



Print ISSN: 2251-7480
Online ISSN: 2251-7400

Journal of
**Water and Soil
Resources Conservation**
(WSRCJ)

Web site:

<https://wsrcj.srbiau.ac.ir>

Email:

iauwsrcj@srbiau.ac.ir
iauwsrcj@gmail.com

**Vol. 13
No. 3 (51)**

Received:
2023-08-19

Accepted:
2023-11-01

Pages: 85-98

Impact Assessment of Operating Agricultural Management Scenarios on Quality and Quantity of Surface Water Resources Using Semi-Distributed Model and Checking the Vulnerability of the Aquifer (Case study: Hashtgerd Plain)

Mahmoodreza Nooralinejad Islamloo¹, Mojtaba Shourian^{2*} and Sadjad Mehdizadeh³

1) Ph. D. Candidate, Department of Water, Civil Engineering, Faculty of Civil Architecture and Art Faculty, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

2) Associate Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.

3) Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Civil Engineering and Land Resources, Central Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

*Corresponding author email: m_shourian@sbu.ac.ir

Abstract:

Background and Aim: The source of many qualitative and quantitative problems of water resources is the activities that are done in a watershed. Therefore, reviewing the planning strategies of watershed can lead to the reduction of these challenges therefore it is necessary to assess the effects of operating of these strategies before implementing them.

Method: This research is carried out in the Hashtgerd basin is located in the central part of Alborz province. After making the semi distributed hydrological model (SWAT), this model has been developed to convert quantity and quality of surface water resources. For this purpose, the statistics of hydrometric stations Fashand, Dehsomeh and Najmabad and qualitative data of nitrate of the index station were calibrated and validated as control points. After model sensitivity analysis, its calibration process was conducted using SWAT-CUP software with SUFI2 algorithm and 500 iteration and the best values of selected parameters were obtained. Then, impact of implementing management scenarios are required such as modifying cropping pattern and improving irrigation methods to enhance the agricultural efficiency for improving agricultural state and reducing the contaminations. At last assessing the vulnerability of the Hashtgerd aquifer using seven DRASTIC parameters by overlaying layers, ranking and weighing was assessed.

Results: The results of the monthly surface runoff simulation were tested by Nash-Sutcliffe indicators and coefficient of determination. The results above 0.7 which showed that the simulation was done with good precision showed that simulation was done with proper precision (results over 0.7). The results of the Nitrate calibration and validation show that the NS was 0.83 and 0.7 and the R^2 was estimated .87 and 0.89. These values indicate the proper performance of the model and approve high correlation between the observed and simulated data. After determining the vulnerability map of the Hashtgerd aquifer along the density of wells correcting the weights of the model layers, the central part of the plain is the most vulnerable.

Conclusion: Two management scenarios were modeled including the change in the cropping pattern and improvement of the irrigation efficiency to assess the quality and quantity variation in surface resource. It was indicated, by modifying the cropping pattern and reducing water exploitation, the amount of surface runoff was increased. However, the density of Nitrate was reduced by 5 to 20 percent in different months. With implementation of scenarios, the water consumption in the agriculture sector will be reduced from the 85.3 MCM to 59.8 MCM. The final vulnerability index of the aquifer varied between 44 to 90 by using DRASTIC method.

Keywords: Hashtgerd aquifer, surface water, Vulnerability, SWAT, DRASTIC





ارزیابی اثرات اجرای سناریوهای مدیریت کشاورزی بر کمیت و کیفیت منابع آب سطحی با استفاده از مدل نیمه توزیعی و بررسی آسیب پذیری آبخوان (مطالعه موردی: دشت هشتگرد)^۱

محمودرضا نورعلی نژاد اسلاملو^۱، مجتبی شوریان^{۲*}، سید سجاد مهدی زاده^۳

(۱) دانشجوی دکتری مهندسی عمران، گروه عمران آب، دانشکده عمران، معماری و هنر، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، ایران.

(۲) دانشیار، دانشکده مهندسی عمران، آب و محیط زیست، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

(۳) استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی عمران و منابع زمین، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران مرکز، ایران.

* ایمیل نویسنده مسئول: m_shourian@sbu.ac.ir

چکیده:

زمینه و هدف: منشأ بسیاری از مشکلات کیفی و کمی منابع آب، فعالیت‌هایی است که در یک حوضه آبریز انجام می‌شود. بنابراین بازنگری استراتژی‌های برنامه ریزی حوضه آبریز می‌تواند منجر به کاهش این چالش‌ها گردد، لذا ضروری است اثرات اجرای استراتژی‌ها پیش از اجرا، ارزیابی شود.

روش پژوهش: در پژوهش حاضر که بر روی حوضه آبریز هشتگرد واقع در قسمت مرکزی استان البرز انجام گردیده است، پس از ساخت مدل هیدرولوژیکی نیمه توزیعی SWAT به منظور تبدیل کمی و کیفی منابع آب سطحی این مدل توسعه داده شده است. به این منظور از آمار ایستگاه‌های هیدرومتری فشنده، ده صومعه و نجم آباد و داده کیفی نیترات ایستگاه شاخص به‌عنوان نقطه کنترل مورد واسنجی و اعتبارسنجی قرار گرفتند، بعد از آنالیز حساسیت مدل، فرایند واسنجی توسط نرم افزار SWAT-CUP با الگوریتم SUFI2 با تعداد ۵۰۰ تکرار انجام گرفت و بهترین مقادیر پارامترهای انتخابی بدست آمد. سپس اثر اجرای سناریوهای مدیریتی همچون اصلاح الگوی کشت و ارتقاء روش آبیاری برای افزایش راندمان کشاورزی در جهت بهبود وضعیت کشاورزی و کاهش میزان آلاینده‌گی انجام گردید. در نهایت آسیب‌پذیری آبخوان هشتگرد با استفاده از هفت پارامتر DRASTIC و با تلفیق لایه‌ها با وزن‌دهی و رتبه‌بندی ارزیابی گردید.

یافته‌ها: نتایج شبیه‌سازی رواناب سطحی در مقیاس ماهانه توسط شاخص‌های آماری نش-ساتکلیف و ضریب تبیین نشان داد که شبیه‌سازی با دقت خوبی انجام گردیده است (نتایج بالای ۰/۷)، نتایج حاصل از ضریب NS برای دوره واسنجی و صحت سنجی به‌ترتیب برابر ۰/۸۳ و ۰/۷ شد و ضریب R² به‌ترتیب برابر ۰/۸۷ و ۰/۸۹ برآورد شد که بیانگر عملکرد مناسب مدل و همبستگی بالای داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده می‌باشد. بعد از مشخص کردن نقشه آسیب‌پذیری آبخوان دشت به همراه تراکم چاه‌ها پس از اصلاح اوزان لایه‌های مدل، بخش مرکزی دشت بیشترین آسیب‌پذیری را داراست.

نتایج: با مدل سازی دو سناریوی مدیریتی تغییر الگوی کشت و ارتقای راندمان آبیاری به منظور ارزیابی تغییرات کیفی و کمی در منابع آب سطحی، نتایج حاکی از آن است که در این حوضه با اصلاح الگوی کشت و کاهش برداشت، میزان رواناب سطحی افزایش یافت. با این وجود غلظت نیترات در ماه‌های مختلف از ۵ تا ۲۰ درصد کاهش می‌یابد. با اعمال سناریوها، مقدار مصرف آب در بخش کشاورزی از ۸۵/۳ میلیون مترمکعب به ۵۹/۸ میلیون مترمکعب کاهش خواهد یافت. شاخص نهایی آسیب‌پذیری آبخوان با استفاده از روش DRASTIC بین ۴۴ تا ۹۰ متغیر شد.

کلیدواژه‌ها: آبخوان هشتگرد، آب سطحی، آسیب‌پذیری، SWAT، DRASTIC



۱- مقدمه

نگرانی‌های مربوط به کاهش کیفیت آب‌های سطحی و زیرزمینی در سراسر جهان رو به افزایش است. اثر توسعه شبکه‌های آبیاری و زهکشی و اثر تخصیص منابع آبی بر اساس نیازهای کشاورزی با استفاده از مدل ارزیابی آب و خاک SWAT بررسی می‌شود (Hussainzada et al., 2022). استفاده از مدیریت ترکیبی آب و خاک شامل تراس‌بندی، ایجاد آبراهه و پوشش گیاهی بیشترین اثر را در کاهش رسوب حوضه به همراه خواهد داشت (Nepal et al., 2022). وی^۱ و همکاران (۲۰۲۱) طی پژوهشی چند سناریو مدیریتی را جهت ارزیابی نیترات و فسفر در سیستم‌های آبخوان آبیاری شده در محدوده رودخانه سفلی آرکانزاس کلرادو با استفاده از مدل SWAT-MODFLOW مورد بررسی قرار دادند. نتایج مدل نشان داد با اعمال سناریو منتخب، در بیشتر مناطق کاهش ۳۰ درصدی کود را به همراه دارد که منجر به کاهش نیترات و فسفر محدود به میزان ۲۰ درصد و ۲ درصد برای غلظت آب زیرزمینی، ۲۵ درصد و ۱۰ درصد برای غلظت رودخانه می‌شود. در مجموع مطالعه نشان می‌دهد که کد SWAT-MODFLOW یک ابزار مفید برای بررسی NO_3 و P در حوضه آب زیرزمینی است. میثاقی^۲ و همکاران (۲۰۲۰) در تحقیقی به منظور بررسی آبشویی نیترات و فسفات از اراضی کشاورزی به رودخانه‌ها به زنجانرود (ایران) با استفاده از مدل SWAT و اجرای سناریوهای مختلف روش آبیاری و همچنین نرخ کوددهی انجام گردید. نتایج نشان داد که با افزایش مناطق آبیاری تحت فشار، آلودگی نیترات و فسفات در حوضه رودخانه تأثیر معنی‌داری نداشت. با توجه به نرخ کود، با کاهش مصرف کودهای اوره و فسفات تا ۵۰ درصد، میزان آبشویی نیترات و فسفات به رودخانه زنجانرود به ترتیب تا ۱۶/۷ درصد و ۱۹/۲ درصد کاهش یافت. از سوی دیگر، افزایش ۵۰ درصدی مصرف کود باعث افزایش آبشویی نیترات و فسفات به داخل رودخانه به ترتیب ۱۷/۲ و ۱۷/۷ درصد شد.

در بررسی ارزیابی اثرات راهکارهای بهینه مدیریتی در حوضه کشاورزی با استفاده از برنامه SWAT و تحلیل عدم قطعیت در داده‌های ورودی به برنامه SWAT و پیش‌بینی داده‌ها با استفاده از روش SUFI-2 اگر هیچگونه اقدامی در راستای تغییرات و اصلاح کشاورزی صورت نگیرد به صورت میانگین کل بار فسفر سالانه ۲۶ درصد افزایش می‌یابد در حالی که استفاده از BMP می‌تواند اثر چشم‌گیری بر کاهش بار آلودگی فسفر داشته باشد (Engelbreetsen et al., 2019). پیچیدگی‌های حوضه آبریز باعث می‌گردد تا رفع این چالش‌ها بسیار دشوار بوده و عدم درک اثرات متقابل مولفه‌های این سیستم سبب افزایش این معضلات شود. توسعه فعالیت‌های انسانی از جمله کشاورزی، شرب و صنعت باعث افزایش آلودگی منابع آب ناشی از جریان‌های

برگشتی خواهند شد. جهت تعدیل مشکلات ناشی از آلودگی منابع آب، راهکارها و استراتژی‌های متنوعی در زمینه مدیریت یک حوضه آبریز در ابعاد مختلف باید مورد توجه قرار گیرد. این مدیریت‌ها می‌توان از تدوین استراتژی‌ها، بهبود حاکمیت آب، تا مدیریت آب در مزرعه متنوع و متغیر باشد. لازم است تا اثر اجرای این اقدامات و استراتژی‌ها پیش از اجرا ارزیابی شده و ابعاد مختلف آن تبیین گردد (Bailey et al., 2016).

کیو^۳ و همکاران (۲۰۱۴) از مدل SWAT برای مدل‌سازی جریان رودخانه، رسوب معلق، نیتروژن کل و فسفر کل برای یک آبخیز نیمه‌شهری واقع در ایالت نیوجرسی آمریکا استفاده کردند. کاربری اراضی شهری در این حوزه به صورت مناطق مسکونی کم تراکم بود. نتایج حاکی از عملکرد خوب مدل SWAT جهت شبیه‌سازی جریان رودخانه می‌باشد. همچنین بیشترین دقت مربوط به نیتروژن کل سپس فسفر و بعد از آن رسوب معلق بود. به طور کلی نتایج نشان داد که فسفر کل و رسوب معلق رودخانه بیش از استاندارد مجاز است و پیشنهاد شده که با اجرای اقدامات حفاظتی مناسب، مقادیر این دو متغیر کاهش یابد. پژوهشگران در مطالعه‌ای با به‌کارگیری مدل SWAT به مدل‌سازی هیدرولوژی و کیفیت آب در حوضه رودخانه ساکرامنتو کالیفرنیا پرداختند. آن‌ها به کمک داده‌های اندازه‌گیری شده جریان، رسوب معلق، نیترات و آلاینده‌های کشاورزی (سموم) در نقاط مختلف حوضه آبخیز در فاصله سال‌های ۱۹۹۲ تا ۲۰۰۸ مدل را واسنجی نمودند. ارزیابی مدل کالیبره شده با استفاده از ضرایب نش-ساتکلیف ماهانه نشان داد که مدل قابلیت خوبی در شبیه‌سازی هیدرولوژی و کیفیت آب دارد (Ficklin et al., 2012). پژوهشگران طی مطالعاتی به روش دراستیک به بررسی آسیب‌پذیری آبخوان پرداختند که:

نوبن‌پور^۴ و همکاران (۲۰۱۸) اقدام به ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان دشت نازلو چای ارومیه با استفاده از DRASTIC و صحت‌سنجی آن با غلظت نیترات در محیط GIS نمودند. شاخص آسیب‌پذیری DRASTIC برای منطقه مورد مطالعه، مقداری بین ۱۵۳-۳۸ برآورد گردید. که بیشترین پتانسیل آسیب‌پذیری مربوط به قسمت مرکزی و جنوبی است.

آهیروار^۵ و همکاران (۲۰۱۸) به بررسی آب‌های زیرزمینی در منطقه بالادست رودخانه Betwa با استفاده از روش DRASTIC مبتنی بر GIS پرداختند. از ArcGIS برای تهیه نقشه آسیب‌پذیری آب زیرزمینی با روی هم گذاری لایه‌ها استفاده شد. حوضه آبخیز در دو منطقه آسیب پذیر یعنی منطقه آسیب‌پذیری کم با مساحت ۴۲/۸۳ کیلومتر مربع و متوسط با مساحت ۳۶۹/۲۱ کیلومتر مربع تقسیم شده است. نتایج اعتبارسنجی نشان داده است که در مناطق با آسیب‌پذیری پایین، هیچ آلودگی نیترات ثبت نشده است. در حالی که در

هدف از انجام پژوهش ارائه راهکارهای بهینه مدیریت کشاورزی و بررسی اثرگذاری آن‌ها بر تغییرات کمی و کیفی منابع آب سطحی بود و بررسی تغییرات جریان و غلظت نیترات رواناب خروجی از حوضه آبریز با استفاده از مدل SWAT انجام شد. بررسی پتانسیل آسیب‌پذیری آبخوان دشت هشتگرد و دسته‌بندی مناطق مستعد به آلودگی متوسط DRASTIC برآورد گردید.

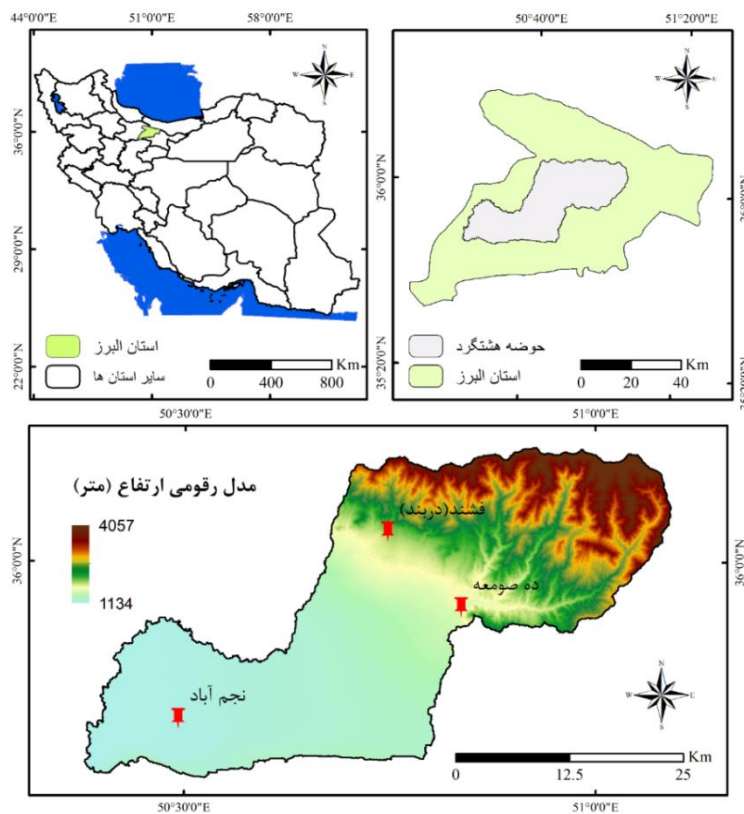
۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- محدوده مطالعاتی

دشت هشتگرد با مساحت ۴۱۰ کیلومترمربع در قسمت مرکزی استان البرز و در نیمه شمالی حوضه آبخیز دریاچه نمک بین طول‌های ۰۰ و ۲۹ و ۵۰ تا ۰۶ و ۵۱ شرقی و عرض‌های ۰۰ و ۴۷ و ۳۵ تا ۰۰ و ۰۷ و ۳۶ واقع شده است (شکل ۱). تراکم زمین‌های کشاورزی در جنوب دشت واقع شده است. یکی از ارکان اصلی تغذیه آبخوان هشتگرد ناشی از نفوذ از جریان‌های سطحی در منطقه است. بنابراین بررسی وضعیت رواناب سطحی در منطقه اهمیت به‌خصوصی دارد. سه ایستگاه فشند، ده صومعه و نجم آباد تنها ایستگاه‌های هیدرومتری دایر در بالادست و خروجی آبخوان هشتگرد هستند که برای مطالعات هیدرولوژی از آن‌ها استفاده شده است. در جدول ۱ اطلاعات ایستگاه‌های هیدرومتری و موقعیت آن‌ها آورده شده است.

منطقه با آسیب‌پذیری متوسط نیترات در محدوده ۱/۶-۱۰ ppm یافت شده است. روش DRASTIC در ارزیابی آسیب‌پذیری مناسب تر است نقشه آسیب‌پذیری به دست آمده نشان می‌دهد که مناطق کارستی و ساحلی دارای بالاترین رتبه آسیب‌پذیری و بخش جنوبی کشور دارای پایین‌ترین رتبه آسیب‌پذیری است (Baalousha et al., 2016). شخار^۶ و همکاران (۲۰۱۵) با ارائه مدلی با استفاده از DRASTIC مبتنی بر GIS برای ارزیابی آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی در آبخوان سخت پرداختند. این مطالعه در یک حوضه کوچک از هند انجام شده است. شاخص DRASTIC در محدوده ۷۹-۱۶۰ قرار دارد که به ۴ منطقه تقسیم شده است. نقشه آسیب‌پذیری آب زیرزمینی نشان داد که حدود ۳۱ درصد از منطقه در خطر بسیار بالایی قرار دارند و ۱۶ و ۲۸ درصد از منطقه به ترتیب با خطر متوسط و کم خطر در معرض آلودگی قرار دارند.

لاتامانی^۷ و همکاران (۲۰۱۵) به بررسی آبخوان واقع در شهرستان میسور با استفاده از روش DRASTIC پرداختند. هدف اصلی این مطالعه تعیین مناطق حساس از نظر آلودگی با استفاده از یکپارچه‌سازی لایه‌های هیدروژئولوژیکی در GIS بود. تجزیه و تحلیل آبخوان نشان داد که دامنه‌ی آسیب‌پذیری بین ۷۰ تا ۱۰۰ قرار گرفت و همچنین غلظت نیترات در ۹۵ درصد نمونه‌ها در حد مجاز بود.



شکل ۱. محدوده مطالعاتی همراه با شبکه آبراهه

جدول ۱. مشخصات ایستگاه‌های هیدرومتری مورد استفاده

نام ایستگاه	ارتفاع	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	کد ایستگاه
فشند(در بند)	۱۷۸۰	۴۷۷۴۱۳/۵	۳۹۸۸۲۲۲/۷	۴۱۰۹۳
ده صومعه	۱۴۱۰	۴۸۵۶۹۷/۴	۳۹۷۹۰۴۹/۲	۴۱۰۹۵
نجم آباد	۱۱۹۰	۴۵۵۱۲۷/۷	۳۹۶۶۴۲۷/۲	۴۱۰۹۷

۲-۲- روش تحقیق

سپس هر زیر حوضه با توجه به خاک و پوشش زمین با در نظر گرفتن حد آستانه مشخص به واحدهای پاسخ هیدرولوژیکی یا HRU تقسیم می‌شود. در این پژوهش با استفاده از لایه DEM ۳۰ متری، لایه کاربری اراضی ۲۰۱۴ (سایت GLCC) و همچنین لایه خاک FAO با ابعاد ۲۰ متری اقدام به ساخت مدل هیدرولوژیکی SWAT شده است.

به منظور ارزیابی سناریوهای مدیریت کشاورزی بر وضعیت کمی و کیفی منابع آب سطحی و زیرزمینی حوضه آبریز هشتگرد، ابتدا مدل SWAT برای این حوضه به منظور تحلیل کمی و کیفی منابع آب سطحی توسعه داده شد. در این فرآیند واسنجی کمی و کیفی برای نیترات در ایستگاه هیدرومتری شاخص (ده صومعه) انجام پذیرفت و در نهایت سناریوهای مدیریت کشاورزی با استفاده از مدل توسعه داده شده اجرا گردید. در گام بعدی پتانسیل آسیب‌پذیری آبخوان دشت هشتگرد با استفاده از شاخص و اوزان تعریف شده برای لایه‌های مختلف در محیط GIS برآورد و صحت سنجی گردید.

آنالیز حساسیت، واسنجی و اعتبارسنجی مدل

نتایج این مرحله از محاسبات که توسط نرم افزار SWAT-CUP انجام شده در جدول (۲) قابل مشاهده هستند. در این جدول، ترتیب میزان تاثیرگذاری پارامترها از بالا به پایین به صورت نزولی می‌باشد که رتبه‌بندی آن‌ها توسط دو مقدار p-value و t-state مشخص می‌شود، به این صورت که هر مقدار قدر مطلق t-state بیشتر و p-value آن نزدیک به صفر باشد، آن پارامتر تاثیر بیشتری دارد. در ستون چهارم (Rank) رتبه حساسیت پارامترها آمده است. پارامترهای ارائه شده در جدول (۲) با یکی از پسوند های gw, sub, bsn, hru و gw همراه است که به ترتیب مربوط به پارامترهای مرتبط با خصوصیات فیزیکی حوضه آبریز، زیر حوضه‌ها، واحدهای پاسخ هیدرولوژیکی و آب زیرزمینی است. در مرحله بعد پس از اجرای یک فرآیند واسنجی اولیه حساس‌ترین پارامترها برای واسنجی انتخاب شده است.

مدل SWAT

مدل SWAT یک مدل مقیاس حوضه ای مبتنی بر محاسبات تجربی و نیمه توزیعی می باشد به طور گسترده ای مورد استفاده قرار می گیرد و می تواند شبیه سازی فرآیند حوضه و فعالیت های مدیریت بر کیفیت آب و خاک را انجام دهد (Neitsch et al, ۲۰۰۵) که با استفاده از نقشه‌های رقومی DEM، کاربری اراضی، خاک و شیب به همراه اطلاعات اقلیمی دمای بیشینه و کمینه و بارش روزانه ساخته می‌شود. در مدل SWAT، هر حوضه را می‌توان به زیر حوضه‌ها تقسیم کرد و

جدول ۲. محدوده نهایی مقادیر پارامترهای هیدرولوژیکی مؤثر در رواناب

Parameter	t-Stat	P-Value	Rank	Parameter	t-Stat	P-Value	Rank
44:V__TLAPS.sub	-۱/۸۲	۰/۰۸	۱۱	2:V__SMTMP.bsn	-۵/۹۶	۰/۰۰	۱
24:R__SOL_BD(.,).sol	-۱/۷۲	۰/۰۹	۱۲	48:V__TLAPS.sub	-۲/۹۸	۰/۰۰	۲
3:R__TIMP.bsn	۱/۷۰	۰/۱۰	۱۳	47:V__PLAPS.sub	۲/۵۰	۰/۰۲	۳
34:V__ALPHA_BF.gw	-۱/۶۳	۰/۱۱	۱۴	5:V__SMFMX.bsn	۲/۳۷	۰/۰۲	۴
39:R__CN2.mgt	-۱/۵۴	۰/۱۳	۱۵	26:V__SLSOIL.hru	-۲/۳۶	۰/۰۲	۵
56:V__ESCO.hru	-۱/۵۲	۰/۱۴	۱۶	46:V__TLAPS.sub	۲/۰۹	۰/۰۴	۶
4:V__SMFMN.bsn	-۱/۵۰	۰/۱۴	۱۷	27:V__GW_DELAY.gw	-۲/۰۵	۰/۰۵	۷
13:R__SOL_K(.,).sol	۱/۴۲	۰/۱۶	۱۸	50:R__SOL_AWC(.,).sol	-۲/۰۳	۰/۰۵	۸
49:R__CN2.mgt	۱/۳۸	۰/۱۷	۱۹	1:V__SFTMP.bsn	۱/۹۳	۰/۰۶	۹
52:V__ESCO.hru	۱/۳۱	۰/۲۰	۲۰	32:V__RCHRG_DP.gw	-۱/۸۶	۰/۰۷	۱۰

جدول ۳. محدوده نهایی مقادیر پارامترهای هیدرولوژیکی مؤثر در رواناب

پارامتر	باند پایین	باند بالا	بهبترین مقدار	پارامتر	باند پایین	باند بالا	بهبترین مقدار
v__SFTMP.bsn	-۶	-۳/۸	-۴/۳۰۷	v__EPCO.hru	۰/۳	۰/۸	۰/۴۷۲۵
v__SMTMP.bsn	-۴	۹	۵/۸۷۵	r__SOL_BD(1).sol	-۰/۸	-۰/۱	-۰/۵۲۳۵
r__TIMP.bsn	-۰/۳۵	۰	-۰/۱۶۹۷۵	r__SOL_K(1).sol	-۰/۱	۰/۳	۰/۱۷۴
v__SMFMN.bsn	۰	۴	۲/۹۴	r__SOL_BD(2).sol	-۰/۱	۰/۱	-۰/۰۹۳
v__SMFMX.bsn	۱۰	۲۰	۱۷/۷۵	r__SOL_K(2).sol	-۰/۳	۰	-۰/۱۶۶۵
v__SURLAG.bsn	۲	۶	۲/۸۶	v__SLSOIL.hru	۲۰	۴۰	۳۳/۷۰۰۰۱
v__SLSUBBSN.hru	۱۰	۳۰	۱۷/۷۰۰۰۱	v__SLSUBBSN.hru	۲۵	۵۵	۵۰/۰۴۹۹۹۹
v__HRU_SLP.hru	۰/۵	۱	۰/۷۸۲۵	v__HRU_SLP.hru	۰/۶	۱	۰/۸۷۸
v__OV_N.hru	۰/۵	۱	۰/۷۷۲۵	v__OV_N.hru	۰/۱	۰/۴	۰/۳۲۶۵
v__LAT_TTIME.hru	۱۰	۲۵	۱۳/۵۲۵۰۰۱	v__LAT_TTIME.hru	۱/۵	۱۰	۹/۷۰۲۵

بعد از تحلیل حساسیت مدل، واسنجی آن توسط نرم افزار SWAT-CUP با الگوریتم SUFI2 با تعداد ۵۰۰ تکرار انجام گرفت و در نهایت مقدار پارامترهای مؤثر در رواناب به صورت جدول (۳) به دست آمد. در ادامه بازه پارامترهای انتخابی (Max value, Min value) و بهترین مقدار پارامترهای انتخابی (Fitted Value) آمده است.

ارزیابی آسیب پذیری آبخوان با استفاده از DRASTIC

روش DRASTIC توسط آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا به عنوان سیستمی استاندارد برای ارزیابی آسیب پذیری منابع آب زیرزمینی نسبت به آلودگی ارائه شده است. اولین هدف روش DRASTIC اعمال فوریت های اجرایی فعالیت هایی است که در رابطه با آب زیرزمینی صورت می گیرند. همچنین تهیه ابزاری کاربردی برای ارزیابی آسیب پذیری منابع آب زیرزمینی نسبت به آلودگی از اهداف دیگر این روش می باشد. (Aller et al. 1987)

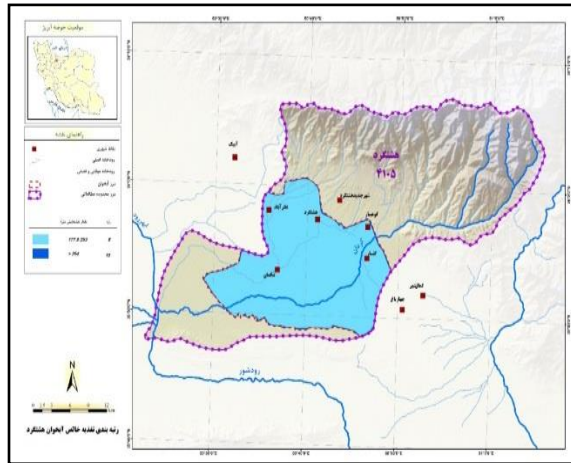
عبارت DRASTIC مخفف پارامترهایی است که در یک سیستم هیدروژئولوژیکی کنترل کننده آلودگی آب زیرزمینی است. با توجه به جدول (۴) این پارامترها عبارتند از: عمق آب زیرزمینی (D)^۱، تغذیه خالص (R)^۲، جنس محیط آبخوان (A)^۳، جنس خاک (S)^{۱۱}، توپوگرافی (T)^{۱۲}، اثر منطقه غیراشباع (I)^{۱۳}، هدایت هیدرولیکی (C)^{۱۴}. (Chitsazan et al. 2007)

میزان پتانسیل آسیب پذیری آبخوان با استفاده از لایه های تعریف شده برآورد می گردد و در نهایت با استفاده از نقشه پهنه بندی نیرت در آبخوان دشت هشتگرد، پهنه های تهیه شده اعتبارسنجی خواهد شد. لذا ابتدا لایه ها و نقشه های مورد نیاز برای توسعه DRASTIC ارائه می گردد.

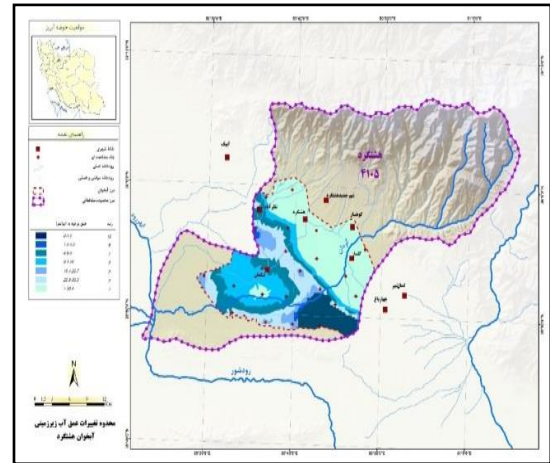
جدول ۴. رتبه دهی و وزن دهی پارامترهای شاخص DRASTIC

جنس خاک	اثر منطقه غیراشباع	بستر آبخوان	هدایت هیدرولیکی	شیب	تغذیه خالص	عمق آب زیرزمینی
-	-	-	(m/day)	(%)	(mm)	(m)
۲ وزن	۵ وزن	۳ وزن	۳ وزن	۱ وزن	۴ وزن	۵ وزن
رتبه مقادیر	رتبه مقادیر	رتبه مقادیر	رتبه مقادیر	رتبه مقادیر	رتبه مقادیر	رتبه مقادیر
۱۰ نازک	۱ لایه محصور	۲ شیل فشرده	۱ ۰/۰۴-۴/۱	۱ ۰-۲	۱ ۰-۵۰/۸	۱۰ ۰-۱/۵
۱۰ شن	۲ رس فشرده	۳ دگرگونی/ آذرین	۲ ۴/۱-۱۲/۳	۹ ۲-۶	۳ ۵۰/۸-۱۰۱/۶	۹ ۱/۵-۴/۶
۹ ماسه	۳ سیلت/ رس	۴ دگرگونی هوازه/ آذرین	۴ ۱۲/۳-۲۸/۷	۵ ۶-۱۲	۶ ۱۰۱/۶-۱۷۷/۸	۷ ۴/۶-۹/۱
۸ زغال سنگ نارس	۴ رس با ماسه محکم	۶ رس	۶ ۲۸/۷-۴۱	۳ ۱۲-۱۸	۸ ۱۷۷/۸-۲۵۴	۵ ۹/۱-۱۵/۲
۷ رس انقباض یافته	۵ رس با ماسه بالا	۵ رس	۸ ۴۱-۸۲	۱ >۱۸	۹ >۲۵۴	۳ ۱۵/۲-۲۲/۸
۶ لوم ماسه ای	۶ رس ماسه ای	۶ رس ماسه ای	۱۰ >۸۲			۲ ۲۲/۸-۳۰/۴
۵ لوم	۷ شن و ماسه سیلت	۷ ماسه سنگ فشرده				۱ >۳۰/۴
۴ لوم سیلتی	۸ شن و ماسه	۷ سنگ آهک فشرده				
۳ لوم رسی	۹ بازالت	۸ شن و ماسه				
۲ ماک	۱۰ سنگ آهک کارستی	۹ شن				
۱ بدون رس		۱۰ سنگ آهک کارستی				

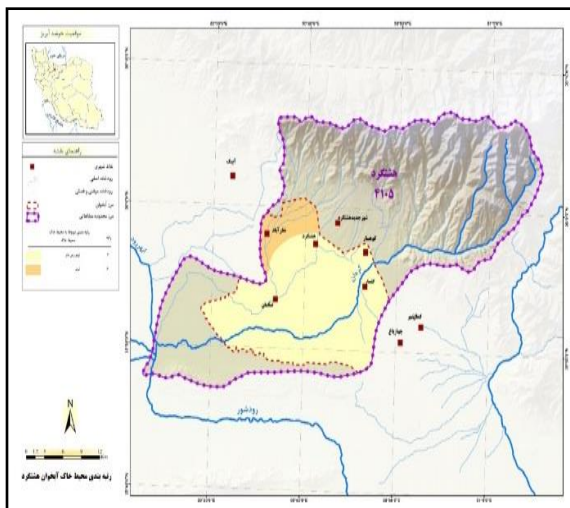
(Aller et al., 1987) و (چیت سازان و همکاران، ۱۳۸۵)



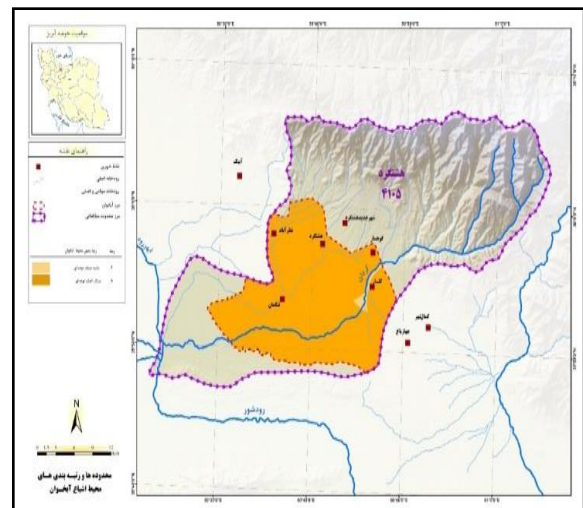
شکل ۳. نقشه تغذیه خالص آبخوان دشت هشتگرد



شکل ۲. نقشه هم عمق سطح آب زیرزمینی و رتبه DRASTIC آبخوان دشت هشتگرد



شکل ۵. پهنه بندی پارامتر محیط خاک آبخوان برای دشت هشتگرد



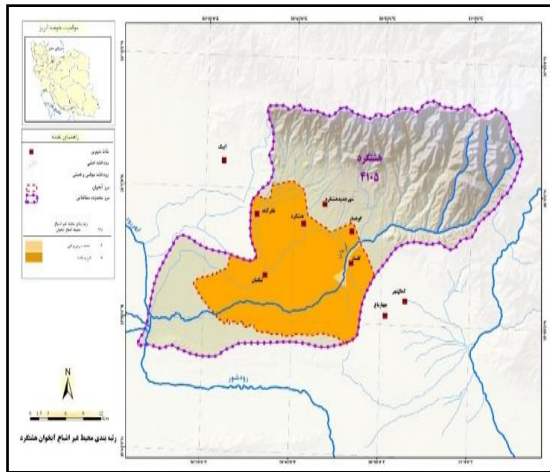
شکل ۴. نقشه محیط آبخوان دشت هشتگرد و رتبه آن در مدل DRASTIC

تغذیه‌پذیری و درصد مواد آلی خاک دارد لایه ی موردنظر به صورت لایه رستری آماده و ذخیره گردید با توجه به جدول ارزش گذاری DRASTIC رتبه بندی شد ملاحظه می‌شود بخش های جنوب غربی کمترین رتبه را داراست همانگونه که از نقشه شکل (۵) مشخص است بیشتر محیط خاک آبخوان هشتگرد از نوع لوم رس دار با رتبه ۳ می‌باشد.

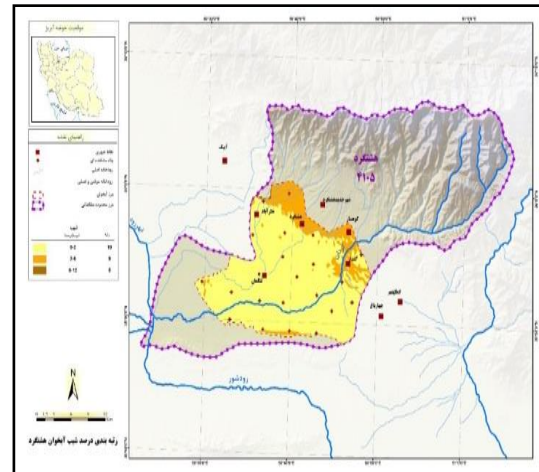
براساس شکل (۶) نقشه توپوگرافی (T) به دست آمده شیب سطح زمین در محدوده آبخوان هشتگرد را نشان می دهد که در بیشتر نواحی کمتر از ۲ درصد است و رتبه ۱۰ DRASTIC را به خود اختصاص داده است. لایه غیراشباع (I) بر روی پتانسیل آلودگی تاثیر می‌گذارد و میزان تاثیرات آن تابعی از نفوذپذیری و خصوصیات محیط وادوز است. در شکل (۷) بخش عمده ای از محدوده دشت هشتگرد متشکل از رسوبات شن و ماسه دارای رتبه ۸ بوده و بخش محدودی در اطراف رودخانه کردان از شن و ماسه و رس تشکیل شده که دارا رتبه ۶ می‌باشد.

مطابق با نقشه در شکل (۲) عمق کم سفره آب زیرزمینی دشت هشتگرد در قسمت جنوب شرقی دشت واقع شده و در برخی موارد به کمتر از ۲ متر نیز می‌رسد. نواحی شمالی و شمال شرقی دشت دارای عمق آب زیرزمینی بالای ۳۰ متر هستند که از نظر رتبه DRASTIC، رتبه ۱ را به خود اختصاص داده است. در شکل (۳) پارامتر تغذیه خالص (R) تابعی از میزان بارندگی در دشت می‌باشد. با توجه به محدودیت وسعت دشت و ویژگی‌های زمین شناسی و فیزیکی آبخوان ها یک کلاس DRASTIC در این دشت با وزن ۸ شناسایی شده است.

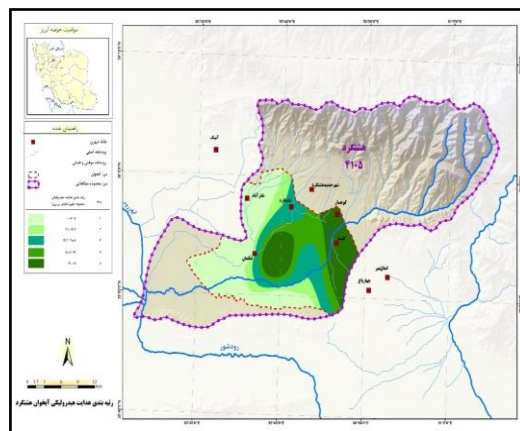
محیط آبخوان (A) و مواد تشکیل دهنده آن تعیین کننده طول و روند مسیر سیستم جریان آب زیرزمینی در سفره است. در شکل (۴) بخش عمده ای از محیط آبخوان هشتگرد را سنگ آهک توده ای با رتبه ۸ به خود اختصاص داده است. محیط خاک (S) قسمت بالایی منطقه غیراشباع می‌باشد. پتانسیل آلودگی خاک بستگی به خصوصیات خاک مانند بافت،



شکل ۷. پارامتر منطقه غیراشباع آبخوان دشت هشتگرد



شکل ۶. پارامتر توپوگرافی آبخوان دشت هشتگرد



شکل ۸. پارامتر هدایت هیدرولیکی آبخوان دشت هشتگرد

۳- نتایج و بحث:

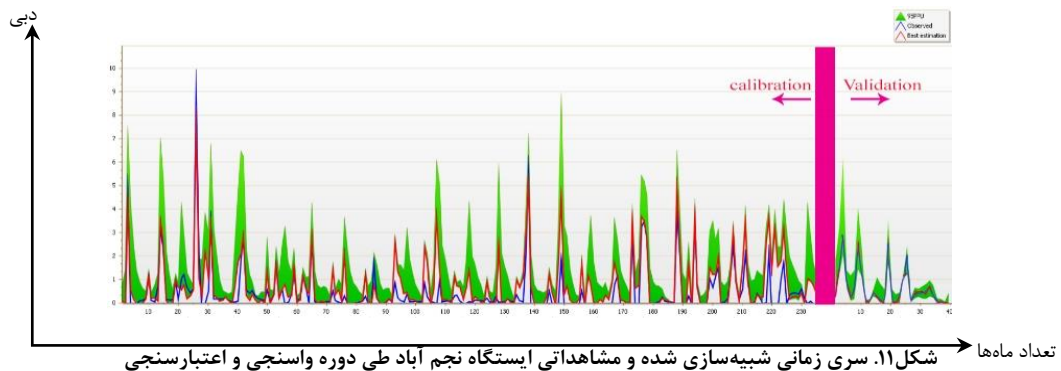
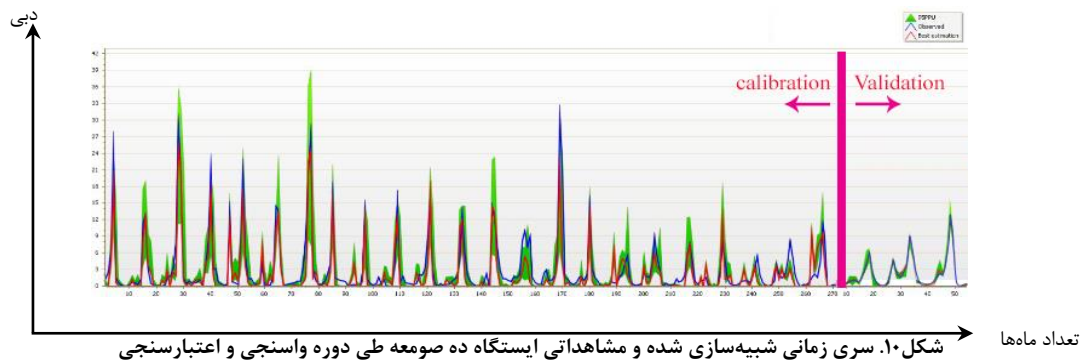
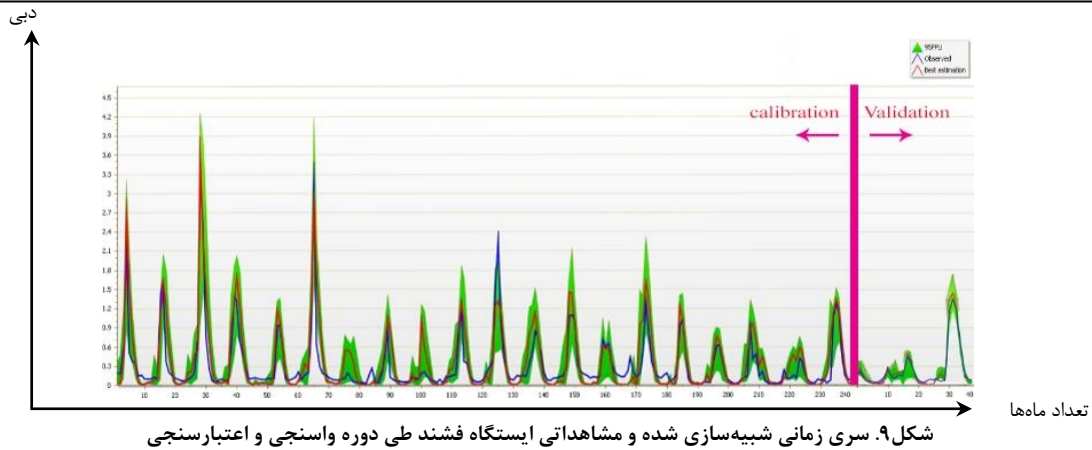
۳-۱- شبیه‌سازی رواناب سطحی

در شکل‌های (۹ تا ۱۱) سری زمانی شبیه‌سازی شده در کنار داده‌های مشاهداتی برای دوره واسنجی و اعتبارسنجی آمده است. نتایج شبیه‌سازی رواناب در مقیاس ماهانه توسط شاخص‌های آماری نش-ساتکلیف و ضریب تبیین سنجیده می‌شوند. در جدول (۵) نیز نتایج واسنجی و اعتبارسنجی سری‌های زمانی رواناب آمده است. این نتایج نشان می‌دهد که شبیه‌سازی با دقت خوبی انجام پذیرفته است. قابل ذکر است از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۳ برای واسنجی و از ۲۰۱۴ تا ۲۰۱۸ جهت اعتبارسنجی استفاده شده است.

هدایت هیدرولیکی (C) یک سفره توانایی عبور آب زیرزمینی در محیط اشباع را نشان می‌دهد. دشت هشتگرد، هدایت هیدرولیکی از آزمایش پمپاژ، نقشه‌های قابلیت انتقال و همچنین ضخامت آبخوان تخمین زده می‌شود شکل (۸). بیشترین هدایت هیدرولیکی در قسمت‌های جنوب شرقی و مرکز دشت مشاهده می‌شود.

جدول ۵. نتایج شبیه‌سازی رواناب در دوره واسنجی و اعتبارسنجی

واسنجی	دوره واسنجی (۱۹۹۰-۲۰۱۳)					دوره اعتبارسنجی (۲۰۱۴-۲۰۱۸)				
	R ²	NS	P-Factor	R-Factor	MSE	R ²	NS	P-Factor	R-Factor	MSE
فشند	۰/۸۱	۰/۷۵	۰/۶۱	۰/۹۳	۶/۴	۰/۶۹	۰/۶۷	۰/۷۸	۰/۸۴	۸/۸
صومعه	۰/۸۳	۰/۸۱	۰/۵۵	۰/۶۵	۵/۹	۰/۷۸	۰/۷۱	۰/۷۵	۰/۷۱	۵/۹
نجم آباد	۰/۷۱	۰/۵۸	۰/۴	۰/۸۸	۵/۶	۰/۷۱	۰/۷۷	۰/۷۴	۰/۷۷	۴/۶



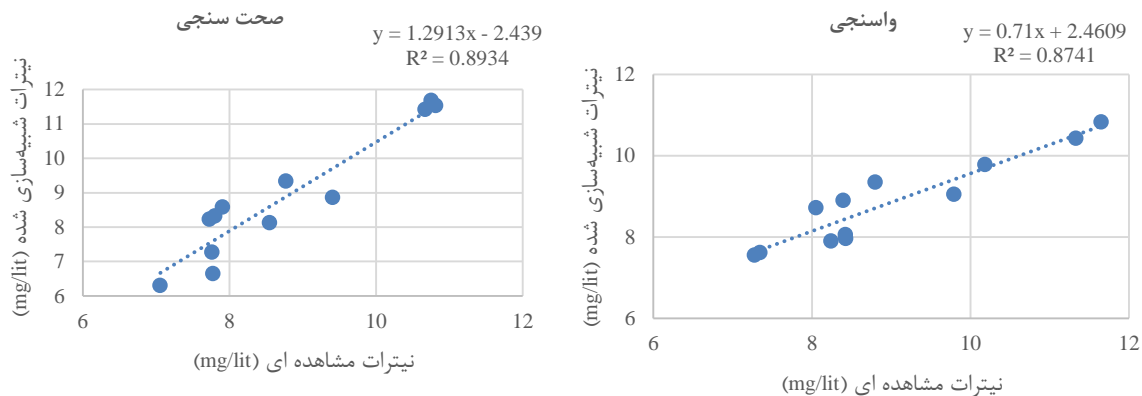
به ترتیب ۰٫۸۷ و ۰٫۸۹ برآورد شد که نشان دهنده‌ی همبستگی بالای داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در مراحل واسنجی و صحت‌سنجی می‌باشد. با توجه به ضریب PBIAS نیز می‌توان گفت که مدل در طی دوره واسنجی و صحت‌سنجی به ترتیب دارای اندکی کم تخمینی و بیش تخمینی بوده است. شکل (۱۲) نتایج حاصل از واسنجی و صحت‌سنجی نیترا را در ایستگاه ده صومعه نشان می‌دهد.

۲-۳ شبیه‌سازی نیترا در منابع آب سطحی

از داده‌های متوسط ماهانه نیترا ایستگاه ده صومعه کردن در سال ۲۰۱۷ برای واسنجی و داده‌های سال ۲۰۱۸ برای صحت‌سنجی نیترا در مدل SWAT استفاده شد. جدول (۶) نتایج حاصل از واسنجی و صحت‌سنجی نیترا را نشان می‌دهد. این جدول نشان می‌دهد که ضریب NS برای دوره واسنجی و صحت‌سنجی به ترتیب ۰٫۸۳ و ۰٫۷ و ضریب R^2 نیز

جدول ۶. خصوصیات آماری ارزیابی مدل برای پارامتر نیترا در مرحله واسنجی (۲۰۱۷) و مرحله صحت‌سنجی (۲۰۱۸) با گام زمانی ماهانه

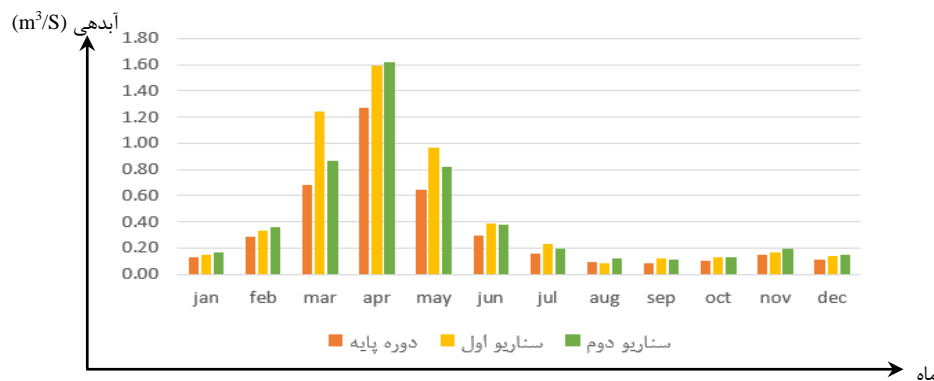
نیترا		شاخص‌های آماری	
صحت‌سنجی (۲۰۱۸)	واسنجی (۲۰۱۷)		
۰٫۷	۰٫۸۳	NS	
۰٫۸۹	۰٫۸۷	R^2	
-۱٫۲۵	۱٫۶۳	PBIAS	



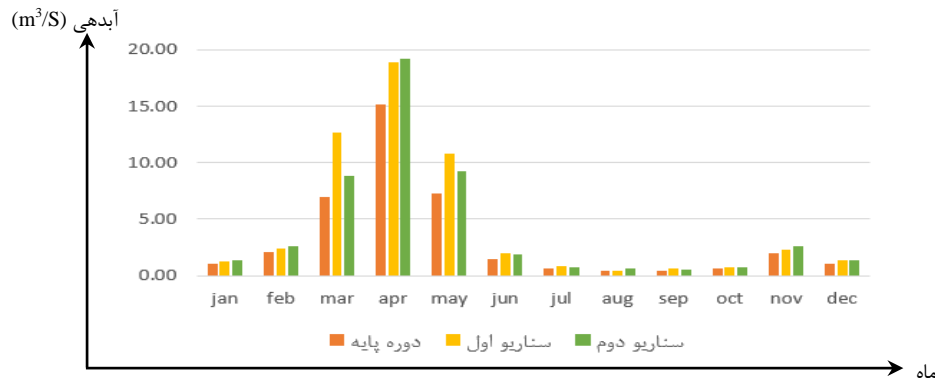
شکل ۱۲. همبستگی داده‌های مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده در مرحله واسنجی نیترات (۲۰۱۷) و مرحله صحت‌سنجی نیترات (۲۰۱۸) در ایستگاه ده صومعه کردان

به نسبت دوره پایه به خصوص در اواخر فصل زمستان و اوایل فصل بهار افزایش قابل توجهی داشته است. به این دلیل که الگوی کشت منطقه در وضع موجود و همچنین در الگوی کشت پیشنهادی حدود ۳۵ درصد اراضی به کشت غلات اختصاص دارد که عموماً کشت‌های زمستانه گندم و جو می‌باشند. با اجرای این سناریوی در محدوده دشت هشتگرد و کاهش میزان برداشت از منابع آب سطحی، مقدار رواناب ثبت شده در ایستگاه فشند به طور میانگین ۲۹ درصد در سال افزایش یافته است. همچنین با اجرای سناریو اصلاح روش آبیاری میزان برداشت از منابع آب سطحی به نسبت دوره پایه در محدوده طرح کاهش یافته و رواناب بیشتری (افزایش ۲۷ درصدی به نسبت دوره پایه) در ایستگاه هیدرومتری فشند به ویژه در فصل بهار ثبت شده است. بررسی و ارزیابی نتایج اجرای سناریوهای اصلاح الگوی کشت و اصلاح راندمان آبیاری و تاثیر آن‌ها بر رواناب ثبت شده در ده صومعه و نجم آباد نشان داد (اشکال ۱۴ و ۱۵) همانند ایستگاه فشند میزان برداشت از منابع آب سطحی در بالادست محدوده کاهش یافته و نتیجتاً رواناب ثبت شده در ایستگاه‌های هیدرومتری به خصوص در اواخر فصل زمستان و اوایل فصل بهار افزایش قابل توجهی را به همراه داشته است. به طور کلی مدل نشان می‌دهد با تغییر الگو می‌توان به کاهش نفوذ عمقی کمک کرد، از طرفی با آبیاری قطره‌ای نیاز به شستشو خاک و هدر رفت آب کم می‌شود.

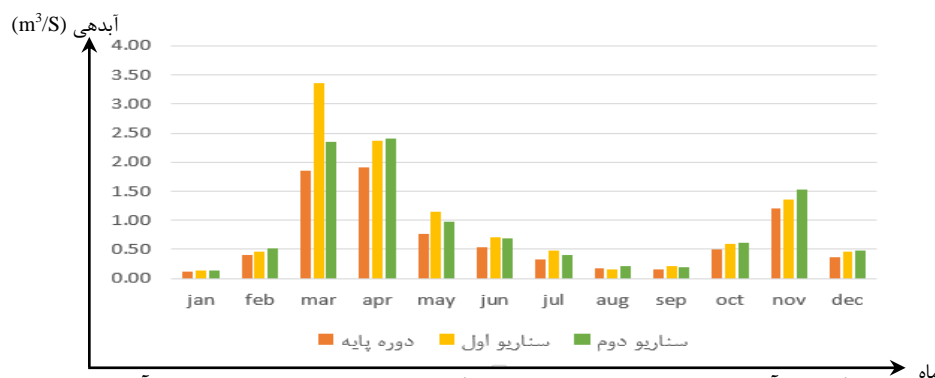
۳-۳- بررسی اثر اجرای سناریوهای مدیریتی بر منابع آب سطحی (الف) پیش بینی رواناب سطحی تحت تاثیر سناریوهای مدیریتی: اراضی زراعی موجود در محدوده طرح غالباً به روش کرتی، نواری و فارو و باغات محدوده عمدتاً به صورت جوی و پشته‌ای و بعضاً به روش کرتی آبیاری می‌شوند. الگوی کشت موجود امکان انعطاف و تغییر قابل توجهی را با توجه به سطح باغات و همچنین غلات ایجاد نمی‌کند، با این وجود با حذف کشت گیاهان پرمصرف و گیاهانی که قابلیت انتقال به گلخانه دارند مانند گوجه فرنگی در الگوی کشت پیشنهادی دشت هشتگرد میزان مصرف آب در بخش کشاورزی کاهش می‌یابد. همچنین با افزایش راندمان آبیاری برای اراضی زراعی با روش آبیاری بارانی و اصلاح خطوط شبکه توزیع و انتقال از ۴۰ درصد وضع موجود به ۵۸ درصد ارتقاء یافته و این شاخص برای باغات با روش آبیاری قطره‌ای از ۴۵ درصد وضع موجود به ۷۰ درصد قابلیت افزایش دارد. با اعمال سناریوهای تغییر الگوی کشت و افزایش راندمان آبیاری مقدار مصرف آب در بخش کشاورزی از ۸۵/۳ میلیون مترمکعب در وضع موجود به ۵۹/۸ میلیون مترمکعب کاهش خواهد یافت که این امر باعث ارتقای راندمان کودی نیز خواهد شد. مقایسه مقادیر رواناب ثبت شده در ایستگاه فشند در دوره پایه با مقادیر شبیه‌سازی شده رواناب در سناریوی اصلاح الگوی کشت شکل (۱۳) به خوبی نشان می‌دهد که با اعمال این سناریو میزان رواناب ثبت شده در ایستگاه هیدرومتری



شکل ۱۳. مقایسه مقادیر رواناب ایستگاه فشند در دوره پایه و سناریوهای اصلاح الگوی کشت (سناریو اول) و اصلاح روش آبیاری (سناریو دوم)



شکل ۱۴. مقایسه مقادیر رواناب ایستگاه ده صومعه کردان در دوره پایه و سناریوهای اصلاح الگوی کشت (سناریو اول) و اصلاح روش آبیاری (سناریو دوم)

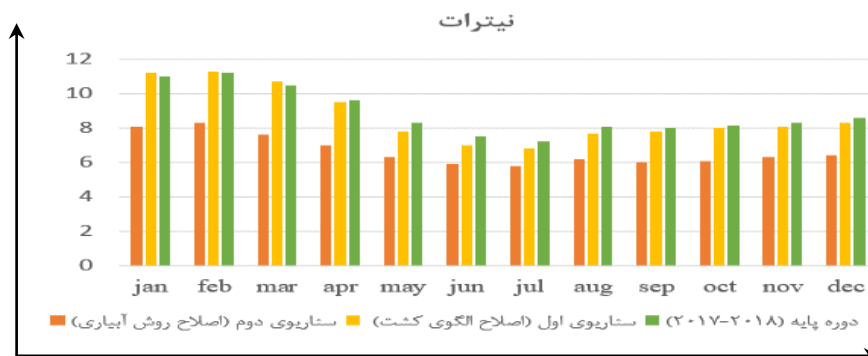


شکل ۱۵. مقایسه مقادیر رواناب ایستگاه نجم آباد در دوره پایه و سناریوهای اصلاح الگوی کشت (سناریو اول) و اصلاح روش آبیاری (سناریو دوم)

زمستان و اوایل فصل بهار روندی کاهشی داشته است. به این دلیل که در الگوی کشت موجود ۳۵ درصد و همچنین در الگوی کشت پیشنهادی (اصلاح شده) حدود ۳۹ درصد اراضی به کشت غلات (گندم و جو) که عموماً کشت‌های زمستانه می‌باشند اختصاص داده شده، پس به همین میزان مصرف کود ازت نیز افزایش یافته و در مدل شبیه‌سازی، مقادیر نیتрат در فصل زمستان تا حدودی بالاتر از دوره پایه نشان داده می‌شود. همچنین در الگوی کشت اصلاح شده با حذف کشت گیاهان پر مصرف و گیاهانی که قابلیت انتقال به گلخانه دارند مانند گوجه فرنگی در فصل بهار، استفاده از کود ازت نیز کاهش پیدا کرده و نتایج این تغییر به خوبی در شکل (۱۶) در ماه‌های (May-July) نشان داده شده است.

ب) بررسی تغییرات نیترات تحت سناریوهای مدیریتی: بهترین زمان مصرف کود شیمیایی تأثیر زیادی بر عملکرد محصول دارد. به‌گونه‌ای که زمان مناسب استفاده از کود باعث افزایش بازده، کاهش تلفات مواد مغذی می‌شود. برای هر محصول، هر ماده مغذی الگوی جذب متفاوتی دارد. به‌طور کلی در مرحله اولیه رشد نیاز گیاهان به فسفر نسبت به نیتروژن و پتاسیم بیشتر می‌باشد در صورتی که این نیاز در انتهای مرحله رشد پایین‌ترین میزان را دارد. مقایسه مقادیر نیترات ثبت شده در ایستگاه هیدرومتری ده صومعه کردان در دوره پایه (۲۰۱۷-۲۰۱۸) با مقادیر شبیه‌سازی شده نیترات در سناریوی اصلاح الگوی کشت (شکل ۱۶) به خوبی نشان می‌دهد که با اعمال این سناریو میزان نیترات شبیه‌سازی شده در این ایستگاه هیدرومتری به نسبت دوره پایه به جز در فصل

آبشویی نیترات (mg/lit)

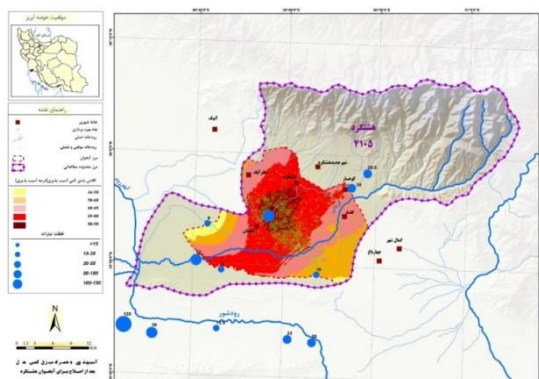


شکل ۱۶. مقایسه مقادیر نیترات در ایستگاه هیدرومتری ده صومعه کردان در دوره پایه (۲۰۱۷-۲۰۱۸) و سناریوهای اصلاح الگوی کشت (سناریو اول) و اصلاح روش آبیاری (سناریو دوم)

نیترا ت مشاهده شده در آبخوان دشت هشتگرد تفاوت دارد، لذا در این مرحله با توجه به مقادیر مشاهده ای داده‌های کیفی، میزان ضرائب DRASTIC جهت واسنجی مدل بازننگری شد. جدول (۷) مقادیر بازننگری شده وزن لایه‌های مورد استفاده در مدل آسیب‌پذیری آبخوان هشتگرد را نشان می‌دهد.

پس از اصلاح اوزان DRASTIC با کمک GIS نقشه آسیب‌پذیری و همچنین شاخص‌های نهایی آن استخراج گردید. نتایج نشان می‌دهد که شاخص نهایی در محدوده مورد مطالعه بین ۴۴ تا ۹۰ متغیر است که با توجه به محدوده عددی آسیب‌پذیری، پهنه‌بندی حاصل بر اساس طبقه‌بندی Aller و همکاران به ۵ کلاس طبقه‌بندی شد. مطابق نقشه‌ی نهایی آسیب‌پذیری شکل (۱۸) مشخص گردید که بخش مرکزی دشت به سمت شرق که دارای تراکم بالایی از چاه‌هایی بهره‌بردار نیز می‌باشد، دارای پتانسیل آسیب‌پذیری بالایی است. در جدول (۸) مساحت مربوط به هر یک از پهنه‌های آسیب‌پذیری مشخص گردیده است.

با توجه به جدول (۸) بیشترین مساحت آسیب‌پذیری مربوط به رده‌ی آسیب‌پذیری زیاد با ۳۹ درصد از مساحت کل منطقه است. ۱۰ درصد از مساحت کل منطقه مربوط به آسیب‌پذیری خیلی زیاد می‌باشد که عمدتاً شامل بخش مرکزی دشت، جایی که در بین شاخه‌های رودخانه‌های مهم منطقه و بویژه در محل تراکم چاه‌ها قرار گرفته است. آسیب‌پذیری آبخوان پتانسیل آبخوان را برای آلودگی نشان می‌دهد و نباید با خطر آلودگی اشتباه گردد. بدین معنی که ممکن است در یک منطقه آسیب‌پذیری کم و متوسط باشد ولی به دلیل حضور گسترده منابع آلاینده، از نظر آلودگی منطقه پرخطری باشد. برعکس ممکن است در منطقه‌ای آسیب‌پذیری بالا باشد ولی به دلیل نبود منابع آلاینده هیچ‌گونه خطر آلودگی آب زیرزمینی را تهدید نکند.



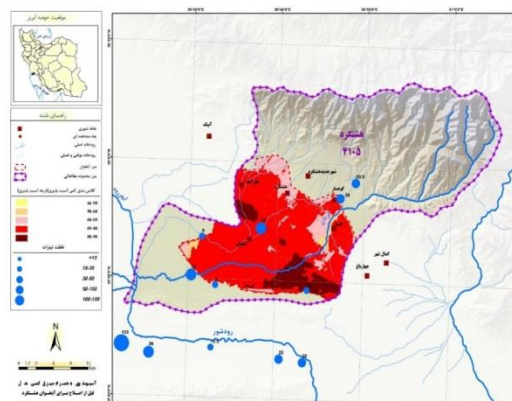
شکل ۱۸. نقشه آسیب‌پذیری آبخوان دشت هشتگرد به همراه تراکم چاه‌ها پس از اصلاح اوزان لایه‌های مدل

از آنجا که مقدار آبشویی نیترا ت تحت تاثیر روش آبیاری می‌باشد. در سناریو اصلاح روش آبیاری نتایج نشان داد (شکل ۱۶) که با تغییر روش آبیاری از کرتی، نواری، فارو و جوی و پشته‌ای به آبیاری بارانی و قطره میزان آبشویی نیترا ت در تمامی طول سال نسبت به دوره پایه (۲۰۱۷-۲۰۱۸) کاهش چشم‌گیری داشته است که این مطلب خود موید این است که سناریوی اصلاح روش آبیاری به نسبت سناریوی اصلاح الگوی کشت در کاهش آبشویی نیترا ت اثرگذاری بیشتر داشته و سناریوی منتخب می‌باشد.

۳-۴- پهنه آسیب‌پذیر آبخوان هشتگرد با استفاده از DRASTIC (الف) اندیس آسیب‌پذیری DRASTIC:

پس از تهیه هفت لایه موردنیاز برای استفاده در DRASTIC، باید روش مدل‌سازی و تلفیق این لایه‌ها را انتخاب کرد. تمامی لایه‌های ایجاد شده در مراحل قبل دارای فرمت رستری می‌باشند که در محیط GIS برای ترکیب لایه‌ها از تابع همپوشانی استفاده گردید. عملکرد تابع همپوشانی در ترکیب لایه‌ها به دو صورت وزنی و ریاضی صورت می‌پذیرد. هفت لایه‌ی تهیه‌شده، از نظر وزندهی و رتبه‌بندی طبق DRASTIC، دارای مقادیر متفاوتی از یکدیگر می‌باشند. به‌منظور ترکیب لایه‌ها از ابزار محاسبات رستری تابع همپوشانی وزنی استفاده شد. برای این کار تمام لایه‌ها همراه با ضرایب بر اساس معادله اوزان DRASTIC به‌صورت درصد برای مدل تعریف شد و سپس عمل تلفیق لایه‌های موردنظر صورت پذیرفت و اندیس نهایی محاسبه گردید.

شکل (۱۷) نقشه اولیه آسیب‌پذیری دشت هشتگرد را نشان می‌دهد. این نقشه بیانگر آن است که ضرائب تعریف شده با میزان



شکل ۱۷. نقشه آسیب‌پذیری آبخوان دشت هشتگرد قبل از اصلاح اوزان لایه‌های موثر در مدل DRASTIC

جدول ۷. اصلاح ضرائب مدل DRASTIC با توجه به میزان نیترا ت مشاهده در آبخوان دشت هشتگرد

پارامتر	محدوده	رتبه بندی	میانگین غلظت نیترا ت	رتبه اصلاح شده
	۱/۴-۰	۱۰	۱۰	۹
عمق	۱۵.۱-۹	۵	۲۲	۱۰
	۳۰/۳-۲۲/۸	۲	۹	۱
تغذیه	۲۵۳-۱۷۷/۸	۸		۸
محیط آبخوان	سنگ آهک توده‌ای	۸	۱۵/۷۵	۸
نوع خاک	لوم	۵	۱۵/۷۵	۳
شیب	۲-۰	۱۰	۱۵/۷	۱۰
محیط غیر اشباع	شن و ماسه	۸	۱۵/۷۵	۸
	۰/۰۴-۴	۱	۹/۵	۱
هدایت هیدرولیکی	۴۱-۸۲	۸	۳۵	۸
	< ۸۲	۱۰	-	۱۰

جدول ۸. اندیس DRASTIC برای منطقه مورد مطالعه

وضعیت آبخوان	اندیس DRASTIC	مساحت (Ha)	درصد مساحت
آسیب پذیری کم	۵۰-۴۴	۱۴۶۳	۴
آسیب پذیری کم تا متوسط	۶۰-۵۰	۶۷۵۸	۱۷
آسیب پذیری متوسط تا زیاد	۶۹-۶۰	۱۲۳۷۰	۳۱
آسیب پذیری زیاد	۸۰-۶۹	۱۵۶۴۹	۳۹
آسیب پذیری خیلی زیاد	۹۰-۸۰	۴۰۰۶	۱۰
مجموع		۴۰۲۴۶	۱۰۰

۴- نتیجه گیری

سطحی در تمامی طول سال نسبت به دوره پایه کاهش چشم-گیری داشته است که این میزان کاهش در ماه‌های مختلف متفاوت بوده و از ۵ تا ۲۰ درصد متغیر می‌باشد. پتانسیل آسیب‌پذیری آبخوان از شاخص و اوزان تعریف شده برای لایه‌های مختلف در محیط GIS برآورد شد. بیشترین مساحت آسیب‌پذیری مربوط به رده‌ی آسیب‌پذیری زیاد با ۳۹ درصد از مساحت کل منطقه است و ۱۰ درصد از مساحت کل منطقه مربوط به آسیب‌پذیری خیلی زیاد می‌باشد که عمدتاً شامل بخش مرکزی دشت است.

اقدامات مدیریتی همچون اصلاح الگوی کشت و اصلاح روش آبیاری برای افزایش راندمان کشاورزی و کاهش میزان آلودگی باید مورد توجه قرار گیرد. با اعمال سناریوهای تغییر الگوی کشت و افزایش راندمان آبیاری مقدار مصرف آب در بخش کشاورزی از ۸۵/۳ میلیون مترمکعب در وضع موجود به ۵۹/۸ میلیون مترمکعب کاهش خواهد یافت، در سناریو اصلاح روش آبیاری با تغییر روش آبیاری از کرتی، نواری، فارو به آبیاری بارانی و قطره‌ای میزان آبهویی نیترا ت در منابع آب

Reference:

- Aller, L., Bennett, T., Lehr, J.H., Petty, R.J. and Hackett, G. (1987). DRASTIC: A Standardised System for Evaluating Groundwater Pollution Potential using Hydrogeologic Settings, US Environment Protection Agency, Ada, Oklahoma, EPA/60012-87/035
- Ahirwar, S. and Shukla, J.P. (2018). Assessment of Groundwater Vulnerability in Upper Betwa River Watershed using GIS based DRASTIC Model. Journal of the Geological Society of India, 91(3), pp. 334-340.
- Baalousha, H.M. (2016). Groundwater vulnerability mapping of Qatar aquifers. Journal of African Earth Sciences, 124, pp. 75-93.
- Chitsazan, M. and Akhtari, Y. (2007). Assessment of contamination potential of zevircheri and kharan plains using DRASTIC and GIS models, Journal of water and wastewater. 17, 39-51. [In Persian]
- Engelbrechtsen, A., Vogt, R.D. and Bechmann, M. (2019). SWAT model uncertainties and cumulative probability for decreased phosphorus loading by agricultural Best Management Practices. Catena, 175, pp. 154-166.
- Ficklin, D.L., Luo, Y. and Zhang, M. (2012). Watershed modelling of hydrology and water quality in the Sacramento River watershed, California. Hydrological Processes, in press.
- Hussainzada, W. and Lee, H.S. (2022). Effect of an improved agricultural irrigation scheme with a hydraulic structure for crop cultivation in arid northern Afghanistan using the Soil and Water Assessment Tool (SWAT). Sci Rep 12, 5186. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-09318-2>
- Lathamani, R., Janardhana, M.R., Mahalingam, B. and Suresha, S. (2015). Evaluation of aquifer vulnerability using drastic model and GIS: a case study of Mysore city, Karnataka, India. Aquatic Procedia, 4, pp. 1031-1038.

- Misaghi, F., Nasrabadi, M., Nouri, M. (2020). Application of SWAT Model to Simulate Nitrate and Phosphate Leaching from Agricultural Lands to Rivers. *Advances in Environmental Technology*, 6(1), 1-17. doi: 10.22104/aet.2020.4298.1214
- Neitsch, S., Arnold, J., Kiniry, J., Williams, J. and K. King. (2005). *Soil and water assessment tool: Theoretical documentation*, version 2005. Texas, USA.
- Nepal, D. and Parajuli, P.B. (2022). Assessment of Best Management Practices on Hydrology and Sediment Yield at Watershed Scale in Mississippi Using SWAT. *Agriculture*. 12(4):518. <https://doi.org/10.3390/agriculture12040518>
- Novinpoor, E. and Masoudi, S. (2018). Assessment the vulnerability of nazloochoai urmia plain using DRASTIC, 2 chapters of new findings of applied geology, 12 (23). [In Persian]
- Qiu, Z. and Wang, L. (2014). Hydrological and water quality assessment in a suburban watershed with mixed land uses using the SWAT model. *Journal of Hydrologic Engineering*, 19(4), 816 -27. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HE.1943-5584.0000858](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0000858)
- Shekhar, S., Pandey, A.C. and Tirkey, A.S. (2015). A GIS-based DRASTIC model for assessing groundwater vulnerability in hard rock granitic aquifer. *Arabian Journal of Geosciences*, 8(3), pp.1385-1401.
- Wei, X. and Bailey, R. (2021). Evaluating nitrate and phosphorus remediation in intensively irrigated stream-aquifer systems using a coupled flow and reactive transport model. *Journal of Hydrology*, 598, 126-304, <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126304>

یادداشت‌ها

- ¹ Wei
- ² Misaghi
- ³ Qiu
- ⁴ Novinpoor
- ⁵ Ahirwar
- ⁶ Shekhar
- ⁷ Lathamani
- ⁸ Depth
- ⁹ Recharge
- ¹⁰ Aquifer
- ¹¹ Soil
- ¹² Topography
- ¹³ Impact of vadose zone
- ¹⁴ Conductivity