

بر آورد پتانسیل تغذیه آب زیرزمینی در مناطق کارستی نواحی خشک، مطالعه موردی رشته کوه شتری، ایران مرکزی

حسن ضیاء^۱، غلامحسین کرمی^۲ و عزیزا. طاهری^۳

^۱دانشجوی دکتری، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران

^۲دانشیار، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران

^۳استاد، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۲/۰۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۶/۱۷

چکیده

بر آورد مقدار تغذیه یکی از مهم ترین پارامترهای مطالعات هیدروژئولوژیکی برای محاسبه بیلان است. نقشه پهنه بندی پتانسیل تغذیه با استفاده از ۸ لایه اطلاعاتی لیتولوژی، مقدار شیب، جهت شیب، تراکم شبکه آبراهه ها، بارش، تراکم شکستگی ها، اپی کارست و عوارض کارستی، پس از وزن دهی به روش کارشناسی و تلفیق در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) تهیه شد. برای وزن دهی عوامل مؤثر بر تغذیه از نقشه های زمین شناسی و بازدیدهای صحرایی استفاده شده است. با توجه به نتایج به دست آمده منطقه مورد نظر به ۴ بخش با پتانسیل تغذیه ۱۵، ۲۵، ۳۵ و ۴۵ درصد تقسیم شده. مساحت مربوط به هر یک از بخش های فوق الذکر به ترتیب حدود ۲۵۱، ۸۷۹، ۹۴۳ و ۲۰۰ کیلومتر مربع است. متوسط تغذیه در کل محدوده ۳۰٪ بر آورد شد. بر اساس مقدار تغذیه و متوسط بارش سالیانه (۱۶۴ میلی متر) مقدار کل تغذیه در رشته کوه شتری حدود ۱۱۲ میلیون متر مکعب بر آورد می شود، که از این مقدار ۲۵ میلیون متر مکعب توسط چشمه ها و چاه های موجود در رشته کوه تخلیه و حدود ۸۷ میلیون متر مکعب، سبب تغذیه آبخوان های مجاور می شوند. چشمه های بزرگ رشته کوه شتری از میغان، قنبر و کریت هستند که متوسط دبی آنها، ۲۴، ۶۰ و ۶۳ لیتر بر ثانیه و متوسط هدایت الکتریکی آنها ۶۰۱، ۸۲۵ و ۱۶۴۰ میکروموس بر سانتی متر است. تعیین مساحت حوضه آبگیر این چشمه ها بر مبنای مقدار تغذیه به روش معادله بیلان آب و روش توالی چینه شناسی، وضعیت زمین شناسی و مورفولوژیکی، نشان دهنده اختلاف کمتر از ۱۵٪ است که مقدار درصد تغذیه به دست آمده را تأیید می کند.

کلیدواژه ها: کارست، رشته کوه شتری، پتانسیل تغذیه، GIS.

*نویسنده مسئول: حسن ضیاء

E-mail: hzia@birjand.ac.ir

۱- پیش نوشتار

آب زیرزمینی مهم ترین منبع آب آشامیدنی در مناطق خشک و نیمه خشک مانند ایران است. عدم بر آورد دقیق از مقدار تغذیه در بسیاری از آبخوان های ایران و برداشت بیش از مقدار تغذیه باعث افت شدید سطح آب زیرزمینی شده است. بنابراین تعیین نرخ تغذیه جهت تعیین آبدهی مجاز چاه های پمپاژ و محاسبه بیلان آب زیرزمینی ضروری است (Bekesi and Mcconchie, 1999). بر آورد مقدار تغذیه در سفره های کارستی، به دلیل ناهمگنی، نیاز به اطلاعات و آمار متعدد و شناخت دقیق عوامل مؤثر بر تغذیه دارد (Freeze and Cherry, 1979; Bakalowicz, 2005; Karami et al., 2016). بر آورد مقدار تغذیه با روش های متعددی از جمله معادله بیلان، بررسی هیدروگراف چشمه ها، نفوذسنج، ردیابی شیمیایی، ایزوتوپی، سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی صورت می گیرد (Milanovic, 1981; Bonacci, 2001; Scanlon et al., 2006). استفاده از روش سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی به دلیل در نظر گرفتن چندین متغیر، هزینه کم و کاربردی بودن در مقیاس وسیع و ناحیه ای در مناطقی که امکان انجام عملیات صحرایی و آزمایشگاهی نیست، در بسیاری از مناطقی مورد استفاده قرار گرفته است (Shaban et al., 2006; Milewski et al., 2009). پوشش گیاهی، بارش، نوع بارش، تراکم آبراهه ها، تراکم شکستگی ها، عوارض کارستی، اپی کارست و ... از عوامل مؤثر بر مقدار تغذیه در یک سفره کارستی هستند (Ayala et al., 1998; Ford and Willams, 2007; Singhal and Goyal, 2012). با وزن دهی و همپوشانی لایه های اطلاعاتی عوامل مؤثر بر تغذیه در محیط GIS می توان به طور قابل توجهی عدم قطعیت اطلاعات هیدروژئولوژیکی را کاهش داد و از این اطلاعات جهت بیلان آب زیرزمینی استفاده کرد (Tweed et al., 2007).

Shaban et al. (2006) در باختر لبنان، که بیش از ۷۰٪ آن از سنگ کربناته تشکیل شده است، پتانسیل تغذیه را با استفاده از GIS و RS بر آورد کردند. فاکتورهایی مانند لیتولوژی، کاربری اراضی، خطواره ها، پوشش گیاهی و ... که بر روی افزایش یا کاهش پتانسیل تغذیه تأثیر گذار هستند، به صورت لایه های اطلاعاتی وارد محیط GIS شدند و با وزن دهی مستدل یک نقشه نهایی از پتانسیل تغذیه تهیه شد. نقشه پتانسیل تغذیه نشان می دهد که ۵۷٪ از باختر لبنان را نواحی با پتانسیل بالا و یا خیلی بالا پوشانده اند و بالاترین پتانسیل مربوط به نواحی مرتفع بوده که کارست در آن به خوبی توسعه یافته است. (Patil and Mohite, 2014) نقشه پتانسیل تغذیه را به روش وزن دهی در حوضه آبریزی در هندوستان تهیه کردند و کلاس های تغذیه این منطقه در سه دسته نامناسب، متوسط و خیلی خوب جای دادند. (Wailkar and Nilawar, 2014) با استفاده از سنجش از دور و GIS زون های پتانسیل آب زیرزمینی را در منطقه کاراتانا (Charthana) هندوستان در ۵ دسته خیلی ضعیف، ضعیف، متوسط، خوب و عالی ارزیابی کردند. مهندسين مشاور پورآب (۱۳۹۱) میزان تغذیه در رشته کوه شتری را با توجه به میزان توسعه کارست، عدم وجود سینک هول در ارتفاعات، میزان درز و شکاف، شیب لایه ها و مقایسه با مناطقی که در آنها محاسبات نسبتاً دقیق بیلان صورت گرفته است، بین ۲۵٪ تا ۳۰٪ برای سازنده های آهکی بر آورد کرده است. نجفی (۱۳۹۲) مقدار تغذیه آهک های کارستی سازند بیستون در باختر ایران را در این رشته کوه معادل ۶۴٪ ارزیابی کرد. تاج آبادی و زارع (۱۳۹۵) بر آورد پتانسیل تغذیه آب زیرزمینی را در حوضه آبریز رودخانه ی کر با دو روش استفاده از GIS و بیلان هیدروکلیماتولوژی (تورنت وایت) انجام دادند. محاسبات صورت گرفته نشان دهنده ۱۴ درصد اختلاف بین مقدار تغذیه به دست آمده در این دو روش است. ابراهیمی و سیف (۱۳۹۴) با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی، پتانسیل گسترش کارست در سنگ های کربناته زاگرس را بر

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱. موقعیت جغرافیایی

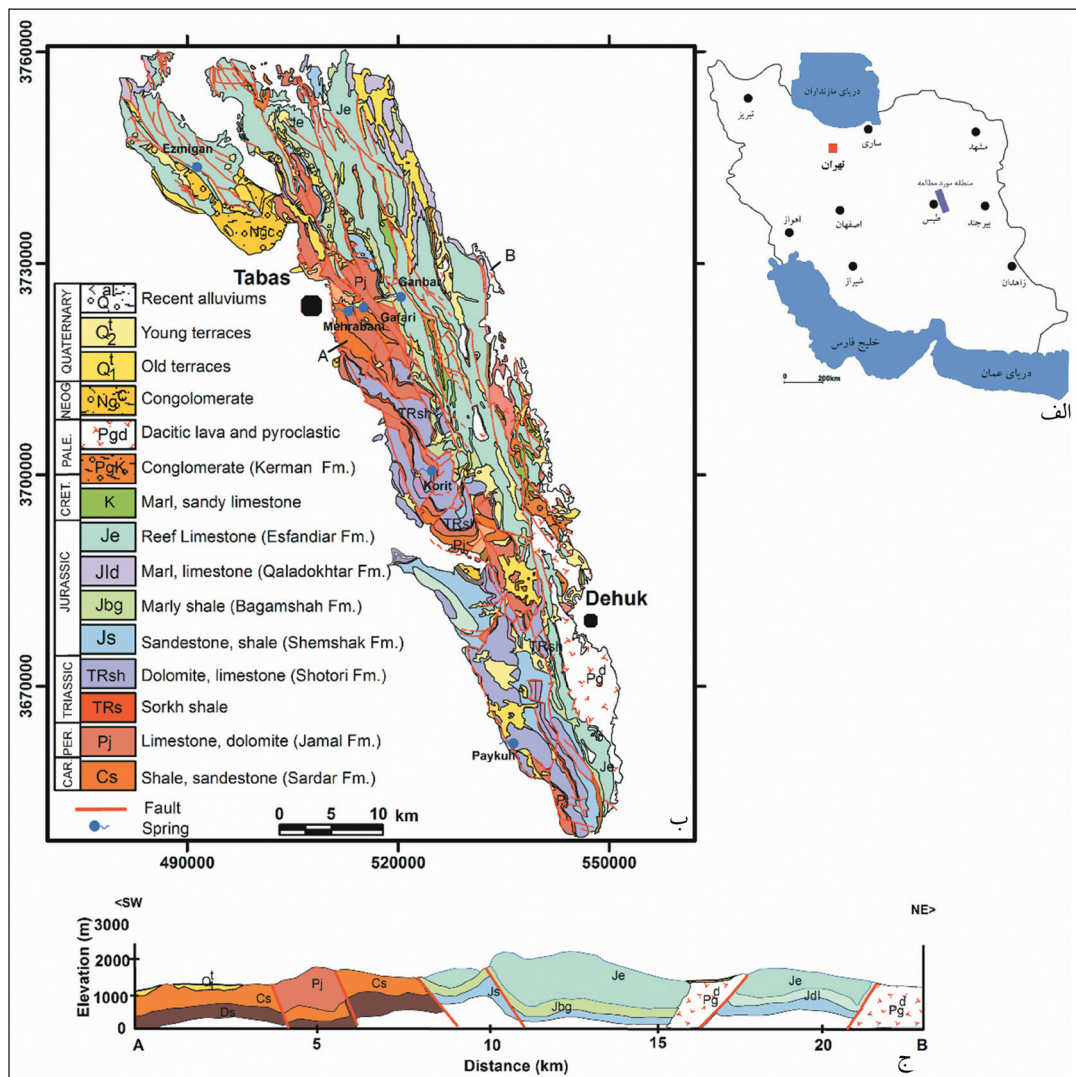
رشته کوه شتری با مساحت حدود ۲۲۷۵ کیلومتر مربع بین طول جغرافیایی ۴۵° ۵۶' تا ۳۵° ۵۷' خاوری و عرض جغرافیایی ۳۳° تا ۱۰' ۳۴° شمالی در ۲۰ کیلومتری خاور طیس در ایران مرکزی واقع شده است (شکل ۱). حداکثر، حداقل و متوسط ارتفاع این منطقه ۶۳۶، ۱۶۴۰ و ۲۹۱۱ متر از سطح دریا است. متوسط بارش سالانه در این منطقه در یک دوره ۳۳ ساله بین ۸۵ تا ۲۹۰ میلی‌متر تغییر می‌کند. متوسط بارش درازمدت در این دوره بر اساس همبستگی بارش-ارتفاع سالانه ۱۶۴ میلی‌متر و متوسط دمای سالانه ۱۸ درجه سانتی‌گراد است. از نظر اقلیمی این ناحیه در اقلیم گرم و خشک قرار می‌گیرد.

۲-۲. زمین‌شناسی و هیدروژئولوژی

رشته کوه شتری به لحاظ تقسیمات زمین‌شناسی بخشی از خردقاره ایران مرکزی است (نوبی، ۱۳۵۵). در این منطقه نهشته‌های پالئوزویک تا عهد حاضر با ترکیب غالب سنگ‌آهک، دولومیت، ماسه‌سنگ، شیل، مارن، کنگلومرا، رسوبات آبرفتی به همراه سنگ‌های آتشفشانی نهشته شده است (آقاباتی، ۱۳۸۹). سازند کریناته جمال با لیتولوژی سنگ‌آهک و دولومیت به سن پرمین، سازند شتری با لیتولوژی غالب دولومیت و سنگ‌آهک به سن تریاس و سازند اسفندیار با لیتولوژی سنگ‌آهک ریفی به سن ژوراسیک (Stocklin et al., 1965) حدود ۵۳ درصد رخنمون‌های سنگی رشته کوه شتری را تشکیل داده‌اند (شکل ۱).

پایه عامل‌های آب‌زمین‌شناسی و اقلیمی انجام دادند و سنگ‌های کربناته منطقه را در ۵ رده خیلی کم تا خیلی زیاد از نظر توسعه کارست تقسیم‌بندی کردند. اذانی (۱۳۹۵) با ارزیابی تغذیه کارست در رشته کوه آهنگران در خاور ایران مقدار تغذیه را در این رشته کوه ۴۰ تا ۶۰ درصد برآورد کردند. (Karami et al. (2016) پتانسیل تغذیه در منطقه چالدان در باختر ایران را با استفاده GIS و سنجش از دور ارزیابی و مقدار درصد تغذیه را در حدود ۸۰ درصد این منطقه به طور متوسط ۶۳ درصد برآورد کردند. بر اساس نتایج به دست آمده از مطالعات مختلف درصد تغذیه سالانه در کارست‌ها با توسعه یافتگی مختلف از حدود ۲۰ تا ۹۰ درصد متغیر است. در کارست‌های با توسعه یافتگی کم (سیستم جریان غالب افشان) درصد تغذیه ۲۰ تا ۴۰ درصد، در کارست‌های با توسعه یافتگی متوسط (سیستم جریان افشان-مجرایی) درصد تغذیه سالانه حدود ۳۰ تا ۶۰ درصد و در کارست‌های بسیار توسعه یافته (سیستم جریان مجرایی) درصد تغذیه سالانه حدود ۵۰ تا ۹۰ درصد است.

سفره‌های کارستی در رشته کوه شتری در ایران مرکزی تأمین کننده آب مورد نیاز شرب، کشاورزی و صنعت در این منطقه هستند. بارش کم، رخداد بارش مؤثر در یک یا دو واقعه در فصول زمستان و بهار و تبخیر زیاد از مشخصات اقلیمی این منطقه است. تا اکنون برآوردی از مقدار تغذیه در این محدوده صورت نگرفته است. هدف اصلی این تحقیق تعیین گسترش مکانی مقدار تغذیه با در نظر گرفتن تأثیر عوامل مؤثر بر تغذیه، با استفاده از GIS و سنجش از دور است، تا بر اساس مقدار تغذیه، بیلان آبی این رشته کوه مشخص شود.



شکل ۱- نقشه موقعیت و زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه (اقتباس از سازمان زمین‌شناسی کشور، ۱۳۷۲).

عوارض کارستی، اپی کارست و پوشش خاک تهیه و با توجه به ماهیت هر یک از این عوامل نقش آنها در مقدار تغذیه لحاظ شده است. لایه پوشش گیاهی به دلیل تراکم کم در این منطقه در نظر گرفته نشد. این لایه‌های اطلاعاتی پس از وزن‌دهی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) تلفیق و نقشه پهنه‌بندی پتانسیل تغذیه تهیه شده و سپس با توجه به مقدار تغذیه، بارش و مقدار تخلیه، بیلان آبی رشته‌کوه برآورد شده است.

۳- بحث

به منظور برآورد درصد تغذیه سالیانه در رشته‌کوه شتری، ۸ فاکتور تأثیرگذار بر نرخ تغذیه آب زیرزمینی شامل لیتولوژی، مقدار شیب، جهت شیب، تراکم آبراهه‌ها، بارش، تراکم شکستگی‌ها، عوارض کارستی و اپی کارست مورد ارزیابی قرار گرفت. مقادیر وزن هر فاکتور در تغذیه آب زیرزمینی از عکس‌های هوایی، نقشه‌های زمین‌شناسی و بازدیدهای صحرایی مشخص و دسته‌بندی فاکتورهای مؤثر بر پتانسیل تغذیه از قبیل مقادیر تأثیر و وزن هر واحد در رشته‌کوه شتری برآورد شد (جدول ۱). به بالاترین درجه تأثیر عدد ۱۰ و به کمترین درجه تأثیر عدد ۱ داده شد، برای مثال برای مناطق دارای شیب کمتر از ۸ درجه - به دلیل مقدار تغذیه بالا - امتیاز ۱۰ و برای مناطق دارای شیب بیش از ۳۶ درجه امتیاز ۲ در نظر گرفته شد. بر اساس بازدیدهای صحرایی انجام شده، مهم‌ترین پارامترهای تأثیرگذار بر تغذیه شامل اپی کارست و پوشش خاک، عوارض کارستی، تراکم شکستگی و درزها، لیتولوژی، بارش، جهت شیب، مقدار شیب و شبکه آبراهه‌ها است. به دلیل بارش کم منطقه، در صورت وجود پوشش خاک، مقدار نفوذ مؤثر کاهش پیدا می‌کند. در صورتی که سنگ‌ها برهنه باشند، تجمع بارش بر روی این سنگ‌ها صورت می‌گیرد و مقدار نفوذ افزایش می‌یابد.

رشته‌کوه شتری امتداد شمال باختری - جنوب خاوری دارد و در دو طرف رشته‌کوه شتری گسل‌های اسفندیار و شتری وجود دارند که از عملکرد گسل امتدادلغز نایند شکل گرفته‌اند. این گسل‌ها نقش بارزی در شکل کنونی رشته‌کوه شتری دارند (Berberian, 1976). عملکرد گسل‌ها سبب خردشدگی و قرار گرفتن سازندهای غیرقابل نفوذ در برابر سازندهای کربناته شده است، که این امر در تغذیه آبخوان‌های کارستی و محل ظهور چشمه‌ها نقش مهمی دارد، به طوری که بیشتر چشمه‌های منطقه در راستای این گسل‌ها دیده می‌شوند.

در این رشته‌کوه در سال آبی ۱۳۹۴ تا ۱۳۹۵، ۱۱۸ دهنه چشمه و قنات و ۱۳ حلقه چاه بهره‌برداری شناسایی شد که مجموع دبی تخلیه شده از این منابع آبی در شهریور ماه ۱۳۹۵ حدود ۲۵ میلیون مترمکعب برآورد شده است. که حدود ۹۰٪ تخلیه از سازندهای کربناته جمال، شتری و اسفندیار صورت می‌گیرد. چشمه‌های مهم منطقه شامل ازمیغان، قنبر و کریت با متوسط دبی ۲۴، ۶۰ و ۶۳ لیتر در ثانیه و متوسط هدایت الکتریکی به ترتیب ۶۰۱، ۸۲۵ و ۱۶۴۰ میکروموس بر سانتی‌متر هستند. در تمام چشمه‌ها تغییرات دبی کمتر از ۳۷ درصد و تغییرات هدایت الکتریکی کمتر از ۲۰ درصد است.

۲-۳. روش تحقیق

با استفاده از نقشه‌های زمین‌شناسی و بررسی صحرایی، گسترش واحدهای سنگی و شرایط هیدروژئولوژیکی آنها مشخص شد و با استفاده از عکس‌های هوایی، داده‌های ماهواره‌ای لندست ETM و مدل الکترونیکی ارتفاعی منطقه (DEM) با توان تفکیک ۳۰×۳۰ متر جهت تهیه نقشه‌های شیب، زمین‌شناسی، تراکم شکستگی‌ها و گسترش شبکه آبراهه منطقه تهیه شد. لایه‌های اطلاعاتی مهم تأثیرگذار بر تغذیه شامل لیتولوژی، مقدار شیب، جهت شیب، شبکه آبراهه‌ای، بارش، تراکم شکستگی،

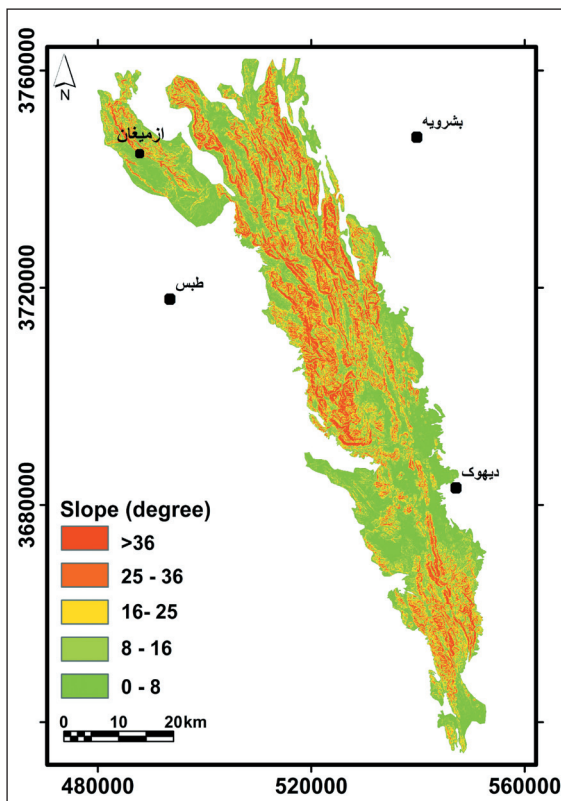
جدول ۱- ارزش‌دهی به لایه‌های مختلف و وزن هر دسته (روش کارشناسی).

عوامل مؤثر	دسته‌بندی عامل	ارزش	وزن	عوامل مؤثر	دسته‌بندی عامل	ارزش	وزن
لیتولوژی	سنگ آهک	۱۰	۱۵%	شیب	۸-۰	۱۰	۵%
	دولومیت، آهک دولومیتی	۸			۱۶-۸		
	آندزیت، توف	۶			۲۵-۱۶		
	شیل، ماسه‌سنگ	۴			۳۶-۲۵		
	آیرفت، کنگلومرای نئوژن نشده	۳			> ۳۶		
	شیل، مارن	۲			> ۸۰%		
تراکم آبراهه	> ۲۵%	۱۰	۵%	تراکم خطواره	۸۰-۶۰%	۸	۱۵%
	۵۰-۲۵%	۷			۶۰-۴۰%		
	۷۵-۵۰%	۴			۴۰-۲۰%		
	> ۷۵%	۲			< ۲۰%		
پوشش خاک و اپی کارست	بدون پوشش	۱۰	۲۰%	عوارض کارستی	زیاد	۱۰	۱۵%
	کم	۸			متوسط		
	متوسط	۶			کم		
	زیاد	۴			خیلی کم		
	خیلی زیاد	۲			بدون عوارض		
بارش	< ۱۰۰	۲	۱۵%	جهت شیب	N-NE	۱۰	۱۰%
	۱۲۵-۱۰۰	۴			E		
	۱۵۰-۱۲۵	۶			SE-E		
	۱۷۵-۱۵۰	۸			Flat		
	> ۱۷۵	۱۰			SW-S- W-NW		

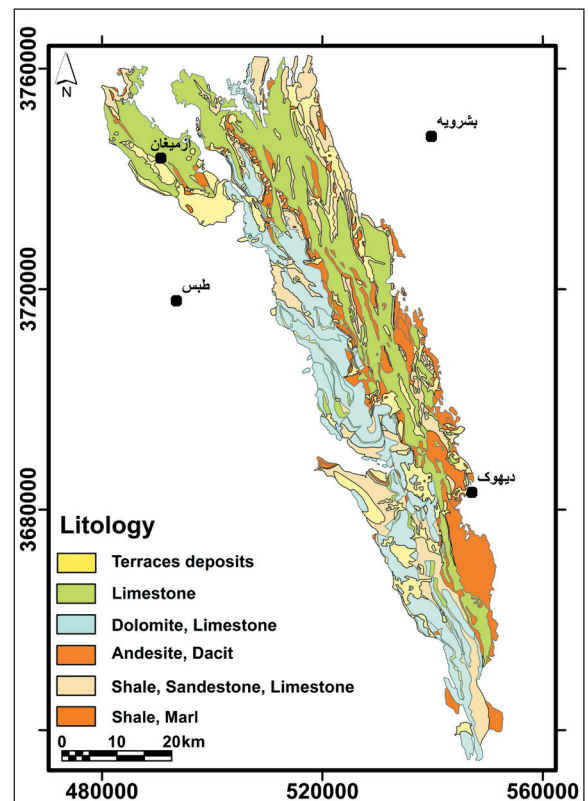
۳-۱. فاکتورهای مؤثر بر تغذیه

– **لیتولوژی:** مشخصات سنگ‌شناسی نقش تعیین‌کننده‌ای در مقدار تغذیه، قابلیت ذخیره آب و توسعه کارست دارد (Shaban et al., 2006). مهم‌ترین واحدهای سنگی رخنمون یافته شامل سنگ آهک، دولومیت، سنگ آهک مارنی، شیل، سنگ‌های ولکانیکی و رسوبات آبرفتی است که از نظر پتانسیل نفوذپذیری در ۶ گروه قرار گرفته‌اند (شکل ۲). سنگ‌های کربناته به دلیل نفوذپذیری بالا، بیشترین امتیاز و شیل‌ها و مارن‌ها به دلیل نفوذپذیری پایین، کمترین امتیاز را به خود اختصاص دادند (جدول ۱).

– **شیب:** شیب توپوگرافی یکی از مهم‌ترین فاکتورهای تأثیرگذار بر نفوذ و نرخ تغذیه است. در نواحی با مقدار شیب زیاد، به دلیل ایجاد رواناب مقدار نفوذ کاهش و در شیب‌های کم به دلیل وجود زمان کافی جهت نفوذ مقدار نفوذ افزایش می‌یابد. زمین‌ساخت فعال در این منطقه سبب ایجاد شیب‌های تند در برخی از مناطق شده است. نقشه مقدار شیب با استفاده از مدل الکترونیکی ارتفاعی منطقه (DEM) تهیه شده است (شکل ۳). منطقه مورد مطالعه بر اساس مقدار شیب به ۵ گروه تقسیم شد و شیب‌های کمتر امتیاز بیشتر و شیب‌های زیاد امتیاز کمتری از نظر مقدار نفوذ به خود اختصاص دادند.



شکل ۳- نقشه مقدار شیب.



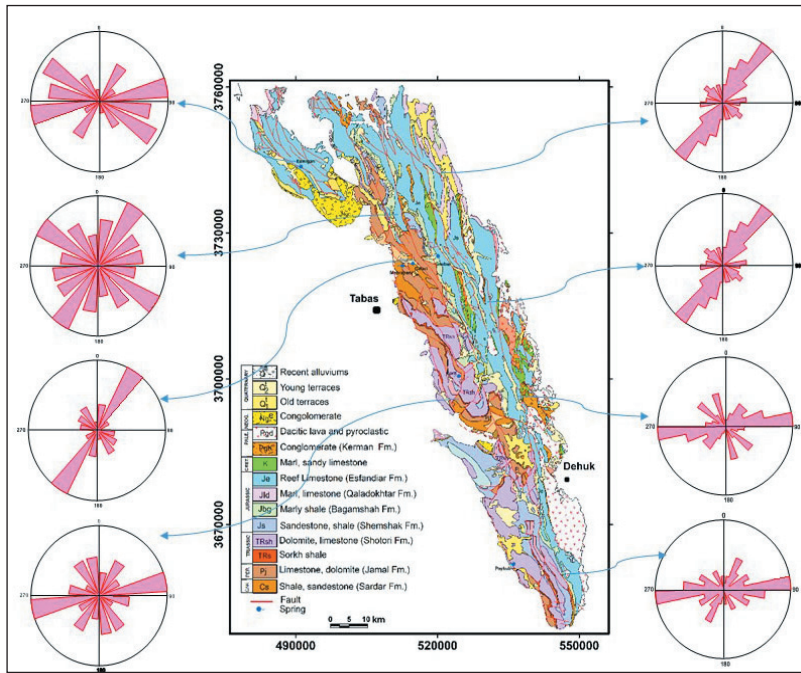
شکل ۲- نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه.

(شکل ۵). زمین‌ساخت فعال و تراکم بالای گسل‌ها و شکستگی‌ها نقش بارزی در مقدار تغذیه دارند (شکل ۶) و بسیاری از چشمه‌ها از زون‌های گسلی تخلیه می‌شوند. با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و نقشه‌های زمین‌شناسی و کنترل زمینی، نقشه شکستگی‌ها و گسل‌های منطقه رسم و بر مبنای تراکم شکستگی‌ها در واحد سطح امتیازبندی شد. مناطقی که تراکم شکستگی‌ها و گسل‌های بالایی دارند، امتیاز بیشتری را در تغذیه به خود اختصاص دادند. نقشه گسل‌ها و شکستگی‌ها در رشته‌کوه شتری در شکل ۷ نشان داده شده است.

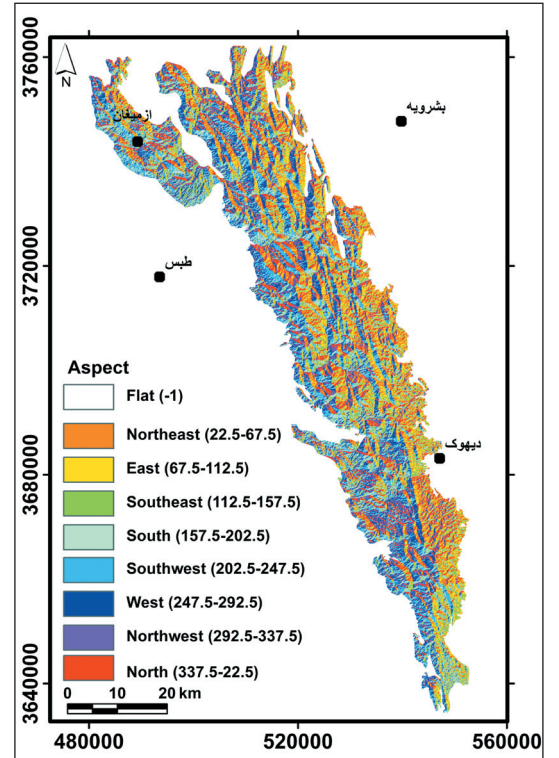
– **نقشه تراکم آبراهه‌ها:** آبراهه‌ها در مناطق خشک و نیمه‌خشک نمایانگر ساختمان‌ها، لیتولوژی و نفوذپذیری سنگ‌های زیرین هستند. تراکم آبراهه نسبت عکس با نفوذپذیری دارد. هر چه در یک منطقه آبراهه بیشتر باشد، مقدار رواناب بیشتر، لذا مقدار تغذیه کمتر می‌شود. نقشه شبکه آبراهه‌ها با استفاده از مدل الکترونیکی ارتفاعی منطقه (DEM) تهیه و با استفاده از نرم‌افزار ARC GIS امتیازبندی شد. مناطقی با تراکم آبراهه‌های بیشتر، امتیاز کمتر و مناطقی با تراکم آبراهه‌های کمتر، امتیاز بیشتری به خود اختصاص دادند. شکل ۸ نقشه تراکم آبراهه‌ها را در رشته‌کوه شتری نشان می‌دهد.

– **جهت شیب:** زاویه تابش خورشید در شیب‌های رو به شمال و شمال خاوری نسبت به جنوب متفاوت است. در نیمکره شمالی مقدار تابش خورشید در دامنه‌های جنوبی بیشتر بوده، لذا مقدار تبخیر در دامنه جنوبی بیشتر و مقدار تغذیه کمتر است. از این رو بیشترین امتیاز را دامنه‌های شمالی به خود اختصاص می‌دهند. نقشه جهت شیب با استفاده از مدل الکترونیکی ارتفاعی منطقه (DEM) تهیه شده است (شکل ۴).

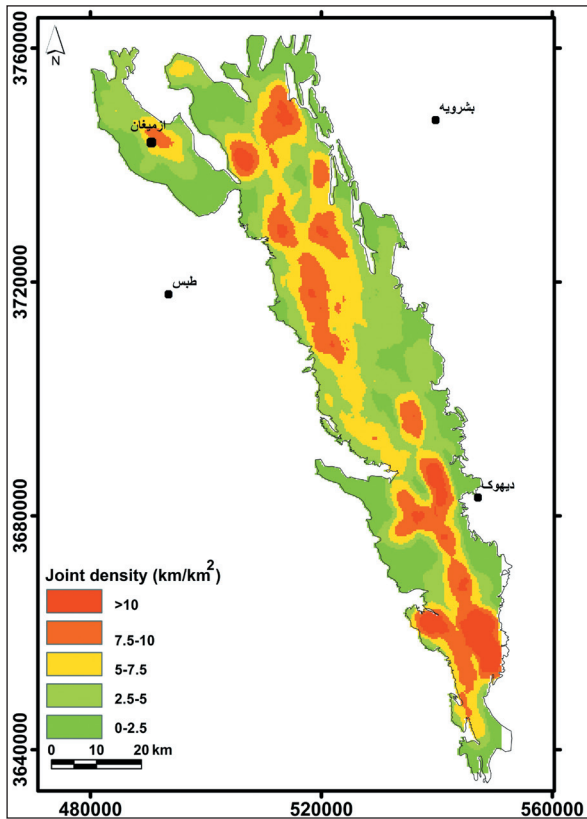
– **تراکم گسل‌ها و شکستگی‌ها:** گسل‌ها، درزه‌ها و شکستگی‌ها باعث انتقال آب به درون آبخوان‌ها، افزایش توسعه کارست و ذخیره آب شده‌اند. آنالیز خطواره‌ها و شکستگی‌ها در ارزیابی تعیین مسیر جریان آب زیرزمینی، مقدار تغذیه و ذخیره آب زیرزمینی کمک شایانی می‌کنند. گسل‌ها بسته به نوع و شرایط زمین‌شناسی در کنترل و انتقال آب نقش خنثی، مثبت یا منفی دارند. گسل‌های نرمال، که در شرایط کششی ایجاد می‌شوند، نسبت به گسل‌های معکوس و تراستی که در ساختار فشاری شکل می‌گیرند، نقش بیشتری در انتقال آب زیرزمینی دارند (Kastning, 1977). اندازه‌گیری‌های میدانی درزه‌ها و رسم نمودار گل‌سرخ در ۸ ایستگاه در این رشته‌کوه نشان‌دهنده دو روند غالب شمال خاوری- جنوب باختری و شمال باختری- جنوب خاوری در این منطقه است که نقش مهمی در تغذیه و تخلیه جریان دارند



شکل ۵- نقشه نمودار گل سرخی درزه‌های اندازه‌گیری شده در رشته کوه شتری.



شکل ۴- نقشه جهت شیب.



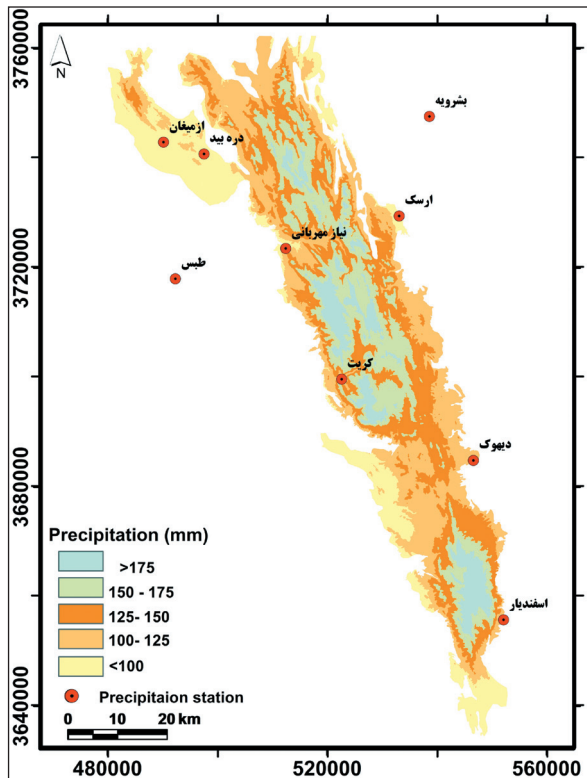
شکل ۷- نقشه تراکم شکستگی‌ها و گسل‌ها.



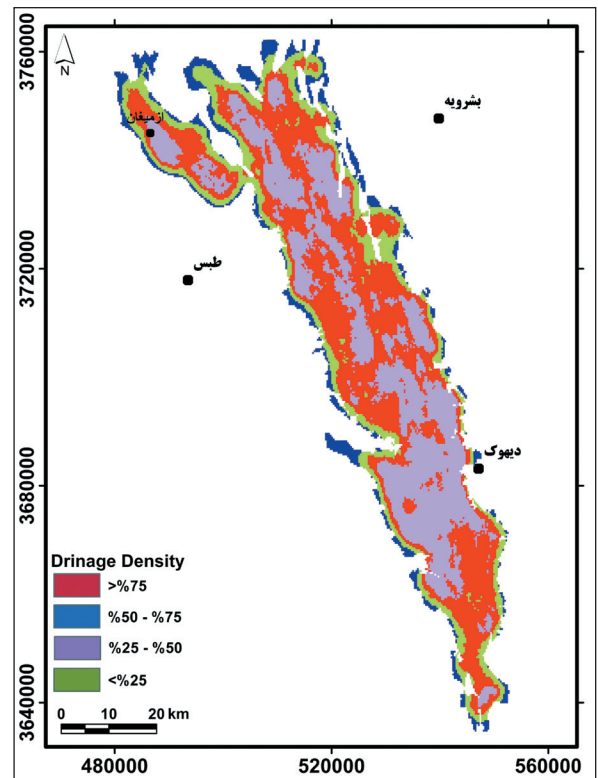
شکل ۶- تراکم شکستگی در سازند اسفندیار.

بررسی‌های ایزوتوپی نشان‌دهنده توسعه کم کارست و تغذیه مستقیم باران به درون سازندهای آهکی در حوضه آبرگیر اکثر چشمه‌های این منطقه است (Chitsazan et al., 2015). با توجه به رابطه ارتفاع-بارش در ۹ ایستگاه منطقه، نقشه هم‌بارش تهیه و بر مبنای ارتفاع بارش امتیازدهی شد. مناطق با بارش بیشتری، امتیاز بیشتری را به خود اختصاص دادند. شکل ۹ نقشه ارتفاع بارش رشته کوه شتری را نشان می‌دهد.

– **بارش:** بارش یکی از مهم‌ترین فاکتورهای تأثیرگذار بر کارستی شدن و تغذیه است. مقدار و نوع بارش، بسته به شرایط اقلیمی و ارتفاع در حوضه‌های کارستی تغییر می‌کنند. نوع و شدت بارش بر روی نرخ تغذیه تأثیر مستقیم دارد. به طوری که باران‌های سیل‌آسا و ناگهانی فرصت کمتری جهت نفوذ دارند و مقدار تغذیه از این بارش‌ها کم است، در صورتی که برف و باران‌های با شدت کم فرصت نفوذ بیشتری دارند و مقدار نفوذ از آن بیشتر است.



شکل ۹- نقشه هم‌بارش.



شکل ۸- نقشه تراکم آبراهه‌ها.

تصاویر ماهواره‌ای و کنترل صحرایی تهیه شد (شکل ۱۳). مناطق فاقد اپی کارست و پوشش خاک، امتیاز بیشتر و مناطق دارای پوشش خاک و اپی کارست امتیاز کمتری را در نفوذ به خود اختصاص دادند.

۳-۲. وزن‌دهی و آنالیز داده‌ها

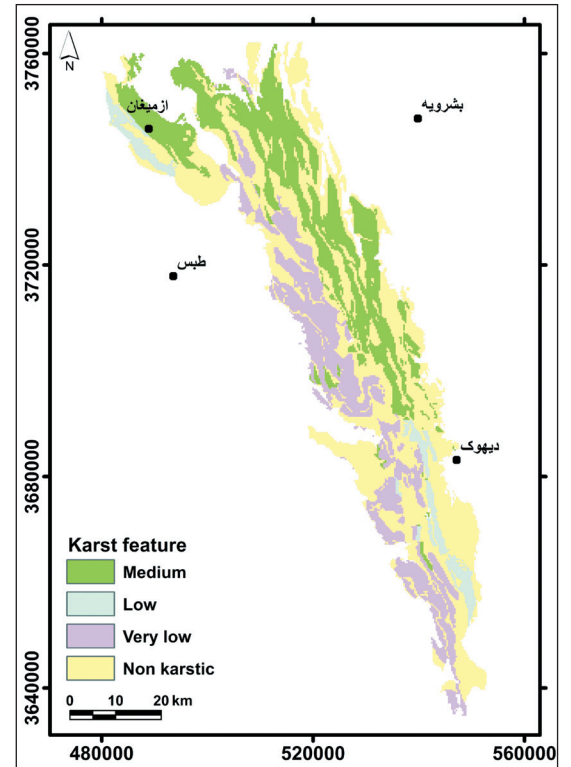
برای تعیین پتانسیل تغذیه در ناحیه مورد مطالعه فاکتورهای مؤثر بر تغذیه طبقه‌بندی شدند و بر اساس قضاوت کارشناسی امتیاز از ۱ تا ۱۰ برای آنها در نظر گرفته شد. بر مبنای این طبقه‌بندی هر جا فاکتور دارای امتیاز ۱۰ باشد، بیشترین تأثیر را بر تغذیه دارد و جایی که امتیاز ۱ باشد، کمترین تأثیر را بر تغذیه دارد (جدول ۱). امتیازات و فاکتورهای مؤثر بر تغذیه پیشنهادی آورده شده است. ارزیابی هر فاکتور به تنهایی بر روی پتانسیل تغذیه کارایی لازم را ندارد و نمی‌تواند یک مقدار واقعی از مقدار تغذیه حاصل کند. همپوشانی وزنی یک ابزار برای مقادیر و ورودی‌های متفاوت به منظور ایجاد یک آنالیز یکپارچه با یک مقیاس اندازه‌گیری مشترک است. نقشه‌های به دست آمده برای هر فاکتور یک لایه منفرد در نظر گرفته می‌شود. وقتی این لایه‌ها با توجه به وزن آنها در سیستم GIS روی هم قرار داده می‌شوند، محدوده‌های را ایجاد می‌کنند، که مشخصات متفاوتی از نظر تغذیه دارند. برای به دست آوردن وزن و امتیاز هر منطقه فاکتورهای مؤثر روی هم قرار گرفتند و نقشه پتانسیل تغذیه تهیه شد.

– **عوارض کارستی:** عوارض کارستی در اثر عملکرد نیروهای زمین‌ساختی و انحلال شیمیایی سنگ‌های کربناته ایجاد شده‌اند. مهم‌ترین عوارض کارستی در این منطقه حفره‌های انحلالی، کارن‌ها، دره‌های خشک و غارها هستند و عوارض کارستی مانند فروچاله و پولیه دیده نمی‌شوند. با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و بازدیدهای صحرایی عوارض کارستی تهیه شد (شکل ۱۰). در این نقشه منطقه به چهار بخش نواحی دارای کارن و حفره‌های انحلالی (شکل ۱۱)، مناطق با کارن و فاقد حفره‌های انحلالی، مناطق کربناته بدون کارن و حفره‌های انحلالی و مناطق غیر کربناته تقسیم شد.

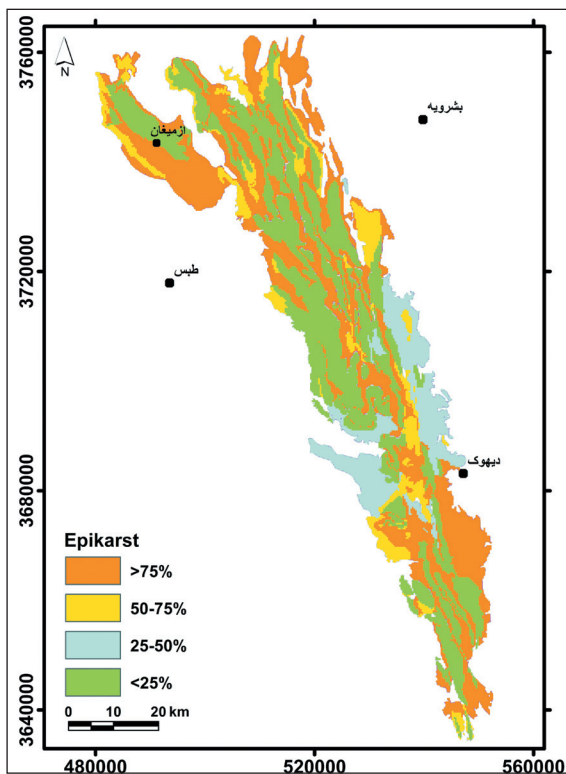
– **پوشش خاک و اپی کارست:** پوشش خاک و اپی کارست در نفوذ نقش مهمی دارند. اپی کارست در مناطق خشک ضخامت کمی دارد (کریمی وردجانی، ۱۳۹۴). به همین دلیل با لایه پوشش خاک به عنوان یک لایه اطلاعاتی در نظر گرفته شده است که در مناطق دارای پوشش خاک و اپی کارست گسترده و نسبتاً ضخیم، مقدار نگهداشت بارش بیشتر و مقدار نفوذ مؤثر کمتر می‌شود. در نواحی که سنگ‌ها برهنه هستند، تجمع بارش زیادتر و مقدار نفوذ از طریق درز و شکاف‌ها بیشتر می‌شود. شیب زیاد و بارش کم سبب شده است، که بخش وسیعی از این منطقه فاقد پوشش خاک و سنگ‌ها برهنه باشند (شکل ۱۲). نقشه پوشش خاک و اپی کارست با استفاده از



شکل ۱۱- حفره‌های انحلالی در سازند اسفندیار.



شکل ۱۰- نقشه عوارض کارستی.



شکل ۱۳- نقشه پوشش خاک و اپی کارست.



شکل ۱۲- سنگ آهک لخت در سازند اسفندیار.

میلی متر، حجم کل تغذیه سالیانه ۱۱۲ میلیون متر مکعب برآورد شد. از ۱۱۸ دهنه چشمه و ۱۳ چاه بهره برداری این رشته کوه، سالیانه حدود ۲۵ میلیون متر مکعب تخلیه می شود و حدود ۸۷ میلیون متر مکعب، سبب تغذیه آبخیزهای مجاور می شوند. محاسبات بیلان آبی بر مبنای برآورد قابلیت انتقال از روی لوگ چاه های پیژومتری و آزمون پمپاژ، مقدار ورودی آب زیرزمینی را برای سال آبی ۱۳۸۷ تا ۱۳۸۸ در دشت بشرویه در خاور محدوده ۵۳/۰۱ میلیون متر مکعب (شرکت آب منطقه ای خراسان جنوبی، ۱۳۸۷)، در دشت طبس در باختر محدوده ۳۳/۱۰ میلیون متر مکعب (شرکت سهامی آب منطقه ای یزد، ۱۳۸۸)، در دشت دستگردان در شمال محدوده ۱۷/۴۶ میلیون متر مکعب (مهندسين مشاور آسارا آب، ۱۳۹۵) و در دشت دیهوک در خاور ورودی آب زیرزمینی ۰/۶۷ میلیون متر مکعب (مهندسين مشاور ری آب، ۱۳۹۶) برآورد کرده است. بر اساس این محاسبات مجموع ورودی سالیانه آب زیرزمینی از این رشته کوه ۱۰۴/۲۴ میلیون متر مکعب است. مقدار تغذیه محاسبه شده و مقدار ورودی آب زیرزمینی حدود ۱۶٪ اختلاف دارد که صحت مقدار تغذیه محاسبه شده را تأیید می کنند.

جدول ۲- درصد تغذیه و مساحت هر منطقه.

درصد تغذیه سالیانه	مساحت (کیلومتر مربع)
<۲۰	۲۵۱
۳۰-۲۰	۸۷۹
۴۰-۳۰	۹۴۳
۵۰-۴۰	۲۰۰

نقشه نهایی تولید شده نشان دهنده زون های تغذیه در ۴ محدوده بوده که درصد تغذیه و مقادیر هر محدوده در شکل ۱۴ و جدول ۲ آورده شده است. متوسط درصد تغذیه در این رشته کوه حدود ۳۰ درصد برآورد شده است (جدول ۲).

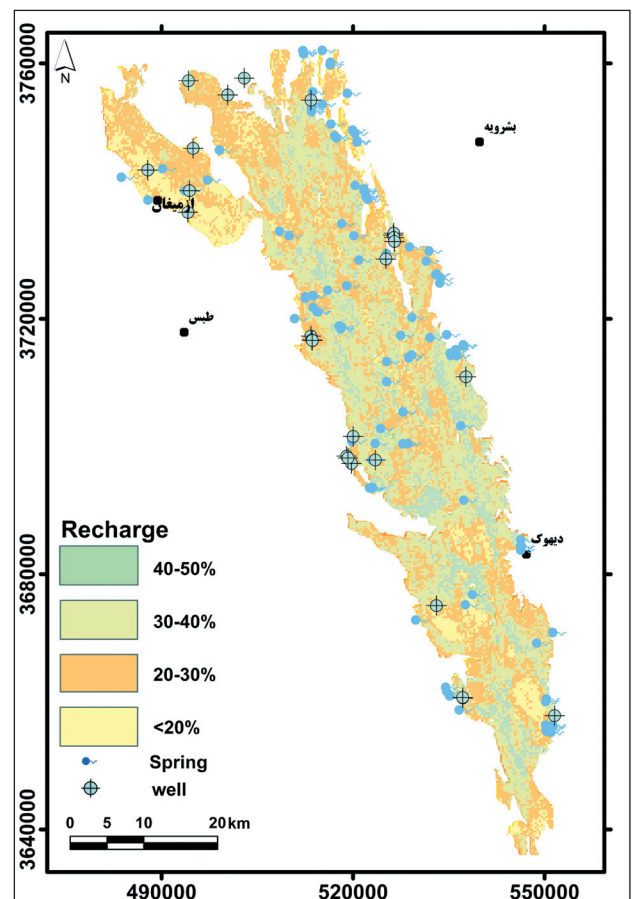
$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (A_i \times R_i + A_2 \times R_2 + \dots + A_n \times R_n)}{A_T} \quad (1)$$

$$R = \frac{251 \times \%15 + 879 \times \%25 + 943 \times \%35 + 200 \times \%45}{2273} \cong \%30 \quad (2)$$

که در آن، R متوسط تغذیه سالیانه در کل محدوده، R_i متوسط تغذیه سالیانه در محدوده A_i و A_T مساحت کل محدوده است.

۳-۳. بیلان آبی رشته کوه شتری

بیلان آبی، تغییر ذخیره آب در سفره (تفاوت بین آب ورودی و خروجی) است (Todd and Mays, 2005). مساحت رخنمون سنگی رشته کوه شتری ۲۲۷۵ کیلومتر مربع است. با توجه به مقدار متوسط تغذیه محاسبه شده ۳۰٪ و متوسط بارش سالیانه ۱۶۴



شکل ۱۴- نقشه پتانسیل تغذیه منطقه مورد مطالعه.

۳-۴. کاربرد پتانسیل تغذیه برای تعیین حوضه آبریز چشمه های مهم منطقه

با توجه به تعیین درصد تغذیه سالیانه در رشته کوه شتری، حوضه آبریز چشمه های بزرگ این منطقه شامل از میغان، قنبر و کریت با استفاده از زمین شناسی، چینه شناسی و بیلان مشخص شده است. پس از قرار دادن محل چشمه ها بر روی تصویر ماهواره ای گوگل ارث، بیشترین محدوده احتمالی حوضه آبریز، بر اساس توالی چینه شناسی، وضعیت زمین شناسی و مورفولوژی رسم می شود. بر این اساس محدوده ای که توانایی انتقال آب به چشمه مورد نظر را دارد به عنوان حوضه آبریز در نظر گرفته

می شود. در حوضه آبریز رسم شده هر چشمه، واحد غیر قابل نفوذی که سبب انقطاع هیدرولیکی بین چشمه و حوضه آبریز شود، وجود ندارد (کریمی، ۱۳۷۶ نقل از کریمی وردنجانی، ۱۳۹۴).

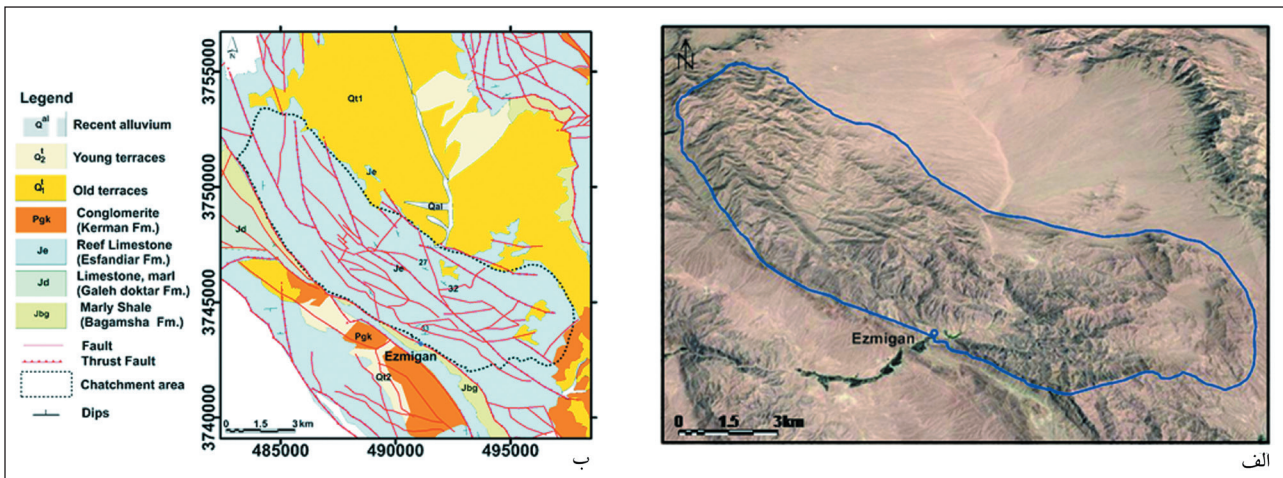
– چشمه از میغان: چشمه از میغان با دبی متوسط سالیانه ۶۳ لیتر در ثانیه یکی از بزرگ ترین چشمه های این منطقه است و از سازند اسفندپار تخلیه می شود. بر مبنای معادله بیلان آب حوضه آبریز این چشمه حدود ۶۱ کیلومتر مربع و به روش توالی چینه شناسی و وضعیت زمین شناسی و مورفولوژیکی، ۶۸ کیلومتر مربع به دست آمد

بیشتر رخنمون‌ها سازند بغمشاه است و چشمه از مرز این سازند با سازند اسفندیار تخلیه می‌شود (شکل ۱۶). تفاوت بین مساحت حوضه آبخیز در روش بیلان و زمین‌شناسی و چینه‌شناسی حدود ۱۵٪ است.

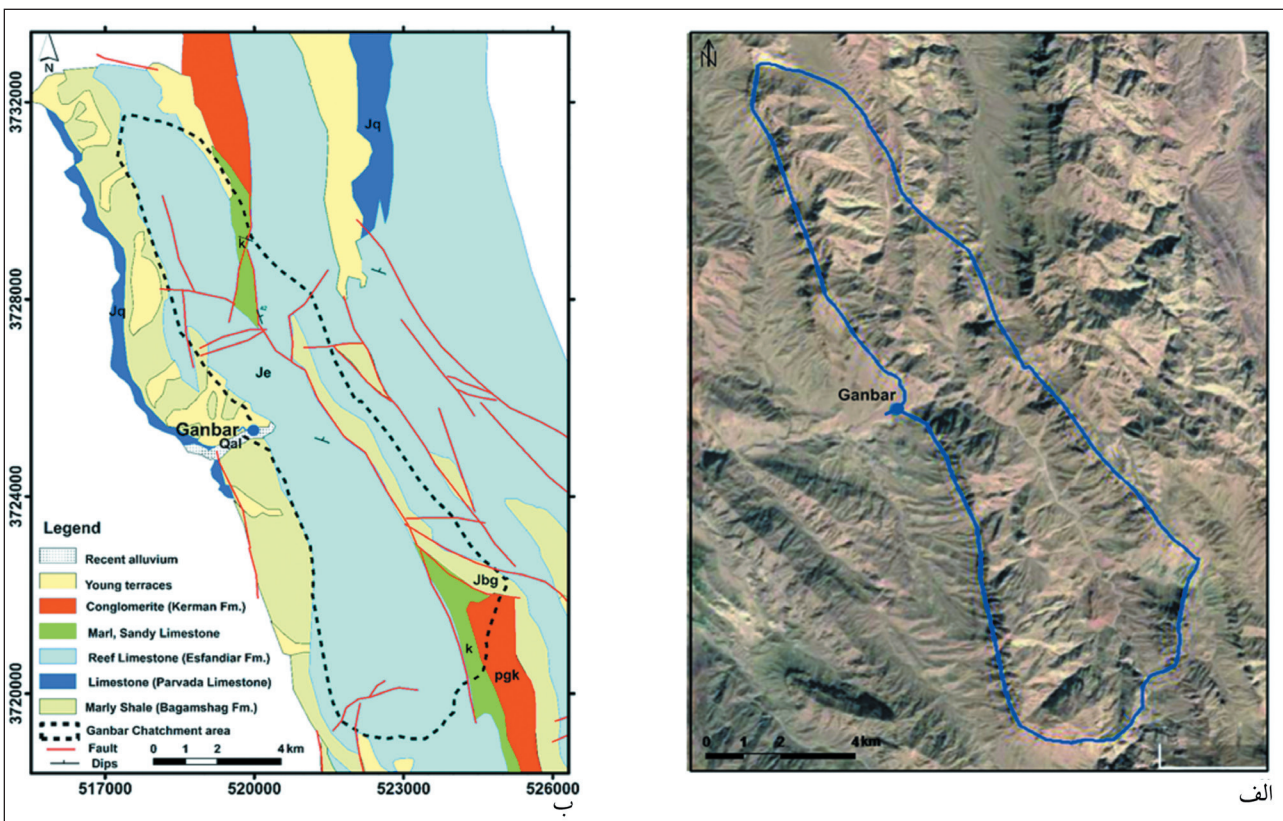
– **چشمه گرویت:** چشمه کریت با متوسط دبی سالیانه ۲۴ لیتر در ثانیه از سازند شتری تخلیه می‌شود. محدوده حوضه آبخیز این چشمه بر اساس معادله بیلان حدود ۱۳ کیلومتر مربع و بر اساس توالی چینه‌شناسی و زمین‌شناسی ۱۴ کیلومتر مربع محاسبه شد. مرز حوضه آبخیز چشمه در جنوب سازند سرخ شیل و نایبند با لیتولوژی شیل و مارن و در شمال و شمال خاوری سازند بغمشاه است (شکل ۱۷). شکستگی‌ها و گسل‌ها نقش مهمی در تغذیه دارند و چشمه از زون گسلی تخلیه می‌شود.

که سازند اسفندیار ۶۶ کیلومتر مربع و رسوبات آبرفتی ۲ کیلومتر مربع را به خود اختصاص داده‌اند (شکل ۱۵). در حوضه آبخیز این چشمه عوارض سطحی کارست مانند حفره‌های انحلالی دیده می‌شود. تراکم شکستگی‌ها و گسل‌ها در حوضه آبخیز این چشمه بالاست و نقش مهمی در تغذیه این چشمه دارند.

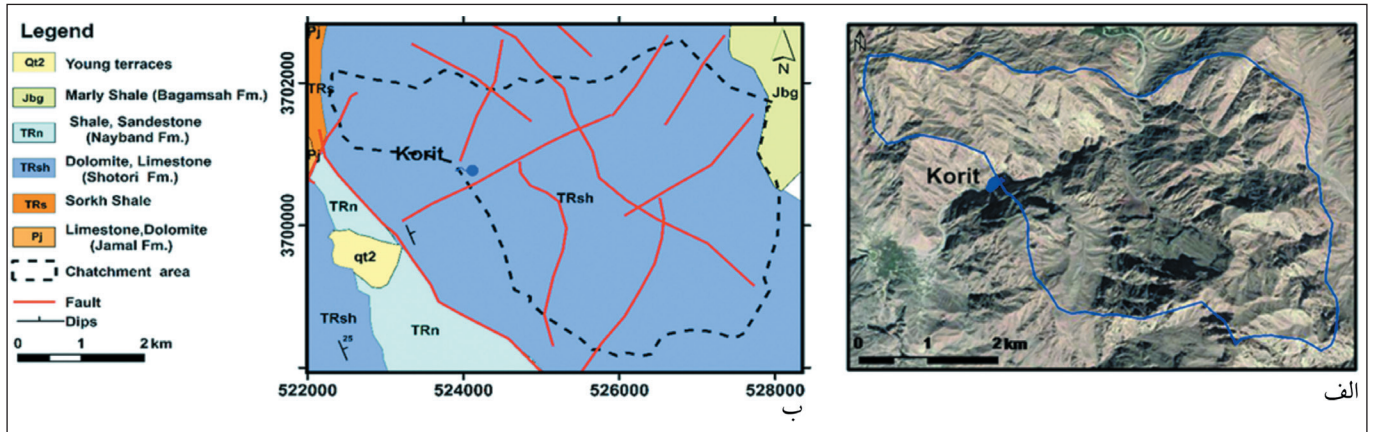
– **چشمه قنبر:** چشمه قنبر با متوسط دبی ۶۰ لیتر در ثانیه از سازند اسفندیار تخلیه می‌شود. مساحت حوضه آبخیز این چشمه بر اساس معادله بیلان در حدود ۲۸ کیلومتر مربع و بر اساس توالی چینه‌شناسی و زمین‌شناسی ۳۳ کیلومتر مربع به دست آمد. در حوضه آبخیز این چشمه سازند اسفندیار ۲۹/۵ کیلومتر مربع، سازند بغمشاه ۲/۸ کیلومتر مربع، مارن و سنگ‌آهک کرتاسه ۰/۵ کیلومتر مربع و کنگلومرای کرمان حدود ۰/۲ کیلومتر رخنمون دارد. مرز حوضه آبخیز چشمه در



شکل ۱۵- مرز احتمالی حوضه آبخیز چشمه ازمیگان. الف) تصویر ماهواره‌ای گوگل‌ارت؛ ب) نقشه زمین‌شناسی.



شکل ۱۶- مرز احتمالی حوضه آبخیز چشمه قنبر. الف) تصویر ماهواره‌ای گوگل‌ارت؛ ب) نقشه زمین‌شناسی.



شکل ۱۷- مرز احتمالی حوضه آبرگیر چشمه کریت. الف) تصویر ماهواره‌ای گوگل ارث؛ ب) نقشه زمین‌شناسی.

۴- نتیجه‌گیری

به دلیل ناهمگنی بالای سفره‌های کارستی، تعیین جهت جریان و حوضه آبرگیر چشمه‌های کارستی مشکل است. با توجه به مقدار تغذیه به دست آمده، حوضه آبرگیر سه چشمه از میغان، قنبر و کریت به روش بیلان و روش توالی چینه‌شناسی و زمین‌شناسی مشخص شده‌اند. حوضه آبرگیر به دست آمده از این دو روش کمتر از ۱۵٪ بوده که نشان‌دهنده صحت مقدار تغذیه به دست آمده است. اگر چه برآورد مقدار تغذیه و تعیین حوضه آبرگیر چشمه‌ها با توجه به برآورد فاکتورهای مؤثر بر تغذیه با عدم قطعیت همراه است. اما علی‌رغم عدم قطعیت باید تحقیقات در این خصوص صورت گیرد. لذا روش ارائه شده می‌تواند برای تعیین مقدار تغذیه و حوضه آبرگیر چشمه‌های کارستی دیگر استفاده و سبب کاهش عدم قطعیت و رسیدن به اطلاعات دقیق‌تر شود.

تعیین مقدار تغذیه اولین گام در مطالعات هیدروژئولوژیکی است. به منظور تعیین مقدار پتانسیل تغذیه در رشته‌کوه شتری در ایران مرکزی نقشه ۸ پارامتر تأثیرگذار بر تغذیه شامل لیتولوژی، بارش، مقدار شیب، جهت شیب، شبکه آبراه‌ها، تراکم شکستگی، اپی کارست و پوشش خاک عوارض کارستی تهیه، پس از وزن‌دهی به روش کارشناسی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی یکپارچه‌سازی و نقشه پتانسیل تغذیه تهیه شد. نقشه پتانسیل تغذیه نشان می‌دهد که ۲۵۱ کیلومتر مربع دارای تغذیه حدود ۱۵٪، ۸۹۷ کیلومتر مربع دارای تغذیه متوسط ۲۵٪، ۹۴۳ کیلومتر مربع دارای متوسط تغذیه ۳۵٪ و حدود ۲۰۰ کیلومتر مربع دارای متوسط تغذیه ۴۵٪ است.

کتابخانه

- ابراهیمی، ب. و سیف، ع.، ۱۳۹۴- به کارگیری سیستم اطلاعات جغرافیایی برای ارزیابی پتانسیل گسترش کارست سنگ‌های کربناتی زاگرس بر پایه عامل‌های آب زمین‌شناختی و اقلیمی. نشریه علوم زمین شماره ۹۸، ۳۴۸ ص.
- اذنی، س.، ۱۳۹۵- ارزیابی توسعه کارست در کوه‌های آهکی آهنگران، شمال خاور بیرجند، پایانامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود.
- آق‌نابتی، س. ع.، ۱۳۸۹- زمین‌شناسی ایران. انتشارات سازمان زمین‌شناسی کشور، ۶۰۶ ص.
- تاج‌آبادی، م. ت. و زارع، م.، ۱۳۹۵- ارزیابی پتانسیل تغذیه آب زیرزمینی در محیط GIS و مقایسه آن با نتایج بیلان هیدروکلیماتولوژی، مطالعه موردی: حوضه آبریز رودخانه کر، پژوهش آب ایران، ۱۰ (۲۲)، صص. ۱۳۵ تا ۱۴۵.
- سازمان زمین‌شناسی کشور، ۱۳۷۲- نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ بشرویه.
- شرکت سهامی آب منطقه‌ای خراسان جنوبی، ۱۳۸۷- گزارش توجیهی ممنوعیت محدوده مطالعاتی بشرویه، ۱۱۶ ص.
- شرکت سهامی آب منطقه‌ای یزد، ۱۳۸۸- گزارش توجیهی ممنوعیت محدوده مطالعاتی طبس، ۴۷ ص.
- کریمی وردنجانی، ح.، ۱۳۹۴- هیدروژئولوژی و ژئومورفولوژی کارست، انتشارات ارم شیراز، ۵۳۶ ص.
- مهندسین مشاور آسارا آب، ۱۳۹۵- گزارش بیلان منابع آبی محدوده دستگردان، ۷۰ ص.
- مهندسین مشاور پور آب، ۱۳۹۱- مطالعات نیمه تفصیلی منابع آب سازند سخت طبس، ۲۰۸ ص.
- مهندسین مشاور ری آب، ۱۳۹۶- گزارش بیلان منابع آبی محدوده دیهوک، ۶۶ ص.
- نبوی، م. ح.، ۱۳۵۵- دیباچه‌ای بر زمین‌شناسی ایران، انتشارات سازمان زمین‌شناسی کشور، ۱۰۹ ص.
- نجفی، ز.، ۱۳۹۲- ارزیابی تغذیه آهک‌های کارستی سازند بیستون (خاور و جنوب خاوری روانسر)، پایانامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود.

References

- Ayalon, A., Bar- Matthews, M. and 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. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(98\)00119-X](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(98)00119-X)
- Bakalowicz, M., 2005- Karst groundwater: a challenge for new resources. *Hydrogeology Journal*, 13(1), 148- 160, <https://doi.org/10.1007/s10040-004-0402-9>.
- Bekesi, G. and Mcconchie, J., 1999- Groundwater recharge modelling using the Monte Carlo technique, Manawatu region, New Zealand. *Journal of Hydrology*, 224(3), 137- 148. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(99\)00128-6](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(99)00128-6).
- Berberian, M., 1976- Contribution to the seismotectonic of Iran (part II). Geological Survey of Iran, Rep. No. 39
- Bonacci, O., 2001- Analysis of the maximum discharge of karst springs. *Hydrogeol. J.* 9 (4), 328–338. <https://link.springer.com/article/10.1007/s100400100142>.
- Chitsazan, M., Vardanjani, H. K., Karimi, H. and Charchi, A., 2015- A comparison between karst development in two main zones of Iran: case study- Keyno anticline (Zagros Range) and Shotori anticline (Central Iran). *Arabian Journal of Geosciences*, 8(12), 10833-10844. <https://link.springer.com/article/10.1007/s12517-015-1961-x>.
- Ford, D. C. and Williams, P. W., 2007- *Karst hydrogeology and geomorphology*. Chichester. John Wiley; Second ed., 553 p.
- Freeze, R. A. and Cherry, J. A., 1979- *Groundwater*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 604 pp.
- Karami, G. H., Bagheri, R. and Rahimi, F., 2016- Determining the groundwater potential recharge zone and karst springs catchment area: Saldoran region, western Iran. *Hydrogeology Journal*, 24(8), 1981- 1992. DOI:10.1007/s10040-016-1458-z.
- Kastning, E. H., 1977- Faults as positive and negative influence on groundwater flow and conduit enlargement, In
- Milanovic, P. T., 1981- *Karst hydrogeology*: Water Resources Publications, 434 p.
- Milewski, A., Sultan, M., Yan, E., Becker, R., Abdeldayem, A., Soliman, F. and Gelil, K. A., 2009- A remote sensing solution for estimating runoff and recharge in arid environments. *Journal of Hydrology*, 373(1), 1- 14. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.04.002>.
- Patil, S. G. and Mohite, N. M., 2014- Identification of groundwater recharge potential zones for a watershed using remote sensing and GIS. *International Journal of Geomatics and Geosciences*, 4(3), 485.
- Scanlon, B. R, Keese, K. E., Flint, A. L, Flint, L. E., Gaye, C. B., Michael Edmunds, W. and Simmers, I., 2006- Global synthesis of groundwater recharge in semiarid and arid regions. *Hydrol. Process.* 20, 3335–3370. <https://doi.org/10.1002/hyp.6335>.
- Shaban, A., Khawlie, M. and Abdallah, C., 2006- Use of remote sensing and GIS to determine recharge potential zone: the case of Occidental Lebanon. *Hydrogeol J* 14:433- 443. <https://doi.org/10.1007/s10040-005-0437-6>
- Singhal, V. and 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.

- Stocklin, J., Eftekhar- Nezhad, J. and Hushmand Zadeh, A., 1965- Geology of the Shotori Range (Tabas area, East Iran). Rep. No. 3. 69 p.
- Todd, D. K. and Mays, L., 2005- groundwater hydrology. John Wiley and Son, Inc., New Jersey, USA.
- Tweed, S. O., Leblanc, M., Webb, J. A. and Lubczynski, M. W., 2007- Remote sensing and GIS for mapping groundwater recharge and discharge areas in salinity prone catchments, southeastern Australia, Hydrogeol J 15:75- 96. <https://doi/10.1007/s10040-006-0129-x>.
- Waikar, M. L. and Nilawar, A. P., 2014- Identification of groundwater potential zone using remote sensing and GIS technique. Int J Innov Res Sci Eng Technol, 3(5), 12163- 12174.

Assessment of groundwater potential recharge in karstic terrains in arid regions, Case study: Shotori mountains, central Iran

H. Zia^{1*}, G. H. Karami² and A. Taheri³

¹Ph.D Student, Faculty of Earth Sciences, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran

²Associate Professor, Faculty of Earth Sciences, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran

³Professor, Faculty of Earth Sciences, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran

Received: 2018 February 24

Accepted: 2018 September 08

Abstract

Estimation recharge is an important parameter in the hydrogeological study that used for water budget. Recharge potential map prepared based on spatial maps of eight major influencing factors on groundwater recharge rates (lithology, slope value, aspect, drainage density, precipitation, fracture density, karstification and epikarst) were integrated using GIS after expertise judgment. The study area has been classified into four zones with potential recharge of 15, 25, 35 and 45 percent. The extent of each zone was determined 251, 879, 943 and 200 km², respectively. The average potential recharge was 30% in the study area. According to potential recharge and average of annual precipitation (164 mm), the total recharge in the Shotori mountains was estimated to be 122 million cubic meters (MCM) and about 25 MCM from that volume were discharged from springs and abstraction wells and remaining volume (87 MCM) is recharging to adjacent aquifers. Ezmigan, Ganbar, and Korit are the major karstic springs that drain the Shotori Mountain with the mean discharge rate of 63, 60 and 24 lit/s and electrical conductivity values of 601, 1640 and 825 $\mu\text{S}/\text{cm}$ respectively. The estimated catchment area based on the recharge rate in comparison to the evaluated catchments by geological, stratigraphical methods showed that the difference is less than 15%, which confirms the estimated amount of recharge.

Keywords: Karst, Shotori Mountains, Potential recharge, GIS.

For Persian Version see pages 85 to 96

*Corresponding author: H. Zia; E-mail: zia@birjand.ac.irr