قرمز رنگ نامنظم فراوان هستند. واحد K^d_{II} رخنمون بسیار محدودی در دره لار دارد و متشکل از سنگ‌های آهکی نازک لایه مارنی خاکستری روشن کم فسیل با قطعات آمونیتی و فرامینفر می‌باشد.

۱-۴-۱-۳- واحدهای سنگی سنوزوئیک

واحدهای سنگی سنوزوئیک از کنگلومرای فجن، سازند زیارت، توف کرج و واحدهای آبرفتی قدیمی و جدید تشکیل شده‌اند. این واحدها به ویژه در بخش غربی منطقه گسترش قابل توجهی دارند.

کنگلومرای فجن

این سازند در بخش جنوب- جنوب شرقی منطقه دارای گسترش محدودی است. پس از حرکات کوهزائی کرتاسه پسین (فاز کوهزائی لارامید) و چین خوردگی نهشته‌های قدیمی‌تر، بخش‌های بالا آمده از آب فرسایش یافته و در ابتدای ترشیری (پالئوسن) نهشته‌های کنگلومرایی همراه با مارن رنگارنگ نهشته شده‌اند. نهشته‌های این واحد اغلب با ناپیوستگی زاویه‌دار بر روی واحدهای قدیمی‌تر قرار گرفته است (Alavi 1996).

سازند زیارت

سازند زیارت از سنگ‌های آهکی نومولیت‌دار تشکیل شده و در شمال غرب کوه دماوند و بخش‌های محدودی در دره لار رخنمون دارد. توالی سازند فجن از سمت بالا و یا بطور جانبی، به سازند زیارت تبدیل می‌شود.

سازند کرج

سازند کرج بخش اعظمی از منطقه بلده و لار را پوشانده است. حداکثر ضخامت آن به حدود ۱۵۰۰ متر می‌رسد. سنگ‌های آذرآواری این سازند شامل توف‌های سبز به‌ویژه توف‌های شیشه‌ای و خاکستر توف است. این واحد در مجموع شامل توف و توفیت سبز رنگ، شیل و سنگ گچ می‌باشد. سنگ‌های آتشفشانی آن از جریان‌های گدازه و گدازه‌های برشی شده با ترکیب متوسط تا بازیگ معادل با بخش‌های زیرین سازند کرج (با علامت E_v) تشکیل شده است و در باختر ناحیه جنوبی رخنمون دارد. نهشته‌های سازند کرج بیشتر فرورفتگی‌ها و ناودیس‌های قدیمی را پر کرده (شکل ۱-۱۴) و به سمت شمال از ضخامت آنها کاسته می‌شود.



شکل ۱-۱۴- تصویر صحرایی از قرارگیری سازند کرج بر روی واحدهای قدیمی (جنوب یالرود)

واحد گچی ائوسن

در ناحیه شمالی و خاور کوه دماوند، شرق روستای حطر، اطراف روستای یالرود و شرق و غرب روستای سراسب واحدهای گچی رخنمون دارد (شکل ۱-۱۲).

این واحد از سنگ‌های تبخیری قرمز رنگ به ویژه سنگ گچ تشکیل شده که با همبری عادی بر روی سنگ‌های آهکی سازند لار قرار گرفته است. در برخی نقاط سنگ گچ بر اثر فشار لایه‌های جوان‌تر و یا فشارهای تکتونیکی از محل خود حرکت کرده و نهشته‌های جوان‌تر را قطع کرده است. سن نهشته‌های

این واحد با توجه به موقعیت چینه‌شناسی آن قبل از آپسین می‌باشد. بین نهشته‌های این واحد و لار نبود چینه‌ای وجود دارد.



شکل ۱-۱۲- تصویر هوایی فروچاله‌های موجود در سازندهای گچی (روستای حطر)

پادگانه‌های آبرفتی (واحدهای Q_{t1} و Q_{t2})

پادگانه‌های آبرفتی بر اثر فعالیت رودخانه‌ها و سیلاب‌ها در دشت‌ها و دامنه‌های ما بین کوه‌ها و در دو پهلو مسیر رودخانه‌ها به وجود می‌آیند. پادگانه‌های آبرفتی رودخانه لار، بر اثر بسته شدن مسیر حرکت رودخانه به وسیله گدازه‌های کوه آتشفشانی دماوند تشکیل شده است. در مراحل بعدی بخشی از آنها حمل شده و دره عمیقی به وجود آورده است. بر اساس سن‌سنجی انجام شده به روش کربن ۱۴ توسط (Oeschger (1962، سن پادگانه‌های آبرفتی لار پلئستوسن و جوان می‌باشد (شکل ۱-۱۵).

تراورتن Q^{tr}

بر اثر فعالیت چشمه‌های آهک‌ساز تراورتن ایجاد می‌شود. تراورتن در دره ورارود، شمال کوه دماوند، منطقه نمارستاق و حوالی اسک رخنمون دارند. این‌گونه سنگ‌ها اغلب در سطوح گسله در حوالی کوه آتشفشان دماوند بر اثر فعالیت چشمه‌های آبگرم به وجود آمده‌اند (شکل ۱-۱۶).



شکل ۱-۱۵- قرارگیری واحد آبرفتی بر روی سازند شمشک (تاقدیس ورارو)



شکل ۱-۱۶- تصویری از تراورتن‌های جوان تشکیل شده در روی سازند شمشک

۱-۴-۲- سنگ‌های آذرین

۱-۴-۲-۱- سنگ‌های آذرین مزوزوئیک

در بخش شمالی نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ دماوند، شیل‌ها و ماسه‌سنگ‌های سازند شمشک و به ندرت سنگ‌های کربناته سازند دلیچای توسط یک سری دایک و سیل قطع شده‌اند. سنگ‌های آذرین بیرونی قاعده نهشته‌های سازند شمشک در ناحیه مرکزی و جنوبی دیده می‌شود. این سنگ‌ها بر اثر جنبش‌های تکتونیکی خرد شده‌اند و اغلب خیلی فرسوده هستند و در نقشه زمین‌شناسی بنام ملافیر (بازالت)

مشخص می‌شوند. در قاعده نهشته‌های سازند تیزکوه، گدازه‌های بازیک با ضخامت قابل ملاحظه‌ای بر روی لایه‌های گچ رخنمون دارند و متعلق به زمان کرتاسه پیشین هستند. البته این گونه سنگ‌ها فقط در ناحیه شمالی گسترش دارند و ضخامت آنها کمتر از ۲۰۰ متر است.

۱-۴-۲- سنگ‌های آذرین پالئوسن - ائوسن

سنگ‌های آذرین پالئوسن - ائوسن شامل جریان‌های گدازه و گدازه‌های برشی شده با ترکیب حدواسط - بازیک همراه با توف‌های اسیدی - حدواسط و توفیت می‌شود که بخش‌های توفی بیشتر به رنگ سبز ظاهر می‌شوند. بنابر نظر (Glaus 1965)، گدازه‌های آندزیتی در سازند کرج گسترش دارند. جایگاه چینه‌شناسی گدازه‌های اولیوین بازالتی در زیر سنگ‌های آهکی سازند کند است. سنگ‌های آذر آواری سازند کرج از اهمیت و گسترش فراوانی برخوردار است و از انواع توف، توفیت‌های سبز رنگ و توف برش تشکیل شده است که از این میان توف‌های شیشه‌ای از جایگاه ویژه‌ای برخوردار هستند.

۱-۴-۲-۳- سنگ‌های آذرین (آتشفشانی) کواترنری

رخنمون‌های متنوعی از سنگ‌های آتشفشانی کواترنری در ناحیه شمالی منطقه دیده می‌شود که در مجموع کوه آتشفشانی دماوند را به وجود آورده است. سنگ پی آنها نهشته‌های پرکامبرین پسین تا کواترنری است و جریان‌های گدازه و سنگ‌های آذرآواری بر روی سطح فرسایشی قدیمی‌تر جای گرفته است (شکل ۱-۱۷). کهن‌ترین فاز فعالیت آتشفشانی کواترنری شامل سنگ‌های آتشفشانی بازیک رخنمون یافته در پلور می‌باشد (Glaus 1965).

فازهای جدیدتر از سنگ‌های تراکی آندزیتی - تراکیتی تشکیل شده است. سنگ‌های تراکی داسیتی و تراکی آندزیتی در کوه هاره به علت ویژگی‌های متفاوت آن با سنگ‌های آتشفشانی دماوند، به قبل از دماوند و احتمالاً قبل از کواترنری تعلق دارند.

سنگ‌های آذرآواری شامل دو دسته پیروکلاستیک و اپی‌کلاستیک هستند. این گونه سنگ‌ها نسبت به گدازه‌ها حجم کمتری داشته و در زیر گدازه‌های اصلی (تراکی آندزیتی - تراکیتی) جای گرفته‌اند. خروج

مواد آتشفشانی از دهانه مرکزی و دهانه‌های جانبی صورت گرفته که در مجموع از نوع مرکزی است. در جنوب باختری این آتشفشان، گدازه‌ها گسترش بیشتری داشته و در مجموع مخروط نامتقارنی را به وجود آورده است. سنگ‌های آتشفشانی کواترنری به دو رخساره بازیک و حدواسط-اسیدی تعلق دارند که هر یک به شرح زیر می‌باشد.



شکل ۱-۱۷- تصویر قرارگیری گدازه‌های دماوند بر روی شمشک و لار

- **رخساره بازیک:** گدازه‌های بازالتی پلور کهن‌ترین گدازه‌های کواترنری محسوب می‌شوند و به قبل از دماوند تعلق دارند. نام سنگ‌شناسی آنها بازالت آلکان اولیوین دار است که تیره رنگ و بسیار متخلخل هستند. بافت میکروسکوپی آنها پورفیریک با خمیره میکروولیتی است و در برخی موارد خمیره کمی حالت جریان‌ی دارد. کلسیت برخی از حفرات را پر کرده است.

- **رخساره میانه و اسیدی:** بعلاّت تغییرات تدریجی بین دو قطب حدواسط و اسیدی بعنوان حدواسط-اسیدی بررسی شده است. این رخساره شامل سنگ‌های تراکی آندزیت-تراکیت و نهشته‌های آذرآواری است. گدازه‌های تراکی آندزیتی تینه و کرف قدیمی‌تر از سایر سنگ‌های رخساره حدواسط-اسیدی است. در مجموع گدازه‌های تراکی آندزیتی-تراکیتی حجم اصلی مواد آتشفشانی دماوند را تشکیل داده

و از این میان سنگ‌های تراکی آندزیتی قدیمی‌ترند. در بررسی سنگ‌شناسی نام‌هایی به شرح زیر برای آنها مشخص شده است (Davidson et al. 2004).

مقداری از گدازه‌های این گروه که در باختر ساختمان آتشفشانی دماوند رخنمون دارد از نوع گدازه‌های بلوکی (Block lavas) می‌باشند که به سمت ورارو گسترش یافته‌اند. دو گروه از سنگ‌های آتشفشانی رخساره حدواسط-اسیدی در شمال کوه رخنمون دارند. کوه دماوند، کهن‌تر از آنها و احتمالاً قبل از کواترنری در نظر گرفته شده‌اند. بررسی کانی‌شناسی نشان می‌دهد که سنگ‌های آتشفشانی دماوند حاصل فرآیند تفریق ماگمایی هستند که گدازه‌های بازیک پلور را ساخته‌اند. در مجموع روند بازیک-اسیدی را نشان می‌دهند. در این روند میزان پیروکسن و اولیوین کاهش و بیوتیت افزایش یافته است. آمفیبول در رخساره حدواسط-اسیدی ظاهر شده و مقدار پلاژیوکلاز کاهش و مقدار فلدسپات آلکالن افزایش می‌یابد.

۱-۴-۲-۴- سنگ‌های پیروکلاستیک

شامل توف‌های شیشه‌ای، خاکستر توف و توف برشی است که از این میان توف‌های شیشه‌ای از اهمیت بیشتری برخوردار است و به شرح زیر می‌باشد.

- توف‌های شیشه‌ای ساخت ستونی و ترکیبی در حد تراکیت دارند و بدلیل وجود قطعات اسکوری به شکل عدسی و جهت‌دار می‌توان نوع جریان را در تشکیل آنها تصور نمود. حفراتی در ابعاد میکروسکوپی تا چند سانتیمتری در آنها وجود دارد و دیواره برخی از آنها به وسیله مواد سفید و زرد رنگی که بر اثر گازهای فورمولی به وجود آمده پوشیده شده است (بهرامی و همکاران ۱۳۹۶).

برش‌های آتشفشانی شامل گدازه‌های برشی شده‌ای هستند که از آن جمله می‌توان برش آتشفشانی قله دماوند را نام برد. این برش شامل قطعاتی از سنگ‌های تراکیتی در زمینه‌ای از گوگرد می‌باشد که گوگرد باعث دگرسانی شدید قطعات شده است. این گونه سنگ‌ها در قله دماوند و اطراف آن دیده می‌شود.

۱-۴-۲-۵- سنگ‌های اپی کلاستیک

سنگ‌های اپی کلاستیک شامل موادی هستند که از توده‌های سنگ‌های غیر همگن حمل و ته‌نشین شده‌اند. این مواد اغلب آتشفشانی و به مقدار کمی غیرآتشفشانی هستند. در برخی از این سنگ‌ها آب عامل اصلی حمل مواد بوده و در آنها ساخت رسوبی دیده می‌شود.

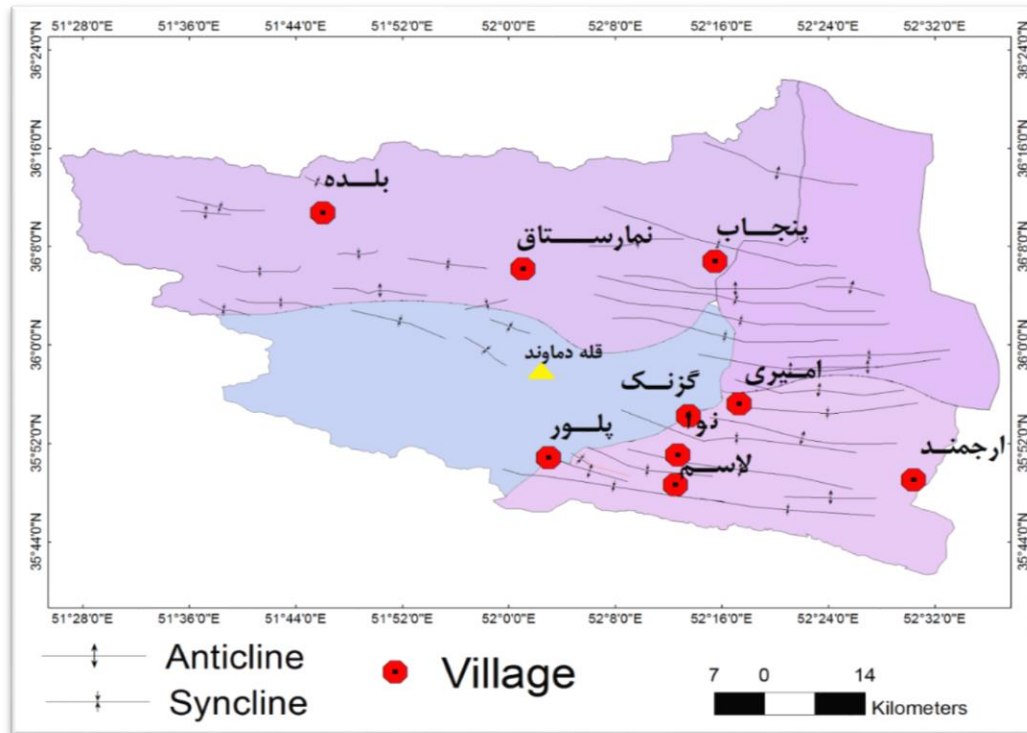
۱-۴-۳- زمین‌شناسی ساختمانی منطقه

از نظر زمین‌شناسی ساختمانی، منطقه مورد مطالعه در بخش البرز مرکزی قرار دارد. روند کلی ساختارهای تاقدیس و ناودیس در بخش شرقی منطقه دارای روند SW-NE و در بخش غربی منطقه دارای روند NW-SE می‌باشد. این دو روند متفاوت ساختاری در البرز مرکزی به هم می‌رسند و محل ویژه‌ای را در رشته کوه‌های البرز تشکیل می‌دهند که آتشفشان کواترنری دماوند نیز در محل تلاقی این دو روند ساختاری قرار دارد (Assereto 1966). براساس تحقیقات ساختاری و بررسی سازوکار زمین‌لرزه‌ها، دو جهت تنش فشارشی اصلی به عامل شکل‌گیری NE و NW ترتیب زمانی با روندهای نمای ساختارهای کنونی البرز مرکزی هستند (Berberian 1976). فروچاله‌های موجودی که در رسوبات واقع در حدفاصل بخش شمالی دریاچه و کوه عسل ایجاد شده‌اند، گواه خوبی بر تکتونیزه بودن واحدهای سنگی این محدوده هستند (امیدیان و همکاران ۱۳۸۸). در این منطقه ساختارهای گسلی و سطح محوری چین‌خوردگی‌ها کم و بیش قائم هستند.

رویدادهای تکتونیک در زیر پهنه البرز مرکزی باعث پیدایش مجموعه چین‌خوردگی‌ها و گسله‌هایی است که بسته به شرایط حاکم در زمان دگرشکلی، دو گونه دگرشکلی شکل‌پذیر و شکننده را پذیرا شده است. سیمای کنونی آن دستاورد دگرشکلی پیش‌رونده و بلند مدتی از پرکامبرین تا هولوسن است که بر البرز مرکزی حاکم بوده است. اصلی‌ترین ساختارهای گسترده مورد مطالعه را می‌توان به دو دسته چین‌خوردگی‌ها و گسل‌ها تقسیم نمود که در مقیاس‌های متفاوتی قابل مشاهده هستند.

الف- چین خوردگی‌ها

چین خوردگی‌های این منطقه عموماً دارای روند شرقی غربی با کمی انحراف به سمت شمال غرب هستند. در بخش شرقی کوه دماوند این چین خوردگی‌ها دارای روند منظم و تکراری از تاقدیس و ناودیس‌ها می‌باشند. اما در بخش غربی قله دماوند این روند منظم مشاهده نمی‌شود (شکل ۱۸-۱).



شکل ۱۸-۱- تصویر روند محور چین خوردگی‌ها. اقتباس از نقشه‌های ۱:۱۰۰۰۰۰ فشم، دماوند، آمل و بلده.

تاقدیس عمارت: تاقدیس عمارت یکی از مهمترین عوارض زمین‌ساختی واقع در گستره واحدهای چین‌های قابل مشاهده است. در این تاقدیس از خارج به سمت هسته به ترتیب: سازند الیکا، نسن، روته و دورود می‌باشد. بر اساس مطالعات انجام شده توسط پرنور و همکاران (۱۳۹۰) علاوه بر روند خاوری-باختری روندهای دیگری نیز در این تاقدیس مشاهده می‌شوند که بر روند خاوری - باختری غالب است. **تاقدیس کوه عبرت:** این تاقدیس هم روند با سایر چین خوردگی‌های بخش شرقی منطقه است و دارای روند تقریباً شرقی-غربی بوده و عمدتاً سازند آهکی لار در آن رخنمون دارد. البته در برخی نقاط واحدهای جوان‌تر نیز آن را پوشانده است.

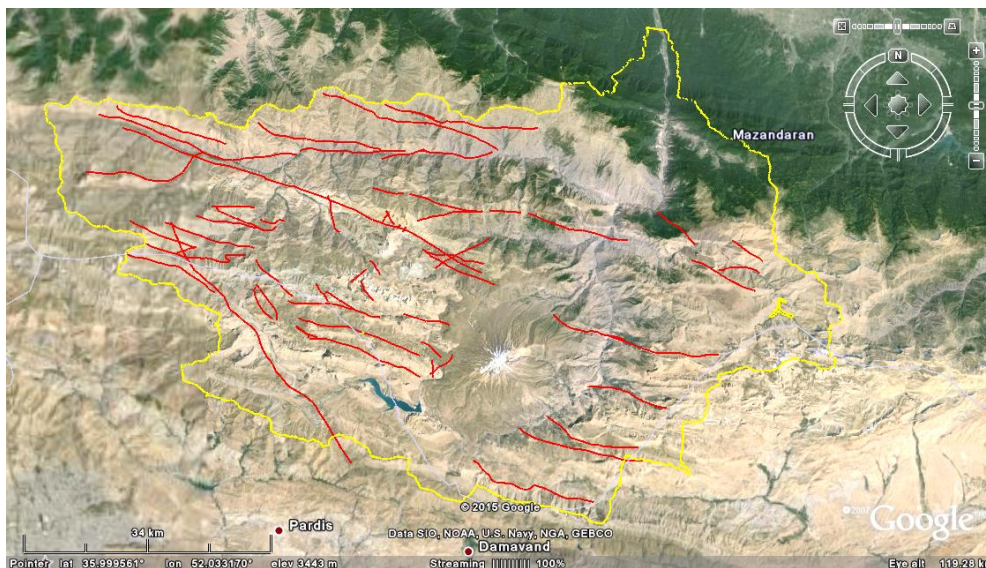
ناودیس رستم‌چال: ناودیس بزرگی است که در بخش بالایی به طور عمده از سنگ‌های آتشفشانی و آذرآواری ائوسن تشکیل شده و این ناودیس توسط گسل‌های متعددی قطع شده است.

ناودیس شکرلغاز: این ناودیس در رخنمون‌های توده‌ای ائوسن دیده می‌شود و روستای یالرود و حطر و رودخانه اصلی این مسیر در محور آن واقع شده است.

ناودیس لاسم: این ناودیس با روند تقریبی شرقی غربی یک ناودیس پلانژدار است که به دو سوی تقریبی شرق و غرب پلانژ نشان می‌دهد. محور این ناودیس، رودخانه لاسم رود است که به سمت شرق نیز یکی از شاخه‌های اصلی نمرود در این محور و هم روند با آن جریان دارد. واحدهای سنگی آن عموماً مربوط به دوران مزوزوئیک بوده که در برخی مناطق با واحدهای جوان پوشیده شده است.

ب- گسل‌های منطقه

در این منطقه تنوعی از انواع گسل‌های جوان تا قدیمی دیده می‌شود که برخی از گسل‌های قدیمی بر اثر نیروهای وارده دوباره فعال شده‌اند. عموماً گسل‌های اصلی در این منطقه از روند چین‌خوردگی‌ها پیروی می‌نمایند اما در مواردی نیز دارای روند شمالی جنوبی بوده که بنا بر نظر برخی از محققین فعال شدن گسل‌های قدیمی در اثر نیروهای وارده عامل به وجود آورنده این نوع از گسل‌ها در منطقه است (شکل ۱-۱۹).



شکل ۱-۱۹- تصویر روند گسل‌های منطقه

گسل منگل: گسل منگل به عنوان یکی از مهمترین گسل‌های زمین شناختی است که در مخزن سد منگل در جاده هراز حدود ۵۷ کیلومتری جنوب آمل واقع شده است. این گسل آغاز شده و با طی دره منگل به سمت شمال غرب با روند کلی شمال غربی- جنوب شرقی (که در پاره‌ای از مناطق دارای روند شرقی - غربی است) با گذر از کوه گرم، آب‌گزنصر از شمال روستای ایزوا عبور و از محدوده نقشه آمل خارج می‌شود (پرنور و همکاران ۱۳۹۰).

گسل بایجان: راندگی بایجان دارای روند WNW بوده و شیب سطح گسل به سمت شمال می‌باشد که در منطقه غربی خود گدازه‌های دماوند را نیز قطع نموده است. زلزله سال ۱۳۶۵ با بزرگای ۵/۲ و ۵/۴ آخرین فعالیت این گسل می‌باشد. روند فعالیت این گسل با توجه به داده‌های برداشت شده صحرائی دارای مؤلفه راست گرد است (امیدیان و الیاسی ۱۳۸۹).

گسل معکوس اندوار: این گسل در جنوب اندوار سبب بالا رفتن سازند شمشک بر روی لار شده است. دارای روند شمال غربی- جنوب شرقی با عملکرد معکوس است. شیب سطح گسل به سمت جنوب بوده و کمان شکل است (Jackson et al. 2002).

گسله‌های با روند شمالی و جنوبی و قائم: دره رودخانه‌هایی از قبیل هراز در بخش‌هایی از مسیر خود در محل عبور چنین گسل و شکستگی‌هایی جای گرفته‌اند. این گسله‌ها اثر فعالیت قدیمی اورال و عمان می‌باشد. این نوع گسله در مناطق نمارستاق، گزنه، اطراف عمارت و ... وجود دارد (شکل ۱-۲۰).



شکل ۱- ۲۱- تصویر گسله‌های قائم موجود در غرب نمارستاق (دید به سمت شمال غرب)

۱-۵- ژئومورفولوژی منطقه مورد مطالعه

حوضه مرتفع هراز به طور کلی توپوگرافی خشنی دارد و دارای تغییرات ارتفاعی شدیدی می‌باشد. مرتفع‌ترین نقطه ایران و خاورمیانه (قله دماوند) با ارتفاع ۵۶۵۰ متر و کمترین ارتفاع در محل خروجی حوضه ۱۰۰۰ متر می‌باشد. شیب متوسط حوضه آبگیر ۴۵ درجه می‌باشد. به جز دشت‌های سیلابی و بخش‌هایی که توسط رسوبات دریاچه‌های طبیعی دارای شیب کم و توپوگرافی ملایم هستند، سایر بخش‌ها دارای توپوگرافی بسیار خشن بوده و دره‌های V شکل جوان تشکیل داده‌اند. غالب مناطق مرتفع پوششی از آهک دارد و قله دماوند دارای لیتولوژی آندزیت است.

فصل دوم: مروری بر مطالعات پیشین تغذیه

اصلی‌ترین و مهم‌ترین منشاء تغذیه آب‌های زیرزمینی بارش می‌باشد. بارش‌های آسمانی ممکن است به صورت گیرش توسط گیاهان، ذخیره گودالی، نفوذ مستقیم به زمین، جریان سطحی و ورود به پیکره‌های آبی (دریاچه‌ها) به مسیر خود در چرخه هیدرولوژیکی ادامه دهند. آب وارد شده به زمین ممکن است توسط ریشه گیاهان دوباره به سطح زمین بازگردانده شده و در فرآیند تبخیر و تعرق مشارکت نمایند و یا از منطقه ریشه عبور کرده و به ناحیه اشباع برسد. به مقدار آبی که در نهایت به محیط اشباع وارد می‌گردد تغذیه گفته می‌شود (Dripps 2012). به بیان دیگر تغذیه آب‌های زیرزمینی، به مجموعه فرآیندهایی گفته می‌شود که منجر به رسیدن آب‌های سطحی و بارندگی‌ها به بخش اشباع خاک یعنی آبخوان می‌گردد (Martinez- Santos and Andreu 2010, Bhoopesh and Joisy 2012). یا به عبارتی دیگر مقدار آبی که توسط سیستم جریان آب زیرزمینی جایگزین می‌شود. در بحث تغذیه دو پارامتر شدت و مقدار تغذیه در بیشتر ارزیابی‌ها مد نظر هستند. تغذیه آب‌های زیرزمینی یکی از مهم‌ترین و اساسی‌ترین پارامترها در مطالعات آب‌های زیرزمینی می‌باشد. اگرچه امکان ارزیابی این پارامتر به طور دقیق امکان‌پذیر نیست اما با استفاده از مطالعات دقیق و بررسی امکان افزایش دقت این پارامتر به مقدار قابل قبول وجود دارد.

تغذیه از بارش‌های آسمانی به عنوان اصلی‌ترین و مهم‌ترین منبع تغذیه به بیشتر آبخوان‌های زیرزمینی به شمار می‌رود (Kumar 1997, Healy 2010, Nurul Islam et al. 2014). تغذیه بیانگر توانایی جایگزینی آب موجود در آبخوان است، شناسایی این پارامترها به منظور ارزیابی حساسیت آبخوان، حفظ منابع آبی و اکوسیستم ضروری می‌باشد (Yen et al. 2011). در مطالعات هیدروژئولوژیکی و

هیدرولوژیکی برآورد میزان تغذیه اهمیت ویژه داشته (Nurul Islam et al. 2014) و تعیین مقدار آن برای مدیریت و کارا بهینه لازم است (Kumar 1997, Sanford 2002, Healy 2010, Lin et al. 2013). به علاوه آب تغذیه شونده از عوامل اصلی انتقال آلودگی‌ها به آبخوان است. بنابراین این پارامتر در مطالعات آلودگی هم اهمیت بسزایی دارد (Nimmo 2005).

تغذیه آبخوان‌های کارستی به دو صورت متمرکز و پراکنده صورت می‌پذیرد: ۱- متمرکز، از طریق فروچاله و شفت (این نوع از تغذیه می‌تواند نابرجا نیز باشد) ۲- پراکنده، از طریق نفوذ در کل توده سنگی (White 1988, Ford and Williams 2007, Moore et al. 2009). در مناطق کوهستانی و سفره‌های کارستی کوهستانی به دلیل مقاومت بیشتر سنگ‌های آهکی در برابر فرسایش عموماً این سازندها در ارتفاع بیشتری واقع شده و تغذیه با این سازندها به طور غالب تغذیه برج و پراکنده می‌باشد. به دلیل کمتر بودن مقدار تغذیه و نیز استفاده بیشتر از منابع آب زیرزمینی، اغلب مطالعات انجام شده در مناطق خشک و نیمه‌خشک بوده است (De Vries and Simmers 2002, Radulovic et al. 2012). بر خلاف مطالعات زیاد که در چند دهه بر روی ارزیابی مقدار تغذیه انجام شده، تخمین مقدار آن هنوز مشکل است. این موانع به دلیل پیچیدگی شرایط هیدرولوژیکی و ناهمگنی موجود در محیط غیراشباع و تغییرات بارش به دلیل تغییرات آب و هوا می‌باشد (Lin et al. 2013). تعیین دقیق مقدار تغذیه آبخوان به دلیل نقش عوامل مختلف و مقادیر ناشناخته در عمل بسیار مشکل و پیچیده و عملاً ناممکن است (Ozyurt and Bayari 2008, Martinez- Santos and Andreu 2010, Radulovic et al. 2012). در بین این عوامل بارش و پارامترهای آن تغییرات بیشتری داشته و سایر پارامترها تقریباً دارای اثر یکسانی در طول سال هستند. با توجه با موارد ذکر شده، دقت در ارزیابی اثرات ناشی از تغییرات بارش می‌تواند صحت ارزیابی مقدار تغذیه را نیز افزایش دهد.

مناطق کارستی به دلیل توسعه خلل و فرج ثانویه بر اثر فرآیند انحلال، توانایی نفوذ مقدار زیادی از آب را دارند (Hartmann et al. 2014). اما بایستی متذکر شد که حضور این خلل و فرج خود عاملی برای جذب و نگهداری آب در محیط غیر اشباع و به ویژه منطقه اپی‌کارست می‌گردد (Meeks and

(Hunkeler 2015). از دهه ۱۹۸۰ میلادی مطالعات گسترده‌ای بر روی ارزیابی مقدار تغذیه انجام شده است. غالباً در مطالعات کارستی تغذیه را به صوت نسبتی از بارش سالانه در نظر می‌گیرند. بسیاری از بارش‌ها در مناطق خشک و نیمه‌خشک مقدار کم دارند و قبل از اینکه بتوانند تغذیه شوند توسط فرآیند تبخیر و تعرق از چرخه هیدرولوژیکی خارج می‌شوند و یا توسط جذب سطحی به ذرات می‌چسبند (Gee and Hillel 1988, Cherkauer and Ansari 2005, Nimmo et al. 2014). به بیان دیگر مقدار بارش کمتر از حد آستانه تغذیه در این مناطق می‌باشد و کمتر به این نکته توجه شده است. تعیین مقدار حد آستانه تغذیه برای هر منطقه با توجه به شرایط محیطی منطقه ضروری است و مقدار زیادی از خطاهای موجود در ارزیابی تغذیه را کاهش می‌دهد. با توجه به تغییرات زمانی و مکانی بارش تعیین حد آستانه نفوذ برای رفع این مشکل‌ها ضروری می‌باشد. بایستی حد آستانه تغذیه را به گونه‌ای تعیین نمود که تغییرات سالانه فاکتورهای متغیر در طول سال از جمله دمای هوا و پوشش گیاهی در نظر گرفته شود، برای مثال حد آستانه تغذیه در فصل‌های مختلف متفاوت هستند و در فصل‌های خشک این مقدار بالاتر است.

۲-۱- روش‌های ارزیابی تغذیه در مناطق کارستی

به منظور برآورد مقدار تغذیه آبخوان‌های کارستی محققین مختلف با توجه به اطلاعات و امکانات موجود روش‌های مختلفی را ارائه کرده‌اند. تعیین اینکه کدامیک از روش‌های موجود ارزیابی قابل اعتماد و دقیق‌تری ارائه می‌کند مشکل است و فاکتورهای مختلفی را باید به منظور انتخاب روش ارزیابی تغذیه بررسی نمود (Scanlon et al. 2002). استفاده از روش‌هایی مثل اندازه‌گیری مستقیم در محل رخنمون‌ها، برآورد تبخیر و تعرق با استفاده از معادله‌های تجربی و روش‌های مبتنی بر رابطه داری نتایج رضایت‌بخشی ندارند (Radulovic et al. 2012). پیچیدگی‌های مناطق کارستی استفاده از روش‌های مبتنی بر معادله داری را به دلیل عدم امکان ارزیابی پارامترهای آن با دقت قابل قبولی در این مناطق را مشکل نموده است (Habana et al. 2013). از آنجایی که در محیط کارستی اطلاعات پیزومتری که

فقط متأثر از بخش کوچکی از حجم آبخوان است با این روش نمی‌توان ویژگی‌های آبخوان را به طور قابل قبولی با این روش ارزیابی نمود (Geyer et al. 2008). روش‌های موجود برای ارزیابی تغذیه را به طور کلی می‌توان به گروه‌های زیر تقسیم‌بندی نمود.

۲-۱-۱- معادله بیلان

معادله‌های بیلان ساده‌ترین و متنوع‌ترین شکل ارزیابی تغذیه هستند. بیلان آب‌های زیرزمینی را نمی‌توان بدون مطالعات گسترده زمین‌شناسی و هیدروژئولوژیکی (غارشناسی، ردیابی و اندازه‌گیری دقیق و جزئی سطح آب‌های زیرزمینی) انجام داد (Jukić and Denić-Jukić 2008). این روش در مقیاس‌های کوچک مثل ستون خاک در آزمایشگاه تا مقیاس حوضه‌ای کاربرد دارد. در این روش تمام متغیرها (ورودی‌ها، خروجی‌ها، تغییر در ذخیره و تبخیر و تعرق) به استثنای تغذیه معلوم هستند و در نتیجه مقدار تغذیه با استفاده از معادله‌های تجربی قابل محاسبه می‌باشد.

با در نظر گرفتن حجم آب ورودی و خروجی به سیستم (آبخوان، محیط غیراشباع و آب‌های سطحی) و تخمین مقدار تبخیر و تعرق و تغییر در ذخیره، اختلاف بین بارش و تبخیر و تعرق به عنوان تغذیه در نظر گرفته می‌شود (Dripps and Bradbury 2007, Manghi et al. 2009, Allocca et al. 2014).

۲-۱-۲- هیدروگراف خروجی چشمه‌ها و هیدروگراف پایه

هیدروگراف خروجی از چشمه‌ها در واقع حاصل عملکرد تابع آبخوان بر بارش در منطقه است و ورودی بارش را به خروجی دبی چشمه تبدیل می‌کند. در این روش از تابع نمایی ساده برای بیان رابطه دبی هر زمان با دبی پایه استفاده می‌شود. سپس با محاسبه ضریب بده ظرفیت ذخیره سفره محاسبه می‌گردد. در مرحله بعد با استفاده از محاسبه حجم ذخیره دینامیک در ابتدا و انتهای هر دوره و حجم آب تخلیه شده از چشمه، مقدار تغذیه در این دوره محاسبه می‌شود (Geyer et al. 2008, Korkmaz 1990).

۲-۲-۳- ردیاب‌های طبیعی

اساس این روش بر مبنای عدم واکنش و منزوی بودن ردیاب با محیط اطراف است. با نمونه‌گیری از آب باران و آب‌های زیرزمینی، آب‌های سطحی و آب موجود در بخش غیراشباع ترکیب ایزوتوپی مورد بررسی قرار می‌گیرد. معمول‌ترین ایزوتوپ‌هایی که مورد استفاده قرار می‌گیرند شامل ^{15}N ، ^{14}C ، ^3H ، ^2H ، ^{18}O و ^{13}C هستند. در این میان چون ^2H ، ^{18}O و ^3H بخشی از مولکول آب هستند، بیشترین دقت را برای شبیه‌سازی حرکت آب دارند. هر بارندگی دارای ترکیب ایزوتوپی مختص به خود است و با ارتفاع نیز تغییر می‌کنند بارش‌های مختلف سیگنال‌های متفاوتی را در خروجی چشمه نشان می‌دهند. از تشابه بین ترکیب ایزوتوپی آب‌های زیرزمینی و بارش، شناسایی منابع تغذیه و مکانیزم‌های مؤثر بر آن شناسایی می‌شوند (Wood and Sanford 1995, Leaney and Herczeg 1995, Lange et al. 2010).

۲-۱-۴- استفاده از سری‌های زمانی دبی - بارش

این روش از روش‌های غیرمستقیم مبتنی بر آمار است و اطلاعات با ارزشی از خصوصیات آبخوان‌ها را ارائه می‌کند. در این روش تلاش بر این است که بین سری زمانی بارش و دبی چشمه یک ارتباط برقرار شود و یک معادله برای این رابطه ارائه گردد. این روش یک مدل‌سازی عددی مبتنی بر آمار سال‌های پیشین است که بایستی قادر به توجیه آن و ارائه پیش‌بینی وقایع آینده باشد. با استفاده از این روش می‌توان در دراز مدت تغییرات ایجاد شده در نوع و مقدار بارش را بر روی دبی خروجی از چشمه ارزیابی نمود. علاوه بر این با مقایسه تغییرات ایجاد شده در ضرایب بده هر سال می‌توان تغییرات حجم دینامیک سفره را در برابر بارش بدست آورد (Jemcov and Petric, 2009; Bailly-Comte et al. 2008).

۲-۱-۵- استفاده تغییرات فاکتورهای کنترل‌کننده تغذیه و نرم افزار GIS

در این روش در ابتدا اقدام به شناسایی پارامترهای مهم مؤثر بر تغذیه نموده و سپس هر لایه را به گروه‌های مشخص تقسیم‌بندی می‌نمایند. در نهایت با تعیین وزن مؤثر هر لایه، مقدار تغذیه به صورت

ضریبی از بارندگی سالانه محاسبه می‌گردد (نجفی و همکاران ۱۳۹۱، Al-Radulovic et al. 2012).
(Charideh 2012)

به طور کلی می‌توان گفت که روش‌های موجود به منظور ارزیابی تغذیه، غالباً در ابتدا برای ارزیابی مقدار نفوذ در آبخوان‌های آبرفتی و یا حوضه‌های رسوبی ارائه شده‌اند (Andreo et al. 2008). شرایط هیدروژئولوژیکی در کارست پیچیده است و در مقایسه با محیط متخلخل (آبرفت) تفاوت زیادی دارد. پیچیدگی‌های مناطق کارستی منجر به سخت‌تر شدن ارزیابی مقدار تغذیه در مناطق کارستی شده و شناسایی تغییرات زمانی و مکانی تغذیه را مشکل کرده است (Geyer et al. 2008). در میان روش‌های موجود استفاده از چند روش و مقایسه نتایج، کارایی بهتر داشته و منبع خطای هر روش را می‌توان با استفاده از روش‌های دیگر شناسایی و اصلاح نمود (Scanlon et al. 2002, Heppner et al. 2007). استفاده از GIS این امکان را فراهم می‌آورد که تغییرات مکانی پارامترهای مؤثر بر تغذیه را در نظر گرفته و مقدار تغذیه را با توجه به تغییرات مکانی محاسبه نمود. با در نظر گرفتن تغییرات زمانی و مکانی می‌توان تا حد زیادی از بروز این خطاها جلوگیری نمود.

۲-۲- پارامترهای مؤثر بر تغذیه

شناسایی عوامل دخیل در یک عارضه و نوع اثر هر عامل در درک صحیح از آن مورد کمک قابل توجهی می‌نماید. اهمیت پارامترهای مؤثر بر پدیده تغذیه به منظور شناسایی صحیح و درست آن ضروری می‌باشد. به دلیل اختلاف شرایط طبیعی در مناطق مختلف این پارامترها دارای اهمیت و اثر متفاوت هستند. با شناخت دقیق‌تر و جزئی پارامترهای مؤثر بر تغذیه دقت و درصد اطمینان مقادیر برآورد شده تغذیه افزایش خواهد یافت. با توجه به ثابت و یا متغیر بودن عوامل می‌توان آنها را در دو گروه ثابت و متغیر تقسیم‌بندی نمود. پارامترهایی مکانی مثل شیب، جهت شیب، نفوذپذیری، در طول سال ثابت بوده و پارامترهایی مثل بارش، رطوبت پیشین، شرایط هیدرولوژیکی رودخانه و اثر پوشش گیاهی در طول سال متغیر است.

جمکو و پتريک (Jemcov and Petric 2009) با آناليز سری‌های زمانی در چهار سفره مجزا که یک جفت از آنها در صربستان و دو سفره دیگر در کشور اسلوونی قرار دارند به این نتیجه رسیده‌اند که در بررسی ساختار کارست، استفاده از نفوذ مؤثر بجای استفاده از بارش در بررسی اثر عوامل هوا، گیاهان و خاک بر تغذیه و برای جداکردن اثر این عوامل از فرآیندهای درون کارست ضرورت دارد. به طور کلی می‌توان فاکتورهای مؤثر بر تغذیه را به شرح زیر طبقه‌بندی نمود.

۲-۲-۱- آب و هوا

مهم‌ترین پارامتر کنترل‌کننده تغذیه، شرایط آب و هوایی می‌باشد به طوری که معمولاً با افزایش بارش مقدار تغذیه نیز افزایش پیدا می‌کند.

بر اساس نتایج حاصل از مطالعات انجام شده توسط ایالون و همکاران (Ayalon et al. 1998)، در بارش‌های بیشتر از ۲۰ میلیمتر که در دمای کمتر از ۱۰ درجه رخ می‌دهند، رابطه دو ایزوتوپ ^{18}O و D از روند رابطه خط جوی مدیترانه‌ای پیروی می‌کند. این امر منجر به تشکیل تغذیه سریع و آهسته می‌گردد. مقادیر ایزوتوپی بارش‌های کمتر از ۲۰ میلیمتر از لحاظ ایزوتوپی سنگین‌تر بوده که بیانگر اثر تبخیر است و اغلب منجر به تغذیه نمی‌شوند.

نتایج بررسی انجام شده توسط بوناچی (Bonacci 2001) بیانگر رابطه میانگین ضریب نفوذ ماهیانه بلند مدت و میانگین دما می‌باشد. اکخاردت و آلبریچ (Eckhardt and Ulbrich 2003) در مطالعات خود با شبیه‌سازی حوضه‌های کوچک به این نتیجه رسیدند که با افزایش دما بارش‌های بیشتری به شکل باران خواهد بارید و تغذیه در زمستان افزایش خواهد یافت. اما به دلیل کم شدن مقدار برف ذخیره شده در بهار آب رودخانه کم شده و تغذیه آبخوان کاهش پیدا می‌کند.

نتایج مطالعات جیرکاما و سیکیس (Jyrkama and Sykes 2007) با استفاده از مدل HELP3 بیانگر این است که تغییرات آب و هوایی هم می‌تواند بر روی مقدار تغذیه اثر مثبت و هم اثر منفی داشته باشد. با افزایش دمای جهانی نوع بارش از برف به صورت باران تغییر پیدا کرده و ذخایر برفی که در بهار

ذوب شده و تغذیه می‌شدند یا تبخیر شده و یا به شکل رواناب جاری می‌شوند که باعث کاهش تغذیه می‌گردد. از طرفی زمستان‌های گرم منجر به کاهش پوشش جنگلی شده و این موضوع باعث افزایش تغذیه می‌گردد. ویژگی‌های بارش از جمله شدت، مدت و نوع بارش توسط شرایط آب و هوایی کنترل می‌شوند (Jyrkama and Sykes 2007). دمای هوا نیز اثر مستقیم بر تبخیر و تعرق دارد. در مناطق کارستی علاوه بر اثر مستقیم آب و هوا بر مقدار بارش و نهایتاً تغذیه، توسعه کارست نیز تابعی از شرایط آب و هوایی می‌باشد.

۲-۲-۲- زمین‌شناسی و خاک‌ها

عامل بعدی کنترل‌کننده تغذیه در صورت وقوع بارش به مقدار کافی، هدایت هیدرولیکی خاک‌ها و سنگ‌های رخنمون یافته می‌باشد. لینی و هرزگ (Leaney and Herczeg 1995) در منطقه کارستی جنوب استرالیا، با استفاده از ایزوتوپ‌های طبیعی و هیدروشیمی مطالعاتی انجام داده‌اند. بر اساس این تحقیقات مقدار تغذیه بر اثر جایگزین کردن پوشش گیاهی در مناطق با مقدار رس بالا، افزایش نیافته و کیفیت آب در محیط غیراشباع هنوز پایین می‌باشد. اما در مناطق که دارای مقدار رس کمتری هستند مقدار تغذیه و بالا آمدن سطح ایستابی افزایش می‌یابد.

اکویلیان و همکاران (Aquilina et al. 2006) در مطالعات خود در جنوب فرانسه از اطلاعات ترکیب شیمیایی ایزوتوپی بارش و آب چهار چشمه برای ارزیابی فرآیند تغذیه و بارندگی استفاده کرده و متذکر شده‌اند که مقدار تبخیر و تعرق را می‌توان با استفاده از ترکیب ایزوتوپی ^{18}O ، D و غلظت Cl تعیین نمود. مقدار تبخیر و تعرق در سه چشمه مطالعه شده بین ۰/۳۸ تا ۰/۵۴ حتی در زمان اوج بارش، برآورد شده است. این مقدار بالای تبخیر و تعرق به دلیل اثر اپی کارست در منطقه می‌باشد. شباهت ترکیب ایزوتوپی در تابستان و زمستان در این چشمه‌ها، بیانگر منشاء یکسان (منطقه اپی کارست) در حین تغذیه می‌باشد.

تغذیه تا حد زیادی توسط نفوذپذیری مواد سطحی و زیرسطحی کنترل می‌شود. مواد دانه درشت دارای قابلیت انتقال بالایی هستند و می‌توانند آب را سریع به زیر زمین منتقل کنند و همچنین سریع از دسترس فرآیند تبخیر و تعرق دور نمایند. در مواد دانه‌ریز امکان عبور سریع آب وجود ندارد و امکان رخداد فرآیند تبخیر و تعرق بیشتر است.

در مواردی که پوشش سطحی زمین خاک نیست و رخنمون سنگی وجود دارد، تغذیه تابع نفوذپذیری اولیه و ثانویه می‌باشد. در سنگ‌های آهکی پدیده انحلال منجر به توسعه کارست و افزایش نفوذپذیری ثانویه می‌گردد به همین منظور شرایط بسیار مناسبی را برای تغذیه فراهم می‌نمایند.

۲-۲-۳- توپوگرافی سطحی

یکی از فاکتورهای مؤثر بر تغذیه توپوگرافی سطحی می‌باشد و در برخی از مناطق به ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک نقش بارزتر و آشکارتری را ایفا می‌کند. بارش به عنوان یکی از مؤثرترین پارامتر تغذیه بوده و مقدار و نوع آن با تغییرات توپوگرافی رابطه مستقیم دارد، از این رو می‌توان گفت که توپوگرافی تغذیه را کنترل می‌کند. در مناطق کارستی به دلیل اهمیت شرایط توپوگرافی در توسعه کارست این نقش، پررنگ‌تر است.

نتایج بررسی دیلین و همکاران (Delin et al. 2007) در ایالت مینوسوتای آمریکا بیانگر این است که متوسط تغذیه در متوسط تغذیه سالانه در ارتفاعات کم ۱۲-۴۴ درصد و در مناطق مرتفع ۲۱-۸۸ درصد از بارش می‌باشد. دلیل این اختلاف می‌تواند تجمع رواناب در مناطق پست به صورت ذخایر گودالی و در نهایت تغذیه در این مناطق باشد. در دشت‌های ماسه‌ای تغییرات سانتیمتری و دسیمتری توپوگرافی بر روی تغذیه اثر دارد.

فورد و ویلیامز (Ford and Willams 2007) بیان کرده‌اند که در مناطق دارای شیب بیش از ۲۰ درجه، جریان زیرسطحی و شیب هیدرولیکی در اغلب موارد با شیب توپوگرافی تقریباً موازی است. در دره‌های

خشک مندپ هیل (Mendip Hills) در انگلیس زمانی که شیب درّه بیشتر از ۰/۴ است فروچاله‌ها حضور ندارند.

گرینوسکی (Grinevskii 2014) با استفاده از مدل‌سازی بیلان آب در منطقه غیراشباع و آب‌های سطحی به بررسی اثر توپوگرافی بر روی مقدار تغذیه پرداخته است. نتایج مدل‌سازی بیانگر این است که مهم‌ترین ویژگی توپوگرافی جهت شیب می‌باشد و بیشترین تغییرات تغذیه در مقایسه با مناطق پست و هموار در پای کوهستان اتفاق می‌افتد. در دامنه‌های رو به شمال به دلیل اثر کمتر مقدار تبخیر و تعرق تغذیه نسبت به دامنه‌های رو به جنوب بیشتر است.

به طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که توپوگرافی از طریق اثر بر نوع و مقدار بارش، جهت شیب، نفوذپذیری بالاتر به دلیل توسعه کارست در رخنمون‌های سنگی، بر مقدار و کمیّت و کیفیت بارش اثر دارد. در دامنه‌های رو به شمال در نیمکره شمالی به دلیل دریافت انرژی کمتر مقدار تبخیر و تعرق کمتر است و در نتیجه تغذیه بیشتر می‌باشد. امکان تغذیه در مناطق با شیب کم و ناهمواری زیاد بیشتر از مناطق صاف و با شیب تند است. توپوگرافی شدید توانایی ایجاد تغذیه متمرکز در بارش‌های کم را دارد.

۲-۲-۴- شرایط هیدروژئولوژی و هیدرولوژی

رودخانه‌های محلی در ارتباط با آبخوان‌ها، از مواردی هستند که در طول سال و در مناطق مختلف در مسیر خود ممکن است رفتارهای متفاوتی داشته باشند. محل‌هایی که رودخانه به سفره آب می‌دهد و یا از آن آب می‌گیرد در بررسی مقدار تغذیه دارای اهمیت زیادی است. چون امکان تغذیه و یا تخلیه به صورت متمرکز در مناطق کارستی وجود دارد.

مقدار رطوبت پیشین در منطقه قبل از بارش نیز تا حد زیادی در جاری شدن رواناب و شکل‌گیری تغذیه نابرجا مؤثر است. علاوه بر این در تغذیه برجا نیز بایستی منطقه غیراشباع تا حد ظرفیت مزرعه آب جذب کند و سپس اجازه تغذیه به محیط اشباع داده شود. در مناطقی که سطح آب در عمق کمی قرار

گرفته در اثر خاصیت مؤینگی مقدار تبخیر و تعرق زیاد است و در کل سال مقدار تغذیه را کاهش می‌دهد.

لنگی و همکاران (Lange et al. 2010) با ایجاد باران مصنوعی (شبیه سازی باران) و پایش قطرات آب در زیر زمین درون غار در مساحتی به وسعت ۱۴۲ متر مربع در مناطق کارستی با ضخامت ۲۸ متر زون غیراشباع بالای غار به این نتیجه رسیدند که در شرایط خشک با بارش مصنوعی ایجاد شده به مقدار ۸۰ میلیمتر در طول ۷ ساعت تغذیه قابل ملاحظه‌ای ایجاد نکرده است. اما در روز بعد با توجه به اینکه محیط غیراشباع تا حدی مرطوب شده است شرایط جریان پیستونی در محیط غیراشباع مهیا بوده و قطرات در درون غار زودتر شروع به ریزش می‌کنند. آنها ذکر کرده‌اند که پر شدن محافظ خاک و ذخیره سنگی در مناطق کارستی مدیترانه‌ای یکی از مهم‌ترین پارامترهای مؤثر بر نفوذ و تغذیه می‌باشد. مقدار بارش لازم برای ایجاد رواناب با حد آستانه تغذیه یکی نبوده و مقدار بارش آستانه تغذیه بیشتر از حد آستانه ایجاد رواناب می‌باشد.

فیوریول و گوادانو (Fiorillo and Guadagno 2012) از هیدروگراف چشمه‌های کارستی در جنوب ایتالیا برای شناسایی دوره‌های تغذیه و ارتباط بارش و خروجی چشمه‌ها استفاده کرده‌اند. نتایج بیانگر این است که میانگین دبی چشمه به میانگین بارش در حوضه بستگی دارد و اثر خشکسالی را تا چند سال می‌توان در دبی خروجی سال‌های بعد مشاهده کرد.

با عنایت به موارد فوق وابستگی مقدار تغذیه به محیط غیراشباعی که بایستی از آن عبور کند و به سطح ایستابی برسد، مشخص می‌شود. میزان رطوبت موجود در محیط غیراشباع باعث کاهش جذب توسط این محیط و افزایش مقدار نفوذ خواهد شد. سطح ایستابی اگر در عمق زیادی قرار گرفته باشد مقدار بارش‌های با شدت و مدت بیشتری لازم است تا رطوبت در حد ظرفیت مزرعه بخش غیراشباع را فراهم نموده و امکان رسیدن آب به بخش اشباع را فراهم نماید. رودخانه‌های فصلی و دائمی ممکن است عملکرد دوگانه در تغذیه و تخلیه آبخوان در طول سال و یا در بخش‌های مختلف مسیر خود باشند، شناسایی نوع عملکرد آنها ضروری است.

۲-۲-۵- کاربری اراضی و پوشش گیاهی

نوع کاربری اراضی و پوشش گیاهی در هر منطقه به روش‌های مختلف بر میزان تغذیه اثر دارند و از پارامترهای کلیدی در ارزیابی تغذیه به شمار می‌روند.

نتایج بررسی انجام شده توسط لینی و هرزگ (Leaney and Herczeg 1995) در منطقه کارستی جنوب استرالیا با استفاده از ایزوتوپ‌های طبیعی و هیدروشمی بیانگر این است که در برخی از مناطق که پوشش گیاهی بومی در آنجا حذف شده و گیاهان با ریشه‌های کم عمق کشت شده‌اند، مقدار نفوذ افزایش یافته است. برای مناطقی که پوششی از خاک در آنجا وجود دارد مقدار تغذیه پراکنده سالانه، کمتر از ۱۰ میلیمتر در سال ارزیابی شده و مقدار تغذیه بر اثر جایگزین کردن پوشش گیاهی در مناطقی که مقدار رس زیادی دارند، افزایش نیافته و کیفیت آب در محیط غیراشباع هنوز پایین است.

فینچ (Finch 1998) با استفاده از یک مدل ساده معادله بیلان حساسیت تغذیه مستقیم را به ویژگی‌های سطحی سنجیده است. در این بررسی در یک مدل سه پارامتر محدود شده سایه پوشش جنگلی، گیاهان دائمی و سالیانه مورد بررسی قرار گرفته‌اند و در مدل دیگر پارامترهای رطوبت خاک مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج بیانگر عدم حساسیت مدل به محدوده سایه درختان کوتاه بوده اما محدوده سایه درختان جنگلی به دلیل اثر بر گیرش مدل حساسیت نشان می‌دهد. در مدل رطوبت خاک مدل به هر سه پارامتر عمقی که تا آن ریشه وجود دارد، بخش آب محتوا و بخش آب قابل زهکشی حساسیت بالایی نشان می‌دهد.

کیز و همکاران (Keese et al. 2005) در تگزاس (Texas) با استفاده از مدل جریان یک بعدی غیراشباع به بررسی مقدار تغذیه پرداخته‌اند. به عقیده ایشان در صورتی که لایه پوشش گیاهی به مدل اضافه شود مقدار تغذیه را از ۲ تا ۳۰ برابر کاهش می‌دهد. اضافه شدن لایه پوشش خاک نیز باعث کاهش ۲ تا ۱۱ برابری مقدار تغذیه می‌گردد. در نظر گرفتن هر دو لایه به صورت هم زمان باعث کاهش تغذیه به مقدار ۲ تا ۸۰ برابر می‌شود. شرایط شبیه‌سازی با شرایط نزدیک به واقعی مقدار تغذیه را بین ۰/۲ تا ۱۱۸ میلیمتر کم می‌نماید.

آنوراگا و همکاران (Anuraga et al. 2006) در منطقه بتامانگالا (Bethamangala) در هند یک مدل هیدرولوژیکی - کشاورزی (خاک- آب- هوا- گیاهان) برای بررسی تغذیه ارائه کرده‌اند. نتایج بیانگر وابستگی زیاد تغذیه به فعالیت‌های کشاورزی می‌باشد. مقدار تغذیه ۷۰ میلیمتری برآورد شده برای حفظ پایداری منابع آبی کافی می‌باشد. توسعه کشاورزی به ویژه از نوع دیم به حفظ منابع زیرزمینی کمک می‌کند. جورکاما و سیکز (Jyrkama and Sykes 2007) با استفاده از مدل‌سازی به بررسی تغییرات آب و هوا بر روی تغذیه در حوضه آبرگیر رودخانه گرند در انتوریو (Ontario) کانادا پرداخته‌اند. در این مدل از اطلاعات ۴۰ ساله واقعی برای مدل‌سازی استفاده کرده‌اند. نتایج مدل بیانگر این است که با افزایش مقدار بارش مقدار رواناب سطحی، تبخیر و تعرق و تغذیه افزایش می‌یابد. افزایش دمای ناشی از گرم شدن جهانی باعث تغییر رژیم بارشی از برفی به بارانی می‌شود این امر باعث می‌شود مقدار آب ذخیره شده به صورت برف که در بهار به رواناب تبدیل می‌شوند را کاهش دهد. زمستان‌های گرم نیز منجر به کاهش پوشش جنگلی و افزایش تغذیه می‌شود.

ویلکاکس و هوانگ (Wilcox and Huang 2010) اثر حذف پوشش جنگلی بر روی دبی رودخانه‌ها در منطقه تگزاس را بر روی دبی چهار رودخانه مورد بررسی قرار دادند. با اینکه مقدار بارندگی ثابت بود و پوشش جنگلی نیز احیا شده است نتایج نشان دهنده دو برابر شدن دبی پایه می‌باشد. این محققین علت را به مجاری برجای مانده ریشه درختان نسبت داده‌اند. هونگن و پنگ (Huang and Pang 2011) با بررسی روند تغییرات پوشش گیاهی از حالت طبیعی به مزارع گندم و در نهایت تبدیل کشت گندم به باغ سیب در منطقه گویوان و زیفنگ (Guyuan and Xifeng) چین به این نتیجه رسیدند که مقدار آب تغذیه شده به ترتیب از ۱۰۰ میلیمتر در حالت طبیعی به ۵۵ میلیمتر و سپس به ۳۳ میلیمتر در سال کاهش یافته است.

نتایج مطالعات سینقال و گوپال (Singhal and Goyal 2012) با بررسی شاخص اصلاح شده پوشش گیاهی NDVI و تغذیه بیانگر این است که در محدوده ۰/۱۳ تا ۰/۱۸ مقدار تغذیه با افزایش این شاخص افزایش می‌یابد. اما مقدار تغذیه در مقادیر بیشتر از ۰/۱۸ شاخص NDVI کم می‌شود. در حالت اول

امکان نگهداشت آب و جلوگیری از جریان سطحی باعث افزایش تغذیه می‌گردد اما در مقادیر بیشتر از $NDVI > 0.18$ مقدار گیرش و تبخیر و تعرق ناشی از تراکم پوشش گیاهی باعث کاهش تغذیه می‌شود. اثر پوشش گیاهی و کاربری اراضی را می‌توان به این شکل خلاصه کرد. ۱- مقدار گیرش توسط برگ‌ها و تنه درختان باعث کاهش مقدار نفوذ می‌شود، ۲- افزایش هوموس خاک در اثر تجزیه برگ‌ها و باقیمانده تنه درختان منجر به افزایش جذب آب و نگهداشت آن و جلوگیری از تغذیه می‌گردد، ۳- گیاهان دارای ریشه عمیق نسبت به گیاهان با ریشه کم عمق مقدار بیشتری آب را به صورت تبخیر و تعرق به هوا باز می‌گردانند، ۴- حفرات برجا مانده بعد از بین رفتن گیاهان باعث افزایش نفوذپذیری خاک و سنگ شده و تغذیه را افزایش می‌دهند.

۲-۳- مکانیسم تغذیه

در مناطق کارستی دو نوع رژیم تغذیه کلی برای این آبخوان‌ها وجود دارد: ۱- تغذیه نابرجا، ۲- تغذیه برجا. تغذیه برجا ممکن است به صورت متمرکز و یا پراکنده در سطح آبخوان باشد. شناسایی نوع و رژیم حاکم بر تغذیه در هر منطقه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است و با شناخت سهم هر رژیم در تغذیه آبخوان، تفسیر اطلاعات موجود و امکان برآورد صحیح تغذیه بیشتر می‌باشد. در مناطق مرطوب به دلیل پراکندگی بارش در طول سال و پوشش گیاهی نسبتاً خوب، که مانع از جریان‌های سیلابی می‌شوند معمولاً تغذیه به صورت پراکنده حاکم است. در مناطق خشک و نیمه خشک تغذیه متمرکز بیشتر از طریق آبراهه‌های فرورو و فروچاله‌ها می‌باشد (Healy 2010).

لینی و هرزگ (Leaney and Herczeg 1995) در مطالعات خود در منطقه کارستی جنوب استرالیا با استفاده از ایزوتوپ‌های طبیعی و هیدروشیمی به بررسی مقدار تغذیه و سهم تغذیه متمرکز و پراکنده پرداخته‌اند. نتایج بررسی انجام شده بیانگر این است که مقدار نفوذ متمرکز کم است و تغذیه غالباً از طریق کل سطح حوضه و به صورت پراکنده می‌باشد. برای مناطقی که توسط لایه‌ای از خاک پوشیده شده، مقدار تغذیه پراکنده سالانه، کمتر از ۱۰ میلی‌متر در سال ارزیابی شده است.

گرینی (Greene 1997) با استفاده از روش آنالیز ایزوتوپهای پایدار آبخوان کربناته مدیسون (Madison) در منطقه داکوتای جنوبی اقدام به بررسی تغذیه از رودخانه فرورو نموده‌اند. نتایج بیانگر حرکت آب در روندی عمود بر روند رودخانه به صورت جانبی و تغذیه سفره کارستی می‌باشد.

هرزگ و همکاران (Herczeg et al. 1997) در جنوب استرالیا اقدام به شناسایی و بررسی تغذیه نقطه‌ای با استفاده از هیدروشمیمی و ایزوتوپ‌های ^{18}O ، D و ^{36}Cl کرده‌اند. نتایج این تحقیقات بیانگر این است که تنها در نزدیکی منابع تغذیه منطقه‌ای می‌توان آب ورودی به صورت متمرکز را تشخیص داد و در فواصل بیشتر از ۱۵۰ متری شواهد شیمیایی و ایزوتوپی تغذیه نقطه‌ای قابل پایش نمی‌باشد. غلظت کلر، شیمی کربنات و اطلاعات ایزوتوپی نشان دهنده این هستند که مقدار تغذیه متمرکز ۱۰ درصد از مقدار تغذیه سالانه است و تناوب کمی نیز دارد. حد آستانه برای وقوع چنین تغذیه‌ای، بارش متوالی بیش از سه روز و در هر روز به مقدار بیش از ۲/۵ میلیمتر تعیین شده است.

ایالون و همکاران (Ayalon et al. 1998) با استفاده از ایزوتوپ‌های پایدار ^{18}O و D در غارهای آهکی منطقه کوهستانی جودن (Judean) مقدار تغذیه را مورد بررسی قرار داده‌اند. آنها ملاحظه کرده‌اند که با افزایش مقدار بارش، مقادیر این دو ایزوتوپ کاهش یافته که بیانگر افزایش مقدار تغذیه با افزایش بارش می‌باشد. تغذیه در این منطقه به شکل پراکنده و از طریق درز و شکستگی‌های موجود است. زمان ماندگاری با توجه به ترکیب ایزوتوپی برای سیستم تغذیه درز و شکافی کمتر از یک سال و برای حالت پراکنده تا چند دهه می‌باشد.

مور و همکاران (Moore et al. 2009) از شواهد ژئوشیمیایی و آماری برای ارزیابی تغذیه، اختلاط و عوامل کنترل کننده دبی چشمه‌ها در کارست‌های منطقه فلوریدای مرکزی در آمریکا استفاده کرده‌اند. در این تحقیق با استفاده از آنالیز مؤلفه‌های اصلی به این نتیجه رسیدند که تغذیه نابرجا و پراکنده از بخش غیراشباع با ضخامت کم و جریان رو به بالا از مجاری عمیق از عوامل اصلی تغذیه بوده و دبی چشمه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. با استفاده از بیلان جرمی در این مطالعه مشخص شده است که تغذیه از جریان رو به بالا در سفره از مجاری عمیق و بخش غیراشباع به صورت پراکنده، بسته به شرایط

گرادیان هیدرولیکی بین مجاری و بدنه سفره تا ۵۰ درصد دبی چشمه را تأمین می‌کنند. گرادیان بین مجاری و بدنه سفره نیز تحت تأثیر بارش، تبخیر، تعرق و وضعیت آب در رودخانه‌های منطقه می‌باشد. نتایج آزمایشات صحرائی لنگی و همکاران (Lange et al. 2010) به منظور بررسی تغذیه بیانگر این است که در صورت بسط دادن نتایج بدست آمده ۵ روزه از آزمایش باران مصنوعی و پایش آن در درون غار، به کل یک سال کمتر از ۱۰ درصد از آب تغذیه شده از طریق جریان قطرات آهسته تأمین می‌شود. با توجه به مطالعات انجام شده به منظور شنایابی مکانیزم تغذیه و تعیین سهم هر نوع از تغذیه می‌توان سه نوع مکانیزم را تشخیص داد که شامل تغذیه برجا، نابرجای متمرکز، تغذیه در طول رودخانه‌ها و تغذیه از جریان‌های ناحیه‌ای می‌شود. شناسایی هر کدام از این پارامترها با توجه به امکان مشارکت آنها در تغذیه آبخوان، لازم و ضروری است.

۲-۴- تغذیه سالانه از بارش

تعیین مقدار تغذیه با توجه به پیچیدگی‌های موجود در فرآیند تغذیه به طور دقیق عملاً غیرممکن است. با توجه به این موضوع محققین سعی نموده‌اند تا با استفاده از تعیین میانگین ضریب تغذیه سالانه این مسئله را برطرف کنند.

جونیز و همکاران (Jones et al. 2000) با استفاده از ترکیب ایزوتوپی ^{18}O آب آبخوان آهکی باربادوس (Barbados) و ترکیب ایزوتوپی آب باران به این نتیجه رسیدند که در مناطق مرتفع مقدار تغذیه کم است و اغلب مقدار تغذیه در سه ماه از سال (فصل تر) متمرکز شده است. مقدار تغذیه با مقادیر تخمین زده شده قبلی مطابقت می‌کند و بین ۰/۱۰ تا ۰/۲۰ درصد از بارش می‌باشد.

شابان و همکاران (Shaban et al. 2006) با استفاده از سنجش از دور و GIS اقدام به بررسی تغذیه در منطقه غرب لبنان پرداخته‌اند. در این تحقیق عوامل خطواره‌ها، زهکشی، لیتولوژی، کارستی شدن و پوشش سطحی یا کاربری اراضی برای تعیین مقدار تغذیه در نظر گرفته شده‌اند. نتایج این تحقیق به

صورت نقشه ارائه شده که نشان دهنده مناطق با پتانسیل تغذیه خیلی زیاد، زیاد، متوسط، کم و خیلی کم می‌باشد و به ترتیب بیانگر تغذیه متوسط سالانه ۴۷/۵، ۳۲/۵، ۱۵، ۷/۵ و ۲/۵ هستند.

یه و همکاران (Yeh et al. 2007) از دو مدل مفهومی بیلان رطوبت خاک و ثبت اطلاعات جریان پایه (جدایش هیدروگراف) برای ارزیابی تغذیه در کشور تایوان استفاده کرده‌اند. نتایج این دو مدل مقدار تغذیه را به میزان ۱۲/۴ و ۹/۹۲ درصد بارش برآورد نموده است. در مدل بیلان رطوبت خاک از اطلاعات هواشناسی و خواص هیدرولیکی برای ارزیابی تغذیه، نفوذ، رواناب و تبخیر و تعرق استفاده شده است. در مدل جدایش هیدروگراف که برای ارزیابی تغذیه آب‌های زیرزمینی استفاده شده، امکان برآورد روزهای با شرایط پایدار وجود ندارد و مقدار تغذیه را بیش از مقدار واقعی برآورد می‌کند.

اندريو و همکاران (Andreo et al. 2008) در منطقه جنوب اسپانیا به بررسی هشت سفره کربناته پرداخته و با آنالیز مؤلفه‌های اصلی، روابط بین عوامل مؤثر بر تغذیه را مورد بررسی قرار داده‌اند. در این تحقیق با استفاده از GIS مدل APLIS را برای ارزیابی تغذیه ارائه کرده است. در این روش با تهیه لایه‌های اطلاعاتی مختلف و وزن‌دهی به هر لایه مؤثر بر نفوذ، مقدار تغذیه در مناطق مختلف به صورت درصدی از بارش ارائه شده است. نتایج با مقادیر محاسبه شده قبلی برای سفره‌ها با ۵ درصد خطا انطباق دارند. در سفره‌هایی که تغذیه کمی دارند با این روش مقداری بیش از مقدار واقعی برآورد تغذیه نشان می‌دهند. در مواردی که مقدار تغذیه بالا باشد، این روش مقدار تغذیه را کمتر از مقدار واقعی ارزیابی می‌کند. همچنین در این مدل تغذیه با توجه به شرایط مکانی متغیر ارزیابی می‌شود.

ریتیرتو و همکاران (Ritirto et al. 2009) با استفاده از هیدروشیمی بخش آزاد آبخوان فلوریدا در آمریکا به بررسی مقدار نفوذ متمرکز و پراکنده پرداخته و مقدار تغذیه را در سال‌های کم بارش ۰/۱۷ و در سال‌های پر بارش تا ۰/۵۳ برآورد کرده‌اند. به دلیل رابطه بارش و تبخیر و تعرق، هر بارش در منطقه منجر به تغذیه نمی‌شود و در تابستان با بارش تا ۱۰۰ میلیمتر به دلیل خشک بودن سطح حوضه تغذیه انجام نمی‌گیرد. به دلیل حضور مقداری خاک و به ویژه کربن آلی در محیط غیراشباع مقدار بیشینه تغذیه در منطقه ۲۰۰ میلیمتر است. تغییرات شیمیایی آب چاه‌های منطقه خیلی کم است که بیانگر

مقدار کم تغذیه پراکنده در منطقه در دوره نمونه‌گیری می‌باشد. مقدار Na^+ و Cl^- بین ۸ تا ۱۴ برابر افزایش نسبت به بارندگی نشان می‌دهد و اثر بالای تبخیر و تعرق باعث تمرکز این عناصر در محیط غیراشباع و شسته شدن توسط بارش‌های بعدی می‌شود.

الچاریده (Al-Charideh 2012) از ایزوتوپ‌های پایدار ^{18}O ، D و کلر برای تعیین منشاء و مقدار تغذیه در چشمه فیهه (Fiegh) در کشور سوریه استفاده کرده و مقدار آنرا بین ۱۹۲ تا ۸۲۶ میلی‌متر برآورد کرده‌اند که معادل ۰/۴۳ تا ۰/۶۷ بارش در منطقه می‌باشد. این مقادیر با مقادیر به دست آمده از سایر روش‌ها مطابقت دارد.

رادولویک و همکاران (Radulovic et al. 2012) با مطالعه در منطقه مونتنگرو با استفاده از GIS یک مدل تحت عنوان KARSTLOP ارائه کرده‌اند. در این روش پارامترهای شناخته شده و مؤثر در تغذیه در مناطق کارستی به صورت لایه‌های اطلاعاتی تهیه شده و سپس اقدام به وزن‌دهی بر اساس اهمیت هر کدام از لایه‌ها نموده و در نهایت با هم‌پوشانی مقدار تغذیه در کل منطقه به صورت درصدی از بارش سالانه ارائه شده است. مزیت این روش ارزیابی تغذیه با توجه به شرایط مکانی می‌باشد.

کرمی (۱۳۸۹) در مطالعات خود در منطقه کارستی امام‌قیس مقدار تغذیه سالانه را در این منطقه با استفاده از روش بیلان با توجه به ویژگی‌های منطقه و عوارض کارستی به مقدار ۰/۶۰ درصد از بارش سالانه برآورد کرده است.

نجفی و همکاران (۱۳۹۱) با استفاده از تهیه ۹ لایه اطلاعاتی مؤثر بر نفوذ و وزن‌دهی به هر یک از لایه‌های اطلاعاتی در محیط نرم افزار GIS مقدار تغذیه را در آهک‌های سازند بیستون در شهر کرمانشاه به طور میانگین ۰/۶۴ تعیین نموده است.

کورکماز (Korkmaz 1990) با استفاده از روش هیدروگراف پایه در کشور ترکیه بر روی چشمه کرگگز (Kirkgöz) طی چند سال مقادیر ضریب بده و حجم ذخیره دینامیک سفره کارستی مذکور را محاسبه نموده است. به دلیل شرایط پیچیده زمین‌شناسی امکان شناسایی دقیق مقدار تغذیه از بارش در این ناحیه وجود نداشته و فقط به صورت حجمی تخلیه سالانه $10^6 \times 493/9$ متر مکعب گزارش شده است.

وود و سانفورد (Wood and Sanford 1995) با استفاده از روش شیمیایی و ایزوتوپی به بررسی مقدار تغذیه در منطقه نیمه‌خشک جنوب نیومکزیکو پرداخته و مقدار تغذیه را در این مناطق حدود ۱۱ میلیمتر در سال برآورد کرده‌اند. مقدار رواناب را نیز با این روش ۲۴ میلیمتر تخمین زده‌اند که با مقادیر اندازه‌گیری شده با روش‌های فیزیکی مطابقت دارد.

هوئتز (Hoetz, 1995) با استفاده از ترکیب ایزوتوپی ^{18}O ، D و ترکیب شیمیایی اقدام به بررسی تغذیه در آبخوان کارستی عمر رادهوما (Ummer Radhuma) در کشور عربستان سعودی نموده است. در این محل بر خلاف شرایط بسیار خشک و بارش کم، به دلیل توسعه کارست تغذیه نسبتاً مناسب و به مقدار ۴۴ میلیمتر در طول ۱۶ سال است.

کوک و روبینسون (Cook and Robinson 2002) با استفاده از غلظت پروفیل قائم ^3H و ^{36}Cl در سنگ‌های درز و شکافدار در جنوب استرالیا مقدار تغذیه را در این واحدها ۶۰ تا ۷۵ میلیمتر تعیین کرده‌اند.

کیز و همکاران (Keese et al. 2005) با استفاده از مدل جریان یک بعدی غیراشباع به بررسی مقدار تغذیه در مناطق ۱۳ گانه در تگزاس (Texas) در مساحتی در حدود ۷۰۰،۰۰۰ کیلومتر مربع پرداخته‌اند. نتایج بیانگر این است که تغییرات مقدار تغذیه از ۵۱ تا ۷۰۹ میلیمتر در سال به ترتیب در مناطق خشک و مرطوب متغیر می‌باشد.

هوقیز و همکاران (Hughes et al. 2008) در نوار غربی بخش فلسطین اشغالی به بررسی و مدل‌سازی فرآیند تغذیه در سه سفره کارستی پرداخته‌اند. نتایج مدل بیانگر این است که در صورتی که بارش بیش از ۵۰۰ میلیمتر باشد، میانگین تغذیه محاسبه شده ۱۱۰ میلیمتر خواهد بود.

نورالسلام و همکاران (Nurul Islam et al. 2014) با استفاده از اطلاعات سال‌های ۱۹۸۶ تا ۲۰۱۳ معادله بیلان را برای منطقه گوداگاری در هند بررسی نموده‌اند. نتایج این تحقیق به صورت یک معادله غیرخطی ارائه شده که در آن بارش‌های کمتر از ۲۸/۵ اینچ در سال هیچ تغذیه‌ای را به سفره انجام نمی‌دهند.

ارزیابی مقدار تغذیه به صورت‌های ذکر شده بیانگر تغییرات سالانه مقدار تغذیه با توجه به شرایط مناطق مختلف متفاوت است و از چند دهم میلیمتر در مناطق کارستی خشک تا چند صد میلیمتر در مناطق با کارست توسعه‌یافته متغیر است.

با توجه به مطالعات انجام شده به منظور تعیین ضریب میانگین تغذیه از بارش می‌توان به این نتیجه رسید که مقدار تغذیه در مناطق کارستی بین ۴۰-۹۰ درصد از بارش کل گزارش شده که با توجه به پارامترهای مؤثر بر تغذیه در هر منطقه این مقادیر متغیر است. در صورت ارزیابی تغذیه به صورت درصدی از بارش، مقدار تغذیه ناهمگام است در برخی موارد عامل اصلی تغذیه به درون آبخوان باشد، نادیده گرفته شده است.

۲-۵- تغییرات زمانی و مکانی تغذیه

نرخ تغذیه در مکان به طور تصادفی و منظم تغییراتی دارد. این موضوع در مورد هر دو نوع مکانیزم تغذیه صادق است. تغییرات منظم معمولاً با روند آب و هوایی و همچنین کاربری اراضی و زمین‌شناسی ارتباط دارد. فاکتورهای مؤثر بر تغییرات تصادفی را می‌توان به تغییرات در مقیاس محلی مثل پوشش گیاهی و یا ناهمگنی محلی مرتبط دانست. بوناچی (Bonacci 2001) ذکر کرده که تعیین حوضه آبخیز سفرهای کارستی مشکل است، بالا و پایین رفتن سطح آب منجر به تغییر آن در طول سال می‌شود که این موضوع نیز می‌تواند مقدار تغذیه را تحت تأثیر قرار دهد. تغییرات مکانی در مطالعات منابع آبی به شرطی که یک میانگین صحیح از تغذیه برآورد شود و مرز آبخوان به خوبی شناخته شده باشد، اهمیت زیادی ندارد اما در مطالعات آلودگی آبخوان‌ها بایستی به آن توجه ویژه نمود (Healy 2010).

شناخت تغییرات زمانی تغذیه به منظور برنامه‌ریزی صحیح برای استفاده بهینه از زمان خروج از چشمه در آبخوان‌های کارستی لازم است. با توجه به اینکه علاوه بر نوسانات بارش، ویژگی‌های سطحی مثل پوشش گیاهی در طول سال نیز متغیر است، شناخت کمیت و کیفیت این اثرات لازم می‌باشد. در مناطق

خشک و نیمه‌خشک به دلیل بالا بودن مقدار تبخیر و تعرق در تابستان، با فرض پراکندگی یکسان بارش در طول سال بهترین زمان برای تغذیه در زمستان تا بهار است (Healy 2010).

جونیز و همکاران (Jones et al. 2000) مطالعات تغذیه با استفاده از ترکیب ایزوتوپی ^{18}O آبخوان آهکی باربادوس (Barbados) مبین اینست که تغذیه از بارشهای به شکل باران کم بوده و اغلب مقدار تغذیه در سه ماه از سال (فصل تر) متمرکز شده است.

بوناچی (Bonacc, 2001) با استفاده از هیدروگراف چشمه و جدا کردن مقدار جریان سریع و جریان پایه اقدام به تعیین مقدار نفوذ مؤثر ماهانه در حوضه آبرگیر چشمه گرادل (Gradole) در حوضه دیناریک (Dinaric) کرده و ادعان نموده است که در حوضه‌های کوچک استفاده از دوره‌های زمانی کوچک مثلاً یک ماه برای بررسی‌های هیدرولوژیکی کارایی بهتری دارد.

جونیز و بانر (Jones and Banner 2003) از روش ایزوتوپی برای تعیین اثر هیدروژنولوزی و آب و هوا بر تغییرات سالانه و مکانی تغذیه در جزایر کارستی مناطق حاره‌ای استفاده کرده و ذکر کرده‌اند که غالب تغذیه در منطقه مورد مطالعه در فصول تر بوده و تغییرات سالانه تغذیه با تغییرات بارش تطابق خوبی دارند و می‌توان از تغییرات آب و هوایی به منظور ارزیابی تغییر در منابع آب زیرزمینی استفاده کرد. همچنین مقدار تغذیه در سال‌هایی که تمرکز بارش بیشتر است بالاتر می‌باشد.

پیلیگ و گویرتزمان (Peleg and Gvirtzman 2010) با استفاده از مدل‌سازی سطح آب در دو مرحله در یک سفره معلّق کارستی برای ارزیابی پارامترهای هیدرولیکی و تغذیه استفاده کرده‌اند. آنها از اطلاعات سری زمانی ۲۵ ساله چشمه‌ها برای کالیبره کردن مدل استفاده کرده‌اند. مدل ارائه شده بیانگر بیشترین مقدار تغذیه در سال‌های با بارش زیاد است و با نتایج قبلی ارائه شده توسط محققین مطابقت دارد.

الچاریده (Al-Charideh 2012) چشمه فیقه (Fiegh) در کشور سوریه را بررسی کرده است. با توجه به مقادیر ایزوتوپی، نقش مناطق مرتفع در تغذیه روشن شده و ارتفاع محل تغذیه با استفاده از مقادیر ^{18}O و D بین ۱۳۵۰ تا ۲۰۰۰ متر از سطح دریا تعیین شده است.

فلورو (Florea 2013) با بررسی ترکیب ایزوتوپ‌های پایدار در آبخوان‌های کم عمق کربناته و بارش در منطقه کامبرلند (Cumberland) جنوب آمریکا مشاهده کرده که برخلاف تغییرات بارش و دما، ترکیب ایزوتوپی در آبخوان کربناته تقریباً ثابت است. با توجه به شباهت ترکیب ایزوتوپی آب خروجی از چشمه‌ها به مقادیر ایزوتوپی بارش زمستان می‌توان به سهم غالب بارش‌های این فصل در تغذیه پی برد. به طور خلاصه می‌توان این گونه بیان نمود که تغذیه در مناطق کارستی در فصول تر و زمانی که دمای هوا کمترین مقدار می‌باشد متمرکز است. در صورت وقوع طوفان‌های شدید در فصول خشک نیز به ندرت امکان تغذیه وجود دارد. عموماً در مناطق کوهستانی به دلیل بارش بیشتر، تبخیر و تعرق کمتر ناشی از دمای پایین و توسعه بیشتر کارست در این مناطق، تغذیه به سفره‌های کارستی در این مناطق صورت می‌گیرد. در صورت توسعه کافی منطقه اپی کارست، توجه به زمان ماندگاری آب در این منطقه ضرورت دارد. شناخت تغییرات مکانی و زمانی پارامترهای مؤثر بر بارش می‌تواند به ارزیابی دقیق‌تر این مسئله کمک شایانی نماید.

۲-۶- مقایسه روش‌های موجود

با توجه به مطالعات انجام شده بر روی تعیین مقدار تغذیه در مناطق مختلف، تغییرات زمانی و مکانی متفاوت است (Scanlon et al. 2002). هیچ کدام از روش‌های موجود دارای قطعیت نبوده و با خطا همراه هستند (Scanlon et al. 2002, Andreo et al. 2008). به دلیل شرایط پیچیده کارست نمی‌توان مقدار تغذیه را به طور مستقیم و با روش‌های موجود در محیط‌های آبرفتی اندازه‌گیری کرد و مقدار آنرا بطور قطعی تعیین نمود (Radulovic et al. 2012). تغذیه در مکان‌های مختلف متغیر است و در تمام حوضه ثابت نیست. استفاده از GIS این مزیت را دارد که می‌تواند امکان بررسی تغییرات مکانی تغذیه را فراهم می‌نماید (Radulovic et al. 2012; Andreo et al. 2008). اما استفاده از این روش قادر به بیان تغییرات تغذیه در طول سال نیست و تغییرات زمانی آن را در نظر نمی‌گیرد.

اساس اغلب روش‌های موجود برای ارزیابی تغذیه بکارگیری معادله بیلان بوده که آن نیز دارای معایبی است. اول این که، امکان برآورد دقیق سایر پارامترها به جز تغذیه وجود ندارد و وحله دوم، هرگونه اشتباه در برآورد هر کدام از پارامترها در تغذیه، تجمع پیدا کرده و خطا را نسبتاً بالا می‌برد. استفاده از ایزوتوپ‌های پایدار دارای دقت نسبتاً بالاتری در مقایسه با سایر روش‌ها است اما نمونه‌گیری و آنالیز نمونه‌ها مستلزم هزینه بیشتر از سایر روش‌ها می‌باشد. در مناطق خشک و نیمه‌خشک بسیاری از بارش‌های منطقه کمتر از میزان آستانه تغذیه بوده و عملاً منجر به تغذیه نمی‌شوند اما می‌توانند به صورت رطوبت محدود در منطقه غیراشباع تجمع نموده که بر اثر تبخیر و تعرق بارش به لحاظ ایزوتوپی سنگین می‌شود. در بارش‌های بعدی که بیش از مقدار حد آستانه لازم برای تغذیه است در اثر اختلاط با رطوبت پیشین به محیط اشباع اضافه می‌شود. استفاده از چند روش و مقایسه نتایج کارایی بهتر داشته (Scanlon et al. 2002) و منبع خطا هر روش را می‌توان با استفاده از روش‌های دیگر شناسایی و اصلاح نمود (Heppner et al. 2007).

۲-۷- انتخاب روش مناسب در این تحقیق

انتخاب روش ارزیابی تغذیه به پارامترهای مقیاس زمانی و مکانی مورد نظر، ویژگی‌های آبخوان و اطلاعات موجود (Heppner et al. 2007)، دقت مورد نظر و هزینه مالی بستگی دارد (Scanlon et al. 2002). آبخوان‌ها به صورت یک تابع ثابت عمل می‌کنند که ورودی بارش را به خروجی دبی چشمه تبدیل می‌کند با شناخت این تابع می‌توان رابطه بین بارش و تغذیه را در هر منطقه به دبی خروجی چشمه ارتباط داد. با توجه به آمار روزانه ۲۷ ساله موجود و امکان دسترسی به آنها، بررسی سری‌های زمانی بارش و دبی چشمه‌ها در منطقه را می‌توان برای ارزیابی مقدار تغذیه در واحدهای کارستی استفاده نمود. نکته‌ای که بایستی در آنالیز سری زمانی به آن توجه شود وقفه زمانی است. در صورت وجود وقفه زمانی قابل توجه بین بارش مؤثر و زمان رسیدن آن بارش به خروجی در محل چشمه آن را شناسایی نمود. هر دبی را بایستی با بارش مؤثر مربوطه بررسی نموده و در نهایت تغذیه را برآورد نمود.

فصل سوم: داده‌ها و روش انجام کار

در این فصل به صورت خلاصه به روش انجام پژوهش و تحقیق حاضر پرداخته شده است. بازدیدهای صحرائی مهمترین و اصلی‌ترین بخش تحقیقات و مطالعات مرتبط با پدیده‌های زمین‌شناسی می‌باشد. عدم شناخت کافی از پدیده‌های زمین‌شناسی موجود در منطقه اعم از بخش ساختاری و لیتولوژیکی با دقت کافی به تعبیر و تفسیر اشتباه و نادرست در مطالعات علمی منجر خواهد شد. مجموعاً ۱۳۵ روز بازدید صحرائی از اسفند ماه ۱۳۹۳ تا تیرماه ۱۳۹۵ به منظور بررسی‌های زمین‌شناسی، شناسایی محل چشمه‌ها، اندازه‌گیری دبی و نمونه‌گیری از بارش و چشمه‌های منطقه هراز به عمل آمده است.

۳-۱- بررسی‌های زمین‌شناسی

به منظور شناسایی حوضه آبخیز و مناطق مستعد تغذیه چشمه‌ها، بررسی شرایط زمین‌شناسی و مورفولوژیکی با مقیاس قابل قبول برای هر چشمه لازم است. به منظور دستیابی به این هدف مهم، نقشه‌های زمین‌شناسی منطقه به دقت مورد بررسی قرار گرفتند. با توجه به این موضوع که اغلب نقشه‌ها دارای مقیاس کوچک هستند، استفاده از تصاویر با مقیاس بزرگ برای شناسایی جزئیات سنگ‌شناسی، ساختارهای زمین‌شناسی و وضعیت تکتونیکی منطقه لازم است. بعد از انجام بررسی‌های ذکر شده انجام بازدیدهای زمین‌شناسی به منظور کنترل داده‌ها و اطلاعات زمین‌شناسی لازم و ضروری می‌باشد.

۳-۲- شناسایی چشمه‌ها، اندازه‌گیری و نمونه برداری از چشمه‌های انتخابی

از ۲۰۰ چشمه کارستی شناسایی شده در مرحله اول در کل منطقه هراز، تعداد ۳۰ چشمه مهم برای بررسی بیشتر جهت دستیابی به هدف مورد انتخاب گردید. چشمه‌های انتخابی دارای این ویژگی‌ها

می‌باشند: ۱- از چشمه‌های مهم منطقه هستند، ۲- حوضه آبرگیر آنها مشخص است و امکان تعیین سطح حوضه آبرگیر چشمه با دقت مناسبی امکان‌پذیر می‌باشد، ۳- پاسخ آنها به بارش‌های مؤثر سریع است و این امر از اختلاط با سایر بارش‌ها جلوگیری می‌کند. با توجه به شرایط چشمه‌ها و امکان دسترسی به آنها از ۲۰ مورد در طی دوره منحنی فرود با فواصل دو هفته اندازه‌گیری و در سایر مواقع با فواصل زمانی ماهانه نمونه‌برداری و اندازه‌گیری به عمل آمد. در سایر چشمه‌ها نیز با توجه به دشواری دسترسی به آنها، این کار به صورت ماهانه انجام شده است. نمونه‌برداری برای آنالیز هیدروشیمی در بطری‌های پلاستیکی تمیز و برای آنالیز ایزوتوپی از ظروف پلاستیکی استاندارد متراکم و قهوه‌ای رنگ با درب‌های پلمپ شونده، استفاده شده است. در بازدیدهای صحرائی جهت اندازه‌گیری مقادیر هدایت الکتریکی (EC) و pH به ترتیب از دستگاه مدل wp-84 و سانتکس (Suntex) مدل Sp- 701 استفاده شده است (۱-۳). مقادیر دبی چشمه‌ها با استفاده از مولینه ساخته شده در دانشگاه صنعتی شاهرود در مقاطع مناسب اندازه‌گیری شده است. لازم به ذکر است که دبی‌های کمتر از ۱۵ لیتر بر ثانیه با استفاده از روش حجمی اندازه‌گیری شده‌اند.



شکل ۱-۳- نمونه تصویر اندازه‌گیری صحرائی هدایت الکتریکی

۳-۳- آمار برداری و تهیه سری‌های زمانی از چشمه‌ها

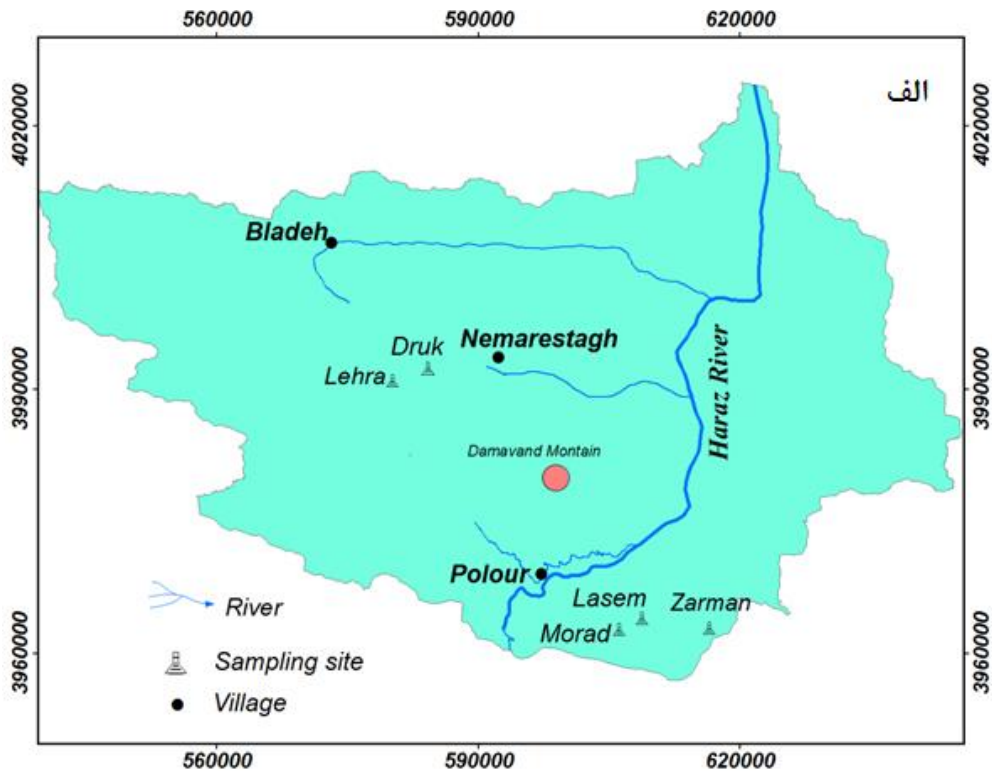
سری‌های زمانی بارش و دبی خروجی از چشمه‌ها حاوی اطلاعات با ارزشی از نحوه عملکرد آبخوان بر روی ورودی بارش هستند. با ترسیم سری‌های زمانی چندین ساله و محاسبه ضرایب فرود در چشمه‌های منطقه اطلاعات با ارزشی از رژیم تغذیه هر چشمه و نحوه توسعه کارست در آن محدوده به دست می‌آید. جهت دستیابی به اهداف تحقیق حاضر بررسی و شناخت رژیم جریانی و تغذیه در حوضه آبخیز چشمه‌ها تهیه سری زمانی چشمه‌ها ضرورت دارد.

علاوه بر این، گستردگی و ضریب ذخیره بالای آبخوان‌های کربناته، این امکان را به وجود می‌آورد که تغییرات آب و هوایی با یک وقفه زمانی در هیدروگراف چشمه ظاهر شود و ممکن است اثر یک بارش به تدریج محو شود، این مورد در مناطق دارای توسعه کارست کمتر مشاهده می‌شود. با ترسیم سری‌های زمانی بارش و دبی چشمه به صورت روزانه بررسی وقفه بین بارش مؤثر و زمان رسیدن دبی اوج به محل چشمه میسر می‌شود. با دانستن زمان وقفه در هر آبخوان می‌توان دبی خروجی در چشمه را به بارش به وجود آورنده آن ارتباط داد و به این صورت می‌توان به این موضوع پی برد که از هر بارش چه مقدار تغذیه در سطح آبخوان صورت می‌گیرد. با استفاده از سری‌های زمانی و با توجه به تغییرات شکل هیدروگراف، اثر تغذیه متمرکز و سریع قابل شناسایی است، اما به دلیل که در تغذیه پراکنده این اثر آهسته اعمال می‌شود، غالباً در یک بررسی بلند مدت اثر خود را بهتر نشان می‌دهد.

۳-۴- نصب باران‌سنج تجمعی و جمع‌آوری نمونه بارش

بارش در مناطق کوهستانی متغیر می‌باشد و در مناطق دارای مورفولوژی پیچیده این تغییرات گسترده‌تر است. با توجه به عدم وجود ایستگاه باران‌سنجی فعال در ارتفاعات مختلف که نماینده شرایط منطقه مورد مطالعه در این نواحی باشد، در مناطق مختلف تعداد ۵ دستگاه باران‌سنج تجمعی نصب گردید (شکل ۳-۳).

با توجه به ضرورت تعیین خط آب جوی منطقه و نیاز به جمع‌آوری نمونه بارش نیز اقدام به نصب ۵ دستگاه نمونه‌گیر تجمعی در زیر سطح زمین گردید. از بارش‌های منطقه (باران و برف) به صورت تجمعی ماهیانه از شهریور ۱۳۹۴ تا تیر ماه ۱۳۹۵ تعداد ۵۸ نمونه‌گیری به عمل آمد (شکل ۳-۲).

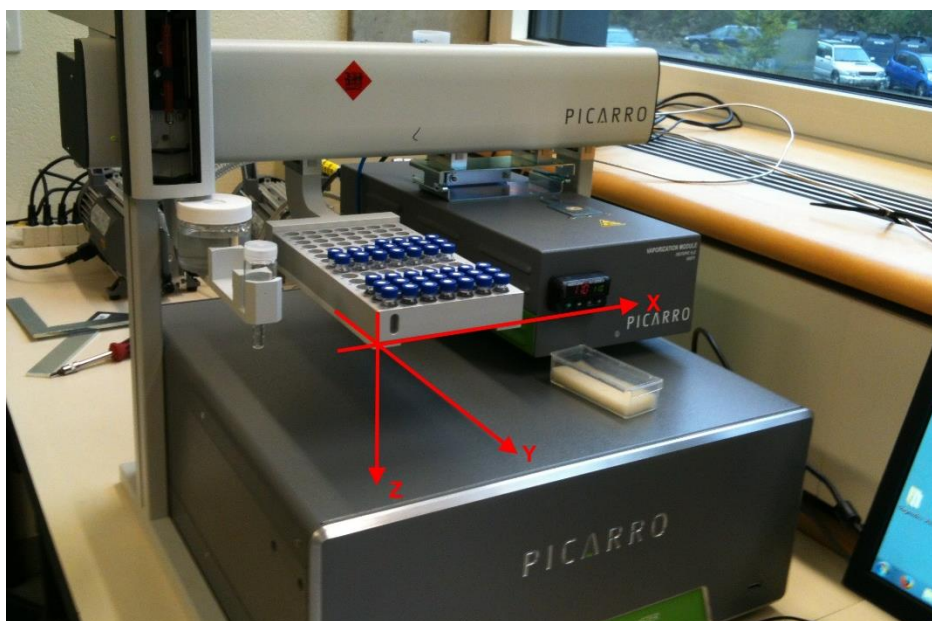


شکل ۳-۲- الف) محل نصب باران‌سنج‌ها (ب) تصویر باران‌سنج تجمعی، (ج) تصویر نمونه‌گیر تجمعی زیرزمینی در برخی از ایستگاه‌های منطقه در طول مدت ۱۲ ماه به دلیل عوامل تخریب نمونه‌گیر، فاقد نمونه هستند. در برخی از موارد که بازدید به عمل آمده مصادف با وقوع بارندگی بوده است در حین بارش برف و یا بلافاصله بعد از اتمام بارندگی نمونه بارش تهیه شده است.

لازم به ذکر است که در برخی موارد به دلیل عدم دسترسی و یا تخریب باران‌سنج‌ها اقدام به جابجایی برخی از ایستگاه‌های نمونه‌گیری در فواصل کمتر از ۱۰۰ متر گردیده است. به منظور جلوگیری از اثرات تبخیر بر بارش‌ها مقداری روغن نیز به ظروف نمونه‌گیری در هر دوره نمونه‌گیری اضافه گردید. به علاوه ظروف جمع‌آوری باران در عمق ۲۰ تا ۳۰ سانتیمتری زیر زمین قرار داده شده است. روش نمونه‌گیری از بارش‌ها (باران و برف) منطبق بر روش استاندارد نمونه‌گیری سازمان بین‌المللی انرژی اتمی (IAEA) بوده است. در مجموع تعداد ۵۸ نمونه در این بازه زمانی از باران، برف تازه و ستون برف نمونه‌گیری شد.

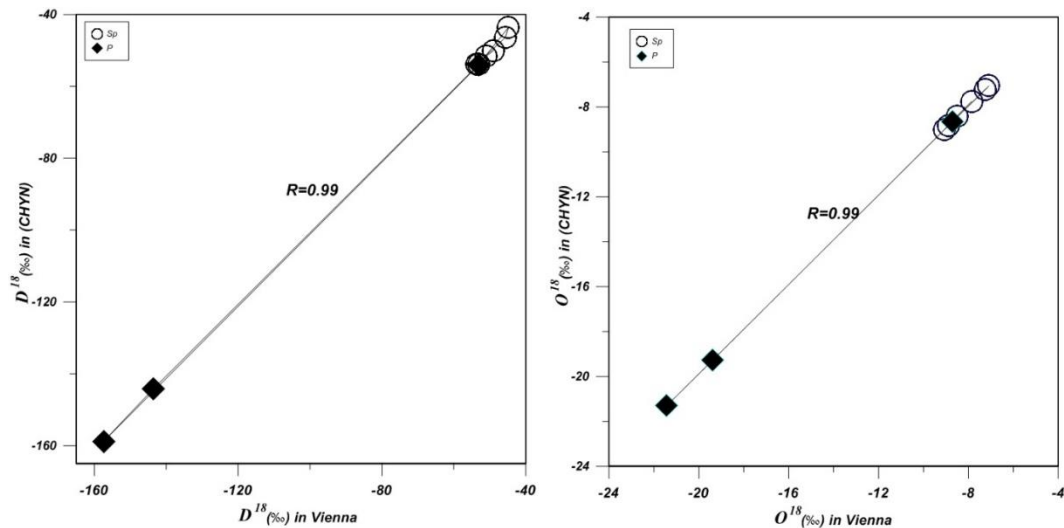
۳-۵- آنالیز ایزوتوپی و هیدروشیمی بارش‌ها و چشمه‌ها

در مجموع ۵۸ عدد نمونه بارش از ۵ ایستگاه به انضمام ۵ نمونه از برف‌های سال آبی ۱۳۹۳-۱۳۹۴ جمع‌آوری شد و جهت انجام آنالیز ایزوتوپی به سازمان بین‌المللی انرژی اتمی (IAEA) در کشور اتریش ارسال و با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر لیزری مدل (Picarro L213) آنالیز شد. تعداد ۱۶۰ نمونه از چشمه‌های منطقه هراز برای ارزیابی ترکیب ایزوتوپ‌های پایدار انتخاب شد و در دانشگاه نیوشاتل با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر لیزری مدل (Picarro L213) تحت آنالیز قرار گرفت (شکل ۳-۳).



شکل ۳-۳- دستگاه اندازه‌گیری ایزوتوپی در دانشگاه نیوشاتل

جهت ارزیابی دقت اندازه‌گیری در آزمایشگاه مذکور، تعداد ۱۰ نمونه شاهد نیز در آزمایشگاه سازمان بین‌المللی انرژی اتمی (IAEA) در کشور اتریش آنالیز شد. نتایج حاصله بیانگر انطباق بالای ($R=0.99$) این نتایج می‌باشند (شکل ۳-۴).



شکل ۳-۴- تطابق نتایج آنالیز شده در دانشگاه نوشاتل و سازمان بین‌المللی انرژی اتمی (IAEA)

به منظور بررسی و ارزیابی غلظت یون‌های اصلی ۱۷۰ نمونه از چشمه‌ها و ۵۸ نمونه بارش در آزمایشگاه دانشگاه نیوشاتل آنالیز گردید. کاتیون‌ها و آنیون‌ها به ترتیب با استفاده از دستگاه کروماتوگرافی Dionex DX-120 و Dionex ICS-1600 اندازه‌گیری شد. نمونه‌ها بر اساس تغییرات فصلی و تغییرات دبی انتخاب شده‌اند. به منظور ارزیابی غلظت فلزات سنگین در چشمه‌های منطقه تعداد ۱۰ نمونه نیز به دانشگاه برلین ارسال گردید.

۳-۶- بررسی وقفه زمانی چشمه‌های مورد مطالعه

به منظور درک صحیح از زمان مورد نیاز برای انتقال پالس‌های تغذیه به چشمه‌ها، بررسی وقفه زمانی (Lag time) بین بارش و ظهور آن در هر چشمه ضروری است و به تعبیر و تفسیر صحیح کمک شایانی می‌نماید. در محیط‌های کارستی وقفه زمانی از چند ساعت در مناطق با کارست توسعه یافته و حوضه‌های کوچک و گرد تا چندین سال در مناطق با توسعه کم کارست و نیز حوضه آبرگیر وسیع و کشیده متغیر است. به منظور ارزیابی اثر تغذیه سریع ناشی از وقایع بارشی داشتن این اطلاعات ضروری می‌باشد.

فرآیند ذوب برف از جمله فرآیندهایی است که در کل سطح آبخوان اتفاق می‌افتد و آبخوان، اپی‌کارست، منطقه غیراشباع و عوامل دخیل در تغذیه بر آن اثر دارد. به منظور ارزیابی وقفه زمانی در حوضه آبرگیر هر یک از چشمه‌های منطقه از بررسی سطح پوشش برف در حوضه آبرگیر برای استخراج منحنی فرآیند ذوب برف استفاده شده است. در این مطالعه از تصاویر ماهواره‌های سینتینال ۲ (Sentinel 2) و لندست ۸ (Landsat 8) که به ترتیب در باندهای مرئی دارای وضوح ۱۰ و ۳۰ متر هستند، نیز استفاده شده است.

۳-۷- تعیین حد آستانه وقوع تغذیه

با استفاده از پایش در طول مدت ۵۰۰ روز و تغییرات دبی و در نظر گرفتن زمان متوسط وقفه زمانی بین بارش و ظهور آن در چشمه و استفاده از شواهد فیزیکی، شیمیایی و نیز آنالیز ایزوتوپ‌های پایدار حد آستانه برای تغذیه در این منطقه تعیین می‌گردد. بایستی به این نکات توجه نمود که مقدار حد آستانه وقوع تغذیه در فصل‌های مختلف متفاوت است و همچنین به رطوبت پیشین در منطقه نیز وابسته است. البته در این منطقه با توجه به شرایط موجود و پوشیده بودن از برف (به ویژه دامنه‌های رو به شمال) امکان تعیین مقدار آستانه در فصول حضور برف میسر نیست.

۳-۸- تلفیق اطلاعات در محیط GIS با توجه به حد آستانه تغذیه

با توجه به اینکه محققین مختلف استفاده از چندین روش را برای ارزیابی تغذیه مناسب دانسته‌اند، بعد از شناسایی دقیق منطقه می‌توان اقدام به تهیه لایه‌های اطلاعاتی مختلف مؤثر بر تغذیه نمود و در نهایت با استفاده از نرم‌افزار GIS با هم‌پوشانی آنها مقدار تغذیه را با این روش نیز ارزیابی نمود. بعد از تعیین مقدار حد آستانه تغذیه در فصول خشک و تعیین پتانسیل تغذیه، مقدار تغذیه با در نظر گرفتن شرایط مکانی اقدام به ارزیابی تغذیه در طول سال گردید. لازم به ذکر است که در این مورد به جای ورودی بارش به این سیستم از مقدار بارش‌های بیش از حد آستانه تغذیه استفاده می‌شود. در نهایت با استفاده از معادله بیلان اقدام به بررسی مقادیر ارزیابی شده تغذیه شده است.

فصل چهارم: هیدروژئولوژی و ژئومورفولوژی کارست

در بخش مرتفع حوضه هراز، بیشتر آبخوان‌ها کارستی هستند و با توجه به توسعه قابل توجه پدیده کارست در سازندهای کربناته، منشاء اصلی چشمه‌های دائمی در این منطقه می‌باشند. اما در منطقه بلده شکل‌گیری آبخوان کارستی در سازندهای گچی نیز صورت گرفته است. لازم به ذکر است که با توجه به شیب بالای توپوگرافی در بخش مرتفع حوضه هراز و همچنین نبود سرزمین‌های میان‌کوهی وسیع، رسوبات آبرفتی کواترنری رخنمون قابل توجهی نداشته و از این رو آبخوان‌های آبرفتی گسترش بسیار محدودی در کل حوضه دارند. آبخوان‌های آبرفتی، در دشت سیلابی رودخانه‌ها و رسوبات دریاچه‌ای حاصل از بلوکه شدن مسیر رودخانه‌های قدیمی تشکیل شده‌اند. لازم به ذکر است که غالب آبخوان‌های آبرفتی با آبخوان‌های کارستی ارتباط هیدرولیکی دارند و از آنها تغذیه می‌شوند.

با توجه به وسعت زیاد منطقه مطالعاتی، جهت بررسی دقیق‌تر، منطقه مورد مطالعه به چهار قسمت لاسم، نمارستاق، لار و بلده تقسیم‌بندی شده که در این فصل به اختصار و با توجه به نیاز این تحقیق به بررسی مبحث هیدروژئولوژی و عوارض کارستی منطقه پرداخته می‌شود.

۴-۱- هیدروژئولوژی منطقه مورد مطالعه

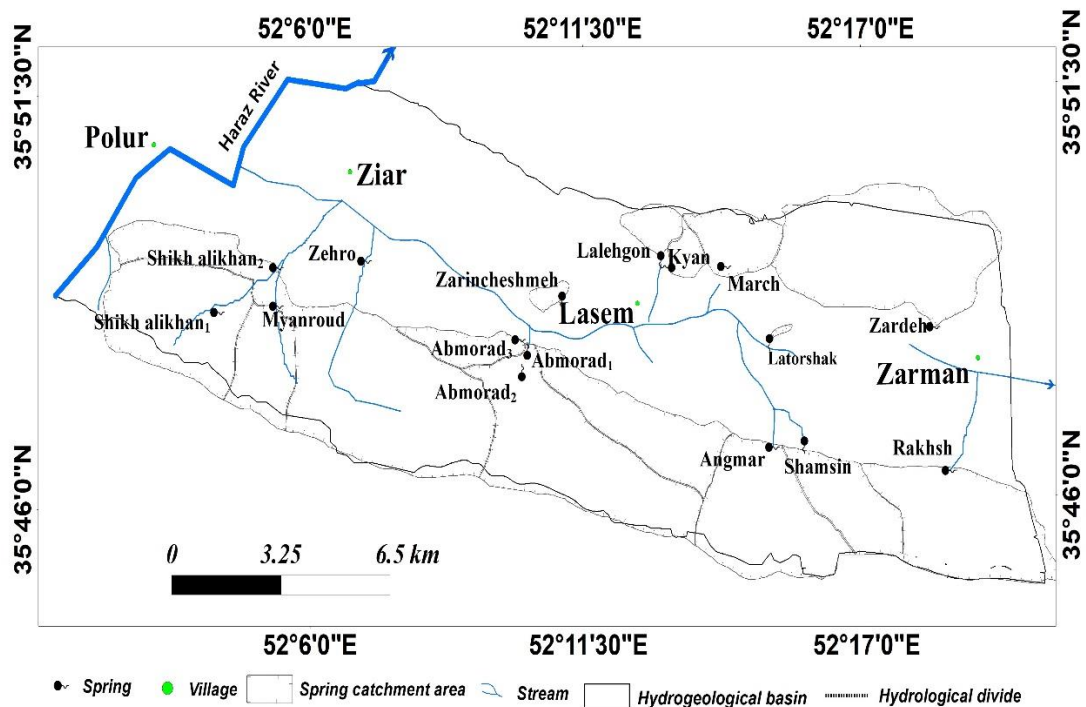
دبی و تغییرات زمانی آن، یکی از مهم‌ترین خصوصیات چشمه‌های کارستی می‌باشند. اطلاعات دبی چشمه‌های کارستی برای مواردی از قبیل بررسی وضعیت بیلان در گستره‌های کارستی، تعیین حوضه آبخیز چشمه‌های کارستی و ارزیابی جهت‌های عمده جریان در کارست بسیار حائز اهمیت است. برآورد تغییرات زمانی دبی چشمه‌های کارستی برای برآورد درجه توسعه کارست در منطقه و تعیین سیستم غالب جریان در کارست بسیار مفید می‌باشد. در این بخش هیدروگراف مهم‌ترین چشمه‌های کارستی

ارائه می‌شود و در ادامه با استفاده از این هیدروگراف‌ها، منحنی‌های فرود چشمه‌های کارستی ترسیم شده‌اند.

با توجه به تغییرات دبی هیدروگراف چشمه‌های کارستی، حجم تخلیه سالانه این چشمه‌ها نیز به طور جداگانه برآورد شده است. هم چنین انحراف معیار، میانگین و ضریب تغییرات دبی برای این چشمه‌ها محاسبه شده است. علاوه بر این، با به کارگیری منحنی فرود چشمه‌ها ضرائب دبی (Discharge coefficients) برای شیب‌های مختلف منحنی فرود این چشمه‌ها محاسبه شده است.

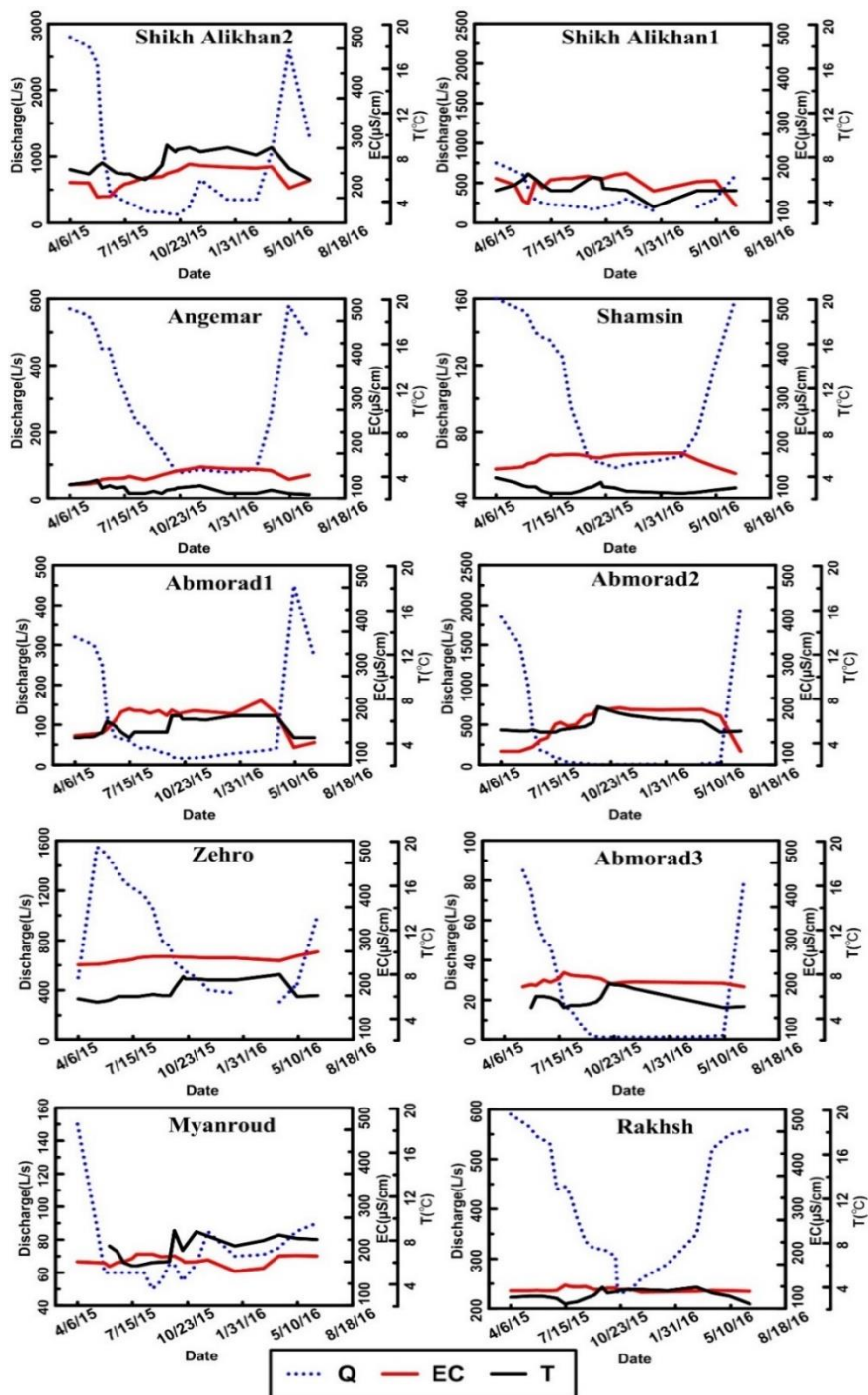
۴-۱-۱- چشمه‌های کارستی در حوضه لاسم

از نظر هیدروژئولوژیکی منطقه لاسم به دو بخش جنوبی (ارتفاعات دوبرار) و شمالی قابل تقسیم هستند. مهمترین چشمه‌های کارستی تخلیه کننده ارتفاعات آهکی جنوب لاسم شامل چشمه‌های آب‌مراد، زهرو، شیخ علیخان ۱، شیخ علیخان ۲، میان‌رود، انگمار، شمسین و رخس بوده و ارتفاعات آهکی شمال دره لاسم از طریق چشمه‌های زرده، مرچ، لاله‌گون و زرین چشمه تخلیه می‌شوند (شکل ۴-۱).



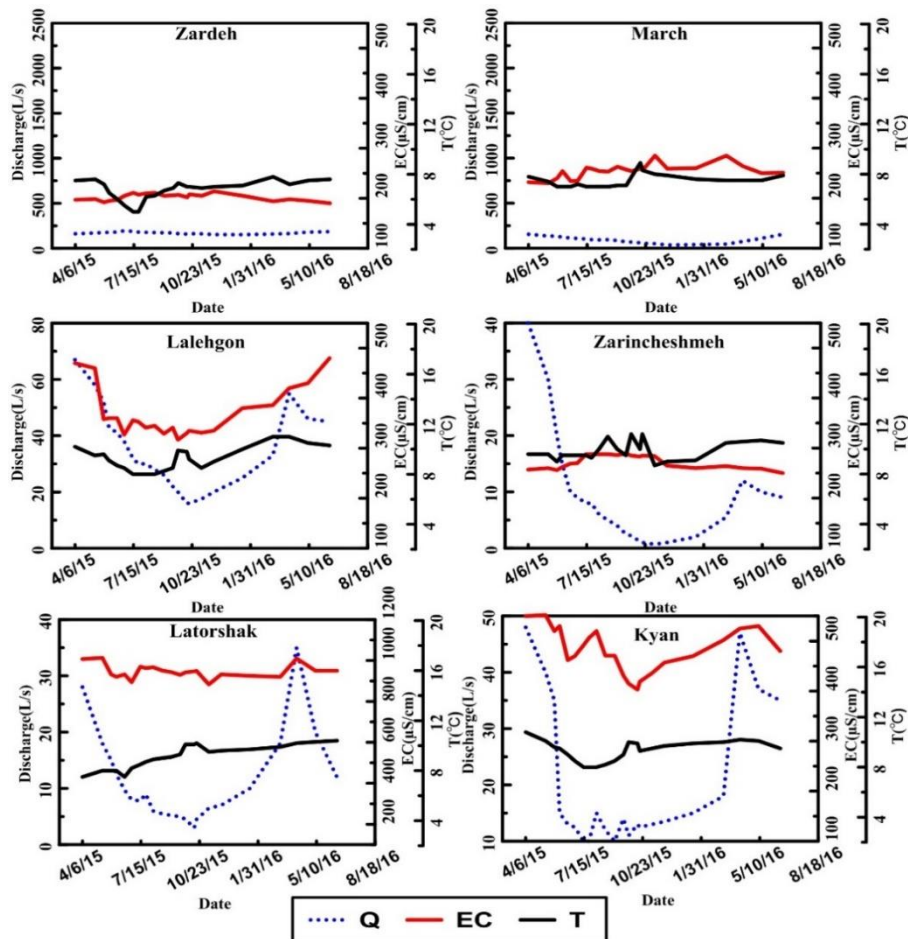
شکل ۴-۱- پراکندگی چشمه‌های کارستی منطقه لاسم و حوضه آبریز آنها

در محدوده لاسم چشمه‌های آب‌مراد ۲ و شیخ‌علیخان بیشترین دبی اوج را دارند. کمترین مقدار تخلیه متعلق به چشمه‌های لترشک و آب‌مراد ۳ می‌باشد. تغییرات دبی، دما و هدایت الکتریکی در شکل ۴-۲ و مشخصات عمومی و ضرایب فرود چشمه‌های منطقه لاسم در جدول ۴-۱ نشان داده شده است.



شکل ۴-۲- روند تغییرات دبی، دما و هدایت الکتریکی در چشمه‌های بخش جنوبی منطقه لاسم

چشمه زرده دارای دو خروجی اصلی به نام‌های زرده و جادو چشمه می‌باشد. چشمه‌های مرچ و لاله‌گون هر کدام دارای چند خروجی هستند. دبی اندازه‌گیری شده در چشمه‌ها شامل مجموع دبی خروجی‌های مختلف است ولیکن سایر خصوصیات در مظهر اصلی اندازه‌گیری شده‌اند. بجز چشمه زرده، ورسخوران و رخس که به نمرود تخلیه می‌شود بقیه چشمه‌ها در رودخانه لاسم تخلیه می‌گردند.



شکل ۳-۴ روند تغییرات دبی، دما و هدایت الکتریکی در چشمه‌های بخش شمالی منطقه لاسم

بر اساس نتایج منحنی فرود چشمه‌های کارستی منطقه لاسم و با توجه به شیب عمومی و غالب حوضه آبگیر چشمه‌ها، چشمه‌های با شیب غالب حوضه آبگیر رو به شمال و جنوب دارای رفتار متفاوتی هستند. چشمه‌های با شیب رو به شمال حوضه آبگیر دارای دو یا سه روند فرود بوده (شکل ۴-۲) و تغییرات دبی در آنها بسیار زیاد است در حالی که چشمه‌های با شیب حوضه آبگیر رو به جنوب اغلب دارای یک روند بوده (شکل ۴-۳) و تغییرات دبی در آنها چندان زیاد نیست. این موضوع بیانگر وجود رفتار غالب مجرای در چشمه‌های این بخش و رفتار افشان در دامنه شمالی است که ناشی از توسعه بیشتر کارست

در گروه اول می‌باشد. علت این امر با توجه به یکسانی رخنمون‌های سنگی، ماندگاری بیشتر رطوبت در دامنه رو به شمال و طولانی‌تر شدن مدت زمان تغذیه می‌باشد که باعث انحلال بیشتر نیز شده است. اولین ضریب بده (α_1) در چشمه‌های دامنه رو به شمال کوچک می‌باشد که ناشی از تداوم تغذیه است که تا اوایل تابستان نیز در حوضه آبرگیر آنها، برف قابل توجهی وجود دارد.

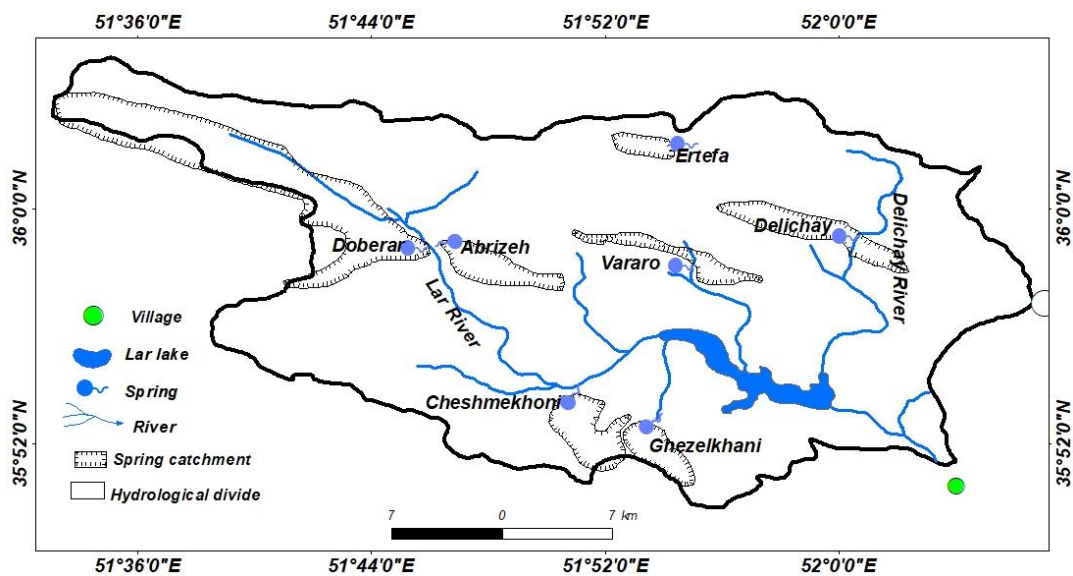
جدول ۴-۱- مشخصات عمومی و ضرایب فرود چشمه‌های منطقه لاسم

Spring name	α_1		α_2		α_3		Qmin (L/s)	Qave (L/s)	Qmax (L/s)	حجم تخلیه سالانه (Mm ³)
	R.C ^a	R.P ^b	R.C	R.P	R.C	R.P				
Shikh Alikhan2	۰/۰۰۳	۵۵	۰/۰۵۴	۴۵	۰/۰۱	۱۲۵	۱۲۵	۶۱۱	۲۵۰۰	۲۵/۶۶
Shikh Alikhan1	۰/۰۰۵	۳۸	۰/۰۳۳	۲۳	۰/۰۰۴	۱۱۵	۱۵۰	۳۰۰	۷۵۰	۱۲/۴۶
Angemar	۰/۰۰۴	۵۰	۰/۰۱۳	۱۳۰	-	-	۷۵	۲۷۷	۴۵۰	۷/۳۲
Shamsin	۰/۰۰۳	۱۱۰	۰/۰۱۴	۴۵	۰/۰۰۲	۵۰	۶۵	۱۰۵	۱۴۰	۳/۲۶
Ab morad1	۰/۰۰۵	۴۲	۰/۰۰۵	۲۳	۰/۰۱۲	۱۴۰	۱۷	۹۰	۳۲۰	۲/۵۸
Abmorad 2	۰/۰۰۳	۲۰	۰/۰۶۱	۳۰	۰/۰۳۵	۱۲۸	۳	۲۳۳	۱۵۰۰	۸/۸۶
Zehro	۰/۰۰۹	۶۰	۰/۰۴۱	۱۱۰	-	-	۲۳۰	۸۵۰	۲۳۰۰	۳۲/۲۰
Ab morad3	۰/۰۱۹	۳۰	۰/۰۰۳	۷۸	۰/۰۰۶	۲۰۰	۰/۳	۲۴	۷۰	۰/۷۳
Myanroud	۰/۰۰۲	۴۸	۰/۰۳۶	۱۵	۰/۰۰۳	۱۰۰	۵۵	۶۵	۱۰۰	۳/۵۱
Rakhsh	۰/۰۰۲	۸۰	۰/۰۰۶	۸۰	۰/۰۰۱	۳۵	۲۱۰	۳۹۱	۶۰۰	۹/۷
Zardeh	۰/۰۰۱	۱۵۴	-	-	-	-	۲۸	۴۲	۶۰	۵/۹
March	۰/۰۰۷	۲۵۰	-	-	-	-	۳۵	۹۶	۲۰۰	۱/۸
Lalehgon	۰/۰۰۷	۲۱۱	-	-	-	-	۱۶	۳۳	۷۵	۰/۹۲
Zarincheshmeh	۰/۰۱۹	۲۳۰	-	-	-	-	۱	۹۵	۴۰	۰/۲۶
Latorshak	۰/۰۱	۲۰۷	-	-	-	-	۳	۱۱/۵	۳۵	۰/۱۳
Kyan	۰/۰۰۵	۲۴۰	-	-	-	-	۴	۱۱	۱۵	۰/۹۵

(a) ضریب فرود (b) دوره فرود

۴-۱-۲- چشمه‌های کارستی در حوضه لار

چشمه‌های موجود در منطقه لار از بزرگترین چشمه‌های کارستی حوضه هراز هستند که همه آنها از طریق رودخانه‌های منطقه به مخزن سد لار وارد می‌شوند (شکل ۴-۴). مهمترین چشمه‌های منطقه شامل دوبرار، آبریزه، چشمه‌خونی، قزل‌خانی، ورارو، دلیچای و آب‌سفید می‌باشند (جدول ۴-۲). چشمه‌های دوبرار و آبریزه به ترتیب با دبی اوج ۲۵۰۰ و ۲۰۰۰ لیتر بر ثانیه بزرگترین چشمه‌های مهم این منطقه هستند.

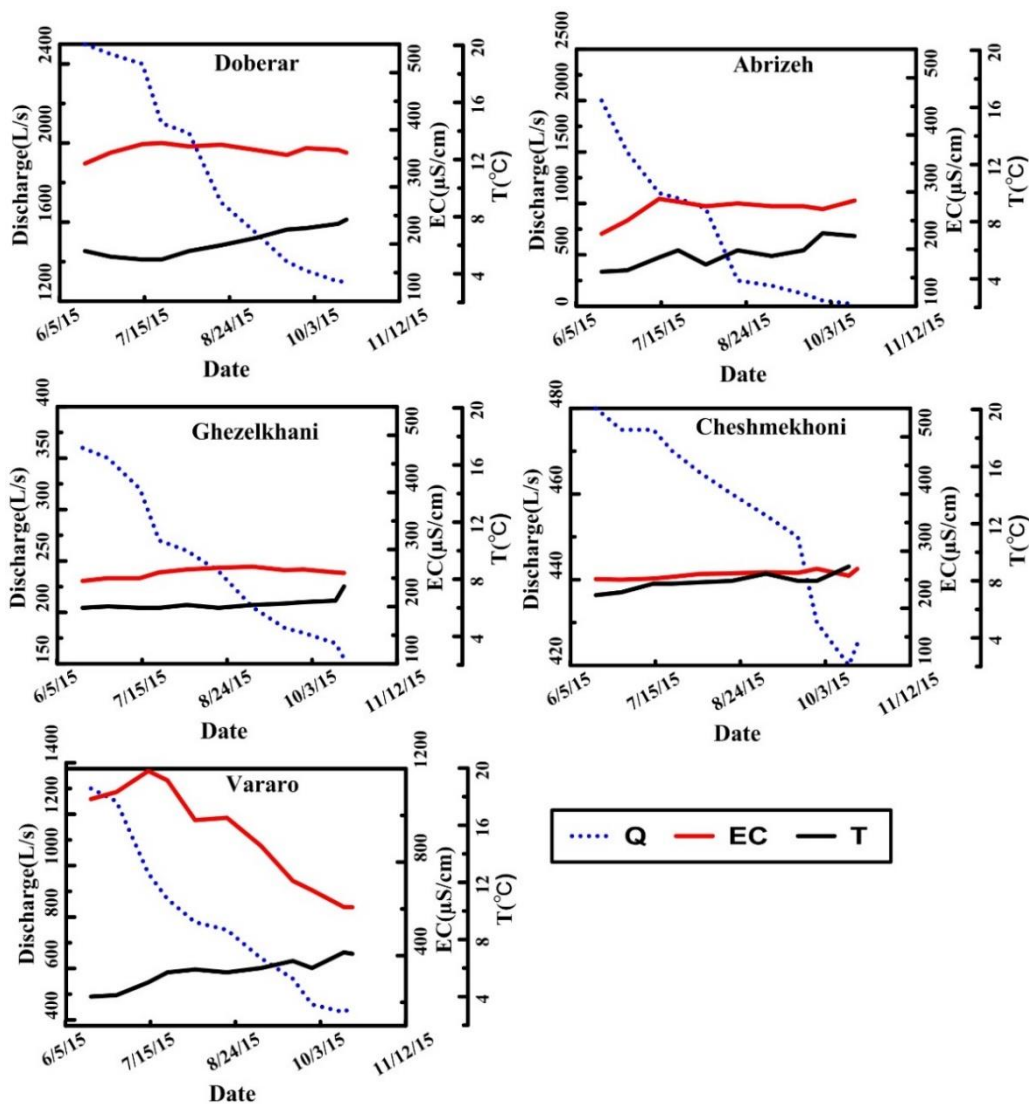


شکل ۴-۴- پراکندگی چشمه‌های کارستی منطقه لار و حوضه آبریز آنها

جدول ۴-۲- مشخصات عمومی و ضرایب فرود چشمه‌های منطقه لار

Spring name	α_1		α_2		α_3		Qmin (L/s)	Qave (L/s)	Qmax (L/s)	حجم تخلیه سالانه (Mm ³)
	R.C ^a	R.P ^b	R.C	R.P	R.C	R.P				
Doberar	۰/۰۰۷	۷۵	۰/۰۰۳	۶۵	-	-	۸۵۰	۱۶۰۰	۲۵۰۰	۳۹/۲
Abrizeh	۰/۰۱۸	۹۰	۰/۰۴۵	۶۰	-	-	۰	۹۵۰	۲۱۰۰	۶/۸۵
Ghezelkhani	۰/۰۱۳	۶۰	۰/۰۰۶	۱۲۰	-	-	۱۵۵	۲۲۰	۴۰۰	۶/۲
Cheshmekhoni	۰/۰۰۱	۲۲۰	-	-	-	-	۴۲۰	۴۵۰	۵۰۰	۱۳/۵۳
Vararo	۰/۰۱۳	۷۰	۰/۰۰۸	۱۲۰	-	-	۴۲۰	۷۵۰	۱۱۰۰	۹/۵
Delichay	-	-	-	-	-	-	-	-	۵۵۰	۱۱/۵۰

تغییرات دبی در این چشمه‌ها بسیار زیاد است به گونه‌ای که در چشمه آبریزه دبی از ۲۰۰۰ لیتر بر ثانیه به صفر می‌رسد و چشمه کاملاً خشک می‌گردد. در این منطقه غالب چشمه‌ها دارای دو ضریب فرود هستند (جدول ۴-۲). علیرغم حضور فروچاله‌های فراوان در این منطقه که مبین توسعه بالای کارست می‌باشد، تداوم تغذیه و شکل کشیده حوضه آبریز چشمه‌های این منطقه نظم مورد انتظار برای وجود مقادیر بالای ضریب فرود را تغییر داده است. روند کلی دما در این منطقه مبین افزایش دما با کاهش دبی می‌باشد. هدایت الکتریکی در چشمه‌های این ناحیه روند افزایش دارد. با استثنای چشمه ورارو که مقادیر هدایت الکتریکی در آن به صورت قابل توجهی از ۱۲۲۰ به ۷۵۰ در اواخر پاییز کاهش می‌یابد (شکل ۴-۵).



شکل ۴-۵- روند تغییرات دبی، دما و هدایت الکتریکی در چشمه‌های کارستی منطقه لار

۴-۱-۳- چشمه‌های کارستی در حوضه نمارستاق

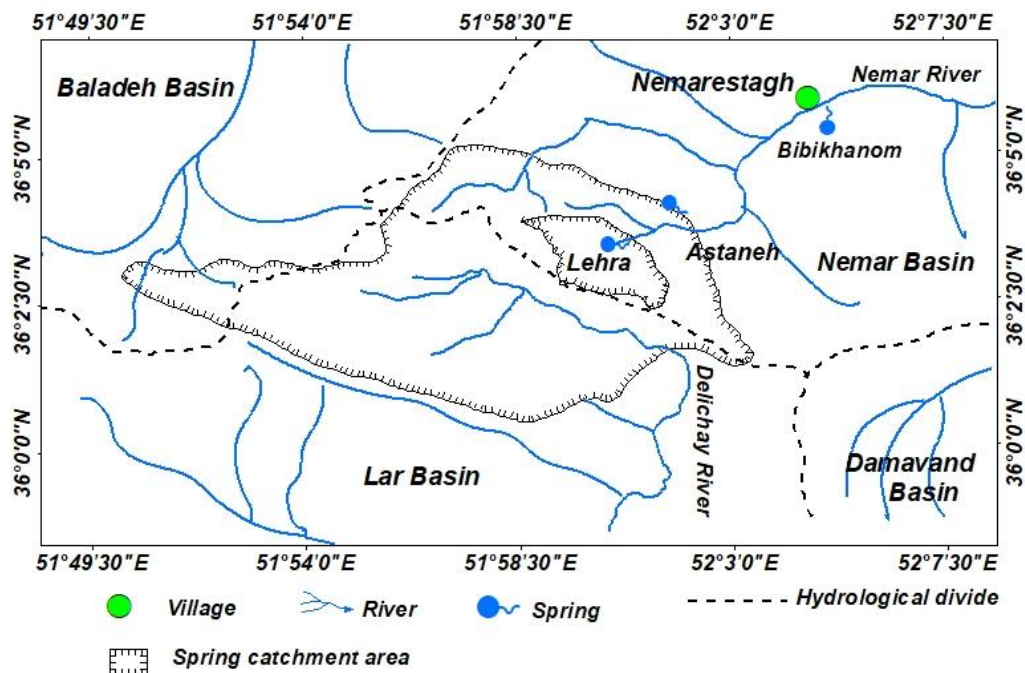
در منطقه نمارستاق چشمه‌های کوچک متعددی وجود دارد که غالباً دارای دبی کمتر از ۱۰۰ لیتر هستند. از مهمترین چشمه‌های آهکی منطقه، چشمه آستانه (آستانه کر)، لهر و بی‌بی‌خانم است.

چشمه‌های این منطقه از طریق رودخانه نمارستاق به رودخانه هراز تخلیه می‌گردند (شکل ۴-۶)

. چشمه آستانه با دبی پایه بیش از ۱۰۰۰ لیتر بر ثانیه مهمترین چشمه حوضه نمارستاق به شمار می‌آید

که در فصول خشک و در زمستان، بخش اصلی آب رودخانه نمارستاق از این چشمه منشاء می‌گیرد

(جدول ۴-۳).

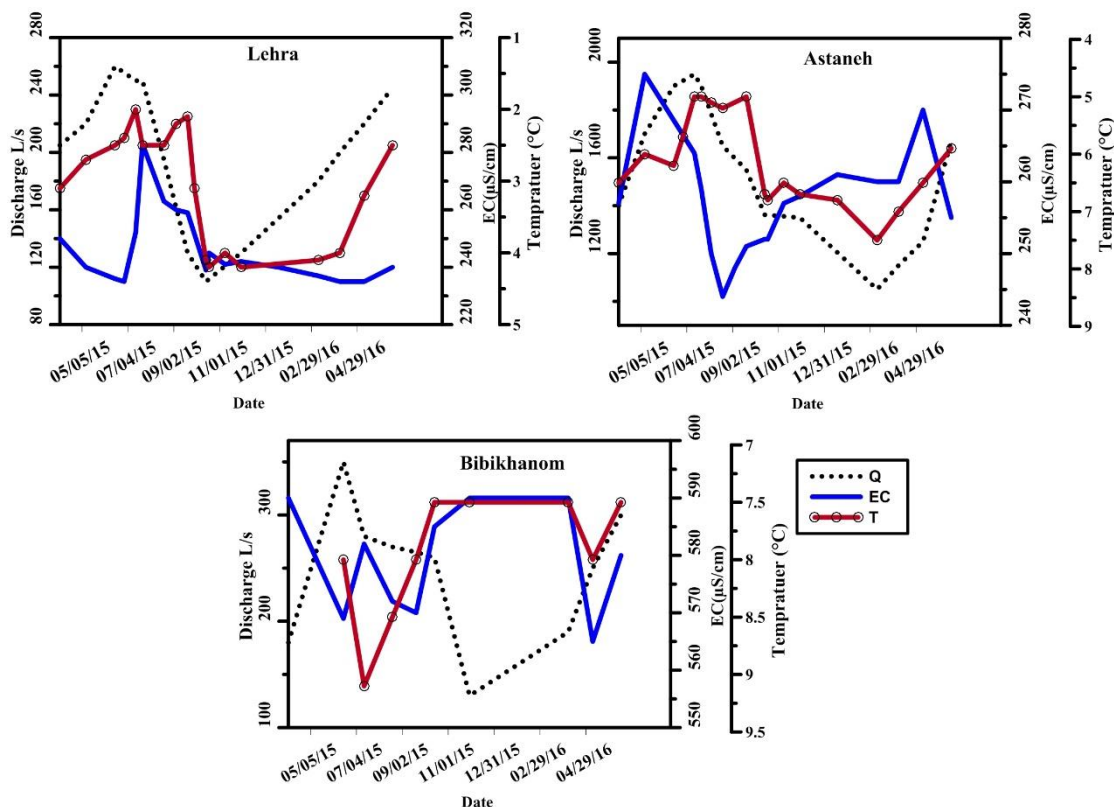


شکل ۴-۶- پراکندگی چشمه‌های کارستی منطقه نمارستاق و حوضه آبرگیر آنها

جدول ۴-۳- مشخصات عمومی و ضرایب فرود چشمه‌های منطقه نمارستاق

Spring name	α_1		α_2		α_3		Qmin (L/s)	Qave (L/s)	Qmax (L/s)	حجم تخلیه سالانه (Mm ³)
	R.C ^a	R.P ^b	R.C	R.P	R.C	R.P				
Astaneh	۰/۰۰۶	۶۵	۰/۰۰۳	۱۵۰	-	-	۱۱۰۰	۱۶۵۰	۲۲۵۰	۴۸/۲۰
Lehra	۰/۰۰۱	۷۰	۰/۰۰۶	۱۲۵	-	-	۱۱۰	۱۷۰	۳۴۰	۶/۲۴
Bibikhanom	۰/۰۰۶	۲۰۰	-	-	-	-	۸۵	۱۶۰	۳۲۰	۳/۶

اگرچه کیفیت آب این سه چشمه متفاوت است اما در مقادیر هدایت الکتریکی چشمه‌های این منطقه، تغییرات قابل توجهی مشاهده نمی‌شود (شکل ۴-۷). چشمه لهره دارای کمترین دما بوده و چشمه بی‌بی‌خانم دارای بیشترین دما می‌باشد. آستانه و لهره هر دو دارای دو ضریب فرود هستند اما چشمه بی‌بی‌خانم دارای یک روند فرود است که می‌تواند به دلیل حضور بیشتر پوشش خاک و پوشش گیاهی در حوضه آبرگیر آن باشد. تغییرات دبی در این منطقه کمتر از سایر مناطق حوضه هراز است و دبی اوج این چشمه‌ها نیز در مقایسه با یکدیگر متفاوت هستند. چشمه لهره در خرداد ماه دارای بیشینه دبی بوده در حالی که آستانه در تیر ماه، بیشینه دبی را نشان می‌دهد (شکل ۴-۷).



شکل ۴-۷- روند تغییرات دبی، دما و هدایت الکتریکی در چشمه‌های کارستی منطقه نمارستاق

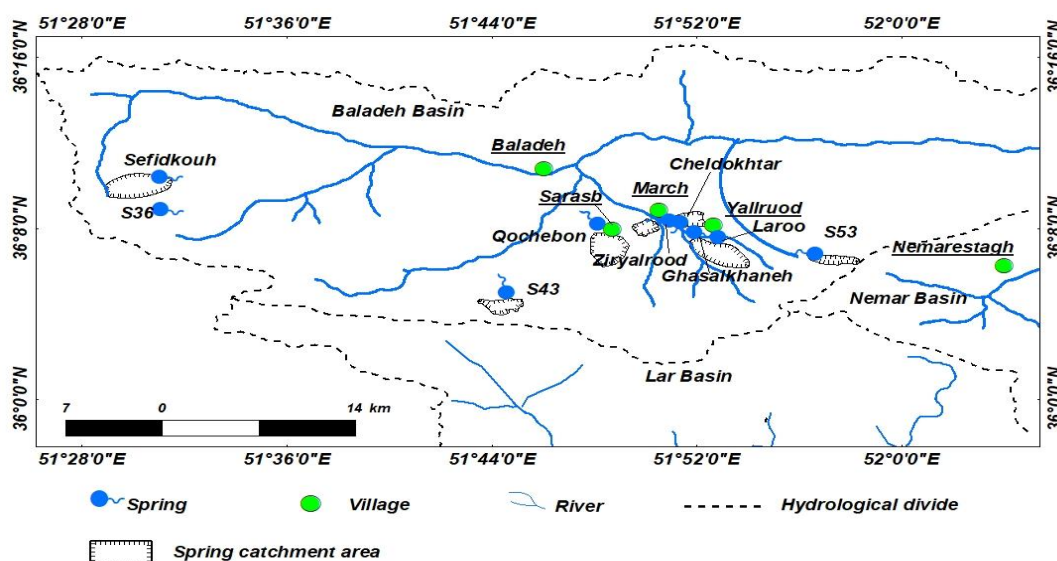
۴-۱-۴- چشمه‌های کارستی در حوضه بلده

در منطقه بلده به دلیل رخنمون محدود واحدهای کربناته، چشمه‌های آهکی رخنمون محدودی دارند و دبی پایه آنها نیز کمتر از ۵۰ لیتر بر ثانیه می‌باشد (جدول ۴-۴).

جدول ۴-۴- مشخصات عمومی و ضرایب فرود چشمه‌های منطقه بلده

Spring name	α_1		α_2		Qmin (L/s)	Qave (L/s)	Qmax (L/s)	حجم تخلیه سالانه (Mm ³)
	R.C ^a	R.P ^b	R.C	R.P				
Cheldokhtar	-	-	-	-	۱۲۰	-	۳۵۰	-
Ghasalkhaeh	-	-	-	-	۷۰	-	۱۳۵	-
Ziryallrood	-	-	-	-	۱۰۵	-	۶۰	-
S54	-	-	-	-	-	-	۳۰	-
S43	-	-	-	-	۲۵	-	۴۰	-
Sarasb	-	-	-	-	۰	-	۲۵۰	-
Siahkouh	-	-	-	-	۴۰	-	۱۵۰	-

با توجه به رخنمون قابل توجه گچ‌های آئوسن، کارست به طور قابل توجهی در این واحدها توسعه یافته و چشمه‌های گچی نیز در آنها حضور دارند (شکل ۴-۸).

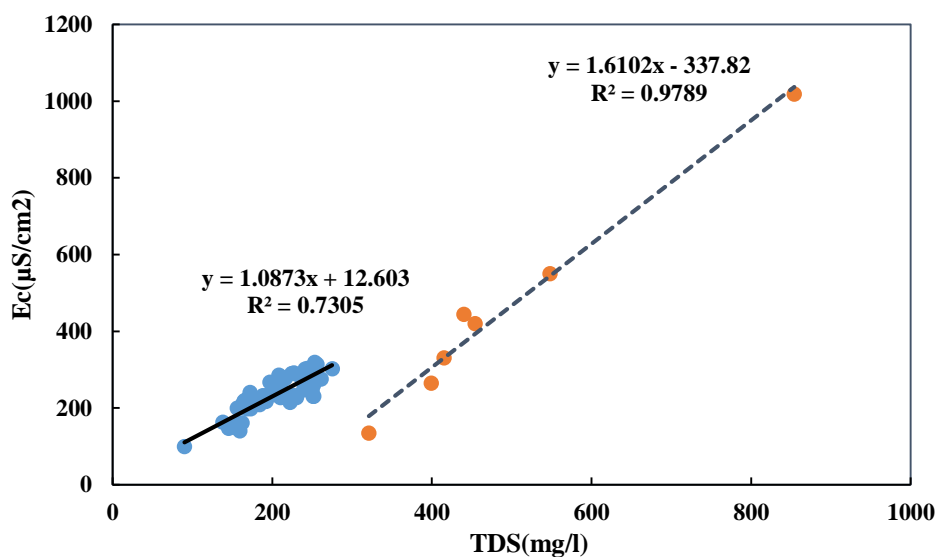


شکل ۴-۸- پراکندگی چشمه‌های کارستی منطقه بلده و حوضه آبرگیر آنها

چشمه‌های سیاه‌کوه و S43، آهکی بوده و چهل‌دختر، غسالخانه، زیرالرود، تنه‌بن (سراسب) و S53 از جمله چشمه‌های بزرگ گچی در این منطقه هستند. با توجه به عدم برداشت‌های کافی، منحنی فرود این گروه از چشمه‌ها بررسی نشده است.

۴-۲- هدایت الکتریکی (EC)

بررسی پراکنش مکانی هدایت الکتریکی در چشمه‌های کارستی در منطقه مورد مطالعه بیانگر این است که این پارامتر در این چشمه‌ها از دامنه ۱۴۰ تا ۱۳۰۰ میکرو زیمنس بر سانتیمتر ($\mu\text{S}/\text{cm}$) متغیر است اما اغلب چشمه‌ها دارای مقادیر هدایت الکتریکی کمتر از ۳۵۰ میکرو زیمنس بر سانتیمتر ($\mu\text{S}/\text{cm}$) هستند. بهترین کیفیت آب در چشمه‌های کارستی با لیتولوژی آهکی و کمتر از $400 \mu\text{S}/\text{cm}$ می‌باشد، در حالی که مقادیر بالاتر این پارامتر در چشمه‌های کارستی با لیتولوژی ژئوپس و یا ترکیبی از ژئوپس و آهک می‌باشد. بررسی روابط بین هدایت الکتریکی و مواد محلول، بیانگر وجود دو روند کاملاً متفاوت می‌باشد. در مواردی که مجموع مواد محلول (TDS) بیشتر از ۳۲۰ است این رابطه دارای روندی با معادله $EC=1/61TDS-337/8$ می‌باشد در حالی که برای مقادیر کمتر از ۳۲۰، از معادله $EC=1/08TDS+12/60$ تبعیت می‌کند (شکل ۴-۹).



شکل ۴-۹- روند تغییرات هدایت الکتریکی و مجموع مواد محلول

روند تغییرات هدایت الکتریکی در چشمه‌های حوضه هراز به استثنای چشمه ورارو، با کاهش دبی چشمه‌ها افزایش می‌یابد. در چشمه ورارو با کاهش دبی، هدایت الکتریکی آن نیز کاهش ۵۰ درصدی نشان می‌دهد به طوری که مقدار هدایت الکتریکی از ۱۱۵۰ به ۴۵۰ میکرو زیمنس بر سانتیمتر کاهش می‌یابد.

۴-۳- دمای آب چشمه‌ها (T°C)

دمای چشمه‌های کارستی منطقه هراز دارای دامنه ۲ تا ۱۲ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. در بین چشمه‌های کارستی، چشمه‌های رخس، انگمار، شمسین و لهر با دمای ۲ تا ۴ سانتی‌گراد پایین‌ترین دما و چشمه‌های لاله‌گون و کیان با دمای متوسط ۱۰ تا ۱۲ سانتی‌گراد بیشترین دما را در بین چشمه‌های کارستی دارند. به طور کلی چشمه‌های مرتفع با حوضه آبخیز غالب رو به شمال دارای کمترین دما بوده و چشمه‌های با حوضه آبخیز رو به جنوب دمای بالاتری دارند.

۴-۴- هیدرواستراتیگرافی منطقه

به طور کلی به لحاظ چینه‌شناسی واحدهای کربناته موجود در منطقه مورد مطالعه امکان تشکیل واحدهای هیدرواستراتیگرافی با سن‌های مختلف وجود دارد. در مواردی که چندین واحد کربناته بر

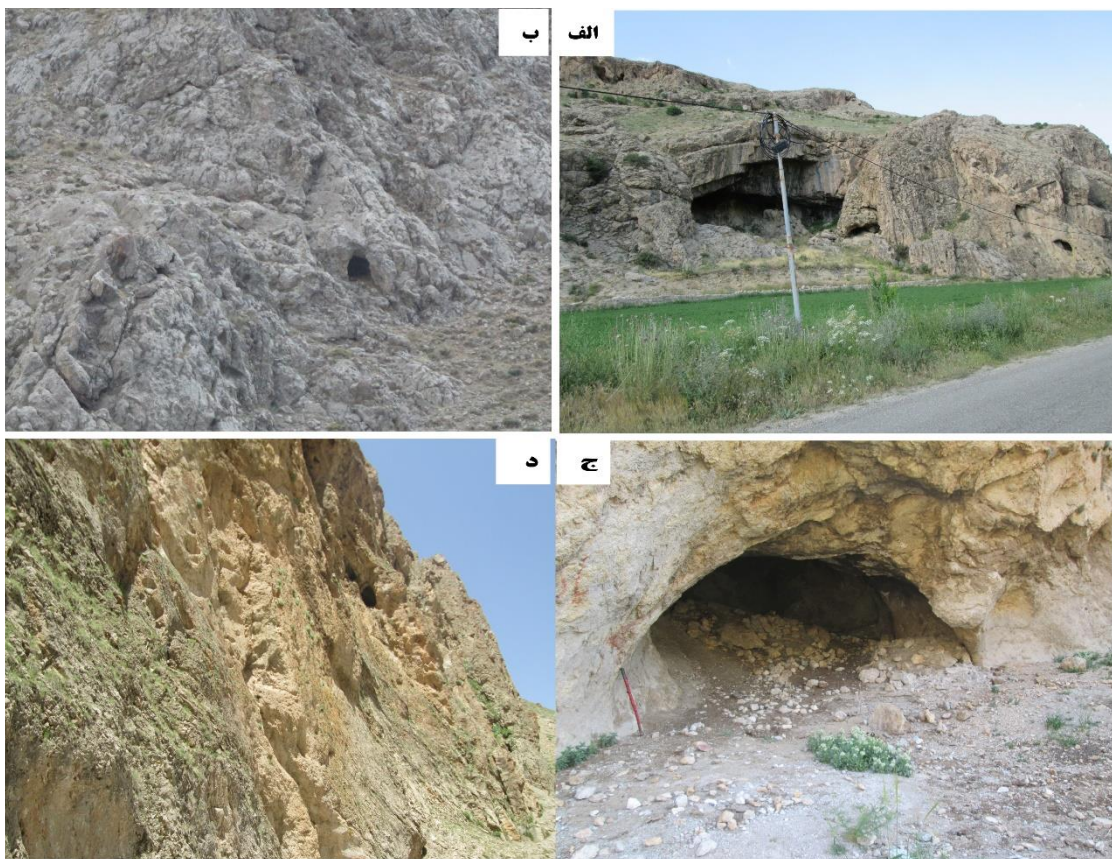
روی هم قرار دارند با استفاده از اطلاعات فعلی، امکان جداسازی واحدهای هیدرواستراتیگرافی رخنمون یافته در این منطقه وجود ندارد. دلیل این امر آن است که در مناطق با تکتونیک فعال، امکان برقراری ارتباط هیدرولیکی بین چندین واحد هیدرواستراتیگرافی وجود دارد. با شناسایی سیستم گسله‌های منطقه، بررسی مقدار جابجایی در آنها و انجام بازدیدهای صحرایی امکان تفکیک واحدهای هیدرواستراتیگرافی فراهم خواهد شد. به طور کلی سازند الیکا قدیمی‌ترین واحد هیدرواستراتیگرافی است که چشمه زهرو در منطقه لاسم از آن خارج می‌شود. اگرچه در سایر نقاط نیز واحدهای کربناته رخنمون محدودی دارند اما آبخوان قابل توجهی را تشکیل نداده‌اند. توالی آهک‌های دلیچای، لار، کرتاسه بالایی و تیزکوه نیز به عنوان یک واحد هیدرواستراتیگرافی عمل می‌نمایند که از بخش زیرین با شمشک و در بخش بالایی با سازند کرج از واحدهای زیرین و بالایی خود جدا می‌گردد. آهک زیارت و واحدهای جوان‌تر (آبرفت‌ها) نیز یک واحد مجزا را تشکیل می‌دهند. در برخی نقاط نیز رخنمون محدودی از گچ‌ها بر روی سازند کرج قرار دارند (اطراف بلده و روستای یالرود) که خود به عنوان واحدی مجزا عمل نموده و آبخوان‌های گچی را شکل داده‌اند.

۴-۵- ژئومورفولوژی کارست

ژئومورفولوژی کارست و رخنمون‌های کارستی، کمک شایانی در جهت شناخت سیستم کارست می‌باشند. همچنین نحوه توزیع عوارض کارستی می‌تواند بیانگر وجود زهکشی در حال حاضر و یا در گذشته باشد. در مواردی ممکن است توسعه کارست در زیر سطح زمین شدید باشد، اما اثری از آن در روی سطح ظاهر نگردد. به طور کلی در حوضه هراز شرایط توسعه کارست از هر نظر فراهم شده و به تشکیل کارست توسعه یافته در اکثر رخنمون‌های آهکی منجر شده است. شناخت صحیح و جامع شرایط کارستی در درک شرایط هیدروژئولوژیکی هر منطقه ضروری است. در این منطقه عوارض کارستی شامل تنوعی از عوارض سطحی و زیرزمینی می‌باشد. از مهمترین عوارض کارستی چشمه‌های کارستی، غار، فروچاله، دولین، دره‌های خشک، کارنها و گرایک‌ها می‌باشند.

۴-۵-۱- غارها

غارها از عوارض زیرزمینی کارستی محسوب می‌شوند. در حوضه هراز به صورت مشخص تعدادی غار مشاهده می‌شوند، اما به دلیل فعالیت شدید تکتونیکی منطقه و تغییرات شدید سطح اساس منطقه عموماً غارها دارای طول کمی هستند. از مهمترین این غارها می‌توان به غار کوه دوبرار اشاره کرد (شکل ۴-۱۰). نتایج حفاری گمانه‌های تزریق در محل سد لار بیانگر وجود دو غار در عمق ۱۱۰ و ۲۲۰ متری می‌باشد (Uromeihy 2000).

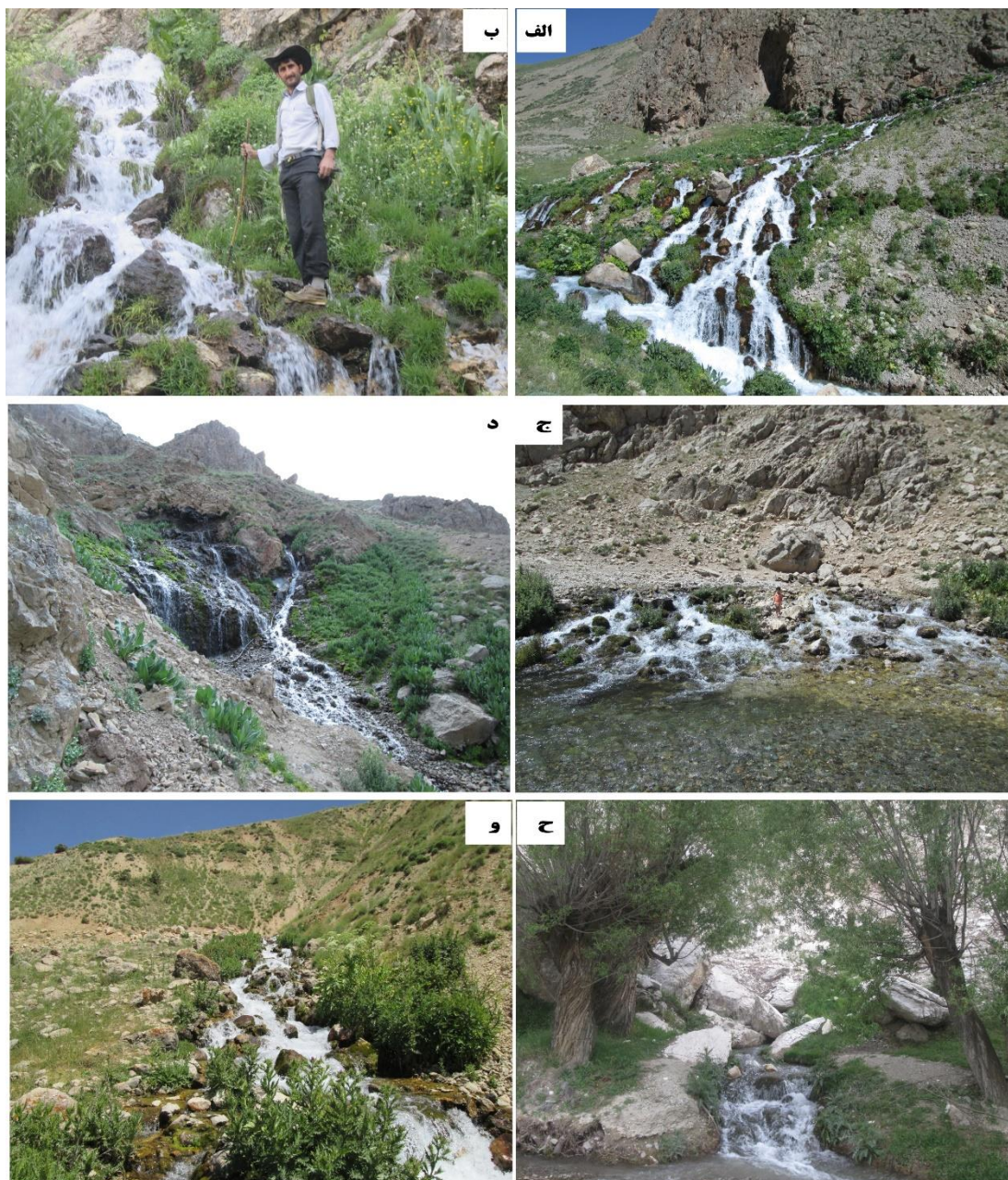


شکل ۴-۱۰- تصاویر غارهای موجود در منطقه مورد مطالعه. الف) منطقه زرمان، ب) حوضه سد لار، ج) منطقه لاسم، د) تنگه انگمار

۴-۵-۲- چشمه‌های کارستی

چشمه‌های کارستی خروجی مجاری متصل به بخش فعال سیستم کارستی هستند که آب از طریق آنها به سطح زمین راه پیدا می‌کند. وجود چشمه‌هایی با دبی بالا، بیانگر توسعه کارست در عمق و وسعت

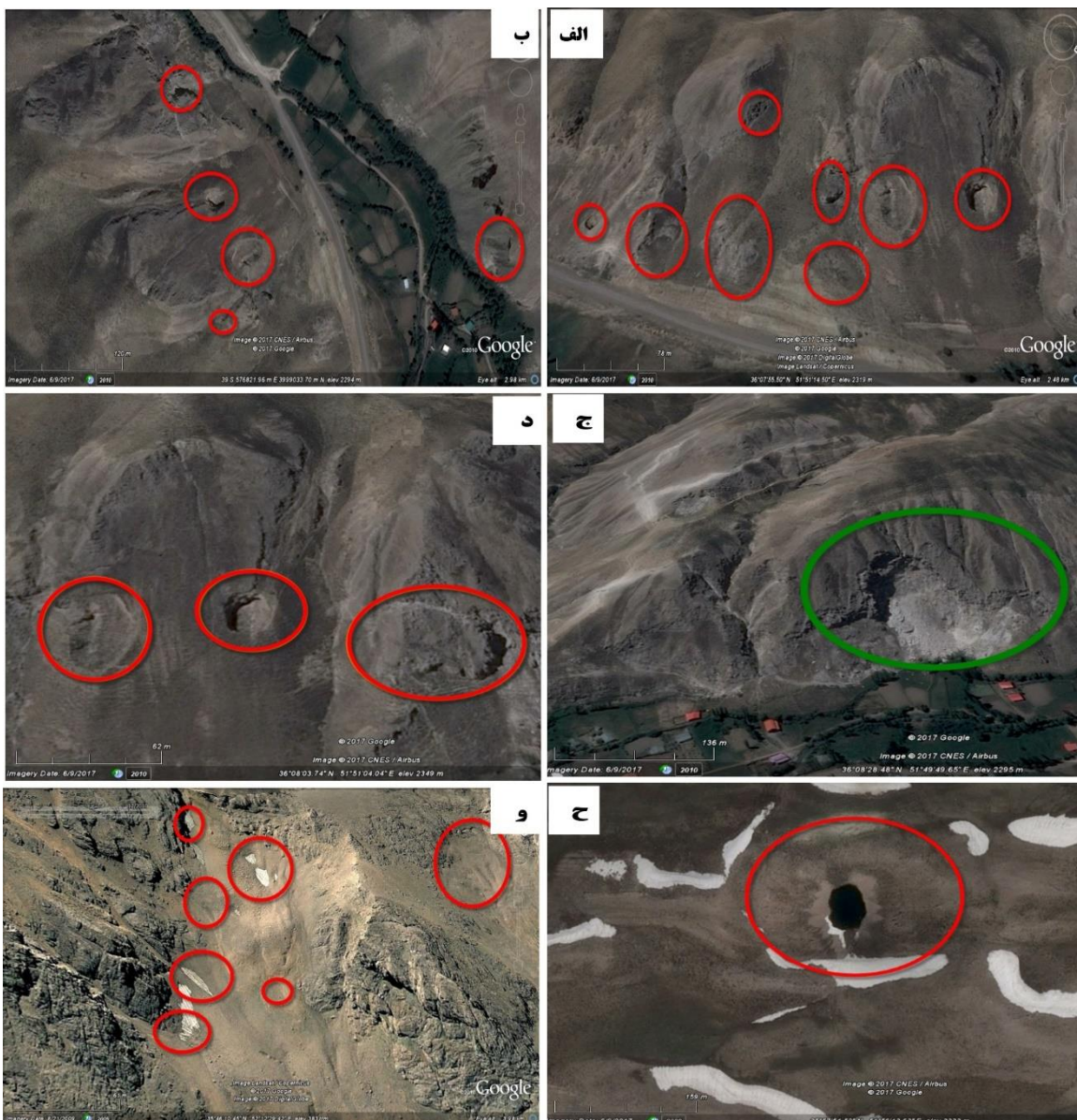
زیاد حوضه آبگیر آنها می باشد. در حوضه هراز جمعاً تعداد ۳۵ چشمه با دبی پایه بالای ۲۰ لیتر بر ثانیه وجود دارد. مهمترین چشمه های منطقه شامل آستانه، لهر، بی بی خانم، چهل دختر، غسالخانه، یالرود، دوبرار، آبریزه، چشمه خونی، آب سفید، قزل خانی، ورارو، دلیچای، شیخ علیخان ۱ و ۲، آب مراد، انگمار، رخس و زهرو می باشند (شکل ۴-۱۰).



شکل ۴-۱۱- نمونه هایی از تصاویر چشمه های کارستی حوضه هراز: الف) چشمه آستانه، ب) چشمه آب مراد، ج) چشمه دوبرار، د) چشمه رخس، ح) چشمه غسالخانه، و) چشمه شیخ علیخان

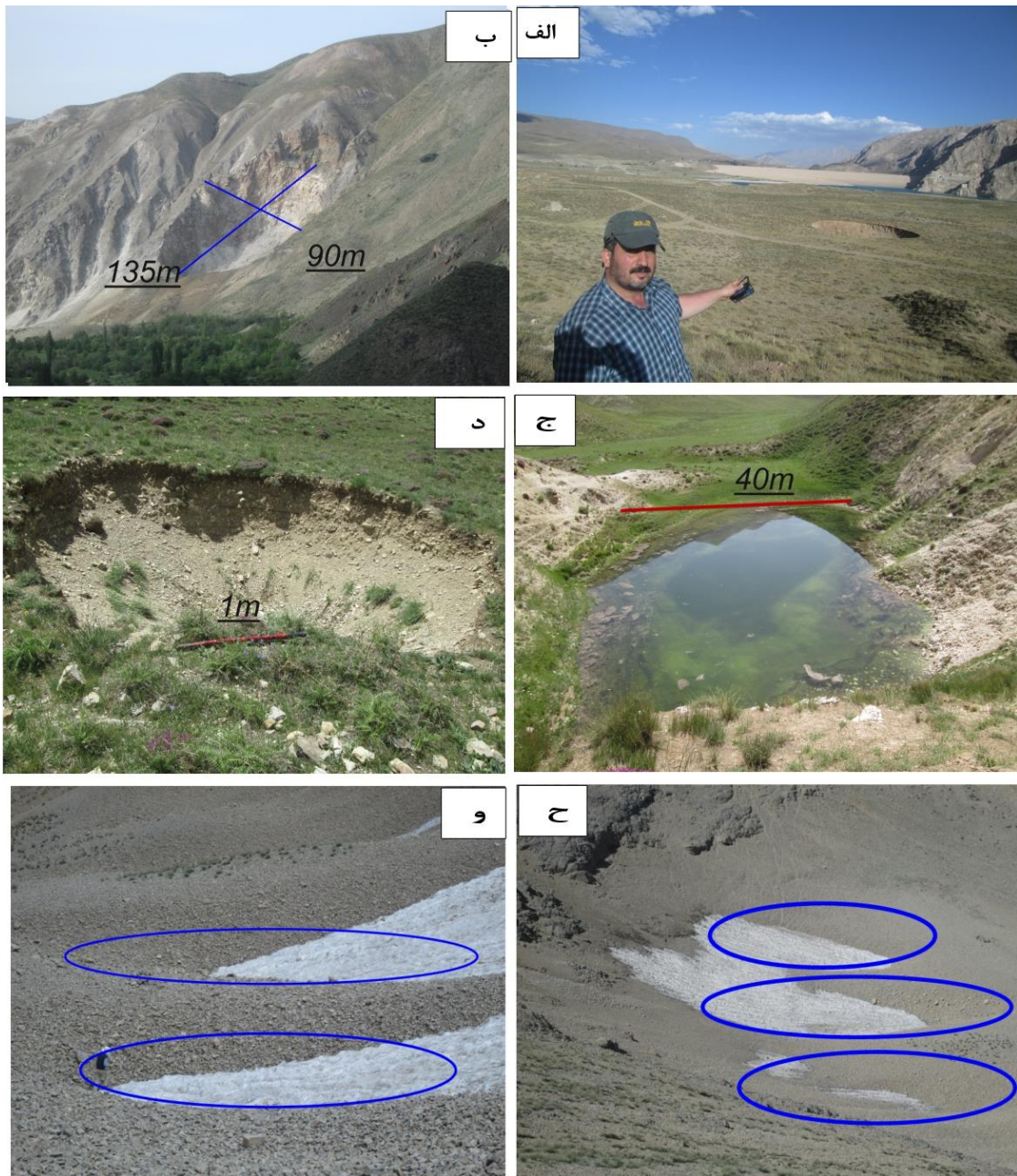
۴-۵-۳- فروچاله‌ها

به دلیل رخنمون قابل توجه سازندهای آهکی و گچی در منطقه هراز، دو گونه کارست گچی و کارست آهکی مشاهده می‌شود. در بخش جنوب غرب شهر بلده رخنمون فروچاله‌های عظیمی به تعداد ۱۵ عدد در مجاورت روستاهای یالرود، سراسب و حطر وجود دارد (شکل ۴-۱۲). در بالادست روستای حطر تعدادی از فروچاله‌های غرقابی نیز وجود دارد (شکل ۴-۱۳).

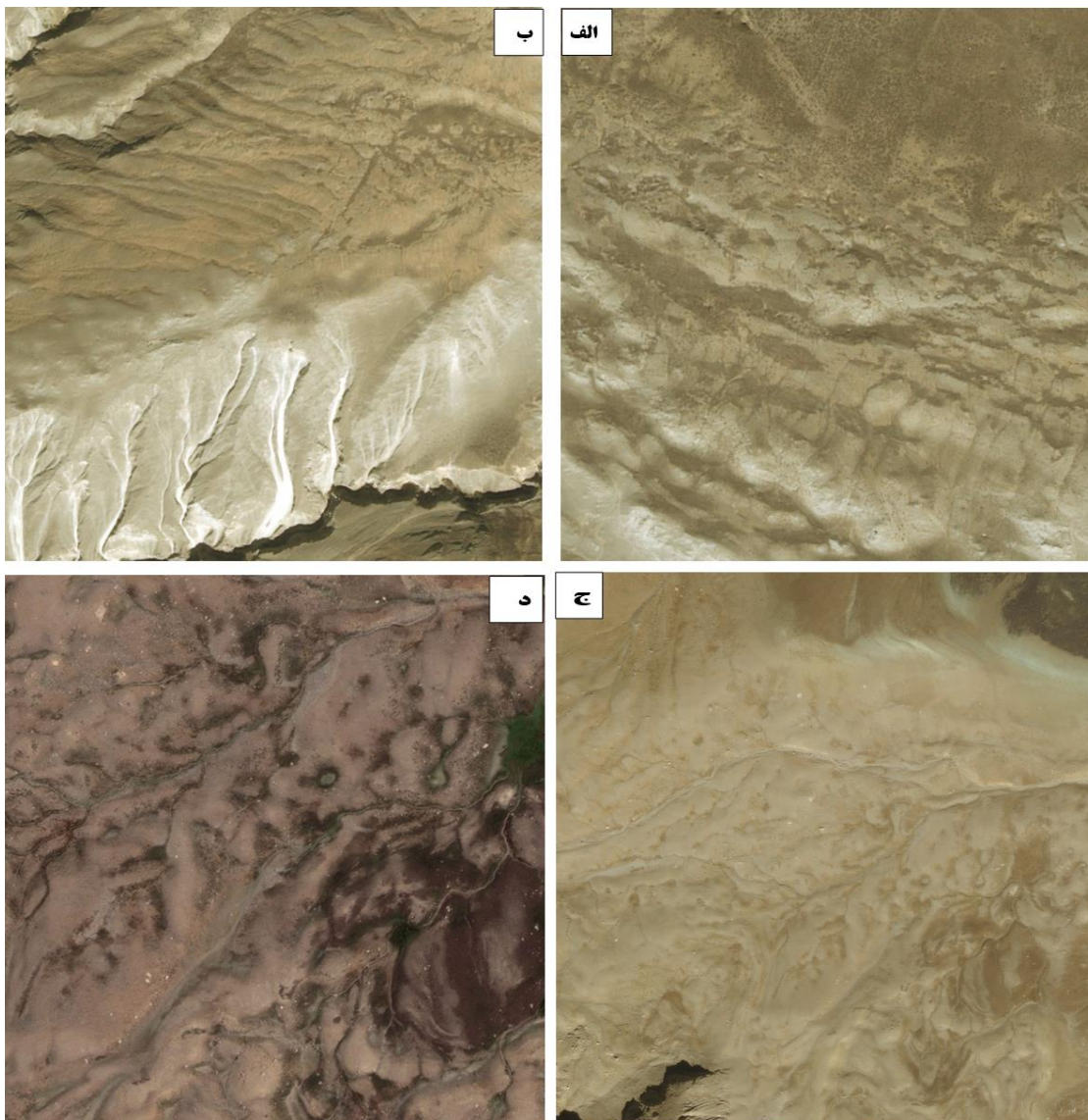


شکل ۴-۱۲- تصاویر هوایی از فروچاله‌ها در حوضه هراز الف و ب) کارست گچی منطقه یالرود، ج) ارتفاعات سراسب، د) ارتفاعات جنوبی حطر، ح) ارتفاعات ورارو، و) ارتفاعات دوبار

بر روی رخنمون‌های گچی منطقه یالرود حضور تعداد زیادی فروچاله کوچک منجر به عدم شکل-گیری شبکه زهکشی سطحی شده است (شکل ۴-۱۴). همچنین در ارتفاعات منطقه نمارستاق و در حوضه آبرگیر چشمه آستانه نیز این ساختار مشاهده می‌شود (شکل ۴-۱۴).



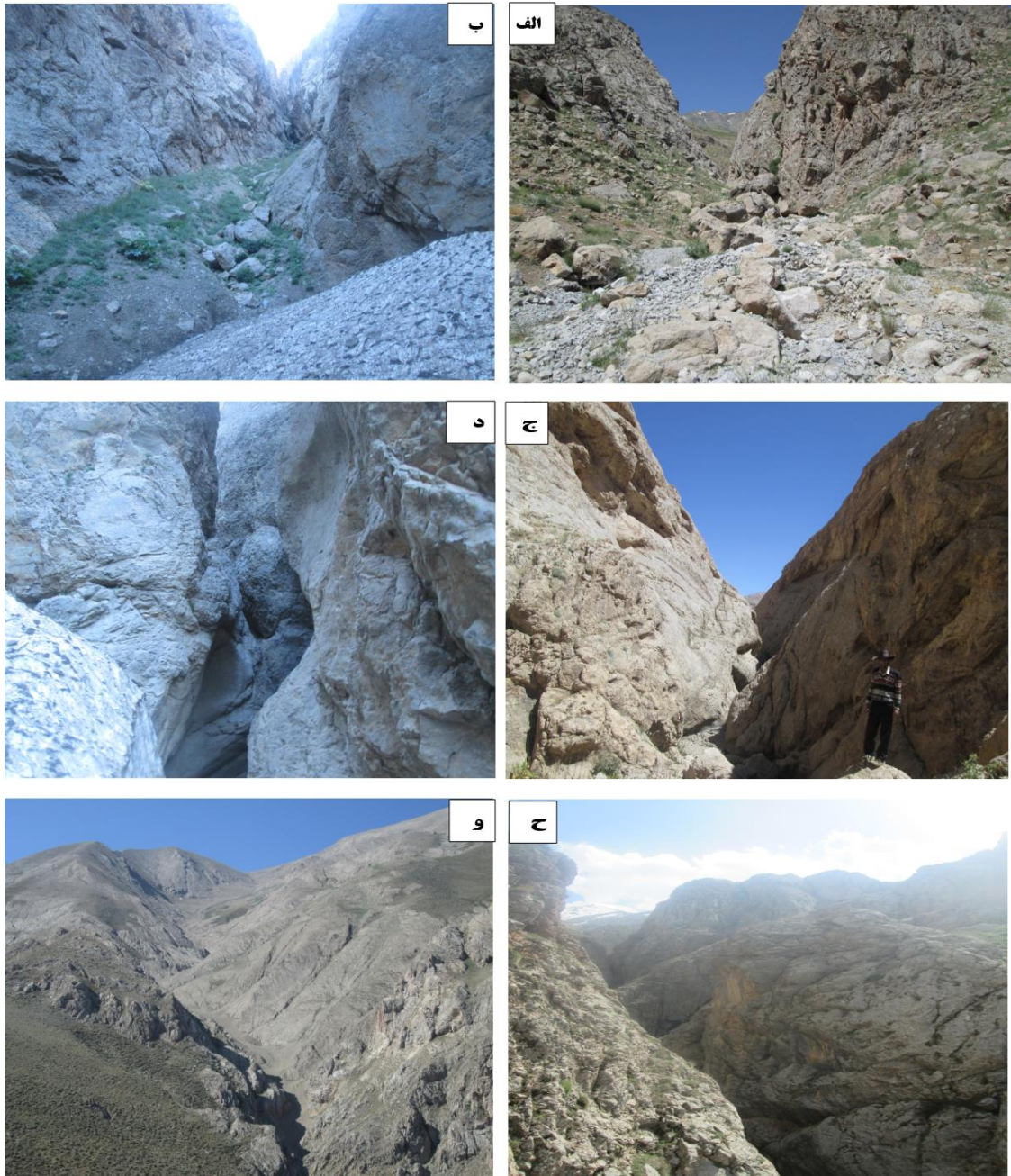
شکل ۴-۱۳- تصاویر صحرایی از فروچاله‌ها در منطقه مورد مطالعه. الف) فروچاله جوان دره لار، ب) فروچاله کارست گچی منطقه سراسب، ج) فروچاله‌های کارست گچی منطقه حطر، د) فروچاله‌های کارست گچی منطقه حطر، ح و و) ارتفاعات آهکی دوبار منطقه لاسم



شکل ۴-۱۴- تصاویر ماهواره‌ای از فروچاله‌ها حوضه هراز الف و ب) ارتفاعات حطر و یالرود، ج و د) ارتفاعات نماستاق

۴-۵-۴- دره‌های خشک

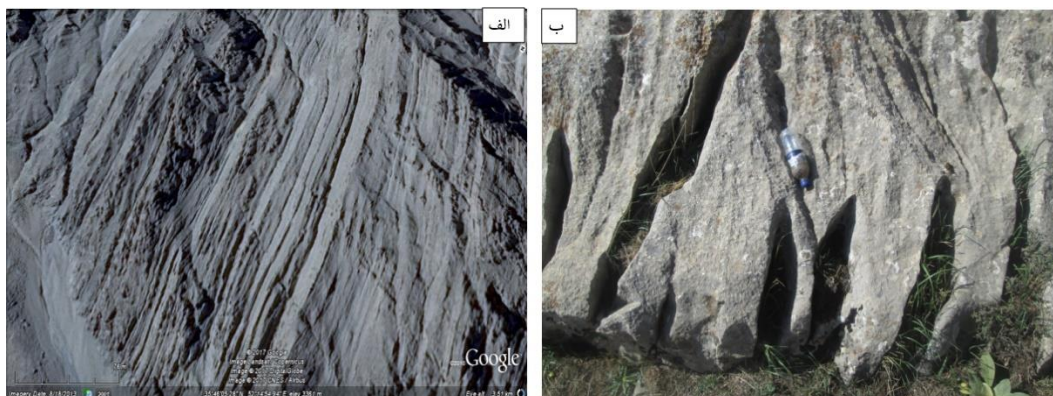
دره‌های کارستی یکی از مهمترین عوارض کارستی بزرگ مقیاس هستند که ممکن است خشک و یا آبدار بوده و یا در بخشی از مسیر خود این ویژگی‌ها را دارا باشند. در منطقه مورد مطالعه انواع مختلفی از دره‌های کارستی وجود دارند که غالباً تنگ بوده و از افت ارتفاعی شدیدی نسبت به طرفین دره برخوردار هستند. در برخی موارد افت ارتفاع به بیش از ۱۰۰ متر نیز می‌رسند (شکل ۴-۱۵).



شکل ۴-۱۵- تصاویر دره‌های خشک حوضه هراز الف، ب، ج و د (ارتفاعات لاسم، ح و و) ارتفاعات نمارستاق

۴-۵-۵- کارن‌ها

کارن‌ها فراوانترین عارضه‌های مناطق کارستی می‌باشند که نتیجه انحلال در امتداد درز و شکستگی‌ها و لایه‌بندی هستند. در این منطقه در مقیاس تصاویر صحرایی و ماهواره‌ای کارن‌ها به وضوح قابل شناسایی هستند و مناظر زیبایی را به وجود آورده‌اند (شکل ۱۶-۴).



شکل ۴-۱۶- تصاویر صحرایی و ماهواره‌ای از کارن‌های موجود در منطقه هراز

۴-۵-۶- عوارض انحلالی

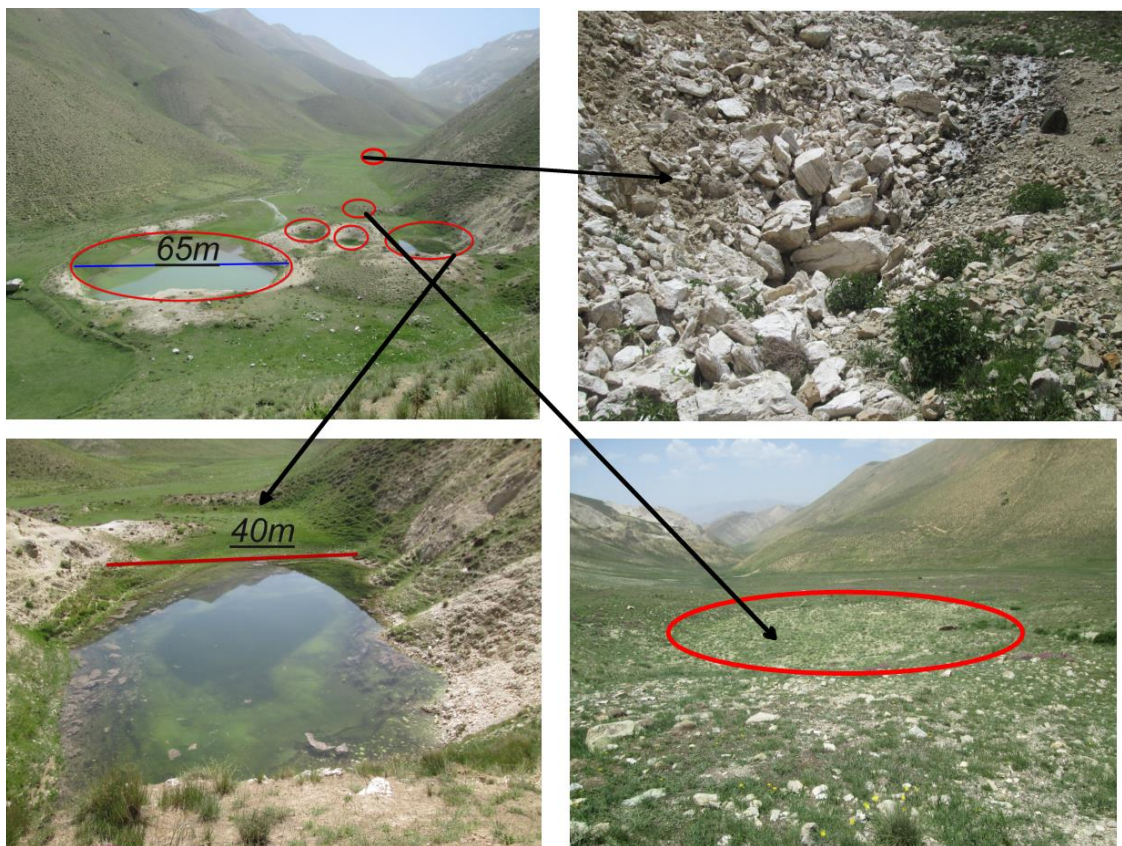
عوارض انحلالی از فراوانترین عوارض کارستی هستند که در این منطقه به وفور یافت می‌شوند. این عوارض در مقیاس‌های متفاوتی در صحرا قابل مشاهده هستند (شکل ۴-۱۷). عوارض انحلالی در تمامی واحدهای کربناته منطقه، از قدیم به جدید حضور دارند اما فراوانی آنها در آهک‌های توده‌ای (لار و تیزکوه) بیشتر می‌باشد. این عوارض در امتداد سطوح ضعیف اولیه (ناپیوستگی‌ها و لایه‌بندی‌ها) و نیز درزه و شکستگی‌ها توسعه بیشتری پیدا کرده‌اند.



شکل ۴-۱۷- تصاویر صحرایی از عوارض انحلالی

۴-۵-۷- پلیه کارستی

تکتونیک شدید و چین خوردگی‌ها باعث قطعه قطعه شدن منطقه شده و در اغلب موارد از شکل‌گیری عوارض کارستی متعلق به نواحی هموار (مثل پلیه) ممانعت به عمل آورده است. با این وجود در برخی مناطق چنین عوارضی در ابعاد کوچک مقیاس تشکیل شده است. یک نمونه از پلیه کوچک شکل گرفته بر روی سازند گچی ائوسن در منطقه شرق روستای حطر از توابع شهرستان بلده در شکل ۴-۱۸ نشان داده شده است. این پولیه دارای طول و عرض ۲۵۰۰ متر و ۱۳۵ متر می‌باشد. همچنین نمونه‌هایی از فروچاله‌های غرقابی و خشک در بخش بالایی و پایینی این پلیه وجود دارند (شکل ۴-۱۸). این پلیه از نوع باز است و ابعاد فروچاله‌های موجود در این پلیه از چند متر تا چندین ده متر متغیر می‌باشد.



شکل ۴-۱۸- تصاویر صحرائی از پلیه شمال شرق حطر و فروچاله‌های آن

با بررسی نتایج آنالیز مقادیر ضریب فرود و ژئومورفولوژی کارست در منطقه مورد مطالعه می‌توان چنین استنباط کرد که کارست‌های منطقه در رده کارست‌های توسعه یافته قرار می‌گیرند. مقدار توسعه کارست با توجه به شرایط مورفولوژیکی، مثل جهت شیب و جنس لیتولوژی واحد کربناته تا حدی متفاوت می‌باشد. لازم به ذکر است که در برخی موارد علی‌رغم وجود عوارض کارستی توسعه یافته، چشمه‌ها (آستانه) تغییرات چندان زیادی در دبی و روند فرود نشان نمی‌دهند. علت این امر تداوم فرآیند تغذیه به دلیل ماندگاری بالای برف در ارتفاعات تا اواسط تابستان (انگمار، آب‌مراد۱، رخش) و نیز شکل هندسی حوضه آبگیر چشمه‌ها می‌باشد. همچنین واحدهای گچ ائوسن، سازند لار و تیزکوه به ترتیب بیشترین درجه توسعه کارست را دارند و عوارض مورفولوژیکی با درجه توسعه بالای کارست، دارای فراوانی بیشتری در این واحدهای لیتولوژیکی هستند.

فصل پنجم: هیدروژئوشیمی بارش و چشمه‌های کارستی

مطالعات هیدروژئوشیمی از ضروریات اولیه ارزیابی و بررسی هر سیستم هیدروژئولوژیکی می‌باشد. علاوه بر این، تغییرات زمانی و مکانی پارامترهای هیدروژئوشیمیایی اطلاعات مفیدی را در مورد محیط آبخوان و سیستم غالب موجود در منطقه در اختیار محققان قرار می‌دهد. از نظر آلودگی احتمالی آبخوان‌های کارستی با توجه به پتانسیل نفوذ سریع و بالای این نوع از آبخوان‌ها، بررسی‌ها و مطالعات هیدروژئوشیمیایی آنها بسیار حائز اهمیت می‌باشد. از آنجایی که آبخوان‌های کارستی مناطق مرتفع عموماً توسط بارش و یا آب ناشی از ذوب برف تغذیه می‌شوند، بررسی کیفیت هیدروژئوشیمیایی آنها برای درک واکنش‌ها و منشاء یون‌ها از اهمیت بسزایی برخوردار است. در این فصل ترکیب هیدروژئوشیمیایی بارش‌ها و چشمه‌های کارستی و همچنین روند تغییرات آنها به اختصار مورد بررسی قرار می‌گیرند.

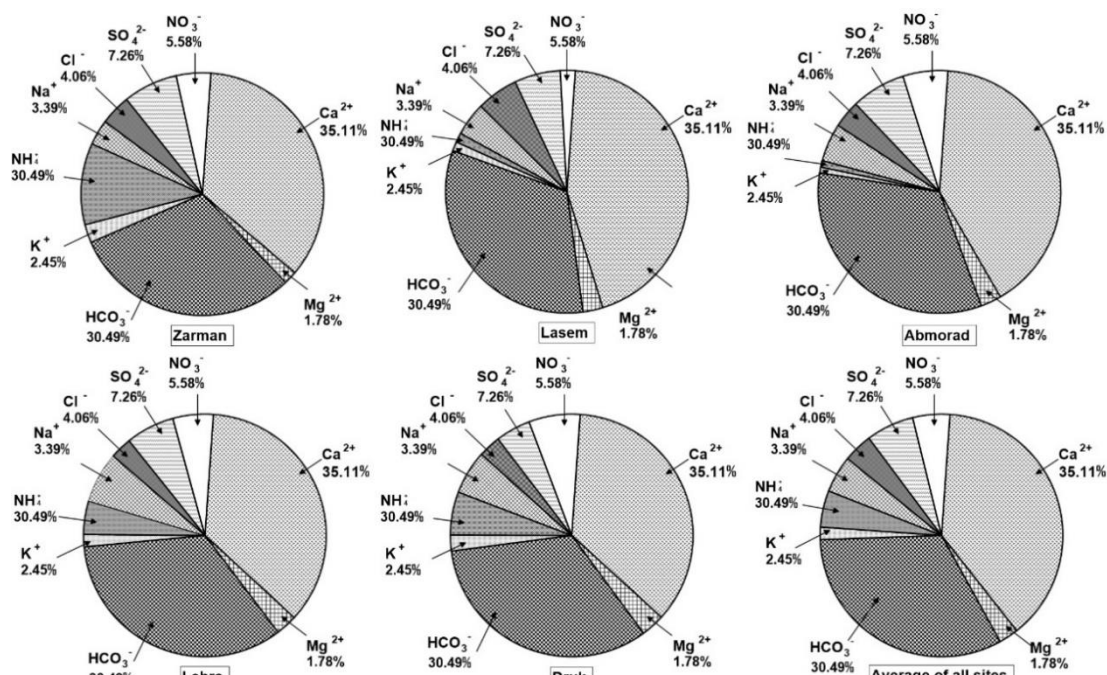
۵-۱- هیدروژئوشیمی بارش

با توجه به نقش بارندگی به عنوان عامل اصلی تغذیه و بررسی تغییرات مکانی و زمانی کیفیت بارش‌های منطقه مورد مطالعه اقدام به جمع‌آوری تعداد ۵۸ نمونه از ۵ ایستگاه ههرا، دریوک، لاسم آبمرد و زرمان (شکل ۵-۱) انتخاب گردید. میانگین غلظت عناصر اصلی در بارش‌های حوضه هراز در یک سال آبی در ۵ ایستگاه در جدول ۵-۱ و شکل ۵-۲ نشان داده شده است. بر اساس شکل ۵-۲، یون‌های غالب در ترکیب هیدروژئوشیمیایی بارش‌های منطقه بی‌کربنات و کلسیم می‌باشد که به صورت میانگین ۷۰ درصد از کل مواد محلول را شامل می‌شوند. یون‌های منیزیم و کلر نیز کمترین غلظت در این نمونه‌ها را دارند.



شکل ۵-۱- محل جمع‌آوری نمونه‌های بارش در ۵ ایستگاه انتخابی در حوضه هراز

بررسی تغییرات مکانی غلظت یون‌ها در نمونه بارش بیانگر بالاتر بودن مقادیر مواد محلول در بخش شمال غربی قله دماوند (دریوک و لهرآ) نسبت به بخش شرقی (آب‌مراد، زرمان و لاسم) آن می‌باشد.

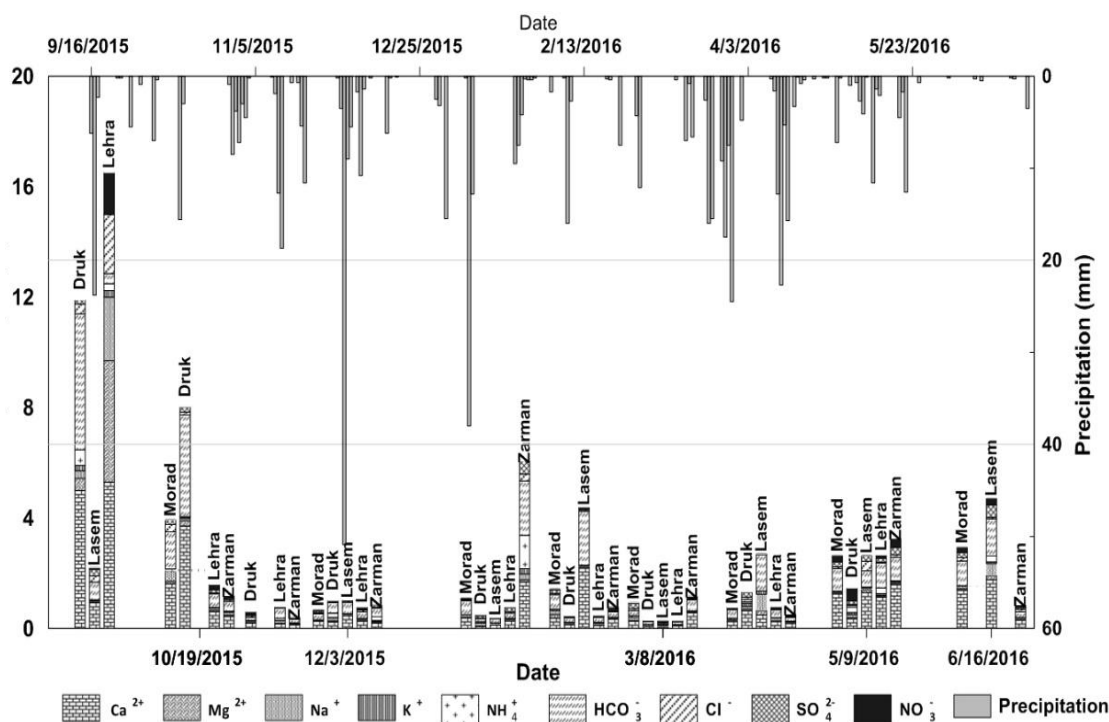


شکل ۵-۲- درصد توزیع مقادیر غلظت عناصر اصلی در ۵ ایستگاه و میانگین کل حوضه

جدول ۵-۱- میانگین غلظت عناصر اصلی در بارش‌های منطقه هراز (meq/L)

Sites	EC ($\mu\text{S/cm}$)	pH	TDS	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	NH ₄ ⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻
Zarman	۹۲/۵	۷/۶۶	۴۵/۳	۰/۶۹	۰/۰۴	۰/۰۷	۰/۰۵	۰/۲۱	۰/۶	۰/۰۸	۰/۱۴	۰/۰۹
Lasem	۱۱۸/۲	۷/۲۳	۶۳/۶	۰/۷۲	۰/۰۴	۰/۰۷	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۵۴	۰/۰۹	۰/۱	۰/۰۳
Abmorad	۹۳/۷	۷/۳۹	۵۱/۵	۰/۷	۰/۰۵	۰/۰۹	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۵۷	۰/۰۶	۰/۱۲	۰/۱
lehra	۱۴۴	۷/۲۳	۵۹/۹	۰/۴	۰/۰۳	۰/۰۸	۰/۰۲	۰/۰۵	۰/۳۸	۰/۰۳	۰/۰۷	۰/۰۶
Druk	۱۳۷	۷/۳۸	۸۱/۵	۰/۶۱	۰/۰۵	۰/۱	۰/۰۴	۰/۱	۰/۵۷	۰/۰۵	۰/۰۸	۰/۱۲

توزیع مقادیر غلظت عناصر اصلی را در طول سال در ۵ ایستگاه فوق‌الذکر در شکل ۵-۳ ارائه شده است. غلظت یون‌ها تقریباً روند یکسانی در تمام ایستگاه‌ها داشته و کلسیم و بی‌کربنات یون‌های غالب می‌باشند (شکل ۵-۳). همانگونه که در این شکل مشاهده می‌شود غلظت بیشینه عناصر در اواخر تابستان است و کمترین غلظت در زمستان می‌باشد.



شکل ۵-۳- ترکیب شیمیایی عناصر اصلی بارش‌های ماهانه در ۵ ایستگاه

دلیل غلظت بالای عناصر در فصول خشک ناشی از بالا رفتن مقادیر گرد و غبار در جو به دلیل کمبود بارش و نیز جریان‌های گرد و خاک از سطوح خشکی می‌باشد (Kazemi et al. 2015). برخی از ایستگاه‌ها در زمستان نیز غلظت بالایی دارند که دلیل آن انتقال گرد و غبار از دامنه‌های رو به جنوب فاقد پوشش برف می‌باشد. به‌علاوه در فصول تر مقادیر گرد و خاک با منشاء قاره‌ای نیز کاهش می‌یابد.

بالا بودن کلسیم و بی‌کربنات در غالب نمونه‌ها به دلیل وجود گرد و غبار با ماهیت کربناته و قابلیت انحلال بالا می‌باشد.

۵-۲- هیدروژن‌شیمی چشمه‌های کارستی

از طریق آنالیز عناصر اصلی چشمه‌های کارستی می‌توان به ویژگی‌های لیتولوژیکی منطقه تغذیه، محیط آبخوان و نیز مدت زمان ماندگاری آب در آبخوان‌ها دست یافت. همچنین بررسی تغییرات زمانی نیز اطلاعاتی در مورد درجه توسعه کارست و نیز نوع رژیم تغذیه فراهم می‌کند. بررسی نتایج هیدروژن‌شیمی با استفاده از نمودارهای ترسیمی تعبیر و تفسیر فرآیندهای پیچیده هیدروژن‌شیمیایی را آسانتر نموده و فرآیندهای حاکم بر محیط آبخوان را قابل درک می‌کند. نمودارهای مختلفی توسط محققین به این منظور ارائه شده است که مشهورترین آنها نمودارهای گیبس، پایپر، شولر و نمودارهای ترکیبی عناصر نسبت به هم می‌باشد. در این بخش به بررسی تغییرات ترکیب هیدروژن‌شیمی چشمه‌ها بر روی این نمودارها پرداخته شده و به تفکیک مناطق ارائه خواهند شد. لازم به ذکر است که علاوه بر یون‌های اصلی، فلوئور، نیتريت، آمونیوم، لیتیم فسفات و استرانسیم نیز اندازه‌گیری شده‌اند که غالباً کمتر از حد آستانه تشخیص توسط دستگاه بوده‌اند. به همین دلیل در جدول‌ها و شکل‌ها از نمایش آنها خودداری شده است ولی در صورت حضور یون در ترکیب آب به آنها اشاره شده است.

۵-۲-۱- چشمه‌های کارستی منطقه لاسم

چشمه‌های آهکی بخش جنوبی منطقه لاسم از سازند لار و کرتاسه بالایی خارج شده و همین دو سازند در حوضه آبگیر آنها رخنمون قابل توجهی دارند. نتایج آنالیز هیدروژن‌شیمیایی این منطقه در جدول ۵-۲ ارائه شده است.

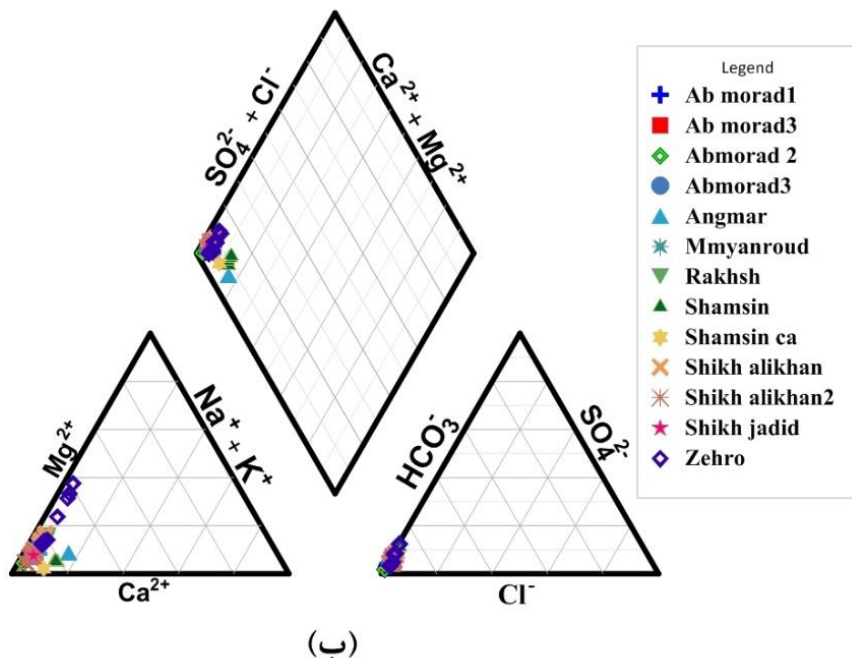
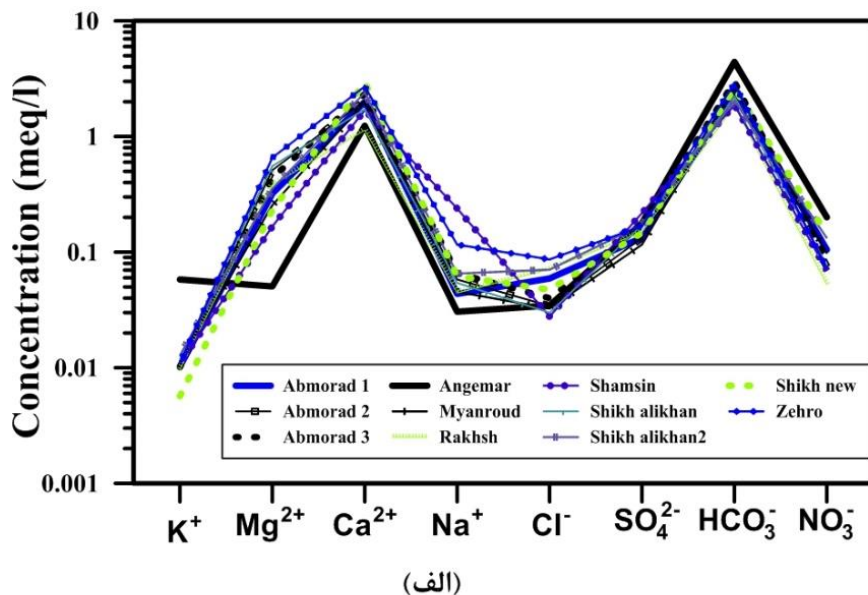
همانگونه که در جدول ۵-۲ مشاهده می‌شود دامنه تغییرات یون‌ها نسبتاً محدود بوده و یون‌های غالب کلسیم و بی‌کربنات می‌باشند. بر اساس نمودار شولر (شکل ۵-۴-الف) غلظت غالب یون‌ها پایین بوده و به ترتیب بی‌کربنات، کلسیم و منیزیم یون‌های غالب این چشمه‌ها می‌باشند

جدول ۵-۲- نتایج آنالیز هیدروشیمیایی در چشمه‌های کارستی بخش جنوبی منطقه لاسم

T (°C)	pH	EC (μS/cm)	Ca ²⁺ mg/l	Mg ²⁺ mg/l	Na ⁺ mg/l	K ⁺ mg/l	Cl ⁻ mg/l	NO ₃ ⁻ mg/l	SO ₄ ²⁻ mg/l	HCO ₃ ⁻ mg/l	TDS mg/l	تاریخ	چشمه
۶	۷/۷	۲۴۰	۴۰/۰	۳/۹	۱/۰۰	۰/۴۰	۲/۱	۴/۳	۶/۴۰	۱۸۰	۲۴۰	۱۰/۱۰/۱۵	آبمراود
۵/۶	۷/۳۳	۲۲۷	۳۹/۹	۵/۷	۱/۱۹	۰/۳۹	۱/۲	۴/۹	۶/۳۶	۱۷۰	۲۳۰	۱۲/۳/۱۵	آبمراود
۵/۶	۷/۳۳	۲۲۷	۴۲/۶	۵/۶	۱/۱۱	۰/۳۴	۱/۱	۴/۰	۶/۰۷	۱۶۵	۲۲۶	۴/۶/۱۶	آبمراود
۶/۲	۷/۴۵	۲۳۰	۴۱/۶	۶/۰	۱/۱۵	۰/۳۵	۱/۱	۴/۱	۶/۳۴	۱۹۰	۲۵۱	۳/۷/۱۶	آبمراود
۶/۲	۷/۵۹	۲۲۷	۴۰/۲	۶/۲	۱/۲۲	۰/۳۶	۱/۱	۴/۵	۶/۵۱	۱۵۰	۲۱۰	۲/۱۲/۱۶	آبمراود
۵/۰	۷/۷۲	۱۵۵	۲۸/۲	۲/۴	۰/۶۰	۰/۲۲	۰/۵	۲/۵	۳/۰۰	۱۱۲	۱۴۹	۶/۱۶/۱۶	آبمراود
۵/۹	۷/۷۵	۲۲۷	۴۰/۲	۶/۱	۱/۳۶	۰/۴۳	۱/۲	۵/۱	۶/۴۹	۱۵۵	۲۱۶	۹/۱۸/۱۵	آبمراود
۵/۸	۷/۷۳	۱۶۱	۳۱/۰	۲/۱	۰/۶۷	۰/۳۱	۰/۷	۵/۳	۵/۰۲	۱۶۲	۲۰۷	۵/۹/۱۶	آبمراود
۵/۸	۷/۸۱	۲۲۹	۴۱/۱	۶/۳	۱/۳۴	۰/۴۱	۱/۲	۴/۶	۶/۳۸	۱۶۲	۲۲۳	۷/۱۸/۱۵	آبمراود
۴/۵	۷/۸۳	۲۳۴	۴۵/۶	۲/۹	۰/۹۰	۰/۳۳	۱/۰	۳/۲	۶/۱۸	۱۴۲	۲۰۲	۴/۶/۱۶	آبمراود ۲
۵/۰	۷/۸۴	۲۴۴	۴۵/۸	۳/۹	۱/۰۶	۰/۳۶	۱/۳	۳/۹	۶/۸۵	۱۴۳	۲۰۶	۳/۷/۱۶	آبمراود ۲
۵/۲	۷/۹۷	۲۴۶	۴۵/۳	۳/۶	۱/۳۱	۰/۴۴	۱/۲	۵/۳	۶/۹۹	۱۴۵	۲۰۹	۵/۹/۱۶	آبمراود ۲
۵/۱	۷/۸۹	۲۳۲	۴۳/۸	۴/۳	۱/۲۱	۰/۴۲	۱/۳	۴/۳	۶/۹۶	۱۳۳	۱۹۵	۲/۱۲/۱۶	آبمراود ۲
۵/۰	۷/۸۳	۹۹	۱۸/۴	۰/۹	۰/۲۶	۰/۱۵	۰/۳	۱/۸	۱/۳۰	۶۷	۹۰	۶/۱۶/۱۶	آبمراود ۲
۵/۵	۷/۸۸	۲۴۸	۴۶/۷	۵/۳	۱/۵۱	۰/۴۰	۱/۴	۵/۲	۷/۸۷	۱۸۲	۲۵۰	۶/۱۶/۱۶	آبمراود ۳
۳/۳	۷/۹۴	۱۵۱	۲۷/۴	۲/۲	۰/۸۷	۰/۳۰	۱/۰	۴/۵	۵/۴۱	۱۱۰	۱۵۲	۶/۱۵/۱۵	انگمار
۳/۵	۷/۷۹	۱۵۸	۲۸/۳	۳/۶	۱/۱۲	۰/۴۱	۱/۲	۳/۰	۵/۷۶	۱۱۲	۱۵۵	۷/۱۸/۱۵	انگمار
۳/۸	۷/۸۱	۱۵۸	۲۸/۱	۳/۸	۱/۰۱	۰/۳۱	۱/۱	۳/۸	۵/۸۲	۱۱۴	۱۵۸	۹/۱۸/۱۵	انگمار
۴/۵	۷/۷	۱۵۲	۳۱/۰	۲/۴	۱/۰۰	۰/۳۰	۲/۰	۳/۳	۶/۴۰	۱۱۰	۱۵۶	۱۰/۱۰/۱۵	انگمار
۹	۷/۸	۲۰۵	۳۹/۷	۳/۱	۱/۰۵	۰/۴۵	۱/۲	۶/۱	۵/۵۸	۱۲۰	۵۷	۵/۹/۱۶	میانرود
۴/۲	۷/۳۳	۱۵۴	۲۳/۳	۴/۶	۰/۹۸	۰/۳۱	۲/۴	۳/۳	۷/۱۱	۱۰۲	۱۴۴	۹/۱۸/۱۵	رخش
۳/۰	۷/۴۳	۱۴۷	۲۲/۶	۴/۶	۰/۹۷	۰/۳۸	۲/۴	۳/۱	۷/۰	۱۰۴	۱۴۵	۷/۱۸/۱۵	رخش
۵/۰	۷/۳۳	۱۵۳	۲۲/۸	۴/۶	۱/۰۰	۰/۳۹	۲/۴	۳/۳	۷/۰	۱۰۶	۱۴۷	۱۱/۹/۱۵	رخش
۴/۵	۷/۶۴	۱۵۳	۲۳/۴	۴/۷	۰/۹۱	۰/۳۲	۲/۹	۲/۸	۷/۶	۱۰۸	۱۵۱	۶/۱۶/۱۵	رخش
۴/۲	۷/۶۶	۱۴۹	۲۲/۷	۴/۶	۱/۰۲	۰/۳۸	۲/۵	۳/۲	۷/۱	۱۱۲	۱۵۴	۱۰/۱۹/۱۵	رخش
۲/۸	۷/۱۵	۱۹۸	۳۳/۹	۲/۰	۵/۴۹	۰/۴۲	۱/۰	۴/۳	۱۰/۴	۱۱۵	۱۷۳	۱۰/۱۹/۱۵	شمسین
۲/۹	۷/۲۴	۱۹۸	۳۴/۲	۲/۰	۴/۸۸	۰/۴۰	۰/۹	۴/۲	۱۰/۹	۱۱۰	۱۶۷	۶/۱۶/۱۵	شمسین
۲/۹	۷/۱۵	۲۰۵	۳۶/۹	۲/۳	۵/۴۳	۰/۳۹	۰/۹	۳/۹	۱۱/۶	۱۰۰	۱۶۱	۷/۱۸/۱۵	شمسین
۲/۸	۷/۲۴	۱۹۹	۳۵/۶	۲/۲	۵/۳۷	۰/۳۹	۰/۹	۴/۱	۱۲/۲	۹۵	۱۵۶	۹/۱۸/۱۵	شمسین
۵/۵	۷/۳۶	۲۱۷	۳۴/۵	۶/۷	۱/۲۵	۰/۴۶	۱/۱	۴/۸	۸/۲۵	۱۳۵	۱۹۲	۱۲/۳/۱۵	شیخ علیخان ۱
۵/۸	۷/۶۹	۲۲۳	۳۷/۶	۵/۷	۱/۱۵	۰/۴۹	۱/۰	۶/۳	۱۰/۸	۱۰۵	۱۶۸	۴/۶/۱۶	شیخ علیخان ۱
۶/۰	۷/۷۹	۲۱۷	۳۶/۱	۵/۹	۱/۱۹	۰/۵۰	۱/۰	۵/۲	۹/۳۰	۱۰۷	۱۶۶	۳/۷/۱۶	شیخ علیخان ۱
۶/۲	۷/۸۳	۱۶۲	۳۱/۴	۳/۶	۰/۷۰	۰/۳۸	۰/۵	۳/۵	۴/۸۹	۹۳	۱۳۸	۵/۹/۱۶	شیخ علیخان ۱
۵/۲	۷/۴۵	۲۱۹	۳۹/۲	۴/۵	۰/۹۴	۰/۵۰	۱/۰	۶/۴	۸/۸۵	۱۰۷	۱۶۸	۱/۱۶/۱۶	شیخ علیخان ۱
۵/۱	۷/۷۲	۱۵۷	۲۸/۳	۴/۹	۰/۹۰	۰/۳۴	۰/۷	۳/۳	۵/۲۸	۱۱۵	۱۵۹	۶/۱۶/۱۶	شیخ علیخان ۱
۴/۹	۸/۰۱	۲۰۸	۳۲/۱	۶/۷	۱/۲۳	۰/۴۱	۱/۱	۴/۱	۶/۸۵	۱۳۱	۱۸۴	۹/۱۸/۱۵	شیخ علیخان ۱
۶/۰	۷/۵۷	۲۷۳	۴۸/۰	۵/۰	۱/۵۰	۰/۴۷	۱/۹	۸/۴	۱۱/۵	۱۳۵	۲۱۲	۱۲/۳/۱۵	شیخ علیخان ۲
۵/۰	۷/۹۹	۲۸۹	۵۱/۴	۴/۱	۱/۴۶	۰/۴۵	۱/۶	۵/۱	۱۰/۰	۱۵۰	۲۲۴	۴/۶/۱۶	شیخ علیخان ۲
۸/۵	۸/۰۱	۲۷۰	۵۳/۸	۴/۱	۱/۴۲	۰/۵۱	۱/۶	۵/۴	۱۲/۱	۱۶۰	۲۳۹	۳/۷/۱۶	شیخ علیخان ۲
۸/۵	۸/۰۰	۲۴۰	۴۳/۸	۳/۵	۱/۳۳	۰/۴۰	۱/۳	۵/۳	۶/۷۶	۱۱۰	۱۷۲	۵/۹/۱۶	شیخ علیخان ۲
۷/۵	۷/۹۴	۲۶۸	۴۷/۸	۵/۲	۱/۶۰	۰/۴۴	۱/۷	۶/۳	۱۰/۴	۱۶۵	۲۳۸	۲/۱۲/۱۶	شیخ علیخان ۲
۷/۳	۷/۶۴	۲۶۷	۴۷/۲	۴/۹	۱/۵۱	۰/۴۷	۲/۸	۳/۹	۶/۳۴	۱۳۰	۱۹۷	۱/۱۶/۱۶	شیخ علیخان ۲
۸/۵	۷/۷۸	۲۳۱	۴۱/۱	۴/۲	۱/۳۵	۰/۴۲	۱/۳	۴/۹	۶/۵۷	۱۱۲	۱۷۲	۶/۱۶/۱۶	شیخ علیخان ۲
۸/۹	۷/۹	۲۵۰	۴۸/۰	۴/۳	۱/۵۰	۰/۵۰	۲/۵	۵	۸/۳۰	۱۴۰	۶۵	۱۰/۱۰/۱۵	شیخ علیخان ۲
۶/۱	۷/۷۸	۳۱۴	۵۴/۳	۸/۰	۲/۶۷	۰/۴۳	۳/۱	۴/۵	۸/۰۷	۱۷۵	۲۵۶	۴/۶/۱۶	زهره
۷/۸	۷/۸۲	۳۰۲	۵۰/۴	۷/۹	۲/۵۵	۰/۴۵	۲/۹	۴/۱	۶/۶۳	۲۰۰	۲۷۵	۹/۱۸/۱۵	زهره
۶/۱	۷/۷۲	۳۱۹	۵۴/۹	۸/۰	۳/۰۵	۰/۴۶	۳/۱	۴/۲	۹/۰۵	۱۷۰	۲۵۳	۳/۷/۱۶	زهره
۷/۸	۷/۶۱	۲۷۷	۴۵/۹	۸/۰	۲/۸۴	۰/۴۸	۳/۱	۴/۰	۸/۰۲	۱۶۵	۲۳۷	۲/۱۲/۱۶	زهره
۷/۸	۷/۷۸	۲۸۲	۴۶/۶	۷/۹	۲/۵۰	۰/۴۳	۱/۸	۶/۶	۱۲/۱	۱۳۲	۲۱۰	۶/۱۵/۱۵	زهره
۸/۱	۷/۷۲	۳۰۰	۵۰/۸	۸/۰	۲/۴۵	۰/۳۹	۲/۸	۳/۸	۶/۲۸	۱۷۵	۲۴۹	۶/۱۶/۱۶	زهره
۸/۰	۷/۶۵	۳۰۳	۵۲/۰	۸/۱	۲/۵۴	۰/۴۳	۲/۹	۲/۴	۵/۵۷	۱۷۰	۲۴۴	۷/۱۸/۱۵	زهره
۸/۵	۷/۸	۲۸۹	۴۳/۳	۶/۳	۳/۷۳	۱/۰۱	۲/۶	۳۵/۰۳	۱۷/۳	۱۷۵	۲۵۰	۱۰/۱۹/۱۵	زهره

تیپ آب در تمامی چشمه‌ها بیکربناته کلسیک است (شکل ۵-۴-ب) و در این نمودار تقریباً تمامی

چشمه‌ها در یک نقطه قرار می‌گیرند



شکل ۵ - ۴ - الف) نمودار شولر ب) نمودار پایپر چشمه‌های بخش جنوبی منطقه لاسم

چشمه شمسین تا حدی رفتار متفاوتی نشان می‌دهد که به دلیل جاری شدن از مسیر گسل و طی کردن حدود ۴۰۰-۶۰۰ متر در عرض سازند کرج با ترکیب شیل سیاه رنگ در این محل می‌باشد. این

امر منجر به واکنش یونی معکوس شده، یون سدیم جایگزین کلسیم می‌گردد به گونه‌ای که مقادیر سدیم در این چشمه نسبت به سایر چشمه‌های خروجی از این بخش تا ۳ برابر افزایش پیدا کرده است. نتایج آنالیز شیمیایی چشمه‌های بخش شمالی در جدول ۵-۳ آورده شده است. لازم به ذکر است که چشمه‌های این بخش از دو واحد لیتولوژیکی لار و زیارت خارج می‌شوند. چشمه‌های زرین چشمه، مرچ و زرده از سازند لار خارج شده، اما سه چشمه لترشک، لاله‌گون و کیان از سازند زیارت منشأ می‌گیرند.

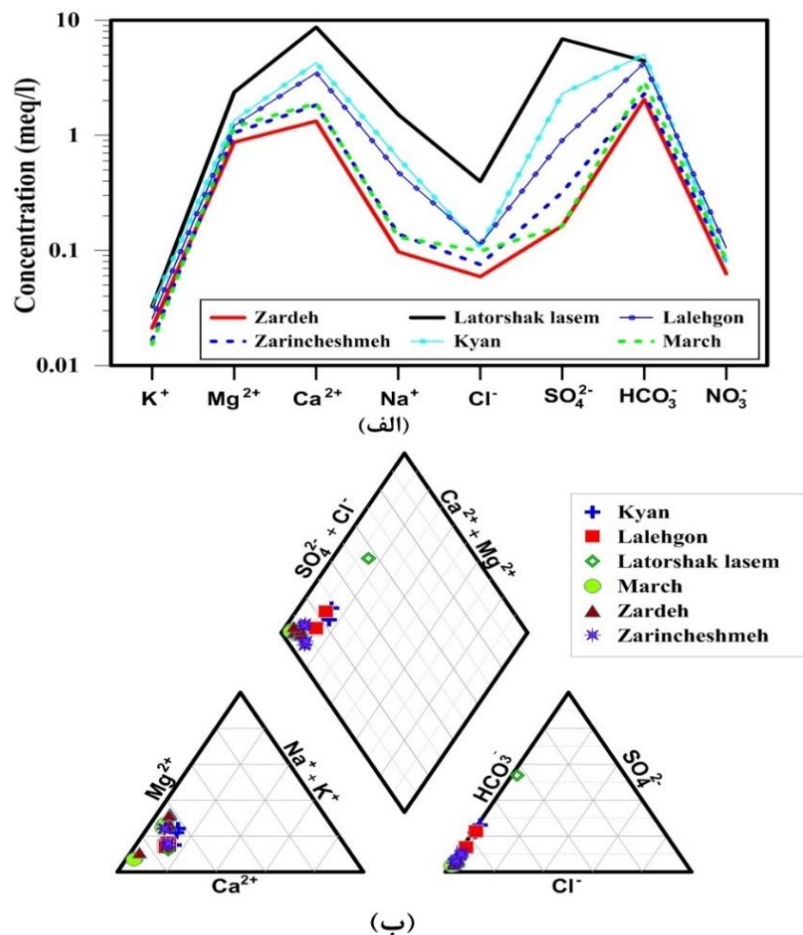
جدول ۵-۳- نتایج آنالیز هیدروشیمیایی در چشمه‌های کارستی بخش شمالی منطقه لاسم

T (°C)	Sr mg/l	pH	EC (μS/cm)	Ca ²⁺ mg/l	Mg ²⁺ mg/l	Na ⁺ mg/l	K ⁺ mg/l	Cl ⁻ mg/l	NO ₃ ⁻ mg/l	SO ₄ ²⁻ mg/l	HCO ₃ ⁻ mg/l	TDS mg/l	تاریخ	چشمه
۹/۷	۳/۱۲	۷/۶۷	۵۵۰	۶۵/۱	۱۳/۹	۱۳/۴	۱/۲۱	۳/۶	۴/۵	۷۴/۰	۳۰۸	۴۸۳	۱۲/۳/۱۵	کیان
۱۰/۵	۳/۸۵	۷/۸۰	۴۴۴	۸۵/۵	۱۶/۴	۱۴/۵	۱/۲۸	۳/۸	۴/۸	۱۱۰/۰	۲۶۱	۴۹۸	۳/۷/۱۶	کیان
۱۰/۵	۵/۵	۸/۱	۳۳۵	۷۰/۰	۱۴/۷	۱۱/۰	۱/۰۰	۴/۰	۱۲/۵	۴۳/۵	۲۶۰	۳۸۰	۱۰/۱۰/۱۵	لاله‌گون
۱۱	۵/۸۵	۷/۸	۴۲۰	۷۴/۸	۱۴/۹	۱۱/۱	۱/۱۶	۴/۲	۱۳	۷۷/۱	۲۸۰	۶۹۸	۴/۶/۱۶	لاله‌گون
۷/۷	n/a	۷/۶	۲۵۸	۳۸/۰	۱۴/۴	۳/۰۰	۰/۶۰	۳/۵	۶/۳	۷۱۸/۰	۱۷۲	۲۵۰	۱۰/۱۰/۱۵	مرچ
۸/۱	n/a	۷/۸۲	۲۶۲	۳۴/۵	۱۲/۴	۲/۵۲	۰/۷۲	۲/۷	۶/۳	۱۲/۳	۱۷۰	۲۴۱	۱۲/۳/۱۵	مرچ
۸/۲	n/a	۷/۸۸	۲۴۷	۳۱/۶	۱۱/۹	۱/۹۹	۰/۶۷	۲/۵	۶/۴	۹/۲۸	۱۷۵	۲۳۹	۵/۹/۱۶	مرچ
۸/۲	n/a	۷/۳۵	۲۶۱	۳۴/۱	۱۲/۲	۲/۴۶	۰/۷۵	۲/۷	۵/۸	۱۱/۷	۱۸۲	۲۵۲	۹/۱۸/۱۵	مرچ
۷/۹	n/a	۷/۳۵	۲۶۴	۳۷/۴	۱۳/۲	۲/۵۰	۰/۷۴	۲/۹	۵/۲	۱۴/۸	۱۸۳	۲۵۵	۴/۶/۱۶	مرچ
۸/۸	n/a	۷/۲۷	۲۶۵	۵۰/۹	۴/۵	۱/۶۰	۰/۴۴	۱/۷	۶/۲	۸/۶۷	۱۸۸	۲۵۰	۴/۶/۱۶	مرچ
۷/۵	n/a	۷/۸۲	۲۱۷	۲۶/۶	۱۰/۶	۲/۲۴	۰/۸۳	۲/۱	۳/۹	۷/۸۶	۱۲۵	۱۷۹	۱۲/۳/۱۵	زرده
۶/۰	n/a	۷/۸۱	۲۱۵	۲۶/۶	۱۰/۵	۲/۲۳	۰/۸۲	۲/۱	۳/۹	۷/۸۵	۱۱۰	۱۶۴	۵/۹/۱۶	زرده
۶/۰	n/a	۷/۸۲	۲۰۸	۲۶/۱	۱۰/۴	۲/۲۰	۰/۸۳	۲/۱	۳/۸	۷/۶۷	۱۱۵	۱۶۸	۶/۱۶/۱۶	زرده
۷/۰	n/a	۷/۲۰	۲۱۵	۲۶/۷	۱۰/۶	۲/۱۱	۱/۳۱	۲/۴	۳/۹	۷/۹۴	۱۲۵	۱۸۰	۱۰/۱۰/۱۵	زرده
۷/۰	n/a	۷/۴۰	۲۱۸	۲۷/۵	۱۰/۵	۲/۱۲	۰/۸۴	۲/۱	۳/۹	۸/۰۵	۱۱۰	۱۶۵	۴/۶/۱۶	زرده
۶/۷	n/a	۷/۸۱	۲۳۲	۴۰/۴	۵/۱	۱/۲۶	۰/۴۲	۱/۳	۷/۰	۷/۶۷	۱۲۵	۱۸۸	۳/۷/۱۶	زرده
۹/۵	n/a	۷/۷۸	۲۷۷	۳۶/۶	۱۲/۸	۳/۱۹	۰/۶۵	۲/۷	۴/۹	۱۵/۳	۱۴۰	۲۱۶	۴/۶/۱۶	زرین چشمه
۹/۵	n/a	۷/۸۳	۲۹۱	۳۷/۴	۱۳/۰	۳/۱۹	۰/۶۲	۲/۷	۴/۷	۱۵/۵	۱۵۰	۲۲۷	۵/۹/۱۶	زرین چشمه
۱۱/۰	n/a	۷/۸۰	۲۸۵	۳۷/۷	۱۳/۲	۳/۲۹	۰/۵۵	۲/۶	۴/۵	۱۵/۶	۱۳۰	۳۰۷	۶/۱۶/۱۶	زرین چشمه
۱۱/۵	n/a	۷/۷۱	۲۸۶	۳۹/۶	۱۳/۹	۳/۴۸	۰/۶۸	۲/۷	۵/۰	۱۶/۵	۱۵۰	۳۳۲	۹/۱۸/۱۵	زرین چشمه
۱۱/۱	n/a	۷/۸۹	۱۰۱۸	۱۷۴	۲۸/۷	۳۴/۸	۱/۲۶	۱۴	n/a	۳۳۰	۲۷۰	۸۵۳	۱۰/۱۰/۱۵	لترشک

غلظت یون‌ها در سه چشمه خروجی از سازند زیارت بیشتری بوده و در چشمه لترشک مقادیر بیشینه را نشان می‌دهد. یون غالب در این نمونه‌ها بی‌کربنات و کلسیم می‌باشند اما در چشمه لترشک یون سولفات بر یون بی‌کربنات غلبه نموده است. تیپ آب در چشمه‌های این ناحیه بی‌کربناته کلسیک تا بی‌کربناته کلسیک-منیزیک می‌باشد اما در چشمه لترشک تیپ آب سولفاته کلسیک است (شکل ۵-۶). چشمه‌های خروجی از سازند زیارت دارای غلظت بیشتری از یون‌های منیزیم، کلسیم، سدیم، کلر،

سولفات، و بی کربناته هستند که به دلیل وجود بین لایه های مارنی و گچی در سازند زیارت می باشند که باعث تخریب کیفیت آب شده اند.

به جز چشمه های کیان و لاله گون که از بخش آهکی سازند زیارت خارج می شوند، مقادیر استرانسیوم در همه چشمه ها کمتر از مقدار آستانه تشخیص دستگاه می باشد (جدول ۵-۳). حضور استرانسیوم و سولفات در این چشمه ها به دلیل حضور سولفات استرانسیوم در ترکیب لیتولوژیکی (عمدتاً نومولیت ها) این سازند بوده (Khatibi Mehr and Adabi, 2014). آدابی و همکاران (۱۳۸۸) و بیانگر انحلال پذیری بالای آنها می باشد. لازم به ذکر است که مقدار نیترات در نمونه متعلق به چشمه لترشک کمتر از حد قابل پایش توسط دستگاه آنالیز کننده بوده است در حالی که در تمامی نمونه های بارشی این منطقه، نیترات حضور دارد که این امر می تواند مربوط به فرآیند نیترات زدایی در این آبخوان سطحی باشد.



شکل ۵-۵- الف) نمودار شولر ب) نمودار پایپر چشمه های بخش شمالی منطقه لاسم

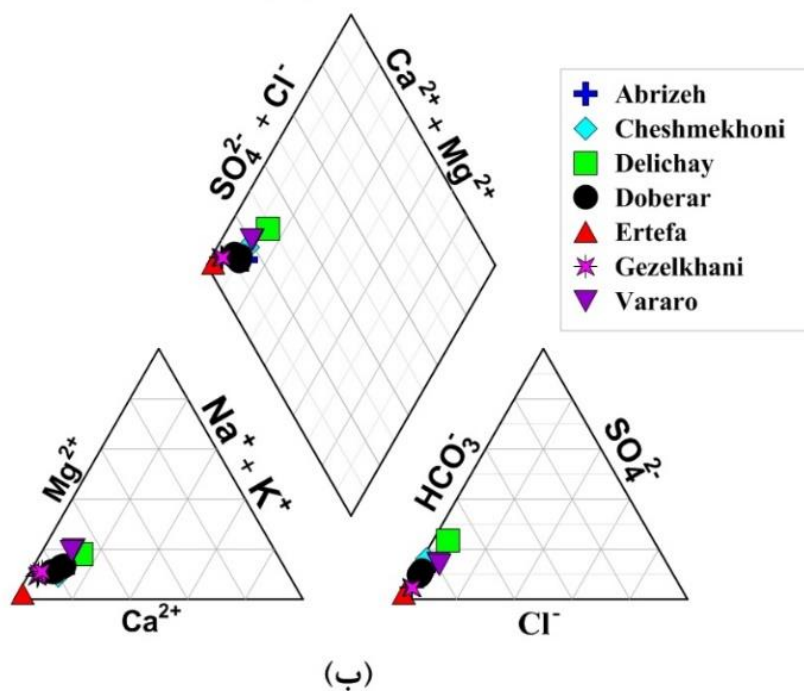
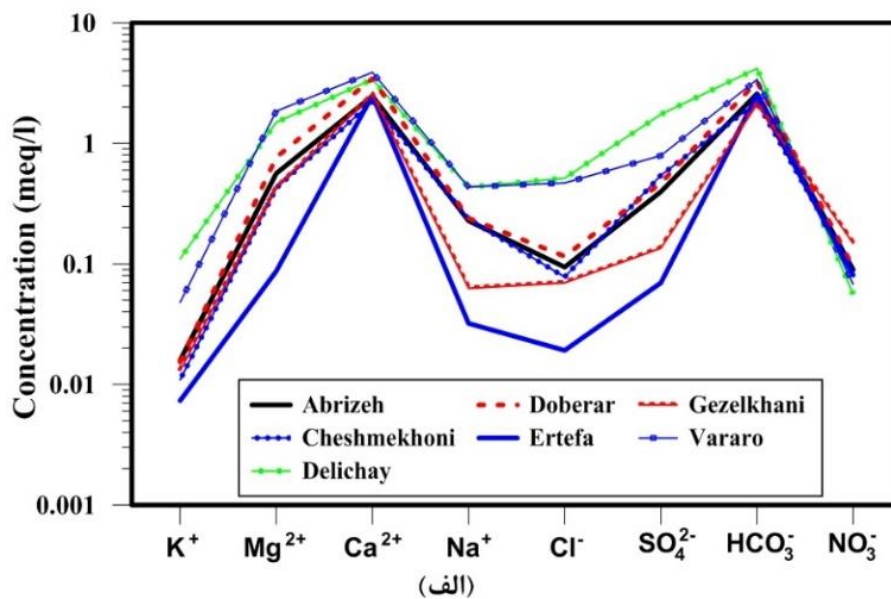
۵-۲-۲- چشمه‌های کارستی در حوضه لار

چشمه‌های کارستی حوضه لار عموماً از سازندهای تیزکوه، لار و دلیچای خارج می‌شوند. در جدول ۵-۴ مشخصات هیدروژئوشیمیایی این چشمه‌ها ارائه شده است. بیشترین مقدار غلظت یون‌ها و مجموع مواد محلول در چشمه‌های نزدیکتر (ورارو و دلیچای) به قله آتشفشانی دماوند مشاهده می‌شود (شکل ۵-۶ الف). علت این امر ناشی از اختلاط سیالات گرمابی و نیز انتشار گازهای گوگردی از طریق گسل‌های عمیق می‌باشد. حضور چشمه‌های آب گرم و انتشار بوی سولفید در اطراف منطقه دیوآسیاب مشهود بوده و مؤید این مطلب می‌باشد. چشمه ارتفاع دارای بهترین کیفیت و کمترین مقادیر غلظت یونی است.

جدول ۵-۴- ترکیب هیدروژئوشیمیایی چشمه‌های منطقه لار

چشمه	تاریخ	TDS mg/l	HCO ₃ ⁻ mg/l	SO ₄ ²⁻ mg/l	NO ₃ ⁻ mg/l	Cl ⁻ mg/l	K ⁺ mg/l	Na ⁺ mg/l	Mg ²⁺ mg/l	Ca ²⁺ mg/l	EC (μS/cm)	pH	T (°C)
آبریزه	۴/۶/۱۶	۲۴۸	۵/۵	۱۹	۳/۳	۱۵۷	۰/۶	۵/۲	۶/۸	۴۹/۶	۷/۸	۲۹۹	۶
آبریزه	۱۰/۱۰/۱۵	۲۰۵	۴/۴	۱۸/۶	۴/۲	۱۳۴	۰/۶	۴/۹	۶/۳	۳۲/۱	۷/۹	۲۷۵	۵
چشمه خونی	۸/۱۰/۰۷	۲۲۴	۵/۴	۲۶/۱	۲/۸	۱۳۴	۰/۴	۵/۴	۵/۲	۴۴/۴	۷/۹	۲۶۹	۷/۵
دلیچای	۴/۶/۱۶	۴۶۱	۳/۵	۸۳/۶	۱۸/۲	۲۵۵	۴/۳	۱۰	۱۸/۲	۶۸	۷/۲	۴۷۸	۵
دوبرار	۵/۹/۱۶	۳۱۶	۵/۸	۲۲/۵	۴/۱	۱۹۹	۰/۶	۵/۵	۹/۳	۶۹	۷/۸	۳۶۰	۷/۵
دوبرار	۷/۱۵/۱۶	۲۸۲	۵/۳	۲۳/۳	۴/۶	۱۷۸	۰/۶	۶/۳	۹/۳	۵۴/۷	۷	۳۴۵	۵/۶
دوبرار	۱/۱۶/۱۶	۲۹۶	۴/۷	۲۲/۶	۵/۱	۱۹۷	۰/۶	۶/۳	۹	۵۰/۶	۷/۹	۳۷۲	۵
دوبرار	۷/۱۵/۱۶	۳۲۰	۵/۵	۲۲/۱	۵/۳	۲۰۸	۰/۶	۶/۱	۸/۶	۶۳/۷	۷/۹	۳۷۵	۵/۳
چشمه ارتفاع	۶/۴/۱۵	۲۱۵	۵	۳/۳	۰/۷	۱۵۳	۰/۳۲	۰/۷	۱/۱	۵۰	۸/۱	۱۵۹	۴/۵
قزلخانی	۲/۵/۱۶	۲۰۴	۹/۲	۶/۵	۲/۵	۱۲۸	۰/۵۱	۱/۴	۵/۲	۵۰/۷	۷/۹	۲۸۰	۵/۵
قزلخانی	۹/۱۷/۱۵	۲۰۸	۸/۸	۶/۴	۲/۸	۱۳۲	۰/۵۲	۱/۵	۵/۴	۵۰/۴	۷/۹	۲۷۹	۵/۵
قزلخانی	۱/۱/۱۶	۲۱۶	۸/۹	۷	۲/۹	۱۳۹	۰/۵۱	۱/۶	۵/۹	۵۰/۳	۷/۹	۲۸۷	۶
قزلخانی	۳/۱/۱۶	۲۱۴	۸/۳	۶/۸	۳/۵	۱۳۹	۰/۵۲	۱/۷	۶/۱	۴۷/۴	۷/۹	۲۷۲	۷/۵
ورارو	۶/۱/۱۶	۳۷۶	۵/۲	۳۸	۱۶/۷	۲۰۶	۱/۹	۱۰	۲۲/۵	۷۷/۸	۷/۷	۸۵۰	۷/۱
ورارو	۳/۷/۱۶	۳۶۱	۵/۴	۳۵	۱۷/۸	۲۰۱	۲/۰۱	۱۰	۲۲	۸۱	۷/۷	۶۰۸	۷/۲

در شکل ۵-۶- ب نتایج نمونه‌های چشمه‌های منطقه لار بر روی نمودار پایپر نشان داده شده است. بر اساس این نمودار تیپ آب‌های این منطقه بی‌کربناته کلسیک تا بی‌کربناته منیزیم‌دار می‌باشد. با توجه به نمودار پایپر و نسبت‌های یونی، فرآیند غالب در این منطقه انحلال کربناته‌ها می‌باشد. یون‌های بی-کربنات و کلسیم به ترتیب آنیون و کاتیون غالب در این منطقه هستند.



شکل ۵-۶- الف) نمودار شولر ب) نمودار چشمه‌های منطقه لار

۵-۲-۳- چشمه‌های کارستی در حوضه نمارستاق

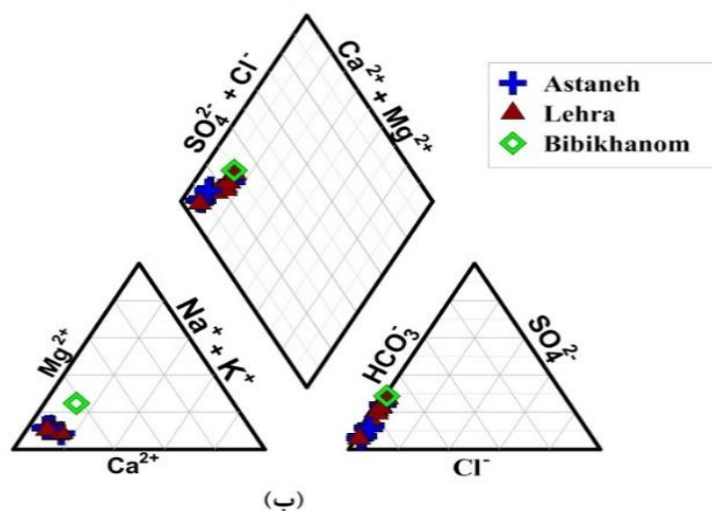
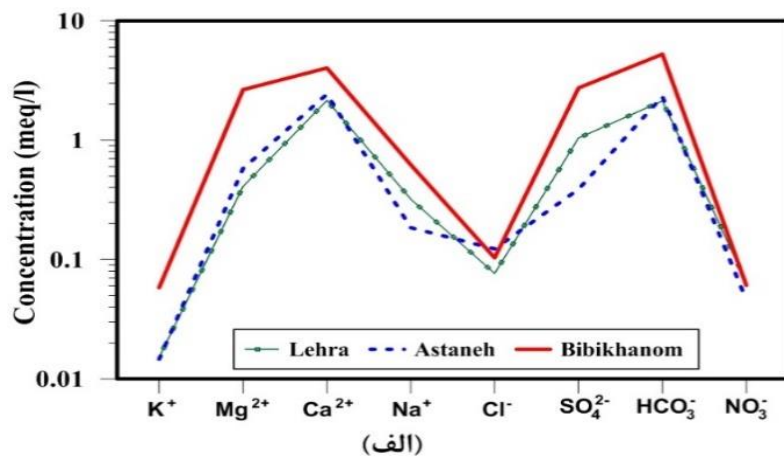
در حوضه نمارستاق چشمه‌های آستانه و لهر از سازند تیزکوه خارج می‌شوند. در حالی که در حوضه آبگیر خود دارای چندین واحد لیتولوژیکی هستند. حوضه آبگیر و محیط آبخوان چشمه بی‌بی‌خانم از

سازند لار خارج می‌شود. جدول ۵-۵ مقادیر غلظت یون‌های اصلی را در چشمه‌های منطقه نمارستاق نشان می‌دهد.

جدول ۵-۵- ترکیب هیدروژئوشیمیایی چشمه‌های منطقه نمارستاق

T (°C)	pH	EC (µS/cm)	Ca ²⁺ mg/l	Mg ²⁺ mg/l	Na ⁺ mg/l	K ⁺ mg/l	Cl ⁻ mg/l	NO ₃ ⁻ mg/l	SO ₄ ²⁻ mg/l	HCO ₃ ⁻ mg/l	TDS mg/l	تاریخ	چشمه
۵	۷/۷	۲۶۰	۶۰/۰	۷/۰	۱۲/۰	۱/۰	۳/۱۰	۳/۸	۱۶/۰	۲۵۰	۳۵۳	۴/۶/۱۶	آستانه
۵/۵	۷/۷	۲۶۱	۶۰/۰	۷/۰	۱۲/۰	۱/۰	۳/۱۰	۳/۷	۱۶/۰	۲۰۲	۹۹	۱۰/۱۰/۱۵	آستانه
۵/۷	۷/۸	۲۶۰	۴۲/۳	۶/۳	۳/۷	۱/۰	۲/۵۸	۳/۲	۱۷/۳	۱۲۸	۳۰۶	۸/۱۰/۰۷	آستانه
۵/۲	۷/۷	۲۸۲	۴۹/۲	۷/۴	۴/۴	۰/۶	۲/۹۴	۳/۰	۱۸/۵	۲۲۴	۳۲۰	۴/۶/۱۶	آستانه
۵/۱	۷/۷	۲۸۷	۵۰/۱	۷/۵	۴/۵	۰/۶	۳/۱۳	۲/۹	۱۸/۸	۲۳۸	۳۲۵	۵/۹/۱۶	آستانه
۵/۷	۷/۳	۲۶۵	۴۶/۵	۶/۹	۴/۰	۰/۵	۴/۹۱	۲/۹	۱۶/۸	۲۱۰	۲۹۲	۷/۱۵/۱۶	آستانه
۵/۵	۷/۴	۲۶۸	۱۰۰/۱	۵/۴	۶/۰	۸/۱	۱۲/۴۰	۱۱/۵	۷/۸	۱۸۰	۱۴۰	۱/۱۶/۱۶	آستانه
۵/۶	۷/۵	۲۷۳	۷۴/۴	۲/۴	۱/۸	۲/۴	۳/۵۲	۱۱/۵	۸/۹	۱۸۶	۱۰۵	۷/۱۵/۱۶	آستانه
۵/۵	۷/۸	۲۷۹	۴۵/۶	۶/۷	۴/۹	۰/۶	۳/۲۶	۱/۴	۱۸/۰	۱۳۵	۲۱۶	۶/۴/۱۵	آستانه
۵/۴	۷/۸	۲۷۲	۴۴/۱	۶/۵	۴/۰	۰/۵	۲/۹۷	۲/۷	۱۷/۴	۱۲۷	۲۰۵	۲/۵/۱۶	آستانه
۵/۵	۷/۸	۲۶۵	۴۲/۷	۶/۵	۳/۹	۰/۵	۳/۰۵	۳/۰	۱۷/۳	۱۱۳	۱۹۰	۹/۱۷/۱۵	آستانه
۶/۵	۷/۸	۲۵۷	۴۱/۰	۶/۶	۴/۰	۰/۵	۳/۳۶	۳/۰	۱۸/۰	۱۲۱	۱۹۷	۱/۱/۱۶	آستانه
۶/۶	۷/۱	۲۷۵	۴۴/۵	۶/۹	۴/۴	۰/۷	۴/۳۰	۳/۷	۱۸/۴	۱۴۴	۲۲۷	۳/۱/۱۶	آستانه
۶/۵	۷/۸	۲۵۸	۴۰/۴	۴/۶	۷/۱	۰/۶	۲/۳۷	۳/۹	۳۹/۴	۱۲۳	۲۲۲	۶/۱/۱۶	آستانه
۷/۸	۷/۶	۶۰۹	۸۰/۶	۳۲/۱	۱۴/۳	۲/۳	۳/۶۶	۳/۸	۱۳/۴	۳۲۰	۵۸۸	۳/۷/۱۶	بی‌بی‌خانم
۴/۵	۸/۱	۱۶۰	۳۳/۰	۱/۱	۰/۷	۰/۳	۰/۶۸	۵/۰	۳/۳	۱۵۴	۱۹۸	۵/۱۹/۱۵	لهرا
۴/۲	۷/۵	۲۶۳	۴۱/۰	۴/۴	۶/۵	۰/۶	۱/۳۶	۴/۱	۴۱/۵	۱۵۵	۲۵۴	۷/۱۸/۱۵	لهرا
۲/۳	۷/۴	۲۶۵	۴۱/۴	۴/۶	۶/۹	۰/۶	۱/۴۸	۴/۵	۴۴/۵	۱۶۵	۲۶۹	۹/۱۸/۱۵	لهرا
۲/۷	۷/۴	۲۶۱	۴۱/۴	۴/۵	۵/۷	۰/۵	۱/۸۲	۶/۱	۳۲/۸	۱۷۵	۲۶۸	۵/۹/۱۶	لهرا
۲/۵	۷/۸	۲۶۷	۴۱/۳	۴/۸	۷/۳	۰/۵	۳/۴۵	۴/۳	۴۱/۵	۱۷۱	۲۷۴	۵/۱۹/۱۵	لهرا
۲/۷	۷/۸	۲۶۴	۴۲/۲	۴/۸	۷/۱	۰/۶	۲/۴۸	۴/۴	۴۳/۹	۱۴۵	۲۵۱	۱۰/۱۹/۱۵	لهرا
۲/۶	۷/۸	۲۸۰	۴۴/۲	۴/۸	۷/۱	۰/۵	۲/۶۷	۴/۳	۴۶/۲	۱۵۷	۲۶۷	۱/۱/۱۶	لهرا
۳	۷/۹	۲۷۸	۴۳/۱	۵/۰	۷/۴	۰/۶	۲/۷۱	۴/۰	۵۰/۰	۱۳۰	۲۴۳	۴/۱/۱۶	لهرا
۳/۱	۷/۹	۲۹۲	۴۸/۶	۷/۰	۴/۲	۰/۶	۴/۳۵	۲/۹	۱۸/۶	۱۴۲	۲۲۸	۶/۱/۱۶	لهرا

چشمه بی‌بی‌خانم دارای بیشترین غلظت یون‌ها در ترکیب آب خروجی است (۵-۷-الف) که علت این تفاوت ناشی از جنس سازند متفاوت آبخوان (سازند لار) و طولانی‌تر بودن زمان اقامت آب در آبخوان تغذیه‌کننده چشمه می‌باشد. همانگونه که در نمودارهای پایپر و شولر (شکل ۵-۷) نشان داده شده است، چشمه‌های آستانه و لهرا دارای ترکیب بی‌کربناته کلسیک - منیزیک هستند. مقادیر غلظت کلر در چشمه آستانه بیشتر از دو چشمه دیگر در این منطقه است که علت اصلی آن به دلیل حضور بین لایه‌های حاوی نمک و تبخیری‌ها در سازندهای جوان‌تر (سازند کرج) با رخنمون بسیار محدود بر روی آبخوان و حوضه آبرگیر این چشمه می‌باشد.



شکل ۵-۷- الف) نمودار شولر ب) نمودار چشمه‌های منطقه نمارستاق

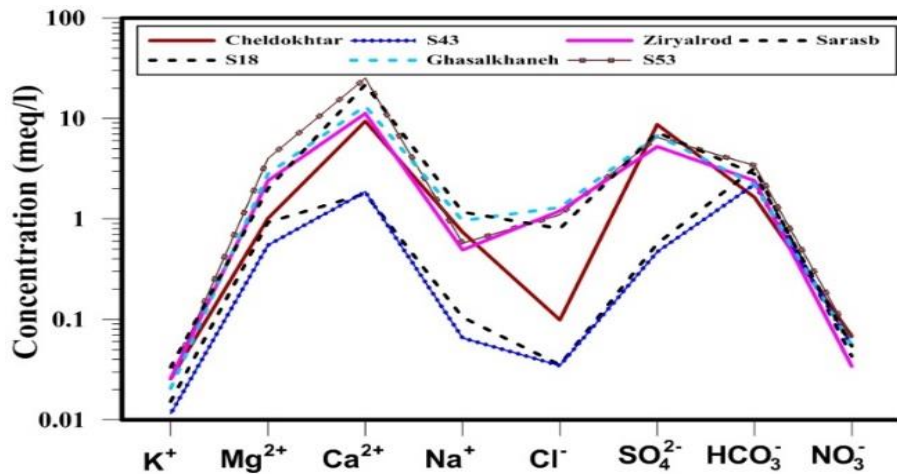
۵-۲-۴- چشمه‌های کارستی در حوضه بلده

در منطقه بلده رخنمون واحدهای کربناته، بسیار محدودتر از سایر بخش‌های منطقه مورد مطالعه می‌باشد. به همین دلیل چشمه‌های آهکی بسیار محدودی در این منطقه حضور دارند. در حالی که به دلیل رخنمون واحد گچی ائوسن در این منطقه چشمه‌های گچی متنوعی به وجود آمده‌اند غلظت یون-های اصلی در این چشمه‌ها در جدول ۵-۶ خلاصه شده است. در هر دو گروه چشمه‌ها، کلسیم کاتیون غالب بوده و آنیون غالب در چشمه‌های آهکی بی کربنات می‌باشد اما در چشمه‌های گچی سولفات آنیون

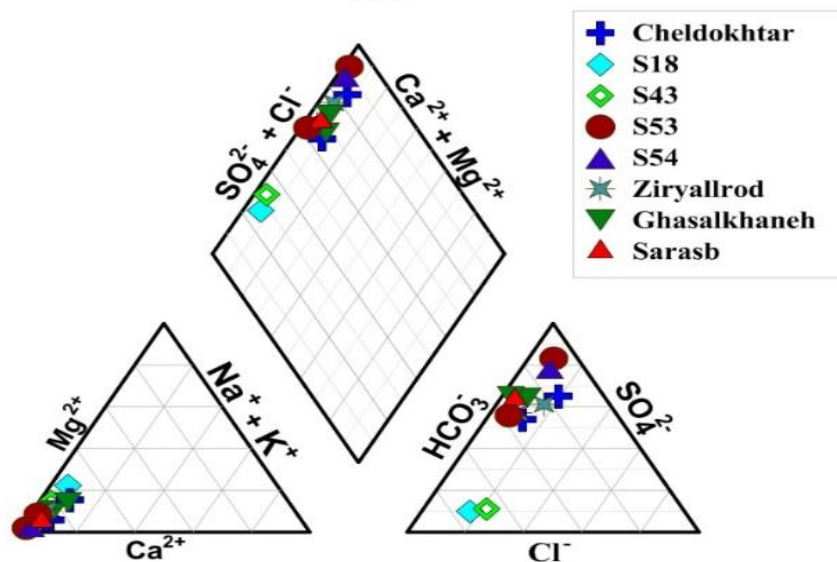
غالب می‌باشد (شکل ۵-۸-الف). سولفات و کلسیم بیشترین غلظت و کلر و پتاسیم کمترین مقادیر غلظت را در این چشمه‌های گچی نشان می‌دهند.

جدول ۵-۶- ترکیب هیدروژئوشیمیایی چشمه‌های منطقه بلده

T (°C)	pH	EC (μS/cm)	Ca ²⁺ mg/l	Mg ²⁺ mg/l	Na ⁺ mg/l	K ⁺ mg/l	Cl ⁻ mg/l	NO ₃ ⁻ mg/l	SO ₄ ²⁻ mg/l	HCO ₃ ⁻ mg/l	TDS mg/l	تاریخ	چشمه
۸/۱	۶/۷	۹۲۰	۱۸۸	۱۲/۳	۱۷	۱	۵۳/۸	۴/۲	۴۱۸	۱۰۰	۷۴۴	۵/۴/۱۵	چهل دختر
۸/۲	۷	۸۷۵	۲۰۷	۲/۵	۶/۶	۰/۴	۴۶/۳	۱/۲	۳۸۷	۵۹/۵	۶۷۱	۵/۴/۱۵	غسالخانه
۷/۱	۶/۲	۴۲۵۰	۲۷۰	۲۸/۲	۲۰	۰/۹۵	۴۲/۴	۳/۶	۴۰۹	۱۰۵	۷۰۷	۵/۴/۱۵	زیریالرود
۶/۵	۶/۶	۱۸۱۵	۵۹۴	۱۱/۹	۱۱۰/۲	۰/۹۹	۲۹	۶/۶	۷۶۵	۷۷/۵	۱۴۷۱	۵/۴/۱۵	S53
۷/۲	۶/۷	۲۰۵	۲۷/۲	۶/۶	۱/۵	۰/۴	۲/۲۳	۳/۳۵	۲۲/۵	۱۳۵	۲۰۸	۵/۴/۱۵	S43
۸	۶/۵	۱۱۸۰	۴۳۴	۲۵	۲۶/۳	۱/۲	۲۸/۶	۲/۳	۳۴۸	۱۷۰	۱۰۳۵	۵/۴/۱۵	سراسب
۵/۰	۷/۵۴	۲۲۸	۳۵/۶	۱۱/۲	۲/۴	۰/۶	۱/۲۵	۲/۷	۲۷/۲	۱۹۵	۲۷۶	۵/۴/۱۵	S18



(الف)



(ب)

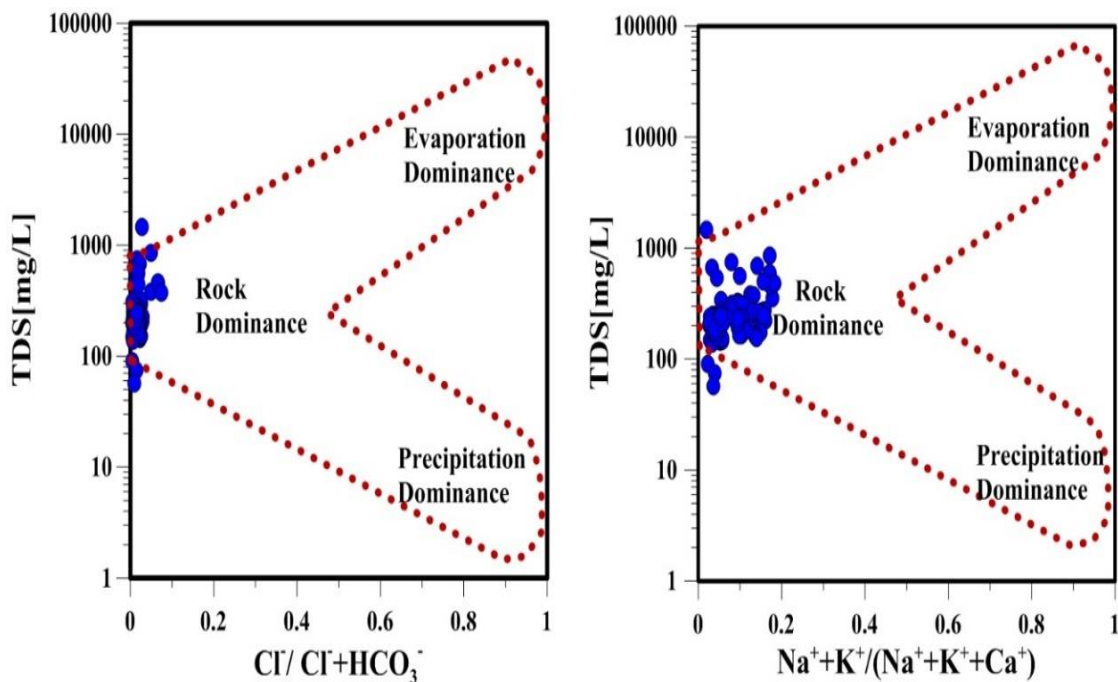
شکل ۵-۸-الف) نمودار شولر (ب) نمودار چشمه‌های منطقه بلده

بررسی نمودار پایپر (شکل ۵-۸-ب) بیانگر تیپ غالب سولفات‌ها در چشمه‌های گچی و بی‌کربناته منیزیک در دو چشمه آهکی در این منطقه می‌باشد. پدیده غالب چشمه‌های گچی انحلال ژئیس و انیدریت بوده اما در چشمه‌های آهکی پدیده غالب انحلال کربناته‌ها می‌باشد.

۵-۲-۵- نمودار گیبس

جهت بررسی رابطه بین محیط لیتولوژی محیط آبخوان و ترکیب هیدروژئوشیمیایی آب‌های زیرزمینی از نمودار ترکیبی گیبس استفاده می‌شود. این نمودار تغییرات مجموع مواد جامد محلول (TDS) در برابر نسبت کلر به مجموع کلر و بی‌کربنات و همچنین تغییرات TDS در برابر نسبت مجموع سدیم و پتاسیم به مجموع سدیم، پتاسیم و کلسیم را نشان می‌دهد (Gibbs 1970).

توزیع نمونه‌های چشمه‌های کارستی منطقه هراز بر روی نمودار گیبس در شکل ۵-۹ ارائه شده است. بر اساس این نمودار تقریباً همه نمونه‌های حوضه هراز در محدوده کنترل شونده توسط سنگ‌ها واقع شده‌اند.



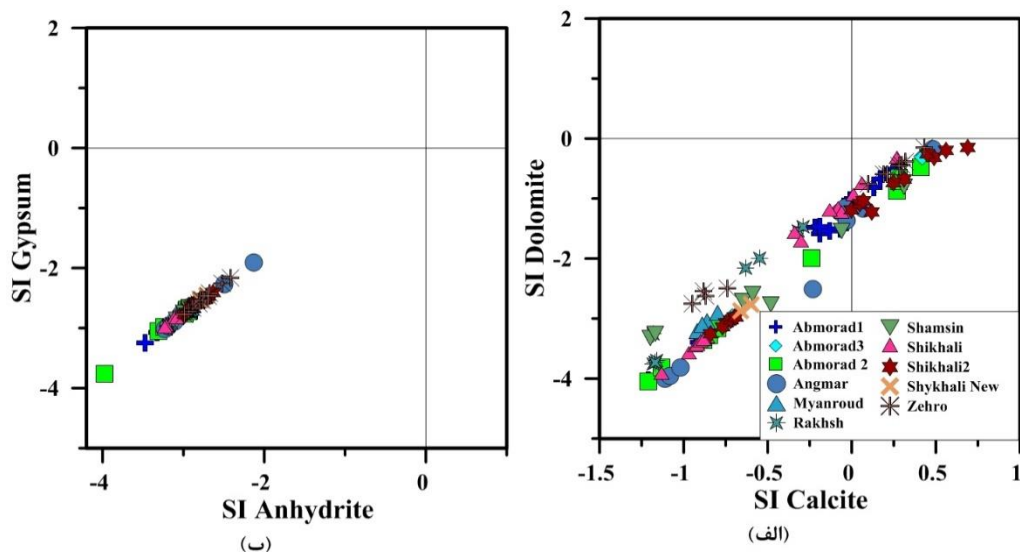
شکل ۵-۹- نمونه‌های چشمه‌های کارستی منطقه هراز بر روی نمودار گیبس

۵-۳- بررسی شاخص اشباع

به منظور تعیین وضعیت انحلال کانی‌های شاخص (کلسیت، دولومیت، هالیت و ژیپس) در محیط آبخوان از شاخص اشباع استفاده می‌شود. مقادیر بزرگتر از صفر در این شاخص بیانگر فوق اشباع بودن نسبت به آن کانی می‌باشد و تمایل به رسوبگذاری را نشان می‌دهد. مقادیر منفی آن مؤید تحت اشباع بودن و انحلال آن کانی و مقادیر صفر بیانگر حالت تعادل بین آب و محیط آبخوان می‌باشد. این شاخص مدت زمان ماندگاری آب جهت واکنش و انحلال کانی‌های موجود در محیط آبخوان را نشان می‌دهد. جهت محاسبه شاخص‌های اشباع از نرم‌افزار PHREEQC استفاده شده است.

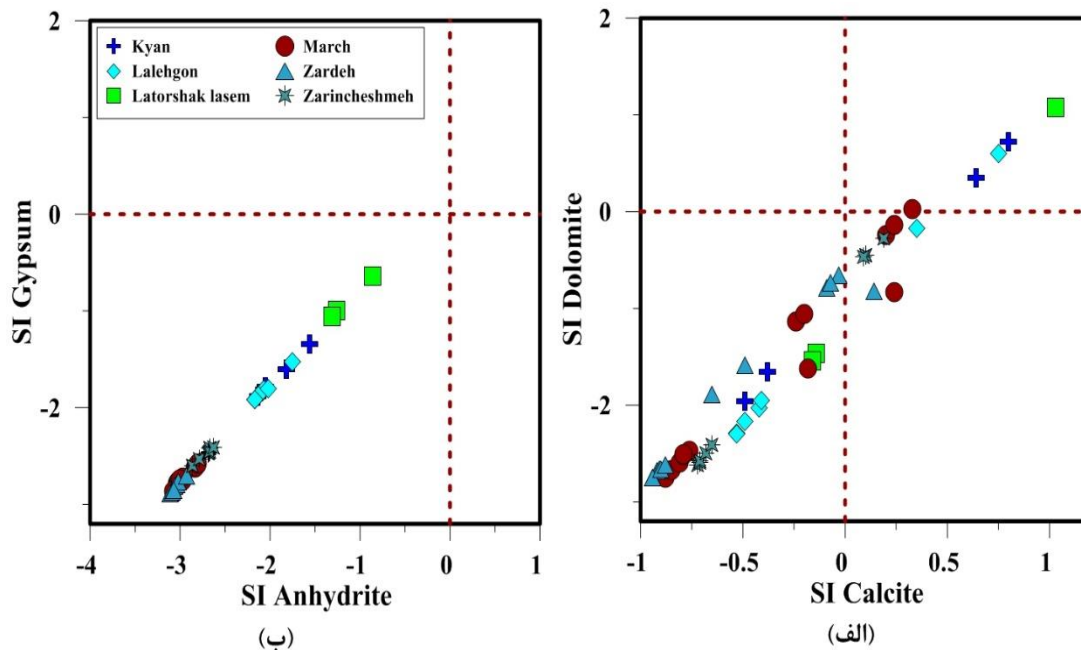
۵-۳-۱- چشمه‌های کارستی در حوضه لاسم

شاخص اشباع کلسیت در برابر دولومیت و ژیپس در برابر انیدریت چشمه‌های بخش جنوبی منطقه لاسم به ترتیب در شکل ۵-۱۰- الف و ب ارائه شده است. بر اساس این نمودار تمامی نمونه‌های آنالیز شده نسبت به دولومیت تحت اشباع است اما تعدادی از نمونه‌ها نسبت به کلسیت اشباع بوده و مقادیر شاخص اشباع بیشتر از یک می‌باشد. به طور کلی مقادیر شاخص اشباع در دبی پایه تمامی چشمه‌ها بزرگتر از مقادیر متناظر در دبی اوج می‌باشد. چشمه آب‌مراد ۲ دارای بیشترین دامنه تغییرات در شاخص اشباع کلسیت و دولومیت بوده و به طور کلی سایر چشمه‌ها دارای تغییرات کمتری هستند. دلیل تغییرات زیاد شاخص اشباع در چشمه آب‌مراد ۲، تغییرات بیش از اندازه دبی خروجی از این چشمه می‌باشد به نحوی که دبی ۲۵۰۰ لیتر بر ثانیه به چند لیتر بر ثانیه در دبی پایه تغییر پیدا می‌کند. مقادیر منفی شاخص اشباع ژیپس و انیدریت به دلیل لیتولوژی آهکی آبخوان‌های تغذیه کننده چشمه‌ها می‌باشد.



شکل ۵-۱۰- شاخص اشباع چشمه‌های کارستی بخش جنوبی منطقه لاسم. الف) شاخص اشباع کلسیت در برابر شاخص اشباع دولومیت، ب) شاخص اشباع ژیپس در برابر شاخص اشباع انیدریت

شاخص اشباع کلسیت در برابر دولومیت و ژیپس در برابر انیدریت چشمه‌های بخش شمالی منطقه لاسم به ترتیب در شکل ۵-۱۱- الف و ب نشان داده شده است دامنه تغییرات شاخص اشباع در این چشمه‌ها زیاد است و در زمان‌های مختلف نمونه‌گیری، مقادیر متفاوتی را نشان می‌دهد. رابطه خطی بین شاخص اشباع کلسیت و منیزیم بیانگر منشاء همزاد این دو یون می‌باشد. مقادیر شاخص اشباع کلسیت دامنه محدودتری نسبت به مقادیر شاخص اشباع منیزیم دارد. نمونه‌های دارای مقادیر شاخص اشباع بزرگتر به زمان دبی پایه تعلق داشته، درحالی که مقادیر کوچکتر متعلق به زمان دبی اوج بوده و بیانگر ماندگاری کمتر آب خروجی در محیط آبخوان می‌باشد. مقادیر شاخص اشباع ژیپس و انیدریت در تمامی چشمه‌های این منطقه کمتر از یک است که مبین زیراشباع بودن نمونه‌ها نسبت به دو کانی فوق می‌باشد. مقادیر این شاخص‌ها در سه چشمه کیان، لاله‌گون و لترشک لاسم بزرگتر از دو چشمه مرچ و زرده بوده که دلیل آن تفاوت در نوع لیتولوژی محیط آبخوان (حضور لایه‌های مارنی و بین‌لایه‌های گچی) می‌باشد.



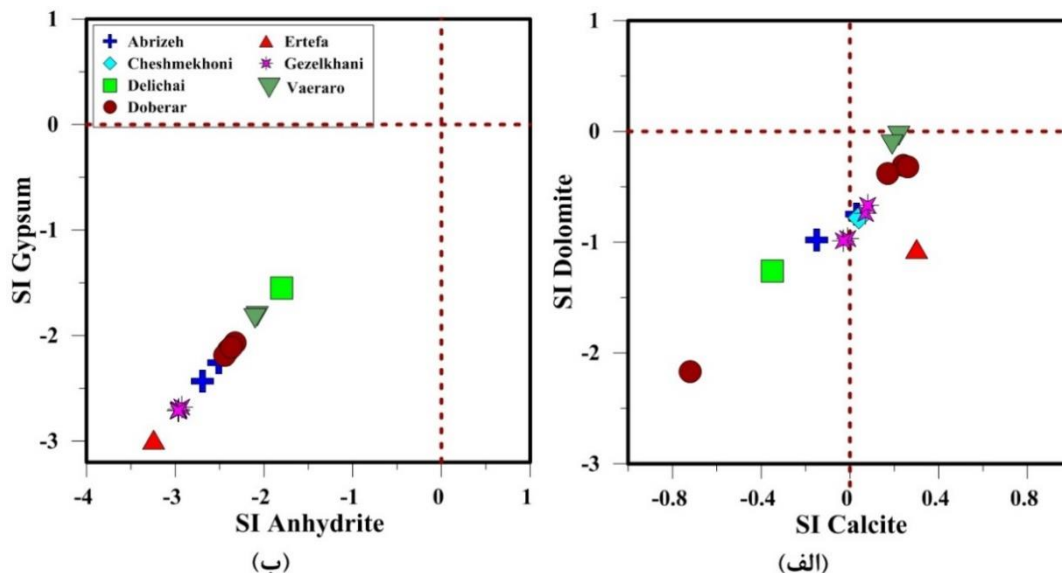
شکل ۵-۱۱- شاخص اشباع چشمه‌های کارستی بخش شمالی منطقه لاسم. الف) شاخص اشباع کلسیت در برابر شاخص اشباع دولومیت، ب) شاخص اشباع ژپس در برابر شاخص اشباع انیدریت

چشمه‌های کیان، لاله‌گون و لترشک لاسم از سازند زیارت با لیتولوژی غالب آهک و بین لایه‌های ژپس و مارنی سرچشمه می‌گیرند. در حالی که سرچشمه مرچ و زرده از آهک توده‌ای لار می‌باشد.

۵-۳-۲- چشمه‌های کارستی در حوضه لار

شاخص اشباع کلسیت در برابر دولومیت و ژپس در برابر انیدریت چشمه‌های منطقه لار به ترتیب در شکل ۵-۱۲- الف و ب نشان داده شده است. همانگونه که در این شکل مشاهده می‌شود تمامی نمونه‌های آنالیز شده نسبت به دولومیت تحت اشباع است اما تعدادی از نمونه‌ها نسبت به کلسیت اشباع بوده و مقادیر شاخص اشباع بیشتر از یک می‌باشد. به طور کلی مقادیر شاخص اشباع در دبی پایه تمامی چشمه‌ها بزرگتر از مقادیر متناظر در دبی اوج می‌باشد. چشمه دوبرار دارای بیشترین دامنه تغییرات در شاخص اشباع کلسیت و دولومیت بوده و سایر چشمه‌ها دارای تغییرات کمتری هستند. دلیل تغییرات زیاد شاخص اشباع در چشمه دوبرار تغییرات ۱۵۰ درصدی دبی خروجی از این چشمه می‌باشد. شاخص اشباع در چشمه ارتفاع به دلیل شیب هیدرولیکی زیاد و ماندگاری بسیار کم آب در محیط دارای مقادیر

کمتری در مقایسه با سایر نمونه‌ها می‌باشد. شاخص اشباع ژیپس و انیدریت در این منطقه مقادیر منفی بوده که دلیل آن لیتولوژی آهکی آبخوان‌های تغذیه کننده چشمه‌ها می‌باشد.

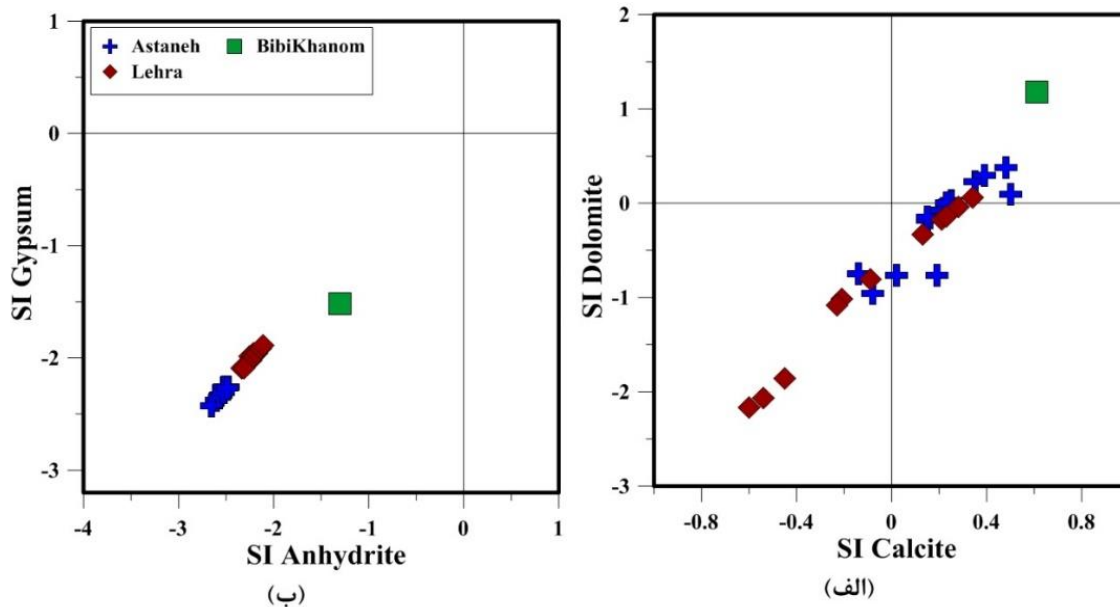


شکل ۵-۱۲- شاخص اشباع چشمه‌های کارستی منطقه لار. الف) شاخص اشباع کلسیت در برابر شاخص اشباع دولومیت، ب) شاخص اشباع ژیپس در برابر شاخص اشباع انیدریت

۵-۳-۳- چشمه‌های کارستی در حوضه نمارستاق

شاخص اشباع کلسیت در برابر دولومیت و ژیپس در برابر انیدریت در چشمه‌های منطقه نمارستاق به ترتیب در شکل ۵-۱۳- الف و ب ارائه شده است. همانگونه که در این شکل مشخص است، تمامی نمونه‌های آنالیز شده از این سه چشمه، دارای یک روند خطی شاخص اشباع کلسیت نسبت به منیزیم می‌باشد. چشمه لهرها به طور نسبی مقادیر کوچکتری در مقایسه با دو چشمه دیگر دارد. دامنه تغییرات شاخص‌های اشباع در لهرها بیشتر از چشمه آستانه است. اما چشمه بی‌بی‌خانم دارای شاخص اشباع بزرگتری می‌باشد. به طور کلی مقادیر شاخص اشباع در دبی پایه دو چشمه لهرها و آستانه بزرگتر از مقادیر متناظر در دبی اوج است. دلیل بالاتر بودن مقادیر شاخص اشباع کلسیت و منیزیم در چشمه آستانه در مقایسه با چشمه لهرها بیشتر بودن زمان ماندگاری و دما در چشمه آستانه می‌باشد. بالاتر بودن شاخص اشباع در چشمه بی‌بی‌خانم به دلیل ماهیت متفاوت آبخوان (آهک لار) است. منفی بودن شاخص اشباع ژیپس و انیدریت به دلیل حضور آهک در حوضه آبرگیر و محیط آبخوان می‌باشد. در صورتی که

شاخص اشباع این دو کانی در چشمه آستانه، کوچکتر از چشمه لهرآ و بی‌بی‌خانم است. دلیل این امر می‌تواند تأثیر بیشتر سازندهای جوان با بین لایه‌های ژئوپس در حوضه آبخیز لهرآ و بی‌بی‌خانم باشد.



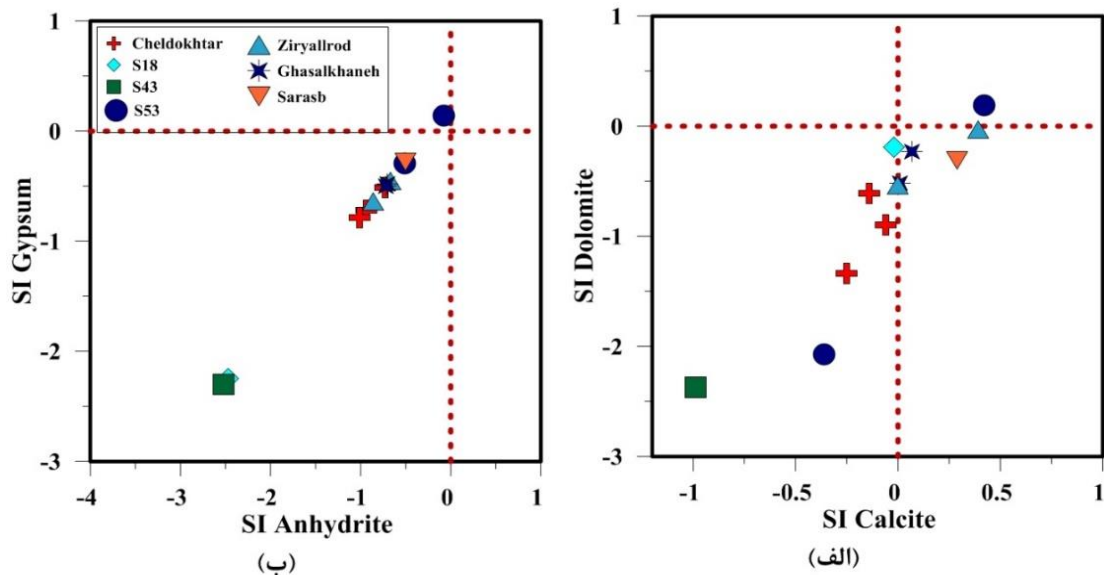
شکل ۵-۱۳- شاخص اشباع چشمه‌های کارستی منطقه نمارستاق. الف) شاخص اشباع کلسیت در برابر شاخص اشباع دولومیت، ب) شاخص اشباع ژئوپس در برابر شاخص اشباع انیدریت

۵-۳-۴- چشمه‌های کارستی در حوضه بلده

شاخص اشباع کلسیت در برابر دولومیت و ژئوپس در برابر انیدریت در چشمه‌های منطقه بلده به ترتیب در شکل ۵-۱۴- الف و ب نشان داده شده است. چشمه‌های این منطقه به دو گروه کارست گچی (چهل دختر، غسالخانه، زیرالرود، سراسب، S53 و S54) و کارست آهکی (S18 و S43) تقسیم می‌شوند. عدم روابط خطی بین شاخص اشباع کلسیت و دولومیت در این منطقه به علت نشأت گرفتن این کانی‌ها از منابع و نمک‌های مختلف می‌باشد. شاخص اشباع ژئوپس و انیدریت در چشمه‌های گچی این منطقه مقادیر منفی اما نزدیک به اشباع می‌باشد که به دلیل اثر لیتولوژی آبخوان است.

بررسی شاخص اشباع دولومیت در اکثر چشمه‌های کارستی حوضه هراز بیانگر این است که غالب نمونه‌ها دارای شاخص اشباعی کمتر از یک بوده و تحت اشباع هستند. غالب نمونه‌های آنالیز شده در این منطقه دارای شاخص اشباع کلسیت تحت اشباع در حالت دبی اوج و مقادیر اشباع در حین دبی پایه هستند.

مقادیر متفاوت این شاخص در آبخوان‌های با ترکیب سنگ‌شناسی یکسان بیانگر زمان ماندگاری بیشتر در این آبخوان‌هاست. در چشمه‌های کارستی گچی مقادیر شاخص اشباع اندکی تحت اشباع هستند که به دلیل نمونه‌گیری در دبی اوج می‌باشد.



شکل ۵-۱۴- شاخص اشباع چشمه‌های کارستی منطقه بلده. الف) شاخص اشباع کلسیت در برابر شاخص اشباع دولومیت، ب) شاخص اشباع ژپیس در برابر شاخص اشباع انیدریت

۵-۴- فلزات سنگین

تعداد ده نمونه با پراکندگی مناسب و در زمان دبی پایه از چشمه‌های بزرگ و شاخص منطقه انتخاب و جهت بررسی غلظت فلزات سنگین به آزمایشگاه دانشگاه برلین ارسال گردید. نتایج آنالیز فلزات سنگین ده چشمه انتخابی در حوضه هراز در جدول ۵-۷ ارائه شده است. همانگونه که مشاهده می‌شود اغلب چشمه‌ها روند مشابهی را نشان می‌دهند. بالاتر بودن غلظت برخی از فلزات سنگین (Cu, Zn, F, Fe) به دلیل بالا بودن غلظت زمینه این عناصر در حوضه آبخیز به دلیل تغییرات لیتولوژیکی می‌باشد. غلظت پایین غالب این یون‌ها در منطقه البرز مرکزی به علت این امر رخنمون قابل توجه سنگ آهک در حوضه آبخیز چشمه‌های کارستی، ناچیز بودن لایه‌های مخرب کیفیت آب و ماندگاری نسبتاً کم آب در محیط آبخوان به دلیل توسعه کارست و شیب هیدرولیکی نسبتاً زیاد در منطقه می‌باشد. به طور کلی چشمه‌های منطقه دارای کیفیت خوبی برای شرب بوده و مقادیر غلظت فلزات سنگین در آنها بسیار پایین است.

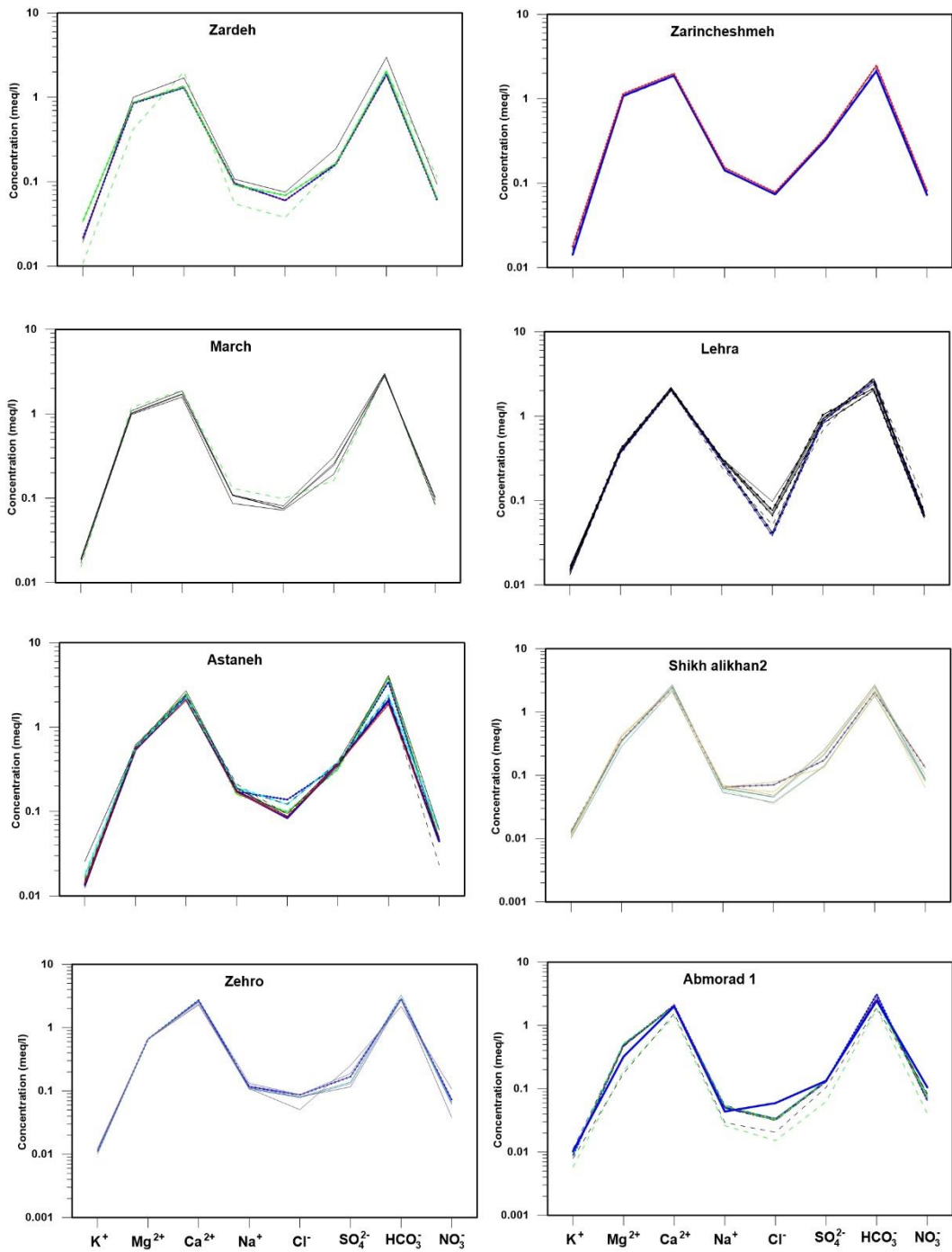
جدول ۵-۷- نتایج آنالیز فلزات سنگین در چشمه‌های انتخابی

Cd	Pb	Zn	Fe	Mn	Cu	F	Br	PO ₄	چشمه
n.a	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲	n.a	۰/۰۱	۰/۱	n.a	۰/۲	آستانه
n.a	n.a	۰/۰۱	۰/۰۴	n.a	۰/۰۱	۰/۱	n.a	۰/۱	شیخ‌علیخان ۲
n.a	n.a	۰/۰۲	۰/۰۶	n.a	۰/۰۱	۰/۱	n.a	n.a	دوبرار
n.a	n.a	۰/۰۲	۰/۰۳	n.a	۰/۰۱	۰/۱	n.a	n.a	ورارو
n.a	n.a	n.a	۰/۲	۰/۰۱	n.a	۰/۱	n.a	۰/۱	آبمراد ۱
n.a	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱۵	n.a	۰/۰۱	۰/۰۷	n.a	۰/۱	انگمار
n.a	n.a	n.a	۰/۰۱	n.a	n.a	۰/۳	n.a	n.a	چهل‌دختر
n.a	n.a	n.a	۰/۰۲	n.a	۰/۰۱	۰/۲	n.a	n.a	لاله‌گون
n.a	n.a	۰/۰۱	۰/۰۳	n.a	۰/۰۱	۰/۱	n.a	n.a	مرچ
n.a	n.a	۰/۰۲	۰/۰۲	n.a	۰/۰۱	۰/۲	n.a	n.a	ورسخوران

n.a مقادیر کمتر از آستانه اندازه‌گیری دستگاه

۵-۵- تغییرات زمانی ترکیب هیدروژن‌سولفید چشمه‌ها

به منظور تعیین تغییرات زمانی در ترکیب هیدروژن‌سولفیدی آب‌مراد ۱، شیخ‌علیخان ۲، زرین‌چشمه، زرده، زهرو، مرچ، آستانه و لهرآ به صورت مداوم نمونه‌گیری شده‌اند (۵-۱۵). شکل ۵-۱۵ نمودار شولر نمونه‌هایی از چند چشمه انتخابی را در زمان‌های مختلف نشان می‌دهد. بررسی تغییرات زمانی چشمه‌های انتخابی بیانگر آن است که در اغلب موارد تغییرات زیادی مشاهده نمی‌شود. مواردی که تغییرات قابل توجهی دارند متعلق به بازه زمانی بهار ۱۳۹۵ می‌باشد که بر اثر شدت بالای ذوب برف دبی برخی از چشمه‌ها تا ۱۵ الی ۲۰ درصد افزایش داشته است.



شکل ۵-۱۵- نمودار شولر چشمه‌های انتخابی در زمان‌های مختلف

فصل ششم: مطالعه ایزوتوپ‌های پایدار ^{18}O و D

در ۵۰ سال گذشته استفاده از ایزوتوپ‌های پایدار (^{18}O و D) در حوضه علوم محیطی گسترش زیادی داشته است. امروزه استفاده از ایزوتوپ‌های پایدار (^{18}O و D) پنجره جدیدی بر روی مطالعه عمیق‌تر و فهم بهتر مباحث هیدروژئولوژیکی یک آبخوان می‌باشد. به دلیل ویژگی محافظه‌کارانه ایزوتوپ‌های پایدار در شرایط عادی آبخوان و عدم تأثیر عوامل زمین‌شناسی، این ردیاب‌ها می‌توانند در گستره وسیعی از مطالعات مرتبط با علوم آبی (مانند تغذیه، تبخیر و تعرق، محاسبه بیلان، تعیین منشأ آب‌های زیرزمینی، تغییرات آب و هوایی، مطالعات نشت و فرار آب، مطالعه آلودگی آبهای زیرزمینی) مورد استفاده قرار گیرند (Shamsi and Kazemi 2014). از آنجایی که ترکیب ایزوتوپی ثابت نبوده و متغیر است لازمه استفاده از این ابزار ارزشمند، آگاهی از روند تغییرات مکانی و زمانی این ایزوتوپ‌ها می‌باشد. با توجه به این نکته که در بسیاری از آبخوان‌ها به ویژه در مناطق کوهستانی و ارتفاعات بارش عامل اصلی تغذیه آبخوان‌هاست، لازمه استفاده از این پارامترها در هر منطقه درک صحیح از محتوای اولیه این ایزوتوپ‌ها در ورودی‌های آبخوان می‌باشد. به علاوه تعیین خط آب جوی در هر منطقه پایه و اساس مطالعات دیگر بوده و برای تحقیقات آینده در هر منطقه از ضروریات این دسته از علوم هیدرولوژی و هیدروژئولوژیکی می‌باشد. در این فصل ابتدا به بررسی نتایج مطالعات ایزوتوپی بارش‌های منطقه پرداخته و سپس ترکیب ایزوتوپ‌های پایدار (^{18}O و D) در چشمه‌های کارستی منطقه تحت بررسی قرار می‌گیرد.

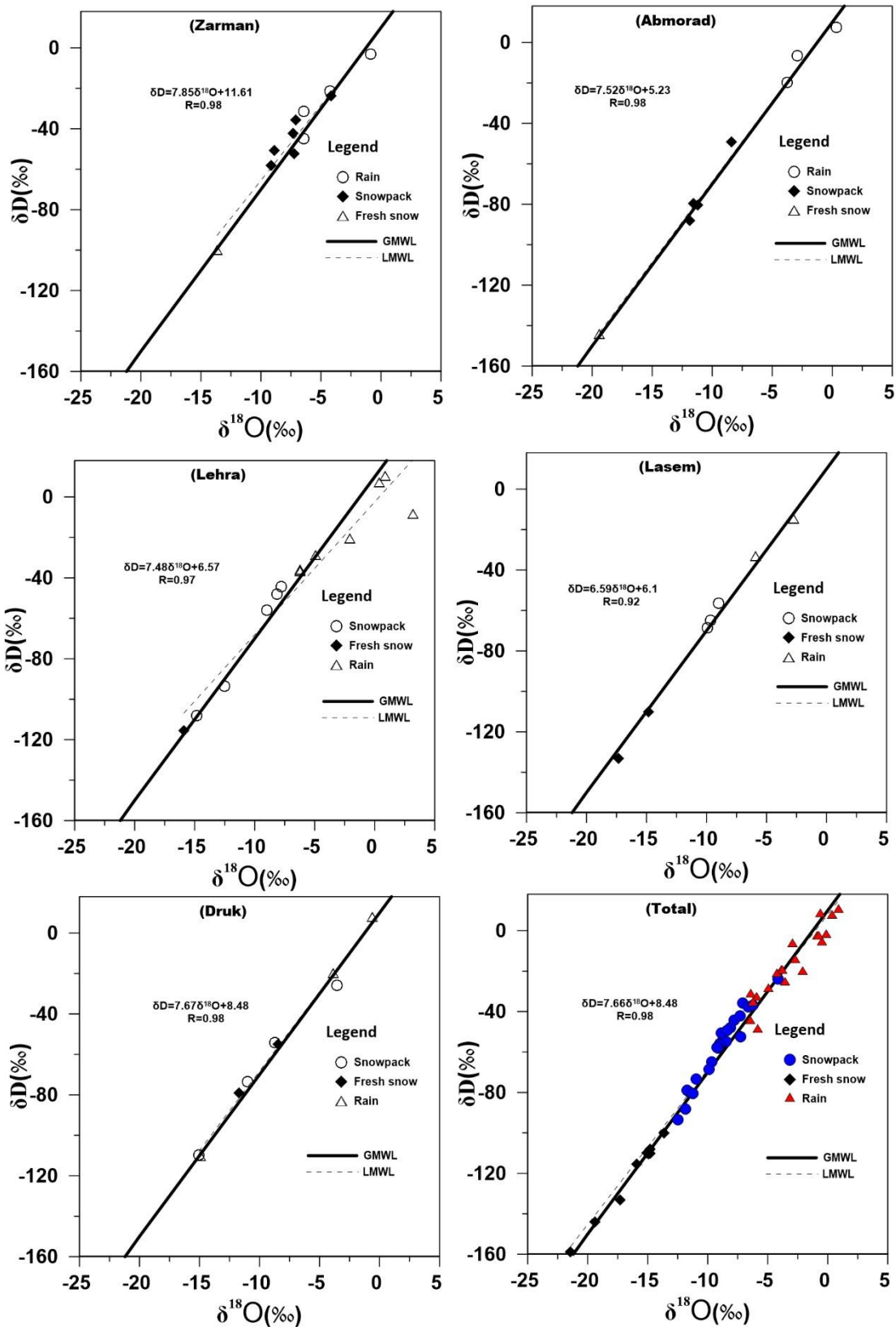
۶-۱- ترکیب ایزوتوپی بارش‌های حوضه هراز

با توجه به تغییرات ارتفاعی، زمانی و مکانی بارش، ۵ ایستگاه (شکل ۵-۱) برای نمونه‌گیری از بارندگی انتخاب شد و از بازه زمانی شهریورماه ۱۳۹۴ تا تیرماه ۱۳۹۵ اقدام به نصب باران‌سنج و نمونه‌گیری به

صورت ماهانه گردید. خلاصه نتایج آنالیز انجام شده بر روی نمونه‌های بارش در جدول ۶-۱ ارائه شده و خط آب جوی برای هر ایستگاه و کل منطقه ارائه شده است (شکل ۶-۱).

جدول ۶-۱- ترکیب ایزوتوپی بارش در ایستگاه‌های منطقه مورد مطالعه

Sample ID	Precipitation type	Altitude (m a.s.l)	Date	P (mm)	D(‰)	O(‰)	T (°C)	D-excess (‰)
Abmorad-2015/01	Rain	۲۶۷۵	۹/۱۸/۱۵	۲۳	-۶	-۱/۴۷	۱۴	-۲/۲۴
Abmorad -2015/02	Rain	۲۱۳۰	۱۰/۱۹/۱۵	۱۵/۶	۷/۳۶	۰/۳۶	۱۲/۷	۴/۴۸
Abmorad -2015/04	Snowpack	۲۶۰۰	۱۲/۳/۱۵	۴۸	-۷۹/۶۸	-۱۱/۵۵	-۷/۱۸	۱۲/۷۲
Abmorad -2016/05	Snowpack	۲۵۵۰	۱/۱۷/۱۶	۷۸	-۸۸/۰۶	-۱۱/۸۶	-۶/۵۴	۶/۸۳
Abmorad -2016/06	Snowpack	۲۵۵۰	۲/۱۳/۱۶	۴۱	-۴۹/۱۹	-۸/۳۸	-۲/۹۱	۱۷/۸۵
Abmorad -2016/07	Snowpack	۲۵۵۰	۳/۸/۱۶	۴۰	-۸۰/۴۸	-۱۱/۲۱	۳/۵۸	۹/۲
Abmorad -2016/08	Fresh snow	۲۲۹۳	۴/۷/۱۶	۴/۲	-۱۴۴/۰۹	-۱۹/۳۹	۸/۲	۱۱/۰۳
Abmorad -2016/09	Rain	۲۵۰۰	۵/۹/۱۶	۷۰	-۶/۵۸	-۲/۹۲	۱۲/۰۶	۱۶/۷۸
Abmorad -2016/10	Rain	۲۵۰۰	۶/۱۶/۱۶	۳۴	-۱۹/۸۱	-۳/۷۷	۱۷/۵۶	۱۰/۳۵
Abmorad -2016/11	Rain	۲۵۰۰	۷/۲۱/۱۶	۱۱	-۲/۳	-۱/۱۱	۱۹	-۱/۴۲
Druk-2015/01	Rain	۲۶۷۰	۹/۱۷/۱۵	۲۳	۸/۱۲	-۱/۶۲	۱۵	۱۳/۰۸
Druk-2015/02	Rain	۲۶۷۰	۱۰/۱۸/۱۵	۱۵/۶	-۲۵/۸۲	-۳/۵۵	۱۲/۷	۲/۵۸
Druk-2015/03	Snowpack	۲۸۵۰	۱۱/۸/۱۵	۵۰/۲	-۵۴/۸۹	-۸/۴۵	-۲/۷۹	۱۲/۷۱
Druk-2015/04	Fresh snow	۲۸۳۰	۱۲/۱/۱۵	۵۳/۵	-۱۰۹/۸۸	-۱۵/۰۶	-۷/۱۸	۱۰/۶
Druk-2016/05	Snowpack	۲۶۶۷	۱/۱۶/۱۶	۸۰	-۵۴/۰۷	-۸/۷۲	-۶/۵۴	۱۵/۶۹
Druk-2016/05-1	Snowpack	۲۶۷۰	۴/۶/۱۶	۱۰۵	-۳۷/۶۷	-۶/۶۳	-۲/۹۱	۱۵/۳۷
Druk -2016/06	Snowpack	۲۶۶۷	۲/۱۲/۱۶	۴۵	-۷۳/۳۸	-۱۰/۹۸	-۳	۱۴/۴۶
Druk-2016/07	Snowpack	۲۶۶۷	۳/۷/۱۶	۴۶	-۷۹	-۱۱/۷	۸/۲	۱۴/۶
Druk -2016/08	Fresh snow	۲۶۶۷	۴/۶/۱۶	۴/۸	-۱۱۰/۳۷	-۱۴/۹۳	۱۲/۰۶	۹/۰۵
Druk-2016 /09	Rain	۲۶۷۰	۵/۱۰/۱۶	۷۶	-۱۹/۸۲	-۲/۸۶	۱۷/۵۶	۱۱/۰۶
Lasem-2015/01	Rain	۲۷۰۰	۹/۱۸/۱۵	۲۳	-۲/۸۵	-۱/۷۶	۱۲/۱۴	۳/۳۳
Lasem-2015/02	Rain	۲۶۷۰	۱۰/۱۹/۱۵	۱۸	-۴۹/۱۳	-۵/۸۳	۱۲/۷	-۲/۴۹
Lasem-2016/05	Fresh snow	۲۶۰۰	۱۲/۳/۱۵	۵۰	-۱۳۳/۰۸	-۱۷/۳۱	-۷/۱۸	۵/۴
Lasem-2015/04	Fresh snow	۲۶۰۰	۱/۱۷/۱۶	۸۳	-۱۱۰/۰۳	-۱۴/۸۲	-۶/۵۴	۸/۵۳
Lasem-2016/06	Snowpack	۲۶۷۰	۲/۱۳/۱۶	۴۳	-۵۶/۴۴	-۹	-۲/۹۱	۱۵/۵۶
Lasem-2016/07	Snowpack	۲۶۰۰	۳/۸/۱۶	۴۲	-۶۴/۸۷	-۹/۶۵	۳/۵۸	۱۲/۳۳
Lasem-2016/08	Snowpack	۲۷۲۴	۴/۷/۱۶	۵	-۶۸/۵۸	-۹/۹۱	۸/۲	۱۰/۷
Lasem-2016/09	Rain	۲۶۷۰	۵/۹/۱۶	۷۵	-۳۳/۲۴	-۵/۹۳	۱۲/۰۶	۱۴/۲
Lasem-2016/10	Rain	۲۶۷۰	۶/۱۶/۱۶	۳۶	-۱۴/۶۵	-۲/۷۳	۱۷/۵۶	۷/۱۹
Lehra-2015/02	Rain	۲۹۵۰	۱۰/۱۸/۱۵	۱۵/۶	-۲۰/۴۵	-۲/۰۸	۱۲/۷	-۳/۸۱
Lehra-2015/03	Snowpack	۳۰۰۰	۱۱/۸/۱۵	۵۳	-۵۵/۹۸	-۹	-۲/۷۹	۱۶/۰۲
Lehra-2015/04	Fresh snow	۳۰۰۰	۱۲/۱/۱۵	۵۵/۳	-۱۱۵/۵	-۱۵/۹	-۷/۱۸	۱۱/۷
Lehra-2016/05	Snowpack	۳۰۰۰	۱/۱۶/۱۶	۸۲	-۴۴/۳۲	-۷/۸	-۶/۵۴	۱۸/۰۸
Lehra2016/06	Snowpack	۳۰۰۰	۲/۱۲/۱۶	۴۸	-۴۸/۰۵	-۸/۱۲	-۲/۹۱	۱۶/۹۱
Lehra-2016/07	Snowpack	۳۰۰۰	۳/۷/۱۶	۴۸	-۹۳/۴۴	-۱۲/۴۹	۳/۵۸	۶/۴۸
Lehra-2016/08	Snowpack	۲۹۰۰	۴/۶/۱۶	۱۱۲	-۳۶/۷۲	-۶/۳۲	۸/۲	۱۳/۰۴
Lehra-2016 /09	Rain	۲۹۵۰	۵/۱۰/۱۶	۷۹	-۲۸/۸۴	-۴/۹۴	۱۲/۰۶	۱۰/۶۸
Lehra-2016/10	Rain	۲۹۵۰	۶/۱۵/۱۶	۳۵	-۳۵/۸۳	-۶/۲۴	۱۷/۵۶	۱۴/۰۹
Zarman-2015/01	Rain	۲۹۴۸	۹/۱۸/۱۵	۱۵/۶	-۴۴/۸	-۶/۴۴	۱۲/۷	۶/۷۲
Zarman-2015/02-1	Fresh snow	۳۲۷۰	۹/۱۸/۱۵	۱۹	-۱۰۰/۰۷	-۱۳/۶۵	-۲/۷۹	۹/۱۳
Zarman-2015/02	Snowpack	۳۱۱۴	۱۰/۱۹/۱۵	۱۸	-۵۲/۴۴	-۷/۲۴	۱۲/۱۴	۵/۴۸
Zarman-2015/03	Fresh snow	۲۷۰۰	۱۱/۹/۱۵	۵۳	-۱۵۶	-۲۱/۳۳	-۲/۷۹	۱۵/۴۴
Zarman-2015/04	Snowpack	۲۷۲۴	۱۲/۳/۱۵	۵۵	-۵۰/۶۱	-۸/۸۸	-۷/۱۸	۲۰/۴۳
Zarman2015/05	Snowpack	۲۹۴۸	۱/۱۷/۱۶	۹۰	-۲۳/۷۶	-۴/۱۶	-۶/۵۴	۹/۵۲
Zarman2016/06	Snowpack	۲۹۸۰	۲/۱۳/۱۶	۵۰	-۳۵/۷۶	-۷/۱	-۲/۹۱	۲۱/۰۴
Zarman-2016/07	Snowpack	۲۹۸۰	۳/۸/۱۶	۴۸	-۵۸/۰۸	-۹/۱۵	۳/۵۸	۱۵/۱۲
Zarman-2016/08	Snowpack	۲۹۴۸	۴/۷/۱۶	۱۱۰	-۴۲/۱۶	-۷/۳	۸/۲	۱۶/۲۴
Zarman-2016/09	Rain	۲۹۴۸	۵/۹/۱۶	۷۸	-۲۱/۴۱	-۴/۲۵	۱۲/۰۶	۱۲/۵۹
Zarman-2016/10	Rain	۲۹۴۸	۶/۱۶/۱۶	۳۶	-۳۱/۴۷	-۶/۴۱	۱۷/۵۶	۱۹/۸۱
Zarman2016/11	Rain	۲۶۷۵	۷/۲۱/۱۶	۱۳	-۳/۰۹	-۱/۸۷	۱۷/۵۶	۳/۸۷



شکل ۶-۱- خطوط آب جوی محلی (LMWL) ایستگاه و کل حوضه هراز

در ایستگاه‌های نمونه‌گیری شده ترکیب ایزوتوپ‌های پایدار (^{18}O و D) تغییرات زیادی نشان می‌دهند. تغییرات ^{18}O از مقدار ۰/۸۸ تا ۱۹/۲۳- و D از ۱۰/۵۵ تا ۱۵۰- می‌باشد. به طور کلی بارش‌های منطقه در فصول سرد سال که به شکل برف می‌باشند دارای ترکیب سبک‌تر و بارش‌های باران در ماه‌های خشک دارای ترکیب ایزوتوپی سنگین‌تر هستند.

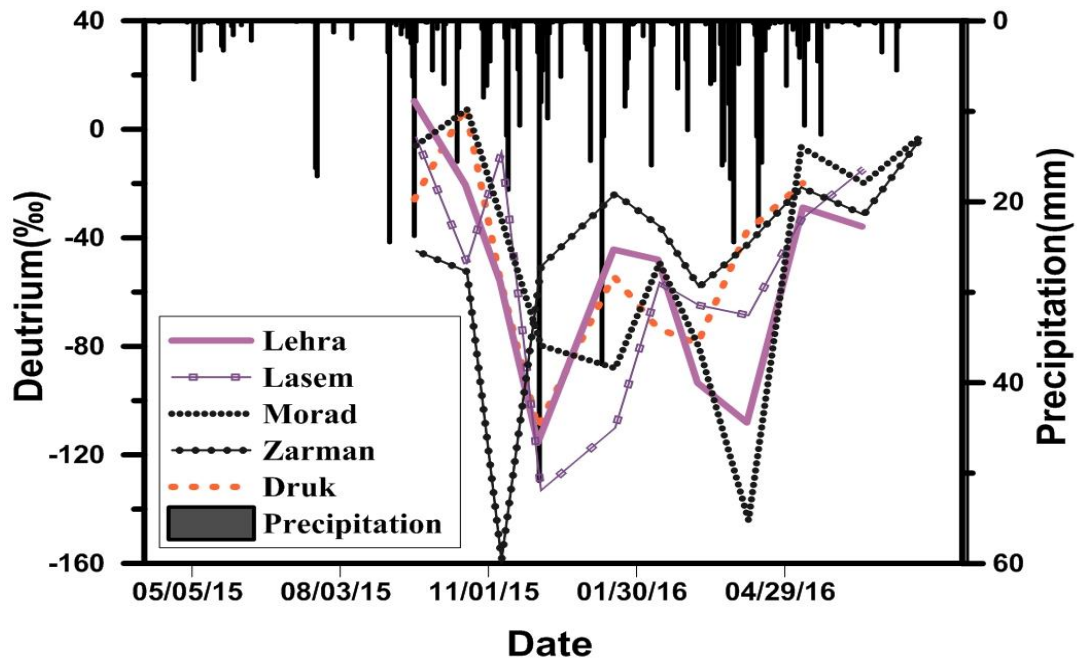
آمار خط جوی در ایستگاه‌های مختلف در جدول ۶-۲ نشان داده شده است. بر اساس این جدول مقادیر شیب در اکثر ایستگاه‌های نمونه‌گیری نزدیک به ۷/۵ است اما این مقدار در ایستگاه لاسم به ۶/۵ کاهش پیدا کرده است. بیشترین مقدار دوتریم اضافی در ایستگاه‌های زرمان و دریوک است و کمترین مقدار آن در ایستگاه آب مراد می‌باشد به طور کلی نمونه‌های حوضه هراز بر روی خط جو جهانی واقع شده و خط آب جوی منطقه هراز (HMWL) با ضریب انطباق بالا ($R^2=0.98$) از معادله $\text{D}=7.67^{18}\text{O}+8.48$ پیروی می‌کند. این خط دارای شیب نزدیک به خط GMWL و ۷/۶۸ و مقادیر کلی دوتریوم اضافه ۸/۴۸ بوده که کمتر از مقادیر متوسط جهانی است.

جدول ۲-۶- آمار ایستگاه‌های نمونه‌گیری شده و خط جوی بارش هر ایستگاه

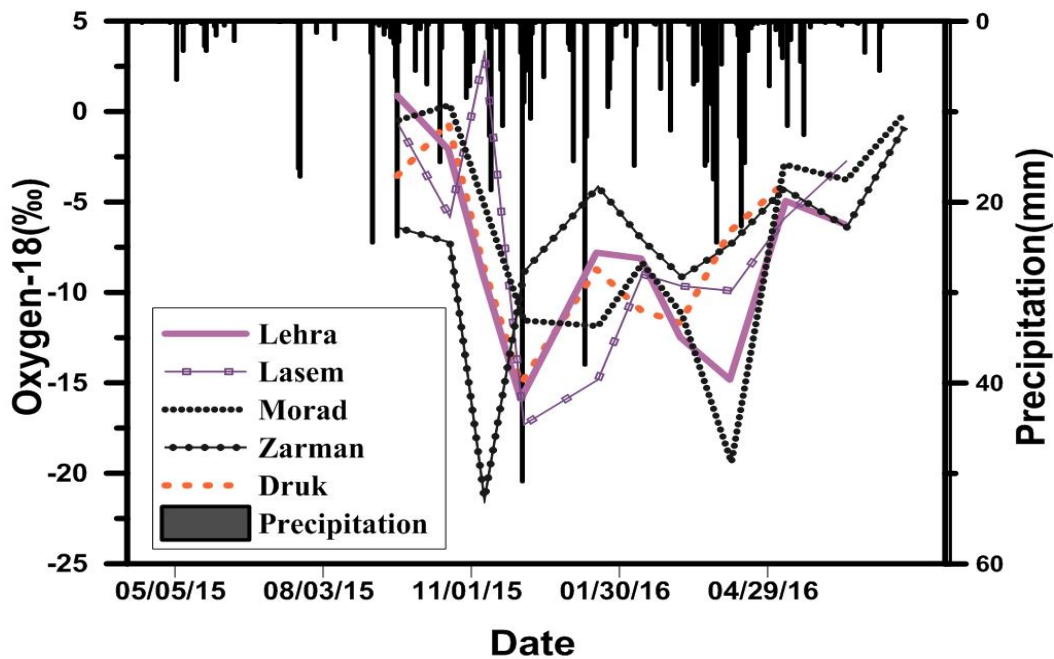
O-18 (‰)		Deuterium (‰)		LMWL	تعداد نمونه	ارتفاع	ایستگاه
Max	Min	Max	Min				
-۰/۱۸	-۱۹	-۳	-۱۵۰	$\text{D}=7/85^{18}\text{O}+11/61$	۱۲	۳۰۰۰	زرمان
-۰/۷۶	-۱۷/۵	-۲/۸۵	-۱۳۳	$\text{D}=7/59^{18}\text{O}+6/13$	۱۰	۲۶۰۰	لاسم
۰/۳۶	-۱۹/۳	۷/۳	-۱۴۴/۵	$\text{D}=6/52^{18}\text{O}+5/23$	۱۱	۲۵۰۰	آبمراد
-۰/۶۲	-۱۵/۳	۸/۷	-۱۱۰/۳	$\text{D}=7/89^{18}\text{O}+10/9$	۱۰	۲۷۰۰	دریوک
۰/۸۸	-۱۵/۵	۱۰/۵	-۱۱۵/۵	$\text{D}=7/48^{18}\text{O}+6/57$	۱۱	۳۱۰۰	لهرا

روند تغییرات سالانه ترکیب ایزوتوپ‌های پایدار در تمامی ایستگاه‌های مورد بررسی دارای روند تقریباً منظم بوده (شکل ۶-۲) و بیانگر وجود رابطه بین مقدار بارش و نوع بارش بوده به طوری که در فصول خشک بارش‌ها به لحاظ ایزوتوپی سنگین‌تر از مقادیر آنها در بارش‌های فصول تر هستند. ایستگاه زرمان و لاسم به ترتیب دارای بیشترین و کمترین مقدار تغییرات در ترکیب ایزوتوپی می‌باشند. علت

این امر وقوع بارش ناشی از تبخیر مجدد از بارش‌های قبلی می‌باشد که در سایر ایستگاه‌ها مشاهده نمی‌گردد. همانگونه که در شکل ۶-۲ مشاهده می‌گردد حتی در فصل‌های سرد هم نوسانات در ترکیب ایزوتوپی مشاهده می‌شود که متأثر از مقدار بارش در این فصول می‌باشد. به نحوی که در دی ماه و اسفند ماه مقادیر ترکیب ایزوتوپی در تمامی ایستگاه‌های سبک‌تر شده است.



(الف)

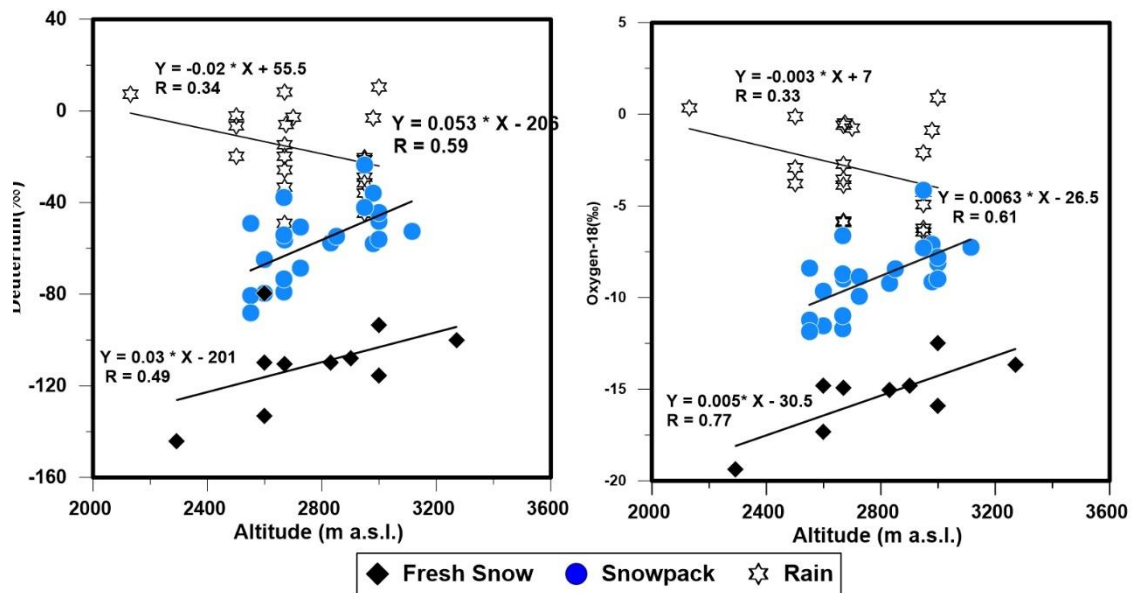


(ب)

شکل ۶-۲- تغییرات ترکیب ایزوتوپی با بارش. الف) دوتریم با بارش، ب) اکسیژن ۱۸ با بارش

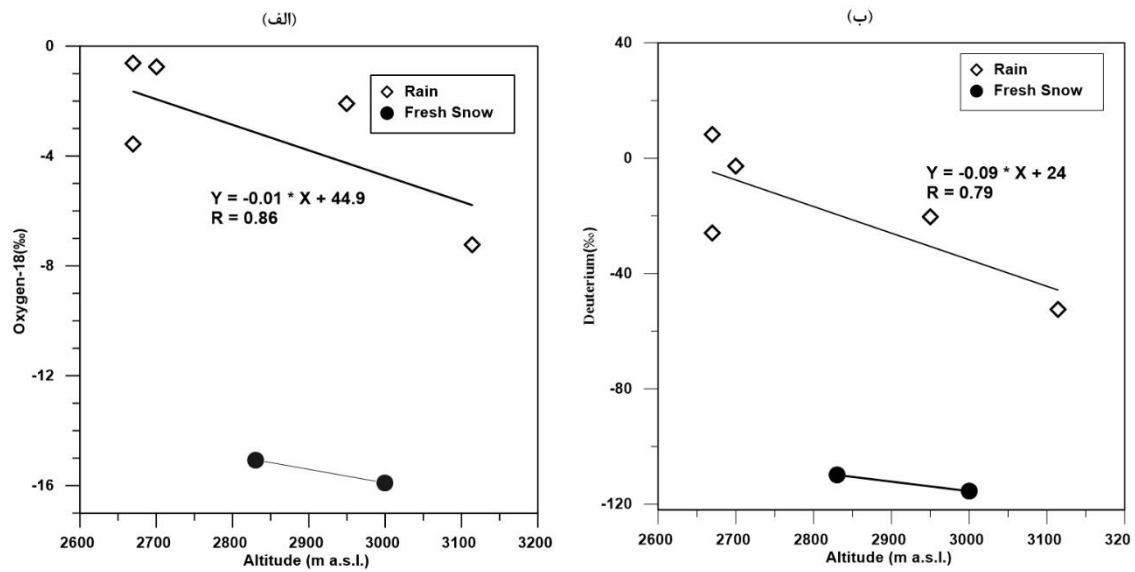
نوسانات ترکیب ایزوتوپی در اکسیژن و دوتریم دارای روند یکسانی در تمامی ایستگاه‌های مورد مطالعه نمونه‌گیری شده می‌باشند.

بررسی رابطه بین ارتفاع محل نمونه‌گیری و ترکیب ایزوتوپی در حوضه هراز سه روند متفاوت را نشان می‌دهد (شکل ۳-۶). این سه روند با نوع نمونه (باران، برف تازه و برف) مرتبط است. به طور کلی ترکیب ایزوتوپی نمونه‌های باران با ارتفاع رابطه معکوس دارند و با افزایش ارتفاع مقادیر آنها در بارش‌ها سبک‌تر می‌شوند. اما در نمونه‌های برف تازه و برف انباشته شده (Snowpack) این مقادیر روند معکوسی را با ارتفاع نشان می‌دهند. این روند در هر دو ایزوتوپ اکسیژن ۱۸ و دوتریم قابل مشاهده است (شکل ۶-۴). علت این امر نوسانات ایزوتوپی بارش‌های مختلف است.



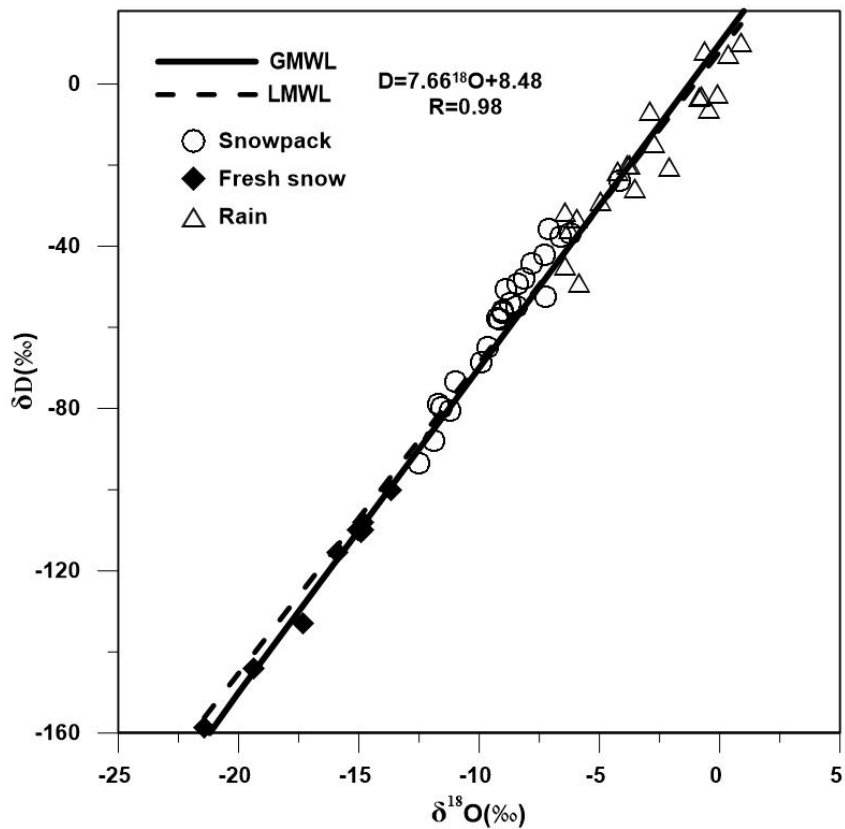
شکل ۳-۶- رابطه ارتفاع و ترکیب ایزوتوپی در نمونه‌های بارش حوضه هراز

لازم به ذکر است که نمونه‌های متعلق به یک واقعه بارشی روند عادی (کاهش محتوی ایزوتوپی با ارتفاع) را نشان می‌دهند (شکل ۴-۶). دوتریم و اکسیژن-۱۸ با افزایش ارتفاع کاهش نسبت ایزوتوپی را نشان می‌دهند. البته لازم به ذکر است که روند تغییر با ارتفاع برای نمونه‌های برف و بارش متفاوت است که علت این امر را می‌توان به شرایط کمتر رطوبت حین بارش باران و دمای بالاتر نسبت داد که طی شرایط مذکور تبخیر حین بارش بیشتر اتفاق افتاده و رابطه تغییر ایزوتوپی با ارتفاع را بارزتر نموده است.



شکل ۴-۶- رابطه ارتفاع و ترکیب ایزوتوپی در نمونه‌های متعلق به یک واقعه بارشی

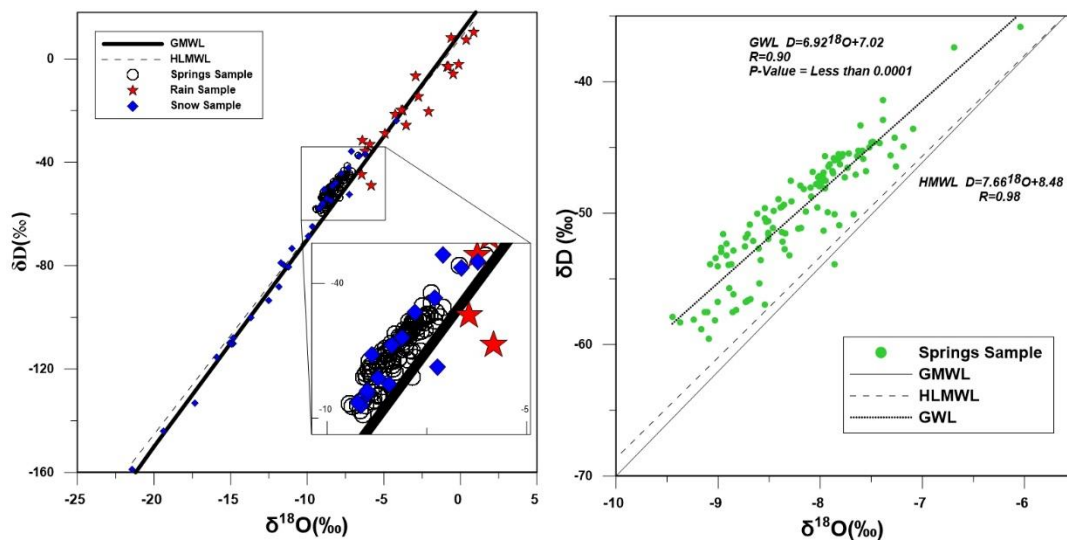
بررسی رابطه نوع بارش و ترکیب ایزوتوپی نشان دهنده این موضوع هستند که باران‌ها دارای سنگین‌ترین و برف‌های تازه دارای سبکترین ترکیب ایزوتوپی بوده و نمونه‌های برف متراکم حد واسط این دو می‌باشند (شکل ۵-۶).



شکل ۵-۶- رابطه ^{18}O و D در بارش‌های حوضه هراز بر اساس نوع بارش

۲-۶- ترکیب ایزوتوپی چشمه‌های انتخابی حوضه هراز

در چشمه‌های انتخابی حوضه هراز مجموعاً ۱۶۵ نمونه از ۳۵ چشمه از بین ۵۰۰ نمونه در فاصله زمانی فروردین ماه ۱۳۹۴ تا تیرماه ۱۳۹۵ انتخاب و آنالیز شد. به طور کلی ترکیب ایزوتوپی در چشمه‌های آهکی منطقه دارای ترکیب ایزوتوپی نسبتاً مشابه می‌باشد. اگرچه ترکیب ایزوتوپی هر چشمه تغییراتی در سری زمانی خود دارند. در این منطقه بیشینه، کمینه و میانگین غلظت ^{18}O به ترتیب $-۳۴/۸$ ، $-۷۰/۲$ و $-۴۸/۵$ می‌باشد (جدول ۲-۶).
و $-۸/۱$ و برای D نیز به ترتیب $-۳۴/۸$ ، $-۷۰/۲$ و $-۴۸/۵$ می‌باشد (جدول ۲-۶).
ترسیم تغییرات ایزوتوپ‌های پایدار (^{18}O و D) در برابر یکدیگر بیانگر آن است که نمونه‌های تمامی چشمه‌های منطقه، بالاتر از خط آب جوی جهانی قرار می‌گیرند (شکل ۶-۶).



شکل ۶-۶- ترکیب ایزوتوپی چشمه‌های منطقه هراز و خط آب جوی هراز (HLMWL)

چشمه‌های منطقه هراز دارای دامنه محدودی از تغییرات در ترکیب ایزوتوپی خود هستند. ترکیب بسیار نزدیک چشمه‌های کارستی بیانگر وجود یک منشاء تغذیه کننده در این آبخوان‌ها می‌باشد. غالب نمونه‌ها دارای ترکیب مشابه، نمونه‌های برف متراکم (Snowpack) هستند (۶-۶) که این موضوع نشان می‌دهد که در این منطقه آب حاصل از ذوب برف، منشاء اصلی تغذیه آبخوان‌های کارستی منطقه است و اثر تبخیر بسیار محدود بوده و نفوذ در محیط‌های کارستی سریع می‌باشد.

جدول ۶-۳- ترکیب ایزوتوپی چشمه‌های منطقه هراز

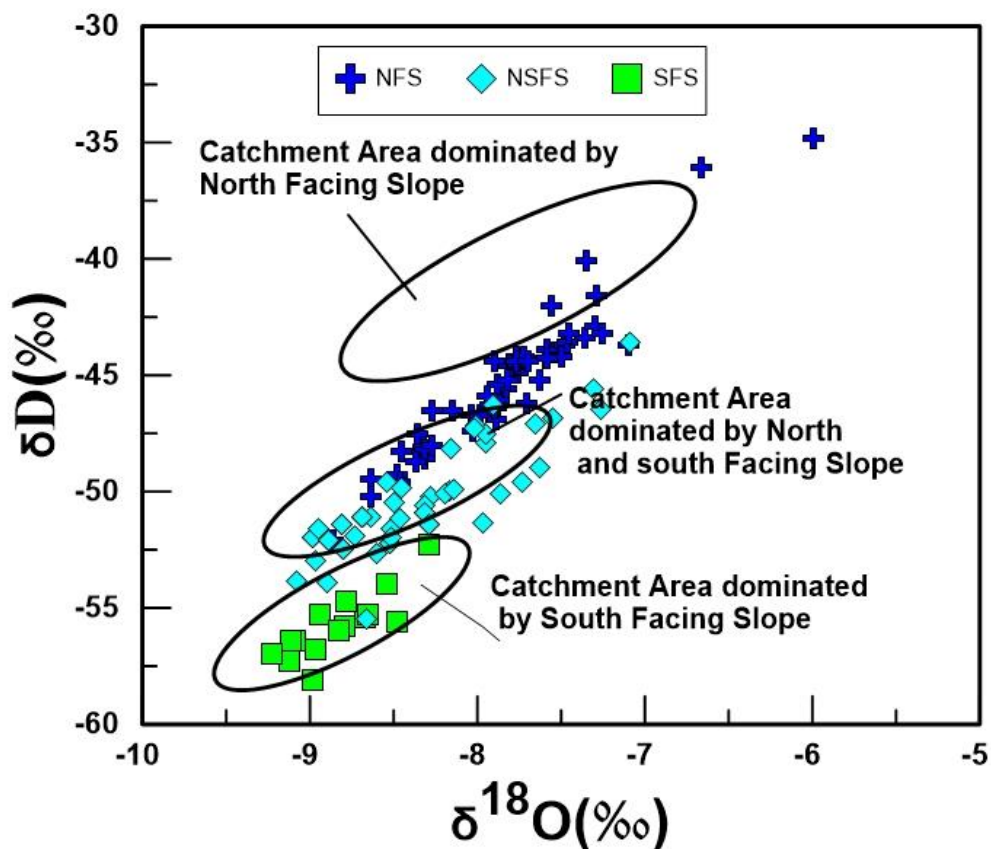
EC (μS/cm)	δ ² H, in ‰	δ ¹⁸ O, in ‰	تاریخ	چشمه	EC (μS/cm)	δ ² H, in ‰	δ ¹⁸ O, in ‰	تاریخ	چشمه
۲۲۷	-۴۵/۲	-۷/۸۷	۱۰/۱۰/۱۵	آبراداد	۱۸	-۴۳/۷	-۷/۱۰	۶/۱۶/۱۵	شمسین
۲۲۷	-۴۴/۳	-۷/۵۹	۱۲/۳/۱۵	آبراداد	۲۰۵	-۴۶/۶	-۷/۹۲	۷/۱۸/۱۵	شمسین
۲۲۷	-۴۴/۲	-۷/۷۷	۴/۶/۱۶	آبراداد	۱۹۹	-۴۶/۲	-۷/۷۱	۹/۱۸/۱۵	شمسین
۲۳۰	-۴۴/۵	-۷/۸۱	۳/۷/۱۶	آبراداد	۲۱۷	-۴۶/۷	-۷/۹۸	۱۲/۳/۱۵	شیخ علیخان ۳
۲۲۷	-۴۴/۶	-۷/۸۱	۲/۱۲/۱۶	آبراداد	۲۲۳	-۴۹/۳	-۸/۴۸	۴/۶/۱۶	شیخ علیخان ۳
۲۳۰	-۴۴/۰	-۷/۵۴	۶/۱۶/۱۵	آبراداد	۲۱۷	-۴۹/۶	-۸/۴۶	۳/۷/۱۶	شیخ علیخان ۳
۱۵۵	-۴۴/۴	-۷/۹۰	۶/۱۶/۱۶	آبراداد	۱۶۲	-۵۲/۱	-۸/۸۶	۵/۹/۱۶	شیخ علیخان ۳
۲۲۷	-۴۳/۹	-۷/۵۸	۹/۱۸/۱۵	آبراداد	۲۱۲	-۴۸/۶	-۸/۳۱	۲/۱۲/۱۶	شیخ علیخان ۳
۱۶۱	-۴۹/۵	-۸/۶۴	۵/۹/۱۶	آبراداد	۲۱۹	-۴۱/۶	-۷/۲۹	۱/۱۶/۱۶	شیخ علیخان ۳
۲۲۹	-۴۳/۷	-۷/۸۸	۷/۱۸/۱۵	آبراداد	۱۵۷	-۴۸/۳	-۸/۴۵	۶/۱۶/۱۶	شیخ علیخان ۳
۲۳۴	-۴۶/۷	-۸/۰۴	۴/۶/۱۶	آبراداد ۲	۲۰۸	-۴۶/۴	-۷/۸۹	۹/۱۸/۱۵	شیخ علیخان ۳
۲۴۴	-۴۵/۶	-۷/۸۳	۳/۷/۱۶	آبراداد ۲	۲۳۳	-۴۲/۹	-۷/۳۰	۱۲/۳/۱۵	شیخ علیخان ۳
۲۴۶	-۴۸/۱	-۸/۲۲	۵/۹/۱۶	آبراداد ۲	۲۱۹	-۴۶/۳	-۷/۹۲	۴/۶/۱۶	شیخ علیخان ۳
۲۲۲	-۴۴/۹	-۷/۷۶	۲/۱۲/۱۶	آبراداد ۲	۲۷۰	-۴۶/۱	-۷/۸۷	۳/۷/۱۶	شیخ علیخان ۳
۹۹	-۴۷/۵	-۸/۳۶	۶/۱۶/۱۶	آبراداد ۲	۲۴۰	-۴۸/۲	-۸/۳۱	۵/۹/۱۶	شیخ علیخان ۳
۲۴۸	-۴۶/۵	-۸/۱۵	۶/۱۶/۱۶	آبراداد ۳	۲۶۸	-۴۶/۴	-۷/۹۰	۲/۱۲/۱۶	شیخ علیخان ۳
۱۵۱	-۴۲/۰	-۷/۵۶	۶/۱۵/۱۵	انگمار	۲۲۷	-۴۴/۲	-۷/۵۰	۱/۱۶/۱۶	شیخ علیخان ۳
۱۵۸	-۴۰/۱	-۷/۳۵	۷/۱۸/۱۵	انگمار	۲۳۱	-۴۸/۷	-۸/۳۷	۶/۱۶/۱۶	شیخ علیخان ۳
۱۵۸	-۳۶/۱	-۶/۶۶	۹/۱۸/۱۵	انگمار	۲۵۵	-۴۶/۹	-۸/۰۸	۱۰/۱۰/۱۵	شیخ علیخان ۳
۱۶۰	-۴۱/۶	-۷/۷۸	۱۰/۱۰/۱۵	انگمار	۲۱۷	-۵۵/۸	-۸/۷۹	۱۲/۳/۱۵	زرده
۲۶۰	-۵۱/۱	-۸/۶۹	۴/۶/۱۶	آستانه	۲۱۵	-۵۶/۴	-۹/۰۹	۵/۹/۱۶	زرده
۳۵۵	-۷۰/۲	-۹/۹۵	۱۰/۱۰/۱۵	کونا	۲۰۸	-۵۶/۴	-۹/۱۱	۶/۱۶/۱۶	زرده
۵۵۰	-۵۵/۴	-۸/۳۸	۱۲/۳/۱۵	کیان	۲۱۵	-۵۶/۰	-۸/۸۳	۱۰/۱۰/۱۵	زرده
۴۴۴	-۵۵/۴	-۸/۶۷	۳/۷/۱۶	کیان	۲۱۸	-۵۷/۰	-۹/۲۳	۴/۶/۱۶	زرده
۴۲۵	-۵۸/۳	-۹/۳۸	۱۰/۱۰/۱۵	لاله‌گون	۲۳۲	-۴۸/۰	-۸/۳۷	۳/۷/۱۶	زرده
۴۶۰	-۵۲/۰	-۸/۵۴	۴/۶/۱۶	لاله‌گون	۲۷۷	-۵۰/۰	-۸/۱۷	۴/۶/۱۶	زربین چشمه
۲۵۰	-۵۷/۹	-۹/۴۵	۱۰/۱۰/۱۵	مرچ	۲۹۱	-۵۰/۱	-۸/۱۹	۵/۹/۱۶	زربین چشمه
۲۶۲	-۵۵/۳	-۸/۶۵	۱۲/۳/۱۵	مرچ	۲۸۵	-۵۰/۶	-۸/۳۱	۶/۱۶/۱۶	زربین چشمه
۲۴۷	-۵۵/۳	-۸/۹۴	۵/۹/۱۶	مرچ	۲۸۶	-۴۹/۰	-۷/۶۳	۹/۱۸/۱۵	زربین چشمه
۲۶۱	-۵۵/۳	-۸/۶۵	۹/۱۸/۱۵	مرچ	۳۱۴	-۴۵/۴	-۷/۸۸	۴/۶/۱۶	زهره
۲۴۴	-۵۴/۷	-۸/۷۸	۴/۶/۱۶	مرچ	۳۰۲	-۴۳/۶	-۷/۴۶	۹/۱۸/۱۵	زهره
۲۶۵	-۵۶/۵	-۸/۶۹	۹/۱۲/۱۵	مرچ	۳۱۹	-۴۵/۹	-۷/۹۴	۳/۷/۱۶	زهره
۲۷۰	-۴۷/۴	-۸/۰۳	۴/۶/۱۶	مرچ	۲۷۷	-۴۵/۲	-۷/۸۲	۲/۱۲/۱۶	زهره
۲۰۵	-۵۰/۲	-۸/۶۴	۵/۹/۱۶	میازود	۲۸۲	-۴۳/۲	-۷/۳۵	۶/۱۵/۱۵	زهره
۱۵۴	-۴۴/۶	-۷/۷۷	۹/۱۸/۱۵	رخش	۳۰۰	-۴۶/۵	-۸/۲۷	۶/۱۶/۱۶	زهره
۱۴۷	-۴۴/۵	-۷/۷۶	۷/۱۸/۱۵	رخش	۳۰۳	-۴۴/۳	-۷/۵۸	۷/۱۸/۱۵	زهره
۱۵۳	-۴۴/۳	-۷/۷۳	۱۱/۹/۱۵	رخش	۲۸۰	-۴۴/۴	-۷/۷۰	۱۰/۱۹/۱۵	زهره
۱۵۳	-۴۳/۴	-۷/۳۶	۶/۱۶/۱۵	رخش	۲۸۲	-۵۲/۳	-۸/۹۲	۱۰/۱۸/۱۵	آستانه
۱۴۹	-۴۴/۳	-۷/۷۲	۱۰/۱۹/۱۵	رخش	۶۰۹	-۵۷/۳	-۹/۱۲	۳/۷/۱۶	بی‌بی‌خانم
۱۹۸	-۴۶/۹	-۷/۸۹	۱۰/۱۹/۱۵	شمسین	۱۶۰	-۴۳/۲	-۷/۴۵	۵/۹/۱۵	ارتفاع
۲۶۰	-۵۱/۱	-۸/۶۹	۴/۶/۱۶	آستانه	۴۷۸	-۵۰/۹	-۸/۳۱	۵/۹/۱۵	دلچای
۲۶۲	-۵۲/۳	-۸/۹۲	۱۰/۱۰/۱۵	آستانه	۲۶۳	-۵۲/۲	-۸/۵۲	۷/۱۸/۱۵	لهرا
۲۶۰	-۵۲/۱	-۸/۸۹	۸/۱۰/۰۷	آستانه	۲۶۵	-۵۱/۴	-۸/۲۹	۹/۱۸/۱۵	لهرا
۲۸۲	-۵۱/۱	-۸/۶۹	۴/۶/۱۶	آستانه	۲۶۱	-۵۲/۵	-۸/۸۰	۵/۹/۱۶	لهرا
۲۸۷	-۵۱/۴	-۸/۸۱	۵/۹/۱۶	آستانه	۲۶۷	-۵۱/۴	-۷/۹۷	۵/۹/۱۵	لهرا
۲۶۵	-۵۲/۰	-۸/۹۸	۷/۱۵/۱۶	آستانه	۲۶۴	-۵۲/۰	-۸/۵۱	۱۰/۱۹/۱۵	لهرا
۲۷۵	-۵۲/۱	-۸/۸۹	۱/۱۶/۱۶	آستانه	۲۸۰	-۵۲/۷	-۸/۶۰	۱/۱/۱۶	لهرا
۲۶۱	-۵۵/۵	-۸/۶۶	۷/۱۵/۱۶	آستانه	۲۷۸	-۵۳/۹	-۸/۹۰	۴/۱/۱۶	لهرا
۲۷۹	-۵۱/۶	-۸/۵۱	۶/۴/۱۵	آستانه	۲۹۲	-۵۱/۶	-۸/۹۵	۶/۱/۱۶	لهرا
۲۷۲	-۴۹/۶	-۸/۵۴	۲/۵/۱۶	آستانه	۲۶۹	-۴۷/۳	-۸/۰۲	۹/۱۸/۱۵	چشمه‌خونی
۲۶۵	-۴۹/۹	-۸/۱۴	۹/۱۷/۱۵	آستانه	۳۶۰	-۴۹/۸	-۸/۴۵	۹/۱۸/۱۵	دوبرار
۲۵۷	-۵۱/۱	-۸/۴۶	۱/۱۱/۱۶	آستانه	۳۵۴	-۴۶/۵	-۷/۲۶	۶/۲۰/۱۵	دوبرار
۲۷۵	-۵۱/۹	-۸/۷۳	۳/۱۱/۱۶	آستانه	۳۷۲	-۴۸/۲	-۸/۱۶	۷/۲۳/۱۵	دوبرار
۲۵۸	-۵۳/۹	-۹/۰۸	۶/۱۱/۱۶	آستانه	۳۰۰	-۴۶/۳	-۷/۹۱	۱۰/۲۳/۱۵	دوبرار
۳۰۱	-۴۵/۲	-۷/۶۳	۴/۶/۱۶	شیخ علیخان ۳	۱۰۱۸	-۵۰/۱	-۷/۸۶	۶/۱۷/۱۵	ورارو
۲۷۴	-۴۴/۸	-۵/۹۹	۱/۱۶/۱۶	شیخ علیخان ۳	۵۵۰	-۵۳	-۸/۹۷	۹/۱۸/۱۵	ورارو
۲۸۰	-۴۵/۶	-۷/۶۱	۶/۲۰/۱۵	فرزخانی	۲۹۹	-۴۷/۱	-۷/۶۵	۷/۲۲/۱۵	آبریزه
۲۷۹	-۴۷/۲	-۸/۰۱	۷/۲۳/۱۵	فرزخانی	۲۲۰	-۴۶/۸	-۷/۵۵	۸/۲۳/۱۵	آبریزه
۲۸۷	-۴۳/۹	-۷/۰۹	۸/۲۵/۱۵	فرزخانی	۲۳۸	-۴۴/۴	-۷/۷۷	۵/۴/۱۵	S18
۲۷۲	-۴۷/۶	-۷/۹۵	۹/۱۸/۱۵	فرزخانی	۲۰۵	-۴۹/۹	-۷/۹۳	۶/۲۰/۱۵	S43
۴۵۰	-۵۰/۹	-۷/۸۱	۶/۲۰/۱۵	زیرالود	۱۸۱۵	-۴۹/۵	-۸/۰۳	۶/۲۰/۱۵	S53
۹۲۰	-۵۳/۲	-۸/۳۰	۶/۲۰/۱۵	چهل‌دختر	۸۷۵	-۵۹/۵	-۹/۰۹	۶/۲۰/۱۵	S54

علاوه بر شباهت بسیار بالای ترکیب ایزوتوپی چشمه‌ها با نمونه‌های برف، آب حاصل از ذوب برف نیز نقش اصلی در تغذیه این آبخوان‌ها ایفا می‌کند. همانگونه که در شکل ۶-۶ ب مشاهده می‌شود ترکیب ایزوتوپ‌های پایدار (^{18}O و D) در چشمه‌های حوضه هراز از روند خطی $D=6.92^{18}\text{O}+7.02$ پیروی می‌کند. لازم به ذکر است که این روند در مناطق مختلف تا حدی متفاوت بوده و بسته به جهت شیب و ارتفاع حوضه آبخیز تا حدی متفاوت می‌باشد.

۶-۳- تغییرات مکانی ترکیب ایزوتوپی در چشمه‌های منطقه هراز

بررسی تغییرات مکانی ترکیب ایزوتوپی در چشمه‌های مختلف کارستی در این منطقه بیانگر تغییرات مکانی اندک در کل این حوضه می‌باشد. به طور کلی چشمه کرنا (با ارتفاع متوسط حوضه آبخیز ۳۸۰۰ متر) واقع در بالا دست شهر لاریجان دارای سبک‌ترین و چشمه انگمار دارای سنگین‌ترین ترکیب ایزوتوپی هستند (جدول ۶-۳). علت سنگین‌تر بودن ترکیب ایزوتوپی چشمه انگمار علیرغم بالا بودن ارتفاع میانگین حوضه آبخیز (۳۷۷۰ متر) حضور مداوم برف در دره انگمار و تأثیر آب ناشی از ذوب برف و بارانهای تابستانه می‌باشد که در سایر مناطق توان نفوذ ندارند ولی با حضور برف شرایط جهت نفوذ و تأثیر بر روی ترکیب ایزوتوپی فراهم می‌گردد. لازم به ذکر است که چشمه کرنا آهکی نبوده و از آندزیت‌های جوان قله دماوند سرچشمه می‌گیرد. در چشمه‌های کارستی منطقه هراز ترکیب ایزوتوپی دارای مقادیر مشابه می‌باشد. در این منطقه چشمه‌ها دارای حوضه آبخیز با ارتفاعات مختلف هستند. با توجه به اینکه غالب بارش‌های مؤثر در این منطقه از نوع برف می‌باشد و تجمع برف منجر به تأثیر عوامل بعد از بارش بر روی ترکیب ایزوتوپی می‌گردد، ترکیب تقریباً یکسانی در این چشمه‌ها مشاهده می‌شود. بررسی ترکیب ایزوتوپی با توجه به خصوصیات حوضه آبخیز (جهت شیب و ارتفاع متوسط) نشان دهنده یک روند معنی‌دار بین شیب غالب حوضه آبخیز و ترکیب ایزوتوپی می‌باشد. چشمه‌های با شیب غالب حوضه آبخیز رو به شمال دارای سنگین‌ترین و چشمه‌های با شیب رو به جنوب دارای سبک‌ترین ترکیب ایزوتوپی می‌باشند (شکل ۶-۷). بعلاوه روند آنها نیز با افزایش ارتفاع معکوس شده و با افزایش ارتفاع

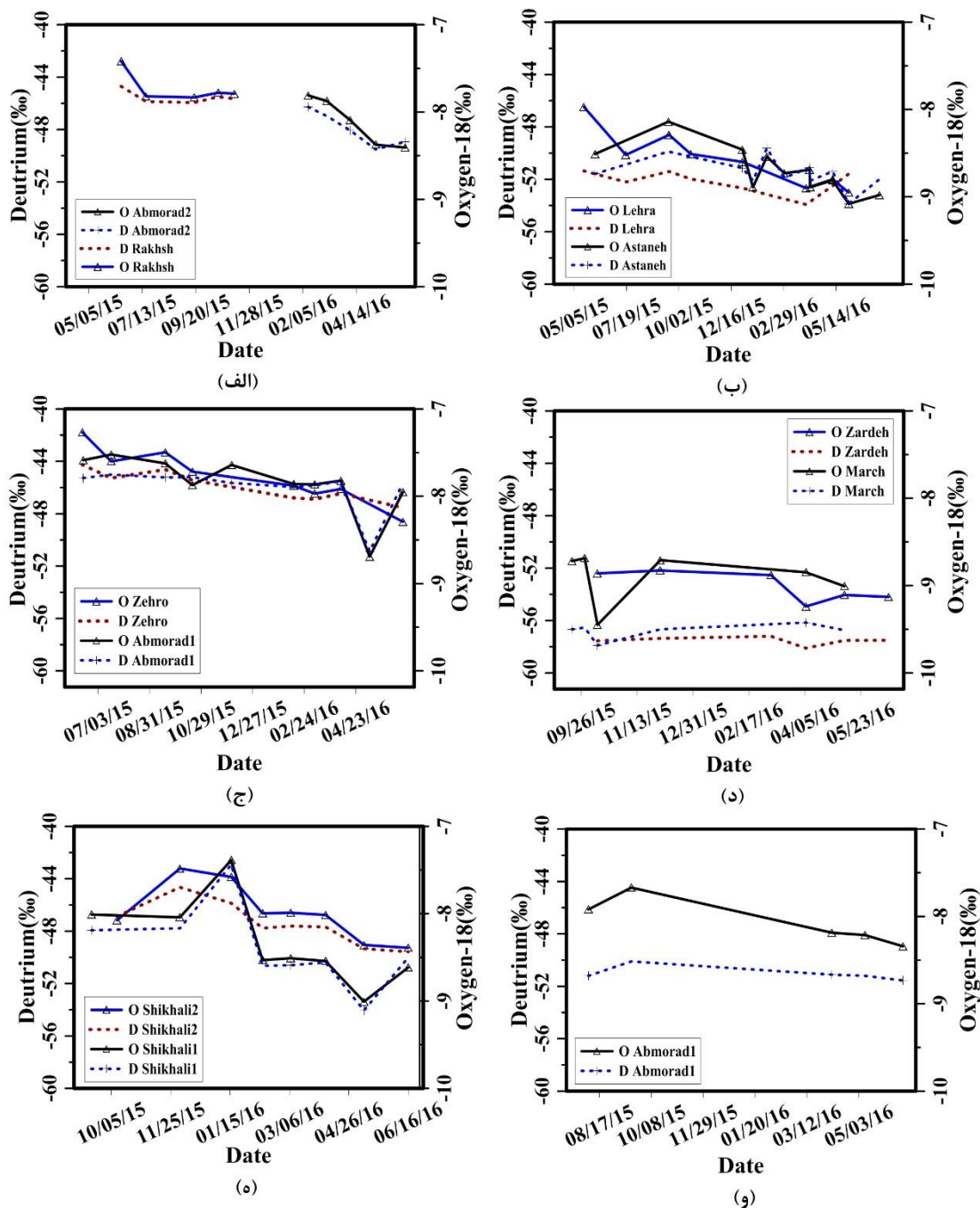
ترکیب ایزوتوپی سنگین تر می‌شود. این امر ناشی از ماندگاری بیشتر برف در این مناطق و افزایش توان تغذیه بارشهای زیر حد آستانه تغذیه در این محل‌ها می‌باشد.



شکل ۶-۷- تغییرات مکانی ترکیب ایزوتوپی چشمه‌های منطقه هراز با توجه به شیب غالب حوضه آبریز

۴-۶- تغییرات زمانی ترکیب ایزوتوپی در چشمه‌های منطقه هراز

سری زمانی ترکیب ایزوتوپی، در برخی چشمه‌های منطقه در شکل ۶-۸ نشان داده شده است. بررسی تغییرات زمانی چشمه‌های منطقه به صورت کلی بیانگر آن است که با گذشت زمان از دبی اوج به سمت دبی پایه ترکیب ایزوتوپی اغلب چشمه‌ها دارای روند سبک شونده می‌باشند. علت به هم ریختگی این روند در چند مورد، ناشی از رخداد‌های بارشی هستند که با وقفه زمانی به چشمه منتقل می‌شوند. روند نزولی در چشمه‌های منطقه و سبکتر شدن در حین دبی پایه بیانگر وجود تغذیه در فصول سردتر به دلیل ذوب محدود با ترکیب ایزوتوپی سبکتر و تغذیه از طریق مجاری کوچک می‌باشد. مقدار تغییرات ایزوتوپی در چشمه‌های با شیب غالب رو به جنوب (۶-۸) حوضه آبریز کمتر از چشمه‌های رو به شمال می‌باشد.

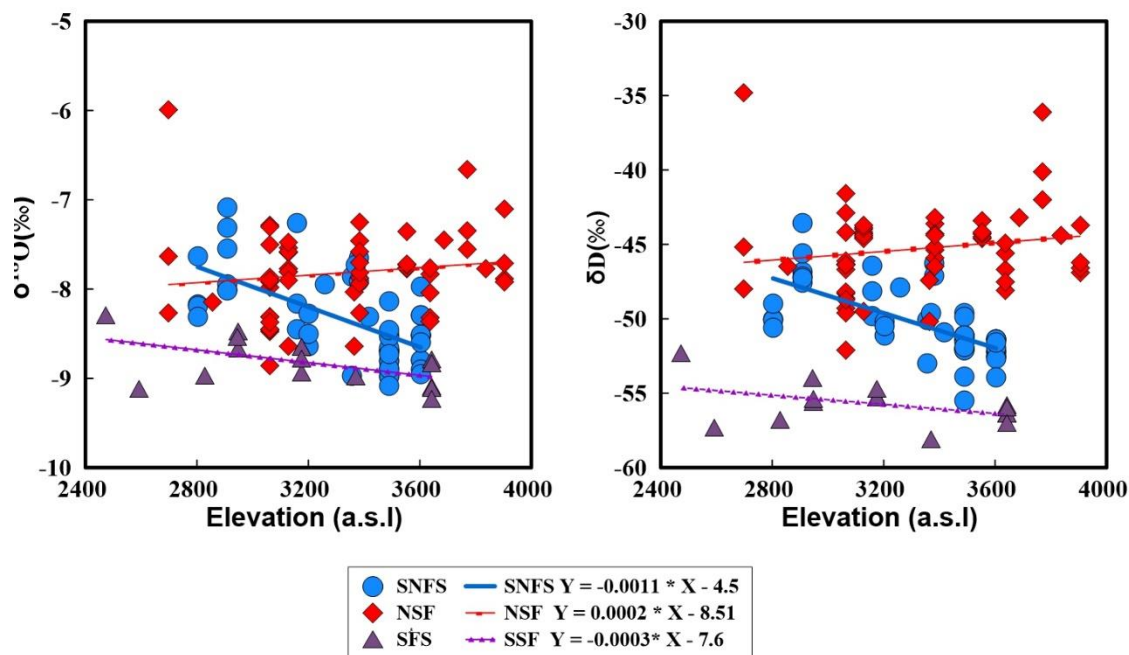


شکل ۶-۸- سری زمانی ترکیب ایزوتوپی چشمه‌های منطقه هراز

۶-۵- ماندگاری برف در حوضه آبرگیر و ترکیب ایزوتوپی

به طور معمول ترکیب ایزوتوپی بارش‌های جوی با افزایش ارتفاع سبکتر شده و در مناطق مرتفع نسبت به مناطق کم ارتفاع مقادیر کوچکتری را دارا می‌باشند (Clarck and Fritz, 1997). در آب‌های زیرزمینی نیز انتظار می‌رود که با افزایش ارتفاع مناطق تغذیه کننده و حوضه آبرگیر چشمه‌ها ترکیب ایزوتوپی

سبک‌تر شود. بررسی رابطه ارتفاع متوسط حوضه آبخیز چشمه‌های کارستی در این منطقه مبتنی بر یک نوع عدم انطباق با روند معمول (سبک شدن ترکیب ایزوتوپی با ارتفاع) است (شکل ۶-۹). همانگونه که مشاهده می‌گردد چشمه‌های منطقه برخلاف روند مورد انتظار (سبک‌تر شدن ترکیب ایزوتوپی با افزایش ارتفاع حوضه) در چشمه‌های منطقه، ارتباط منظمی و معناداری با ارتفاع وجود ندارد (شکل ۶-۹). علت این امر ناشی از تأثیر عوامل دیگری غیر از بارش و ارتفاع بر روی ترکیب ایزوتوپی می‌باشد. از آنجایی که در این منطقه بخش عمده بارش مؤثر به صورت برف بوده، آب حاصل از ذوب برف نقش اصلی را در تغذیه آبخوان‌های کارستی دارند. ماندگاری برف امکان تأثیر فرآیندهای پس از بارش برف بر ترکیب ایزوتوپی آب حاصل از ذوب را فراهم می‌کند. جهت شیب و ارتفاع نقش بسیار مهمی را در کنترل ماندگاری برف و زمان ذوب دارد، انتظار می‌رود که در مناطق مرتفع و با شیب رو به شمال ماندگاری بیشتر برف باشد. بررسی نمودارهای سری زمانی در منطقه در فاصله زمانی زمستان ۱۳۹۳ تا تابستان ۱۳۹۵ مؤید این موضوع است. بر اساس رابطه جهت شیب کلی حوضه آبخیز چشمه‌ها با ترکیب ایزوتوپی، چشمه‌های تخلیه‌کننده را می‌توان به سه گروه تقسیم‌بندی نمود. گروه اول چشمه‌هایی هستند که با افزایش ارتفاع ترکیب ایزوتوپی در آنها به طور قابل توجهی سبک‌تر می‌شود و شیب غالب حوضه آبخیز رو به جنوب می‌باشد. دسته دوم گروهی از چشمه‌ها هستند که با افزایش ارتفاع نسبت ایزوتوپی سنگین‌تر شده و شیب غالب حوضه آبخیز این چشمه‌ها به سوی شمال است. در گروه سوم ترکیب ایزوتوپی با افزایش ارتفاع سبک‌تر شده، اما از نظر کلی دارای ترکیب ایزوتوپی سنگین‌تر بوده و شیب حوضه آبخیز آنها هم به سوی شمال و هم جنوب می‌باشد (شکل ۶-۹). گروه سوم رفتار ایزوتوپی در بینابین دو گروه اول و دوم دارد و دارای شیبی به سمت جنوب و شمال می‌باشند. دسته اول چشمه‌ها که حوضه آبخیز آنها رو به جنوب است دارای زمان ماندگاری کمتری هستند و تقریباً به طور متوسط ۴۵-۶۰ روز زودتر از دامنه‌های رو به شمال، پوشش برف آنها ذوب می‌شود. در گروه دوم از چشمه‌ها، پوشش برف تا اواسط خرداد ماه حفظ می‌شود.



شکل ۶-۹- رابطه ارتفاع متوسط حوضه آبخیز و ترکیب ایزوتوپی چشمه‌های منطقه هراز

به احتمال قوی ماندگاری زیاد برف باعث تأثیر فرآیندهای تبادل رطوبت، تبخیر و ذوب بر ترکیب ایزوتوپی می‌شود که در این بین تبادل رطوبت مهم‌تر از سایر فرآیندها می‌باشد. اما نکته جالب توجه در این منطقه، روند معکوس در برخی از چشمه‌ها است. یعنی با افزایش ارتفاع حوضه آبخیز، مقادیر ترکیب ایزوتوپی افزایش می‌یابد.

به طور کلی ترکیب بارش در حوضه هراز دارای روند سالانه بوده و در فصل سرد ترکیب بارش سبک‌تر بوده و در فصول خشک دارای سنگین‌ترین ترکیب ایزوتوپی می‌باشند. به لحاظ نوع بارش، برف‌های تازه و باران‌های این منطقه به ترتیب دارای سبک‌ترین و سنگین‌ترین ترکیب ایزوتوپی بوده و نمونه‌های ستون برف بین این دو واقع می‌شوند. چشمه‌های حوضه هراز دارای ترکیب ایزوتوپی بسیار نزدیک به نمونه‌های آنالیز شده از ستون برف می‌باشد. این امر بیانگر نقش عمده آب حاصل از ذوب برف در تغذیه سفره‌های این منطقه می‌باشد. عدم رابطه ترکیب ایزوتوپی با ارتفاع در نمونه‌های برف انباشته و چشمه‌های با ماندگاری زیاد برف در حوضه آبخیز (دامنه رو به شمال) مبین وجود اثرات بعد از بارش بر روی برف (ته نشینی رطوبت) و تغذیه با باران‌های بهاره بر ترکیب ایزوتوپی می‌باشد.

فصل هفتم: تعیین حد آستانه و ارزیابی تغذیه

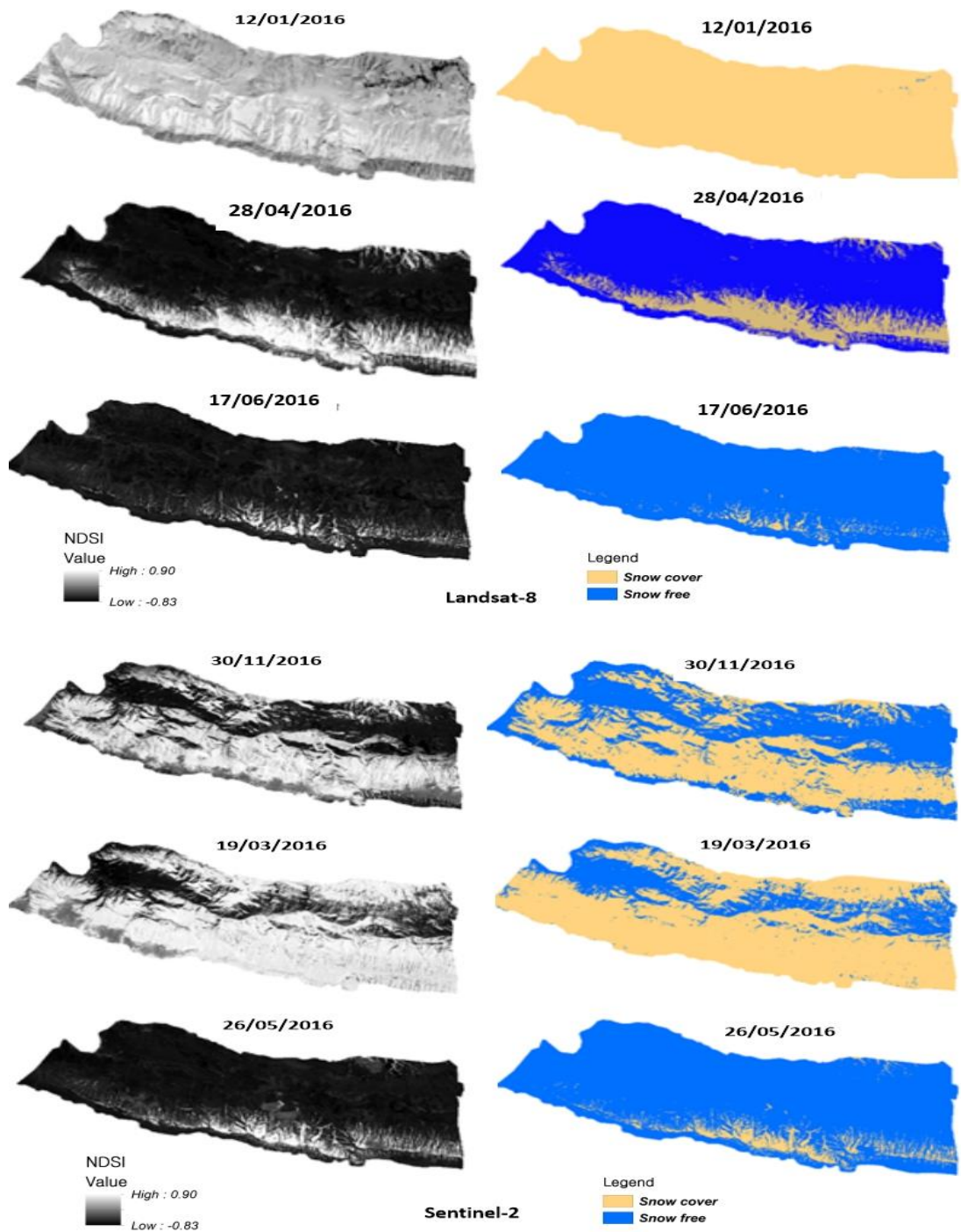
تعیین مقدار دقیق تغذیه آب‌های زیرزمینی تقریباً امری ناممکن است و علت این امر پیچیدگی‌های موجود در تأثیرگذاری و عدم قطعیت پارامترهای مؤثر بر آن می‌باشند. با برآورد اثر این پارامترها می‌توان تا حد زیادی از کلی‌گویی اجتناب کرد و راهی را به سوی ارزیابی دقیق‌تر تغذیه گشود. از آنجایی که مقدار تغذیه تغییرات زمانی و مکانی شدیدی را در مناطق خشک و نیمه‌خشک مثل ایران نشان می‌دهد، استفاده از روش‌هایی که تا حدی توانایی در نظر گرفتن این پارامترها را داشته باشند می‌تواند اهمیت بسزایی در برآورد قابل قبول تغذیه، داشته باشد. در بین پارامترهای مؤثر بر تغذیه، بارندگی تنها پارامتری است که تغییرات مکانی و زمانی قابل توجه نشان می‌دهد. در این فصل، در ابتدا به بررسی وقفه زمانی بین بارش و ظهور اثرات آن در چشمه‌ها پرداخته شده است. با توجه به تغییرات ویژگی‌های بارندگی (فراوانی، مقدار) در هر سال آبی، ویژگی‌های بارش نیز در این منطقه تحت بررسی قرار گرفته، مقدار پتانسیل تغذیه و در نهایت مقدار تغذیه در محدوده مورد مطالعه ارزیابی شده است.

۷-۱- تعیین وقفه زمانی چشمه‌ها

بررسی وقفه زمانی بین بارش و ظهور آن در هر چشمه به منظور تعیین اثرات آن بارش ضرورت دارد و می‌تواند به تعبیر و تفسیر صحیح آن، کمک شایانی نماید. در محیط‌های کارستی وقفه زمانی از چند ساعت در مناطق با کارست توسعه یافته و حوضه‌های کوچک و گرد تا چندین سال در مناطق با توسعه کم کارست و نیز حوضه آگیر و وسیع و کشیده متغیر است. با توجه به ناهمگنی بسیار زیاد آبخوان‌های کارستی، ارزیابی کل این آبخوان‌ها اطلاعات جامع‌تری در مقایسه با بررسی‌های محلی ارائه

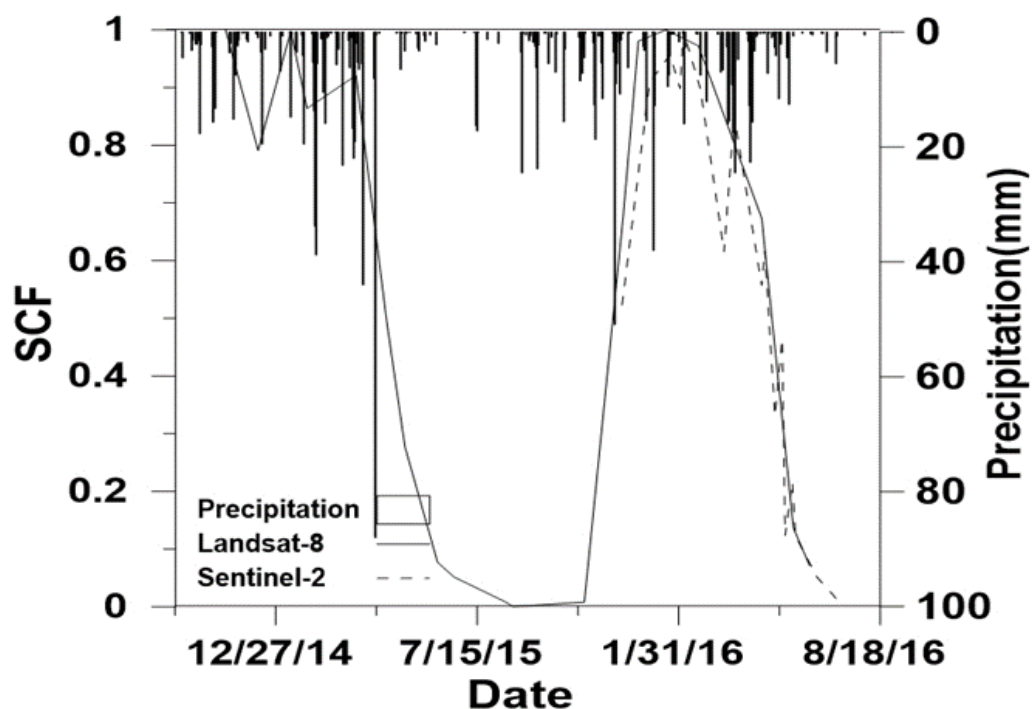
می‌کند. فرآیند ذوب برف از جمله فرآیندهایی است که در کل سطح آبخوان اتفاق می‌افتد و آبخوان، اپی‌کارست، منطقه غیراشباع و عوامل دخیل در تغذیه می‌تواند بر آن اثر داشته باشد.

ذوب برف دارای تغییرات مکانی و زمانی است و بررسی این تغییرات به عنوان پارامتر ورودی و پایش تغییرات دبی در چشمه می‌تواند بیانگر زمان انتقال متوسط حوضه آبخیز به چشمه باشد. با توسعه تکنولوژی سنجش از دور و فراهم شدن این امکان می‌توان فرآیند ذوب برف را با استفاده از منحنی تغییرات پوشش برف در هر منطقه در گذر زمان را بررسی کرد و زمان بیشینه این فرآیند را تعیین نمود (Hall et al. 2015). در این تحقیق از تصاویر ماهواره‌های سینتینال ۲ (Sentinel2) در بازه زمانی پاییز ۱۳۹۴ تا اواسط تابستان ۱۳۹۵ و لندست ۸ (Landsat8) در بازه زمانی پاییز ۱۳۹۴ تا اوایل تابستان ۱۳۹۴ و پاییز ۱۳۹۴ تا اوایل تابستان ۱۳۹۵ برای دستیابی به این هدف استفاده شده است (شکل ۷-۱). لندست ۸ (Landsat8) و سینتینال ۲ (Sentinel2) به ترتیب در باندهای مرئی دارای وضوح ۱۰ و ۳۰ متر هستند. بعد از حذف تصاویر با پوشش ابر و نیز پیش پردازش توسط نرم‌افزار GIS, QGIS شاخص استاندارد شده پوشش برفی NDSI در این منطقه استخراج شده است. برای کنترل صحت نتایج شاخص استاندارد شده پوشش برف از ترکیب رنگی کاذب و بازدیدهای مستمر با بازه زمانی دو هفته‌ای در فصل بهار و تابستان و بازدیدهای ماهانه در فصل پاییز و زمستان جهت کنترل صحت اطلاعات استخراج شده از تصاویر ماهواره‌ای و نیز ثبت اطلاعات دبی خروجی از چشمه‌های کارستی به عمل آمده است. همان‌گونه که در شکل (۲-۷) مشاهده می‌شود سطح پوشیده از برف با استفاده از هر دو ماهواره با یکدیگر همخوانی و انطباق خوبی دارند که این امر بیانگر صحت روش به کار گرفته شده است. براساس شکل ۷-۲، در سال ۱۳۹۵ ذوب برف با تأخیر ۳۰-۲۰ روزه نسبت به سال ۱۳۹۴ آغاز شده، اما شدت ذوب برف تا حدی بیشتر از روند آن در سال ۱۳۹۴ است. این امر به دلیل تأخیر در شروع ذوب برف در سال ۱۳۹۵ بوده که شدت آن به دلیل گرمای بیشتر هوا در این تاریخ نسبت به تاریخ شروع ذوب در سال ۱۳۹۴ می‌باشد.



شکل ۷-۱- نمونه تصاویر پوشش برف منطقه لاسم با استفاده از تصاویر سنتینال ۲ و لندست ۸

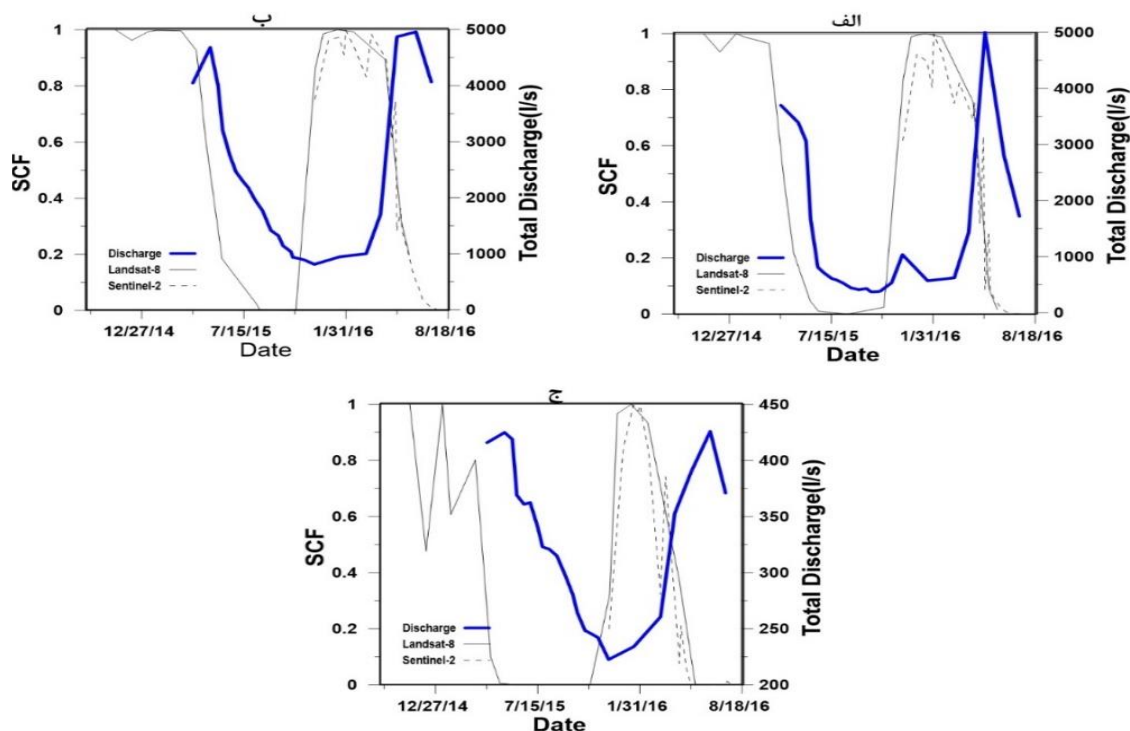
مقایسه نتایج منحنی ذوب برف با رفتار دبی چشمه‌های کارستی بیانگر وجود رابطه تنگاتنگ بین این دو می‌باشد و نشان دهنده این است که کمیت ورودی به سیستم کارست دارای اهمیت فراوان است.



شکل ۷-۲- نمودار تغییرات پوشش برف با استفاده از تصاویر سنتینال ۲ و لندست ۸ در حوضه هراز

۷-۱-۱- چشمه‌های منطقه لاسم

با در نظر گرفتن شرایط زمین‌شناسی، رفتار هیدرودینامیکی چشمه‌ها و تغییرات پوشش برف در حوضه آبرگیر چشمه‌های منطقه لاسم را می‌توان به سه گروه تقسیم کرد. این سه گروه شامل چشمه‌های دارای حوضه آبرگیر مرتفع، چشمه‌های با حوضه آبرگیر با ارتفاع کم و غالب شیب حوضه آبرگیر به سمت شمال و چشمه‌هایی که حوضه آبرگیر غالب آنها دامنه‌های با شیب رو به جنوب می‌باشد. نهایتاً روند تغییرات پوشش برف در حوضه آبرگیر هر گروه از چشمه‌ها با دبی خروجی مجموع آنها مقایسه شدند. هیدروگراف چشمه‌های موجود در دامنه‌های رو به شمال با ارتفاع متفاوت دارای رفتار مشابه اما با یک وقفه زمانی هستند (شکل ۷-۳). با توجه به عدم تغییرات نسبی سایر موارد می‌توان این رفتار با وقفه زمانی را به کمیت ورودی به سیستم کارستی مرتبط دانست. از جمله شواهد وجود این رابطه، انطباق بین منحنی تغییرات پوشش برف در حوضه آبرگیر چشمه‌ها می‌باشد.



شکل ۷-۳- تغییرات دبی چشمه‌های منطقه لاسم و ذوب برف با استفاده از تصاویر سنتینال ۲ و لندست ۸. الف) چشمه‌های با شیب غالب حوضه رو به شمال و ارتفاع کم ب) چشمه‌های با شیب غالب حوضه رو به شمال و ارتفاع زیاد، ج) چشمه‌های با شیب غالب حوضه رو به جنوب

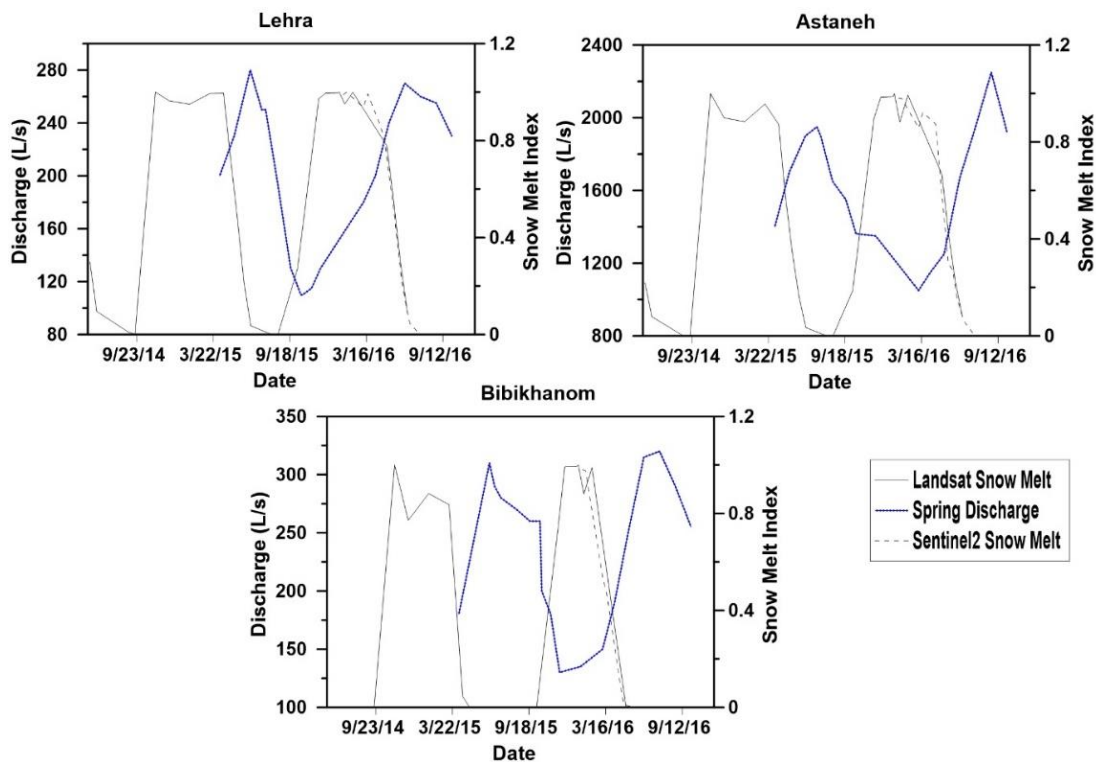
مقدار دبی بیشینه خروجی از چشمه‌های دامنه جنوبی در سال ۹۵ نسبت به سال ۹۴ افزایش ۱۵-۲۰ درصدی را نشان می‌دهد و این در حالی است که میانگین بارندگی بین این دو سال تغییرات محسوسی نکرده است. منحنی پوشش برف در سال ۹۵ نسبت به سال ۹۴ با یک وقفه متوسط ۲۵ روزه شروع به کاهش نموده اما دارای شیب بیشتر است که بیانگر ذوب سریع برف در سال ۹۵ نسبت به سال ۹۴ می‌باشد. با توجه به این شواهد می‌توان چنین استنباط کرد که این افزایش دبی بیشینه در سال ۹۵ در چشمه‌های دامنه جنوبی به علت ذوب سریع برف در بهار می‌باشد که با سرعت زیاد به آبخوان منتقل شده و با توجه به کارستی بودن سنگ‌های کربناته و شیب هیدرولیکی بالا با یک وقفه زمانی ۲۰-۳۵ روزه در چشمه‌های دامنه جنوبی ظاهر می‌شود. مقدار افزایش دبی بیشینه در هر دو گروه چشمه‌های کارستی دامنه جنوبی لاسم مشاهده می‌گردد اما مقدار اثر ذوب برف در ارتفاعات بالاتر بیشتر بوده و به همین دلیل چشمه‌هایی که دارای حوضه آبریز مرتفع‌تری هستند افزایش دبی بیشینه بیشتری را نشان می‌دهند. مقایسه منحنی ذوب برف در حوضه آبریز چشمه‌های موجود در دامنه رو

به جنوب با دبی مجموع این گروه از چشمه‌ها بیانگر عدم افزایش محسوس دبی بیشینه می‌باشد. وقفه زمانی بین دبی بیشینه و اوج زمان ذوب برف بیانگر وقفه زمانی ۴۰-۵۰ روزه در این گروه از چشمه‌ها می‌باشد که این موضوع می‌تواند به دلیل عدم ذوب متمرکز برف و توسعه کمتر کارست در این دامنه باشد.

در دامنه‌های رو به جنوب به دلیل ساعات تابش بیشتر و نیز زاویه تابش آفتاب، ذوب شدن برف در فصل زمستان نیز رخ می‌دهد در حالی که این فرایند در دامنه‌های رو به شمال مشاهده نمی‌شود. به علاوه زمان ذوب برف در این دامنه‌ها در مقایسه با ارتفاعات مشابه در دامنه رو به شمال با یک فاصله زمانی ۴۰-۵۰ روزه همراه است. شیب منحنی ذوب برف نیز در این دامنه بیشتر از دامنه‌های رو به شمال می‌باشد. ذوب برف در هر دو سال ۹۴ و ۹۵ در دامنه‌های رو به جنوب با ارتفاع کمتر نسبت به مناطق مرتفع زودتر شروع می‌شود. اما روند آن تا حدی متفاوت می‌باشد.

۷-۱-۲- چشمه‌های منطقه نمارستاق

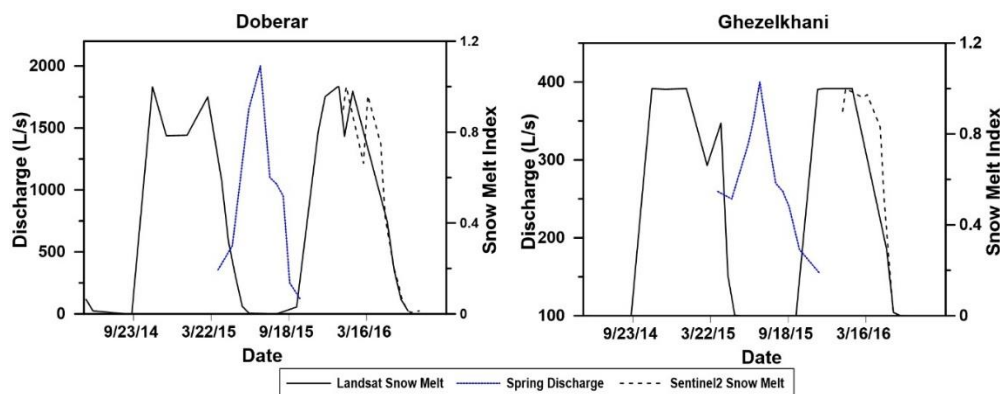
تغییرات دبی چشمه‌های منطقه نمارستاق به همراه روند تغییرات پوشش برف (روند ذوب برف) در شکل ۷-۴ نشان داده شده است. بر اساس این شکل، هر دو ماهواره روند یکسانی از تغییرات پوشش برف را نشان می‌دهند. در شکل ۷-۴ کمترین زمان ماندگاری مربوط به چشمه لهرآ می‌باشد و بیشترین زمان ماندگاری به چشمه آستانه تعلق دارد. وقفه زمانی چشمه لهرآ حدود ۴۵-۵۵ روز، چشمه بی‌بی‌خانم در حد ۷۰-۸۰ روز و چشمه آستانه دارای ۱۰۰-۱۱۵ روز می‌باشد. علت تغییرات در وقفه زمانی بین دبی اوج و بیشینه ذوب برف، اثر کشیدگی حوضه آبرگیر است. چشمه آستانه دارای کشیدگی بیشتری در مقایسه با دو چشمه دیگر می‌باشد.



شکل ۷-۴- تغییرات دبی چشمه‌های منطقه نمارستاق و ذوب برف با استفاده از تصاویر سنتینال ۲ و لندست ۸

۳-۱-۷- چشمه‌های منطقه لار

تغییرات دبی چشمه‌های منطقه لار به همراه روند تغییرات پوشش برف (روند ذوب برف) در شکل ۷-۵ نشان داده شده است. نتایج پوشش برف مستخرج از هر دو ماهواره دارای روند یکسانی از تغییرات هستند (شکل ۷-۵).



شکل ۷-۵- تغییرات دبی چشمه‌های منطقه لار و ذوب برف با استفاده از تصاویر سنتینال ۲ و لندست ۸

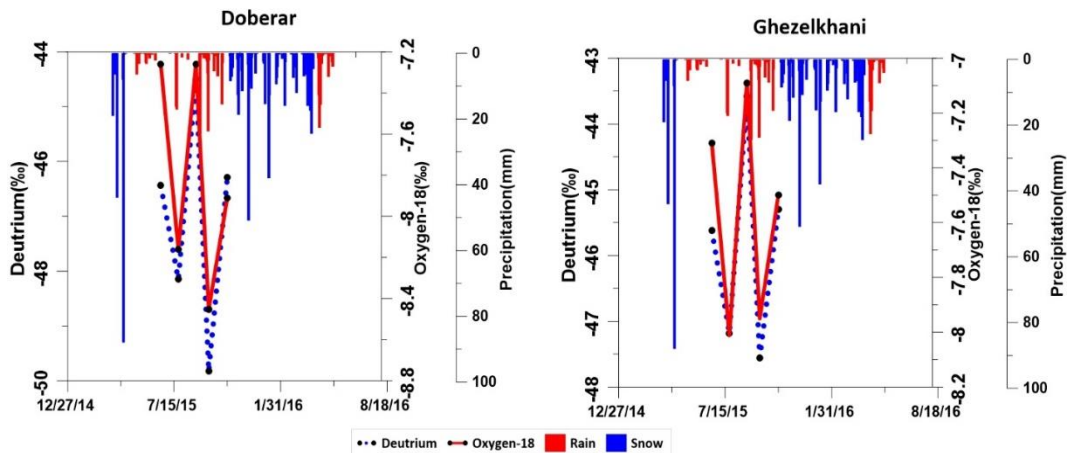
در هر دو چشمه ذوب برف در سال ۱۳۹۴ نسبت به سال ۱۳۹۵ دارای روند یکسانی است. از آنجایی که در حوضه آبرگیر هر دو چشمه کارست توسعه یافته است. نقش سایر عوامل مثل شکل حوضه و

تداوم تغذیه بر وقفه زمانی تخلیه بیشینه اثر دارند. چشمه قزل‌خانی دارای مدت زمان کمتری از ماندگاری برف در حوضه خود بوده و به دلیل شکل حوضه آبگیر دارای کمترین وقفه زمانی می‌باشد. بیشترین وقفه زمانی در چشمه دوبرار است که به دلیل کشیدگی حوضه آبگیر و تداوم تغذیه ناشی از ذوب برف می‌باشد.

۷-۲- تعیین حد آستانه تغذیه

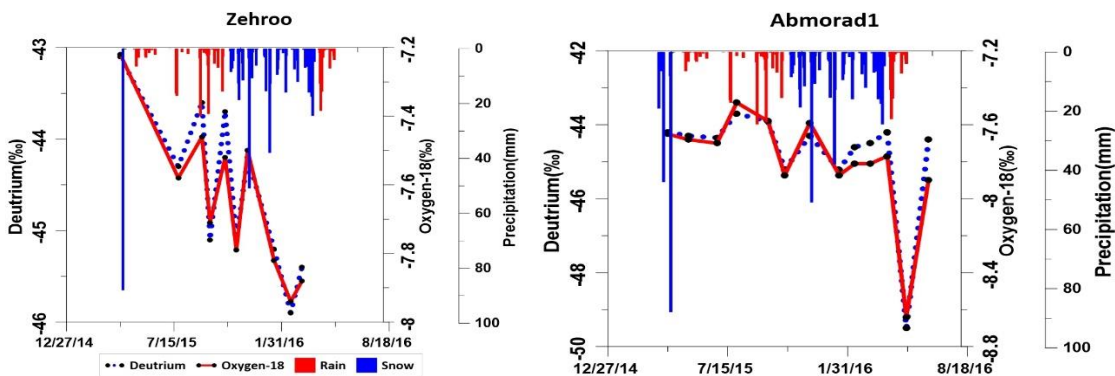
آستانه تغذیه (تغذیه قابل اندازه‌گیری) مقدار کمترین بارش (باران) لازم برای تأثیر بر ویژگی‌های دبی خروجی چشمه می‌باشد. این مقدار از لحاظ تئوری برابر ظرفیت مزرعه بخش بالایی زون غیراشباع (عمق تأثیر تبخیر و تعرق) است که تحت تأثیر نیروی گرانشی به سوی لایه‌های زیرین حرکت می‌کند و از دسترس عوامل تبخیر و تعرق (ریشه گیاهان) خارج می‌شود و به آب‌های زیرزمینی متصل می‌گردد. مقدار آستانه تغذیه بسته به خصوصیات زون غیراشباع (آبی‌کارست در مناطق کارستی)، ضخامت خاک، فیزیوگرافی حوضه آبگیر، رطوبت پیشین و شدت بارش متفاوت می‌باشد، و همچنین در فصول مختلف سال نیز متغیر است. به منظور ارزیابی آستانه وقوع تغذیه در آبخوان‌های کارستی منطقه، از بارش‌های منطقه و نیز چشمه‌های منطقه به صورت مداوم در بازه‌های زمانی دو هفته‌ای نمونه‌گیری به عمل آمده است. از آنجایی که بارش‌های فصول خشک دارای ترکیب ایزوتوپی سنگین‌تری از آب‌های زیرزمینی هستند، وقوع هرگونه تغذیه با حجم قابل توجه می‌تواند منجر به سنگین‌تر شدن روند ترکیب ایزوتوپی آب خروجی از چشمه‌ها گردد. البته لازم به ذکر است که این تأثیر با یک وقفه زمانی در چشمه‌ها مشاهده می‌گردد. بررسی نتایج ایزوتوپ‌های پایدار چشمه‌ها مبین این است که بارش‌های روزانه مورخ ۲۴ و ۲۵ تیر ماه به ترتیب دارای مقادیر $۱۶/۳$ و $۱۷/۲$ میلی‌متر می‌باشند، بر ترکیب ایزوتوپی چشمه‌ها اثر گذاشته‌اند. با توجه به شرایط بسیار خشک و نبود بارش بیشتر از یک میلی‌متر به مدت ۵۵ روز ترکیب ایزوتوپی چشمه‌هایی که دارای روند کلی سبک شونده در حالت دبی پایه هستند را سنگین نموده است. این روند در چشمه‌های بخش غربی حوضه هرارز

شامل چشمه‌های لهرآ، آستانه، دوبرار و قزل‌خانی به وضوح دیده می‌شود (شکل ۶-۷). مشابهاً بارش ۲۵ تیرماه به میزان ۲۳ میلیمتر در بخش شرقی (منطقه لاسم) منجر به ایجاد میزان کمتر تأثیر بر ترکیب ایزوتوپی چشمه‌های منطقه لاسم (آبمرد، زهرو) شده است (شکل ۷-۷).



شکل ۶-۷- تغییرات ترکیب ایزوتوپی چشمه‌های انتخابی منطقه لار بر اثر بارش باران

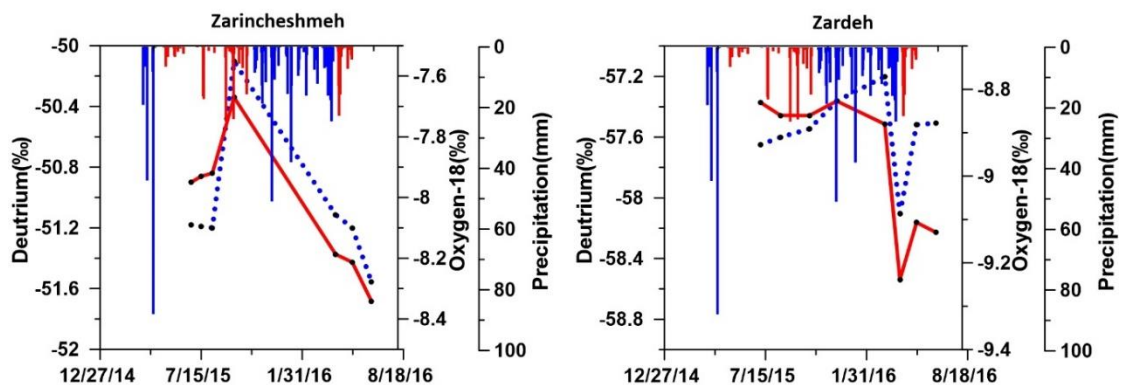
کمترین مقدار بارشی که اثر آن در چشمه‌های منطقه مشاهده شده ۱۵/۶ میلیمتر است که در تاریخ ۲۱ مهر ۱۳۹۴ منجر به تغذیه شده است. در واقعه مذکور مقدار رطوبت پیشین کمتر از ۳ میلیمتر می‌باشد.



شکل ۷-۷- تغییرات ترکیب ایزوتوپی چشمه‌های انتخابی منطقه لاسم بر اثر بارش باران

وجود روند افزایشی در ترکیب ایزوتوپی چشمه‌ها بیانگر مشارکت بارش‌های قبلی در آب خروجی از آن‌ها می‌باشد. لازم به ذکر است که در مورخ ۹ آذرماه سال ۱۳۹۴ تعدادی چشمه کوچک به صورت

موقتی در واحدهای کربناته بخش جنوب شرقی چشمه شیخ‌علیخان رخنمون یافت که دارای ترکیب ایزوتوپی نسبتاً سنگین‌تری در مقایسه با سایر چشمه‌های منطقه می‌باشد. جاری شدن چشمه در تاریخ فوق بیانگر اثر تجمعی بارش‌های پاییزه بر وقوع تغذیه در این محل می‌باشد. نکته جالب توجه این است که تنها بارش‌های پاییزه منجر به افزایش دبی چشمه‌های منطقه شده است. تغییرات ایزوتوپی ناشی از بارش ۲۳ میلیمتری تیرماه در منطقه شرقی لاسم در مقایسه با بارش ۱۵/۶ میلیمتری مورخ ۲۰ مهر کمتر است. این امر را می‌توان ناشی از کمتر بودن مقدار آب تغذیه شده از بارش تابستانه به دلیل مقدار کمتر رطوبت پیشین در مقایسه با بارش پاییزه دانست. مقایسه روند تغییرات همچنین ترکیب ایزوتوپی چشمه‌های بخش شمالی منطقه لاسم (زرده و زرین چشمه) با شیب غالب رو به جنوب، بیانگر عدم تأثیر قابل توجه بارش‌های تابستانه بر ترکیب ایزوتوپی این چشمه‌ها می‌باشد (شکل ۷-۸). البته تغییرات محدودی در اثر بارش‌های پاییزه وجود دارد که نشان دهنده وقوع تغذیه و ظهور تأثیر آن در اواسط زمستان می‌باشد.



شکل ۷-۸- روند ترکیب ایزوتوپی چشمه‌های منطقه لاسم با شیب غالب رو به جنوب بر اثر بارش باران

۷-۳- شاخص رطوبتی

وقوع چندین واقعه بارشی کمتر از حد آستانه تغذیه طی چند روز متوالی امکان تغذیه از مجموع این بارش‌ها را فراهم می‌نماید. در نظر گرفتن یک آستانه مشخص برای تغذیه بدون بررسی شرایط رطوبت پیشین (Antecedent moisture condition)، منجر به نادیده گرفتن اثر رطوبت پیشین بر وقوع تغذیه

خواهد شد بعلاوه بارش‌های متوالی کمتر از این آستانه تغذیه نیز نادیده گرفته می‌شوند. جهت بر طرف کردن این مشکل و بررسی اثر شرایط پیشین رطوبت بر تغذیه، از شاخص بارش مؤثر (Excess moisture index) استفاده می‌شود که بیانگر مجموع بارش روزانه و اثر بارش‌های ۱۵ روز قبل می‌باشد. شاخص رطوبت روزانه از معادله زیر محاسبه شود.

$$EMI_t = P_t + \sum_{15}^t P_{t-1} K^{t-1}$$

در معادله فوق: EMI_t ، مقدار بارش مؤثر روزانه است که مجموع بارش روزانه و مقادیر رطوبت پیشین در ۱۵ روز قبل می‌باشد. در این رابطه K ثابت میرایی رطوبت در گذر زمان است. در مطالعات آب‌های سطحی جهت بررسی اثر رطوبت پیشین بر رواناب این ضریب بین ۰/۸۵ تا ۰/۹۸ لحاظ می‌گردد (Kresic and Stevanovic, 2009). مقدار کمتر این ضریب به مناطق خشک و یا فصول خشک و مقادیر بیشتر به مناطق و یا فصول مرطوب اختصاص دارند. در مطالعات آب‌های سطحی، محققین جهت بررسی اثر رطوبت پیشین از بارش‌های ۵ و ۷ روز قبلی استفاده نموده‌اند و متذکر شده‌اند که رطوبت سطحی اثر خود را بعد از این مدت از دست خواهد داد (Shreeram et al. 2007; Ries et al. 2017). از آنجایی که ماندگاری رطوبت در زیر زمین بیشتر از سطح می‌باشد در این تحقیق بارش ۱۵ روز قبل، به عنوان مبنای محاسبه اثر رطوبت پیشین قرار گرفته است. توان تغذیه هر بارش را می‌توان به صورت معادله ذیل بیان نمود:

$$R_{pi} = EMI_t - R_{th} - R_{pi-1}$$

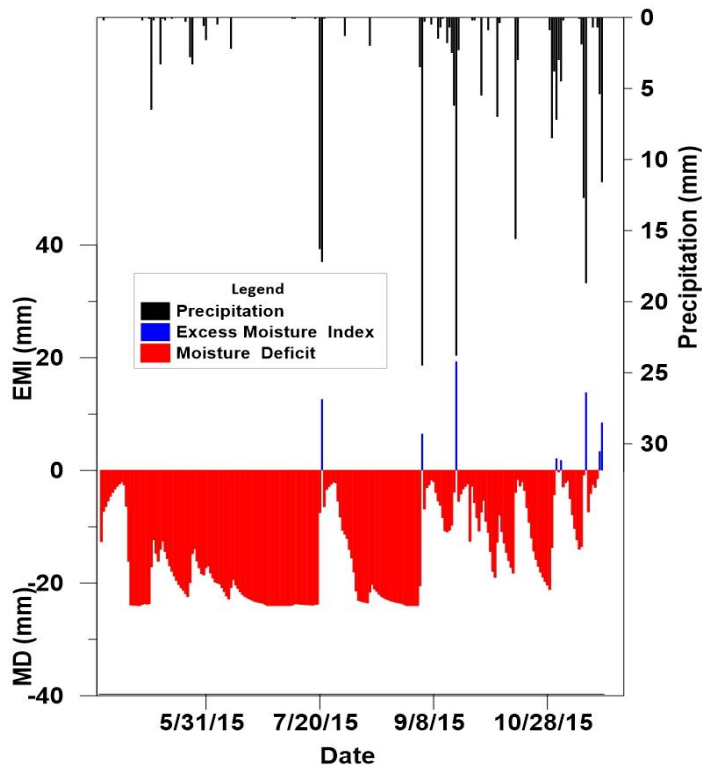
که در آن: R_{th} ، مقدار آستانه وقوع تغذیه می‌باشد که مربوط به بارش ۱۵/۶ میلیمتری آبان ماه ۱۳۹۴ می‌باشد و R_{pi} ، پتانسیل تغذیه هر بارش در مقیاس روزانه و R_{pi-1} ، شاخص تغذیه روز قبل از بارش می‌باشد. جدول ۷-۱ آمار وقایع بارشی اواخر اردیبهشت تا آبان ماه سال ۱۳۹۴، شاخص رطوبتی روز بارش و پتانسیل تغذیه را نشان می‌دهد. دو دلیل برای عدم وجود هر گونه تغییر ناشی از بارش‌های کمتر از این آستانه وجود دارد. ۱- کمتر بودن از حد ظرفیت مزرعه منطقه غیراشباع و ۲- عدم وقوع حجم قابل توجه که بتواند غلظت ایزوتوپی زمینه را متأثر نموده و اثر آن در چشمه مشاهده شود.

جدول ۷-۱ مشخصات بارش و مقدار پتانسیل تغذیه در بازه زمانی بهار تا پائیز ۱۳۹۴

تاریخ بارش	مقدار بارش	PI_t	$PI_t - R_{th}$	R_p	تاریخ بارش	مقدار بارش	PI_t	$PI_t - R_{th}$	R_p
۴/۱۳/۱۵	۰/۵	۷۴/۱	۶۲/۱	-۲۵/۷	۹/۱۴/۱۵	۱/۸	۷/۰	-۵/۰	-۱۰/۹
۴/۱۶/۱۵	۰/۲	۴۲/۶	۳۰/۶	-۷/۳	۹/۱۵/۱۵	۰/۷	۶/۴	-۵/۶	-۱۰/۶
۵/۳/۱۵	۰/۲	۰/۲	-۱۱/۸	-۲۳/۸	۹/۱۶/۱۵	۲/۵	۷/۹	-۴/۱	-۹/۷
۵/۶/۱۵	۰/۱	۰/۲	-۱۱/۸	-۲۳/۷	۹/۱۷/۱۵	۶/۲	۱۲/۳	۰/۳	-۳/۸
۵/۷/۱۵	۶/۵	۶/۷	-۵/۳	-۱۷/۱	۹/۱۸/۱۵	۲۳/۸	۳۱/۶	۱۹/۶	۱۹/۳
۵/۸/۱۵	۰/۲	۵/۰	-۷/۰	-۱۲/۳	۹/۱۹/۱۵	۲/۳	۲۶/۱	۱۴/۱	-۵/۵
۵/۱۱/۱۵	۳/۳	۶/۴	-۵/۶	-۱۴/۰	۹/۲۵/۱۵	۰/۲	۹/۸	-۲/۲	-۲/۸
۵/۱۶/۱۵	۰/۱	۲/۹	-۹/۱	-۱۷/۹	۹/۲۶/۱۵	۰/۲	۸/۴	-۳/۶	-۵/۸
۵/۲۲/۱۵	۰/۳	۰/۹	-۱۱/۱	-۲۱/۹	۹/۲۹/۱۵	۵/۵	۱۰/۵	-۱/۵	-۷/۴
۵/۲۴/۱۵	۲/۸	۳/۴	-۸/۶	-۱۹/۹	۱۰/۲/۱۵	۰/۹	۶/۲	-۵/۸	-۱۱/۰
۵/۲۵/۱۵	۳/۳	۵/۸	-۶/۲	-۱۴/۸	۱۰/۶/۱۵	۷	۹/۰	-۳/۰	-۱۲/۷
۵/۳۰/۱۵	۰/۶	۲/۸	-۹/۲	-۱۸/۶	۱۰/۷/۱۵	۰/۴	۷/۱	-۴/۹	-۷/۹
۵/۳۱/۱۵	۱/۶	۳/۹	-۸/۱	-۱۷/۳	۱۰/۱۴/۱۵	۱۵/۶	۱۷/۴	۵/۴	-۳/۹
۶/۵/۱۵	۰/۵	۲/۱	-۹/۹	-۲۰/۰	۱۰/۱۵/۱۵	۳	۱۵/۸	۳/۸	-۱/۶
۶/۱۱/۱۵	۲/۲	۲/۷	-۹/۳	-۲۰/۸	۱۰/۲۹/۱۵	۰/۹	۱/۲	-۱۰/۸	-۲۱/۲
۷/۸/۱۵	۰/۱	۰/۱	-۱۱/۹	-۲۳/۹	۱۰/۳۰/۱۵	۸/۵	۹/۲	-۲/۸	-۱۳/۷
۷/۹/۱۵	۰/۱	۰/۲	-۱۱/۸	-۲۳/۷	۱۰/۳۱/۱۵	۳/۸	۱۰/۵	-۱/۵	-۴/۴
۷/۲۰/۱۵	۱۶/۳	۱۶/۴	۴/۴	-۷/۵	۱۱/۱/۱۵	۷/۲	۱۵/۶	۳/۶	۲/۱
۷/۲۱/۱۵	۱۷/۲	۲۹/۱	۱۷/۱	۱۲/۷	۱۱/۲/۱۵	۳	۱۵/۴	۳/۴	-۰/۳
۷/۲۲/۱۵	۰/۱	۲۲/۶	۱۰/۶	-۶/۵	۱۱/۳/۱۵	۴/۵	۱۷/۲	۵/۲	۱/۸
۷/۳۱/۱۵	۱/۳	۶/۵	-۵/۵	-۱۱/۳	۱۱/۴/۱۵	۰/۲	۱۴/۲	۲/۲	-۳/۰
۸/۱۱/۱۵	۲	۲/۲	-۹/۸	-۲۱/۶	۱۱/۱۱/۱۵	۰/۱	۴/۷	-۷/۳	-۱۴/۰
۹/۲/۱۵	۳/۵	۳/۵	-۸/۵	-۲۰/۵	۱۱/۱۲/۱۵	۱/۹	۵/۸	-۶/۲	-۱۳/۵
۹/۳/۱۵	۲۴/۵	۲۷/۰	۱۵/۰	۶/۵	۱۱/۱۳/۱۵	۱۲/۷	۱۷/۴	۵/۴	-۰/۸
۹/۴/۱۵	۰/۳	۲۰/۲	۸/۲	-۶/۹	۱۱/۱۴/۱۵	۱۸/۷	۳۱/۲	۱۹/۲	۱۳/۸
۹/۷/۱۵	۰/۵	۱۲/۸	۰/۸	-۱/۷	۱۱/۱۷/۱۵	۰/۷	۱۷/۳	۵/۳	-۲/۵
۹/۱۰/۱۵	۱/۵	۹/۳	-۲/۷	-۵/۴	۱۱/۱۹/۱۵	۰/۷	۱۲/۸	۰/۸	-۱/۵
۹/۱۱/۱۵	۰/۷	۸/۵	-۳/۵	-۶/۲	۱۱/۲۰/۱۵	۵/۴	۱۶/۲	۴/۲	۳/۴
۹/۱۲/۱۵	۰/۱	۷/۲	-۴/۸	-۸/۴	-	-	-	-	-

بر اساس جدول ۷-۱ و شکل ۷-۹، از مجموع ۶۲ واقعه بارشی باران تنها ۸ واقعه بارشی توان نفوذ به عمق زمین و تغذیه سفره‌های کارستی را در این منطقه دارند. به عبارت دیگر از مجموع ۲۴۱ میلی‌متر بارش به شکل باران فقط ۶۱ میلی‌متر (تقریباً ۲۸٪) قابلیت غلبه بر تبخیر و تعرق و ظرفیت مرزعه را دارا است و امکان تغذیه آبخوان کارستی را در این منطقه دارد. با توجه به بررسی‌های صحرایی و نتایج آنالیز ایزوتوپی چشمه‌های کارستی منطقه هراز، چنین استنباط می‌شود که در بین باران‌های فصول خشک (فصل فاقد پوشش برف) تنها باران‌هایی قابلیت نفوذ را دارند که در مقیاس روزانه شاخص بارش مؤثر (Effective precipitation index) که مجموع بارش

روزانه به علاوه رطوبت بارش‌های پیشین که اثر آنها در بخش بالایی زون غیراشباع وجود دارد بیشتر از حد رطوبت لازم برای وقوع تغذیه باشد.



شکل ۷-۹- وقایع بارشی اواخر اردیبهشت تا آبان ماه، شاخص رطوبتی روزانه و پتانسیل تغذیه

از آنجایی که چشمه‌های منطقه در دبی بیشینه دارای سنگین‌ترین ترکیب ایزوتوپی است و با گذشت زمان و تخلیه شدن مجاری بزرگ مقادیر ایزوتوپی سبک‌تر می‌شوند هر گونه سنگین شدن ترکیب ایزوتوپی آب خروجی از چشمه‌ها با در نظر گرفتن وقفه زمانی چشمه را می‌توان به اثر باران‌های فصول خشک با ترکیب ایزوتوپی سنگین‌تر مرتبط دانست. کمترین مقدار بارش منجر به تغذیه دارای مقدار ۱۵/۶ میلیمتر است که مقدار شاخص رطوبتی آن ۱۷/۴ و شاخص رطوبت مازاد آن ۵/۵ میلیمتر می‌باشد. در چشمه‌های با شیب غالب حوضه آبگیر به سوی جنوب (بخش شمالی لاسم) هیچ تغییر ایزوتوپی در پاسخ به بارش‌های تابستانه مشاهده نشده است. در حالی که چشمه‌های با شیب حوضه آبگیر به سوی شمال (بخش جنوبی لاسم) و یا به سوی شمال و جنوب (منطقه نمارستاق و لار) از این بارش‌ها متأثر شده‌اند. مقدار وقفه زمانی چشمه‌های با حوضه آبگیر رو به شمال کمتر از چشمه‌های با

شیب رو به جنوب است که علت این امر ناشی از ماندگاری بیشتر رطوبت و توسعه بیشتر کارست در این دامنه علیرغم یکسانی نوع لیتولوژی می‌باشد.

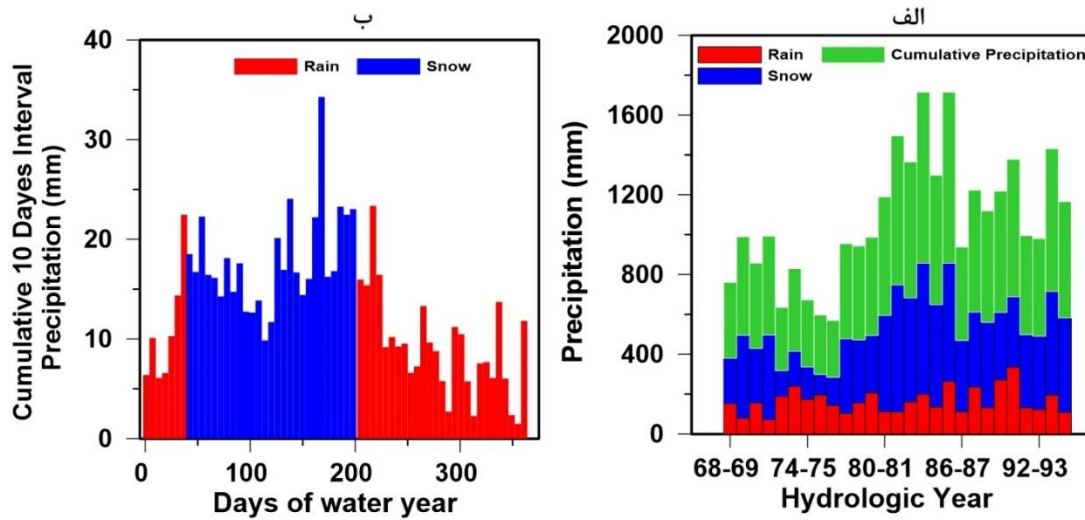
۷-۴- بررسی ویژگی‌های بارشی حوضه هراز

بارش‌های جوی معمولاً به دو شکل مایع (باران) و جامد (برف و تگرگ) می‌باشد. البته فرآیند مترکم شدن (Condensation) در ستون برف و شبیم نیز بخش محدودی از آب جوی به زمین می‌رسد. جدول ۷-۲ آمار بارش را در ایستگاه پلور بر اساس اطلاعات روزانه دوره ۲۷ ساله نشان می‌دهد.

جدول ۷-۲- مشخصات بارش سالانه

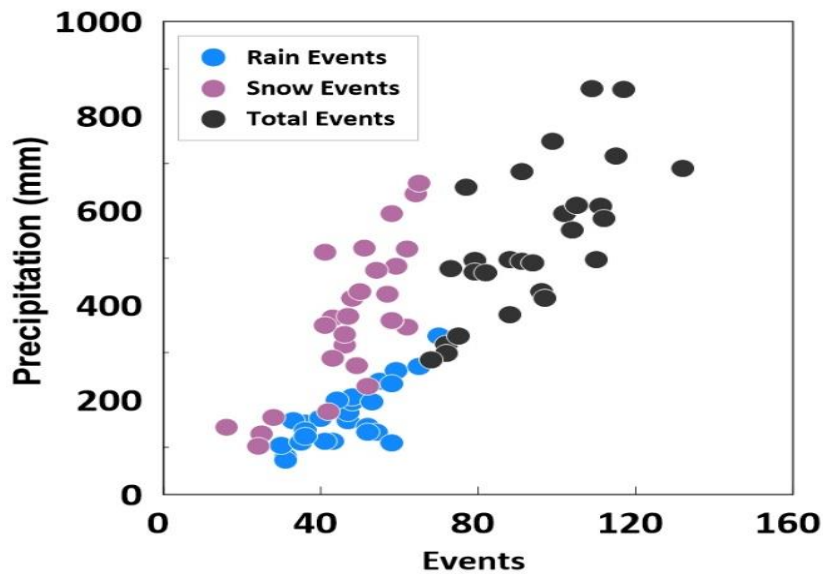
سال آبی	مقدار بارش مجموع (mm)	مجموع بارش باران (mm)	درصد باران	آب معادل برف (mm)	درصد برف
۶۸-۶۹	۳۸۰/۴	۱۵۱/۷	۳۹/۹	۲۲۸/۷	۶۰/۱
۶۹-۷۰	۴۹۴/۸	۷۹/۵	۱۶/۱	۴۱۵/۳	۸۳/۹
۷۰-۷۱	۴۲۹/۰	۱۵۶/۳	۳۶/۴	۲۷۲/۷	۶۳/۶
۷۱-۷۲	۴۹۶/۵	۷۲/۰	۱۴/۵	۴۲۴/۵	۸۵/۵
۷۲-۷۳	۳۱۷/۶	۱۸۸/۸	۵۹/۴	۱۲۸/۸	۴۰/۶
۷۳-۷۴	۴۱۴/۷	۲۳۸/۷	۵۷/۶	۱۷۶/۰	۴۲/۴
۷۴-۷۵	۳۳۵/۹	۱۷۳/۵	۵۱/۷	۱۶۲/۴	۴۸/۳
۷۵-۷۶	۲۹۸/۴	۱۹۶/۴	۶۵/۸	۱۰۲/۰	۳۴/۲
۷۶-۷۷	۲۸۴/۹	۱۴۳/۲	۵۰/۳	۱۴۱/۷	۴۹/۷
۷۷-۷۸	۴۷۷/۶	۱۰۴/۰	۲۱/۸	۳۷۳/۶	۷۸/۲
۷۸-۷۹	۴۷۱/۵	۱۵۵/۴	۳۳/۰	۳۱۶/۱	۶۷/۰
۷۹-۸۰	۴۹۳/۸	۲۰۶/۲	۴۱/۸	۲۸۷/۶	۵۸/۲
۸۰-۸۱	۵۹۴/۸	۱۱۲/۶	۱۸/۹	۴۸۲/۲	۸۱/۱
۸۱-۸۲	۷۴۷/۷	۱۱۱/۲	۱۴/۹	۶۳۶/۵	۸۵/۱
۸۲-۸۳	۶۸۲/۵	۱۶۱/۱	۲۳/۶	۵۲۱/۴	۷۶/۴
۸۳-۸۴	۸۵۷/۴	۱۹۹/۳	۲۳/۲	۶۵۸/۱	۷۶/۸
۸۴-۸۵	۶۴۸/۹	۱۳۵/۷	۲۰/۹	۵۱۳/۲	۷۹/۱
۸۵-۸۶	۸۵۷/۲	۲۶۲/۸	۳۰/۷	۵۹۴/۴	۶۹/۳
۸۶-۸۷	۴۶۸/۹	۱۱۲/۰	۲۳/۹	۳۵۶/۹	۷۶/۱
۸۷-۸۸	۶۱۱/۷	۲۳۴/۹	۳۸/۴	۳۷۶/۸	۶۱/۶
۸۸-۸۹	۵۵۹/۷	۱۳۱/۰	۲۳/۴	۴۲۸/۷	۷۶/۶
۸۹-۹۰	۶۰۹/۴	۲۷۱/۴	۴۴/۵	۳۳۸/۰	۵۵/۵
۹۰-۹۱	۶۸۸/۹	۳۳۵/۰	۴۸/۶	۳۵۳/۹	۵۱/۴
۹۱-۹۲	۴۹۷/۶	۱۳۱/۸	۲۶/۵	۳۶۵/۸	۷۳/۵
۹۲-۹۳	۴۹۰/۴	۱۲۳/۱	۲۵/۱	۳۶۷/۳	۷۴/۹
۹۳-۹۴	۷۱۵/۶	۱۹۶/۵	۲۷/۵	۵۱۹/۱	۷۲/۵
۹۴-۹۵	۵۸۲/۸	۱۰۹/۵	۱۸/۸	۴۷۳/۳	۸۱/۲
میانگین	۵۳۷/۴	۱۶۶/۴	۳۳/۲	۳۷۰/۹	۶۶/۸

همانگونه که در این جدول مشاهده می‌گردد مقادیر بارش سالانه در این دوره آماری بین ۲۹۸ تا ۸۵۷ میلیمتر است و دارای میانگین ۵۳۷/۳ میلیمتر می‌باشد. از نظر نوع بارش از کل بارندگی به طور متوسط ۶۶/۸ درصد به شکل برف و ۳۳/۲ درصد به شکل باران رخ داده است (شکل ۷-۱۰).



شکل ۷-۱۰- تقسیم‌بندی بارشهای منطقه با استفاده از آمار روزانه ۲۷ ساله ایستگاه پلور

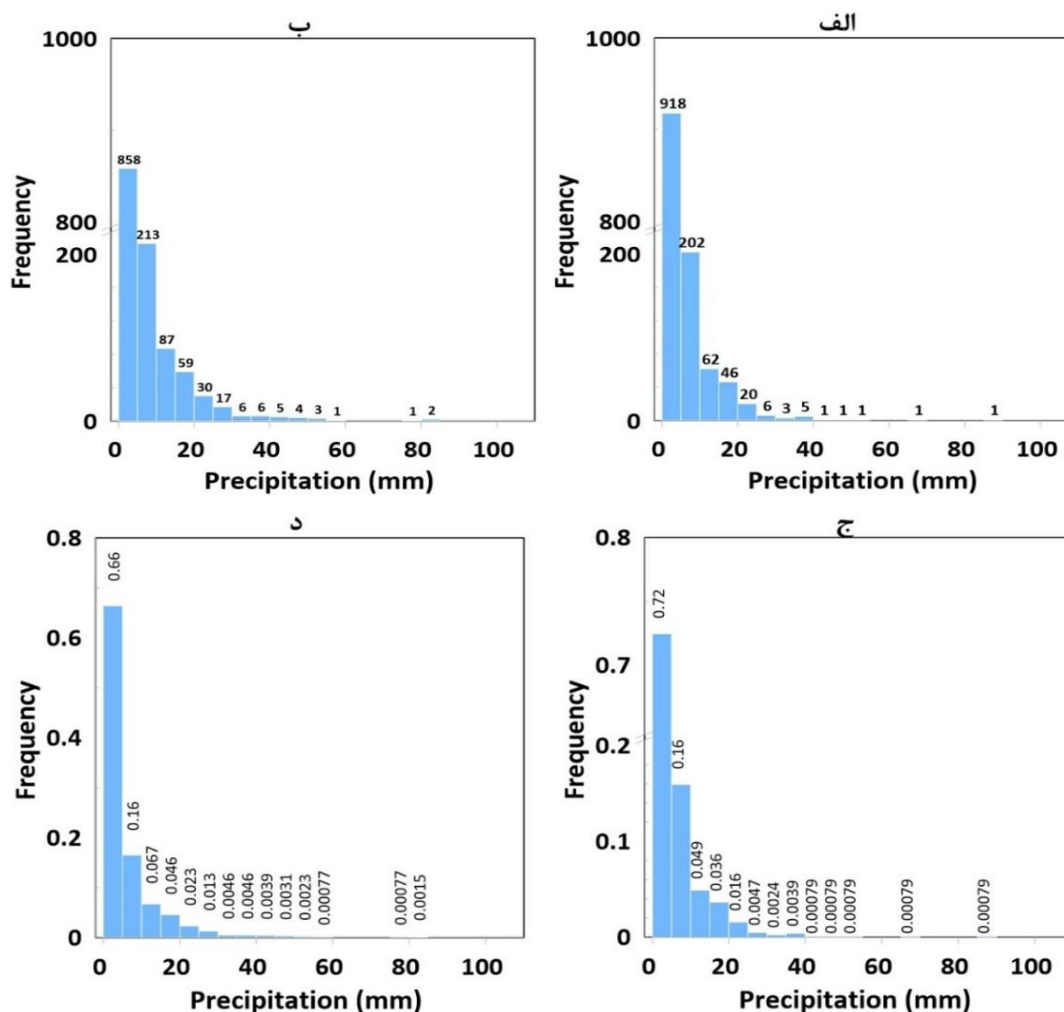
تعداد وقایع بارشی با مقدار کل بارش سالانه در هر سال آبی رابطه خطی نسبی دارد. با افزایش تعداد وقایع بارشی مقدار بارش سالانه باران افزایش می‌باشد (شکل ۷-۱۱).



شکل ۷-۱۱- رابطه وقایع بارشی منطقه مقدار بارش در ایستگاه پلور

همان‌گونه که در این شکل مشاهده می‌گردد رابطه تعداد وقایع بارشی با مقدار بارش برف رابطه تقریباً نمایی دارد درحالی که تعداد وقایع باران با مقدار باران رابطه خطی دارد (شکل ۷-۱۱).

از نظر تعداد وقایع بارشی در دوره آماری ۲۷ ساله، کمترین تعداد واقعه بارشی سالانه ۷۰ و بیشترین آن ۱۳۲ واقعه می‌باشد. از این تعداد وقایع بارش برف بین ۱۶ تا ۶۵ و بارش باران بین ۳۰ تا ۷۰ می‌باشند. شکل ۷-۱۲ فراوانی وقایع و درصد فراوانی آن‌ها را در دوره آماری ۲۷ ساله نشان می‌دهد.

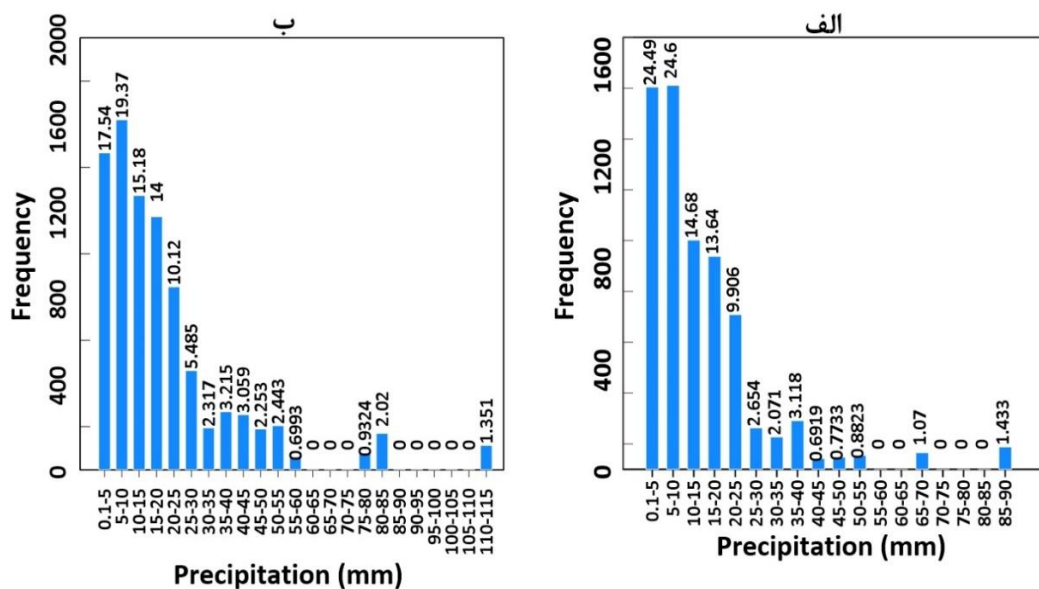


شکل ۷-۱۲- فراوانی و درصد فراوانی وقایع بارشی ۲۷ ساله در ایستگاه پلور. الف) وقایع باران، ب) وقایع برف، ج) درصد فراوانی باران، د) درصد فراوانی برف

از نظر مقدار باران از مجموع ۱۲۶۷ واقعه بارشی ۹۱۸ واقعه کمتر از ۵ میلیمتر است که معادل ۰/۷۲ از کل وقایع بارشی به شکل باران را دربر می‌گیرد. تعداد ۲۰۲ واقعه بارشی بین ۵ تا ۱۰ میلیمتر است که معادل ۰/۱۶ از کل وقایع بارشی می‌باشد. وقایع بیشتر از ۲۵ میلیمتر در کل دوره آماری

تعداد ۱۹ واقعه و معادل ۰/۱۱ است که سهم قابل توجهی از کل بارش‌ها نمی‌باشد. به طور میانگین ۵۰ درصد از باران‌ها دارای مقدار کمتر از ۱۰ میلی‌متر هستند (شکل ۷-۱۳).

وقایع بارش برف با آب معادل برف کمتر از ۵ میلی‌متر نیز بیشترین فراوانی (۸۵۸ واقعه) را داشته و ۰/۶۶ از کل وقایع را به خود اختصاص داده است (شکل ۷-۱۲) که ۱۷/۵۴ درصد از آب معادل برف را در این دوره به خود اختصاص داده است. وقایع بین ۵ تا ۱۰ میلی‌متر دارای فراوانی کمتری هستند و تنها ۱۶ درصد از کل وقایع بوده و تعداد وقایع آنها ۲۱۳ واقعه می‌باشد اما آب معادل برف این رده بیشترین مقدار بارش (۱۹/۳۷) را به خود اختصاص داده است (شکل ۷-۱۳).



شکل ۷-۱۳- فراوانی تجمعی مقادیر بارش وقایع بارشی ۲۷ ساله در ایستگاه پلور. الف) وقایع باران، ب) وقایع برف

۷-۵- بررسی پتانسیل تغذیه

آبخوان‌های موجود در مناطق کوهستانی به دلیل قرارگرفتن در ارتفاعات، امکان تغذیه از جریان‌های زیرزمینی را ندارند و عموماً بارش‌های جوی منطقه، منبع اصلی تغذیه آنها می‌باشد. در بین پارامترهای مؤثر بر تغذیه، بارش و پوشش گیاهی از پارامترهای متغیر در طول زمان است و سایر عوامل مؤثر بر تغذیه، تقریباً شرایط پایا دارند و در تمام طول سال به صورت یکنواخت بر تغذیه اثر می‌گذارند.

منظور از پتانسیل تغذیه، مقدار بارش موجود با توان نفوذ و رسیدن به آبخوان می‌باشد که در صورت مناسب بودن سایر شرایط به آب‌های زیرزمینی ملحق می‌شود. محاسبه این پارامتر به دلیل متغیر بودن کمیّت و کیفیت بارش‌ها امری بسیار دشوار است. با این وجود با توجه به آمارهای روزانه موجود در این منطقه تا حدی این امکان فراهم است که برآوردی از میزان آن به عمل آید. با توجه به نوع بارش امکان وجود تغذیه از باران‌های بالاتر از حد تغذیه و آب ناشی از ذوب برف وجود دارد. پتانسیل تغذیه را به دو دسته پتانسیل تغذیه از برف و پتانسیل تغذیه از باران می‌توان تقسیم‌بندی نمود.

۷-۵-۱- پتانسیل تغذیه از باران

حوضه‌های آبگیر چشمه‌های کارستی منطقه مورد مطالعه غالباً در نواحی مرتفع واقع شده‌اند. به طور معمول از ابتدای اردیبهشت تا اواسط آبان ماه بارندگی در این منطقه به صورت باران می‌باشد. اما به دلیل وجود برف در اکثر این نواحی بویژه در دامنه‌ها رو به شمال امکان جدا کردن باران‌های بهاره با مقادیر مختلف وجود ندارد. حضور برف شرایط را برای تغذیه بارش‌های کمتر از آستانه تغذیه در این بازه زمانی فراهم می‌نماید. حضور برف امکان ذخیره‌سازی باران‌های بر روی برف و شرایط مناسب رطوبت پیشین را فراهم می‌آورد که هم به طریق مستقیم و هم مخلوط با آب حاصل از ذوب برف امکان تغذیه را برای بارش‌های کمتر از حد آستانه تغذیه فراهم می‌آورد. البته لازم به ذکر است که این مورد در دامنه‌های رو به شمال به علت ماندگاری بیشتر برف اثر بیشتری دارد و تقریباً برای تمام بارش‌های بهاره این امکان را فراهم می‌نماید. در مناطق کارستی پتانسیل تغذیه از باران حاصل تفاضل باران‌های با توان تغذیه و مجموع رواناب، ظرفیت مزرعه اپی‌کارست و منطقه ریشه می‌باشد. به علت اثر مثبت رطوبت پیشین، علاوه بر بارش‌های بالاتر از حد آستانه تغذیه وقایع بارشی تجمعی در فاصله زمانی ۱۰ روزه که بیشتر از حد آستانه تغذیه باشند نیز امکان غلبه بر خاصیت مؤینگی، تبخیر و تعرق را دارند و امکان تغذیه از طریق آنها دور از انتظار نخواهد بود. پتانسیل تغذیه از بارش‌های به شکل باران شامل بارش‌های بیشتر از حد تغذیه، به علاوه بارش‌های متوالی بیشتر از حد آستانه می‌باشد.

بررسی‌های انجام شده در این منطقه بیانگر این است که در این منطقه به طور متوسط ۳۴ درصد از بارش‌ها به صورت باران بوده و بقیه به صورت بارش برف می‌باشد (شکل ۷-۱). جهت محاسبه پتانسیل تغذیه از باران در مناطق مورد مطالعه از ۲۷ سال آمار روزانه ایستگاه پلور از سال آبی ۶۸-۶۹ تا ۹۴-۹۵ استفاده شده است.

جدول ۷-۳- مشخصات بارش و مقدار تغذیه سالانه از باران

سال آبی	مقدار بارش مجموع (mm)	مجموع بارش باران (mm)	باران روزانه بیش از (mm) ۱۲	مقدار پتانسیل تغذیه (mm)	درصد تغذیه از باران	درصد تغذیه از کل بارش
۶۸-۶۹	۳۸۰/۴	۱۵۱/۷	۶۸/۰	۳۳/۰	۲۱/۷۳	۵/۷۱
۶۹-۷۰	۴۹۴/۸	۷۹/۵	۴۸/۵	۱۰/۶	۱۳/۲۹	۲/۶۸
۷۰-۷۱	۴۲۹/۰	۱۵۶/۳	۹۵/۳	۳۵/۰	۲۲/۴۱	۵/۲۲
۷۱-۷۲	۴۹۶/۵	۷۲/۰	۶۴/۰	۸/۳	۱۱/۵۰	۲/۳۲
۷۲-۷۳	۳۱۷/۶	۱۸۸/۸	۱۴۲/۳	۵۱/۰	۲۷/۰۲	۸/۵۱
۷۳-۷۴	۴۱۴/۷	۲۳۸/۷	۱۷۷/۷	۷۵/۷	۳۱/۷۱	۷/۶۵
۷۴-۷۵	۳۳۵/۹	۱۷۳/۵	۱۳۸/۸	۴۳/۳	۲۴/۹۳	۷/۴۲
۷۵-۷۶	۲۹۸/۴	۱۹۶/۴	۱۴۹/۹	۵۱/۰	۲۵/۹۷	۸/۷۰
۷۶-۷۷	۲۸۴/۹	۱۴۳/۲	۱۰۳/۵	۳۰/۶	۲۱/۳۵	۷/۴۹
۷۷-۷۸	۴۷۷/۶	۱۰۴/۰	۸۲/۱	۲۱/۳	۲۰/۵۱	۴/۲۹
۷۸-۷۹	۴۷۱/۵	۱۵۵/۴	۹۸/۸	۴۵/۷	۲۹/۴۲	۶/۲۴
۷۹-۸۰	۴۹۳/۸	۲۰۶/۲	۱۴۴/۵	۵۱/۲	۲۴/۸۵	۵/۰۳
۸۰-۸۱	۵۹۴/۸	۱۱۲/۶	۸۷/۹	۳۴/۱	۳۰/۲۷	۵/۰۹
۸۱-۸۲	۷۴۷/۷	۱۱۱/۲	۸۷/۶	۲۶/۲	۲۳/۵۵	۳/۱۵
۸۲-۸۳	۶۸۲/۵	۱۶۱/۱	۱۳۳/۶	۵۳/۸	۳۳/۴۱	۴/۹۰
۸۳-۸۴	۸۵۷/۴	۱۹۹/۳	۱۶۷/۷	۴۱/۰	۲۰/۵۹	۲/۴۰
۸۴-۸۵	۶۴۸/۹	۱۳۵/۷	۱۰۵/۷	۳۰/۹	۲۲/۷۸	۳/۵۱
۸۵-۸۶	۸۵۷/۲	۲۶۲/۸	۱۹۲/۸	۱۱۶/۰	۴۴/۱۴	۵/۱۵
۸۶-۸۷	۴۶۸/۹	۱۱۲/۰	۸۸/۰	۱/۷	۱/۴۸	۰/۳۲
۸۷-۸۸	۶۱۱/۷	۲۳۴/۹	۲۰۲/۹	۹۷/۳	۴۱/۴۴	۶/۷۷
۸۸-۸۹	۵۵۹/۷	۱۳۱/۰	۸۰/۷	۵۲/۸	۴۰/۳۰	۷/۲۰
۸۹-۹۰	۶۰۹/۴	۲۷۱/۴	۲۶۲/۱	۱۳۷/۵	۵۰/۶۵	۸/۳۱
۹۰-۹۱	۶۸۸/۹	۳۳۵/۰	۲۸۴/۷	۱۲۸/۹	۳۸/۴۸	۵/۵۹
۹۱-۹۲	۴۹۷/۶	۱۳۱/۸	۱۱۵/۹	۲۲/۴	۱۶/۹۶	۳/۴۱
۹۲-۹۳	۴۹۰/۴	۱۲۳/۱	۱۰۹/۴	۲۷/۱	۲۲/۰۱	۴/۴۹
۹۳-۹۴	۷۱۵/۶	۱۹۶/۵	۱۶۷/۳	۵۴/۱	۲۷/۵۳	۳/۸۵
۹۴-۹۵	۵۸۲/۸	۱۰۹/۵	۶۸/۲	۸/۹	۸/۱۱	۱/۳۹
میانگین	۵۳۷/۴	۱۶۶/۴	۱۲۸/۴	۴۷/۸	۲۱/۷۳	۵/۷۱

۷-۵-۲- پتانسیل تغذیه از برف

در مناطق کوهستانی تجمع برف در دوره‌های سرد و ذوب عمده آن در فصول گرم، یکی از مؤثرترین و بهترین شرایط ممکن را برای فرآیند تغذیه فراهم می‌کند. علت این امر تجمع بارش‌های کمتر از حد

وقوع تغذیه و ذوب متمرکز آنها و پایین بودن تبخیر در زمستان به دلیل انعکاس بالای سطوح برف می‌باشد که باعث انباشتگی بارش‌های فاقد توان تغذیه و فراهم آمدن شرایط تغذیه برای اکثریت بارش در این فصول می‌شود. ارزیابی پتانسیل تغذیه از برف به صورت وقایع بارشی به دلیل انباشتگی و عدم ذوب سریع و اختلاط با بارش‌های بعدی تقریباً امری ناممکن است. وقوع باران بر روی پوشش برف در اواخر ماه‌های اردیبهشت و اختلاط اجتناب‌ناپذیر با آب حاصل از ذوب برف، بررسی جداگانه آنها را ناممکن می‌نماید. به علاوه در این شرایط، غالب چشمه‌ها دارای بیشینه دبی بوده و حجم قابل توجهی از بارش را نیاز دارد تا آب خروجی بتواند اثر قابل پایشی را بگذارد. با توجه به این امر امکان جدا کردن باران‌های بهاره که بر روی توده برف می‌بارند و آب حاصل از ذوب برف، امری تقریباً ناممکن می‌باشد. به دلیل وجود برف در اکثریت این نواحی به ویژه در دامنه‌های رو به شمال، امکان جدا کردن باران‌های بهاره با مقادیر مختلف وجود ندارد و عملاً به علت حضور برف، بارش‌های کمتر از آستانه تغذیه در این بازه زمانی نیز امکان تغذیه را دارند. وجود برف امکان ذخیره‌سازی باران‌های بر روی برف و شرایط مناسب رطوبت پیشین را فراهم می‌آورد. این امر هم به طور مستقیم و هم مخلوط با آب حاصل از ذوب برف، امکان تغذیه را برای بارش‌های کمتر از حد آستانه تغذیه فراهم می‌آورد. پتانسیل تغذیه از برف حاصل تفاضل تبخیر از کل بارش‌های برف (آب معادل برف) و باران‌های بهاره بر روی برف در بازه زمانی تجمع برف تا فصل ذوب است. با توجه به ضریب بازتاب بالای برف و تابش مایل خورشید، تبخیر از سطوح برفی در دوره تجمع بسیار محدود بوده و در موارد نادری به بیشتر از ۱ میلی‌متر در روز می‌رسد (Lundberg 1993, Bengtsson 1980)، اما در دوره ذوب این مقدار تا ۳/۳ میلی‌متر در روز نیز افزایش می‌یابد (Lundberg 1993). در دوره سرد سال مقداری از رطوبت هوا طی فرآیند چگالش (Condensation) به ستون برف اضافه می‌گردد (Nordell 1990). با در نظر گرفتن مقدار کم تبخیر از سطوح برف و نیز فرآیند چگالش رطوبت هوا به طور نسبی میزان تبخیر از سطوح برفی منطقه حدود ۱۵ درصد از حجم تجمعی آب معادل برف لحاظ شده است. جدول ۷-۴ آمار بارش برف و تغذیه از برف را در دوره ۲۷ ساله را در ایستگاه پلور نشان می‌دهد. مقدار ظرفیت مزرعه در منطقه غیراشباع

(آبی کارست) کمتر از مقدار بارش مؤثر بر ترکیب ایزوتوپی چشمه‌ها (۱۵/۶ میلی‌متر) می‌باشد. اما از آنجایی که تعداد وقایع بارشی نزدیک به مقدار مذکور رخ نداده، کمترین مقدار بارش مؤثر بر ترکیب ایزوتوپی چشمه‌ها به عنوان مقدار ظرفیت مزرعه لحاظ شده است.

جدول ۷-۴- مشخصات بارش و مقدار تغذیه سالانه از برف

سال آبی	بارش سالانه (mm)	آب معادل برف (mm)	درصد برف مجموع	مقدار تبخیر از سطح برف	پتانسیل تغذیه (mm)	درصد تغذیه از برف
۶۸-۶۹	۳۸۰/۴	۲۲۸/۷	۶۰/۱	۳۴/۳	۱۹۴/۴	۵۱/۱۰
۶۹-۷۰	۴۹۴/۸	۴۱۵/۳	۸۳/۹	۶۲/۳	۳۵۳/۰	۷۱/۳۴
۷۰-۷۱	۴۲۹/۰	۲۷۲/۷	۶۳/۶	۴۰/۹	۲۳۱/۸	۵۴/۰۳
۷۱-۷۲	۴۹۶/۵	۴۲۴/۵	۸۵/۵	۶۳/۷	۳۶۰/۸	۷۲/۶۷
۷۲-۷۳	۳۱۷/۶	۱۲۸/۸	۴۰/۶	۱۹/۳	۱۰۹/۵	۳۴/۴۷
۷۳-۷۴	۴۱۴/۷	۱۷۶/۰	۴۲/۴	۲۶/۴	۱۴۹/۶	۳۶/۰۷
۷۴-۷۵	۳۳۵/۹	۱۶۲/۴	۴۸/۳	۲۴/۴	۱۳۸/۰	۴۱/۱۰
۷۵-۷۶	۲۹۸/۴	۱۰۲/۰	۳۴/۲	۱۵/۳	۸۶/۷	۲۹/۰۵
۷۶-۷۷	۲۸۴/۹	۱۴۱/۷	۴۹/۷	۲۱/۳	۱۲۰/۴	۴۲/۲۸
۷۷-۷۸	۴۷۷/۶	۳۷۳/۶	۷۸/۲	۵۶/۰	۳۱۷/۶	۶۶/۴۹
۷۸-۷۹	۴۷۱/۵	۳۱۶/۱	۶۷/۰	۴۷/۴	۲۶۸/۷	۵۶/۹۹
۷۹-۸۰	۴۹۳/۸	۲۸۷/۶	۵۸/۲	۴۳/۱	۲۴۴/۵	۴۹/۵۱
۸۰-۸۱	۵۹۴/۸	۴۸۲/۲	۸۱/۱	۷۲/۳	۴۰۹/۹	۶۸/۹۱
۸۱-۸۲	۷۴۷/۷	۶۳۶/۵	۸۵/۱	۹۵/۵	۵۴۱/۰	۷۲/۳۶
۸۲-۸۳	۶۸۲/۵	۵۲۱/۴	۷۶/۴	۷۸/۲	۴۴۳/۲	۶۴/۹۴
۸۳-۸۴	۸۵۷/۴	۶۵۸/۱	۷۶/۸	۹۸/۷	۵۵۹/۴	۶۵/۲۴
۸۴-۸۵	۶۴۸/۹	۵۱۳/۲	۷۹/۱	۷۷/۰	۴۳۶/۲	۶۷/۲۲
۸۵-۸۶	۸۵۷/۲	۵۹۴/۴	۶۹/۳	۸۹/۲	۵۰۵/۲	۵۸/۹۴
۸۶-۸۷	۴۶۸/۹	۳۵۶/۹	۷۶/۱	۵۳/۵	۳۰۳/۴	۶۴/۷۰
۸۷-۸۸	۶۱۱/۷	۳۷۶/۸	۶۱/۶	۵۶/۵	۳۲۰/۳	۵۲/۳۶
۸۸-۸۹	۵۵۹/۷	۴۲۸/۷	۷۶/۶	۶۴/۳	۳۶۴/۴	۶۵/۱۱
۸۹-۹۰	۶۰۹/۴	۳۳۸/۰	۵۵/۵	۵۰/۷	۲۸۷/۳	۴۷/۱۴
۹۰-۹۱	۶۸۸/۹	۳۵۳/۹	۵۱/۴	۵۳/۱	۳۰۰/۸	۴۳/۶۷
۹۱-۹۲	۴۹۷/۶	۳۶۵/۸	۷۳/۵	۵۴/۹	۳۱۰/۹	۶۲/۴۹
۹۲-۹۳	۴۹۰/۴	۳۶۷/۳	۷۴/۹	۵۵/۱	۳۱۲/۲	۶۳/۶۶
۹۳-۹۴	۷۱۵/۶	۵۱۹/۱	۷۲/۵	۷۷/۹	۴۴۱/۲	۶۱/۶۶
۹۴-۹۵	۵۸۲/۸	۴۷۳/۳	۸۱/۲	۷۱/۰	۴۰۲/۳	۶۹/۰۳
میانگین	۵۳۷/۴	۳۷۰/۹	۶۶/۸	۵۵/۶	۳۱۵/۳	۵۱/۱۰

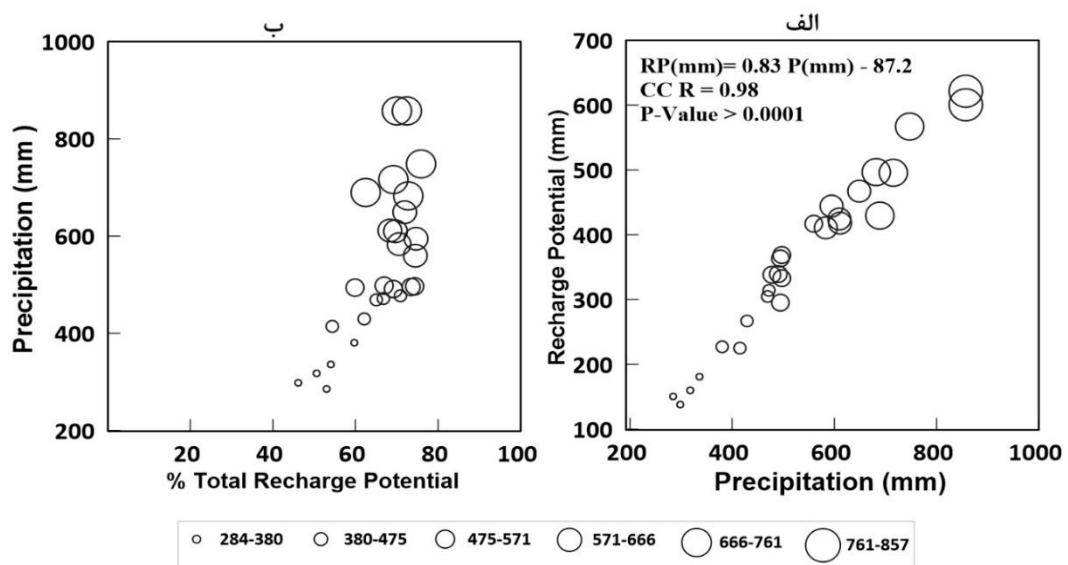
با توجه به این موضوع مقادیر پتانسیل تغذیه از برف با استفاده از معادله زیر محاسبه شده است.

$$S_{R \cdot p} = \sum S_{w \cdot Eq} - E - F \cdot C_{Epikarst} - R$$

در رابطه فوق $S_{R.p}$ توان تغذیه از برف، $\sum S_{w.Eq}$ مجموع آب معادل برف، E تبخیر از سطح برف، $F \cdot C_{Epikarst}$ ظرفیت زراعی اپی کارست و R رواناب سطحی می‌باشند. پایش متوالی ذوب برف سالهای ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵ مبین عدم وجود جریان رواناب ناشی از ذوب برف در واحدهای کربناته می‌باشد. با حذف رواناب و در نظر گرفتن مقدار ۱۵٪ برای تبخیر و نیز کمترین شرایط رطوبتی منجر به تغذیه برای ذخیره در اپی کارست مقدار پتانسیل تغذیه از برف در زمستان به صورت تجمعی سالانه محاسبه شده است (جدول ۷-۴). نتایج به دست آمده از محاسبات مذکور میانگین تغذیه از برف در سال‌های آماری مورد مطالعه ۳۱۵ میلیمتر بوده و بیشینه و کمینه آن نیز ۸۶ و ۵۶۰ میلیمتر در سال می‌باشند.

۵-۳-۷- پتانسیل تغذیه سالانه در سازندهای کربناته

پتانسیل تغذیه سالانه مجموع پتانسیل تغذیه از برف و باران در یک سال آبی می‌باشد. جدول ۷-۵ مقادیر پتانسیل تغذیه محاسبه شده را بر اساس داده‌های روزانه و داده‌های بارشی با توان تغذیه نشان می‌دهد. بر اساس جدول جدول ۷-۵ و شکل (۷-۱۴ الف)، مقدار پتانسیل تغذیه سالانه بین ۱۳۷ تا ۶۲۵ میلیمتر است. به بیان دیگر تغذیه در آهک‌های البرز مرکزی بین ۴۶ تا ۷۶ درصد می‌باشد (شکل ۷-۱۵ ب).



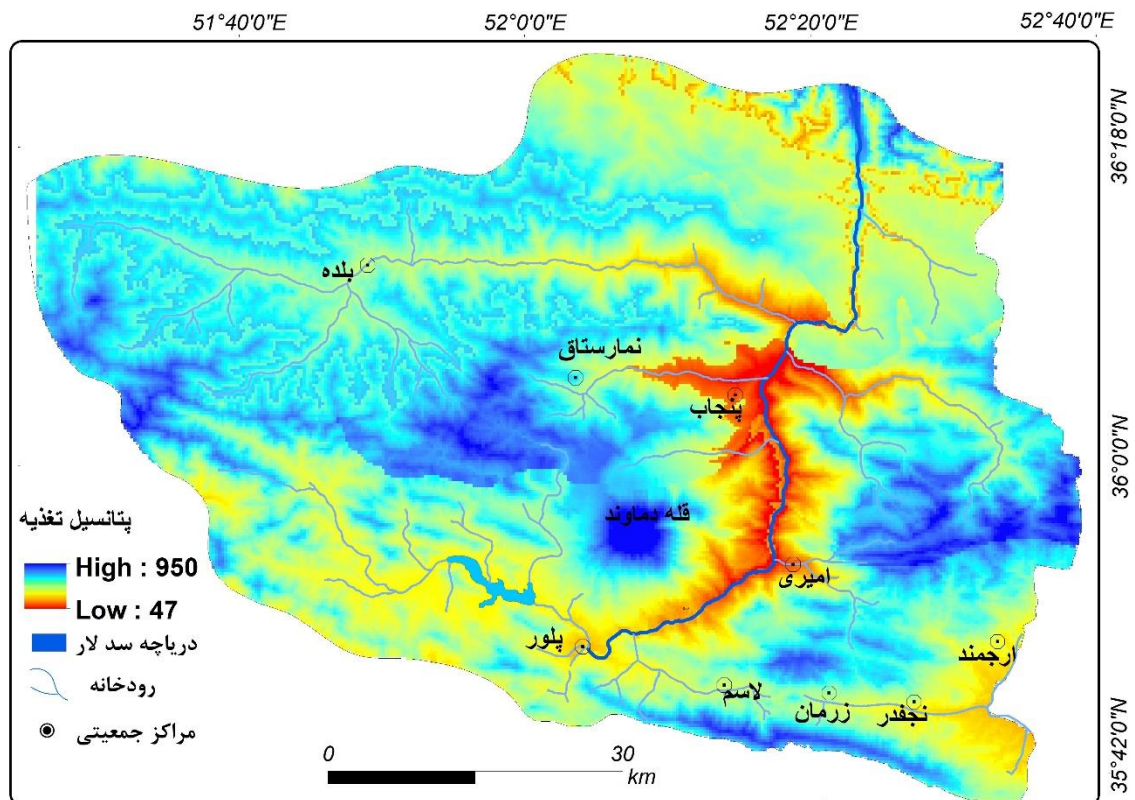
شکل ۷-۱۴- مقدار بارش سالانه و پتانسیل تغذیه سالانه

جدول ۷-۵- مشخصات بارش و مقدار پتانسیل تغذیه سالانه

سال آبی	بارش سالانه (mm)	پتانسیل تغذیه از برف (mm)	پتانسیل تغذیه از باران (mm)	پتانسیل تغذیه (mm)	درصد تغذیه سالانه
۶۸-۶۹	۳۸۰/۴	۱۹۴/۴	۳۳/۰	۲۲۷/۴	۵۹/۸
۶۹-۷۰	۴۹۴/۸	۳۵۳/۰	۱۰/۶	۳۶۳/۶	۷۳/۵
۷۰-۷۱	۴۲۹/۰	۲۳۱/۸	۳۵/۰	۲۶۶/۸	۶۲/۲
۷۱-۷۲	۴۹۶/۵	۳۶۰/۸	۸/۳	۳۶۹/۱	۷۴/۳
۷۲-۷۳	۳۱۷/۶	۱۰۹/۵	۵۱/۰	۱۶۰/۵	۵۰/۵
۷۳-۷۴	۴۱۴/۷	۱۴۹/۶	۷۵/۷	۲۲۵/۳	۵۴/۳
۷۴-۷۵	۳۳۵/۹	۱۳۸/۰	۴۳/۳	۱۸۱/۳	۵۴/۰
۷۵-۷۶	۲۹۸/۴	۸۶/۷	۵۱/۰	۱۳۷/۷	۴۶/۱
۷۶-۷۷	۲۸۴/۹	۱۲۰/۴	۳۰/۶	۱۵۱/۰	۵۳/۰
۷۷-۷۸	۴۷۷/۶	۳۱۷/۶	۲۱/۳	۳۳۸/۹	۷۱/۰
۷۸-۷۹	۴۷۱/۵	۲۶۸/۷	۴۵/۷	۳۱۴/۴	۶۶/۷
۷۹-۸۰	۴۹۳/۸	۲۴۴/۵	۵۱/۲	۲۹۵/۷	۵۹/۹
۸۰-۸۱	۵۹۴/۸	۴۰۹/۹	۳۴/۱	۴۴۴/۰	۷۴/۶
۸۱-۸۲	۷۴۷/۷	۵۴۱/۰	۲۶/۲	۵۶۷/۲	۷۵/۹
۸۲-۸۳	۶۸۲/۵	۴۴۳/۲	۵۳/۸	۴۹۷/۰	۷۲/۸
۸۳-۸۴	۸۵۷/۴	۵۵۹/۴	۴۱/۰	۶۰۰/۴	۷۰/۰
۸۴-۸۵	۶۴۸/۹	۴۳۶/۲	۳۰/۹	۴۶۷/۱	۷۲/۰
۸۵-۸۶	۸۵۷/۲	۵۰۵/۲	۱۱۶/۰	۶۲۱/۲	۷۲/۵
۸۶-۸۷	۴۶۸/۹	۳۰۳/۴	۱/۷	۳۰۵/۰	۶۵/۱
۸۷-۸۸	۶۱۱/۷	۳۲۰/۳	۹۷/۳	۴۱۷/۶	۶۸/۳
۸۸-۸۹	۵۵۹/۷	۳۶۴/۴	۵۲/۸	۴۱۷/۲	۷۴/۵
۸۹-۹۰	۶۰۹/۴	۲۸۷/۳	۱۳۷/۵	۴۲۴/۸	۶۹/۷
۹۰-۹۱	۶۸۸/۹	۳۰۰/۸	۱۲۸/۹	۴۲۹/۷	۶۲/۴
۹۱-۹۲	۴۹۷/۶	۳۱۰/۹	۲۲/۴	۳۳۳/۳	۶۷/۰
۹۲-۹۳	۴۹۰/۴	۳۱۲/۲	۲۷/۱	۳۳۹/۳	۶۹/۲
۹۳-۹۴	۷۱۵/۶	۴۴۱/۲	۵۴/۱	۴۹۵/۳	۶۹/۲
۹۴-۹۵	۵۸۲/۸	۴۰۲/۳	۸/۹	۴۱۱/۲	۷۰/۶
میانگین	۵۳۷/۴	۳۱۵/۳	۴۷/۸	۳۶۳	۶۵/۹

همانگونه که در شکل ۷-۱۴- الف مشاهده می‌گردد مقدار تغذیه با بارندگی رابطه تقریباً خطی دارند و به طور متوسط به ازای هر ۶۰۰ میلیمتر بارندگی ۴۰۰ میلیمتر آن توان تغذیه را دارا می‌باشد. جهت محاسبه پتانسیل تغذیه در کل حوضه هراز از رابطه بارش و پتانسیل تغذیه در ایستگاه پلور استفاده شده است. بر اساس شکل ۷-۱۴- الف، این رابطه بارش و پتانسیل تغذیه خطی بوده و با

افزایش بارش پتانسیل تغذیه نیز افزایش می‌یابد. دلیل این امر افزایش رطوبت موجود در منطقه می‌باشد که شرایط را برای نفوذ بارشهای کمتر از حد آستانه، اما دارای رطوبت مازاد می‌باشند فراهم می‌نماید. با توجه به نقشه توزیع بارش در منطقه و استفاده از رابطه بارش - پتانسیل تغذیه در محیط نرم‌افزار GIS مقدار پتانسیل تغذیه در هر پیکسل محاسبه شده است (شکل ۷-۱۵).



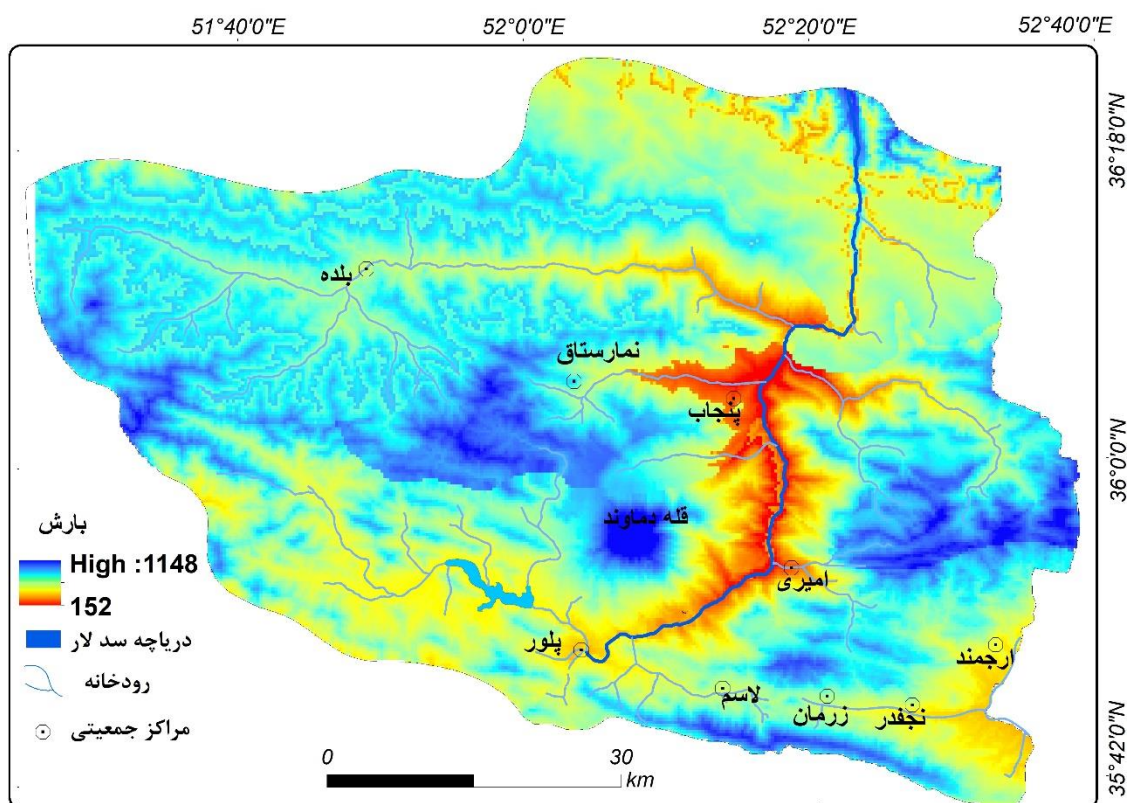
شکل ۷-۱۵- توزیع مقدار پتانسیل تغذیه (بارش مؤثر) در حوضه هراز

همانگونه که در این شکل مشاهده می‌شود مقدار پتانسیل تغذیه از ۴۷ میلیمتر در مناطق پنجاب تا ۹۵۰ میلیمتر در ارتفاعات قله دماوند، ارتفاعات جنوب غربی نمارستاق و جنوب لاسم متغیر است.

۷-۶- ارزیابی تغذیه با استفاده از GIS

مقدار تغذیه در هر منطقه با توجه به شرایط محلی متفاوت است. به منظور برآورد مقدار وقوع تغذیه در هر منطقه استفاده از تغییرات مکانی پارامترهای مؤثر بر این فرآیند مفید بوده و نتایج قابل قبولی را ارائه می‌کند. مقدار تغذیه در مناطق کارستی به پارامترهای هواشناسی (دما و بارش)، زمین‌شناسی،

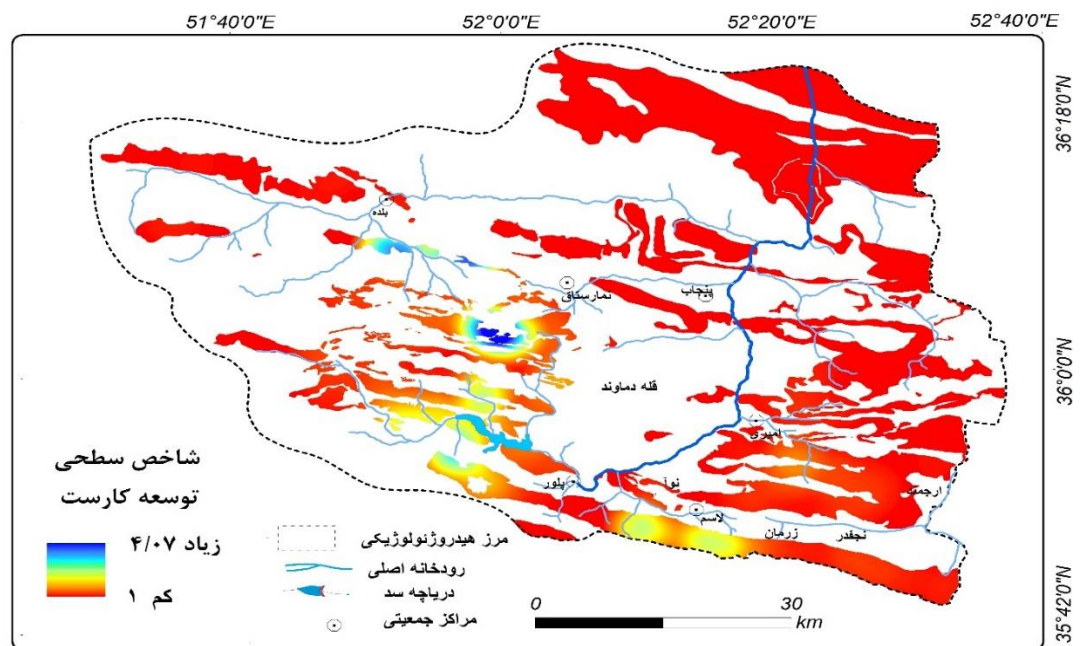
توپوگرافی (شیب و جهت آن)، پوشش خاک و پوشش گیاهی بستگی دارد (Radulovic et al. 2012). این عوامل در مقیاس‌های مختلف دارای عدم توزیع یکنواخت هستند و حتی در فواصل نزدیک تغییرات مکانی بسیاری دارند. استفاده از نقشه‌های توزیع مکانی کمک شایانی به توزیع ناهمگنی‌های هر یک از پارامترها می‌نماید. امروزه تکنولوژی GIS این امکان را فراهم آورده و در صورت استفاده از نقشه‌ها و داده‌های با توزیع مکانی مناسب می‌توان به نتایج قابل قبولی دست یافت. با استفاده از پتانسیل تغذیه به جای بارش تجمعی سالانه اثر متغیرهای هواشناسی در نظر گرفته می‌شود. با توجه به متغیر بودن مقدار بارش در منطقه، جهت تعیین تغییرات مکانی بارش از کل آمار موجود در هر ایستگاه و مناطق همجوار جهت تعیین رابطه ارتفاع و بارش استفاده شده است. نتایج مدل و مقادیر بارش سالانه ارتباط خوبی با یکدیگر دارند (شکل ۷-۱۵).



شکل ۷-۱۶- توزیع مقدار بارش سالانه در حوضه هراز

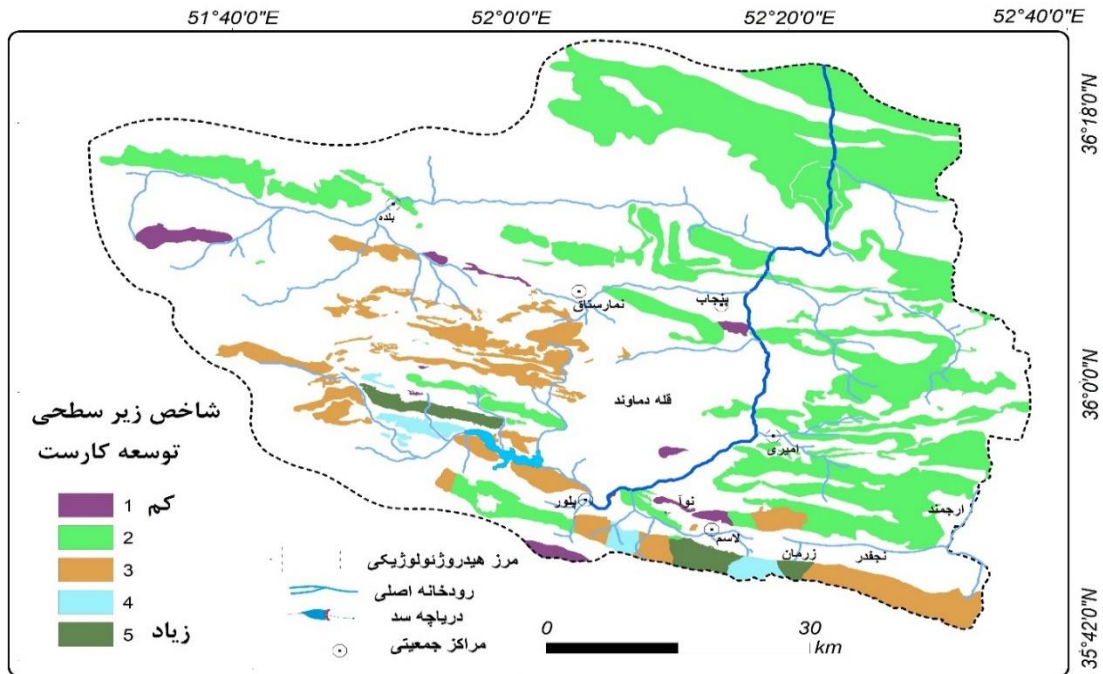
مناطق اطراف پنجاب کمترین مقدار بارش سالانه دارد و مناطق مجاور قله دماوند و ارتفاعات بیشتر از ۴۰۰۰ متر دارای بیشترین مقدار بارش سالانه هستند. مقادیر بارش تجمعی سالانه از ۱۵۰ تا ۱۱۴۰

میلیمتر تغییرات نشان می‌دهد. به منظور ارزیابی پتانسیل تغذیه در کل منطقه مورد مطالعه از رابطه بارش و پتانسیل تغذیه (بارش مؤثر) محاسبه شده در سال‌های متوالی در ایستگاه پلور استفاده شده است (شکل ۷-۱۴). با افزایش مقدار بارش مقدار تغذیه سالانه نیز روند افزایشی نشان می‌دهد و بیشینه مقدار پتانسیل تغذیه تا ۸۰ درصد از مجموع بارش سالانه نیز می‌رسد. بر اساس شکل ۷-۱۶، بارش فقط تابعی از ارتفاع نیست و سایر پارامترها از جمله جهت شیب و موقعیت مکانی نیز بر مقدار بارش سالانه اثر قابل توجهی دارند. برای مثال در خروجی حوضه افزایش قابل توجه بارش به مقادیر متوسط ۸۵۰ میلیمتر در ایستگاه کره‌سنگ مشاهده می‌شود در صورتی که در منطقه پنجاب به فاصله کمی از این منطقه مقدار بارش متوسط ۱۵۰ میلیمتر است. در مناطق آهکی پدیده کارستی شدن نقش بسزایی در تغذیه آبخوان‌ها دارد و با افزایش درجه توسعه کارست، تغذیه آبخوان نیز افزایش می‌یابد. به منظور در نظر گرفتن نفوذپذیری از شاخص توسعه کارست استفاده شده است. این شاخص شامل مجموع پارامترهای سطحی و زیرزمینی معرف توسعه کارست می‌باشد. شاخص سطحی توسعه کارست حاصل تلفیق نقشه توزیع غارها، فروچاله‌ها، چشمه‌ها، کارن‌فیلدها، دره‌های خشک و عمیق می‌باشد (شکل ۷-۱۷).



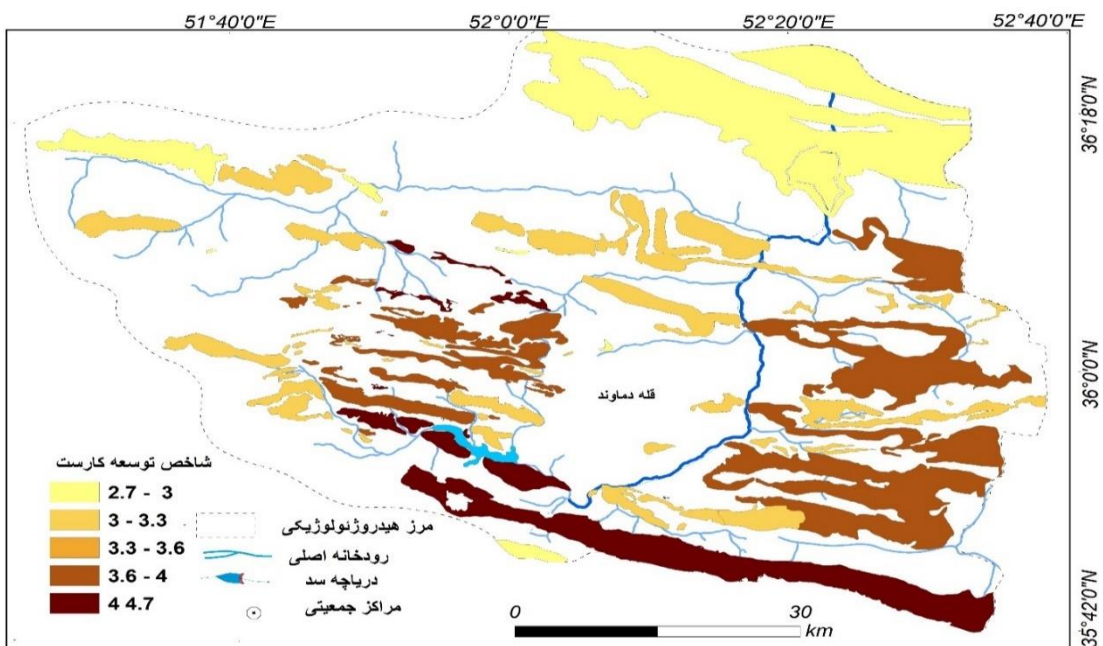
شکل ۷-۱۷- شاخص سطحی توسعه کارست در منطقه

شاخص توسعه زیرسطحی کارست از تلفیق پارامترهای خروجی از چشمه‌ها بوده و شامل دبی چشمه، تغییرپذیری دبی و شاخص اشباع کلسیت محاسبه شده است (شکل ۷-۱۸).



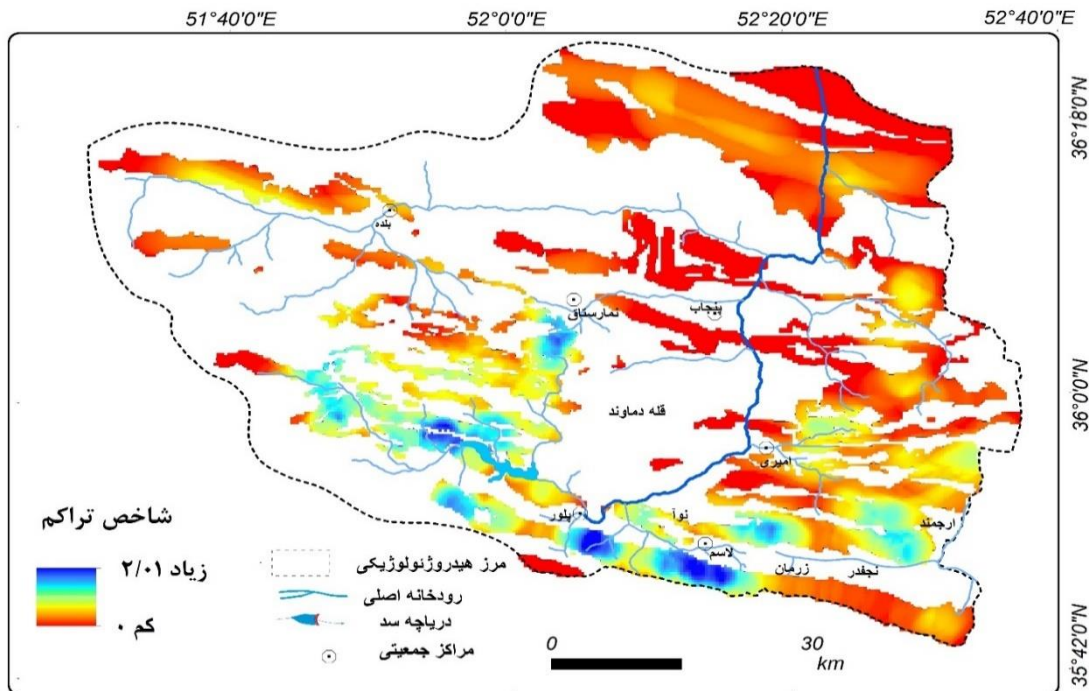
شکل ۷-۱۸- شاخص زیر سطحی توسعه کارست در منطقه

شاخص توسعه کارست در منطقه مورد مطالعه از تلفیق و محاسبه میانگین مقادیر هر پیکسل در نقشه‌های توسعه سطحی و زیرسطحی محاسبه شده است (شکل ۷-۱۹).



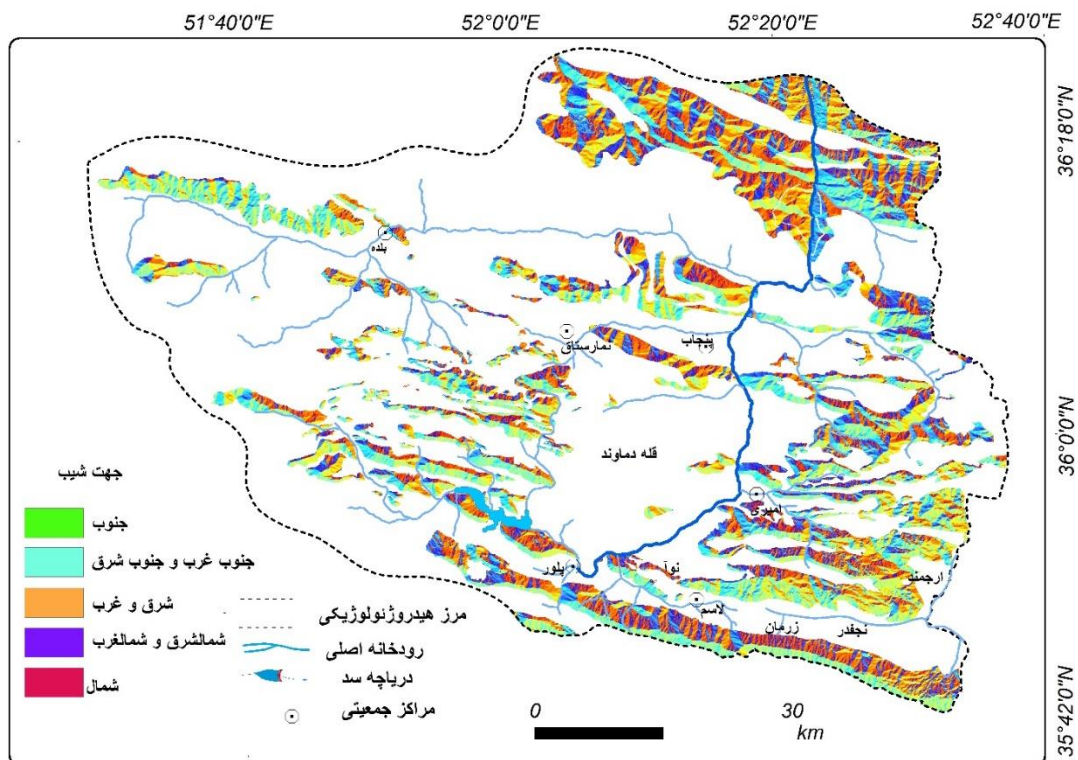
شکل ۷-۱۹- شاخص توسعه کارست در حوضه هر از

درزه و شکستگی‌ها از مهمترین عوامل انتقال آب از سطح به زیرزمین در تمامی آبخوان‌های تشکیل شده و در صورت پیوستگی شبیه به کانال عمل می‌نمایند و آب را به زیر زمین منتقل می‌کند. شکل ۲۰-۷ نقشه توزیع گسل و شکستگی‌ها را در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد.



۲۰-۷- نقشه تراکم شکستگی‌ها در منطقه مورد مطالعه

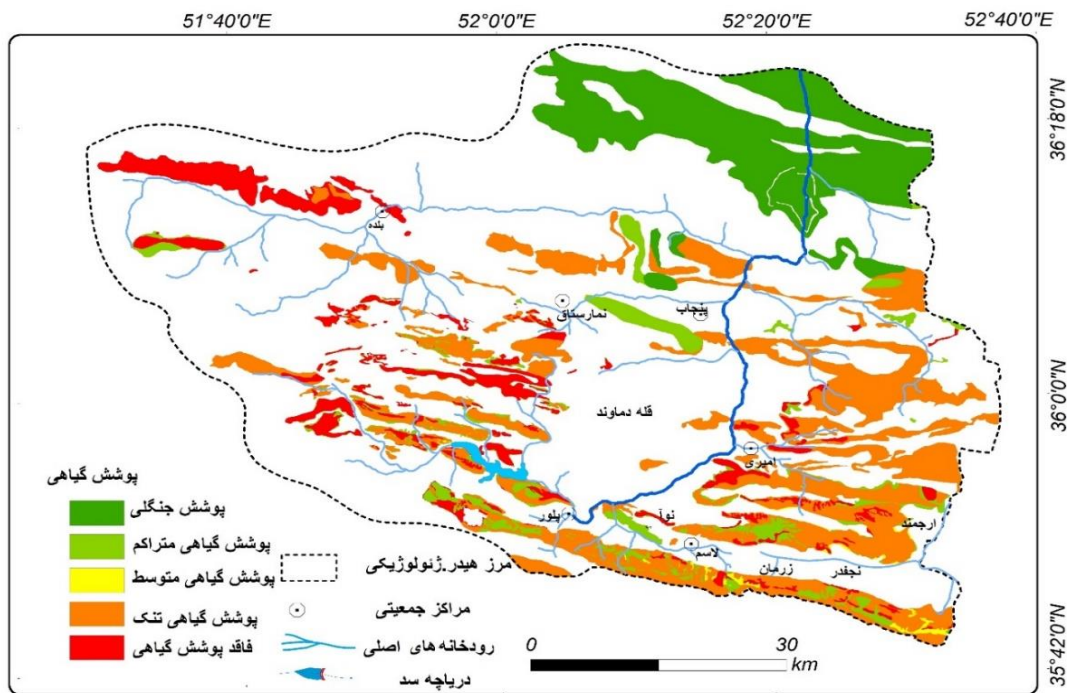
بازشدگی و تراکم درزه‌ها، مهمترین ویژگی مؤثر درزه‌ها بر تغذیه می‌باشد. به علاوه توسعه عوارض کارست و مسیرهای انحلالی در امتداد درزه و شکستگی‌ها می‌باشد. نقشه درزه و شکستگی‌ها با استفاده از گوگل ارث ترسیم شده که نتایج آن با گسل‌های موجود در نقشه‌های زمین‌شناسی تلفیق شده است. جهت شیب یکی از پارامترهای مهم و مؤثر بر تغذیه آبخوان‌هاست. جهت استخراج جهت شیب در آهک‌های منطقه از نقشه مدل رقومی ارتفاعی (SRTM) با وضوح ۳۰ متر استفاده شده است (شکل ۲۱-۷). هرچه جهت شیب مقدار انرژی بیشتری دریافت کند مقدار تبخیر از آن در صورت وجود رطوبت بیشتر خواهد شد. مقادیر بالاتر غلظت کلر در منطقه لاسم در چشمه‌های دارای جنس یکسان سنگ‌شناسی و با شیب غالب حوضه آبگیر رو به جنوب در مقایسه با دامنه رو به شمال، مؤید این موضوع می‌باشد.



شکل ۷-۲۱- نقشه جهت شیب واحدهای کریناته در حوضه هرآز

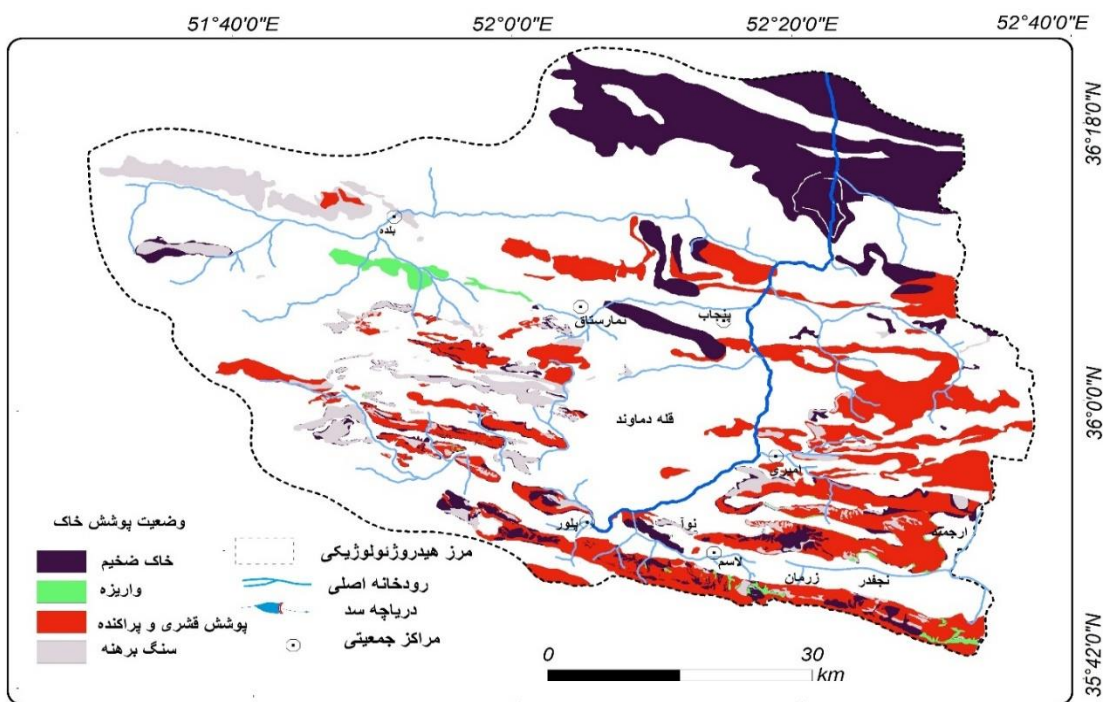
مقدار شیب نیز بر مقدار وقوع تغذیه اثر دارد اما با توجه به عدم وقوع رواناب سطحی بر روی واحدهای کریناته در دوره مورد مطالعه از این پارامتر صرف نظر می شود.

پوشش گیاهی از سایر عوامل مؤثر بر مقدار تغذیه است که از طریق گیرش بارندگی و مصرف آب منطقه ریشه در فصول رشد طی فرآیند تعریق، مقدار آب موجود در منطقه را کاهش می دهد. با افزایش تراکم پوشش گیاهی هر دو فرآیند فوق نیز روند افزایشی داشته که منجر به کاهش رطوبت منطقه غیراشباع می گردد. جهت بررسی تراکم پوشش گیاهی از شاخص استاندارد شده پوشش گیاهی (NDVI) حاصل از تصاویر ماهواره ای اوایل تیرماه استفاده شده است. شکل ۷-۲۲ توزیع پوشش گیاهی را در منطقه نشان می دهد. در بخش خروجی و بخش های محدودی از منطقه شمال قله دماوند (روستای لهر و مناطق اطراف) که دارای پوشش جنگلی می باشد، در سایر نواحی پوشش گیاهی محدود و غالباً از نوع بوته زار می باشد.



شکل ۷-۲۲- نقشه پوشش گیاهی بر روی واحدهای کربناته در حوضه هرز

حضور خاک بر روی واحدهای کربناته منجر به افزایش مقدار بارش مورد نیاز برای وقوع تغذیه می‌گردد. نقشه پوشش خاک منطقه با استفاده از تصاویر ماهواره سنتینال ۲ و تطبیق آن با عکس‌های گوگل ارث و بررسی صحرایی ترسیم شده است (شکل ۷-۲۳).



شکل ۷-۲۳- نقشه پوشش خاک بر روی واحدهای کربناته در حوضه هرز

به علاوه با جذب آب در بخش بالایی امکان خارج شدن از دسترس طی فرآیند تبخیر نیز افزایش می‌یابد. به طور کلی حضور خاک اثر منفی بر مقدار تغذیه دارد. با در نظر گرفتن اثر مثبت و یا منفی هر پارامتر می‌توان آنها را به گروه‌های مختلف طبقه‌بندی کرد. جدول ۶-۷ رده‌های هر پارامتر، نوع اثر و وزن نسبی هر پارامتر را نشان می‌دهد

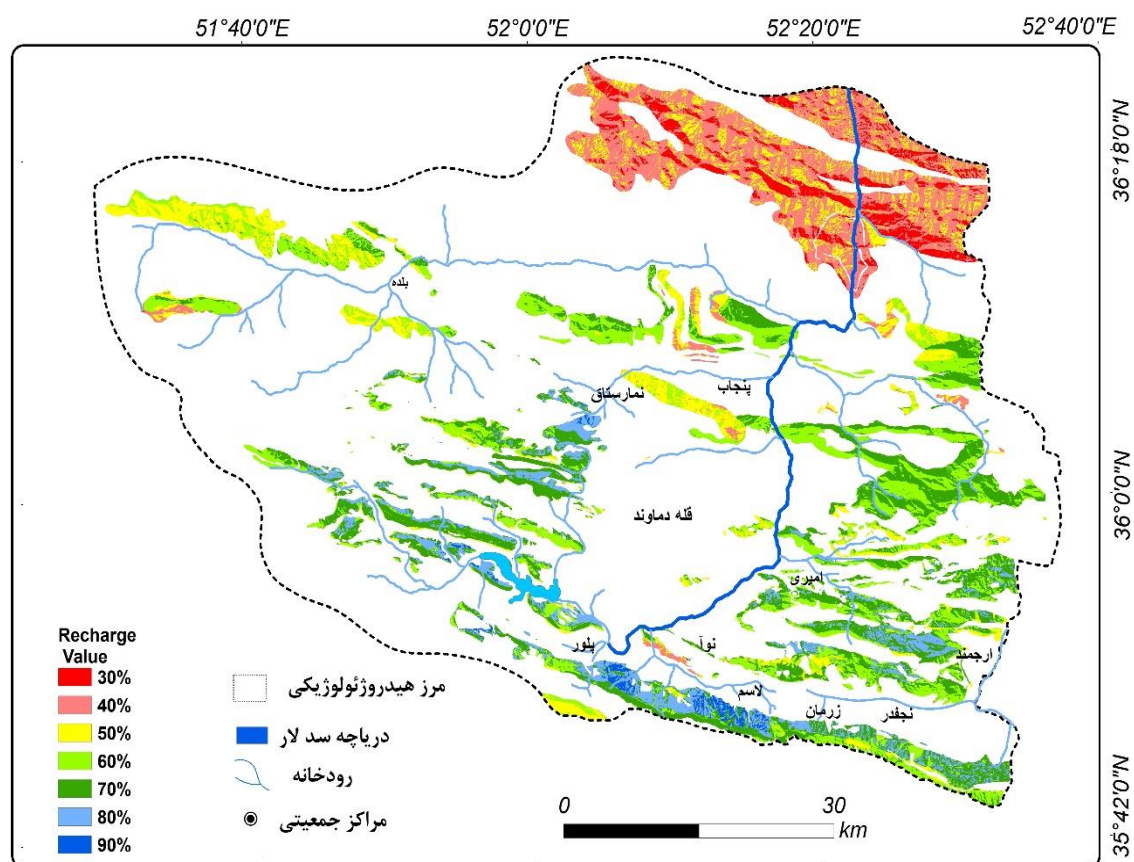
جدول ۶-۷- رده‌های هر پارامتر، نوع اثر و وزن نسبی هر پارامتر

شاخص طبقه‌بندی		امتیاز (رده)	وزن	نوع اثر	پارامتر
شاخص عددی	توصیف				
۰/۴۵۲-۰/۹۵۲	پوشش جنگلی	۱	۲۰٪	منفی	پوشش گیاهی
۰/۳۱۳-۰/۴۵۲	پوشش گیاهی خوب	۲			
۰/۲۲۹-۰/۳۱۳	پوشش متوسط	۵			
۰/۰۹۲-۰/۲۲۹	پوشش گیاهی ضعیف	۸			
-۰/۰۸۵-۰/۰۹۲	فاقد پوشش گیاهی	۱۰			
خاک ضخیم		۱	۲۰٪	منفی	پوشش خاک
واریزه		۳			
خاک پراکنده و قشری		۸			
سنگ برهنه		۱۰			
۱۵۰-۲۱۰	جنوب	۲	۲۰٪	دوگانه	جهت شیب
۱۵۰-۱۲۰ و ۲۱۰-۲۴۰	جنوب غرب و جنوب شرق	۴			
۲۴۰ و ۶۰-۱۲۰ ۳۰۰-	شرق و غرب	۶			
۶۰-۳۰ و ۳۰۰-۳۳۰	شمالشرق و شمالغرب	۸			
۳۳۰-۳۰	شمال	۱۰			
۲/۷-۳	کارست با توسعه ضعیف	۲	۲۰٪	مثبت	توسعه کارست
۳-۳/۳	کارست با توسعه متوسط	۴			
۳/۳-۳/۶	کارست با توسعه مناسب	۶			
۳/۶-۴	کارست با توسعه خوب	۸			
۴-۴/۷	کارست توسعه یافته	۱۰			
۰-۰/۱۵	تراکم کم	۲	۲۰٪	مثبت	تراکم شکستگی‌ها
۰/۱۵-۰/۴۳	تراکم ضعیف	۴			
۰/۴۳-۰/۷۹	تراکم متوسط	۶			
۰/۷۹-۱/۲	تراکم نسبتاً زیاد	۸			
۱/۲-۲/۰۲	تراکم زیاد	۱۰			

به طور نسبی هر پارامتر به چندین رده طبقه‌بندی شده و مناسب‌ترین شرایط برای وقوع تغذیه در رده ۱۰ و نامناسب‌ترین شرایط در رده ۱ قرار گرفته است. به طور کلی سنگ‌های برهنه فاقد پوشش گیاهی با شیب رو به شمال که دارای شاخص توسعه کارست بالاتری داشته باشند بهترین شرایط را جهت وقوع تغذیه فراهم می‌نمایند. در صورت تحقق این شرایط پتانسیل تغذیه و مقدار تغذیه برابر خواهند شد و کل پتانسیل تغذیه توان نفوذ عمیق و تغذیه آبخوان را داراست.

از نرم‌افزار GIS جهت محاسبات مکانی و طبقه‌بندی هر یک از پارامترها استفاده شده است. با جمع نتایج طبقه‌بندی و وزندهی نسبی لایه‌ها در نهایت نقشه امکان‌پذیری تغذیه با توجه به شرایط مکانی تولید شده است. این نقشه حاصل تلفیق اثرات نسبی پارامترهای مکانی تغذیه می‌باشد.

بیشترین مقادیر بیانگر بهترین شرایط برای وقوع تغذیه و کمترین مقادیر مبین نامناسب‌ترین شرایط می‌باشد (شکل ۷-۲۴).

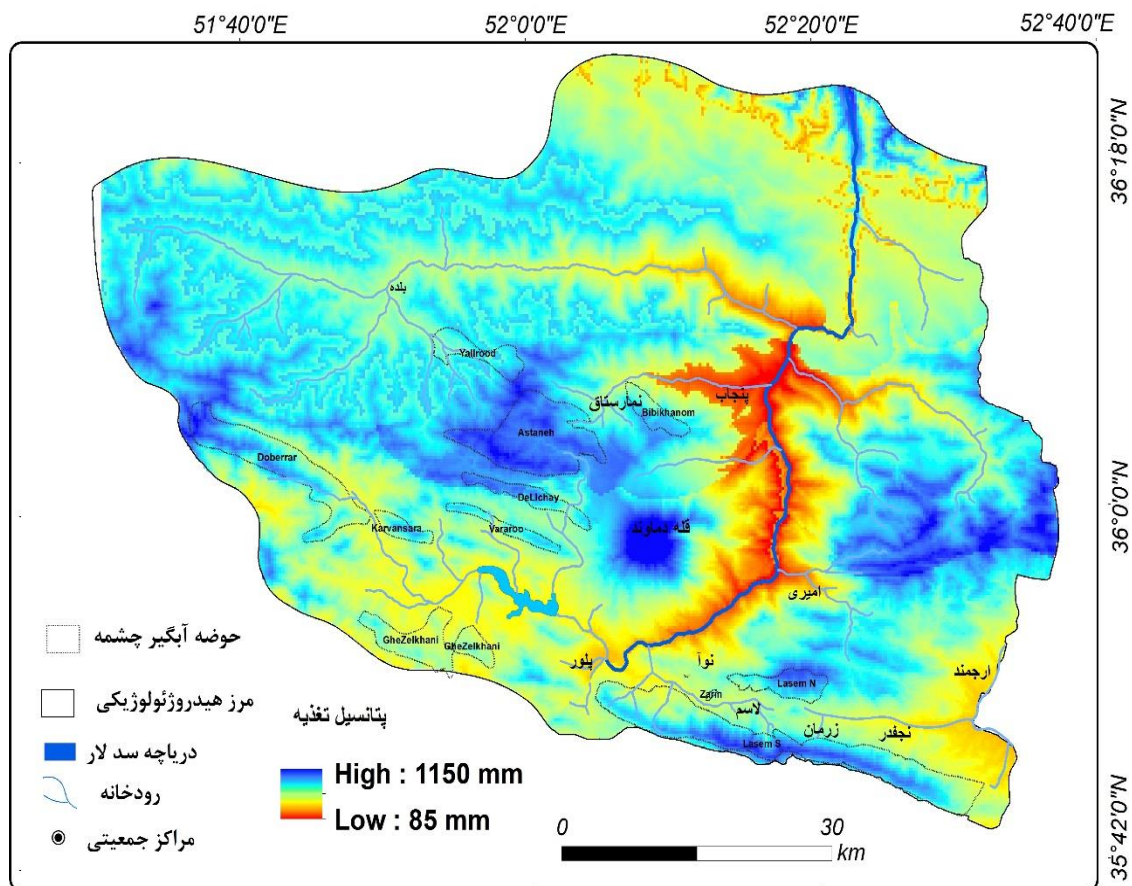


۷-۲۴- نقشه تغذیه واحدهای کربناته در حوضه هراز

جهت برآورد مقدار تغذیه در هر پیکسل دو نقشه پتانسیل تغذیه و بارش با یکدیگر تلفیق شده و در نهایت نقشه مقدار تغذیه برای منطقه مورد مطالعه برآورد شده است. مقادیر تغذیه با روش همپوشانی در آهک‌های منطقه بین ۳۰ تا ۹۰ درصد پتانسیل تغذیه متغیر می‌باشد و بیشترین مقدار تغذیه در ارتفاعات دوبرار در جنوب روستای لاسم و در بخش غربی قله دماوند رخ می‌دهد.

۷-۷- رابطه تغذیه و خروجی چشمه‌ها در دوره پایش

به منظور ارزیابی روش به کار برده شده در این تحقیق از دبی خروجی چشمه‌های منطقه در سال آبی ۱۳۹۴-۱۳۹۵ و مقدار تغذیه ارزیابی شده برای این سال استفاده شده است. شکل ۷-۲۵ نقشه حوضه آبرگیر چشمه‌های کارستی را بر روی نقشه تغذیه نشان می‌دهد.



۷-۲۵- نقشه توزیع مکانی تغذیه در واحدهای کربناته و حوضه آبرگیر چشمه‌ها

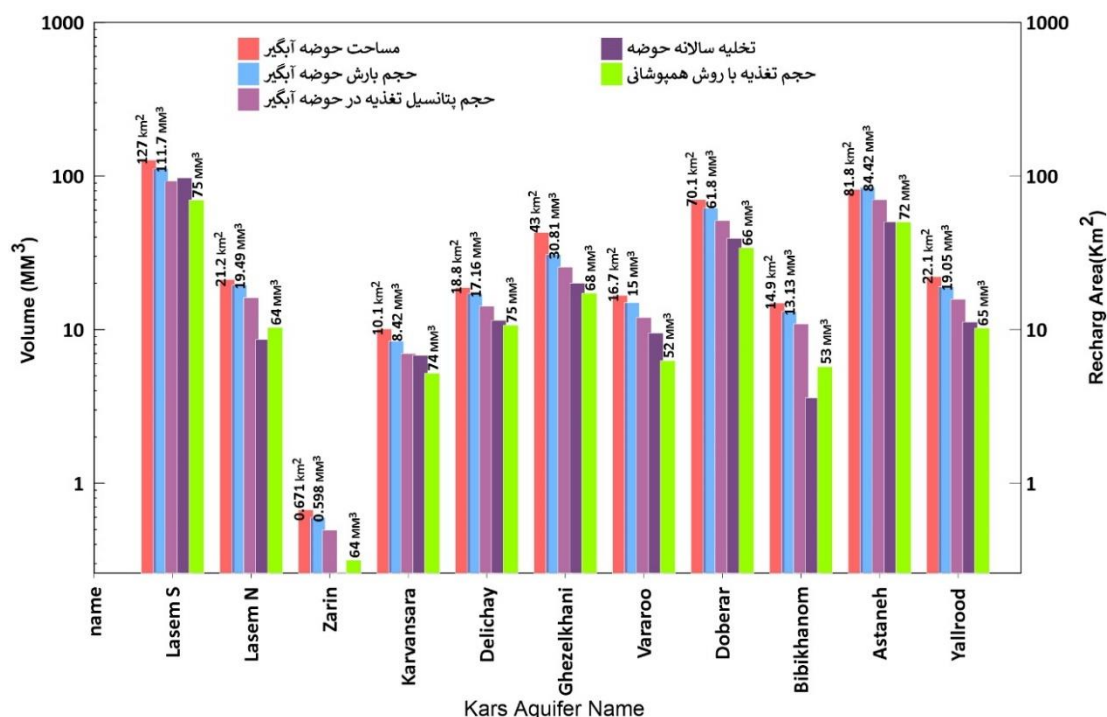
در مناطقی که واحدهای کربناته پیوسته هستند و شرایط زمین‌شناسی امکان تفکیک حوضه آبرگیر را فراهم نموده است از تفکیک حوضه‌ها اجتناب نموده و معادله بیلان برای کل توده کربناته (آبخوان کارستی) تعیین شده است. تغذیه در هر حوضه آبرگیر بر اساس جمع جبری مقدار تغذیه در هر پیکسل محاسبه شده است. جدول ۷-۷ حجم بارش سالانه، پتانسیل تغذیه، تغذیه محاسبه شده با GIS و مقدار دبی سالانه خروجی از چشمه‌های منطقه در جدول ۷-۷ آورده شده است.

شکل ۷-۲۶ نیز مقادیر محاسبه شده را در برابر مقادیر اندازه‌گیری شده سالانه برای هر آبخوان نشان می‌دهد. همانگونه که در این شکل و نیز جدول ۷-۷ مشاهده می‌گردد مقدار تغذیه با در نظر گرفتن حد آستانه وقوع تغذیه در کل منطقه هراز بین ۴۳ تا ۸۷ درصد متغیر بوده و بیشترین مقدار آن نیز در دامنه‌های رو به شمال (بخش جنوبی لاسم) و کمترین مقدار آن نیز در آبخوان‌های با شیب رو به جنوب (بخش شمالی لاسم) می‌باشد.

جدول ۷-۷- مقایسه مقدار محاسبه شده تغذیه و مقدار تخلیه سالانه چشمه‌های کارستی

نام آبخوان	مساحت حوضه (km ²)	بارش (Mm ³)	تخلیه (Mm ³)	پتانسیل تغذیه (Mm ³)	تغذیه با GIS (Mm ³)	درصد تغذیه با GIS	درصد تخلیه به بارش
لاسم جنوبی	۱۲۷/۰۰	۱۱۱/۷۴	۹۲/۶۳	۹۷/۳۶	۶۹/۷۰	۷۵/۲۴	۸۷/۱۴
لاسم شمالی	۲۱/۱۹	۱۹/۴۹	۸/۶۳	۱۶/۱۶	۱۰/۳۳	۶۳/۹۳	۴۴/۲۸
زرین چشمه	۰/۶۷	۰/۶۰	۰/۲۶	۰/۵۰	۰/۳۲	۶۳/۷۱	۴۳/۴۸
آبریزه	۱۰/۱۰	۸/۴۲	۶/۸۰	۶/۹۸	۵/۲۰	۷۴/۴۹	۸۰/۷۶
دلپچای	۱۸/۷۶	۱۷/۱۶	۱۱/۵۰	۱۴/۲۳	۱۰/۶۹	۷۵/۱۶	۶۷/۰۱
قزلخانی	۴۳/۰۲	۳۰/۸۱	۲۰/۱۰	۲۵/۵۴	۱۷/۲۹	۶۷/۷۱	۶۵/۲۴
ورارو	۱۶/۷۰	۱۵/۰۰	۹/۵۰	۱۲/۰۰	۲۷/۶	۵۲/۲۵	۶۳/۳۳
دوبرار	۷۰/۱۰	۶۱/۸۰	۳۹/۳۰	۵۱/۲۴	۳۴/۰۴	۶۶/۴۴	۶۳/۵۹
بی‌بی خانم	۱۴/۸۸	۱۳/۱۳	۳/۶۰	۱۰/۸۹	۵/۷۳	۵۲/۶۲	۲۷/۴۱
آستانه	۸۱/۷۵	۸۴/۴۲	۵۰/۲۰	۷۰/۰۰	۵۰/۱۵	۷۱/۶۴	۵۹/۴۷
یالرود	۲۲/۰۹	۱۹/۰۵	۱۱/۲۰	۱۵/۷۹	۱۰/۲۳	۶۴/۷۷	۵۸/۷۹

اختلاف موجود در مقادیر تغذیه به دست آمده از دو روش همپوشانی و آستانه تغذیه به دلیل عدم وجود حد آستانه یکسان در چشمه‌های با شیب رو به جنوب و عدم در نظر گرفتن اثر پارامترهای مکانی می‌باشد.



۷-۲۶- حجم بارش، پتانسیل تغذیه، تغذیه محاسبه شده با GIS و تخلیه سالانه از چشمه‌های کارستی

چون حد آستانه وقوع تغذیه در آبخوانهای برهنه ۱۵/۶ میلیمتر بوده و این مقدار در صورت حضور قشری از خاک به میزان قابل توجهی (در حد ظرفیت مزرعه قشر خاک) افزایش خواهد یافت. مقدار خطای موجود در نتایج حاصله در حد خطای مجاز می‌باشد. همانگونه که در شکل ۷-۲۶ نشان داده شده است بیشترین مقدار تغذیه در بخش جنوبی لاسم (تاقدیس کوه دوبرار) و کمترین مقدار آن در آبخوانهای با شیب غالب رو به جنوب مشاهده می‌شود. البته لازم به ذکر است که چشمه بی‌بی خانم که دارای شیب غالب رو به شمال است از این قاعده استثنا بوده و دارای کمترین مقدار تغذیه می‌باشد علت آن حضور پوشش گیاهی تقریباً متراکم می‌باشد.

فصل هشتم: نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این فصل به طور خلاصه مهمترین یافته‌های تحقیق حاضر آورده شده و در بخش پیشنهادها نیز با توجه به یافته‌های این تحقیق توصیه‌هایی به محققین محترم جهت انجام تحقیقات آتی ارائه می‌شود.

۸-۱-۱- نتیجه‌گیری

خلاصه مهمترین نتایج و دستاوردهای تحقیق حاضر به تفکیک موضوعی هر بخش از مطالعه ارائه شده است. ترکیب ایزوتوپی و هیدروژنوشیمیایی بارش‌ها و چشمه‌های منطقه مورد مطالعه، وقفه زمانی چشمه‌ها، آستانه وقوع تغذیه و مقدار تغذیه از مهمترین یافته‌های این رساله می‌باشند که در ادامه به آنها پرداخته می‌شود.

۸-۱-۱-۱- ترکیب ایزوتوپی و هیدروشیمی بارش‌های هراز

مطالعات انجام گرفته بر روی ترکیب ایزوتوپی بارش‌های حوضه هراز در ۵ ایستگاه با اختلاف ارتفاع و در مکانهای با فواصل بیش از ۵۰ کیلومتر در شرق و غرب کوه دماوند بیانگر این است که هر ۵ ایستگاه دارای روند خطی تقریباً یکسانی بوده و به طور کلی از روند خطی $\delta D(\%) = 7.66\delta^{18}O(\%) - 8.48$ تبعیت می‌نمایند. بارش‌های تابستانه دارای سنگین‌ترین و بارش‌های زمستانه دارای سبک‌ترین مقادیر ایزوتوپی می‌باشند. مطالعه هیدروشیمی بارش‌ها بیانگر وجود غلظت بالای عناصر اصلی در تابستان و کمترین مقدار این عناصر در زمستان است.

۸-۱-۲- ترکیب ایزوتوپی چشمه‌های مهم کارستی حوضه هراز

مطالعات ایزوتوپی بر روی نمونه‌های جمع‌آوری شده از چشمه‌های منطقه (۱۶۵ عدد) بیانگر این است که در این منطقه بیشینه، کمینه و میانگین غلظت ^{18}O به ترتیب $-۵/۷۶$ ، $-۱۰/۸$ و $-۸/۱$ و برای D نیز به ترتیب $-۳۴/۸$ ، $-۷۰/۲$ و $-۴۸/۵$ می‌باشد. ترکیب ایزوتوپی اغلب چشمه‌ها شباهت بسیار زیادی به

نمونه‌های برف متراکم دارند. این مطلب بیانگر نقش غالب آب حاصل از ذوب برف در تغذیه آبخوان‌های کارستی منطقه می‌باشد.

مطالعات مکانی ترکیب ایزوتوپ‌های پایدار با توجه به ارتفاع بیانگر وجود دو روند غالب در چشمه‌های با شیب حوضه آبرگیر رو به جنوب و شمال می‌باشد. در چشمه‌های با شیب غالب حوضه آبرگیر به سوی شمال با افزایش ارتفاع ترکیب ایزوتوپی سنگین‌تر می‌شود اما در چشمه‌های با شیب غالب به سوی جنوب چنین نبوده و با افزایش ارتفاع متوسط حوضه آبرگیر ترکیب ایزوتوپی سبک‌تر می‌شود. این موضوع مبین وجود اثرات فرآیندهای بعد از بارش بر روی ستون برف است. در بین فرآیندهای مذکور با توجه به شواهد نقش تبادل رطوبت و باران‌های بهاره که بر روی برف اتفاق می‌افتد شدیدتر بوده و چون در دامنه‌های رو به شمال فرآیند ذوب برف دو ماه بیشتر طول می‌کشد امکان نفوذ باران‌های اردیبهشت و خرداد نیز فراهم شده می‌گردد. به علاوه بالا بودن رطوبت در منطقه طی این دو ماه نیز امکان تبادل رطوبتی بین توده برف و رطوبت هوا را فراهم می‌نماید که می‌تواند منجر به سنگین‌تر شدن ترکیب ایزوتوپی توده برفی گردد.

۸-۱-۳- هیدروشیمی چشمه‌های مهم کارستی حوضه هراز

مطالعات هیدروشیمی چشمه‌های مهم منطقه هراز بیانگر وجود تیپ غالب بی‌کربناته کلسیک در اغلب چشمه‌ها و غالب بودن یون‌های بی‌کربنات و کلسیم می‌باشد. البته در مورد چشمه‌هایی که از کارست‌های گچی منطقه خارج می‌شوند این مقادیر متفاوت بوده و یون کلسیم و سولفات غلبه دارند. در چشمه‌های آهکی فرآیند غالب پدیده انحلال کربنات بوده و در آبخوان‌های گچی انحلال ژپیس غلبه دارد.

۸-۱-۴- وقفه زمانی در چشمه‌های مهم کارستی حوضه هراز

استفاده از سنجش از دور و پایش فرآیند ذوب برف در حوضه هراز بیانگر این است که چشمه‌های با دامنه غالب حوضه آبرگیر شمالی در مقایسه با شیب غالب حوضه جنوبی دارای زمان ماندگاری کمتر

بوده و به وقایع بارشی در مدت زمان ۲۰-۳۰ روزه واکنش نشان می‌دهند. چشمه‌های با شیب غالب رو به جنوب دارای زمان پاسخ طولانی‌تر (نزدیک به ۸۰ روز) می‌باشند. در این منطقه به طور کلی زمان انتقال اوج ذوب برف به چشمه‌های منطقه از ۲۵ روز در منطقه لاسم در دامنه‌های رو به شمال تا ۷۵ روز در دامنه‌های رو به جنوب متغیر است. بیشترین زمان ماندگاری در این منطقه در چشمه آستانه مشاهده شده است. دبی اوج در این چشمه در مرداد ماه بوده که با تغییرات منحنی پوشش برف یک فاصله زمانی حدود ۹۰-۱۲۰ روزه نشان می‌دهد.

۸-۱-۵- آستانه وقوع تغذیه

مطالعات انجام شده بر روی باران‌های منطقه بیانگر این است که در چشمه‌های با شیب غالب حوضه آبگیر به سوی جنوب (بخش شمالی لاسم) هیچ تغییر ایزوتوپی در پاسخ به بارش‌های تابستانه مشاهده نشده است. در حالی که چشمه‌های با شیب حوضه آبگیر به سوی شمال (بخش جنوبی لاسم) و یا به سوی شمال و جنوب (منطقه نمار ستاق و لار) از این باز شها متأثر شده‌اند. در این منطقه بارش‌های کمتر از ۱۵ میلیمتر در دوره مورد مطالعه بر روی هیچ کدام از چشمه‌ها اثری نداشته‌اند. جهت در نظر گرفتن بارش‌های متوالی کمتر از حد آستانه وقوع تغذیه شاخص رطوبت مازاد محاسبه گردیده است. این شاخص حاصل تجمعی بارش روزانه و ۱۵/۶ روز قبل با در نظر گرفتن ضریب میرایی ۰/۸۵ می‌باشد. در صورتی که شاخص رطوبت مازاد به بیش از ۱۷ میلیمتر برسد بارش توان تغذیه را دارد و اثر آن بر ترکیب ایزوتوپی چشمه‌ها منجر به سنگین شدن ترکیب ایزوتوپی می‌گردد. این مقدار در شرایط رطوبت پیشین را در نظر گرفته است.

۸-۱-۶- ارزیابی مقدار تغذیه آبخوان‌های کارستی

با توجه به پایش ۲۹ چشمه با تنوع شرایط هیدروژئولوژیکی می‌توان بیان کرد که عامل اصلی تغذیه در منطقه ذوب برف بوده و تجمع برف در طول فصل سرما این امکان را فراهم می‌سازد که حتی بارش‌های کمتر نیز توان تغذیه در حین ذوب برف داشته باشند.

بررسی روند ایزوتوپ‌های پایدار در اکثر چشمه‌ها نشان می‌دهد که دبی سریع دارای ترکیب ایزوتوپی سنگین‌تری نسبت به دبی پایه داشته و این روند بیانگر وجود تغذیه در طول زمستان با ترکیب ایزوتوپی سبک‌تر نسبت به ستون برف می‌باشد.

بر اساس ۲۷ سال آمار روزانه ایستگاه پلور به طور متوسط ۶۶٪ از بارشها به شکل برف و ۳۴٪ به شکل باران می‌باشد، که ۷۲٪ از باران‌ها دارای مقادیر کمتر از ۵ میلی‌متر است. نتایج بررسی شاخص رطوبت مازاد در دوره مورد مطالعه مبین این است که تنها ۲۸٪ از بارش‌های باران توان تغذیه را دارند که این مقدار به طور متوسط کمتر از ۵٪ از کل بارش حوضه هراز را شامل می‌شود.

نتایج حاصله از این تحقیق بیانگر اثر مستقیم نوع رژیم بارشی بر کمیّت و مقدار تغذیه بوده و بایستی در محاسبات هیدروژئولوژیکی به این موضوع به طور ویژه توجه نمود، تا مقدار تغذیه در همچنین مناطقی با دقت قابل قبول ارائه شود. دو دلیل جهت عدم هر گونه تغییر ناشی از بارش‌های کمتر از این آستانه وجود دارد ۱- کمتر بودن از حد ظرفیت مزرعه منطقه غیرا شباع ۲- عدم وقوع حجم قابل توجه که بتواند غلظت ایزوتوپی زمینه را متأثر نموده و اثر آن در چشمه رؤیت شود.

آستانه وقوع تغذیه در چشمه‌های با شیب حوضه آبخیز رو به جنوب به دلیل بالاتر بودن میزان انرژی دریافتی از خورشید و عموماً کمتر بودن مقدار رطوبت پیشین مقدار بالاتری است و در این منطقه بارش‌های فصول گرم اثری بر ترکیب ایزوتوپی آب خروجی از این چشمه‌ها ندارند.

۸-۲- پیشنهادها

پیشنهادها در دو بخش مجزا ارائه می‌گردد. بخش اول پیشنهادها جهت تحقیقات آتی می‌باشد و در بخش دوم پیشنهادهایی جهت افزایش دقت دادها و اطلاعات منطقه هراز ارائه شده است.

۸-۲-۱- پیشنهادهایی جهت تحقیقات آتی

با توجه به کمبود منابع آبی کشور ایران، لزوم مطالعه بر روی مقدار تغذیه در نواحی مختلف وجود دارد و مطالعه هرچه بیشتر این موضوع به برآورد صحیح تغذیه کمک شایانی نموده که در نتیجه مدیریت

کارآمد منابع آبی را در پی خواهد داشت. به محققان علاقمند به تحقیق در زمینه کار ست و تغذیه در این آبخوان‌ها هستند توصیه می‌شود موضوعات زیر را مطالعه نمایند:

- مطالعه و بررسی اثر رطوبت پیشین بر مقدار تغذیه و شکل‌گیری رواناب.
- بررسی حد آستانه شکل‌گیری رواناب در محیط‌های سنگ برهنه در شیب‌های متعدد.
- مطالعه در مناطق با شرایط آب و هوایی متفاوت جهت تعیین آستانه وقوع تغذیه.
- مطالعه اثر وجود خاک در حوضه آبرگیر بر روی آستانه وقوع تغذیه.
- نصب باران‌سنج و پایش تغییرات بارش با جزئیات مکانی بیشتر.

۸-۲-۱- پیشنهادهای مرتبط با منطقه مورد مطالعه

- برای درک بهتر تغییرات دبی رودخانه هراز اکیداً توصیه می‌شود که در مسیر این رودخانه بزرگ اقدام به تأسیس چندین ایستگاه آب‌سنجی تمام اتوماتیک در ورودی‌های اصلی (لاسم، لار و بلده) گردد تا محققان با دقت بالاتری این تغییرات را بررسی نمایند.
- شرایط پیچیده زمین‌شناسی امکان جریان زیرزمینی بین تاقدیس‌ها را فراهم نموده است جهت رفع این ابهام و نیز شناسایی دقیق‌تر حوضه آبرگیر چشمه‌های منطقه و نقاط تخلیه احتمالی در محل تقاطع محور تاقدیس و ناودیس‌ها با رودخانه هراز توصیه می‌شود در مناطق مرتفع عملیات ردیابی انجام شده و در مسیر اصلی رودخانه هراز نیز با استفاده از سنجش از دور محلی و نیز اندازه‌گیری دمای سطح آب به عنوان یک روش جدید، اقدام به شناسایی مناطق تراوشی غیرمتمرکز گردد.
- با توجه به تنوع توزیع بارش در این حوضه پیشنهاد می‌گردد که تا حد امکان اقدام به نصب باران‌سنج تجمعی در ارتفاعات مختلف در این حوضه گردد و ترکیب ایزوتوپی بارش‌های منطقه به صورت منفرد و یا تجمعی اندازه‌گیری شود.

منابع

- آدابی، م. ح.، خطیبی مهر، م.، معلمی، س.ع.، صادقی، ع.، صالحی، م.ع. (۱۳۸۸) دیاژنز و ژئوشیمی سازند زیارت در برش نمونه توچال، (البرز). **مجله علوم زمین**. ۷۳: ۱۵۳-۱۶۴.
- پرنور، م.، الماسیان، م.، عباسی، م. (۱۳۹۰) تحلیل ساختاری نواحی جنوب آمل با نگرشی ویژه بر سد در دست مطالعه منگل، **فصلنامه زمین**. زمستان ۱۳۹۰، دوره ۶، ۲۲، ۹۱-۱۰۶.
- امیدیان، ص.، الیاسی، م.، حسن زاده، ج.، زارعی نژاد، م. (۱۳۸۸) تحلیل تنش دیرین در اطراف سد لار (البرز مرکزی)، به منظور شناخت ساختارهای مؤثر در فرار آب، **مجله فیزیک زمین و فضا**، ۳۵: ۱، صفحه ۱۷-۳۰.
- امیدیان، ص.، الیاسی، م. (۱۳۸۹) تحلیل تنش دیرین پهنه گسل بایجان، خاور آتشفشان دماوند، ایران **فصلنامه زمین شناسی ایران**، سال چهارم، شماره شانزدهم، صفحات ۶۰-۵۱.
- کرمی، غ. (۱۳۸۹) بررسی ارتباط یا عدم ارتباط هیدرولیکی حوضه آبگیر چشمه کارستی امام قیس با منابع مجاور، شرکت سهامی آب منطقه‌ای چهارمحال و بختیاری، ۷۹ص.
- مومن رومیانی، ح.، خادمی، س. (۱۳۹۲) تأثیر احداث سد لار بر کنترل رژیم جریان رودخانه هراز با توجه به تغییرات اقلیم- ایستگاه کره سنگ. اولین همایش ملی بحران آب.
- نجفی، ز.، کرمی، غ.، طاهری، ع. (۱۳۹۱) ارزیابی میزان نفوذ در آهک کارستی بیستون در شرق و جنوب شرق روانسر. اولین همایش زمین‌شناسی فلات ایران، کرمان.

- Alavi, M. (1996) "Tectonostratigraphic synthesis and structural style of the Alborz mountain system in northern Iran". **Journal of Geodynamics** 21(1): 1-33.
- Al-Charideh, A. (2012) "Recharge rate estimation in the Mountain karst aquifer system of Fige spring, Syria". **Environ. Earth. Sci.** 65:1169-1178.
- Allenbach, P. (1966) "Geologie und petrographie des Damavand und seiner umgebung (Zentral Elburz), Iran". Eidgen, Tech. Hochsch., Univ. Zurich, Mitt. Geol. Inst., N.F., 63, 144p.
- Allocca, U., Manna, F., De Vita, P. (2014) "Estimating annual groundwater recharge coefficient for karst aquifers of the southern Apennines (Italy)". **Hydrol. Earth Syst. Sci.**, 18, 803-817.
- 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". **Hydrogeol. J.** 16 (5), 911e925.
- Anuraga, T.S., Ruiz, L., Mohan Kumar, M.S., Sekhar, M., Leijnse, A. (2006) "Estimating groundwater recharge using land use and soil data- A case study in South India". **Agricultural water management** 84:65-76.

- Aquilina, L., Ladouche, B., Do Rfliger, N. (2006) "Water storage and transfer in the epikarst of karstic systems during high flow periods". **J. Hydrol.** 327: 472– 485
- Assereto, R. (1963) "The Paleozoic formations in Central Elburz (Iran) (Preliminary note)". **Riv. ital. Paleont. Stratigr.** 69, 503-43.
- Assereto, R. (1966) "Geological map of upper Djajrud and Lar valleys (Central Elburz, Iran)", **Inst. Geol. Univ. Milano, Serie G**, Publ. 232, 86.
- Ayalon, A., Bar-Matthews, M., Sassb, E. (1998) "Rainfall-recharge relationships within a karstic terrain in the Eastern Mediterranean semi-arid region, Israel: 18O and D characteristics". **J. Hydrol.** 207 18-31.
- Bailly-Comte, V., Jourde, H., Roesch, A., Pistre, S., Batiot-Guilhe, C. (2008) "Time series analyses for Karst/River interactions assessment: Case of the Coulazou river (southern France)". **J. Hydrol.** 349, 98– 114.
- Bengtsson, L. (1980) "Evaporation from a Snow Cover, Review and Discussion of Measurements". **Nordic Hydrology**, Vol. 11, pp. 221-234.
- Berberian, M. (1976) "An explanatory note on the first seismotectonic map of Iran, A seismotectonic review of the country". In Contribution to the seismotectonics of Iran (Part II).
- Bhoopesh, D., Joisy, M.B. (2012) "Assessment of groundwater natural recharge for a river basin ", **TIST.Int. J. Sci.Tech. Res**, 1: 19-26.
- Bonacci, O. (2001) "Analysis of the maximum discharge of karst springs", **Hydrogeol. J.** 9 (4), 328–338.
- Cartier, E. (1972) Geological map of the central Alborz: Sheet Damavand: Tehran, Iran, Geological Survey, scale 1: 100,000, 1 sheet.
- Cherkauer, D.S., Ansari, S.A. (2005) "Estimating ground water recharge from topography, hydrogeology, and land cover". **Groundwater**, 43(1), 102-112.
- Clark, I.D., and Fritz, P. (1997) "**Environmental Isotopes in Hydrogeology**". Lewis Publishers, Boca Raton, FL.
- Cook, P.G., Robinson, N.I. (2002). "Estimating groundwater recharge in fractured rock from environmental 3H and 36Cl, Clare Valley, South Australia". **Water Resou.Rese.** 38(8).
- Davidson, J., Hassanzadeh, J., Berzins, R., Stockli, D.F., Bashukooh, B., Turrin, B., Pandamouz, A. (2004) "The geology of Damavand volcano, Alborz Mountains, northern Iran". **Geol Soc Am Bull** 116(1):16.
- De Vries, J.J., Simmers, I. (2002) "Groundwater recharge: an overview of processes and challenges". **Hydrogeol. J.** 10(1):5–17.
- Delin, G.N., Healy, R.W., Lorenz, D.L., Nimmo, J.R. (2007) "Comparison of local to regional scale estimates of ground water recharge in Minnesota, USA". **J. Hydrol.** 334, 231–249.
- Dripps, W.R., Bradbury, K.R. (2007) "A simple daily soil–water balance model for estimating the spatial and temporal distribution of groundwater recharge in temperate humid areas". **Hydrogeol. J.** 15: 433–444.
- Dripps, W.R. (2012) "An integrated field assessment of groundwater recharge". **The Open Hydrol. J.** 6: 15-22.

- Eckhardt, K., Ulbrich, U. (2003) "Potential impacts of climate change on groundwater recharge and stream flow in a central European low mountain range". **J. Hydrol** 284,244–252.
- Finch, J.W. (1998) "Estimating direct groundwater recharge using a simple waterbalance model – sensitivity to land surface parameters". **J. Hydrol.**211 112–125.
- Fiorillo, F., Guadagno, F.M. (2012) "Long karst spring discharge time series and droughts occurrence in Southern Italy". **Environ. Earth. Sci.** 65:2273–2283.
- Florea, L.J. (2013) "Selective recharge and isotopic composition of shallow groundwater within temperate, epigenic carbonate aquifers". **J. Hydrol.** 489:201-213.
- Ford, D.C., Williams, P.W. (2007) "**Karst Hydrogeology and Geomorphology**. Wiley, Chichester", United Kingdom. 562 p.
- Gee, G.W., Hillel, D. (1988) "Groundwater recharge in arid regions: review and critique of estimation methods". **Hydrol. Process.** 2(3):255–266.
- Geyer, T., Birk, S., Liedl, R., Sauter, M. (2008) "Quantification of temporal distribution of recharge in karst systems from spring hydrographs". **J. Hydrol.** 348(3-4), 452-463
- Gibbs, J.R. (1970) "Mechanisms Controlling World Water Chemistry". **Science** 170 (3962):1088-1090.
- GLAUS, M. (1965) "**Die geologie des gebietes nördlich des Kandevan-passes (Zentral-Elburz), Iran**". Mitt. geol. Inst. ETH u. Univ. Zurich., n.s., No. 48, 165.
- Greene, E.A. (1997) "Tracing recharge from sinking streams over spatial dimensions of kilometers in karst aquifer". **Ground Water** 35(5): 898-904.
- Grinevskii, S.O. (2014) "The Effect of Topography on the Formation of Groundwater Recharge". **Moscow University Geology Bulletin**, Vol. 69, No. 1, pp. 47–52.
- Habana, N.C., Heitzl, L.F., Olsen, A.E., Jenson, J.W., Salvacion, J.L. (2013) "VADOCHARGE: Groundwater Recharge Model for an Uplifted Island Karst Aquifer, Guam, USA". **International Journal of Environmental Engineering Science and Technology Research** 1: 141-164.
- Hall, D.K., Crawford, C.J., DiGirolamo, N.E., Riggs, G.A., Foster, J.L. (2015) "Detection of earlier snowmelt in the Wind River Range, Wyoming, using Landsat imagery, 1972–2013". **Remote Sensing of Environment**, 162, 45-54.
- Hartmann, A., Goldscheider, N., Wagener, T., Lange, J., Weiler, M. (2014) "Karst water resources in a changing world: a review of hydrological modeling approaches". **Rev Geophys**, 52:218–242.
- Healy, R.W. (2010) "**Estimating groundwater recharge**". Cambridge University Press, Cambridge.
- Heppner, C.S., Nimmo, J.R. Folmar, G.J., Gburek, W.J., Risser, D.W. (2007) "Multiple-methods investigation of recharge at a humid-region fractured rock site, Pennsylvania, USA". **Hydrogeol. J.**, 15, 915–927.
- Herczeg, A.L., Leaney, F.W.J., Stadter, M.F., Allan, G.L., Fifield, L.K. (1997) "Chemical and isotopic indicators of point-source recharge to a karst South Australia". **J. Hydrol.** 192(1-4), 271-299.

- Hoetzl, H. (1995) "Groundwater recharge in an arid karst area (Saudi Arabia). Application of Tracers in Arid Zone Hydrology (Proceedings of the Vienna Symposium, August 1994)". **IAHS Publ.** no. 232, 1995.
- Huang, T., Pang, Z. (2011) "Estimating groundwater recharge following land-use change using chloride mass balance of soil profiles: a case study at Guyuan and Xifeng in the Loess Plateau of China". **Hydrogeol. J.** 19: 177–186.
- Hughes, A.G., Mansour, M.M., Robins, N.S. (2008) "Evaluation of distributed recharge in an upland semi-arid karst system: the West Bank Mountain Aquifer, Middle East". **Hydrogeol. J.** 16:845–854.
- Jemcov, I., Petric, M. (2009) "Measured precipitation vs. effective infiltration and their influence on the assessment of karst systems based on results of the time series analysis". **J. Hydrol.** 379: 304–314.
- Jones, I.C., Banner, J.L., Humphrey, J.D. (2000) Estimating recharge in a tropical karst aquifer. **Water Resour. Res.** 36:1289–1299.
- Jukic, D., Denic-Jukic, V. (2008) "Estimating parameters of groundwater recharge model in frequency domain: Karst springs Jadro and Zrnovnica". **Hydrol Process** 22:4532–4542.
- Jyrkama, M.I., Sykes, J.F. (2007) "The impact of climate change on spatially varying groundwater recharge in the grand river watershed (Ontario)". **J. Hydrol** 338, 237–250.
- Kazemi, G.A., Ichianagi, K., Shimada, J. (2015) "Isotopic characteristics, chemical composition and salinization of atmospheric precipitation in Shahrood, northeastern Iran". **Environmental Earth Sciences**, 73(1), 361–374.
- Keese, K.E., Scanlon, B.R., Reedy, R.C. (2005) "Assessing controls on diffuse groundwater recharge using unsaturated flow model". **Water Resources Research** 41: W06010.
- Khatibi Mehr, M., Adabi, M.H. (2014) "Microfacies and geochemical evidence for original aragonite mineralogy of a foraminifera-dominated carbonate ramp system in the late Paleocene to Middle Eocene. Alborz basin. Iran". **Carbonates and Evaporites**. 29(2): 155-175.
- Korkmaz, N. (1990) "The estimation of groundwater recharge from hydrographs", **Hydrological Sciences**, 35, 2, pp. 209-217.
- Kresic, N. Stevanovic, Z. (Eds.). (2009). Groundwater hydrology of springs: Engineering, theory, management and sustainability. Butterworth-heinemann.
- Kuma, R.C. P, ISH., M. (1997) "Estimation of natural groundwater recharge". **Journal of Hydraulic Engineering**, 3:1, 61-74.
- Lange, J., Arbel, Y., Grodek, T., Greenbaum, N. (2010) "Water percolation process studies in a Mediterranean karst area". **Hydrol. Process**. 24, 1866–1879.
- Leaney, F.W., Herczeg, A.L. (1995) "Regional recharge to a karst aquifer estimated from chemical and isotopic composition of diffuse and localised recharge". **J. Hydrol.** 164: 363–387.

- Lin, D., Jin, M., Liang, X., Zhan, H. (2013) “Estimating groundwater recharge beneath irrigated farmland using environmental tracer’s fluoride, chloride and sulfate”. **Hydrogeol.J.** 21: 1469-1480.
- Lundberg, A. (1993) “Evaporation of intercepted snow—review of existing and new measurement methods”. **J. Hydrol.** 151, 267–290.
- Manghi, F., Mortazavi, B., Crother, C., Hamdi, M. R. (2009) “Estimating Regional Groundwater Recharge Using a Hydrological Budget Method”. **Water Resour Manage** 23:2475–2489.
- Marti´nez-Santos, P., Andreu, J.M. (2010) “Lumped and distributed approaches to model natural recharge in semiarid karst aquifers”. **J Hydrol** 388:389–398.
- Meeks, J., Hunkeler, D. (2015) “Snowmelt infiltration and storage within a karstic environment, Vers Chez le Brandt, Switzerland”. **J Hydrol** 529: 11-21.
- Moore, P.J., Martin, J.B., Sreaton, E.J. (2009) “Geochemical and statistical evidence of recharge, mixing, and controls on spring discharge in an eogenetic karst aquifer”. **J. Hydrol** 376 443–455.
- Nimmo, J.R. (2005) “Unsaturated zone flow processes”. In: Anderson MG, Bear J (eds) *Encyclopedia of hydrological sciences: part 13, groundwater, vol 4*. Wiley, Chichester, UK, pp 2299–2322.
- Nimmo, J.R., Horowitz, C., Mitchell, L. (2014) “Discrete-storm water-table fluctuation method to estimate episodic recharge” **Groundwater**. doi: 10.1111/gwat.121777
- Nordell, B. (1990) “Condensation of humidity onto a snow covered roof. **Nordic Hydrol.**, 21: 287-298.
- Nurul Islam, M.D., Chowdhury, A., Moinul Islam, K., Ziaur Rahaman, M. (2014), “Development of Rainfall Recharge Model for Natural Groundwater Recharge Estimation in Godagari Upazila of Rajshahi District, Bangladesh”. **American Journal of Civil Engineering**. Vol. 2, No. 2, pp. 48-52.
- Ozyurt, N.N., Bayari, C.S. (2008). “Temporal variation of chemical and isotopic signals in major discharges of an alpine karst aquifer in Turkey: implications with respect to response of karst aquifers to recharge”. **Hydrogeol.J.** 16(2), 297-309.
- Peleg, N., Gvirtzman, H. (2010) “Groundwater flow modeling of two-levels perched karstic leaking aquifers as a tool for estimating recharge and hydraulic parameters”. **J. Hydrol** 388 13–27.
- Radulovic, M., Stevanovic, Z., Radulovic, M. (2012) “A new approach in assessing recharge of highly karstified terrains—Montenegro case studies”. **Environ Earth Sci** 65:2221–2230.
- Ries, F., Schmidt, S., Sauter, M., Lange, J. J. J. o. H. R. S. (2017). “Controls on runoff generation along a steep climatic gradient in the Eastern Mediterranean”. 9, 18-33.
- 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”. **Hydrogeol J** 17: 1687–1698.
- Sanford, W. (2002) “Recharge and groundwater models: an overview”. **Hydrogeol J** 10: 143-152.

- Scanlon, B.R., Healy, R.W., Cook, P.G. (2002) “Choosing appropriate techniques for quantifying groundwater recharge”. **Hydrogeol J** 10:18–39
- Shaban, A., Khawlie, M., Abdallah, C.H. (2006) “Use of remote sensing and GIS to determine recharge potential zones: the case of Occidental Lebanon”. **Hydrogeol J**, 14: 433–443.
- Singhal, V., Goyal, R. (2012) “A methodology based on spatial distribution of parameters for understanding affect of rainfall and vegetation density on groundwater recharge”. **European Journal of Sustainable Development** 1, 2, 85-96.
- Steiger, R. (1966) “**Die geologie der west-Firuzkuh-area (Zentral-Elburz, Iran)** “. Mitt. Geol Inst. ETH, u. Univ. Zurich, n.s., 145p.
- Stocklin, J. (1974) “Possible ancient continental margins in Iran” In: Drake, C. (Ed.), *The Geology of Continental Margins*. Springer-Verlag. 873-887.
- Sussli, P. (1976) “**The Geology of the Lower Haraz Valley Area, Central Alborz, Iran**” Geological Survey of Iran Report 38: 1-116; Tehran.
- Uromeihy, A. (2000) “The Lar Dam; an example of infrastructural development in a geologically active karstic region”. **Journal of Asian Earth Sciences**, 18, 25–31.
- White, W.B. (1988) “**Geomorphology and hydrology of karst terrains**” Oxford University Press, New York, p 464
- Wilcox, B.P., Huang, Y. (2010) “Woody plant encroachment paradox: Rivers rebound as degraded grasslands convert to woodlands” **Geophysical Research Letters**, 37(7).
- Wood, W.W., Sanford, W.E. (1995) “Chemical and isotopic methods for quantifying ground- water recharge in a regional, semiarid environment”. **Groundwater**, 33(3), 458-468.
- Yeh, H.F., Chang, P.H., Hsu, K.C., Lee, C.H. (2007) “Assessment of groundwater recharge in Chih-Pen and Jin-Lin Creek basins” In: **Proceedings of 3rd conference on resources engineering in Taiwan**, pp 1–15.

Abstract

Recharge from precipitations is considered as the main and most important input to the most of the aquifers. In addition, it is the most important parameter of the water budget which is required in most hydrological and hydrogeological studies to groundwater. Instead of numerous investigations on recharge evaluation in the past few decades' recharge amount estimation is difficult. Determining the exact amount of aquifer recharge due to the role of various factors and in unknown quantities is very difficult and practically nearly impossible. However, with increasing accuracy in the study of some of these parameters, recharge estimations accuracy can be improved to an acceptable level.

Based on the literatures and evidence in many regions recharge is seasonal and, in other words, all events of precipitations don't have the recharge capability. By assessing the characteristics of rainfall in any region, a recharge threshold can be determined for rain form of precipitation.

Investigating the precipitations isotope content at 5 stations with different elevations indicates that the isotope contents of precipitations in Haraz basin is following $\delta D (\text{‰}) = 66\delta^{18}\text{O} (\text{‰}) - 8.48$ trend. Summer rainfalls have the heaviest and the winter time precipitations have the most depleted isotope content. Hydrochemical study of precipitation indicates the high concentrations of the main elements in summer and the lowest amount of these elements in the winter.

The isotopic studies of the karst springs indicate that the isotopic composition of most springs are very similar to that of snowpack samples. This indicates the dominant role of snowmelt derived water in the recharging of karst aquifers. Studies carried out on the rain events and springs isotope time series in dry period indicates in springs catchments dominated by north facing (South of Lasem) or both south and north facing slope (Nemarstagh and Lar) some changes observed in isotope contents while those dominated by south facing slope (North of Lasem) showing no sensible change. In this area, rain events higher than 15.6 mm affect the isotope contents of the springs which had a 17.2 mm of excess moisture. If the excess moisture condition reach around the 17.2 mm it has capability to effect the isotope signature of the springs water and in dry season will lead to enrichment of the spring's isotope content. Based on 27-year data at Polour station annual precipitation ranges from 298 to 857 mm which precipitated in average of 66% and 34% in the form of snow and rain, respectively.

Considering the rain events in study period with regards to the excess moisture indicates that in average 28% of the precipitations in the form of rain are above this threshold. Potential recharge based on type of precipitation are 85% and 25% for snow and rainfall, respectively. Potential recharge in carbonates of central Alborz ranges from 46% to 76% of annual precipitation. GIS used to develop the lithological, faults and fractures, vegetation cover, soil cover, karstification index map and slope directions maps to evaluate the relative effects of spatial parameters on recharge. After classification of the layers they have been overlaid to determine the recharge possibility in each location and finally it has been compiled with potential recharge. Recharge values to the limestone using overlaying method ranges from 30% to 90% of the potential recharge.

Key words: Central Alborz, Haraz, Karst Hydrogeology, Recharge Threshold, Stable Isotope, Hydrochemistry, LMWL



Shahrood University of Technology
Faculty of Earth Sciences

Ph.D. Thesis in Hydrogeology

Evaluating annual recharge in carbonate formations of Haraz basin

By: Abdollah Shamsi

Supervisor:

Prof. Gholam Hossein Karami

Advisor:

Prof. Azizollah Taheri

July, 2019