نشریه

ترویج و توسعه آبخیزداری
Extension and Development of Watershed Managment

سال اول- شماره ۲- پاییز ۱۳۹۲ Vol. 1, No. 2, Fall 2013

بررسی پتانسیل منابع آبی کوهزر برای احداث سد زیرزمینی

نجفقلی غیاثی[۱]

تاریخ دریافت: ۹۲/۹/۷ تاریخ پذیرش: ۹۲/۱۰/۲۸

چکیده

برای تأمین آب در مقیاس کوچک در مناطق خشک که دسترسی به چاه و رودخانه دائمی ندارند، استفاده از جریان‌های زیرسطحی در بستر خشکه‌رودها می‌تواند مطرح باشد. بدین‌وسیله علاوه بر مهار بخشی از آب باران که به زمین نفوذ می‌کند، آب‌هایی که به‌طور دائم بوسیله قنوات بالادست از سفره تخلیه می‌شوند و در فصولی از سال بدون استفاده مفید مجدداً به زمین نفوذ کرده و از دسترس خارج می‌شود را می‌توان در مخزن سد زیرزمینی مهار کرد. هدف از این پژوهش اطمینان از وجود آب و تغذیه کافی در بالادست محل سد می‌باشد. برای تعیین آبدهی حوزه پس از اخذ آمار و اطلاعات و بررسی صحت و سقم آن‌ها، تحلیل منطقه‌ای انجام و روابط استخراج شد. علاوه بر آن از روش‌های تجربی مانند روش خسلاو، تعیین بیلان آبی حوزه و روش تجربی شورای تحقیقات کشاورزی هند ICAR استفاده شد. ضریب به‌دست آمده از تحلیل منطقه‌ای از یک بیش‌تر بوده است که فاقد اعتبار است. رابطه ارائه شده توسط شورای کشاورزی هند ضریب روان‌آب را ۲۶٪ برآورد نمود که قابل اعتمادتر از سایر روش‌ها است. بر این اساس حجم آب قابل برنامه‌ریزی ناشی از روان‌آب و نفوذ در حوزه کوهزر برآورد و برابر ۱۰۵۰۰۹۶/۵ متر مکعب می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: ***اقلیم نیمه بیابانی، بیلان آب، دبی متوسط، کویر حاج علیقلی، هیدرولوژی***

مقدمه

با توجه به این‌که ایران روی کمربند خشک زمین قرار دارد، خشکسالی‌ها و کمبود بارش، در این مناطق، منابع آب سطحی و هم‌چنین منابع آب زیرزمینی کافی در دسترس نمی‌باشد. لذا توسعه و استفاده بهینه از منابع آب موجود که از دسترس خارج می‌شود با روش‌های علمی، راه‌کار مناسبی برای جبران کمبود آب می‌باشد. احداث سدهای زیرزمینی یکی از این راه‌کارهای مناسب کمبود آب در مقیاس کوچک برای مناطق کم‌آب می‌باشد.

یکی از ضروری‌ترین مطالعات در زمینه احداث سدهای زیرزمینی، مطالعات فیزیوگرافی و آب و هوایی حوزه آبخیز و عرصه اجرای پروژه است. با جمع‌آوری آمار و اطلاعات از نزدیک‌ترین ایستگاه‌های هواشناسی و هیدرومتری منطقه و در صورت عدم وجود داده‌های مشاهده‌ای، با به‌کارگیری روابط تجربی، داده‌های هیدرولوژیکی مورد نیاز برآورد می‌شوند. در این مطالعات، داده‌هایی مانند متوسط بارش سالانه، شدت بارندگی در پایه‌های زمانی مختلف، درجه حرارت حداکثر و حداقل، متوسط تبخیر و تعرق پتانسیل و حقیقی سالانه حوزه آبخیز و تعیین وضعیت اقلیمی منطقه، مقادیر روان‌آب متوسط سالانه، سیلاب‌های با دوره بازگشت‌های مختلف، بررسی وضعیت کیفیت آب و بیلان آب حوزه آبخیز، مورد نیاز می‌باشد.

در رابطه با سدهای زیرزمینی کارهای زیادی انجام شده که اکثر آن‌ها در خصوص استفاده از این سازه‌ها برای جلوگیری از انتشار آلودگی، بالا آوردن سطح، ذخیره و برداشت از آب‌های زیرزمینی در مناطق خشک می‌باشند. تاریخچه سدهای زیرزمینی در ایران و جهان به تمدن‌های قدیمی برمی‌گردد، در زمان رومیان در جزیره ساردینا سدهای زیرزمینی احداث شده است. در دوران صفویه برای افزایش آب مادر چاه قنوات آب دیگر قنوات را به آن‌جا منحرف می‌کردند [۵]. تنها اطلاعات موجود از موضوع سدهای زیرزمینی در کشور مربوط به آب‌بند کردن قسمت‌های سنگی و حجیم داخل گالری قنوات برای جلوگیری از هدر رفتن آب در فصل زمستان و بهره‌برداری تنظیم شده در زمان مورد نیاز می‌باشد [۳].

در اولین همایش بررسی راه‌کارهای مقابله با بحران آب در زابل [۱] توضیحی در مورد انواع سدهای زیرزمینی و موارد کاربرد آنها ارائه گردیده و سپس مطالعات لازم در مراحل مختلف سدهای زیرزمینی و محل مناسب برای احداث آنها از لحاظ خصوصیات زمین‌شناسی، توپوگرافی و هیدروژئولوژی ارائه شده است. حوزه آبخیز کویر حاج علیقلی برای مکان‌یابی احداث سدهای زیرزمینی

۱. عضو هیئت علمی پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، Ghiasi۳٤@gmail.com

مورد مطالعه قرارگرفته است. در این مطالعه پارامترهای مساحت، فرسایش‌پذیری، میزان روان‌آب، شیب حوزه، عرض مقطع رودخانه، ضخامت آبرفت، بافت رسوبات مطالعه شده و مکان‌های پیشنهادی اولویت‌بندی شده است [٦]. از روش تحلیل سلسله مراتبی و با استفاده از سیستم پشتیبانی تصمیم‌گیری مکانهای مناسب برای احداث سدهای زیرزمینی دردامنه شمالی کوه کرکس کاشان شناسائی و معرفی شده است [٢].

نتایج حاصل از سد زیرزمینی احداث شده در جزیرهٔ ناکاجیما [٧] و ثبت تغییرات سطح آب زیرزمینی نشان داد که ضمن افزایش قابل توجه آب در بالادست، جزر و مد در دریا تأثیر ناچیزی بر روی سطح ایستابی در سمت خشکی داشته است. تکنولوژی و روش‌های مختلف ساخت، مواد و مصالح مورد نیاز سدهای زیرزمینی توسط پیرلمان [٩] بررسی و آن‌ها را با هم مقایسه کرده و روش‌های بازرسی و کنترل عمل‌کرد آنها را پس از ساخت آورده است. عوامل تاثیرگذار در احداث سدهای زیرزمینی توسط فوستر و تیونهاف [٨] در برزیل تعیین و معرفی شده‌اند. این عوامل عبارت ازحجم مخزن، عمق سنگ بستر نسبت به سطح زمین، نفوذپذیری وکیفیت شیمیائی خاک بوده‌اند.

فن احداث و استفاده از سدهای زیرزمینی در کشور ما دارای قدمتی نظیر حفر قنوات است که به‌خاطر بی‌توجهی و عدم استفاده از تکنولوژی نوین برای توسعه و بهره‌برداری از آن دچار رکود و فراموشی شده است. بی‌تردید سدهای زیرزمینی در مناطق روستایی کشورهای در حال توسعه که شرایط آب و هوایی خشکی دارند، از محاسن بیش‌تری نسبت به سدهای سطحی برخوردارند، به ویژه آن که ریسک آلودگی محتمل و تبخیر آب را کاهش می‌دهند [٤].

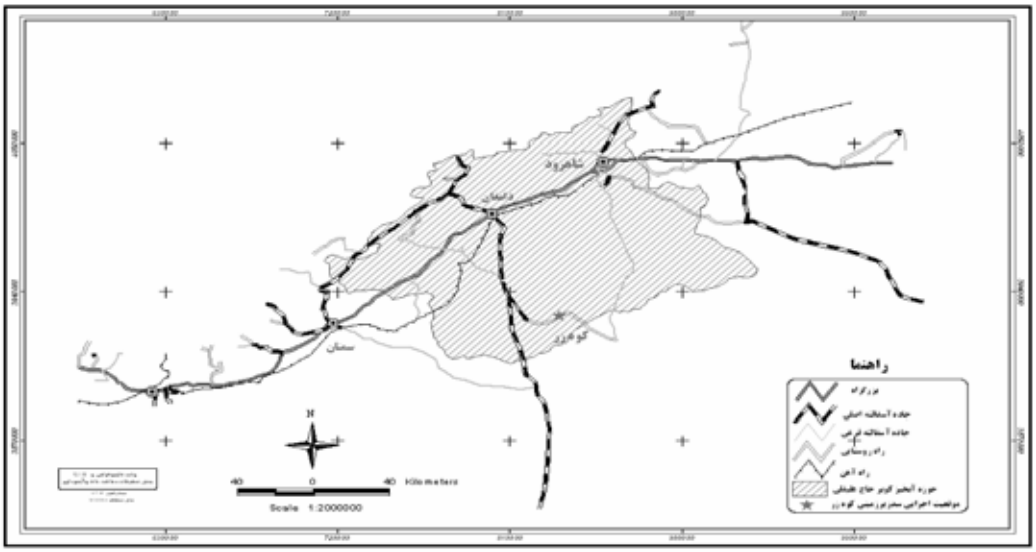
هدف از این پژوهش اطمینان از وجود آب و تغذیهٔ کافی در حوزه کوهزر برای احداث سد زیرزمینی بوده است که بتواند بخشی از کمبود آب در روستاهای منطقه تامین را نماید.

مواد و روش‌ها

موقعیت منطقه مورد مطالعه: حوزه کوهزر در جنوب شرقی رودخانهٔ کر و در ٩٥ کیلومتری جنوب شرقی شهرستان دامغان در بین عرض جغرافیایی "١٧ ´ ٢٠ °٣٥ تا ´ ٣٠ °٣٥ شمالی و طول جغرافیایی "٣٠ ´ ٢٢ °٥٤ تا " ٠٨ ´٤٥ °٥٤ شرقی واقع شده است. این حوزه مساحتی معادل ١١٥٢/٥ هکتار را به خود اختصاص می‌دهد. منطقه مذکور از جنوب به کوه باباحمد و کوه دارستان، از شرق به کلاته علی‌خان، از غرب به حوزهٔ کلاته جعفر و از شمال به دشت کویر حاج علیقلی منتهی می‌شود (شکل ١).

بهره‌برداری فعلی از اراضی این منطقه به‌صورت مرتع بوده و دام موجود در آن ٣٥٠٠٠ راس برآورد شده است. قسمتی از اراضی در آبراهه‌ها با وسعت ٢٠٠ هکتار قابل کشت و کار بوده که به‌علت کمبود آب فقط ٣٠ ـ ٢٥ هکتار آن زیر کشت است. در این منطقه جریان سطحی وجود ندارد و منابع آب منطقه به یک جریان زیرزمینی نسبتاً ضعیف محدود می‌شود. منبع تأمین آب شرب و کشاورزی کوهزر و کلاته‌های تابعه، قنواتی می‌باشند که در بالادست روستاها حفر شده‌اند. آبرفت روستاها دارای ضخامت کمی بوده و سفرهٔ آب قابل استحصال در منطقه یافت نمی‌شود. این مسأله ایجاب می‌نماید که از روش‌های مطمئنی برای تأمین آب استفاده شود. با استفاده از سدهای زیرزمینی جریانات زیرسطحی که در فصول غیرآبیاری به‌هدر می‌رود مهار نموده و نیاز آبی جمعیت ساکن در منطقه را فراهم نمود.

مساحت حوزهٔ آبخیز کوهزر برابر ١١٥٠ هکتار و ارتفاع متوسط آن ١٨٨٠ متر از سطح دریا می‌باشد. طول آبراههٔ اصلی این حوزه حدود پنج کیلومتر و حداکثر شیب حوزه ٤٠ درصد است که در محل ورود به دشت به ٤–٣ درصد تقلیل می‌یابد. شیب متوسط حوزه برابر ٢٦ درصد می‌باشد. جدول (١) خلاصه‌ای از مشخصات فیزیکی حوزه را نشان می‌دهد.



شکل ١- نقشهٔ موقعیت جغرافیایی منطقه اجرای طرح آزمایشی سد زیرزمینی

جدول (۱): مشخصات فیزیکی حوزهٔ آبخیز کوهزر

مشخصهٔ فیزیکی	مساحت (km۲)	محیط (km)	طول حوزه (km)	قطر دایره هم سطح (km)	اختلاف ارتفاع (m)
مقدار عددی	۱۱/۵	۱۳/۷	۵/۱	۳/۸۹	۶۰۰

روش‌های برآورد آبدهی حوزه

به‌منظور تعیین آبدهی حوزه پس از اخذ آمار و اطلاعات و بررسی صحت و سقم آن‌ها، تحلیل منطقه‌ای انجام و روابط استخراج شده است. علاوه بر آن از روش‌های تجربی برای برآورد نیز استفاده شد که ذیلا" به آن‌ها پرداخته خواهد شد.

روش خسلاو: فرمول خسلاو آبدهی را با توجه به درجه حرارت متوسط ماهانه و بارندگی برای ماه‌های مختلف سال محاسبه می‌نماید. رابطه ارائه شده توسط خسلاو به‌صورت رابطه (۱) است:

رابطه (۱) $Lm = ۵\ tm$ برای $tm \geq ٤/۵\ C^{\circ}$

:برای ماه مورد نظر مقدار روان‌آب از رابطه (۲) محاسبه می‌شود

رابطه (۲) $Rm \geq ۰$ و $Lm = Pm\ Rm$

که درآن‌ها: Lm برای تلفات به میلی‌متر، tm درجه حرارت متوسط ماهانه به درجه سانتی‌گراد، Rm روان‌آب ماهانه به میلی‌متر، Pm مقدار بارندگی ماه مورد نظر به میلی‌متر و مقدار روان‌آب سالانه Ra به میلی‌متر از حاصل جمع مقادیر ماهانه (رابطه ۳) به‌دست می‌آید.

رابطه (۳) $$Ra = \sum Rm$$

رابطه اصلاح شده دیگری نیز توسط خسلاو به‌صورت رابطه (٤) ارائه شده است:

رابطه (٤) $$R / P = C^{T}$$

که در آن، R مقدار روان‌آب سالانه، P بارش متوسط سالانه، T درجه حرارت متوسط به سانتی‌گراد، C و ضریب ثابت بین ۰/۹۵۲ تا ۰/۹۷۱ است.

تعیین بیلان آبی حوزه

برآورد تبخیر و تعرق واقعی: یکی از روش‌های برآورد تبخیر و تعرق واقعی حوزه‌ها استفاده از فرمول تورک است که به‌صورت رابطه (۵) می‌باشد:

رابطه (۵) $$D = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \frac{P^2}{L^2}}} \qquad L = 0.05t^3 + 25\,t + 300$$

که در آن، D تبخیر و تعرق واقعی، P بارش سالانه به میلی‌متر، t درجه حرارت متوسط سالانه به درجه سانتی‌گراد است.

روش تجربی شورای تحقیقات کشاورزی هند :RACI

این روش بر پایه مدل روان‌آب ارائه شده در کشور هند است که از تحلیل ۱۷ زیر حوزه در آن کشور حاصل شده است و به‌صورت رابطه (٦) می‌باشد.

رابطه (٦) $$Q = \frac{1.511 \times P^{1.4}}{t^{1.3} \times A^{0.0613}}$$

که در آن، Q ارتفاع روان‌آب متوسط سالانه به سانتی‌متر، P ارتفاع بارندگی سالانه به سانتی‌متر، A مساحت حوزه کیلومتر مربع و t درجه حرارت متوسط به سانتی‌متر است.

بیلان آبی حوزه: بیلان آبی یک حوزه از طریق تعیین میزان روان‌آب، تبخیر و تعرق و نفوذ به‌دست می‌آید که به‌صورت رابطه (۷) می‌باشد.

رابطه (۷) $$P = I + R + E$$

که در آن، P بارش متوسط سالانه، I میزان نفوذ، R مقدار روان‌آب و E تبخیر و تعرق واقعی است.

نتایج و بحث

بررسی و بازدید ایستگاه‌های هواشناسی منطقه: برای بررسی پارامترهای هواشناسی منطقه مورد مطالعه، از ایستگاه‌های هواشناسی مجاور استفاده شده است. ایستگاه‌های مورد مطالعه دارای دامنه ارتفاعی حداقل ۱۰۹۵ متر در خیرآباد سمنان تا ۲٤٤۰ متر از سطح دریا در ایستگاه تاش بوده و از نوع سینوپتیک، اقلیم‌شناسی، تبخیرسنجی معمولی و ثابت می‌باشند که ویژگی آن‌ها در جدول (۲) ارائه شده است.

برای بررسی کیفیت و همگنی داده‌های آمار ایستگاه‌های موجود، از روش آزمون توالی (Run test) استفاده شده است. پس از تعیین تعداد دنباله‌های مجاز در این آزمون در سطح اعتماد پنج درصد همگنی آمار ایستگاه‌ها مورد بررسی قرار گرفت. نتایج به‌دست آمده نشان‌دهنده این است که آمار ایستگاه‌های مورد آزمون همگن می‌باشند.

برای تحلیل بارش حداکثر ۲٤ ساعته، آمار ایستگاه‌های آستانه، سمنان، شاهرود، طرود، مهدیشهر، چهارده قلعه، رودبار دامغان، صح دامغان و عطاری انتخاب که در جدول (۳) درج شده است. داده‌های ناقص با استفاده از ایستگاه‌های دارای آمار که بیش‌ترین همبستگی را با آن‌ها داشتند بازسازی شدند. روابط همبستگی به‌دست آمده در جدول (٤) ارائه شده است. برای تعیین تواتر بارش حداکثر ۲٤ ساعته پس از رفع نقص‌های آماری با استفاده از نرم‌افزار HYFA آمار ایستگاه‌ها برازش داده شد و بهترین توزیع انتخاب که در جدول (۳) ارائه شده است.

تجزیه و تحلیل بارش: بارندگی عامل ایجاد سیل، فرسایش و یا پدیده‌های مشابه دیگر است، مشخصات ذیل مانند حجم سیلاب، دبی اوج و زمان رسیدن به آن، بستگی به ویژگی‌هائی مانند مدت یا تداوم، شدت و فراوانی وقوع بارش دارد. شدیدترین سیلاب از بارانی ناشی می‌شود که تداوم آن برابر زمان تمرکز حوزه آبخیز باشد.

زمان تمرکز یک پارامتر فیزیکی بوده که مقدار آن برای حوزه‌های مختلف متفاوت است. برای برآورد سیلاب در یک حوزه حداکثر شدت بارندگی در تداوم‌هایی که مقدار آن برابر زمان تمرکز حوزه باشد، لازم است. در طراحی سازه‌های آبی، تداوم‌های مختلف، مقدار و شدت بارندگی اساس کار را تشکیل می‌دهند.

جدول ۲- ویژگی‌های ایستگاه‌های هواشناسی مورد استفاده در محدوده طرح

ردیف	نام ایستگاه	ارتفاع از سطح دریا (متر)	مشخصات جغرافیایی		سال تأسیس	نوع ایستگاه
			طول	عرض		
۱	سمنان	۱۱۷۱	۵۲-۱۶	۳۵-۳۳	۱۳۴۳	سینوپتیک
۲	شاهرود	۱۳۴۵	۵۵-۰۲	۳۶-۲۵	۱۳۳۸	سینوپتیک
۳	دامغان	۱۱۷۰	۵۴-۲۲	۳۶-۱۳	۱۳۳۶	اقلیم‌شناسی
۴	آستانه	۱۴۵۰	۵۴-۰۶	۳۶-۱۶	۱۳۶۲	باران‌سنجی
۵	رودبار دامغان	۱۷۵۰	۵۴-۱۰	۳۶-۲۱	۱۳۶۲	باران‌سنجی
۶	صح	۱۴۵۰	۵۳-۳۸	۳۵-۵۹	۱۳۶۱	باران‌سنجی
۷	بشم فیروزکوه	۲۳۳۰	۵۳-۰۴	۳۵-۴۱	۱۳۵۴	باران‌سنجی
۸	درجزین	۱۳۸۰	۵۳-۲۰	۳۵-۳۹	۱۳۶۱	باران‌سنجی
۹	عطاری	۱۷۰۰	۵۳-۳۹	۳۵-۴۴	۱۳۶۱	باران‌سنجی
۱۰	خیرآباد	۱۰۹۵	۵۳-۱۲	۳۵-۳۳	۱۳۵۲	باران‌سنجی
۱۱	مهدی‌شهر	۱۷۰۰	۵۳-۳۹	۳۵-۴۲	۱۳۶۱	باران‌سنجی
۱۲	پیرده	۲۲۵۰	۵۲-۴۶	۳۵-۴۰	۱۳۴۶	باران‌سنجی
۱۳	امیریه	۱۹۹۵	۵۲-۴۸	۳۵-۴۱	۱۳۴۶	باران‌سنجی
۱۴	سرخه	۱۱۵۰	۵۳-۱۳	۳۵-۲۸	۱۳۶۱	باران‌سنجی
۱۵	بشم بن	۲۱۸۰	۵۲-۱۶	۳۵-۵۴	۱۳۶۴	باران‌سنجی
۱۶	فیروزکوه	۱۹۹۵	۵۲-۴۵	۳۵-۴۵	۱۳۶۵	باران‌سنجی
۱۷	تاش	۲۴۴۰	۵۴-۵۲	۳۶-۳۵	۱۳۵۱	باران‌سنجی
۱۸	بسطام	۱۵۰۰	۵۵-۰۰	۳۶-۲۹	۱۳۵۱	تبخیرسنجی و باران‌سنج ثبات
۱۹	مجن	۲۳۵۰	۵۴-۴۰	۳۶-۲۹	۱۳۶۲	تبخیرسنجی
۲۰	شهمیرزاد	۲۳۰۰	۵۴-۲۱	۳۵-۴۷	۱۳۶۷	تبخیرسنجی و باران‌سنج ثبات

جدول ۳- بارش حداکثر ۲۴ ساعته با دوره برگشت‌های مختلف برای ایستگاه‌های انتخاب شده

ایستگاه	دوره برگشت (سال)							توزیع مناسب
	۱۰۰	۵۰	۲۵	۲۰	۱۰	۵	۲	
سمنان	۳۵	۳۳	۳۱	۳۰	۲۸	۳۵	۱۹/۵	لوگ پیرسون
شاهرود	۴۲/۶	۴۰/۵	۳۸/۲	۳۷/۳	۳۴/۶	۳۱/۲	۲۴/۸	پیرسون
رودبار دامغان	۵۱/۲	۴۷	۴۲/۶	۴۱/۲	۳۶/۵	۳۱/۳	۲۳	لوگ پیرسون
چهارده قلعه	۳۳/۲	۳۱/۳	۲۹/۴	۲۸/۷	۲۶/۷	۲۴/۷	۲۱/۶	گامبل
مهدی‌شهر	۴۵/۸	۴۴/۲	۴۲/۲	۴۱/۶	۳۹/۳	۳۶/۵	۳۱/۱	پیرسون
طرود	۷۲/۲	۶۰/۲	۴۹	۴۵/۷	۳۵/۶	۲۶/۱	۱۴	لوگ نرمال سه پارامتر
صح	۵۱/۷	۴۸/۹	۴۵/۷	۴۴/۶	۴۰/۹	۳۶/۴	۲۷/۸	پیرسون
عطاری	۳۲/۹	۳۱	۲۹/۴	۲۸/۹	۲۷	۲۴/۸	۲۰/۶	پیرسون
آستانه	۸۰/۴	۶۱	۴۶/۵	۴۲/۱۴	۳۱/۶	۲۳/۲	۱۵	لوگ پیرسون

جدول ٤- روابط بارش حداکثر ٢٤ ساعته

X	Y	ضریب رگرسیون	معادله
صح	رودبار دامغان	R= ٧٢.	$Y = 7/293X + 0/6$
چهارده قلعه	آستانه	R= ٠/٦٤	$Y = 2/093X - 27/62$
شاهرود	عطاری	R= -٠/٢٨	$Y = -19/0X + 25/4$

جدول ٥- ایستگاه‌های انتخاب شده برای تعیین گرادیان بارش، متوسط بارش سالانه و ارتفاع آن

ایستگاه	بارش سالانه (میلی‌متر)	ارتفاع (متر)	ایستگاه	بارش سالانه (میلی‌متر)	ارتفاع (متر)
سمنان	١٣٨/٢	١١٧١	سرخه	١٠٢	١١٥٠
آستانه	١٢٢/٧	١٤٥٠	بشم بن	١٩٢	٢١٨٠
رودبار	١٣٤/٣	١٧٥٠	شهمیرزاد	٢٤٢	٢٣٠٠
صح	١٥٢/٣	١٤٥٠	فیروزکوه	٢٨٤/٥	١٩٥٠
بشم فیروزکوه	٢٨٢/٥	٢٣٣٠	بسطام	١٧٣	١٥٠٠
درجزین	١٣٣	١٣٨٠	مجن	٢٥٨	٢٣٥٠
عطاری	١٦٩	١٧٠٠	دامغان	١١٢	١١٨٠
خیرآباد	١٤٠/٢	١٠٩٥	شاهرود	١٦٦	١٣٤٥
مهدی‌شهر	٢٣٤	١٧٠٠	تاش	٢٧٩/٥	٢٤٤٠
پیرده	١٦٩	٢٢٥٠	طرود	٨٦/٧	٨٢٠
امیریه	٢٤٧/٢	١٩٩٥	فرومد	١٥٢/٧	١٢٥٠

جدول ٦- مقدار بارش حداکثر ٢٤ ساعته در حوزه مطالعاتی

بارش متوسط سالانه (میلی‌متر)	بارش حداکثر ٢٤ ساعته (میلی‌متر)	ارتفاع متوسط (متر)
٢٠٢/٧	٢٧/٣	١٨٧٧/٦

در یک دوره بازگشت معین، شدت بارش با تداوم آن نسبت عکس دارد. بدین ترتیب که هر چه مدت بارش کوتاه‌تر باشد، شدت بارش زیادتر خواهد بود، برعکس بارانهای بلندمدت از شدت کم‌تری برخوردار هستند. برای تجزیه و تحلیل بارش‌های کوتاه مدت، از آمار ایستگاه سینوپتیک شاهرود استفاده شده است.

رژیم بارندگی در محدوده مورد مطالعه مانند اکثر مناطق کشور، مدیترانه‌ای است. بدین‌معنی که فصل بارش متمرکز بر ماه‌های سرد سال می‌باشد و فصل خشک در تابستان اتفاق می‌افتد. حداکثر بارش در منطقه معمولاً در ماه‌های بهمن و اسفند رخ می‌دهد. مقادیر بارش ماهانه و فصلی در منطقه بر اساس ایستگاه‌های سمنان، رودبار دامغان، چهارده قلعه، صح دامغان، عطاری، آستانه و شاهرود محاسبه و برآورد شده است.

هوای گرم و مرطوب هر قدر به مناطق مرتفع صعود نماید، زودتر سرد شده و بارش بیش‌تری تولید می‌شود تا جایی‌که رطوبت هوا کاهش پیدا کند، ادامه می‌یابد. با توجه به مطالعات انجام شده در ایران تا ارتفاع ٣٥٠٠ متری بارندگی افزایش دارد. برای تعیین رابطه همبستگی بین بارش و ارتفاع ایستگاه‌هائی از منطقه مطابق جدول (٥) انتخاب شدند و معادله گرادیان بارش استخراج شد.

معادله گرادیان برای بارش متوسط سالیانه و معادله گرادیان بارش حداکثر ٢٤ ساعته برای منطقه به‌ترتیب به‌صورت روابط (٨) و (٩) می‌باشند:

رابطه (٨)

$P = ٠/١٠٦٦ + ٢/٥٤٨٩\ H \qquad R = ٠/٨٤$

رابطه (٩)

$P_{٢٤} = ٠/٠٠٨٧ + ١٠/٩٦٤\ H \qquad R = ٠/٥٣$

که در آن‌ها، P بارش متوسط سالانه به میلی‌متر، $P_{٢٤}$ بارش حداکثر ٢٤ ساعته به میلی‌متر و H ارتفاع به متر است.

با توجه به دو معادله فوق، مقادیر بارش حداکثر ٢٤ ساعته و متوسط سالانه برای حوزه برآورد و در جدول (٦) درج شده است.

بررسی دما در منطقه: با توجه به مطالعات میانگین روزانه دما ٨/٦ درجه سانتی‌گراد در فیروزکوه تا ١٩ درجه در طرود متغیر می‌باشد. میانگین دما در حوزه مورد مطالعه برحسب سانتی‌گراد به‌دست آمده

است. بر اساس روابط گرادیان دما در منطقه، دمای متو.سط ماهانه حوزه محاسبه و در جدول (۷) درج شده است.

بررسی تبخیر و ارتباط آن با تغییرات ارتفاع: بر اساس مطالعات انجام شده طرح جامع آب کشور، محدوده مورد مطالعه در ناحیه ۱٤ تبخیری کشور قرار می‌گیرد. این ناحیه نسبتاً وسیع بوده و زیرحوزه‌های حبله‌رود، رودبار دامغان، مجن و دریاچه مجن را نیز در بر می‌گیرد. معادله گرادیان ارائه شده برای این ناحیه به‌صورت رابطه (۱۰) می‌باشد.

رابطه (۱۰)

$$E = ۳۰٦۸/۲ \, EXP - ۰/۰۰۰۲H \quad R= ۰/٦۰۷$$

که درآن، E تبخیر متوسط سالانه، H ارتفاع به متر، R ضریب همبستگی است.

مقدار تبخیر متوسط سالانه در حوزه مورد مطالعه محاسبه و برابر ۲۲۵۷ میلی‌متر بوده است. تبخیر ماهانه با استفاده از روابط منطقه‌ای برآورد می‌شود که در جدول (۸) آورده شده است.

طبقه‌بندی اقلیمی به‌روش دومارتن: دومارتن بین درجه حرارت و مقدار رطوبت رابطه تجربی (۱۰) را ارائه داده است:

رابطه (۱۱)

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

که در آن، I ضریب خشکی،T متوسط درجه حرارت سالانه به سانتی‌گراد و P بارش متوسط سالانه به میلی‌متر است.

بر اساس رابطه فوق ضریب خشکی محاسبه و اقلیم منطقه تعیین شده است. بنابراین بر اساس مقدار ضریب خشکی به‌دست آمده برابر٤ /۱۰، محدوده مورد مطالعه خشک تا نیمه‌خشک می‌باشد.

هیدرولوژی: یکی از عوامل مهم در تصمیم‌گیری شرایط اجرائی پروژه سدهای زیرزمینی بررسی وضعیت هیدرولوژیکی حوزه آبخیز منتهی به آن می‌باشد. در این راستا، به منظور اطلاع از وضعیت آب‌های سطحی و با عنایت به این که حوزه مورد مطالعه فاقد ایستگاه اندازه‌گیری است، آمار و اطلاعات ایستگاه‌های مجاور اخذ و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. ایستگاه‌هایی که داده‌های آن‌ها در این گزارش مورد استفاده قرار گرفته است در جدول (۹) آورده شده است.

تعیین آبدهی حوزه: به‌منظور تعیین آبدهی حوزه پس از اخذ آمار و اطلاعات و بررسی صحت و سقم آن‌ها مقادیر آبدهی متوسط ماهانه و سالانه حوزه‌ها استخراج و در جدول (۱۰) درج گردیده است. با استفاده از روابط به‌دست آمده آبدهی حوزه کوهزر در ماه‌های مختلف و سالانه استخراج و در جدول (۱۱) درج شده است. حجم کل آبدهی سالانه حوزه با توجه به روابط به‌دست آمده برابر با ٥٦۷٦٤۸۰ متر مکعب می‌باشد. با توجه به حجم بارش حوزه که برابر با ۲٤٤۲۰۸٥ متر مکعب می‌باشد، ضریب روان‌آب به‌دست

جدول ۷- دمای ماهانه حوزه مطالعاتی (سانتی‌گراد)

مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور
۱۲/۱	۷/۱٦	۱/۸	-۳/۰	-۳/۸	۱/۸	۷/۹	۱٤/۹	۱۷/۳	۱۲/۱	۲۰/٦	۱۷/۸

جدول ۸- مقادیر تبخیر ماهانه و روابط آنها در حوزه مطالعاتی (میلی‌متر)

مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور
۲۲	۸۸	٤۲/٤	۳٥/۲	۳٥	٦۰	۱۱٥/٥	۱٦۸	۲۲۲	۲۷۰	۲۷۷	۲۳٦/٦

جدول ۹- مشخصات ایستگاه‌های مورد استفاده برای مطالعه آبهای سطحی حوزه کوهزر

نام زیرحوزه	مساحت km^2	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	کد
درجزین (خروجی دامغان)	۳۲٦	٥٤°-۰٦′	۳٦°-۱٦′	٤۷-۰۲۳
دامغان‌رود	٦۲۰	٥٤°-۰٦′	۳٦°-۲۰′	٤۷-۹٤۱
تنگه رامه	۱۷۱	٥۲°-۱۳′	۳٥°-۲۲′	٤۷-۹٤۲
فرحزاد تاش	۱۱۰	٥٤°-٤۲′	۳٦°-۳۱′	٤۷-۰۳٥٤
رارک	۷۷۱	٥۲°-۰٤′	۳٥°-۲۱′	٤۷-۱۲۹
لب رود	۱۳۱۰	٥٤°-۱۳′	۳٦°-۱۳′	٤۷-۰۲۹
مجن	۷۲	٥٤°-۳۸′	۳٦°-۲۹′	٤۷-۰۳۱
مجن دوراهی	۱٤٤	٥٤°-۳٦′	۳٦°-۲۸′	٤۷-۰۳۳

آمده بیشتر از ۱ بوده و این بدان معنی است که استفاده از روابط تحلیل منطقه‌ای برای حوزه‌های کوچک دارای اعتبار نمی‌باشد. برای برآورد آبدهی و ضریب روان‌آب با دقت بهتر از روش‌های تجربی مانند روش خسلاو، تعیین بیلان آبی حوزه و روش تجربی شورای تحقیقات کشاورزی هند ICAR استفاده شده است که در جدول (۱۲) ارائه شده است.

تعیین بیلان آبی حوزه:

برآورد تبخیر و تعرق واقعی: یکی از روش‌های برآورد تبخیر و تعرق واقعی حوزه‌ها استفاده از فرمول تورک است که به صورت رابطه تجربی (۱۲) ارائه داده است.

رابطه (۱۲)

$$D = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \frac{P^2}{L^2}}} \qquad L = 0.05t^3 + 25t + 300$$

که در آن، D تبخیر و تعرق واقعی، P بارش سالانه به میلی‌متر و t درجه حرارت متوسط سالانه به درجه سانتی‌گراد است. بر اساس روش تورک مقدار تبخیر و تعرق سالانه برابر ۱۹۳/٤ میلی‌متر است.

روش تجربی شورای تحقیقات کشاورزی هند ICAR: این روش بر پایه مدل روان‌آب ارائه شده در کشور هند است که از تحلیل ۱۷ زیر حوزه در آن کشور حاصل شده است. فرمول مورد استفاده به صورت رابطه (۱۲) می‌باشد.

رابطه (۱۳)

$$Q = \frac{1.511 \times P^{1.4}}{t^{1.3} \times A^{0.0613}}$$

که در آن، Q ارتفاع روان‌آب متوسط سالانه به سانتی‌متر، P ارتفاع بارندگی سالانه به سانتی‌متر، A مساحت حوزه کیلومتر مربع و T درجه حرارت متوسط به سانتی‌متر است.

بر اساس روش فوق مقدار روان‌آب برابر ۵۲/۹ میلی‌متر برآورد شده است که ضریب روان‌آب برابر ۰/۲٦ می‌باشد.

تعیین میزان نفوذ: بخش قابل توجهی از حوزه کوهزر را تشکیلات آندزیتی تشکیل می‌دهند. این تشکیلات علی‌رغم وجود درز و شکاف محدود، دارای نفوذپذیری کمی می‌باشند، آبراهه‌های اصلی و اغلب آبراهه‌های فرعی درشت دانه بوده و از نفوذپذیری خوبی برخوردار هستند. نفوذپذیری بالا در بستر آبراهه‌ها باعث نفوذ آب‌ها به داخل زمین شده و به لایه آب‌دار می‌رسند که نقش قابل ملاحظه‌ای در

جدول ۱۰- آبدهی ماهانه و سالانه زیرحوزه‌ها (متر مکعب بر ثانیه)

زیرحوزه	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	سالانه
درجزین	۰/۲٤	۰/۳۰	۰/۲٦	۰/۲۷	۰/۲۹	۰/۳۲	۰/۳۷	۰/۳۹	۰/۲۷	۰/۲۲	۰/۲۲	۰/۳۳	۰/۲۹
دامغان‌رود	۰/۱۸	۰/۲۲	۰/۲	۰/۲۵	۰/۲۸	۰/۲۷	۰/۳	۰/۲۸	۰/۲۵	۰/۱۵	۰/۲٤	۰/۲٤	۰/۲۳
تنگه رامه	۰/۲۱	۰/۳۱	۰/۲۵	۰/۲٦	۰/۲۵	۰/۱۷	۰/٤۵	۰/٤۲	۰/۲٦	۰/۱۷	۰/۱۹	۰/۱۷	۰/۲٦
فرحزاد تاش	۰/۳	۰/۵	۰/۳۹	۰/۳۸	۰/٤۱	۰/٦	۰/۵۷	۰/۷۷	۰/۵۱	۰/۲۷	۰/۱۷	۰/۲٦	۰/٤۲
رارک	۰/۰۳	۰/۰٤	۰/۲۵	۰/۵۹	۰/۲۷	۰/٦۷	۱	۰/۵۹	۰/۰۱	۰/۰۳	۰/۰۹	۰/۰۱	۰/۳
لب رود	۱/۸٦	۱/۰۹	۱/۰۱	۱/۰۳	۱/۱٤	۱/۱۵	۱/۱۸	۱/۰٦	۰/۸۸	۰/۷٤	۰/۸۳	۰/۸۷	۱/۰۷
مجن	۰/۱٤	۰/۱۳	۰/۱۱	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۰۹	۰/۱۷	۰/۳۲	۰/٤۳	۰/۳	۰/۳	۰/۲٤	۰/۱۹
مجن دوراهی	۰/۲۵	۰/۵٦	۰/٦	۰/٤۳	۰/۳٦	۰/۲۸	۰/۱۷	۰/۳۳	۰/٤۵	۰/۳۲	۰/۳۱	۰/۲۵	۰/۳۵

جدول ۱۱- آبدهی حوزه کوهزر در ماه‌های مختلف و سالانه

مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	سالانه
۰/۱۱	۰/۲۳	۰/۲۰	۰/۱۷	۰/۱٤	۰/۱۸	۰/۲۲	۰/۳٤	۰/۳۰	۰/۱۷	۰/۱٤	۰/۱٤	۰/۱۸

جدول ۱۲- برآورد آبدهی و ضریب روان‌آب به‌روش‌های خسلاو، تحلیل منطقه‌ای وICAR (میلی‌متر)

ردیف	روش	آبدهی	ضریب روان‌آب
۱	خسلاو	۱۵۸/۵	۰/۷۸
۲	خسلاو اصلاح شده	۱۵٦/۲	۰/۷۷
۳	ICAR	۵۲/۹	۰/۲٦
٤	تحلیل منطقه‌ای	۲۳۲	بیش از ۱

نگه‌داری آب دارند. براساس محاسبات انجام شده توسط شرکت آب و فاضلاب روستایی در گزارش منابع آب حوزه‌های کوهزر و شیمی‌کلو، ۷۹٪ سطح حوزه را تشکیلات آندزیتی و ۲۱٪ مناطق پوشیده از خاک هستند. هم‌چنین میزان نفوذ در سنگهای آندزیتی ۲۱٪ و در سطوح پوشیده خاک برابر ۳٪ برآورد گردیده است [٤]. با توجه به داده‌های فوق مقدار نفوذ برابر با ۱۷٪ میزان بارندگی به‌دست آمده است و ارتفاع آن برابر ۳٤/۵۱ میلی‌متر می‌باشد که باعث تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی می‌شود و دارای حجمی برابر ٤۱۵۱۵٤/٦ متر مکعب می‌باشد.

بیلان آبی حوزه: بیلان آبی یک حوزه مطابق رابطه (١٤) از طریق تعیین میزان روان‌آب، تبخیر و تعرق و نفوذ به‌دست می‌آید.

$$P = I + R + E$$ رابطه (١٤)

که در آن، P بارش متوسط سالانه، I میزان نفوذ، R مقدار روان‌آب و E تبخیر و تعرق واقعی است.

چون تعیین پارامترهای فوق جهت تعیین بیلان آبی حوزه دارای اهمیت است، لذا پارامترها به‌روش‌های مختلف اندازه‌گیری یا برآورد شده است. بارش متوسط حوزه با استفاده از معادله گرادیان منطقه‌ای محاسبه و برابر ۲۰۳ میلی‌متر می‌باشد. برای تعیین ضریب روان‌آب از روش‌های روابط منطقه‌ای، خسلاو، تورک، کوتاین، روش تجربی شورای تحقیقات هند استفاده شده است. چنان‌چه از مقادیر به‌دست آمده مشخص است، به‌دلیل این که فرمول منطقه‌ای رابطه بین روان‌آب حوزه‌ها و مساحت بوده است و دامنه مساحت حوزه‌ها از حوزه مورد مطالعه بیش‌تر بوده است ضریب به‌دست آمده از یک بیش‌تر بوده است که فاقد اعتبار است. روش خسلاو مقدار روان‌آب را ۱۵۸/۵ میلی‌متر برآورد می‌نماید که برابر ۷۸٪ می‌باشد، با توجه به شرایط حوزه بیش‌تر از حد می‌باشد. روش تورک نیز مقدار روان‌آب را بیش از حد یعنی حدود ۹۵٪ برآورد می‌نماید، لذا فاقد اعتبار است. روش کوتاین به‌دلیل این‌که شرایط لازم برای کاربرد را ندارد قابل استفاده نبوده است. رابطه ارائه شده توسط شورای کشاورزی هند ضریب روان‌آب را ۲٦٪ برآورد می‌نماید که قابل اعتمادتر از سایر روش‌ها است. بر اساس محاسبات انجام شده مقدار نفوذ با توجه به تشکیلات زمین‌شناسی منطقه که بیش‌تر آن را آندزیت تشکیل می‌دهد، برابر ۱۷٪ می‌باشد که برابر ۳٤/۵ میلی‌متر است. با استناد به داده‌های فوق طبق رابطه (۱۵) مقدار تبخیر و تعرق واقعی بر حسب میلی‌متر برابر است با:

$$E = P - I - R$$ ۲۰۳-۳٤/۵-۵۲/۹ =۱۱/۵٦ رابطه (۱۵)

حجم آب ناشی از نفوذ در حوزه برابر با ٤۱۵۱۵٤/۵ متر مکعب است که با توجه به عدم وجود آب زیرقشری از حوزه خارج می‌شود. حجم آب موجود در حوزه ناشی از روان‌آب و نفوذ حوزه برابر ۱۰۵۰۰۹٦/۵ متر مکعب است که قابل برنامه‌ریزی می‌باشد.

منابع

۱- بهرنگی، ع. ۱۳۸۰. سدهای زیرزمینی، راهی به سوی توسعهٔ منابع آب زیرزمینی و مقابله با بحران آب، اولین همایش بررسی راه‌کارهای مقابله با بحران آب، زابل.

۲- خیرخواه، م. ناصری، ح. داودی، م.ه و سلامی، ه. ۱۳۸۷. استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی در اولویت‌بندی مکان‌های مناسب احداث سدهای زیرزمینی، مجله پژوهش و سازندگی. ۷۹: ۱۰۱- ۹۳.

۳- صفی‌نژاد، ج. و دادرس، ب. ۱۳۷۹. سد زیرزمینی قنات وزوان میمه اصفهان، مؤسسهٔ ملی گنجینهٔ آب ایران. ۲٤۰ ص.

٤- طباطبائی، ج.، داودی م.ه.، مجیدی، ع.، گوهری، ا.، کسائیان، ع. و حاجب، م. ۱۳۹۰. ارزیابی بهره‌برداری از جریانات زیرسطحی به‌وسیله احداث سدهای زیرزمینی کوهزر استان سمنان، طرح پژوهشی پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری. ۱۵۵ص.

۵- معزی، م و برومند، پ. ۱۳۸۳. سدهای زیرزمینی. یازدهمین کنفرانس دانشجویان عمران (CESC)، دانشگاه هرمزگان، ٦ ص.

٦- هاشمی، ز. ۱۳۸۱. بررسی نهشته‌های کواترنری شمال حوزه‌آبخیز کویر حاج علیقلی به‌منظور تعیین مکان‌های مناسب جهت احداث سدهای زیرزمینی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شمال.

7- Aoi, T. 1992. A Construction of Subsurface Dam at Nakajima Island. IRCSA, Regional Conference. 644-651.

8- Foster, S. and Tuinhof, A. 2004. Subsurface Dams to Augment Groundwater Storage in Basement Terrain for Human Subsistence Brazilian and Kenyan experience, World Bank Groundwater Advisory Team, No. 5.

9- Pearlman, L.1999. Subsurface Contaminant and Monitoring Systems: Barriers and Beyond. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC. Overview Report, p.61.