دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه اصلاح گیاهان زراعی

شبیه‌سازی جریان زیرسطحی برای تعیین مناطق مستعد احداث سد زیرزمینی با استفاده از مدل SWAT (مطالعه موردی: حوزه آبخیز رودخانه درونگر درگز)

احسان زاهدی[۱]، علی طالبی[۲]، سید عباس طباطبائی[۳]، آرزو رئیسی[۴] و مجید آسیایی[۴]

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، دانشگاه یزد، (نویسنده مسوول: eh_zahedi@yahoo.com)
۲ و ۴- دانشیار و دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه یزد
۳- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
تاریخ دریافت: ۹۲/۱۰/۱۶ تاریخ پذیرش: ۹۳/۴/۳۱

چکیده

سدهای زیرزمینی سازه‌هایی هستند که جریان طبیعی آب‌های زیرزمینی را مسدود نموده و سبب ایجاد ذخایر آبی در زیرزمین می‌شوند. در این مطالعه ابتدا با استفاده از منطق بولین و پارامترهای زمین‌شناسی، کاربری اراضی، شیب، فاصله از گسل و فاصله از جاده، ۱۸ منطقه مستعد احداث سد زیرزمینی مشخص شد. در بحث سد زیرزمینی، جریان زیرسطحی از اهمیت بالایی برخوردار است به طوری که اگر با احداث سد در زیر سطح زمین آن منطقه دارای جریان‌های زیرسطحی مناسب نباشد احداث سد با وجود مطالعات و هزینه‌های فراوان با شکست مواجه می‌شود. لذا در این تحقیق از مدل SWAT برای شبیه‌سازی بیلان آب و جریان زیرسطحی حوزه درونگر استفاده شد و با استفاده از آن مناطقی که دارای جریان زیرسطحی مناسب هستند شناسایی و از این پارامتر برای مکان‌یابی و اولویت‌بندی مناطق مستعد استفاده شد. با اجرای مدل SWAT در حوزه آبخیز درونگر در مرحله واسنجی مقادیر ضریب همبستگی، ضریب همبستگی وزنی و شاخص NS (نش ساتکلیف) به ترتیب برابر ۰/۷۷، ۰/۷۵ و ۰/۶۸ و در مرحله اعتبارسنجی برابر ۰/۷۱، ۰/۶۷ و ۰/۶۱ حاصل شد که این ضرایب نشان می‌دهد مدل SWAT با توجه به نتایج حاصل از شبیه‌سازی، در حوزه درونگر کارایی قابل قبولی دارد. نتایج حاصل شده از شبیه‌سازی جریان زیرسطحی نشان می‌دهد که مناطق شمالی و جنوبی حوزه درونگر دارای جریان زیرسطحی بالاتری نسبت به مناطق مرکزی حوزه می‌باشد که این موضوع نشان دهنده آن است که این مناطق جهت احداث سد زیرزمینی نسبت به سایر مناطق استعداد بیش‌تری دارا می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: سد زیرزمینی، جریان زیرسطحی، مدل SWAT، حوزه آبخیز درونگر

مقدمه

با توجه به پتانسیل تغییرپذیری آب و هوا و روند مصرف فعلی نگرانی از ایجاد بحران آب در سراسر جهان در آینده وجود دارد (۴). یکی از روش‌هایی که جهت بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی به هر دو شکل مدرن و سنتی در گذشته و حال، به طور عمده در نقاط خشک دنیا مورد استفاده قرار گرفته است، سدهای زیرزمینی می‌باشد. سد زیرزمینی سازه جمع آوری کننده جریانات زیرسطحی است که در زیر سطح زمین احداث می‌شود. لذا می‌توان جریانات زیرقشری و سطحی را در فصول پرباران که نیاز به آب کمتر است، ذخیره کرده و در مواقع کم‌آبی برای شرب، کشاورزی، صنعت استفاده کرد. این سازه به صورت یک پرده آب بند در عمق آبرفت مسیل‌هایی که دارای جریان سطحی قابل توجه نیستند احداث می‌شود و به کمک آن علاوه بر جمع‌آوری و کانالیزه نمودن کل جریان زیرقشری، باعث بالا آمدن سطح آب و ایجاد یک مخزن آب زیرزمینی مصنوعی در بالادست سد نیز می‌شوند. آب ذخیره شده در این نوع سدها جهت تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی و هم چنین افزایش تراز سطح آب زیرزمینی و در دسترس قرار دادن جریانات زیرسطحی برای کشاورزان مورد استفاده قرار می‌گیرد (۱۳). جریان زیرسطحی جریان‌هایی هستند که پس از نفوذ در خاک و رسیدن به لایه غیرقابل نفوذ در عمق کمی از سطح زمین به صورت مایل تا افقی حرکت کرده و در شبکه هیدروگرافی تخلیه می‌گردند.

ذخیره‌سازی زیرسطحی برای تأمین آب یا جلوگیری از نفوذ آب شور به سفره‌های آب زیرزمینی پتانسیل زیادی از اثرات زیست‌محیطی و اجتماعی این نوع سدها را نشان می‌دهد (۲۱). سدهای زیرزمینی بر سطح آب زیرزمینی در مناطق بالادست و پایین دست سد و هم‌چنین کیفیت آب تأثیر می‌گذارد (۲۳).

مهم‌ترین مشکل در توسعه و ایجاد سدهای زیرزمینی پیچیدگی تعیین مناطق مناسب احداث سد می‌باشد. این مشکلات از آنجا ناشی می‌شود که معیارها و عوامل زیادی شامل معیارهای فیزیکی و اجتماعی- اقتصادی در مکان‌یابی مناسب آن‌ها دخیل می‌باشند. بررسی و تعیین این عوامل در عرصه با استفاده از روش‌های سنتی بسیار پرهزینه بوده و نیاز به صرف وقت بسیار دارد (۷). با توجه به این که در بحث سد زیرزمینی، جریان زیرسطحی از اهمیت بالایی برخوردار است به طوری که اگر با احداث سد در زیر سطح زمین آن منطقه دارای جریان‌های زیرسطحی مناسب نباشد احداث سد با وجود مطالعات و هزینه‌های فراوان با شکست مواجه می‌شود. در مورد سد زیرزمینی و مدل‌سازی جریان زیرسطحی مطالعات فراوانی صورت گرفته که از آن جمله می‌توان به تحقیقات فورزیری و همکاران (۶)، اورینت و همکاران (۱۴)، جمالی و همکاران (۹)، ایشیدا و همکاران (۸)، وانگ و بروباکر (۲۱) و سان و کورنیش (۱۴) اشاره کرد.
ایشیدا و همکاران (۶) در تحقیقی با عنوان استفاده پایدار از آب به وسیله احداث سدهای زیرزمینی، به مرور اصول اولیه سدهای زیرزمینی، روش ساخت و مشکلات سد زیرزمینی در سراسر جهان پرداختند. آنها وجود سدهای زیرزمینی در طیف

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-12-31]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1395.7.14.20.2]
[DOI: 10.29252/jwmr.7.14.215]

گسترده‌ای از کشورهای جهان نظیر ژاپن، کره، چین، هند،اتیوپی، کنیا، برزیل و آمریکا را گزارش کرده‌اند. جمالی و همکاران (۷) در تحقیقی به مکان‌یابی مناطق مناسب احداث سد زیرزمینی با استفاده از GIS در منطقه بودا کال سوئد پرداختند. این تحقیق یک روش جدید با استفاده از نرم‌افزار GIS که به وسیله روش‌های مدل‌سازی بیلان آب زیرزمینی پشتیبانی شده است برای مکان‌یابی سد زیرزمینی به حساب می‌آید در نهایت شش منطقه جهت احداث سد زیرزمینی مناسب تشخیص داده شد.

سان و کورنیش (۱۹) در تحقیقی به برآورد تغذیه آب‌های زیرزمینی کم عمق در سرچشمه‌های دشت لیورپول با استفاده از مدل SWAT پرداختند و به این نتیجه رسیدند که مدل SWAT یک جایگزین مناسب برای مدل‌سازی نقطه‌ای جهت ارزیابی بیلان آبی می‌باشد. مورتی و همکاران (۱۰) در مطالعه‌ای به کاربرد مدل هیدرولوژیکی نیمه توزیعی SWAT برای پیش‌بینی بیلان آب حوزه آبخیز کن هند پرداختند. این مطالعه نشان داد که SWAT مدلی مناسب برای ارزیابی هیدرولوژیکی حوزه کن می‌باشد. نتایج بررسی بیلان آبی در آبخیز کن نشان داد متوسط بارش سالانه در حوزه کن حدود ۱۱۳۲ میلی‌متر می‌باشد و حدود ۲۳ درصد از این مقدار بارندگی به جریان سطحی، چهار درصد به جریان آب زیرزمینی و حدود ۷۳ درصد به تبخیر و تعرق اختصاص یافته است.

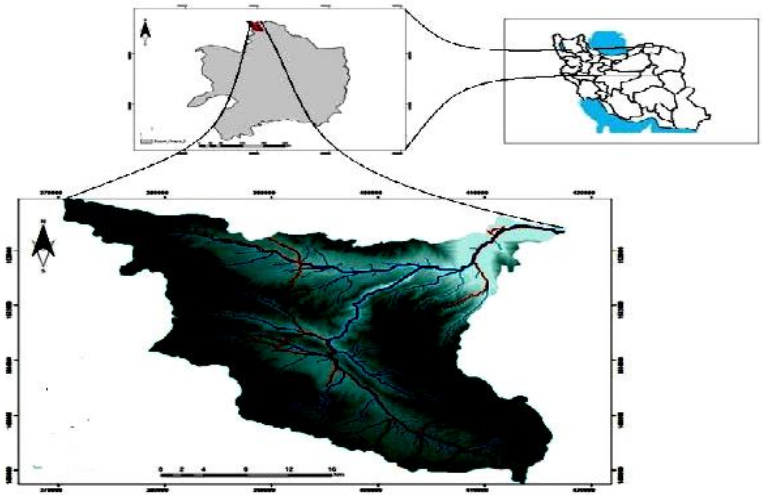
هدف از انجام این مطالعه شبیه‌سازی جریان زیرسطحی حوزه درونگر برای احداث سد زیرزمینی می‌باشد. لذا این تحقیق بر آن است که از مدل SWAT برای شبیه‌سازی بیلان آب و جریان زیرسطحی استفاده شود و با استفاده از آن، مناطقی که دارای جریان زیرسطحی است شناسایی شده و از این پارامتر برای مکان‌یابی و اولویت‌بندی مناطق مستعد استفاده شود.

مواد و روش‌ها

محدوده مورد مطالعه در شمال شرق کشور و شمال استان خراسان رضوی واقع شده و بخش شمالی حوزه با کشور ترکمنستان هم‌مرز می‌باشد. این آبخیز بین مختصات جغرافیایی ۴۰ ۱۱ ۵۸ تا ۳۸ ۳۹ ۵۸ طول شرقی و ۵۵ ۳۷ ۳۷ تا ۱۳ ۴۱ ۳۷ عرض شمالی واقع شده و مساحت آن ۹۸۲۳۹ هکتار می‌باشد. از نظر تقسیم‌بندی کلی حوزه‌های آبخیز ایران، محدوده مورد مطالعه بخشی از حوزه آبخیز کشف‌رود و هریرود (کویر قره قوم) محسوب می‌شود. حوزه مورد مطالعه در استان خراسان رضوی و تقریباً در شمال شهرستان قوچان قرار داشته و شهرستان درگز در شمال شرق حوزه واقع شده است.

رود درونگر که یکی از رودخانه‌های اصلی حوزه مورد نظر به حساب می‌آید، از ارتفاعات آق کمر از مودله، ترکانلو در جنوب باجگیران سرچشمه گرفته و در جهت مشرق جریان می‌یابد و پس از اتصال شاخه‌های فرعی از شمال شهر درگز به شمال شرق متمایل و به داخل خاک ترکمنستان جریان می‌یابد. رژیم آبی این رودخانه برفی بارانی بوده و دارای جریان پایه نسبتاً زیادی می‌باشد (شکل ۱). در گام نخست باید بررسی‌ها برای شناسایی مناطق دارای پتانسیل برای احداث سد زیرزمینی انجام گیرد. برای تسریع در امر، ابتدا لازم است که با در نظر گرفتن تعدادی از معیارها و عوامل کلیدی، نقاط نامناسب حذف شود. با توجه به تحقیقات و پروژه‌های صورت گرفته در مورد سد زیرزمینی عواملی به عنوان عوامل محدودکننده در مورد تعیین مناطق مستعد احداث سد زیرزمینی معرفی شده است. از عواملی که در این مطالعه به عنوان عوامل محدودکننده یا حذفی استفاده شده است، شامل شیب بستر آبراهه، کاربری اراضی، زمین‌شناسی، فاصله از جاده، فاصله از گسل می‌باشد (۱۶). عوامل محدودکننده با استفاده از منطق بولین وزن‌دهی شد. به این ترتیب که به هر یک از لایه‌ها به مناطقی که جهت احداث سد زیرزمینی مناسب نیستند وزن صفر و به مناطق مستعد احداث سد زیرزمینی عدد یک تعلق گرفت و در نهایت با روی هم قرار گرفتن لایه‌ها، مناطق مشترکی پنج لایه دارای وزن یک، به عنوان مناطق مستعد برای احداث سد زیرزمینی انتخاب شد.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-12-31]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1395.7.14.20.2]
[DOI: 10.29252/jwmr.7.14.215]



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی حوزه آبخیز درونگر درگز
Figure 1: Geographical location of the Daroongar watershed in Dargaz

منطق بولین ساده‌ترین و شناخته ترین منطق GIS می‌باشد که بر اساس عملیات بولین عمل می‌کند. وزن‌دهی به واحدها در هر لایه اطلاعاتی در این منطق بر اساس صفر و یک می‌باشد. یعنی در نقشه‌های پایه هر واحد از نظر سد زیرزمینی مناسب یا نامناسب است و حالت بینابینی از لحاظ مناسب بودن وجود ندارد. در نقشه نهایی نیز هر پیکسل، یا مناسب و یا نامناسب تشخیص داده می‌شود. جدول ۱، محدوده طبقات وزن ۱ را در منطق بولین جهت تعیین مناطق مستعد احداث سد زیرزمینی نشان می‌دهد.

جدول ۱- وزن‌های مؤثر پارامترهای مکان‌یابی سد زیرزمینی در اجرای مدل بولین
Table 1. Effective weight parameters of locating underground dam in Boolean model

پارامتر مؤثر	کلاس یا طبقات مؤثر لایه اطلاعاتی	ارزش کلاس
شیب	۰-۵ درصد	۱
کاربری اراضی	مراتع، جنگل تنک، زراعت دیم و آبی	۱
فاسله از گسل	فواصل بیشتر از ۱۰۰ متر	۱
فاصله از جاده	فواصل بیشتر از ۱۰۰ متر	۱
زمین‌شناسی	kal, ksn, ksr, ktr, N, Qal,Qplc	۱

منبع: چزگی (۳)

مدل SWAT

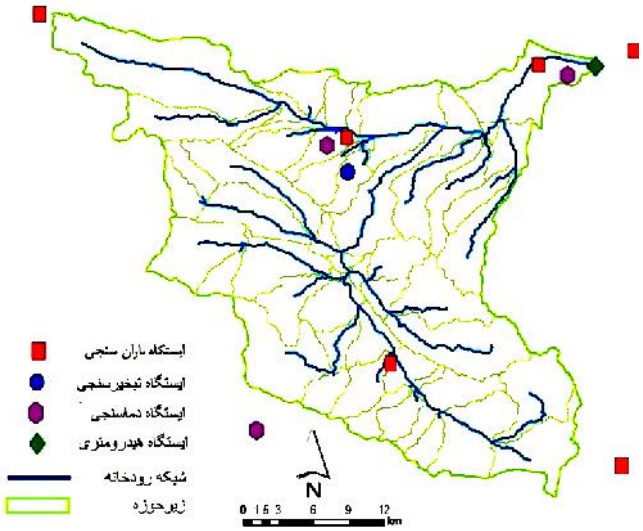
مدل SWAT مدلی در مقیاس حوزه آبخیز است و شبیه‌سازی را در مقیاس روزانه انجام و ناهمگنی‌های مکانی در منطقه مورد مطالعه با تقسیم حوزه به زیرحوزه هایی بررسی می‌شود. زیرحوزه‌ها به تعدادی واحدهای کوچک‌تر (واحدهای واکنش هیدرولوژیک)، تقسیم می‌شوند، این واحدها ترکیبات یکسانی از خاک، پستی و بلندی و کاربری اراضی دارند. بخش‌های اصلی مدل شامل هیدرولوژی، اقلیم، رشد گیاه، آفت‌کش‌ها، مدیریت اراضی و روندیابی جریان است. اجزاء بیلان آب و مدیریت در سطح واحدهای واکنش هیدرولوژیک محاسبه و سپس برای زیرحوزه‌ها میانگین‌گیری وزنی می‌شود. مدل SWAT برای داده‌های اقلیمی از نزدیک‌ترین ایستگاه به مرکز ثقل زیرحوزه استفاده می‌کند. روندیابی جریان توسط روش‌های ذخیره متغیر و ماسکینگام قابل محاسبه است. رواناب سطحی از بارندگی روزانه توسط روش شماره منحنی اصلاح شده محاسبه می‌شود (۱).

معادله بیلان آب که در مدل استفاده می‌شود به صورت رابطه زیر می‌باشد.

$$SW_t = SW_0 + \sum(R_{day} - Q_{surf} - Ea - W_{seep} - Q_{gw}) \quad \text{رابطه (۱)}$$

که در آن SW_t: محتوای آب نهایی در خاک، t زمان (روز)، SW_0 مقدار آب اولیه موجود در خاک، R_{day} مقدار بارش در هر روز، Q_{surf} مقدار رواناب سطحی در هر روز، E_a مقدار تبخیر و تعرق روزانه، W_{seep} مقدار آب نفوذ کرده به منطقه زیرقشری و Q_{gw} مقدار نفوذ به سفره زیرزمینی می‌باشد (۱۲). داده‌های مورد نیاز مدل شامل مدل رقومی ارتفاعی، نقشه‌ی کاربری اراضی، اطلاعات خاک‌شناسی منطقه، داده‌های بارندگی و دما در مقیاس روزانه می‌باشد. شکل ۲ محل قرارگیری ایستگاه‌های اقلیمی در محدوده مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-12-31]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1395.7.14.20.2]
[DOI: 10.29252/jwmr.7.14.215]



شکل ۲- موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی، شبکه آبراهه‌ای و زیر حوزه های آبخیز درونگر.
Figure 2. The location of weather stations, drainage network and sub-basins of watershed Daroongar

نتایج و بحث

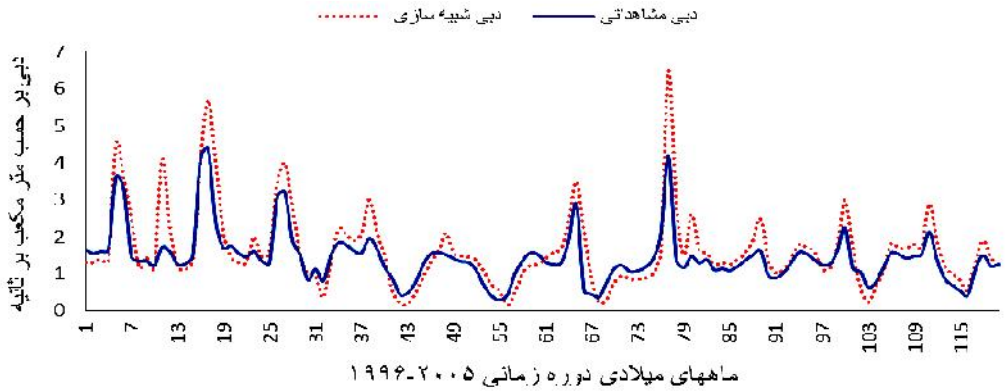
واسنجی مدل SWAT

واسنجی مدل SWAT به دو صورت دستی و هم چنین استفاده از برنامه SUFI2 که در قالب نرم‌افزار SWAT_ CUP به مدل SWAT لینک شده است انجام شد. جهت واسنجی مدل از آمار ده ساله اندازه‌گیری شده (۱۹۹۶ تا ۲۰۰۵)، بارندگی، دما و دبی روزانه استفاده شد. در این مرحله به دفعات مختلف اقدام به اجرای مدل نموده و هر بار با توجه به شاخص‌ها و معیارهای آماری، نتایج را مورد ارزیابی قرار گرفت. مهم‌ترین خطاهای نتایج اولیه عبارت بود از عدم هماهنگی نقاط اوج و شیب هیدروگراف‌ها و کم بودن حجم آب پایه. با استفاده از نتایج آنالیز حساسیت مدل، پارامترهای مؤثر در این بخش‌ها شناسایی شده و در بهینه کردن مدل مورد استفاده قرار گرفت. نتایج مرحله واسنجی در جدول ۲ و شکل ۳ نشان داده شده است. هم چنین جدول ۳ مقادیر بهینه پارامترهای حساس بعد از واسنجی را نشان می‌دهد.

جدول ۲- ارزیابی کارایی مدل در مرحله واسنجی

Table 2. Evaluation of the efficiency of model calibration phase

معیار ارزیابی	مشخصه	مقدار
ضریب ناش- ساتکلیف	NS	۰/۶۸
ضریب تبیین	R^2	۰/۷۷
ضریب تعیین وزنی	Br^2	۰/۷۵



شکل ۳- مقایسه هیدروگراف‌های شبیه‌سازی شده و مشاهداتی در دوره واسنجی با پایه زمانی ماهانه
Figure 3. Comparison of simulated and observed hydrographs during calibration periods based on monthly time

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-12-31]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1395.7.14.20.2]
[DOI: 10.29252/jwmr.7.14.215]

جدول ۳- مقادیر بهینه پارامترهای حساس بعد از واسنجی برای منطقه مطالعاتی

Table 3. The optimum amount of sensitive parameters after calibration for study area

ردیف	پارامتر	عنوان پارامتر	مقدار بهینه	حداقل	حداکثر
۱	R__CN2	شماره منحنی	-۰/۰۱	-۰/۰۲۳	۰/۰۰۵
۲	V__ALPHA_BF	ثابت تخلیه جریان زیرزمینی	۰/۴۳۱	۰/۴۱۴	۰/۴۶۳
۳	V__GW_DELAY	زمان تاخیر انتقال آب به سطح آب زیر زمینی	۱۰۵/۹۵۵	۱۰۲/۲۷۳	۱۰۸/۰۹۶
۴	R__SOL_AWC	ظرفیت آب قابل دسترس	۰/۳۷۰	۰/۳۲۶	۰/۳۹۹
۵	V__GW_REVAP	ضریب تبخیر از سفره زیرزمینی	۰/۲۲۰	۰/۱۹۰	۰/۲۳۶
۶	V__ESCO	ضریب تبخیر خاک	۰/۹۵۶	۰/۹۱۴	۰/۹۷۱
۷	V__CH_N2	ضریب زبری کانال اصلی	۰/۱۵۴	۰/۱۳۲	۰/۱۷۶
۸	V__CH_K2	هدایت هیدرولیکی کانال	۳۷/۳۱۳	۳۳/۹۲۲	۴۱/۶۱
۹	V__ALPHA_BNK	ضریب α آب پایه برای ذخیره ساحلی کانال	۰/۰۱۶۲	-۰/۰۷۵	۰/۰۰۶
۱۰	R__SOL_K	هدایت هیدرو لیکی خاک	۱/۴۸۰	۱/۴۴۱	۱/۵۶۹
۱۱	R__SOL_BD	چگالی خاک در حالت مرطوب	۰/۵۳۸	۰/۵۲۵	۰/۵۵۲
۱۲	V__GWQMN	حداقل ذخیره آب زیرزمینی برای رخ دادن جریان پایه	۰/۲۱۱	۰/۲۰۸	۰/۲۳۴
۱۳	V__SFTMP	متوسط دمای هوا برای بارش برف	۱/۸۲۳	۱/۷۸۹	۱/۸۴۱

اعتبارسنجی مدل

بعد از مرحله واسنجی مدل، به ارزیابی مدل پرداخته شد. ارزیابی مدل نیز نتایج قابل قبولی را در پی داشت. در این مرحله با توجه به پارامترهای واسنجی بهینه شده برای منطقه مطالعاتی، با استفاده از باقی مانده آمار (۲۰۱۰-۲۰۰۶) اقدام به شبیه‌سازی جریان رودخانه شده و این نتایج به عنوان نتایج نهایی اعتبارسنجی مدل در ادامه مقاله ارائه شده است (جدول ۴ و شکل ۴).

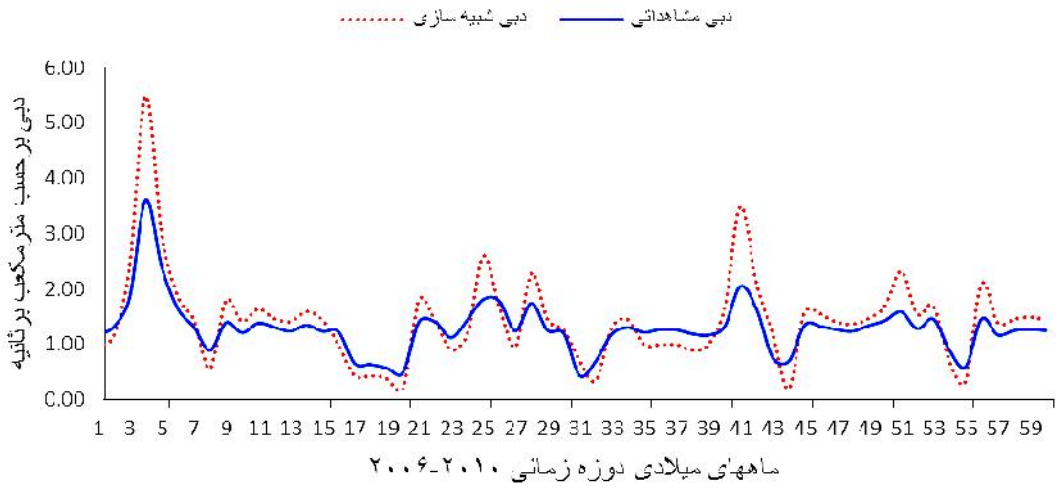
محاسبه جریان زیرسطحی

بعد از اجرای مدل و انجام عملیات‌های واسنجی و اعتبارسنجی با استفاده از خروجی مدل SWAT اقدام به تهیه نقشه جریان زیرسطحی ششد. برای میان‌یابی جریان زیرسطحی از میان روش‌های مختلف کریجینگ، مدل نمایی که نسبت به سایر روش‌ها دارای کم‌ترین مقدار RMSE و بیش‌ترین مقدار همبستگی بود انتخاب شد (شکل ۵).

جدول ۴- ارزیابی نهایی کارایی مدل بعد از اعتبارسنجی

Table 4. Evaluation of the efficiency of model validation phase

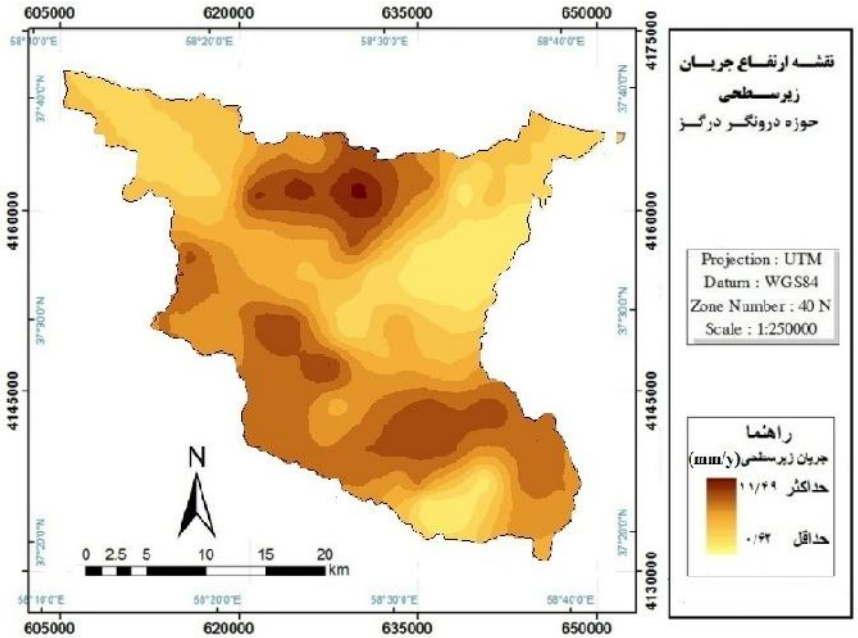
معیار ارزیابی	مشخصه	مقدار
ضریب ناش- ساتکلیف	NS	۰/۶۱
ضریب تبیین	R^2	۰/۷۱
ضریب تعیین وزنی	Br^2	۰/۶۷



شکل ۴- مقایسه هیدروگراف‌های شبیه‌سازی شده و مشاهداتی در دوره اعتبارسنجی با پایه زمانی ماهانه

Figure 4. Comparison of simulated and observed hydrographs during validation periods based on monthly time

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-12-31]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1395.7.14.20.2]
[DOI: 10.29252/jwmr.7.14.215]



شکل ۵- نقشه جریان زیرسطحی

Figure 5. Map of subsurface flow

اولویت‌بندی مناطق

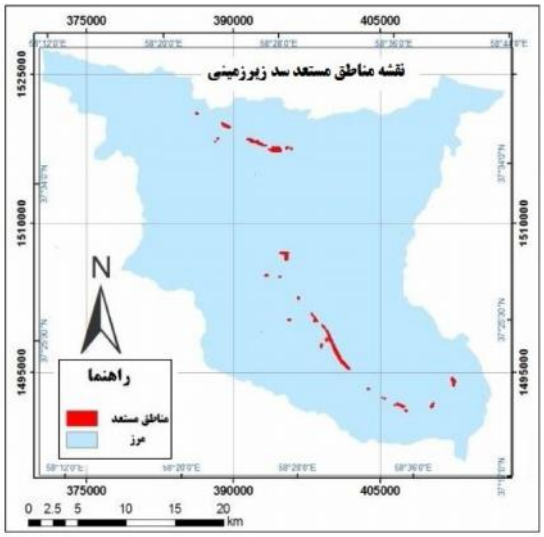
بعد از این که نقشه عوامل محدودکننده شامل شیب آبرفت، کاربری اراضی، زمین‌شناسی، فاصله از جاده و فاصله از گسل تهیه شد، با استفاده از منطق بولین مناطق اولیه مستعد احداث سد زیرزمینی تعیین شد. بعد از تعیین این مناطق با استفاده از بازدیدهای میدانی تنگه‌های موجود در این مناطق مورد بررسی قرار می‌گیرد. با توجه به این که هر چه طول محور کمتر باشد حجم کار سازه‌ای کاهش می‌یابد و عملیات اجرا با سرعت پیش می‌رود مناسب‌ترین محورها آنهایی می‌باشند که علاوه بر طول کم دارای گسترش سطحی زیاد مخزن در بالا دست محور باشند. با توجه به این عوامل و انجام بازدیدهای صحرایی در این محورها، در نهایت ۱۸ منطقه مستعد احداث سد زیرزمینی تعیین شد (شکل ۶ و ۷). بعد از اجرای مدل SWAT و واسنجی و اعتبارسنجی آن لایه با استفاده از جریان زیرسطحی که توسط مدل شبیه‌سازی شده به اولویت‌بندی مناطق تعیین شده پرداخته شد. بدین صورت که هر محور دارای جریان زیرسطحی بالاتر باشد آن منطقه اولویت بالاتری نسبت به سایر نقاط دارد (شکل ۸).

جدول ۵- عمق جریان زیرسطحی محورها

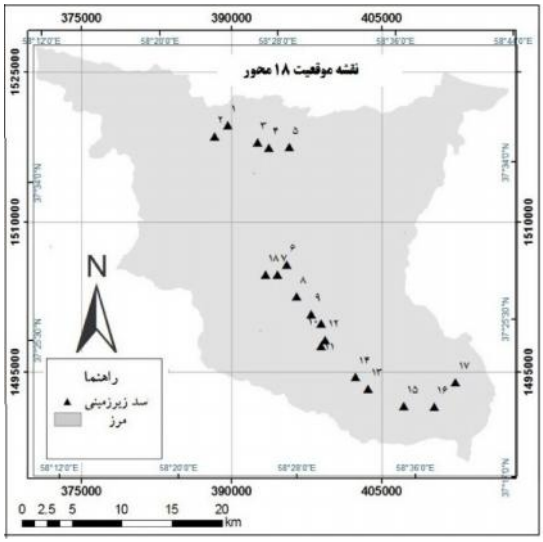
Table 5. The depth of subsurface flow axes

شماره محور	جریان زیرسطحی (mm)	شماره محور	جریان زیرسطحی (mm)	شماره محور	جریان زیرسطحی (mm)
۱	۸/۵	۷	۴/۰۲	۱۳	۶/۲۸
۲	۸/۲۷	۸	۵/۵۶	۱۴	۷/۰۹
۳	۹/۲۲	۹	۶/۲۸	۱۵	۵/۶۴
۴	۸/۲	۱۰	۶/۷۵	۱۶	۳/۰۱
۵	۱۰/۹۲	۱۱	۷/۵۲	۱۷	۷/۴۵
۶	۲/۸۲	۱۲	۷/۳۳	۱۸	۵/۵

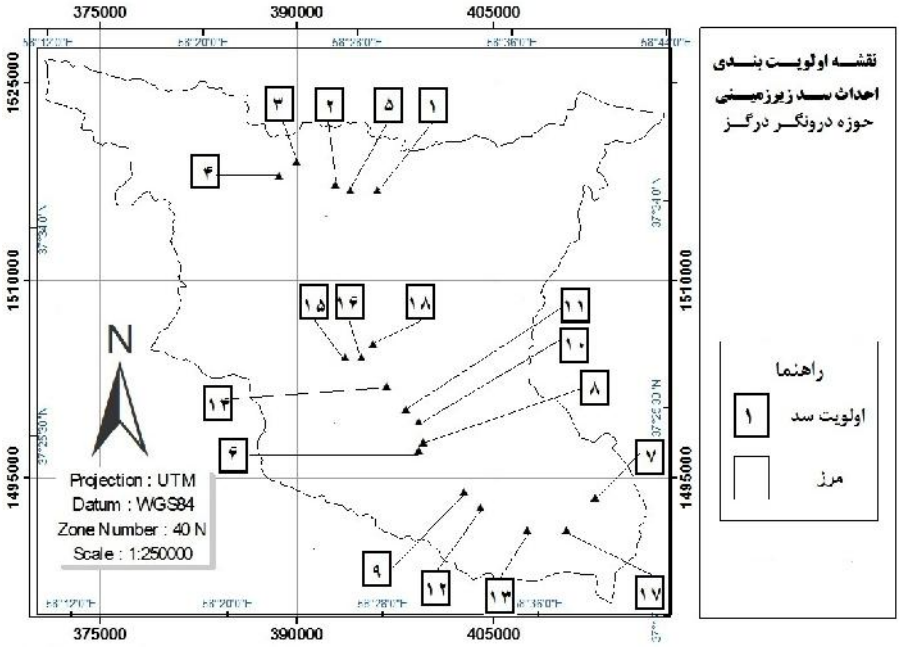
[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-12-31]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1395.7.14.20.2]
[DOI: 10.29252/jwmr.7.14.215]



شکل ۶- نقشه مناطق دارای پتانسیل احداث سد زیرزمینی
Figure 6. Map of potential groundwater dam



شکل ۷- نقشه موقعیت ۱۸ محور تعیین شده
Figure 7. Map of location 16 axle determined



شکل ۸- نقشه نهایی اولویت بندی ۱۸ محور احداث سد زیرزمینی
Figure 7. The final map of priority of 16 axes for construction of underground dam

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-12-31]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1395.7.14.20.2]
[DOI: 10.29252/jwmr.7.14.215]

همان‌گونه که قبلا توضیح داده شد برای محاسبه جریان زیرسطحی حوزه از مدل SWAT استفاده شد. با اجرای مدل SWAT در حوزه درونگر امکان شبیه‌سازی جریان ماهانه دوره مورد مطالعه در این حوزه فراهم گردید. مقایسه آماری این مدل‌سازی نتایج تقریباً قابل قبولی را نشان داده است به طوری‌که مقایسه آماری هیدروگراف‌های شبیه‌سازی و مشاهداتی به کار رفته در این تحقیق با معیار ناش- ساتکلیف همبستگی حدود ۶۸ درصدی هیدروگراف‌ها را نشان می‌دهد. بعد از اجرای مدل و انجام عملیات‌های واسنجی و اعتبارسنجی با استفاده از خروجی مدل SWAT اقدام به تهیه نقشه جریان زیرسطحی زیرحوزه‌های حوزه درونگر شد. بررسی شاخص‌ها و نمودارهای به دست آمده در مرحله واسنجی و اعتبارسنجی مدل برای شبیه‌سازی دبی رواناب ماهانه، نشان می‌دهد که مدل در مرحله واسنجی موفق‌تر عمل کرده است. به دلیل به دست آمدن مقادیر بالای شاخص‌های ارزیابی، مدل‌سازی بسیار خوب زمان وقوع دبی‌های اوج و دبی‌های پایه و علی‌رغم بیش‌تر برآورد نمودن مقادیر دبی‌های اوج، نتایج مدل‌سازی مطلوب می‌باشد. یافته‌های این تحقیق، نتایج مطالعات رستمیان و همکاران (۱۵)، شیمیلیس و همکاران (۱۸)، اندومبا و بیرهانو (۱۱)، بیرهانو و همکاران (۲)، که به طور کلی توانایی مدل SWAT در شبیه‌سازی بیلان آبی و جریان زیرسطحی در حوزه‌های مورد مطالعه را رضایت‌بخش اعلام کردند، تأیید می‌کند. طبق نتایج هر چه آبراهه دارای جریان زیرسطحی بیش‌تری باشد دارای اهمیت نسبی بیشتری، به دیگر آبراهه‌ها دارد. تحقیق حاضر نشان داد که مناسب‌ترین آبراهه‌ها برای احداث سد زیرزمینی، آبراهه‌های با رتبه ۳ و ۴ می‌باشد که با نتایج چزگی (۳) هم‌خوانی دارد. آبراهه‌های با رتبه پایین به دلیل کمیت آب هم از نظر حجم رواناب و هم مقدار آب زیرزمینی نامناسب می‌باشد. رتبه‌های بالاتر نیز به خاطر قرار داشتن در مناطق دشتی و وجود تکیه‌گاه‌های نفوذپذیر (آبرفتی‌بودن تکیه‌گاه) نامناسب هستند.

بعد از تلفیق و روی هم‌گذاری لایه‌ها با استفاده از منطق بولین مناطق مستعد اولیه جهت احداث سد زیرزمینی مشخص شد. در ادامه با استفاده از بازدیدهای میدانی از مناطق مشخص شده، ۱۸ نقطه مناسب جهت احداث سد زیرزمینی مشخص شد. با اجرای مدل SWAT جریان زیرسطحی حوزه درونگر شبیه‌سازی شد. نتایج حاصل از اولین اجرای مدل SWAT و بررسی شاخص‌های ارزیابی دقت شبیه‌سازی این مدل نشان می‌دهند که مدل SWAT توانسته است زمان وقوع دبی‌های اوج را از نظر انطباق با زمان ماه‌های پر باران و دبی‌های اوج واقعی مدل‌سازی کند که این موضوع با نتایج تحقیقات زاهدی (۲۴) و ابراهیمی (۵) هم‌خوانی دارد، اما مدل دبی‌های پیک را نسبت به مقادیر واقعی بیشتر تخمین زده است که علت این امر را می‌توان به چگونگی توزیع ایستگاه‌های باران‌سنجی و نحوه درون‌یابی بارندگی مرتبط دانست که در تحقیق استلمن (۱۸) نیز بدان اشاره شده است. با اجرای مدل SWAT در حوزه آبخیز درونگر در مرحله واسنجی ضرایب R_2، bR_2 و NS به ترتیب برابر ۰/۷۷، ۰/۷۵و ۰/۶۸ و در مرحله اعتبارسنجی برابر ۰/۷۱، ۰/۶۷ و ۰/۶۱ حاصل شد، بنابراین می‌توان چنین استنباط نمود که مدل فیزیکی SWAT با توجه به نتایج حاصل از شبیه‌سازی، در حوزه درونگر کارایی قابل قبولی دارد. طبق نتایج حاصل شده از شبیه‌سازی جریان زیرسطحی، مناطق شمالی و جنوبی حوزه درونگر دارای جریان زیرسطحی بالاتری نسبت به مناطق مرکزی حوزه می‌باشد که این موضوع نشان‌دهنده آن است که این مناطق جهت احداث سد زیرزمینی مستعدتر به سایر مناطق می‌باشند. هم چنین محورهایی که از لحاظ موقعیت جغرافیایی نسبت به سایر محورها نزدیک به یکدیگر هستند از لحاظ اولویت احداث سد زیرزمینی نیز دارای رتبه نزدیک به هم می‌باشند که علت آن را می توان تفاوت کم در میزان جریان زیرسطحی در مناطق مجاور دانست. طبق نقشه نهایی اولویت‌بندی مناطق، بیش‌تر مناطق مناسب در محل نزدیکی آبراهه ها به سفره‌های زیرزمینی عمیق می‌باشد که با نتیجه طباطبایی و همکاران (۲۰) که مناسب‌ترین نقاط برای احداث سدهای زیرزمینی ذخیره‌ای، خروجی دامنه‌های کوهستانی منتهی به کویر می‌باشد، مطابقت دارد. با توجه به نتایج این تحقیق پیشنهاد می‌شود استفاده از مدل‌های هیدرولوژیکی برای محاسبه بیلان آبی و شبیه‌سازی جریان زیرسطحی در بحث احداث سد زیرزمینی کاربرد بیشتری داشته باشد.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-12-31]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1395.7.14.20.2]
[DOI: 10.29252/jwmr.7.14.215]

منابع

1. Alizadeh. A., A. Izadi, K. Davari, A. Ziaei, N.S. Akhavan and Z. Hamidi. 2013. Estimation of Actual Evapotranspiration at Regional-Annual Scale Using SWAT. Iranian Journal of lrrigation and Drainage. 2: 243-258 (In Persian).
2. Birhanu, B.Z., P.M. Ndomba and F.W. Mtalo. 2007. Aplication of SWAT Model for Montanious Catchment. Journal of Water for Arba Minch, 30: 182-187.
3. Chezgi, J. 2009. Site Selection of Underground Dam Using Decision Support Systems and GIS in West of Tehran Province. M.Sc. Thesis Watershed, Tarbiat Modares University (TMU) (In Persian).
4. Danilenko, A., E. Dickson and M. Jacobsen. 2010. Climate Change and Urbanwater Utilities: Challenges and Opportunities. Water Working Notes, 24: 54235.
5. Brahimi, H. 2011. Performance Evaluation of SWAT Model to Simulation of Runoff and Sediment Yield in Doiraj River Basin in Ilam Province. M.Sc Thesis Watershed, Zabol University. (In Persian).
6. Forzieri, G., M. Gardenti, F. Caparrini and F. Castelli. 2008. A methodology for the pre-selection of suitable sites for surface and underground small dams in arid areas: A case study in the region of Kidal, Mali. Journal of Physics and Chemistry of the Earth, 33: 74-85.
7. Golmayi, H. and M.Q. Ashtiyani. 2004. Underground Dams for Water Storage in Small Scale, 97 pp. (In Persian)
8. Ishida, S., T. Tsuchihara, S. Yoshimoto and M. Imaizumi. 2011. Sustainable Use of Groundwater with Underground Dams, JARQ, 45: 51-61.
9. Jamali, I.A., B. Olofsson and U. Mörtberg. 2013. Locating suitable sites for the construction of subsurface dams using GIS. Environ. Earth Science, 70: 2511-2525.
10. Murty, P.S., A. Pandey and P. Suryavanshi. 2013. Application of Semi-Distributed Hydrological Model for Basin Level Water Balance of the Ken Basin of Central India. Article First Published Online, DOI: 10.1002/hyp.9950
11. Ndomba, P.M. and B.Z. Birhanu. 2008, Problems and Prospects of SWAT Model Applications in NILOTIC Catchments, Nile Basin Water Engineering Scientific Magazine, pp: 51-52
12. .Neitch, S.L., J.G. Arnold, J.R. Kiniry and J.R. Williams. 2005. Soil and water assessment tool documentation, user's manual, Temple, Texas, USA, 494 pages.
13. Nilsson, A. 1988. Groundwater Dams for Small-Scale Water Supply, Intermediate Technology Publications, London. 78 pp.
14. Orient, Q.R., M. Hoogmoed, M. Ertsen, J. Foppen, R. Hut and A. Vries. 2009. Measuring and Modeling Hydrological Processes of Sand-Storage Dams on Different Spatial Scales, Physics and Chemistry of the Earth, 34: 289-298.
15. Rostamian, R., A. Jaleh, M. Afyuni, S.F. Mousavi, M. Heidarpour, A. Jalalian and K. Abbaspour. 2008. Application of a SWAT Model for Estimating Runoff and Sediment in Two Mountainous Basins in Central Iran. Hydrological Sciences, 53: 977-988, 41-52.
16. Salami, H. 2006. Determining the Suitable Locations for Subsurface Dams in Volcanic Areas Using Remote Sensing. (Case study: Northern Mountains Karkas). M.Sc. Thesis Shahid Beheshti University Hydrology, 143 pp (In Persian).
17. Stellman, K., H. Fuelberg, R. Garza and M. Mullusky. 2001, An Examination of Radar and Rain Gauge Derived Mean Areal Precipitation over Georgia Watersheds, Weather Forcast, 16: 133-144.
18. Shimelis, G., B. Dargahi, S. Ragahavan and M. Assefa. 2010. Modeling of Sediment Yield from Anjeni-Gauged Watershed, Ethiopia Using SWAT model Journal of the American Water Resources Association, 46: 514-526.
19. Sun, H. and P.S. Cornish. 2005. Estimating Shallow Groundwater Recharge in the Headwaters of the Liverpool Plains Using SWAT. Hydrological Processes, 19: 795-807.
20. Tabatabaei, Y.J. and M. Nasiri. 2000. Underground Dams Way to Compensate for Drought. The 1st National Conference Evaluates Strategies for Coping with Drought, 553-546 (In Persian).
21. Wang,Y. and K. Brubaker. 2013. Implementing a Nonlinear Groundwater Module in the Soil and Water Assessment Tool (SWAT). Hydrological Processes, DOI: 10.1002/hyp.9893.
22. Yilmaz, M. 2003. Control of Groundwater by Underground Dams. Thesis Submitted to the Graduate School of Natural and Applied Sciences. The Middle East Technical University. 96 pp.
23. Yoshimoto, S., T. Tsuchihara, S. Ishida and M. Imaizumi. 2011. Groundwater flow and transport and potential sources of groundwater nitrates in the Ryukyu Limestone as a mixed flow aquifer in Okinawa Island, Japan. Paddy Water Environ, doi:10.1007/s10333-011-0252-8
24. Zahedi, E. 2013. Determining the Suitable Sites for Groundwater Dams Construction Using the Water Balance Simulation (SWAT model) and Analytical Network Process (ANP), (Case Study: Dorungar Watershed, Dargaz, M.Sc. Thesis, Yazd University, 160 pp (In Persian).

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-12-31]

[DOR: 20.1001.1.22516174.1395.7.14.20.2]

[DOI: 10.29252/jwmr.7.14.215]

Subsurface Flow Simulations to Determine Potential Areas of Groundwater Dam Using SWAT Model (Case Study: Doroongar Watershed, Dargaz)

Ehsan Zahedi[1], Ali Talebi[2], Seyyed Abbas Tabatabaei[3], Arezoo Raeisi[4] and Majid Asiayi[4]

1- Graduated M.Sc., Yazd University, (Corresponding author: eh_zahedi@yahoo.com)
2 and 4- Associate Professor and M.Sc. Student, Yazd University
3- M.Sc. Student, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources
Received: January 6, 2014 Accepted: July 22, 2014

Abstract

Underground dams are structures that block the natural flow of groundwater and causes underground water resources. In this study, at first18 prone area stoundergound Dams were identified using Boolean logic and geology parameters, land use, slope, distance from roads and distance from fault. In the discussion of underground dams, subsurface flow has high importance so that if there is not suitable subsurface groundwater flows construction of underground dams may fail even with high costs. Therefore in this study, SWAT model was used to simulate the water balance and subsurface flow in Doroongar watershed andit was identified using those areas which have suitable subsurface flow and this parameter was used to zone and prioritize the prone areas. By running the SWAT model in the Doroongar watershed, in the calibration step, the correlation coefficient, weighted correlation coefficient and NS (Nash Sutcliffe) were calculated 0.77, 0.75 and 0.68, respectively and in the validation step were calculated 0.71, 0.67 and 0.61.The results showed that SWAT model had acceptable performance for simulation in Doroongar watershed. The results of subsurface flow simulation show that north and south parts of the Doroongar watershed has higher subsurface flow ratio to the center parts of the watershed which represents the high potential of these parts to underground dam construction.

Keywords: Doroongar Watershed, Subsurface Flow, SWAT model, Underground Dams

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-12-31]

[DOR: 20.1001.1.22516174.1395.7.14.20.2]

[DOI: 10.29252/jwmr.7.14.215]