فصل اول

معرفی کلیات پژوهش

۱-۱- مقدمه

منابع آب زیرزمینی مهمترین بخش از آب‌های شیرین قابل استفاده و در دسترس بشر به حساب می‌آید. از این‌گذشته، با توجه به توزیع نامتعادل زمانی و مکانی آب‌های سطحی و پتانسیل بالای آلودگی این آب‌ها، تقاضا برای آب‌های زیرزمینی جهت مصارف شرب، کشاورزی، و صنعتی، رو به افزایش است. یکی از آسان‌ترین راه‌های استفاده از آب‌های زیرزمینی، بهره‌برداری از آبخوان‌های آبرفتی می‌باشد. اما امروزه استفاده روز افزون و بی‌رویه از آبخوان‌های آبرفتی، موجب افت سطح آب و کاهش کیفیت آب در این آبخوان‌ها گردیده است. این امر باعث شده است که برای رفع کمبود آب و مشکلات ناشی از آن نظیر تأثیر منفی بر توسعه اقتصادی، اجتماعی، تأمین غذا و حفظ محیط زیست به مطالعه و پی جویی منابع جدید و مطمئن آب پرداخته شود. منابع آبی سازندهای کارستی، یکی از مهمترین این منابع به شمار می‌آید.

۱-۲- موضوع ضرورت و اهداف پژوهش

آبخوان آبرفتی منطقه مورد مطالعه (دشت بشرویه، رج فصل ۳) به علت بهره‌برداری بی‌رویه سال‌های اخیر، دچار صدمات جدی شده است. به طوری که در آبخوان مذکور، ۷ متر افت ایجاد شده است. این میزان افت، سبب ایجاد ۲۰۰ میلیون متر مکعب کسری در حجم مخزن گردیده است [۷]. با توجه به افت سفره در اثر برداشت بی‌رویه که مسبب اصلی کاهش مخزن در این دشت می‌باشد، شناسایی و استفاده از منابع آبی جدید نظیر منابع آب کارستی می‌تواند در تأمین نیازهای آبی منطقه و جبران خسارات وارده به آبخوان، نقش بسزایی داشته باشد. نظر به مشکلات موجود در خصوص وضعیت آبخوان آبرفتی مورد مطالعه، اهمیت و شناسایی منابع آبی جدید از جمله منابع آبی موجود در سازندهای سخت منطقه [۷]، امری ضروری تلقی می‌شود. از طرفی چون حفاری چاه‌های متعدد آب در مناطق با سازندهای سخت (مناطق کارستی) به شیوه آزمون و خطا، از نظر اقتصادی ریسک بالایی دارد [۲۴]. لذا انجام پهنه‌بندی محدوده مذکور طی این تحقیق، می‌تواند گام اول برای مطالعه و شناخت منابع آبی در این سازندها طی مراحل بعدی باشد. در واقع، بر اساس این پهنه‌بندی می‌توان طی یک زنجیره مطالعاتی، وسعت منطقه هدف را به طور متوالی محدود کرد. از این طریق، ضمن کاهش هزینه‌های تحقیقاتی در هر مرحله، نسبت به مرحله قبل، انجام بررسی دقیق‌تر محدوده، امکان پذیر می‌شود. لذا محور اصلی این تحقیق اینست که، در محدوده مورد مطالعه با استفاده از روش‌های دورسنجی و GIS، با سرعت و هزینه مناسب، مناطق با احتمال بالاتر، از لحاظ حضور آب‌زیرزمینی، مورد شناسایی قرار گیرد. به عبارت دیگر، با کمک این روش‌ها می‌توان یک ارزیابی سریع درباره میزان پتانسیل آب زیرزمینی در مقیاس

منطقه‌ای ارائه نمود. طبعاً بعد از پهنه‌بندی سازندهای کارستی منطقه (سازندهای آهکی با سن پالئوسن؛ [۳]) و محدود شدن منطقه هدف، می‌توان به ترتیب، اقدام به مطالعات ژئوفیزیکی و حفر گمانه‌های اکتشافی در منطقه نمود. این امر علاوه بر صرفه‌جویی در زمان، به لحاظ اقتصادی نیز حائز اهمیت فراوانی می‌باشد. از این رو می‌توان گفت که هدف این تحقیق، عبارتست است از "تعیین محل‌های مناسب‌تر به لحاظ استعداد وجود منابع آب زیرزمینی کارستی در محدوده کارستی موردمطالعه (بشرویه) به منظور ایجاد بستر لازم جهت انجام مطالعات دقیق و پر هزینه‌ای مانند مطالعات ژئوفیزیکی و حفاری‌های اکتشافی در مراحل بعد".

۱-۳- فرضیات تحقیق

فرآیند کارستیفیکاسیون و ایجاد مخازن آب‌کارستی بر اساس مبانی دانش هیدروژئولوژی کارست، با شرایط زمین‌شناسی منطقه، ساختارهای تکتونیکی، وضعیت چینه‌شناسی، اقلیم و لایه‌بندی سازندها ارتباط تنگاتنگی دارد.

۱- وجود چشمه‌های کارستی نشانه‌ای از وضعیت مخازن آب کارستی تلقی می‌شود.

۲- توجه به نمایانگرهای ایجاد سفره‌های آب‌زیرزمینی (مانند شکستگی‌های تکتونیکی، پدیده‌های کارستی و نظایر آنها)، راهنمای بسیار مناسبی برای اکتشاف آب زیرزمینی می‌باشند.

۳- داده‌های رقومی ماهواره‌ای به دلیل پوشش وسیع، چند طیفی بودن و به روز بودن، ابزار مناسبی برای شناسایی و استخراج برخی از نمایانگرهای آب زیرزمینی از قبیل خطواره، پوشش‌گیاهی و لیتولوژی می‌باشند.

۴- سیستم اطلاعات جغرافیایی امکان ورود، پردازش، تجزیه و تحلیل همزمان داده‌های مکانی و تحلیل چند معیاری را جهت اکتشاف منابع آب زیرزمینی فراهم می‌کند.

۱-۴- پیشینه مطالعات

در این بخش، ابتدا به نمونه‌هایی از مطالعات مشابه انجام گرفته در مناطق مختلف جهان و مناطقی از ایران، اشاره شده است. سپس به اختصار به مطالعات زمین‌شناسی و هیدروژئولوژیکی انجام گرفته در منطقه مورد مطالعه، که به نحوی با موضوع مورد پژوهش در ارتباط هستند، پرداخته شده است.

۱-۴-۱- پیشینه مطالعات جهانی

شهید و دیگران [65] با استفاده از دورسنجی و GIS، مدل سازی منابع آب‌زیرزمینی را در سنگ‌های حوزه میدناپور (Midnapur) واقع در ایالت بنگال غربی هند انجام دادند. در این تحقیق ابتدا لایه‌های موضوعی لیتولوژی، ژئومورفولوژی، خاک، تغذیه، تراکم آبراهه‌ها، شیب، و توده‌های آب سطحی تهیه گریده است. به جز لایه‌های تغذیه و شیب، سایر لایه‌ها با استفاده از داده‌های دورسنجی به دست آمده اند. وزن‌دهی به نقشه‌های موضوعی تهیه شده، با توجه به اهمیت لایه‌ها در پیش بینی پتانسیل‌یابی آب‌زیرزمینی تعیین گردیده و سپس در محیط GIS تلفیق شده است. نتایج این مدل، تطابق بالایی را با داده‌های واقعی موجود، نشان داده است.

جایسوال و دیگران [46] پتانسیل‌یابی آب‌زیرزمینی را با استفاده از دورسنجی و GIS در زیر حوزه‌های گورنا (Gorna) و مالدیاپرادش (Maldhya Paradesh) هند انجام دادند. در مطالعه مذکور، لایه‌های لیتولوژی، ساختارهای زمین‌شناسی، کاربری اراضی، پوشش‌گیاهی، شبکه زهکشی، ویژگی‌های خاک، و شیب در محیط GIS تلفیق گردیده و نقشه پتانسیل آب‌زیرزمینی برای منطقه مورد نظر تهیه شد. نتایج این تحقیق برای شناسایی مناطق مناسب جهت استخراج آب قابل شرب برای جمعیت‌های روستایی به کار رفته است.

سنر و دیگران [64]، از تلفیق فنون دورسنجی و GIS در تحقیقات و مدیریت آب‌های زیرزمینی در منطقه بوردار (Burdar) ترکیه پرداختند. هدف آنها اکتشاف منابع جدید آب با استفاده از فنون دورسنجی و GIS بوده است. در این راستا نقشه‌های زمین‌شناسی، شکستگی و کاربری اراضی با استفاده از تصویر ماهواره‌ای Landsat7 (باند ۷۴۱) و نقشه شیب از DEM منطقه تهیه شده است. نقشه نهایی با تلفیق لایه‌های موضوعی، شامل بارندگی سالانه، زمین‌شناسی، تراکم شکستگی‌ها، کاربری اراضی، توپوگرافی، شیب، و تراکم آبراهه‌ها تهیه گردیده است. در نهایت، مناطق با اهمیت زیاد از نظر آب‌زیرزمینی در منطقه‌ی مورد مطالعه تعیین شده است.

راوی شنکر و موهان [60] پتانسیل آب‌زیرزمینی، حوزه‌های بهاستا (Bhatsa) و رود کالو (Kalu) در هند را مورد ارزیابی قرار دادند. در این راستا، ایشان از سیستم اطلاعات جغرافیایی، جهت تلفیق و تحلیل فضایی چند پارامتری استفاده نمودند. داده‌های مورد استفاده، شامل اطلاعات ماهواره‌ای، توپوگرافی، زمین‌شناسی و هیدروژئولوژیکی برای تولید نقشه‌های موضوعی بود. نتایج این مطالعه بیانگر آن است که ۷۰ درصد از منطقه، از نظر آب زیرزمینی، دارای پتانسیل پایین تا متوسط، ۱۰ درصد دارای پتانسیل بالا و ۲۰ درصد باقیمانده دارای پتانسیل متوسط به بالا می‌باشد.

سوبا رائو [69] پتانسیل آب‌های زیرزمینی سنگهای آذرین حوزه گونتور (Guntur) در ایالت اوندراپرادش (Andhra Pradesh) هند، را با استفاده از داده‌های دورسنجی مورد بررسی قرار داد. در این تحقیق، اطلاعات خاک، سازندهای زمین‌شناسی و شرایط آب‌های زیرزمینی با استفاده از مطالعات هیدروژئولوژیکی، شرایط توپوگرافی، و آبراهه‌ها، از نقشه‌های توپوگرافی، و واحدهای ژئومورفولوژی، شکستگی‌ها، کاربری اراضی و پوشش اراضی از تصاویر IRS ID LISS III بدست آمده است. در نهایت یک شاخص پتانسیل آب‌زیرزمینی (GWPI) جهت ارزیابی نسبی پتانسیل آب‌زیرزمینی، با استفاده از تلفیق عوامل مربوط به حرکت و رخداد منابع آب‌زیرزمینی، تهیه شده است. با استفاده از نتایج تحقیق مذکور، منطقه‌ی مورد مطالعه به چند بخش با پتانسیل آب‌زیرزمینی مختلف طبقه‌بندی شده است.

ایسرایل و دیگران [45]، در کوهپایه‌های هیمالیا از ایالت اوترانچال (Uttaranchal) هند، از سیستم اطلاعات جغرافیایی برای تلفیق نتایج هفتاد سونداژ الکتریکی عمودی (Vertical electrical sounding) و داده‌های هیدروژئولوژیکی، جهت تعیین مکان‌هایی با احتمال بالای حضور آب استفاده کردند. داده‌های مقاومت الکتریکی، سطح آب‌زیرزمینی و دورسنجی در محیط GIS جهت تعیین زون‌بندی هیدروژئولوژیکی تلفیق و تحلیل گردیده، به هر کدام از داده‌ها وزن مناسب اختصاص یافت. امتیازی که در نهایت به هر منطقه اختصاص یافته، نشان دهنده پتانسیل آب‌زیرزمینی در آن منطقه می‌باشد. نتایج حاصل از این تحقیق، نشان داده است که نواحی با شیب کمتر، دارای پتانسیل بسیار خوب آب‌زیرزمینی هستند و مناطق پر شیب از پتانسیل پایین آب‌زیرزمینی بر خوردارند. نتایج حاصل، از موافقت کلی با داده‌های موجود (چاه‌های منطقه) برخوردار بوده است.

سریواستاوا و بهاتاچاریا [68] پتانسیل‌یابی منابع آب‌زیرزمینی در سنگ‌های سخت حوزه برگاره (Bargarh) از ایالت اوریسا (Orissa) در هند را با استفاده تلفیقی از روش‌های دورسنجی، GIS، و روش‌های ژئوالکتریک انجام دادند. در این تحقیق، نقشه‌های موضوعی ژئومورفولوژی، کاربری اراضی، لیتولوژی، شکستگی، خاک، تراکم زهکشی، رده آبراهه‌ها، و شیب با استفاده از تصاویر ماهوارهای IRS LISS III و LANDSAT TM و DEM منطقه به همراه سایر داده‌های جنبی تهیه شد. به نقشه‌های موضوعی مذکور با توجه به تأثیر متفاوت آنها در پتانسیل‌یابی، با استفاده از روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (Analytic Hierarchy Process) یا به اختصار AHP، (رج بخش ۲-۳-۱-۵ ج) وزن مناسب اختصاص یافت. در نهایت با تلفیق نقشه‌های موضوعی تهیه شده، یک شاخص پتانسیل آب‌زیرزمینی (Ground Water Potential Index) یا به اختصار GWPI

محاسبه شده است. منطقه مورد مطالعه از نظر پتانسیل آب‌زیرزمینی به شش دسته بسیار ضعیف، ضعیف، متوسط، خوب، بسیار خوب، و عالی تقسیم‌بندی شده است. مناطقی با GWPI بسیار ضعیف، مطابق با چاه‌های با آبدهی پایین در گرانیت هوازده با مقاومت پایین و ضخامت کم بوده است. نمایه GWPI عالی، نشان دهنده چاه‌های با آبدهی بالا در گرانیت‌های شدیداً درز و شکاف دار با مقاومت و ضخامت بالا بوده است. نتایج حاصل از تحقیق مذکور، بیانگر مطابقت مدل تهیه شده، با داده‌های آزمایش پمپاژ و بررسی‌های ژئوالکتریک می‌باشد.

پراساد ودیگران [59] با بهره‌گیری از سیستم اطلاعات جغرافیایی و دورسنجی، اقدام به تهیه نقشه‌های موضوعی مورد نظر از منطقه جنوب شرقی هندوستان نمودند. ایشان با وزن‌دهی به هر لایه، با توجه به اهمیت لایه‌ی مربوط و مورد استفاده، اقدام به شناسایی و پتانسیل‌یابی کردند. همچنین در نهایت توانستند زون‌های بالقوه از لحاظ وجود آب زیرزمینی در سازندهای سخت منطقه مورد مطالعه، را تعیین کنند.

هساین فا و دیگران [44] در تایوان، با استفاده از GIS و دورسنجی، اقدام به شناسایی مناطق دارای پتانسیل بالای آب‌های زیرزمینی نموده‌اند. در این تحقیق، لایه‌هایی مثل زمین‌شناسی، ژئومورفولوژی، خطواره و کاربری اراضی، تهیه گردیده است. سپس با تلفیق و وزن‌دهی به نقشه‌های موضوعی تهیه شده، با توجه به اهمیت هر یک از لایه‌ها، نسبت به پیش بینی مناطق با پتانسیل بالای آب‌زیرزمینی اقدام گردیده است. در نهایت با استفاده از GIS، نقشه هم پتانسیل آب زیرزمینی منطقه به دست آمده است.

۱-۴-۲- پیشینه مطالعات در کشور

کاظمی [۲۱]، در تحقیقاتی تحت عنوان مطالعه مقدماتی هیدرولوژی کارست در حوزه لار، با بررسی پارامترهایی از جمله عناصر تکتونیکی، چشمه‌ها، شیب، شبکه هیدروگرافی، و مناطق دارای پتانسیل کارستی شدن، به کمک RS و GIS، اقدام به شناسایی مناطق بهینه به لحاظ فراوانی آب زیرزمینی نمود. نتایج این تحقیق، حاکی از وجود یک ارتباط قوی بین عوامل یاد شده و میزان فراوانی آب در کارست است.

آبشیرینی [۱]، در مطالعه‌ای تحت عنوان کاربرد تکنیک‌های دورسنجی و GIS در شناخت و پتانسیل‌یابی آب‌های زیرزمینی کارست در تاقدیس پابده- لالی، لایه‌های موضوعی شیب، شبکه زهکشی، کیفیت شیمیایی آب چشمه‌ها در فصل تر و خشک، شکستگی و فاصله از چشمه‌ها را به کارگرفت و جهت تلفیق آنها از مدل بولین با فرض مساوی بودن تأثیر پارامترهای مختلف استفاده کرد. وی در نهایت ۴۳ نقطه را به عنوان مکان‌های مناسب جهت بهره‌برداری از منابع آب‌زیرزمینی مناسب تشخیص داد.

رنگزن و همکاران [۱۲]، با استفاده از تکنیک‌های دورسنجی و GIS، نقش عوامل ساختاری، لیتولوژی، و توپوگرافی را در رخنمون چشمه‌های کارستی در تاقدیس پابده- لالی در شمال شرق خوزستان مورد بررسی قرار دادند. در این تحقیق، بر نقش تأثیرگذار عواملی مانند گسلها، درز و شکاف‌ها، نوع سازند، شیب، و ارتفاع، در ایجاد مناطق کارستی و توسعه‌ی منابع آبی موجود در آن تأکید شده و نقش عوامل مذکور در فراوانی و برونزد چشمه‌های منطقه، مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج این تحقیق نشان داده است که چشمه‌ها در شیب کم، فواصل نزدیک به شکستگی‌ها، و در جایی که تراکم شکستگی‌ها بالا است رخنمون بیشتری داشته‌اند.

رنگزن و همکاران [۱۳] در تحقیقی دیگر، جهت اکتشاف و پیشنهاد مکان‌های دارای منابع آب با کیفیت شیمیایی مناسب، از تکنیک‌های دورسنجی و GIS استفاده کردند. در تحقیق مذکور، هیدروشیمی چشمه‌ها و چاه‌های منطقه قلعه رزه- بیدروبه، تحت بررسی قرار گرفته و نقش عوامل ساختاری نظیر گسل‌ها نیز در تعیین کیفیت شیمیایی آبخوان‌ها ارزیابی شده است. در نهایت مکان‌هایی مناسب به لحاظ کیفیت شیمیایی جهت مصارف شرب معرفی گردیده است.

در مطالعه‌ای دیگر، رنگزن و همکاران [۱۴] به مقایسه تأثیر عوامل ساختاری- ژئوموفولوژیکی در ظهور چشمه‌ها، در دو محدوده‌ی مطالعاتی قلعه رزه- بیدروبه و تاقدیس پابده پرداختند. در این تحقیق با استفاده از دورسنجی و GIS، ارتباط ظهور و دبی چشمه‌ها با ارتفاع، شیب، فاصله از شکستگی‌ها، تراکم تعداد شکستگی‌ها، و تراکم طول شکستگی‌ها در هر دو منطقه، مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج این تحقیق نشان داده که در هر دو منطقه، بیشترین درصد ظهور چشمه‌ها، در فواصل نزدیک نسبت به شکستگی‌ها، شیب کم، و تراکم بالای شکستگی‌ها بوده و تنها تفاوت، ظهور چشمه‌ها در ارتفاع‌های متفاوت بوده است.

امیری [۸]، در مطالعه‌ای تحت عنوان استفاده از تکنیک‌های دورسنجی و GIS در پتانسیل‌یابی منابع آب‌زیرزمینی در محدوده‌های قلعه رزه و بیدروبه، برای پتانسیل‌یابی، از پارامترهای لیتولوژی، توپوگرافی، شیب، ساختارها، و کیفیت شیمیایی استفاده کرد. در این تحقیق، تلفیق لایه‌ها با استفاده از مدل منطقی بولین انجام شده است. در نهایت، مناطقی به عنوان محدوده‌ی مناسب جهت بهره برداری آب‌زیرزمینی معرفی شده اند. سپس با اعمال چند شرط اضافی، مانند رعایت فاصله نقاط مکان‌یابی شده از یکدیگر و همچنین تراکم مناسب آبراهه‌ها، چند نقطه به عنوان مکان‌های مناسب جهت حفاری معرفی شده‌اند.

محمدی [۲۴] در مطالعه‌ای با عنوان کاربرد تکنیک‌های دورسنجی و GIS در شناخت و پتانسیل‌یابی منابع آب‌زیرزمینی تاقدیس گورپی استان خوزستان، با استفاده از عوامل هیدروژئولوژیکی، ساختاری، توپوگرافی و زمین‌شناسی، اقدام به تهیه نقشه‌های معیار نمود. در تحقیق مذکور، از هشت پارامتر، شامل تراکم برخورد شکستگی‌ها (F)، فاصله از برخورد شکستگی‌ها (C)، تراکم طول شکستگی‌ها (L)، فاصله از شکستگی‌ها (I)، اختلاف ارتفاع با محل‌های تخلیه (E)، فاصله از محل تخلیه (D)، شیب (O) و زمین‌شناسی (G)، استفاده شد. شیوه به کار رفته، تحت مدلی به نام DEFLOGIC معرفی گردید که با کمک آن و با استفاده از وزن‌دهی و به کمک منطق فازی، زون‌های مستعد به لحاظ آب زیرزمینی، مشخص شد.

۱-۴-۳- بررسی سوابق مطالعاتی محدوده بشرویه

در این بخش به اختصار، به تعدادی از مهمترین مطالعات مرتبط با موضوع این تحقیق در منطقه مورد مطالعه، اشاره شده است.

۱-۴-۳-۱- مطالعات جامع مدیریت منابع آب محدوده مطالعاتی بشرویه

الف) مطالعات فیزیوگرافی و هیدرولوژی

این مطالعه به منظور بررسی شرایط فیزیوگرافی حوضه، و استفاده بهینه از رواناب‌های سطحی صورت گرفته است. نتیجه نهایی که از این مطالعه حاصل شده است بدین صورت می‌باشد که، با توجه به وضعیت بارندگی منطقه و وقوع سیلاب‌های ناگهانی، استفاده از رواناب‌های ارتفاعات غربی (شتری) جهت تقویت آبخوان می‌تواند در غالب طرح‌های تغذیه مصنوعی صورت پذیرد [۲۵].

ب) مطالعات هیدروژئولوژی سازند سخت

این مطالعات برروی سازندهای سخت منطقه (ارتفاعات شتری) انجام شده است. نتیجه نهایی که از این مطالعه حاصل شده، بیان می‌دارد که سازندهای آهکی، آهک ریفی اسفندیار، قلعه دختر و آهک کرتاسه، به علت داشتن درز و شکاف فراوان و نفوذ ریزش‌های جوی، از نظر تشکیل آبخوان‌های کارستی حائز بیشترین اهمیت می‌باشد [۲۶].

۱-۴-۳-۲- مطالعات محدودیت و ممنوعیت استفاده از آبخوان دشت بشرویه

دشت بشرویه به علت حفر چاه‌های متعدد و برداشت بی‌رویه از آب زیرزمینی به موازات خشکسالی‌های چند سال اخیر، دچار افت سطح سفره آب زیرزمینی و کسری مخزن و در بعضی موارد کاهش کیفیت شده است. با

توجه به اینکه تنها منبع مطمئن و دائمی تأمین آب در مناطق خشک و نیمه خشک و کویری به خصوص در زمان وقوع خشکسالی، منابع آب‌زیرزمینی می‌باشد، مطالعاتی در جهت ممنوعیت حفاری‌های جدید در این دشت صورت گرفته است. در این مطالعات، با اندازه‌گیری سطح آب درون پیزومترها در طی یک دوره مشخص آغاز گردید. به دنبال آن، انجام مطالعات دقیق جهت شناخت وضعیت هیدرولوژیکی آبخوان و ارزیابی پتانسیل ذخیره آن به منظور بهره‌برداری بهینه از آب زیرزمینی نهایتاً در سال ۱۳۸۴ انجام گرفت. در نتیجه این مطالعات، این دشت، جزء دشت‌های ممنوعه استان معرفی گردید [۷].

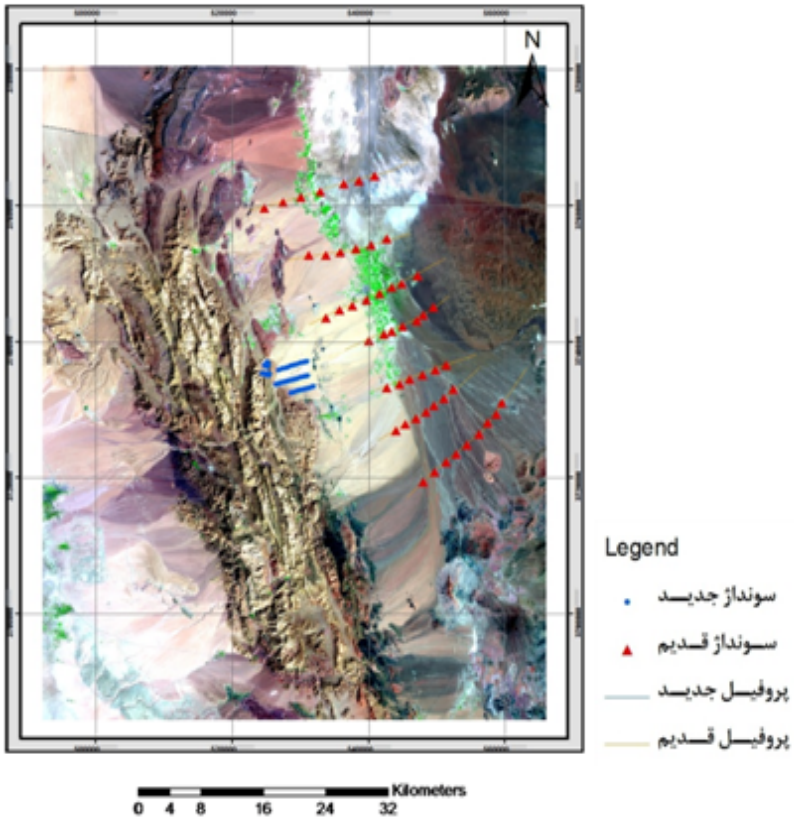
۱-۴-۳-۳- مطالعات ژئوفیزیک

مطالعات ژئوفیزیک دشت بشرویه در سه مرحله با اجرای ۱۴۳ سونداژ در قالب ۱۸ پروفیل، جهت بررسی منابع آب صورت گرفته است. اطلاعات مربوط به این مطالعات در جدول ۱-۱ نشان داده شده است.

جدول ۱-۱. مشخصات مطالعات اکتشاف ژئوفیزیکی در دشت بشرویه، [۲۲ و ۲۳].

ردیف	سال	مشخصات
۱	۱۳۵۰	۴۹ سونداژ در قالب ۷ پروفیل
۲	۱۳۵۶	۴۴ سونداژ در قالب ۷ پروفیل
۳	۱۳۷۷	۵۰ سونداژ در قالب ۷ پروفیل

در عملیات‌های سال‌های ۱۳۵۰ و ۱۳۵۶ آبخوان آبرفتی دشت بشرویه و در مطالعات ژئوفیزیک سال ۱۳۷۷، تشکیلات آهکی و آبرفتی دشت، مورد مطالعه قرار گرفته است. از آنجایی که تنها، نتایج عملیات ژئوفیزیکی سالهای ۱۳۵۰ و ۱۳۷۷ در دسترس است، در اینجا فقط همین مطالعات، مورد بررسی قرار می‌گیرد. شکل (۱-۱)، مکان اجرای عملیات ژئوفیزیک سالهای ۱۳۵۰ و ۱۳۷۷ در دشت و سازندهای سخت را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۱. محدوده عملیات ژئوفیزیک سال‌های ۱۳۵۰ و ۱۳۷۷، [۲۲ و ۲۳].

الف- بررسی عملیات ژئوفیزیک سال ۱۳۵۰-۱۳۴۹

این مطالعات به منظور بررسی منابع آب دشت بشرویه و تعیین مشخصات آبخوان، در غرب شهرستان بشرویه بین روستاهای ارسک (در جنوب غربی بشرویه) و غنی آباد (در شمال غرب بشرویه) انجام شده است. عمده نتایج حاصل از این مطالعات در بخش (۳-۴-۴) درج گردیده است.

ب- بررسی عملیات ژئوفیزیک سال ۱۳۷۷

به منظور بررسی و مطالعه سازندهای سخت (آهکی) غرب شهر بشرویه، تعیین پتانسیل آبی آنها، تعیین زون‌های آب‌دار در آهک‌ها و مخازن احتمالی آب، شناسایی آهک‌های منطقه و گسترش آنها در اعماق زمین، عملیات ژئوفیزیک در غرب شهر بشرویه در محدوده روستای رَقّه انجام شده است. نتایج حاصل به صورت مقاطع ژئوفیزیکی و نقشه‌های هم مقاومت مخصوص ظاهری (AB =۲۰۰، AB =۴۰۰ و AB =۸۰۰) ارائه گردیده است. اهم این نتایج در بخش ۳-۴-۴ بیان گردیده است.

۱-۵- روند کلی تحقیق

بطور کلی، ضرورت دارد که هر پروژه تحقیقاتی، مراحل مشخص و معینی را طی کند. مرحله اول، همان انتخاب موضوع و مکان مورد تحقیق می‌باشد. در مرحله بعد، باید به گردآوری و تهیه داده‌های مورد نیاز، جهت تحقیق پرداخته شود. این مرحله از مهمترین مراحل یک تحقیق به شمار می‌رود، به طوریکه برخی از دانشمندان تحقیق را تنها جمع‌آوری داده می‌دانند. در مواردی با مطالعات میدانی و نمونه برداری‌های محلی داده‌های لازم تهیه و آماده می‌گردد. همچنین در جمع‌آوری داده‌ها، از تجربیات دیگران نیز، بهره گرفته می‌شود و مشاهدات علمی نیز بخشی از این مرحله را تشکیل می‌دهند. سپس، بحث تجزیه و تحلیل داده‌ها پیش می‌آید. در این مرحله، باید داده‌های اولیه مورد پردازش قرار گیرند و از آنها اطلاعات مورد نیاز و مطلوب تحقیق، استخراج گردد. در پایان نیز نتایج حاصل از تحقیق ارائه شده و پیشنهادات لازم جهت انجام بهتر و کاملتر تحقیق بیان می‌گردد [۱].

در اینجا خلاصه‌ای از روند کلی تحقیق حاضر بیان شده است. ولی روش تحقیق، به طور کامل در فصل چهار بیان گردیده است. چنانکه در بخش ۱-۲ نیز ذکر شد، مرحله اول (تعیین موضوع و هدف تحقیق) در تحقیق حاضر، عبارتست از " شناخت و پهنه‌بندی پتانسیل منابع آب‌زیرزمینی کارستی منطقه بشرویه در استان خراسان جنوبی". در مرحله بعد، بخشی از داده‌های مورد نیاز از سازمانها و مراکز ذیربط تهیه و گردآوری گردید که این داده‌ها شامل نقشه‌های زمین‌شناسی، نقشه‌های توپوگرافی و تصاویر ماهواره‌ای می‌باشد. در مرحله بعد داده‌های گردآوری شده مورد پردازش و تجزیه و تحلیل قرار گرفت. در این زمینه از توانایی‌های دورسنجی وGIS بهره‌گیری شد. سپس، به کمک ابزارهایی که در محیط GIS قابلیت آنالیز داده را دارند، نقشه پهنه‌بندی پتانسیل منابع آبی به دست آمد. در نهایت به بحث پیرامون نتایج حاصله پرداخته شده است.

۱-۶- ساختار پایان نامه

تحقیق حاضر به شش فصل مجزا و مرتبط، به شرح زیر، تقسیم بندی گردیده است؛

فصل اول: کلیات

دراین فصل، کلیاتی پیرامون تحقیق حاضر بیان گردیده است. بدین ترتیب که ضمن بیان مسئله، اهمیت موضوع و اهداف آن، به اختصار به ذکر سوابق مطالعات مربوطه و در نهایت به معرفی ساختار گزارش تحقیق پرداخته شده است.

فصل دوم: مبانی نظری پژوهش

فصل مذکور به بررسی مسائل و مفاهیم مربوط به موضوعات مطروحه در این پژوهش پرداخته است. در این راستا، ابتدا پیرامون مفاهیمی در خصوص کارست و عوامل مؤثر بر آبخوان‌های کارستی بحث شده و در ادامه به معرفی ابزار GIS و RS پرداخته شده است.

فصل سوم: معرفی منطقه مورد مطالعه

این فصل به بیان مشخصات مهم منطقه مورد مطالعه در ارتباط با موضوع مورد پژوهش می‌پردازد. ارائه مطالبی در مورد موقعیت جغرافیایی و راههای دسترسی، شرایط اقلیمی و وضعیت زمین‌شناسی منطقه (که به نوبه خود، شامل چینه‌شناسی، لیتولوژی، تکتونیک، هیدرولوژی، و هیدرژئولوژی منطقه است)، ساختار این فصل را تشکیل می‌دهد.

فصل چهارم: روش و یافته‌های پژوهش

این فصل به بیان سیستماتیک کارهای انجام شده جهت نیل به اهداف تحقیق و یافته‌های حاصله در هر مرحله از پژوهش می‌پردازد. به طور خاص، بحث در مورد روش نیل به اطلاعات مربوط به پارامترهای دخیل در امر مکان‌یابی، محتوای این فصل را تشکیل می‌دهد.

فصل پنجم: بحث و تحلیل

این فصل به بحث و تحلیل در مورد یافته‌های تحقیق پرداخته است. در این فصل، میزان روایی یافته‌های تحقیق، از جنبه‌های گوناگون مورد آنالیز و تفسیر قرار گرفته است.

فصل ششم: نتیجه گیری

این فصل که آخرین فصل پایان نامه است، به نتیجه‌گیری از کارهای انجام گرفته و نتایج حاصله در طی انجام تحقیق، پرداخته است. علاوه بر آن، در انتهای این فصل، بر اساس تجربیات بدست آمده در حین انجام تحقیق، پیشنهاداتی جهت کمک به مطالعات بعدی، از طریق بهبود روش‌های به کار گرفته شده یا بهره‌گیری از روش‌های دیگر، گنجانده شده است.

فصل دوم

مبانی نظری پژوهش

مقدمه

در این فصل، تلاش شده است تا با توجه به موضوع تحقیق و شیوه‌ی انجام آن، مفاهیم پایه‌ای مرتبط، مورد بررسی قرار گیرد. بر این اساس، با توجه به کارستی بودن منطقه مورد مطالعه، ابتدا به بیان کلیاتی از مبانی نظری کارست و عوامل مؤثر در ایجاد آبخوان‌های کارستی، پرداخته شده است. در ادامه به طور اجمالی به ذکر روشهای اکتشاف منابع آب زیرزمینی مبادرت گردیده است. سپس به طور ویژه به بحث پیرامون امر پهنه‌بندی پتانسیلی منابع آب کارستی و مسائلی در زمینه تعیین عوامل مؤثر بر آن، روش‌های وزن‌دهی به این عوامل، و انواع روش‌های تهیه و تلفیق نقشه‌های معیار پرداخته شده است. در پایان، با توجه به استفاده‌ی اجتناب ناپذیر از روشها و ابزارهای GIS و RS در بحث مکان‌یابی منابع آب زیرزمینی و به کارگیری آنها در امر پهنه‌بندی، این مفاهیم مورد بحث قرار گرفته است.

۲-۱- مبانی نظری کارست

کارست به عنوان یک سیمای پیچیده زمین‌شناسی، شامل پهنه‌هایی با خصوصیات هیدرولوژیکی بسیار ویژه است. در اینجا به اختصار مباحثی در خصوص مفهوم و اهمیت کارست، سیماهای کارستی، منشأ و عوامل مؤثر در پدیده کارستی شدن ارائه می‌گردد.

۲-۱-۱- مفهوم و اهمیت کارست

واژه کارست، در واقع به مجموعه‌ای از فرآیندهای زمین‌شناسی و پدیده‌های حاصل از آنها اطلاق می‌شود که عمدتاً شامل پدیده‌های حاصل از انحلال سنگ‌هاست و با تشکیل بازشدگی‌ها، تخریب و تجزیه ساختمان سنگ‌ها همراه می‌باشد. این پدیده، با ایجاد نوع ویژه‌ای از رژیم گردش آب و نوع خاص توپوگرافی منطقه و بالاخره رژیم خاص شبکه زهکشی عیان می‌گردد [۲]. فورد و ویلیامز [42]، کارست را مجموعه‌ای می‌دانند که شامل غارها و سیستم‌های آبی گسترده در زیرزمین بوده و بیشتر در سنگ‌هایی دارای قابلیت انحلال بالا، مانند سنگ آهک، مرمر و ژیپس، به وجود می‌آید. تعریف جامع کارست، دو خصوصیت برای آن قائل می‌شود که یکی وجود توده سنگی با قابلیت انحلال مناسب و دیگری وجود مجراهای آب زیرزمینی می‌باشد [34].

در بیان اهمیت منابع آب کارستی، این موضوع را می‌توان بیان کرد که حدود ۲۵ درصد جمعیت دنیا از منابع آب کارستی بهره‌مند می‌شوند [55]. بیشتر رخنمون‌های آهکی و بخش زیادی از سنگ‌های کربناته در

طول زمان زمین‌شناسی، کارستی شده‌اند. بنابراین، بیشتر سنگ‌های کربناته می‌تواند به عنوان پتانسیل آبخوان کارستی محسوب شود. بنا به عقیده‌ی فورد و ویلیامز [42] سنگ‌های کربناته، ۱۲ درصد از خشکی‌های زمین (بدون در نظر گرفتن سرزمین‌های منجمد پوشیده از یخ) را پوشانیده‌اند. ایشان همچنین تخمین زده‌اند که ۷ تا ۱۰ درصد از سطح سیاره‌ی زمین از کارست تشکیل شده است. داده‌های حفاری نشان داده است که حتی در مناطقی که سنگ‌های کربناته موجود دراعماق، توسط لایه‌ای ضخیم از رسوبات پوشیده شده، نیز ممکن است کارستی شوند. در نتیجه سنگ‌های کارستی، مهم‌ترین آبخوان‌های جهان را شامل می‌شوند. به طور کلی کارست را می‌توان به عنوان یک آبخوان در نظر گرفت، چرا که بیشتر اوقات حاوی آب زیرزمینی است که می‌تواند جهت تأمین آب مورد بهره برداری واقع شود [30].

البته، سازندهای کارستی، از جنبه‌های دیگری همچون ملاحظات زیست‌محیطی، مسائل عمرانی و ژئوتکنیکی و نظایر آن نیز دارای اهمیت است [۵]. همچنین، سازندهای کارستی منابع مناسبی برای ذخیره‌سازی نفت و گاز نیز محسوب می‌شود.

در ارتباط با مسائل آب و با در نظر گرفتن نکات ذیل، اهمیت منابع کارستی در ایران محرز می‌گردد:

۱- در بسیاری از بخش‌های کشور، استفاده از منابع آب آبرفتی از لحاظ کمّی و کیفی با محدودیت‌های فراوان مواجه است.

۲- منابع آب کارستی در بخش‌هایی از کشور، تغذیه کننده آبخوان‌های آبرفتی می‌باشد.

۳- در حال حاضر، اکثر فعالیت‌های انسانی و صنعتی در آبرفت‌ها متمرکز شده است و لذا منابع آبرفتی در معرض آلودگی می‌باشد، اما منابع آب کارستی به دلیل قرارگیری در ارتفاعات و کوهستان‌ها، از این لحاظ، کمتر در معرض آلودگی‌ها قرار می‌گیرد.

۴- استفاده از ذخایر آب کارست، عموماً از احداث سد و انتقال آب جهت مصارف آب شرب، ارزان‌تر است [۶].

بنابراین، مطالعات و تحقیقات منابع آب کارستی و از جمله مطالعات مکان‌یابی این منابع جهت بهره‌برداری از آنها به منظور رفع نیازهای آبی کشور، امری ضروری و دارای اهمیت فراوان در ابعاد ملی است.

۲-۱-۲- سیماهای کارستی

اَشکال کارستی، عمدتاً در سنگ‌های کربناته، مانند سنگ آهک و دولومیت رخ می‌دهد. این اشکال گاهی در سازندهای تبخیری مانند ژیپس، انیدریت، هالیت و یا حتی در کوارتزیت‌ها هم تحت شرایط ژئوشیمیایی خاص بوجود می‌آید. اما در اینجا، تأکید بر کارست در سنگ‌های کربناته است. سنگ‌های کربناته، عموماً ریزدانه هستند. بنابراین، تخلخل اولیه در آن‌ها بسیار ناچیز می‌باشد و تخلخل ثانویه در آن‌ها از اهمیت بالایی برخوردار است. تخلخل ثانویه در این سازندها شامل درزه‌ها، سطوح لایه‌بندی، شکستگی‌ها، و حفرات انحلالی می‌شود.

کارست، اغلب توسط آبخراشه‌ها (معادل karren؛ [۵]) آبفروچاله‌ها (معادل Sinkhole یا Dolline)، فروافتادگی‌های زبانکی (معادل Uvala؛ [۵])،هامونه‌ها (معادل Polje؛ [۵])، غارها، بلعاب‌ها (معادل ponor؛ [۵])، دره‌های خشک، سیستم رودخانه‌های زیرزمینی، تپه‌های سنگی عریان، و پدیده‌های مشابه دیگر، مشخص می‌شوند.

۲-۱-۳- منشأ کارست

علت انحلال آهک، وجود آب اسیدی حاوی CO_2 است. منبع CO_2 می تواند اتمسفر یا فعالیت‌های بیولوژیکی باشد، به این صورت که آب باران، هنگام عبور از اتمسفر، CO_2 را جذب می‌کند. معمولاً غنی شدن آب از CO_2 در روی سطح زمین و در افق خاک اتفاق می‌افتد. دی اکسید کربن در طی مراحل اکسیداسیون مواد آلی، توسط میکروارگانیسم‌ها و یا از طریق تنفس ریشه‌ی گیاهان در خاک تشکیل می‌شود.

انحلال آهک بر اساس یک سری معادلات واکنشی صورت می‌گیرد، که واکنش ساده شده‌ی آن به صورت زیر تعریف می گردد:

$$CaCO_3 + 2H_2O + CO_2 \Leftrightarrow H_2O + Ca^{2+} + 2HCO_3^-$$

آبخوان کارستی به وسیله‌ی نفوذ بارش از سطح آهک برهنه، زون خاک پوششی در سطح یا در لابه‌لای درز و شکاف‌ها، و رواناب جاری در آبراهه‌ها تغذیه می‌شود. آب می‌تواند به روشهای مختلفی وارد آبخوان کارستی شود. بر اساس مسیرهای مختلفی که آب در مسیر نفوذ طی می‌کند، میزان CO_2 و کلسیم آن تغییر می‌کند. در صورتی که آب باران به طور مستقیم از شکاف‌های انحلالی و چاهواره‌ها (معادل shaft؛ [۵]) تحت جریان مجرایی به آبخوان کارستی وارد شود، دارای غلظت CO_2 محلول، بی‌کربنات، و کلسیم ناچیزی خواهد بود. آب‌های نفوذی از خلال زون خاک، با دریافت CO_2 حاصل از تجزیه مواد آلی، دارای قدرت انحلالی بالایی

می‌گردند. حال اگر این آبها، از طریق جریان تراوشی و در مدت زمان طولانی از زون غیر اشباع عبور نماید، بخش عمده کلسیم خود را در طی عبور از سیستم درزه و شکافی با انحلال آهک دریافت می‌نماید. از این رو، در هنگام ورود به زیر سطح ایستابی (Phreatic Zone)، دیگر قدرت آنچنانی برای حل نمودن آهک و توسعه کارست نخواهد داشت. بر عکس، اگر آب نفوذی حاوی CO_2 فراوان، از طریق سیستم مجرایی یا جریان مجرایی– افشان، در مدت زمان کوتاهی، به سطح ایستابی کارست برسد، در آن صورت می‌تواند با قابلیت انحلال زیاد آهک، در توسعه سیستم کارست مشارکت نماید.

۲-۱-۴- نقش زمین‌شناسی ساختمانی بر هیدروژئولوژی کارست

زمین‌شناسی ساختمانی یک ناحیه، دو نقش عمده را در تعیین رفتار کارستی سیستم جریان آب زیرزمینی در پهنه‌های کارستی ایفا می‌نماید:

اول، اینکه مسیرهای کلی جریان در آبخوان را مشخص می‌نماید و دوم، اینکه می‌تواند بر توسعه انحلالی مسیرهای جریان مؤثر باشد. عمده‌ترین کنترل ساختاری بر روی آبخوان‌های کارستی به وسیله جهت‌گیری لایه‌های آهکی تحت تأثیر چین‌خوردگی و گسل خوردگی می‌باشد. دومین کنترل، به وسیله ناپیوستگی‌ها و شکستگی‌های موجود در توده سنگ آهک اعمال می‌شود. این موارد شامل درزه‌ها، سطوح لایه‌بندی، سطوح گسل، و زون‌های خرد شده می‌باشد. بررسی موقعیت، امتداد و بازشدگی اشکال مذکور، با در نظر گرفتن موقعیت مرزهای تغذیه و تخلیه آبخوان کارستی، نحوه رفتار سیستم را مشخص می‌نماید. با توجه به عوامل ساختاری، همراه با توپوگرافی، می‌توان مرزهای ورودی، خروجی و بدون جریان را در سیستم کارستی تشخیص داد [۲۴].

۲-۱-۵- مناطق هیدروژئولوژیک کارست

بر اساس تقسیم‌بندی ارائه شده توسط فورد و ویلیامز [42]، آبخوان‌های کارستی به دو بخش اشباع (Phreatic) و غیراشباع (Vadose) تقسیم‌بندی می‌شوند. منطقه‌ی غیر اشباع کارست، شامل دو زیر منطقه‌ی غیرفعال و آبدار می‌باشد. منطقه‌ی اشباعی نیز به دو زیر منطقه‌ی کم عمق و عمیق تقسیم‌بندی می‌شود. جریان آب نفوذی در زیر منطقه غیراشباع غیرفعال، عمودی بوده و آب از این زیر منطقه به سمت زون اشباع حرکت می‌نماید. برخلاف منطقه غیراشباع غیرفعال، در منطقه‌ی غیراشباع آبدار، مجاری و حفرات کارستی به تناوب از آب، پر و خالی می‌شوند. وقتی هوا کاملاً حفرات موجود در منطقه‌ی غیراشباع آبدار را پر کند، در آن

صورت، شرایط غیراشباع غیر فعال حاکم می‌شود. حال اگر حفرات کاملاً از آب پر شوند، این بخش به منطقه اشباع فعال تبدیل می‌شود. در مناطقی که کارست، پوشش خاک آنچنانی ندارد، منطقه‌ی غیر اشباع از دو منطقه‌ی کارست سطحی (Subcutaneous یا Epi Karst) و گردش زهکشی آزاد تشکیل یافته است.

منطقه اشباعی می‌تواند به عنوان آبخوان کارستی در نظر گرفته شود. آبخوان کارستی شامل مناطقی از آهک است که در آنجا حفرات و مجاری انحلالی کاملاً پر از آب می‌باشند. اگر توده‌ی کارست به اندازه‌ی کافی بزرگ و عمیق باشد، هر دو منطقه‌ی اشباعی کم عمق با جریان سریع آب و اشباعی عمیق با جریان آهسته‌ی آب، در آن تشکیل می‌شود. در عمل، با توجه به پیچیدگی‌های موجود در کارست، تعیین دقیق منطقه‌ی اشباعی و سطح ایستابی در آن، حتی با حفر پیزومترهای متعدد نیز امکان پذیر نمی‌باشد.

۲-۱-۶- عوامل مؤثر در ایجاد پتانسیل منابع آب کارستی

در مناطق خشک و کم بارانی مثل ایران، که منابع سطحی آب شیرین محدود بوده و از طرف دیگر این آبها با خطر آلودگی مواجه هستند، یافتن و نگهداری منابع آب زیرزمینی، خصوصاً منابع آب کارستی، بهترین راه تأمین نیازهای آبی است. در بعضی از مناطق ایران، اقلیم و ساختار تکتونیکی، شرایط خوبی را برای تشکیل سفره‌های کارستی فراهم آورده است. از طرفی، فشارهای تکتونیکی نیز باعث ارتفاع گرفتن و شکسته شدن این سازندها و قرارگیری آنها در موقعیتی شده است که حجم بالاتری از بارش‌ها را دریافت و جذب کرده، و کمتر تحت تأثیر آلودگی‌های رایج باشند. مقدار و حجم آب دریافتی این سازندها و بدنبال آن دبی خروجی از آنها تحت کنترل عوامل دیگری نیز می‌باشند که هدف این بخش، بحث پیرامون این عوامل است. از این رو در ادامه، این عوامل به اختصار تشریح شده‌اند.

آب و هوا و اقلیم منطقه

آب و هوا مهمترین فاکتور تأثیرگذار در پتانسیل آب‌های کارستی یک سازند مستعد و مناسب برای ذخیره و جریان آب است. این عامل به دو صورت این پدیده را متأثر می‌سازد:

- با تأثیر مستقیم در مقدار و نوع بارش‌های جوی که بنا به اقلیم و ارتفاع ناحیه متفاوت است. در واقع این تأثیر اولیه بوده و مقدار آب را تنظیم می‌کند.

- به طور غیرمستقیم در توسعه مخزن کارستی. به عبارت دیگر با تأثیر بر حجم فضای نگهدارنده آب در اثر انحلال آهک توسط گازکربنیک موجود در قطرات باران و یا آب موجود در خاک (پدیده کارستیفیکاسیون یا کارستی شدن) این تأثیر محقق می‌گردد.

مسلماً در شرایط یکسان، هرچه مقدار و حجم بارش‌ها در ناحیه‌ای بیشتر باشد مقدار آب نفوذ کرده به درون سفره کارستی نیز بیشتر بوده، و به افزایش دبی خروجی از این سفره منجر می‌گردد. البته نوع نزولات و شدت آنها نیز تأثیرگذار است. چون بارش‌های سیل آسا و ناگهانی که حجم زیادی رواناب تولید می‌کنند، در مقایسه با بارش‌های تدریجی و یا بارش برف با سرعت ذوب ملایم و فرصت نفوذ بیشتر، اهمیت کمتری دارند. این حالات توسط اقلیم منطقه و نیز ارتفاع قرارگیری سازندهای کارستی کنترل می‌گردد.

تأثیر غیرمستقیم آب و هوا و اقلیم در کنار سایر عوامل ظاهر می‌گردد. به عنوان مثال، وجود درز و شکافهای متعدد، امکان نفوذ آب بیشتری را فراهم کرده و جریان این آب به توسعه بیشتر مجاری زیرسطحی می‌انجامد که مخزن بزرگتری را برای ذخیره آب ایجاد می‌کند.

۲-۱-۶-۱- زمین‌شناسی و چینه‌شناسی

از آنجایی که توسعه کارست در هر سازندی و با هر توالی چینه‌شناسی امکان پذیر نیست، لذا در هنگام بررسی حجم آب دریافتی از یک سفره کارستی باید به دو نکته توجه داشت:

- نخست آنکه این معنا در تعریف کارست نهفته است که انحلال‌پذیری را از شروط اصلی تشکیل و توسعه آن می‌داند و این قابلیت انحلال ناشی از ترکیب سنگ می‌باشد که به عنوان وجود شرایط زمین‌شناسی مطرح می‌گردد. این بدان معنا است که در حالت وجود دیگر شرایط نیز، نبود یک سازند انحلال پذیر با رخنمون زیاد در سطح زمین، عدم تشکیل سفره زیرزمینی و کارستی را در پی خواهد داشت. بنابراین وجود سازندی با انحلال پذیری بالا، شرط لازم برای تشکیل منبعی غنی از آب کارستی است.

- دیگر اینکه اختلاف در انحلال‌پذیری دو سازند مجاور یکدیگر، موجب تغییر نفوذپذیری و تغییر هدایت هیدرولیکی و درنتیجه، باعث ایجاد گرادیان هیدرولیکی می‌شود. گرادیان حاصله، طبق قانون دارسی، به حرکت و احتمالاً خروج آب از سفره آب زیرزمینی منجر می‌گردد. این مسئله را توالی چینه شناسی منطقه کنترل می‌کند، به طوریکه می‌تواند به عنوان یک عامل مثبت و یا منفی وارد عمل شده و حجم آب خروجی از یک سفره زیرزمینی را تحت تأثیر قرار دهد. مثلاً، قرارگیری یک سازند نفوذناپذیر بر روی یک سازند انحلال‌پذیر،

مانع از رسیدن آب به این سازند شده و عملاً این سازند را غیرفعال می‌کند. همچنین قرارگیری همین سازند در محلی که مانع از جریان آب می‌شود، از توسعه کارست جلوگیری نموده و آبدهی یک سازند مستعد (انحلال‌پذیر و نفوذ پذیر) را کاهش می‌دهد. ولی وجود سازندهای انحلال ناپذیر اما خرد شده، در بالای سازند مستعد کارستفیکاسیون، با ایجاد زون زیرسطحی و منطقه اشباع شده و موقت در بالای این سازند، روندی تدریجی از نفوذ و در واقع گرادیان عمودی هیدرولیکی مناسبی را برای توسعه پدیده‌های کارستی همچون چاهواره‌ها فراهم می‌آورد. ایجاد این پدیده‌ها که در ادامه به ایجاد مجاری بزرگ کارستی منجر می‌شود، در شرایط وقوع بارش‌های کافی، حجم بالایی از آب زیرزمینی تشکیل خواهد شد.

۲-۱-۶-۲- ساختار و تکتونیک منطقه

عملکرد فشارهای تکتونیکی در پوسته زمین، به شکل گسل، درزه و یا چین خوردگی تظاهر می‌یابد. این پدیده‌ها هر یک متناسب با نحوه و محل تشکیل، تأثیر متفاوتی در شکل‌گیری کارست و توسعه آن و نهایتاً نفوذ آب، دارند. مهمترین و شاید تأثیر گذارترین این عوامل، درزه‌ها و گسل‌ها می‌باشند که به طور مستقیم و غیرمستقیم، کارستیفیکاسیون و پتانسیل آبدهی سازندهای کارستی را کنترل می‌نمایند. البته باید گفت گسلها به علت ایجاد جابجایی در سنگ‌ها، تأثیرات متنوع‌تری را نسبت به درزه‌ها سبب می‌گردند. به طور کلی می‌توان گفت در هر کجا که گسل‌ها افزایش نفوذپذیری را به دلیل افزایش شکستگی‌ها و یا ایجاد نقاط ضعیف در سنگ میزبان جهت ایجاد تخلخل ثانویه باعث شوند، دارای تأثیر مثبت است. برعکس، در هر جا که گسلها مانع حرکت آب زیرزمینی شوند، دارای تأثیر منفی می‌باشند. این تغییر عملکرد، به ساختارها و خصوصیات سطوح گسلی مربوط است که خود به مکانیزم ایجاد گسل، رابطه فشار-دما در حین تکتونیسم، و ماهیت نیروی عامل گسل خوردگی و ترکیب سنگ میزبان وابسته است [48]. بنابراین، برای اطلاع از چگونگی عملکرد یک گسل در توسعه مجاری و رژیم کارستی آب‌های زیرزمینی یک منطقه، باید تمام عوامل مؤثر در این امر، به طور جزئی‌تری بررسی گردند.

درزه‌ها نیز به علت ایجاد یک خط ضعف در سنگ و فراهم کردن امکان انحلال بیشتر در امتداد این خطوط و در نتیجه ایجاد مجرایی برای نفوذ آب‌های سطحی به زیرزمین، بخصوص در درزه‌های عمیق و بدون پرشدگی‌های ثانویه، در واقع هسته اولیه مجاری بزرگتر انتقال آب در اعماق زمین می‌باشند. اهمیت این درزه‌ها زمانی بیشتر می‌شود که دارای عمق نفوذ زیاد بوده و ارتباط هیدرولیکی خوبی را بین لایه‌های رخنمون نیافته