



## The effectiveness of management strategies to preserve the groundwater resources of Marvdasht-Kharameh plain using system dynamics

Hamed Mazandaranizadeh<sup>1✉</sup> | Yasaman Shokouhifar<sup>2</sup>

1. Corresponding Author, Department of Water Sciences and Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran. E-mail: [mazandaranizadeh@eng.ikiu.ac.ir](mailto:mazandaranizadeh@eng.ikiu.ac.ir)

2. Department of Water Sciences and Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran. E-mail: [yasamanshokouhifar@gmail.com](mailto:yasamanshokouhifar@gmail.com)

Article Info	ABSTRACT
<b>Article type:</b> Research Article	Recently, the increase in water demand and the pollution of water resources have threatened groundwater resources. The purpose of this research is to investigate the impact of the conservative scenarios of groundwater resources and its effect on the restriction of the aquifer volume reduction process using the system dynamics approach in Marvdasht-Kharameh plain.
<b>Article history:</b>	The current conditions of the aquifer during the statistical period of 2005-2018 were simulated and recalibrated according to the observed values of the aquifer volume. The scenarios have been applied in three ways to investigate the effect of climate change, changing the amount of water allocated to farmers from Doroudzan dam and changing the cultivation pattern under the scenarios SSP1-2.6 and SSP5-8.5 on the volume of the aquifer. In order to investigate the effect of climate change on Marvdasht-Kharameh aquifer in the period from 2021 to 2046, the rainfall data of GFDL-ESM4 model under two scenarios SSP1-2.6 and SSP5-8.5 were considered. The study of the impact of climate change and the release of the Darudzen dam showed that the volume and recharge of groundwater will decrease in the scenario SSP1-2.6 (50 and 49 million cubic meters respectively), and in the scenario SSP5-8.5 (54 and 67 million cubic meters respectively). Also, by removing the rice crop from the cultivation pattern of Marvdasht-Kharameh plain in the future climate conditions under two scenarios SSP1-2.6 and SSP5-8.5, which will add 495 and 207 million cubic meters to the aquifer volume respectively, the greatest effect on increasing the aquifer volume will be achieved. It will have 30 and 50 percent reduction in the area under rice cultivation. Therefore, in order to manage and preserve groundwater resources, it is necessary to change the cultivation pattern and replace high consumption crops with low consumption crops.
<b>Received:</b> Nov. 20, 2022	
<b>Revised:</b> Apr. 3, 2023	
<b>Accepted:</b> Apr. 17, 2023	
<b>Published online:</b> May. 22, 2023	
<b>Keywords:</b> Cultivation pattern, Climate change, Doroudzan dam, Groundwater resources, Vensim.	

Cite this article: Mazandaranizadeh, H., & Shokouhifar, Y. (2023). The effectiveness of management strategies to preserve the groundwater resources of Marvdasht-Kharameh plain using system dynamics, *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 54 (3), 455-472. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.351412.669399>

© The Author(s).

Publisher: University of Tehran Press.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.351412.669399>



## اثر بخشی راهکارهای مدیریتی حفظ منابع آب زیرزمینی دشت مروودشت-خرامه با استفاده از پویایی سیستم‌ها

حامد مازندرانی‌زاده<sup>۱</sup> | یاسمن شکوهی‌فر<sup>۲</sup>

۱. نویسنده مسئول، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران. رایانامه:

[mazandaranzadeh@eng.ikiu.ac.ir](mailto:mazandaranzadeh@eng.ikiu.ac.ir)

۲. گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران. رایانامه:

[yasamanshokouhifar@gmail.com](mailto:yasamanshokouhifar@gmail.com)

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	
تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۸/۲۹	اخیراً، افزایش تقاضای آب و آلودگی منابع آب، باعث تهدید منابع آب زیرزمینی شده است. هدف از این تحقیق بررسی میزان تأثیر سناریوهای حفظ منابع آب زیرزمینی دشت مروودشت-خرامه و تأثیر آن بر بهبود روند کاهش حجم آبخوان با استفاده از رویکرد پویایی سیستم می‌باشد. شرایط فعلی آبخوان طی دوره آماری ۱۳۹۸-۱۳۸۴ شبیه‌سازی و با توجه به مقادیر مشاهده‌ای حجم آبخوان واستجی شد. سناریوها به سه صورت بررسی اثر تغییر اقلیم، تغییر حجم آب تخصیص‌یافته به کشاورزان از سد درودزن و تغییر الگوی کشت تحت سناریوهای SSP1-2.6 و SSP5-8.5 بر حجم آبخوان اعمال شده است. به منظور بررسی اثر تغییر اقلیم بر آبخوان مروودشت-خرامه در دوره‌ی ۱۴۰۰ تا ۱۴۲۵، داده‌های بارش مدل GFDL-ESM4 تحت دو سناریو SSP1-2.6 و SSP5-8.5 در نظر گرفته شد. بررسی تأثیر تغییر اقلیم و رهاسازی از سد درودزن نشان داد که در سناریو SSP1-2.6 به ترتیب ۵۰ و ۴۹ میلیون مترمکعب و در سناریو SSP5-8.5 به ترتیب ۵۴ و ۶۷ میلیون مترمکعب از حجم و تغذیه آب زیرزمینی کاسته می‌شود. همچنین با حذف محصول برنج از الگوی کشت دشت مروودشت-خرامه در شرایط اقلیمی آینده تحت دو سناریو SSP1-2.6 و SSP5-8.5 که به ترتیب ۴۹۵ و ۲۰۷ میلیون متر مکعب به حجم آبخوان افزوده می‌شود، بیشترین تأثیر را در افزایش حجم آبخوان نسبت به کاهش ۳۰ و ۵۰ درصدی سطح زیرکشت برنج خواهد داشت. بنابراین در راستای مدیریت و حفظ منابع آب زیرزمینی، تغییر الگوی کشت و جایگزین کشت‌های پرمصرف با کشت‌های کم مصرف ضروری است.
واژه‌های کلیدی: الگوی کشت، پویایی سیستم، تغییر اقلیم، سد درودزن، منابع آب زیرزمینی.	

استناد: مازندرانی‌زاده؛ حامد، شکوهی‌فر؛ یاسمن، (۱۴۰۲). بررسی اثر بخشی راهکارهای مدیریتی حفظ منابع آب زیرزمینی دشت مروودشت-خرامه با استفاده از پویایی

سیستم‌ها، مجله تحقیقات آب و خاک ایران، ۵۴ (۳)، ۴۷۲-۴۵۵. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.351412.669399>

© نویسندگان.

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.351412.669399>

## مقدمه

در مناطق خشک و نیمه‌خشک مشکلات عدیده‌ای ناشی از کمبود منابع آبی به‌ویژه کاهش ذخایر آبخوان‌ها به‌وجود آمده است. ایران نیز دارای شرایط اقلیمی خشک و نیمه‌خشک با میانگین بارش سالانه ۲۵۰ میلی‌متر در سال است (نوری سنگراب و همکاران، ۱۳۹۹). با این حال با افزایش جمعیت و نیاز به مواد غذایی بیشتر، سبب افزایش مصرف منابع آب شده است. به دلیل دسترسی آسان و سادگی بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی، میزان برداشت از این منابع، افزایش قابل ملاحظه‌ای یافته و به گونه‌ای که در اغلب مناطق، بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی بیش از تغذیه بوده که ادامه این روند خطر نابودی منابع آب زیرزمینی را در پی خواهد داشت (طراز کار و همکاران، ۱۳۹۵). بنابراین برنامه‌ریزی مدیریت منابع آب برای جلوگیری از شکل‌گیری بحران ضروری است. از این‌رو، تکنیک‌های تحلیل سیستم‌ها در برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب مورد توجه محققان مهندسی منابع آب قرار گرفته است. انواع مدل‌های به کار رفته در این گونه مسائل به سه دسته مدل‌های شبیه‌سازی، بهینه‌سازی و ترکیب شبیه‌سازی و بهینه‌سازی تقسیم می‌شوند (اعلمی و همکاران، ۱۳۹۳). یکی از این روش‌ها روش تحلیل پویایی سیستم<sup>۱</sup> است و روشی برای مطالعه و مدیریت سیستم‌های پیچیده و دارای بازخورد است. با استفاده از مدل‌های پویایی سیستم‌ها می‌توان مدل‌سازی گسترده انجام داد و هیچ محدودیتی برای استفاده از پارامترهای مرتبط با مرجع سیستم و زیرسیستم ندارد و امکان وارد کردن متغیرهای کمی و کیفی را به طور همزمان در سیستم فراهم می‌کند. پژوهشگران زیادی از این روش برای شبیه‌سازی منابع آب استفاده کرده‌اند به طور مثال در دشت قزوین با استفاده از روش پویایی سیستم‌ها عرضه و تقاضای آب با رویکرد غذا-انرژی-آب مورد بررسی قرار گرفت. استفاده از داده‌های زمانی ۲۰۱۶-۲۰۰۶ به منظور توسعه سناریوهای مدیریتی برای سال‌های ۲۰۳۹-۲۰۲۰ نشان داد که ادامه سیاست‌های مدیریتی موجود آسیب شدیدی به بخش‌های آب و انرژی وارد می‌کند و سیستم را به سمت رشد محدودیت‌های بیشتر منابع آب سوق می‌دهد (Naderi et al., 2021). با بکارگیری پویایی سیستم و بهره‌گیری از چرخه‌های بازخورد و روابط پویا در گذر زمان برای شناسایی رفتار سیستم و توسعه پایدار و مدیریت منابع آب نیویزیند، ساختاری برای تأمین منابع آب طراحی شد (Winz, 2005). در مطالعه‌ای با عنوان مدل‌سازی منابع آب در حوضه آبریز با استفاده از روش پویایی سیستم در حوضه آبریز نیشابور با به کارگیری نرم افزار Vensim نشان داد در صورتی که مصارف کشاورزی و به تبع آن میزان آب زیرزمینی بهره‌برداری شده به هر یک از مقادیر سالیانه تعیین شده در مدل تحت هر یک از شرایط محیطی طی سال‌های آینده تنزل یابد، شاهد بالا آمدن سطح آب آبخوان در دشت خواهند بود (میثاقی و همکاران، ۱۳۸۹). بررسی تأثیر تغییر الگوی کشت بر منابع آب زیرزمینی دشت مهران با استفاده از روش پویایی سیستم تحت سناریوهای مختلف تغییر قیمت انرژی نشان داد که سناریوی تغییر الگوی کشت از یونجه و کلزا، دارای بیشترین تأثیر مثبت بر آبخوان و تغییر سطح زیر کشت از یونجه به ذرت، تا حدودی تعادل در سطح آب زیرزمینی دشت را در پی داشته است (درویشی و همکاران، ۱۳۹۷). بررسی فرونشست زمین ناشی از برداشت بیش از حد از آب‌های زیرزمینی حوضه رودخانه Choshui تایوان با استفاده از روش پویایی سیستم‌ها نشان داد که با مسدود و مهر و موم کردن ۱۵۰۰ چاه علاوه بر تأثیر کم بر فرونشست زمین، اثرات نامطلوب قابل توجهی بر جامعه کشاورزی نیز خواهد داشت (Huang et al., 2022).

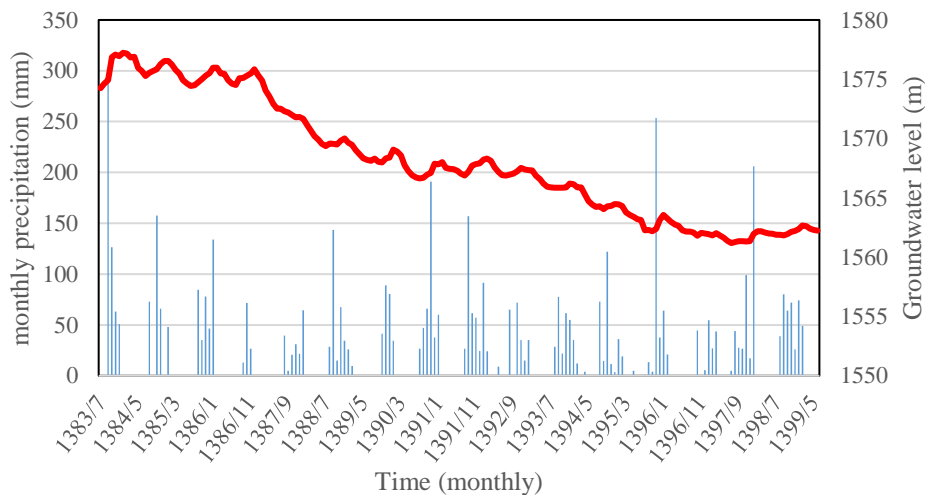
در سال‌های اخیر در دشت مروودشت-خرامه با توجه به تغییر اقلیم و کاهش نزولات جوی و در پی کاهش ورودی آب رودخانه کر به دشت به دلیل کاهش میزان رهاسازی از سد درودزن که بر روی رودخانه کر احداث شده، سبب کم‌آب شدن و حتی خشکی این رودخانه در محدوده مطالعاتی گردیده که به تبع آن با بهره‌برداری بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی در این دشت، موجب افت چشمگیر سطح آب زیرزمینی شده است. کاهش سطح آب زیرزمینی مشکلاتی همچون شوری آب (قربانیان و همکاران، ۱۳۹۳)، خشک شدن چاه‌های آب، کاهش دبی رودخانه‌ها و آب چاه‌ها، کاهش کیفیت آب، افزایش هزینه پمپاژ و استحصال آب و فرونشست زمین را به دنبال دارد که این به نوبه خود منجر به کاهش دسترسی به آب و کاهش تولید برای کشاورزان می‌شود و از آن جایی که اقتصاد روستا بر پایه کشاورزی است و کشاورزی نیز وابسته به آب است، کاهش سطح آب زیرزمینی رفاه کشاورزان را تحت تأثیر قرار داده است (شرکت مدیریت منابع آب ایران، ۱۳۹۶). با توجه به کاهش عرضه آب‌های سطحی و برداشت بی‌رویه آب‌های زیرزمینی در دشت مروودشت-خرامه، ارائه راهکارهای مناسب در راستای مدیریت منابع سطحی و زیرزمینی این دشت ضروری است. از این‌رو در این مطالعه به کمک روش پویایی سیستم‌ها به بررسی اثربخشی سیاست‌های حفظ منابع آب زیرزمینی دشت مروودشت-خرامه پرداخته شد.

<sup>1</sup> System Dynamic

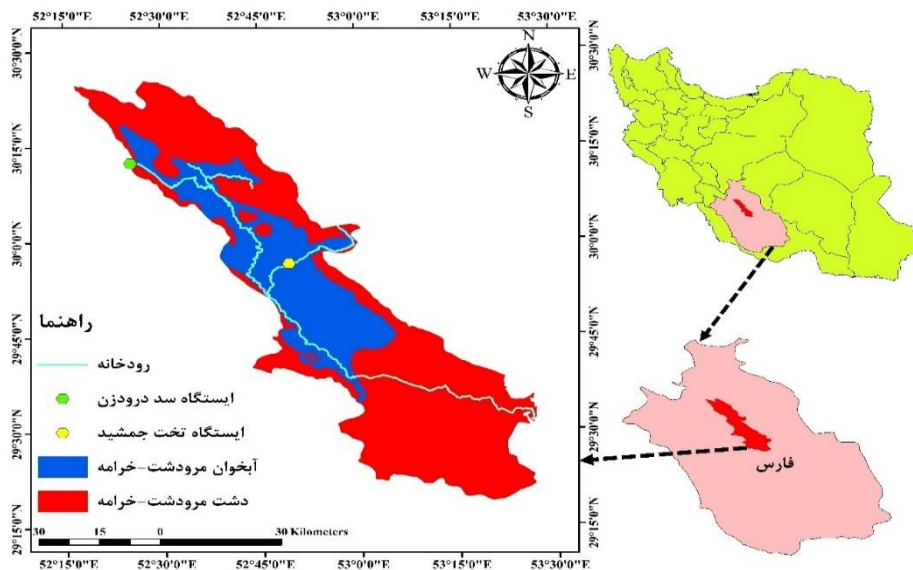
## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

آبخوان آبرفتی مروودشت-خرامه با مساحت ۱۴۷۹ کیلومتر مربع واقع در دشت مروودشت-خرامه یکی از بزرگترین دشت‌های حوضه آبریز طشک-بختگان در استان فارس است و در موقعیت جغرافیایی  $۱۵^{\circ} ۵۳'$  تا  $۲۷^{\circ} ۵۳'$  طول شرقی و  $۱۹^{\circ} ۲۹'$  تا  $۲۵^{\circ} ۳۰'$  شمالی واقع شده است. حداکثر ارتفاع ۳۰۹۹ متر در قله کوه دشتک در شمال محدوده و حداقل ارتفاع آن ۱۵۶۳ متر در خروجی محدوده به سمت دریاچه بختگان است. مهم‌ترین منبع آبی این دشت، آبخوان مذکور است از نوع آزاد بوده که عمدتاً از طریق چاه‌های نیمه‌عمیق و عمیق مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرد. رودخانه‌های مهم ورودی به دشت مروودشت-خرامه، دو رودخانه اصلی کر و سیوند و رودخانه فرعی دائمی مائین هستند که در نهایت پس از تلاقی رودخانه‌ها در پل خان و جمع‌آوری آب‌های سطحی محدوده، به سمت دریاچه بختگان منتهی می‌شوند. این رودخانه‌ها به دلیل دائمی بودن نقش قابل توجهی در کشاورزی منطقه مورد مطالعه دارند (رجا و همکاران، ۱۳۹۸؛ شرکت مدیریت منابع آب ایران، ۱۳۹۶). مطابق با شکل ۱ در سال‌های اخیر سطح آب زیرزمینی این دشت روند کاهشی داشته به طوری که دشت مورد مطالعه بین سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۰ و ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۳ با افت شدید سطح آب زیرزمینی مواجه شده است. از این رو این دشت نیازمند توجه بیشتر بوده تا بتوان از ادامه روند کاهشی سطح آب زیرزمینی جلوگیری نمود، چرا که اگر این روند ادامه یابد خسارت‌های زیادی از نظر کمی و کیفی به آبخوان مروودشت-خرامه وارد خواهد شد. شکل ۲ موقعیت آبخوان مروودشت-خرامه و محدوده مطالعاتی را نشان می‌دهد.



شکل ۱. هیدروگراف معرف آبخوان آبرفتی مروودشت-خرامه از مهر ۱۳۸۳ تا شهریور ۱۳۹۹



شکل ۲. موقعیت منطقه‌ی مورد مطالعه در ایران

**نرم افزار پویایی سیستم Vensim PLE**

مدل سازی پویا ابزاری مناسب برای توسعه مدل های ذهنی از طریق افکار سیستماتیک است. تکنیک SD یکی از بهترین روش هایی است که می تواند این رویکرد مشترک را برای ایجاد تعادل بین ساده سازی و واقع گرایی اجرا کند. این رویکرد به عنوان شاخه ای از تفکر سیستماتیک می تواند در مدل سازی سیستم های پیچیده و در نظر گرفتن مسائل نامطمئن در مدیریت سیستم استفاده شود (Forrester, 1961). ساختار مدل سازی پویایی سیستم در کامپیوتر می تواند پیچیده تر از هر مدل ذهنی باشد و همچنین روش ساده تر و مؤثرتری نسبت به روش های دیگر است و می توان با معادلات ساده ریاضی محاسبات پیچیده را انجام داد (میثاقی و همکاران، ۱۳۸۹). یکی از نرم افزارهای مناسب برای مدلسازی به روش پویایی سیستم استفاده از نرم افزار Vensim است. در پژوهش حاضر از رویکرد پویایی سیستم برای مدلسازی تأثیر سناریوهای مختلف بر حجم ذخیره آبخوان دشت مرودشت-خرامه استفاده شده است.

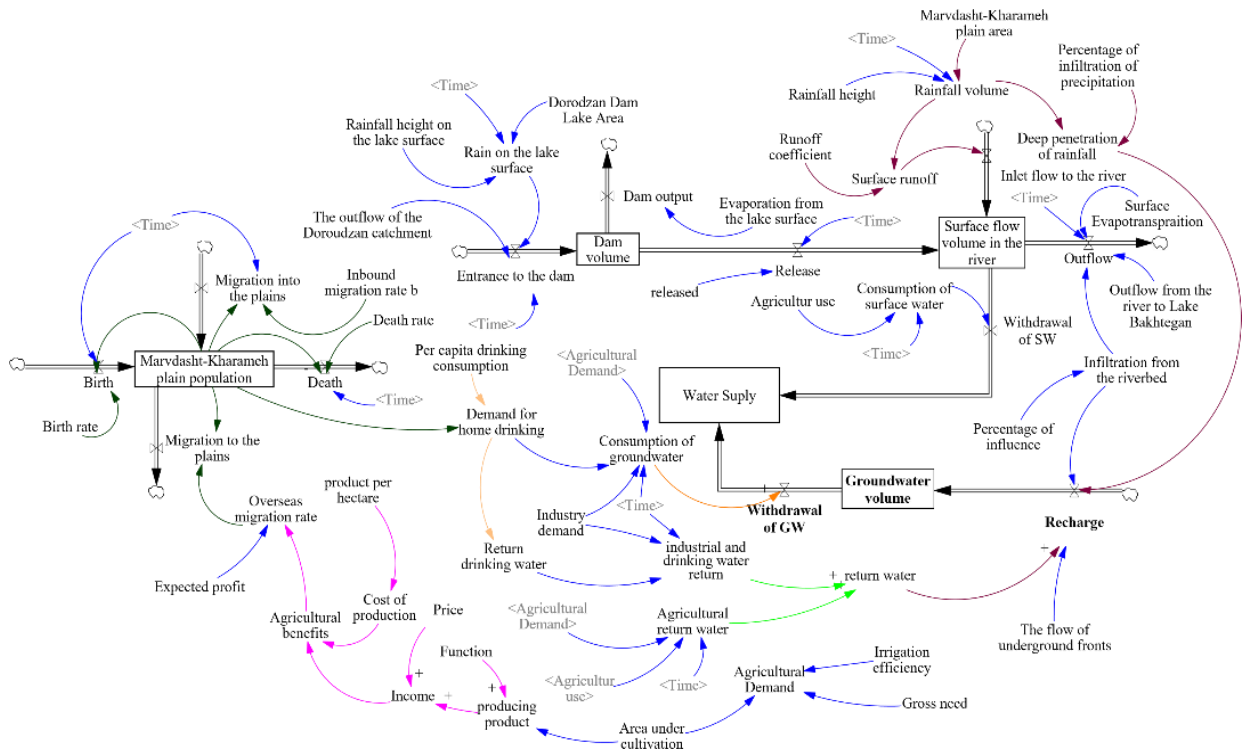
**مدل پویایی آبخوان دشت مرودشت-خرامه**

برای مدل سازی به روش پویایی سیستم در نرم افزار Vensim PLE با توجه به موضوع مدنظر، نیاز به محاسبات بیلان آب زیرزمینی با توجه به رابطه ۱ است. بر اساس این رابطه با وارد کردن پارامترهای مشاهداتی، مقادیر حجم آبخوان محاسبه شد و سپس حجم های محاسبه شده با مقادیر مشاهداتی مقایسه گردید.

$$V = P + D_1 + G_1 + Q_r + Q_A - (ET + D_2 + G_2 + Q_d) \quad \text{رابطه ۱}$$

طبق رابطه ۱،  $V$  تغییرات حجم آبخوان (مترمکعب)،  $P$  حجم جریان نفوذ یافته به آبخوان از بارش (مترمکعب)،  $ET$  حجم آب تبخیر شده از آبخوان (مترمکعب)،  $G_1$  و  $G_2$  به ترتیب حجم جریان زیرزمینی ورودی و خروجی آبخوان (مترمکعب)،  $D_1$  و  $D_2$  حجم جریان های سطحی ورودی و خروجی آبخوان (مترمکعب)،  $Q_r$  آب برگشتی به آبخوان از مصارف مختلف (مترمکعب)،  $Q_A$  میزان تغذیه مصنوعی (مترمکعب)،  $Q_d$  حجم آب تخلیه شده از آبخوان برای تامین نیازهای کشاورزی، صنعت و شرب (مترمکعب) است. آمار و اطلاعات اقلیمی، آبدهی سطحی و مقادیر جریان ورودی و خروجی زیرزمینی مورد استفاده در این مطالعه از شرکت آب منطقه ای و اداره هواشناسی استان فارس اخذ شده است. همچنین اطلاعات مربوط به جمعیت از سالنامه های آماری منتشر شده توسط سازمان مرکز ملی آمار ایران و آمار مربوط به سطوح زیرکشت از گزارشات طرح های جامع آب و سازمان جهاد کشاورزی استان فارس تهیه شده است. میزان کل جریان رهاسازی از سد درودزن بعنوان ورودی به رودخانه کر که از دشت مرودشت-خرامه عبور می کند وارد مدل شده و با کسر تقاضای آب در بخش کشاورزی، تبخیر از سطح رودخانه و نفوذ، حجم آب باقی مانده بعنوان خروجی رودخانه کر (حق آبه دریاچه) به سمت دریاچه بختگان هدایت می شود. تمامی این متغیرها در شکل (۳) تحت عنوان نمودار جریان مدل پویایی آبخوان دشت مرودشت-خرامه در مدل وارد شده است.

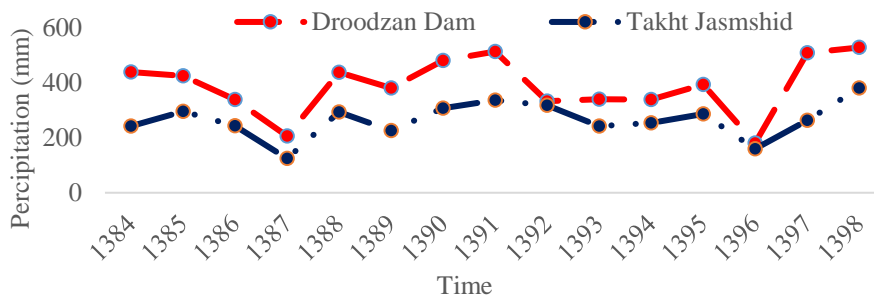
واسنجی مدل آبخوان مرودشت-خرامه برای دوره زمانی ۱۳۸۴ تا ۱۳۹۸ با توجه مقادیر مشاهده ای حجم آبخوان با هدف کاهش خطای مدل در تخمین حجم آبخوان صورت پذیرفت. حجم آب زیرزمینی طی سال های ۱۳۸۴ تا ۱۳۹۸ براساس مطالعه انجام شده توسط زیبایی و همکاران، ۱۳۹۸ و گزارش های سالانه شرکت آب منطقه ای استان فارس تهیه شده است. همچنین برای بررسی تاثیر شرایط تغییر اقلیم و سناریوهای مورد بررسی نرم افزار برای سال های ۱۳۸۴ تا ۱۴۲۵ مورد اجرا قرار گرفت. سیستم منابع آب دشت مرودشت-خرامه به دو صورت زیر سیستم متغیرهای تغذیه و تخلیه آبخوان در نظر گرفته شده است. جزئیات کامل زیرسیستم ها در شکل ۳ قابل مشاهده است. برای جمع آوری اطلاعات آب و هوایی مورد نیاز این مطالعه از ایستگاه های اقلیم شناسی منطقه استفاده شد (سازمان هواشناسی ایران، ۱۳۹۸). با توجه به طولانی مدت بودن آمار ایستگاه های سینوپتیک سد درودزن و تخت جمشید، از داده های این دو ایستگاه برای سال ۱۳۸۴ تا ۱۳۹۸ استفاده شد. نمودار جریان مدل پویایی آبخوان مرودشت-خرامه در محیط نرم افزار Vensim PLE در شکل ۳ نشان داده شده است.



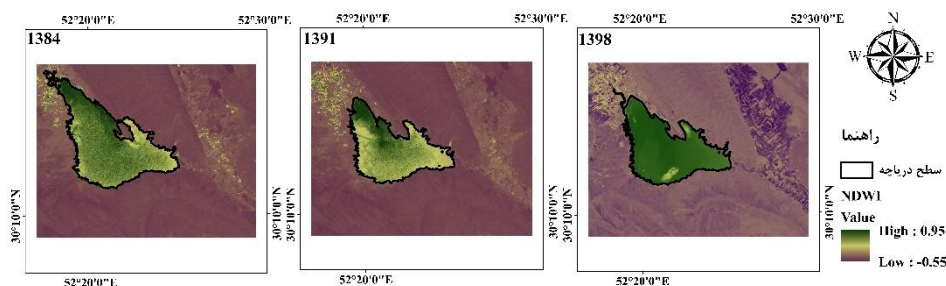
شکل ۳. نمودار جریان مدل پویایی آبخوان دشت مروودشت-خرامه

### زیرسیستم متغیرهای تغذیه آبخوان

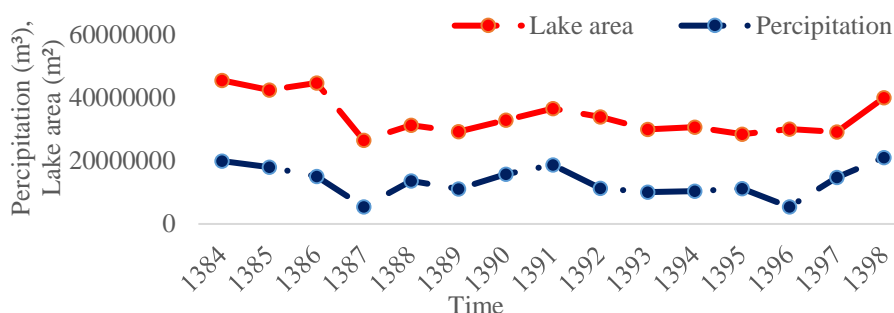
تغذیه شامل زیرسیستم‌های نفوذ عمقی، نفوذ از جبهه آب زیرزمینی و آب برگشتی از مصارف کشاورزی، شرب و صنعت است. بارش یکی از عوامل مهم تغذیه حوضه آبریز محسوب می‌گردد لذا کاهش و یا افزایش آن تأثیر بسزایی در سیکل هیدرولوژی منطقه دارد (رجا و همکاران، ۱۳۹۸). میانگین بارش سالانه در طی دوره ۹۸-۱۳۸۴ در ایستگاه سینوپتیک سد درودزن و تخت جمشید به ترتیب ۳۸۸/۱۰ و ۲۶۳/۸۴ میلی‌متر است. نمودار تغییرات بارش دو ایستگاه مورد نظر در شکل ۴ نشان داده شده است. همچنین بخش اعظم آب کشاورزی مورد نیاز منطقه از طریق رهاسازی سد درودزن در شمال محدوده تامین می‌گردد. اطلاعات جریان ورودی به سد درودزن و میزان رهاسازی از سد درودزن، طی دوره ۱۳۹۸-۱۳۸۴ از آب منطقه‌ای استان فارس اخذ گردید. برای بدست آوردن تغییرات حجم سد درودزن علاوه بر داشتن رهاسازی و جریان ورودی به سد، به اطلاعات تبخیر از سد، مساحت دریاچه سد و ارتفاع بارش بر سطح دریاچه مورد نیاز است. برای بدست آوردن سری زمانی مساحت دریاچه سد درودزن از شاخص آب تفاضلی نرمال شده NDWI (Gao, 1996) استفاده شد. با استفاده از ۱۵ تصویر ماهواره‌ای LANDSAT سنجنده های ETM+ و OLI موجود در سامانه گوگل ارث انجین Google Earth Engine (GEE) با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر مساحت دریاچه سد درودزن برای دوره زمانی ۱۳۸۴ تا ۱۳۹۸ استخراج شد. مساحت سطح دریاچه متناسب با ارتفاع بارشی که بر سطح دریاچه باریده است از سال ۱۳۸۴ نسبت به سال ۱۳۹۱ رو به کاهش و از سال ۱۳۹۱ نسبت به سال ۱۳۹۸ رو به افزایش بوده است. شکل ۵ و ۶ تغییرات سطح دریاچه سد درودزن را نشان می‌دهد.



شکل ۴. مقادیر بارش سالانه دشت مروودشت-خرامه



شکل ۵. شاخص NDWI دریاچه سد درودزن

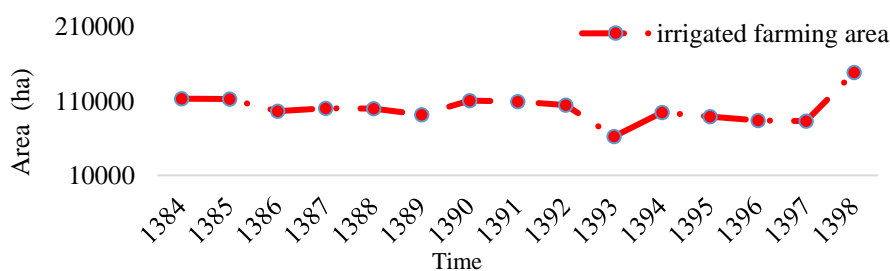


شکل ۶. تغییرات سطح دریاچه و بارش سد درودزن

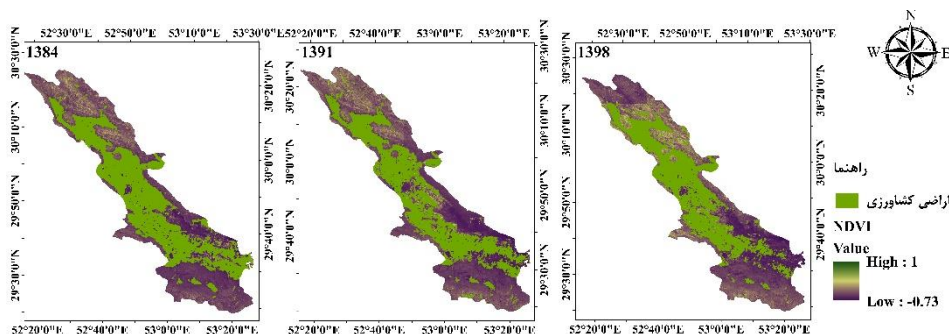
مساحت دشت، ضریب رواناب، ضریب نفوذ از بارش، ضریب نفوذ از جریانات سطحی بستر رودخانه، آب ورودی از جبهه آب زیرزمینی و همچنین میزان آب برگشتی از مصارف کشاورزی، شرب و صنعت نیز به صورت مقادیر ثابت فرض شده است. مقدار ضریب رواناب کل محدوده مطالعاتی ۹/۹ درصد، ضریب نفوذ بارش ۲۸ درصد، ضریب نفوذ جریانات سطحی ۱۲ درصد، میزان آب ورودی از جبهه آب زیرزمینی ۱۷۲/۱۸ میلیون متر مکعب برآورد شده است (شرکت مدیریت منابع آب ایران، ۱۳۹۶). همچنین محدوده تغییرات ضرایب آب بازگشتی در دشت مرودشت-خرامه معادل ۲۰ درصد برای مصارف کشاورزی و ۶۰ تا ۸۰ درصد در بخش شرب و صنعت منظور شده است (رجا و همکاران، ۱۳۹۸).

### زیرسیستم متغیرهای تخلیه آبخوان

تخلیه از آب زیرزمینی به عنوان برداشت از آب زیرزمینی در مدل متشکل از زیرسیستم‌های مصارف کشاورزی، شرب و صنعت است. برای محاسبه نیاز آب شرب دشت، با توجه به جمعیت شهر مرودشت و شهر خرامه براساس اطلاعات سازمان مرکز ملی آمار ایران برحسب نفر در شبانه‌روز در طول سال ۷۴ لیتر در روز برای سرانه مصرف جمعیت صورت گرفته است (مرکز آمار ایران، ۱۳۹۷). نیاز آبی بخش صنعت براساس مطالعه انجام شده توسط رجا و همکاران، ۱۳۹۸ بدست آمده است. در بخش کشاورزی با توجه به سطح زیرکشت گزارش شده توسط آمار و اطلاعات سازمان جهاد کشاورزی استان فارس و همچنین گزارشات طرح های جامع آب، متوسط نیاز آبی هر هکتار محاسبه شده است (شرکت مدیریت منابع آب ایران، ۱۳۹۶؛ سازمان جهاد کشاورزی فارس، ۱۳۹۸). تغییرات سطح زیر کشت آبی دشت مرودشت-خرامه طی دوره آماری ۱۳۸۴ تا ۱۳۹۸ با توجه به شاخص پوشش گیاهی NDVI به کمک سامانه GEE و با استفاده از تصاویر ماهواره ای LANDSAT سنجنده‌های ETM+ و OLI بدست آمده است. شکل ۸ شاخص NDVI برای سال‌های ۱۳۸۴، ۱۳۹۱ و ۱۳۹۸ را نشان می‌دهد. با توجه به شاخص NDVI در طول زمان شاهد کاهش مساحت اراضی کشاورزی هستیم که بیشترین کاهش سطح در جنوب دشت در محدوده خرامه مشاهده می‌شود. همچنین با توجه به شکل ۷ سطح زیر کشت آبی دشت مرودشت-خرامه بجز در سال ۱۳۹۸ روند کاهشی در پی داشته است که دلیل افزایش سطح زیرکشت در سال ۱۳۹۸، افزایش حجم آب رهاسازی سد درودزن در این سال به میزان ۳۱۰/۱۳ میلیون مترمکعب نسبت به سال قبل، در بسیاری از مناطق استان فارس علی‌الخصوص شهرستان مرودشت به شلتوک کاری روی آوردند. با توجه به ناچیز بودن نرخ تبخیر و تعرق از منابع زیرزمینی مقدار حجم آب تبخیر شده از آبخوان و آب خروجی از جبهه آب زیرزمینی طبق گزارش بیلان سازمان آب منطقه‌ای استان فارس در این مطالعه صفر فرض شده است (شرکت آب منطقه ای فارس، ۱۳۹۸). همچنین میزان نیاز آبی کشاورزی دشت مرودشت-خرامه که توسط سد درودزن تامین می‌شود، براساس گزارشات سالانه بیلان آب مرودشت-خرامه (شرکت آب منطقه ای فارس، ۱۳۹۸) و مطالعات انجام شده توسط رجا و همکاران، ۱۳۹۸ تخمین زده شده است.



شکل ۷. تغییرات سطح زیرکشت آبی دشت مروذشت-خرامه (سازمان جهاد کشاورزی فارس، ۱۳۹۸)



شکل ۸. شاخص NDVI دشت مروذشت-خرامه

### واسنجی مدل

به منظور اعتبارسنجی عملکرد مدل توسعه داده شده برای آبخوان مروذشت-خرامه برای دوره زمانی ۱۳۸۴ تا ۱۳۹۸ با توجه به مقادیر مشاهده‌ای حجم آبخوان و مقادیر محاسباتی توسط مدل با هدف کاهش خطای مدل در تخمین حجم آبخوان، واسنجی صورت پذیرفته است. یکی از روش‌های اعتبار سنجی، مقایسه نتایج مدل با داده‌های تاریخی است. پس از ساخت مدل، خروجی‌های مدل با داده‌های واقعی گذشته مطابقت داده شد. وجود تطابق باعث اطمینان به نتایج و تایید روایی آن در پیش‌بینی آینده می‌شود. در این روش هر چقدر مجذور میانگین مربعات، انحراف معیار و نرمال سازی خطای جذر میانگین مربعات کمتر باشد درصد خطای مدل نیز کمتر خواهد بود. با استفاده از فرمول‌های زیر اعتبار سنجی صورت گرفته شده است.

رابطه ۲)

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^n (Q_{iobs} - Q_{isim})^2}$$

رابطه ۳)

$$NRMSE = \frac{RMSE}{Q_{iobs} - Q_{isim}}$$

رابطه ۴)

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |Q_{iobs} - Q_{isim}|}{n}$$

رابطه ۵)

$$R^2 = \frac{[\sum_i (Q_{iobs} - \bar{Q}_{obs})(Q_{isim} - \bar{Q}_{sim})]^2}{\sum_i (Q_{iobs} - \bar{Q}_{obs})^2 \sum_i (Q_{isim} - \bar{Q}_{sim})^2}$$

در رابطه‌های فوق، RMSE خطای جذر میانگین مربعات، NRMSE نرمال سازی خطای جذر میانگین مربعات، MAE میانگین خطای مطلق و  $R^2$  ضریب تعیین است.

### سناریوهای مطرح در محدوده مورد مطالعه

با توجه به اینکه در اغلب دشتهای ایران به دلایل متعددی نظیر توسعه بی‌رویه کشاورزی، خشکسالی‌ها، برداشت بیش از حد مجاز از چاه‌های بهره‌برداری و حفر چاه‌های غیرمجاز، سطح آب زیرزمینی دچار افت شده است. با پایین رفتن سطح آب زیرزمینی، کشاورزان چاه‌های عمیق‌تری حفر کرده و پمپ‌های قویتری بکار گرفته‌اند. در این مطالعه نیز با توجه به توسعه بی‌رویه کشت برنج، خشکسالی و کاهش بارش و شرایط نابسامان منابع آبی دشت، اقدام به سناریوسازی شد. ۳ سناریو به شرح زیر در نظر گرفته شد:



### سناریو ۱- تغییر اقلیم

با توجه به کاهش نزولات جوی و افزایش دما، برای بررسی اثرات تغییر اقلیم بر میزان تغذیه و حجم آب زیرزمینی تا سال ۱۴۲۵، با استفاده از مدل‌های گردش عمومی جو، پارامتر بارش تحت دو سناریو SSP1-2.6 و SSP5-8.5 برای بررسی هر چه بهتر شرایط پیش بینی شده است. از بین ۵ سناریو SSP، سناریو SSP1-2.6 به عنوان سناریو خوشبینانه و SSP5-8.5 به عنوان سناریو بدبینانه در نظر گرفته شده است.

### سناریو ۲- تغییر حجم آب تخصیص یافته به کشاورزان از سد درودزن

با توجه به اینکه سد درودزن در بالادست دشت احداث شده است و حجم بزرگی از آب سطحی موجود در منطقه وابسته مطلق به رهاسازی از این سد برای مصارف کشاورزی است. بنابراین یکی از سناریوها به تغییر رهاسازی بر اثر تغییر اقلیم تحت دو سناریو SSP1-2.6 و SSP5-8.5 و تأثیر مستقیم آن بر حجم آب زیرزمینی اختصاص داده شده است.

### سناریو ۳- تغییر الگوی کشت

با توجه به اینکه عمده گذران معاش مردم ساکن این منطقه از طریق کشاورزی است و با توجه به طرح کاهش ۲۵ تا ۳۰ درصدی سطح زیر کشت برنج، سه سناریو از کاهش ۳۰ درصد، ۵۰ درصد و ۱۰۰ درصد سطح زیر کشت برنج اتخاذ شد. تغییر الگوی کشت برای شرایط تغییر اقلیم تحت دو سناریو SSP1-2.6 و SSP5-8.5 اعمال شد.

### مدل‌ها و سناریوهای اقلیمی

در این مطالعه، برای پیش بینی دو پارامتر دما و بارش از مدل‌های موجود در گزارش ششم CMIP6 استفاده شده است. در مدل‌های موجود در گزارش ششم، سناریوهای انتشار مشترک اجتماعی و اقتصادی SSP/RCP برای شبیه سازی شرایط اقلیمی آینده اعمال شده است (O'Neill et al., 2016). خروجی مدل‌های گزارش ششم تحت سناریوهای جدید خط سیر بخش‌های مشترک اقتصادی-اجتماعی (SSPs) هستند و همچنین غلظت‌های مختلف گازهای گلخانه‌ای (RCP) را ارائه می‌دهند. برای دریافت خروجی این مدل‌ها نیاز به انتخاب سناریوهای گزارش ششم می‌باشد که گزارش ششم تحت ۵ سناریوی SSP1-1.9، SSP1-2.6، SSP2-4.5، SSP3-7.0، SSP4-3.4، SSP5-3.4، SSP5-8.5 و SSP5-8.5 ارائه شده است (Hempel et al., 2013). در این مطالعه به منظور بررسی اثر تغییر اقلیم بر بارش، دما و تغذیه آبخوان مرودشت-خرامه در دوره‌ی ۱۴۰۰ تا ۱۴۲۵ از ۴ مدل MPI-ESM1-IPSL-CMA6-LR، GFDL-ESM4، ISI-MIP Fast Track با قدرت تفکیک مکانی 2-HR و UKESM1-0-II تحت تأثیر دو سناریو SSP1-2.6 و SSP5-8.5 از پروژه ISI-MIP با قدرت تفکیک مکانی 0.5°×0.5° برای دو ایستگاه سینوپتیک سد درودزن و تخت جمشید که مشخصات آنها در جدول زیر آمده است از درگاه ESGF دریافت شد. فایل‌های موجود در این منبع، برای مقیاس جهانی به فرمت NETCDF موجود است که برای دریافت سری زمانی داده‌ها در این مطالعه از نرم افزار QGIS 3.12.2 و افزونه Temporal/Spectral Profile Tool استفاده شد.

جدول ۱. مشخصات ایستگاه‌های سینوپتیک محدوده مورد مطالعه

ردیف	نام ایستگاه	نوع ایستگاه	طول جغرافیایی عرض جغرافیایی ارتفاع از سطح دریا (متر)	سال آماری
۱	سد درودزن	سینوپتیک	۵۲°۱۷' ۳۰°۱۱'	۱۳۹۸-۱۳۶۶
۲	تخت جمشید	سینوپتیک	۵۲°۵۴' ۲۹°۵۶'	۱۳۹۸-۱۳۶۶

متغیرهای اقلیمی که از مدل‌های گردش عمومی جو دریافت می‌شود، معمولاً دارای انحرافات نسبت به دوره تاریخی هستند بنابراین نیاز است قبل از استفاده از این داده‌ها، اصلاح اریبی انجام شود. پروژه ISI-MIP با استفاده از متغیرهای اقلیمی پایگاه WATCH Forcing Data با قدرت تفکیک مکانی ۰/۵ درجه و دوره ۴۰ ساله ی ۱۹۶۰-۱۹۹۹ اصلاح اریبی خروجی‌های مدل‌های گردش عمومی جو را انجام داده است (Hempel et al., 2013؛ فلاح کلاکی و همکاران، ۱۴۰۰). همچنین از دیگر محدودیت‌های مدل‌ها، بزرگ مقیاس بودن خروجی‌های آنها است که با استفاده از روش‌های مقیاس‌کاهی به مقیاس‌های کوچکتر تبدیل می‌شوند. در این مطالعه از روش مقیاس‌کاهی آماری رابطه‌های ۶ و ۷ استفاده شده است.

$$\Delta P = \frac{\bar{P}_{\text{observation}}}{\bar{P}_{\text{model}}} \quad \text{رابطه ۶}$$

$$\Delta T = (T_{\text{observation}} - T_{\text{model}}) \quad \text{رابطه ۷}$$

$$P_{\text{corrected}} = P_{\text{GCM}} \times \Delta P \quad \text{رابطه ۸}$$

$$T_{\text{corrected}} = T_{\text{GCM}} + \Delta T \quad \text{رابطه ۹}$$

در روابط بالا، P و T بیانگر بارش بر حسب میلی‌متر و دما بر حسب سانتی‌گراد است (Jones & Hulme, 1996).

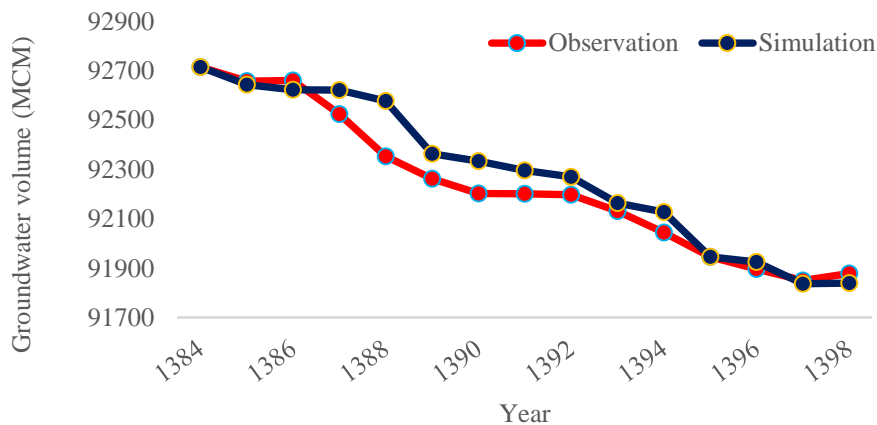
## نتایج

### واسنجی نرم‌افزار

پس از وارد کردن روابط بین پارامترها در مدل، واسنجی مدل انجام می‌شود. در این مرحله با توجه به مقادیر مشاهده‌ای حجم آبخوان دشت مروودشت-خرامه در دوره‌ی آماری ۱۳۸۴ تا ۱۳۹۸ با استفاده از نرم‌افزار Vensim PLE واسنجی شد. فرآیند واسنجی با هدف کاهش خطای نرم‌افزار در تخمین حجم آبخوان، طی تکرارهای مختلف و مقایسه تغییرات سری زمانی حجم آبخوان شبیه‌سازی شده با آمار مشاهده‌ای صورت پذیرفته است. نتایج ارزیابی آماری مقادیر حجم آب زیرزمینی بعد از واسنجی در جدول ۲ آماده است. مقادیر ضریب همبستگی، میانگین مطلق خطایی و میانگین مربعات خطا در نرم‌افزار پویایی واسنجی شده به ترتیب ۰/۹۴، ۰/۱۲ و ۰/۱۳ شبیه‌سازی شده است. همچنین مقدار نرمال‌سازی خطای جذر میانگین مربعات طی دوره واسنجی ۰/۱۷ است. در شکل ۹ نمودار پراکنش تغییرات حجم آبخوان شبیه‌سازی شده و مشاهده‌ای نشان داده شده است.

جدول ۲. نتایج ارزیابی آماری حجم آبخوان دشت مروودشت-خرامه

R <sup>2</sup>	RMSE	NRMSE	MAE
۰/۹۴	۰/۱۳	۰/۱۷	۰/۱۲



شکل ۹. نمودار پراکنش مقادیر حجم آبخوان مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده (۱۳۸۴-۱۳۹۸)

### بررسی وضعیت حوضه در شرایط تغییر اقلیم

برای ارزیابی و تشخیص کارایی مدل‌های گردش عمومی جو GCM از شاخص ضریب همبستگی ( $R^2$ ) و میانگین مربعات خطا (RMSE) بین داده‌های مشاهده‌ای و داده‌های تاریخی حاصل از مدل‌ها در دوره پایه (۱۹۸۹-۲۰۱۴) استفاده شد که در جدول ۳ مقادیر مربوط به این پارامترهای آماری آورده شده است. عملکرد پایین بارش بدلیل خاصیت تصادفی این پدیده است. با توجه به جدول ۳ داده‌های بارش، دمای حداقل و دمای حداکثر مدل GFDL-ESM4 به میزان بسیار خوبی با داده‌های مشاهده‌ای دو ایستگاه سینوپتیک سد درودزن و تخت جمشید در تطابق است. سپس متغیرهای بارش و دما مدل GFDL-ESM4 برای دوره ۱۴۰۰ تا ۱۴۲۵ تحت دو سناریو SSP1-2.6 و SSP5-8.5 در نظر گرفته شد.

جدول ۳. نتایج عملکرد معیارهای ارزیابی برای انتخاب بهترین مدل GCM

ایستگاه		سد درودزن		تخت جمشید	
مدل گردش عمومی جو		RMSE	R <sup>2</sup>	RMSE	R <sup>2</sup>

۱/۵	-/۶۹	۱/۶	-/۶۸	بارش	
۲/۱	-/۹۵	۲/۱	-/۹۵	دمای حداکثر	GFDL-ESM4
۱/۷	-/۹۵	۱/۸	-/۹۵	دمای حداقل	
۳/۶	-/۸۸	۳/۶	-/۲۵	بارش	
۲/۱	-/۹۴	۲/۲	-/۹۴	دمای حداکثر	IPSL-CMA6-LR
۳/۹	-/۸۰	۳/۹	-/۸۹	دمای حداقل	
۴/۰۵	-/۱۱	۳/۹	-/۱۸	بارش	
۲/۱	-/۹۴	۲	-/۹۴	دمای حداکثر	MPI-ESM1-2-HR
۱/۶	-/۹۴	۱/۶	-/۹۴	دمای حداقل	
۳/۹۹	-/۱۴	۳/۸	-/۱۹	بارش	
۲/۲	-/۳۱	۲	-/۳۳	دمای حداکثر	UKESM1-0-II
۱/۶	-/۹۴	۱/۷	-/۹۳	دمای حداقل	

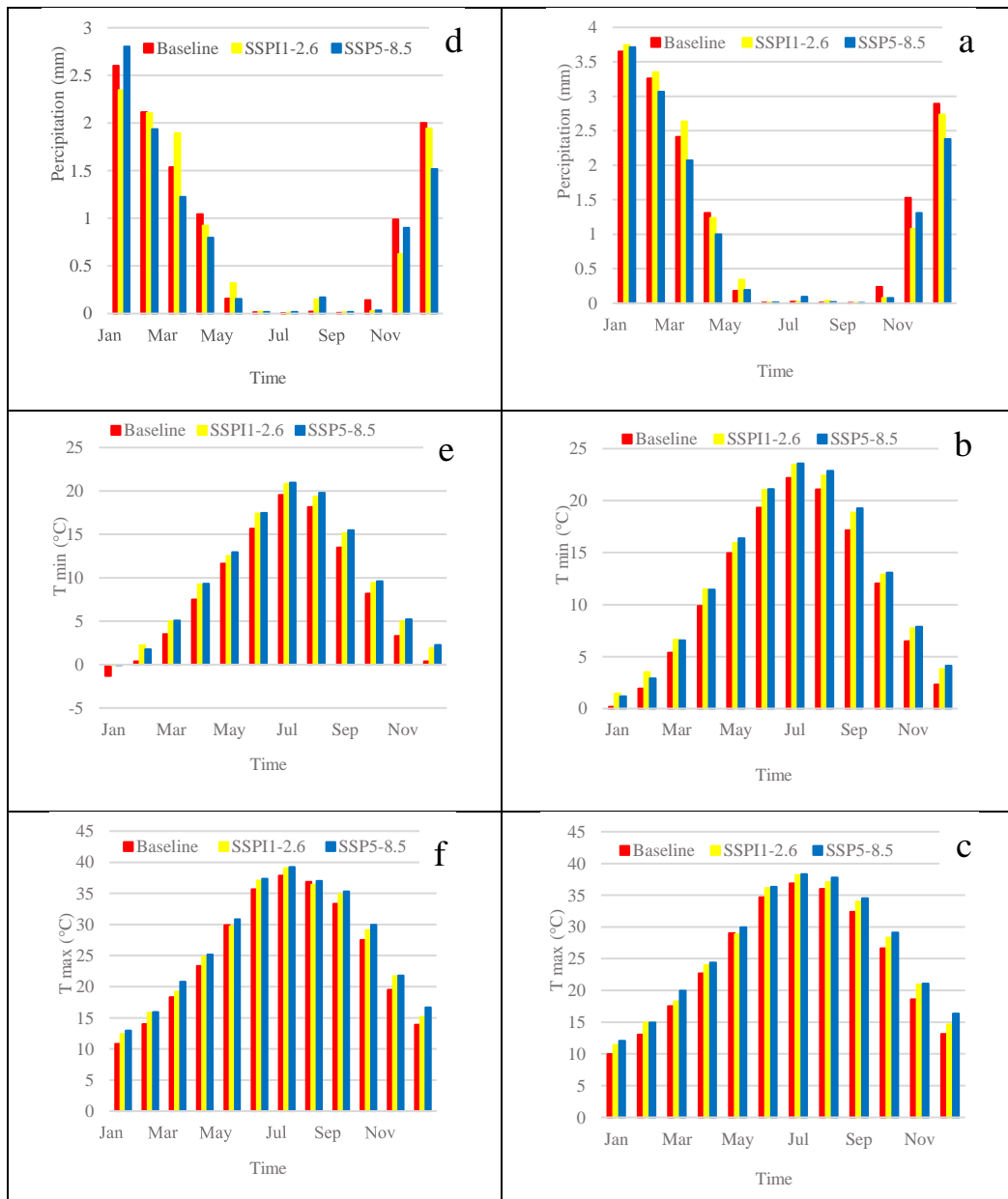
در شکل ۱۰ مقایسه متوسط بلندمدت ماهانه بارش، دمای حداقل و حداکثر در دوره ۱۴۰۰ تا ۱۴۲۵ نسبت به شرایط پایه در هر دو سناریو نشان داده شده است. میانگین دمای حداقل ماهانه تحت سناریوی SSP1-2.6 و SSP5-8.5 در همه ماه‌های دوره آینده افزایش خواهد یافت که بیشترین افزایش دمای حداقل تحت سناریوی SSP1-2.6 و SSP5-8.5 در ایستگاه سد درودزن بترتیب  $23/47^{\circ}\text{C}$  و  $23/58^{\circ}\text{C}$  و در ایستگاه تخت جمشید بترتیب  $20/82^{\circ}\text{C}$  و  $23/95^{\circ}\text{C}$  در ماه جولای است. میانگین دمای حداکثر ماهانه تحت سناریوی SSP1-2.6 و SSP5-8.5 در همه ماه‌های دوره آینده افزایش خواهد یافت که بیشترین افزایش دمای حداکثر تحت سناریوی SSP1-2.6 و SSP5-8.5 در ایستگاه سد درودزن به ترتیب  $38/19^{\circ}\text{C}$  و  $38/32^{\circ}\text{C}$  و در ایستگاه تخت جمشید بترتیب  $39^{\circ}\text{C}$  و  $39/23^{\circ}\text{C}$  در ماه جولای است. بارش ماهانه دوره آینده نسبت به دوره پایه تحت سناریوی SSP1-2.6 و SSP5-8.5 در ایستگاه سد درودزن بترتیب ۱/۶ و ۱۰/۱۵ درصد و در ایستگاه تخت جمشید به ترتیب ۳۳/۱۰ و ۳۸/۲ درصد کاهش می‌یابد. تغییرات بارش در برخی ماه‌ها افزایشی و در برخی کاهش‌ی است بطوریکه بیشترین افزایش در ماه مارچ به میزان ۹ درصد و بیشترین کاهش در ماه نوامبر به میزان ۲۹/۵ درصد در ایستگاه سد درودزن و در ایستگاه تخت جمشید بیشترین افزایش در ماه مارچ به میزان ۲۳/۳۲ درصد و بیشترین کاهش در ماه نوامبر به میزان ۳۶/۷۸ درصد تحت سناریو SSP1-2.6 محاسبه شده است. همچنین تحت سناریو SSP5-8.5 بیشترین افزایش بارش در ماه ژانویه به میزان ۱/۷۴ درصد و بیشترین کاهش در ماه دسامبر به میزان ۱۷/۶۱ درصد در ایستگاه سد درودزن و در ایستگاه تخت جمشید بیشترین افزایش در ماه ژانویه به میزان ۷/۷۹ درصد و بیشترین کاهش در ماه دسامبر به میزان ۲۲/۲۱ درصد است. در تحقیق فلاح‌کلاکی و همکاران (۱۴۰۰)، مدل GFDL-ESM4 تحت هر دو سناریوی SSP1-2.6 و SSP5-8.5 کاهش بارش و افزایش دما را در دوره آینده نشان می‌دهد. با توجه به افزایش دما و کاهش بارش در هر دو ایستگاه بررسی شده، کاهش رهاسازی از سد درودزن و کاهش حجم جریان رودخانه ی کر در دوره آینده مورد انتظار می‌باشد.

### بررسی تغییرات حجم آبخوان تحت سناریوهای مختلف

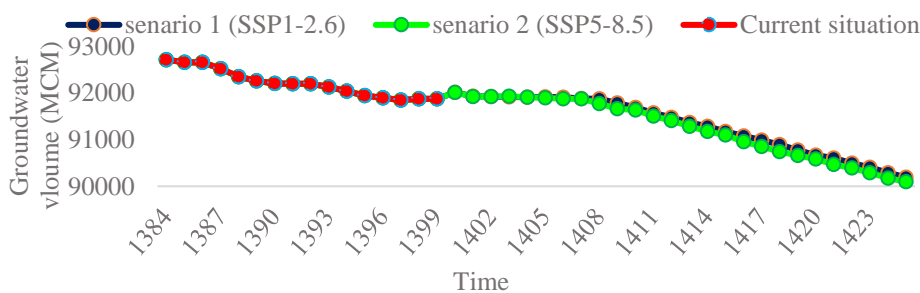
#### نتایج سناریو ۱ و ۲

طی سال‌های اخیر به دلیل خشکسالی‌های پیاپی در منطقه و کاهش بارش، برداشت بی‌رویه از منابع زیرزمینی منجر به عدم تعادل بین تغذیه و تخلیه منابع آب زیرزمینی و در نهایت باعث بروز مشکلاتی از جمله فرونشست زمین در دشت مرودشت-خرامه شده است. کاهش بارندگی و افزایش دما در منطقه مورد مطالعه باعث کاهش نفوذ از بارش، نفوذ از جریان‌های سطحی و تغذیه آب‌های زیرزمینی شده است. از اینرو تأثیر تغییر اقلیم بر تغذیه آبخوان مرودشت-خرامه بررسی گردید. با محاسبه تغییرات اقلیم تا سال ۱۴۲۵ داده‌های بارش تحت تأثیر دو سناریو SSP1-2.6 و SSP5-8.5 به دست آمد. سد مخزنی درودزن در شمال دشت مرودشت-خرامه بر روی رودخانه کر احداث شده است. هدف اصلی احداث سد درودزن تامین آب کشاورزی ۱۱۲ هزار هکتار اراضی کشاورزی پایین دست و همچنین نیاز آب زیست‌محیطی دریاچه بختگان می‌باشد. سوءمدیریت منابع آب، برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی، فعالیت‌های انسانی تداوم خشکسالی‌های دهه اخیر، موجب کاهش و افت شدید منابع آب در بالادست سد و خشک شدن رودخانه در پایین دست سد درودزن و در نهایت دریاچه بختگان

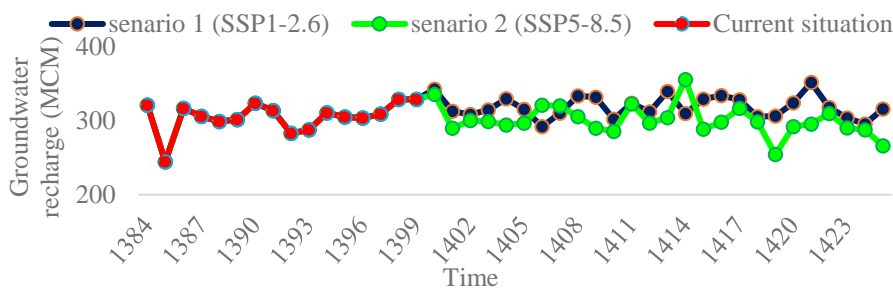
شده که علاوه بر آثار محیط زیستی، بایر شدن اراضی پایین دست سد را در پی داشته است (Shokouhifar *et al.*, 2022). با کاهش رهاسازی از سد درودزن و کمبود آب سطحی، کشاورزان برای تأمین آب مورد نیاز خود برای کشت، به احداث چاه‌های غیرمجاز و برداشت بیش از اندازه از آب‌های زیرزمینی در دشت مرودشت-خرامه روی آوردند. از اینرو برای بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر حجم و رهاسازی از این سد با توجه به بارش به دست آمده تحت تأثیر دو سناریو SSP1-2.6 و SSP5-8.5، میزان حجم سد درودزن و رهاسازی از آن به صورت سری زمانی تخمین زده شد. ابتدا بارش‌های دو سناریو SSP1-2.6 و SSP5-8.5 در حالی که سایر پارامترها در شرایط قبل قرار دارند اعمال گردید. نتایج به دست آمده (شکل ۱۱ و ۱۲) اینگونه است که در حالت سناریو SSP5-8.5 حجم آب‌زیرزمینی با رسیدن به حجم ۸۷۵ میلیارد مترمکعب، با کاهش ۵ میلیارد متر مکعب و تغذیه آب‌زیرزمینی با کاهش ۶۷ میلیون متر مکعب مواجه شد. حتی در سناریو SSP1-2.6 نیز کاهش ۴۹ میلیون متر مکعب در تغذیه و ۳ میلیارد متر مکعب در حجم آب‌زیرزمینی مشاهده شد.



شکل ۱۰. متوسط بلندمدت ماهانه (a) بارش (b) دمای حداقل (c) دمای حداکثر دوره پایه و آینده ایستگاه سد درودزن و متوسط بلندمدت ماهانه (d) بارش (e) دمای حداقل (f) دمای حداکثر دوره پایه و آینده ایستگاه تخت جمشید (۱۴۰۰ تا ۱۴۲۵)

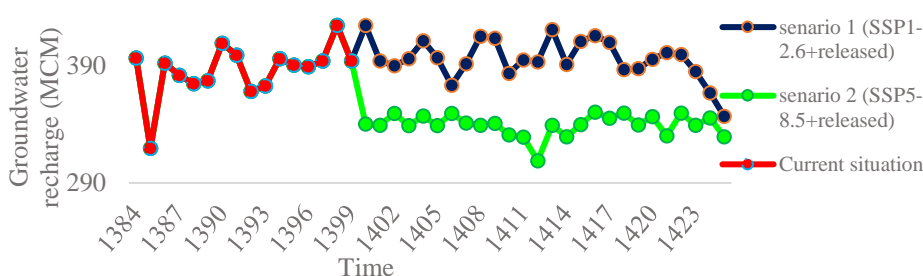


شکل ۱۱. تأثیر سناریو ۱ (تغییر اقلیم تحت دو سناریو SSP1-2.6 و SSP5-8.5) بر حجم آبخوان مروذشت-خرامه

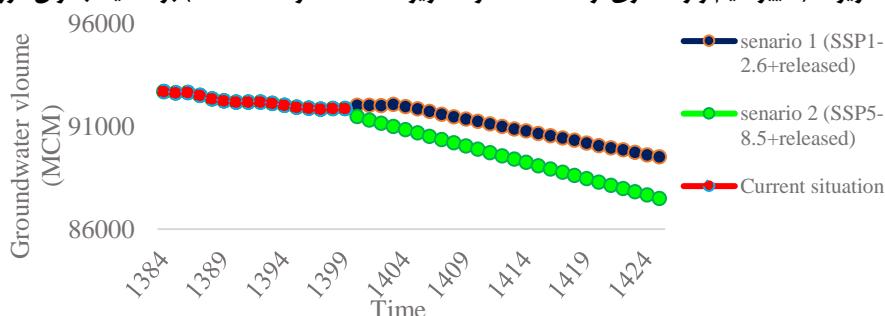


شکل ۱۲. تأثیر سناریو ۱ (تغییر اقلیم تحت دو سناریو SSP1-2.6 و SSP5-8.5) بر تغذیه آبخوان مروذشت-خرامه

همچنین بارش‌های سناریو SSP1-2.6 با رهاسازی سناریو SSP1-2.6 و بارش سناریو SSP5-8.5 با رهاسازی سناریو SSP5-8.5 اعمال شد. نتایج به دست آمده از شبیه‌سازی مدل با سناریو SSP1-2.6 کاهش ۵۰ و ۴۹ میلیون مترمکعب به ترتیب در حجم آب زیرزمینی و تغذیه آب زیرزمینی و همچنین در سناریو SSP5-8.5 کاهش ۵۴ و ۶۷ میلیون مترمکعب به ترتیب در حجم آب زیرزمینی و تغذیه آن مشاهده شد. تأثیر تغییر اقلیم بر شرایط فعلی رهاسازی از سد بر حجم آبخوان مروذشت خرامه باعث کاهش حجم آبخوان شده است (شکل ۱۳ و ۱۴). اما تأثیر همزمان تغییر اقلیم و رهاسازی از سد در آینده به مراتب بیشتر از شرایط فعلی رهاسازی از سد بوده است. با کاهش بارش، افزایش دما در دوره آینده شاهد افت شدید تراز آبخوان خواهیم بود. طبق نتایج تحقیق نادری (۱۳۹۷)، به دلیل کاهش بارش در آینده و افزایش تبخیر و تعرق بر روی حوضه آبریز سد درودزن، با کاهش ورودی به مخزن سد درودزن، کاهش حجم مخزن سد و همچنین کاهش جریان خروجی از سد در آینده باعث افزایش کمبود منابع آب در مناطق پایین دست سد نیز خواهد شد و بحران آب را تشدید خواهد کرد.



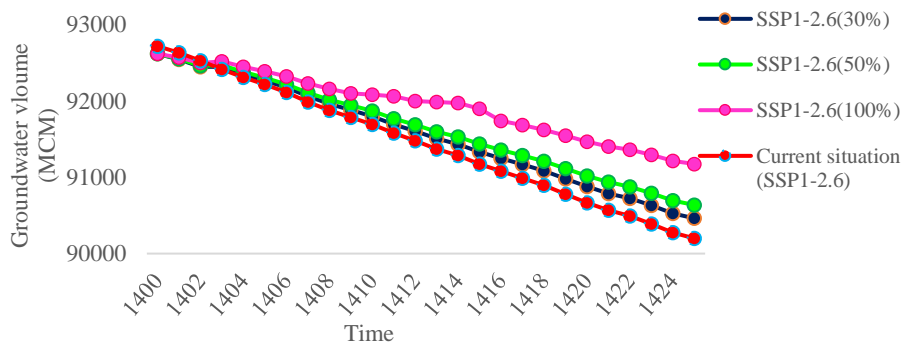
شکل ۱۳. تأثیر سناریو ۲ (تغییر اقلیم و رهاسازی از سد تحت دو سناریو SSP1-2.6 و SSP5-8.5) بر تغذیه آبخوان مروذشت-خرامه



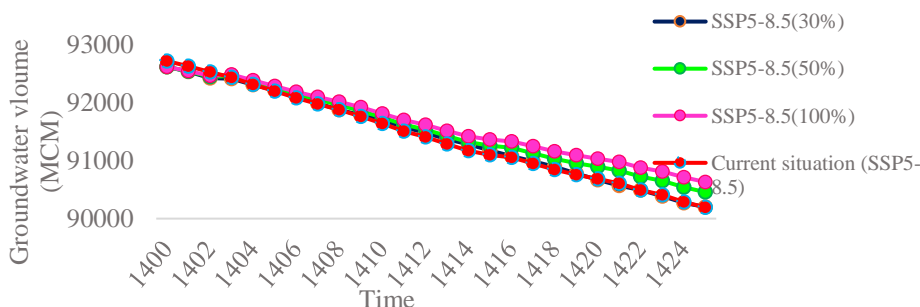
شکل ۱۴. تأثیر سناریو ۲ (تغییر اقلیم و رهاسازی از سد تحت دو سناریو SSP1-2.6 و SSP5-8.5) بر حجم آبخوان مروذشت-خرامه

### نتایج سناریو ۳

بخش کشاورزی استان فارس بخصوص دشت مروودشت-خرامه نقش اساسی در تأمین، تولید و امنیت غذایی کشور دارد. این دشت از دیرباز کانون کشت شلتوک و برداشت برنج به عنوان محصولی با نیاز آبی زیاد بوده است. محدودیت کشت برنج در خارج از استان‌های شمال کشور متأثر از بهره‌وری پایین آب، چند سالی است مورد توجه وزارت جهاد کشاورزی قرار گرفته و بحث ممنوعیت تدریجی کشت این محصول در استان‌های غیر از استان‌های شمال کشور در دستور کار قرار گرفته است. یکی از سناریوهای قابل اجرا در بخش کشاورزی برای پایداری منابع آب، سناریو تغییر الگوی کشت و کاهش سطح زیرکشت محصولات آب‌بر می‌باشد. بنابراین به منظور پایداری منابع آب سطحی و زیرزمینی دشت مروودشت-خرامه، تغییر الگوی کشت در راستای کاهش و حذف سطح زیر کشت برنج و افزایش کشت گندم توصیه می‌شود. از اینرو ۳ سناریو کاهش ۳۰٪ از مساحت زیرکشت برنج، کاهش ۵۰٪ از مساحت زیرکشت برنج و کاهش ۱۰۰ درصد مساحت زیرکشت برنج و افزایش آن به همان میزان در مساحت زیرکشت گندم برای دشت مروودشت خرامه تحت دو سناریو تغییر اقلیم SSP1-2.6 و SSP5-8.5 اعمال شد. شرایط فعلی در سناریو ۳، حجم آبخوان شبیه‌سازی شده تحت دو سناریو تغییر اقلیم گفته شده با الگوی کشت فعلی است و نتایج حاصل از کاهش سطح زیرکشت برنج با دو سناریو ذکر شده مقایسه گردید. نتایج نشان داد که اگر شرایط اقلیمی آینده تحت سناریو SSP1-2.6 باشد با کاهش ۳۰٪ از مساحت زیرکشت برنج و افزودن آن به مساحت زیرکشت گندم، شاهد افزایش ۱۲۰ میلیون مترمکعب در حجم ذخیره آبخوان خواهیم بود. با کاهش ۵۰٪ از مساحت زیرکشت برنج و افزودن آن به مساحت زیرکشت گندم، افزایش ۲۰۷ میلیون مترمکعب در حجم آبخوان مشاهده شد. همچنین با اعمال کاهش ۱۰۰ درصد در مساحت زیرکشت برنج و حذف کامل برنج از الگوی کشت و افزایش آن به همان میزان در مساحت زیرکشت گندم، تقریباً ۴۹۵ میلیون مترمکعب به حجم آب‌زیرزمینی اضافه شد (شکل ۱۵). اما اگر شرایط اقلیمی آینده تحت سناریو SSP5-8.5 باشد با کاهش ۳۰٪ از مساحت زیرکشت برنج و افزودن آن به مساحت زیرکشت گندم، شاهد افزایش ۱۰ میلیون مترمکعب در حجم ذخیره آبخوان هستیم. با کاهش ۵۰٪ از مساحت زیرکشت برنج و افزودن آن به مساحت زیرکشت گندم، افزایش ۱۱۹ میلیون مترمکعب در حجم آبخوان مشاهده شد. همچنین با اعمال کاهش ۱۰۰ درصد در مساحت زیرکشت برنج و حذف کامل برنج از الگوی کشت و افزایش آن به همان میزان در مساحت زیرکشت گندم، تقریباً ۲۰۷ میلیون مترمکعب به حجم آب‌زیرزمینی اضافه شد (شکل ۱۶). در نتیجه با حذف محصول برنج از الگوی کشت دشت مروودشت-خرامه در شرایط اقلیمی آینده در دو سناریو SSP1-2.6 و SSP5-8.5 بیشترین تأثیر در افزایش حجم آبخوان را خواهد داشت. طبق نتایج تحقیق هوشمند و همکاران (۱۳۹۷)، تغییر الگوی کشت تأثیر قابل توجهی در کاهش افت سطح آب زیرزمینی دشت مهران داشته و از میان الگوهای کشت بررسی شده حذف کشت یونجه و جایگزینی کشت کلزا بهترین نتیجه را در پی دارد.



شکل ۱۵. تأثیر سناریو ۳ (اثر تغییر اقلیم تحت سناریو SSP1-2.6 بر کاهش سطح زیر کشت برنج) بر حجم آبخوان مروودشت-خرامه



شکل ۱۶. تأثیر سناریو ۳ (اثر تغییر اقلیم تحت سناریو SSP5-8.5 بر کاهش سطح زیر کشت برنج) بر حجم آبخوان مروودشت-خرامه

## نتیجه گیری

در این مطالعه ابتدا وضعیت فعلی سیستم شبیه سازی و در نهایت، اثرات سناریوهای تغییر اقلیم، تغییر حجم آب تخصیص یافته به کشاورزان از سد درودزن و کاهش سطح زیرکشت برنج به عنوان محصولی با نیاز آبی فراوان بر حجم آبخوان دشت مرودشت-خرامه بررسی شد. با توجه به افزایش دما و کاهش بارش در هر دو ایستگاه سددروذن و تخت جمشید، کاهش رهاسازی از سد درودزن و کاهش حجم جریان رودخانه‌ی کر در دوره آینده مورد انتظار می‌باشد. ابتدا بارش‌های دو سناریو SSP1-2.6 و SSP5-8.5 در حالی که سایر پارامترها در شرایط قبل قرار دارند اعمال گردید. نتایج به دست آمده به اینگونه است که در حالت سناریو SSP5-8.5 حجم آب زیرزمینی با کاهش ۵ میلیارد متر مکعب و تغذیه آب زیرزمینی با کاهش ۶۷ میلیون متر مکعب مواجه شد و در سناریو SSP1-2.6 نیز کاهش ۴۹ میلیون متر مکعب در تغذیه و ۳ میلیارد متر مکعب در حجم آب زیرزمینی مشاهده گردید. همچنین بارش و رهاسازی سناریو SSP1-2.6 و بارش و رهاسازی سناریو SSP5-8.5 اعمال شد. نتایج به دست آمده از شبیه سازی مدل با سناریو SSP1-2.6 کاهش ۵۰ و ۴۹ میلیون مترمکعب به ترتیب در حجم آب زیرزمینی و تغذیه آب زیرزمینی و همچنین در سناریو SSP5-8.5 کاهش ۵۴ و ۶۷ میلیون مترمکعب به ترتیب در حجم آب زیرزمینی و تغذیه آن مشاهده شد. تأثیر همزمان تغییر اقلیم و رهاسازی از سد در آینده بر کاهش حجم آبخوان مرودشت-خرامه بیشتر از اثر تغییر اقلیم بر شرایط فعلی رهاسازی از سد درودزن بوده است. همچنین ۳ سناریو کاهش ۳۰٪، ۵۰٪ و کاهش ۱۰۰ درصد مساحت زیرکشت برنج و افزایش آن به همان میزان در مساحت زیرکشت گندم برای دشت مرودشت خرامه تحت دو سناریو SSP1-2.6 و SSP5-8.5 اعمال شد. نتایج نشان داد که با حذف محصول برنج از الگوی کشت دشت مرودشت-خرامه در شرایط اقلیمی آینده تحت دو سناریو SSP1-2.6 و SSP5-8.5 که به ترتیب ۴۹۵ و ۲۰۷ میلیون متر مکعب به حجم آبخوان افزوده می‌شود، بیشترین تأثیر در افزایش حجم آبخوان را نسبت به کاهش ۳۰ و ۵۰ درصدی سطح زیرکشت برنج خواهد داشت. بنابراین در راستای مدیریت و حفظ منابع آب زیرزمینی، تغییر الگوی کشت و جایگزین کشت‌های پرمصرف بالاخص برنج با کشت‌های کم مصرف ضروری است.

## "هیچ گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

## منابع

- علمی، محمدتقی؛ فرزین، سعید؛ احمدی، محمدحسین؛ آقابالایی، بهزاد (۱۳۹۳). مدل سازی پویای سیستم سد و آب‌های زیرزمینی به منظور مدیریت بهینه آب (مطالعه موردی: سد گلک). *مهندسی عمران و محیط زیست*، ۴۴(۱)، ۱-۱۱.
- درویشی، ابراهیم؛ هوشمند، عبدالرحیم؛ علیزاده، حمزه علی؛ ایزدپناه، زهرا (۱۳۹۷). ارزیابی تأثیر الگوی کشت بر منابع آب زیرزمینی دشت مهران به روش پویایی سیستم در تغییرات قیمت انرژی. *حفاظت منابع خاک و آب*، ۸(۲)، ۱۲۱-۱۳۴.
- رجا، امید؛ پارسی‌نژاد، مسعود؛ سهرابی، تیمور؛ احمدآلی، خالد (۱۳۹۸). بررسی وضعیت منابع آب محدوده مرودشت-خرامه با استفاده از شاخص‌های تحلیل پایداری. *تحقیقات آب و خاک ایران*، ۵۰(۴)، ۸۹۷-۹۰۹.
- زیبایی، محمدحسین؛ آخوندعلی، علی محمد؛ رادمنش، فریدون؛ زارعی، حیدر (۱۳۹۸). مدرن سازی سیستم‌های آبیاری و حفاظت از آب با تاکید بر اثربازگشتی در سطح مزرعه در حوضه آبریز بختگان. *تحقیقات اقتصاد کشاورزی*، ۱۱(۴۳)، ۱۲۷-۱۵۴.
- سازمان جهاد کشاورزی فارس (۱۳۹۸). سالنامه آماری کشاورزی، اداره آمار و اطلاعات کشاورزی.
- سازمان آب منطقه‌ای فارس (۱۳۹۸). گزارش بیان سازمان آب منطقه‌ای فارس.
- سازمان هواشناسی ایران (۱۳۹۸). *آمار ایستگاه‌های سینوپتیک فارس*.
- شرکت مدیریت منابع آب ایران (۱۳۹۶). مرکز تحقیقات منابع آب، گروه مطالعات آب‌های زیرزمینی.
- طرازکار، محمدحسن؛ زیبایی، منصور؛ سلطانی، غلامرضا (۱۳۹۵). شناسایی و رتبه بندی راهکارهای احیای تالاب بین المللی بختگان با رویکرد تاپسیس فازی. *اکویولوژی تالاب*، ۸(۲۷)، ۲۳-۳۹.
- فلاح کلاکی، محمد؛ شگری کوچک، وحید، رضانی اعتدالی، هادی (۱۴۰۰). شبیه سازی اثرات تغییر اقلیم با استفاده از مدل‌های اقلیمی CMIP5 و CMIP6 بر رواناب با استفاده از مدل هیدرولوژیکی SWAT (مطالعه موردی: حوضه آبریز طشک-بختگان). *تحقیقات منابع آب ایران*، ۱۷(۳)، ۳۴۵-۳۵۹.
- قربانیان، عفت؛ زیبایی، منصور؛ قربانی، محمد؛ کهنسال، محمدرضا (۱۳۹۲). تعیین الگوی بهینه کشت با توجه به محدودیت منابع آب زیرزمینی در دشت کوار. *اقتصاد و توسعه کشاورزی*، ۲۷(۱)، ۱-۷.



مرکز آمار ایران (۱۳۹۸). *سالنامه‌های آماری، فارس*.

میثاقی، علی؛ داوری، کامران؛ قهرمان، بیژن؛ هاشمی نیا، سید مجید (۱۳۹۳). مدل سازی منابع آب در حوضه آبریز با استفاده از روش پویایی سیستم (مطالعه موردی: حوضه آبریز نیشابور). *علوم مهندسی و آبیاری*، ۳۷(۳)، ۸۳-۹۴.

نادری، مصطفی (۱۳۹۷). اثر تغییر اقلیم بر دبی ورودی و حجم مخزن سد درودزن، شمال استان فارس. *علوم زمین*، ۲۹(۱۱۵)، ۲۵۹-۲۶۸.  
نوری سنگراب، ثریا؛ اصغری مقدم، اصغر؛ کدخدایی، علی؛ کدخدایی، قاطمه (۱۴۰۰). تعیین مناطق آسیب‌پذیر آبخوان دشت عجب‌شیر با استفاده از بهینه‌سازی روش دراستیک با الگوریتم ژنتیک و منطق فازی. *اکو هیدرولوژی*، ۸(۲)، ۳۸۱-۳۹۵.  
هوشمند، عبدالرحیم؛ علیزاده، حمزه علی؛ ایزدپناه، زهرا؛ درویشی، ابراهیم (۱۳۹۷). ارزیابی تأثیر سناریوهای الگوی کشت و توسعه روش‌های آبیاری تحت فشار بر سطح آب زیرزمینی دشت مهران با استفاده از روش پویایی سیستم. *آبیاری و زهکشی ایران*، ۱۲(۵)، ۱۱۶۴-۱۱۷۳.

## REFERENCES

- Aalami, M. T., Farzin, S., Ahmadi, M. H., & Aghabalaei, B. (2014). Dynamic modeling of dam system & groundwater for optimal water management (Case study: Golak Dam). *Journal of Civil & Environmental Engineering*, 44 (1), 1-11. (In Persian)
- Agriculture Organization of Fars. (2019). No Title. Statistical yearbook of agriculture, agricultural statistics & information office. (In Persian)
- Darvishi, E., Hooshmand, A., Alizadeh, H. A., & Izadpanah, Z. (2018). Evaluation of the effect of cropping pattern on groundwater resources of Mehranplain using the system dynamics approach under scenarios of energy price changes. *Journal of Soil & Water Resources Conservation*, 8(2), 121-134. (In Persian)
- Fallah Kalaki, M., Shokri Kouchak, V., Ramazani Etedali, H. (2021). Simulation of the effects of climate change using climate models CMIP5 & CMIP6 on runoff using SWAT hydrological model (Case study: Tashk-Bakhtegan catchment). *Iranian Water Resources Research*, 17 (3), 345-359. (In Persian)
- Forrester, J. W. (1961). *Industrial Dynamics*; Wright Allen Series in System Dynamics.
- GAO, B. C. (1996). NDWI—A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote sensing of environment*, 58(3), 257-266. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(96\)00067-3](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(96)00067-3)
- Ghorbanian, A., Zibaei, M., Ghorbani, M., & Kohansal, M. R. (2013). Determining the optimal cultivation pattern due to limited groundwater resources in Kavar plain. *Agricultural Economics & Development*, 27(1), 1-7. (In Persian)
- Hempel, S., Frieler, K., Warszawski, L., Schewe, J., & Piontek, F. (2013). Bias corrected GCM input data for ISIMIP Fast Track.
- Houshmand, A. R., Alizadeh, H. A., Izadpanah, Z., & Darvishi, E. (2017). Evaluation of the impact of cropping pattern scenarios and the development of irrigation methods under pressure on the groundwater level of Mehran Plain using the system dynamics method. *Iran Irrigation and Drainage*, 12(5), 1164-1173. (In Persian)
- Huang, Y. H., Lai, Y. J., & Wu, J. H. (2022). A System Dynamics Approach to Modeling Groundwater Dynamics: Case Study of the Choshui River Basin. *Sustainability*, 14(3), 1371.
- IMO. (2018). Iran meteorological organization. *Statistics of Synoptic Stations, Fars*. (In Persian)
- Iran Water Resources Management. (2017). Water Resources Research Center, Groundwater Studies Group. (In Persian)
- Jones, P. D., & Hulme, M. (1996). Calculating regional climatic time series for temperature & precipitation: methods & illustrations. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 16(4), 361-377. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0088\(199604\)16:4%3C361::AID-JOC53%3E3.0.CO;2-F](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0088(199604)16:4%3C361::AID-JOC53%3E3.0.CO;2-F)
- Misaghi, A., Davari, K., Ghahraman, B., & Hashemini, S. M. (2014). Modeling of water resources in the catchment using the system dynamics method (Case study: Neishabour catchment). *Irrigation Science & Engineering*, 37(3), 83-94. (In Persian)
- Naderi, M. M., Mirchi, A., Bavani, A. R. M., Goharian, E., & Madani, K. (2021). System dynamics simulation of regional water supply & demand using a food-energy-water nexus approach: application to Qazvin Plain, Iran. *Journal of Environmental Management*, 280, 111843. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111843>
- Naderi, M. (2017). The effect of climate change on the inflow and reservoir volume of Doroudzan dam, north of Fars province. *Earth Sciences*, 29(115), 259-268. (In Persian)
- Njamnsi, Y. N., & Mbue, I. N. (2009). Estimation for groundwater balance based on recharge & discharge: A tool for sustainable groundwater management, Zhongmu county alluvial plain aquifer, Henan Province. *China. Journal of American Science*, 5(2), 83-90.



- Nouri Sangrab, S., Asghari Moghadam, A., Kadkhodai, A., & Kadkhodai, F. (2021). Determining the vulnerable areas of Ajabshir plain aquifer using optimization of drastic method with genetic algorithm & fuzzy logic. *Echo Hydrology*, 8(2), 381-395. (In Persian)
- O'Neill, B. C., Tebaldi, C., Van Vuuren, D. P., Eyring, V., Friedlingstein, P., Hurtt, G., ... & Sanderson, B. M. (2016). The scenario model intercomparison project (ScenarioMIP) for CMIP6. *Geoscientific Model Development*, 9(9), 3461-3482.
- Raja, O., Parsinezhad, M., Sohrabi, T., Ahmad Ali, Kh. (2019). Investigation of water resources in Marvdasht-Kharameh area using sustainability analysis indicators. *Iranian Soil & Water Research*, 50 (4), 897-909. (In Persian)
- Regional Water Company of Fars. (2019). *Balance report of Fars Regional Water Organization*. (In Persian)
- Shokouhifar, Y., Zarei, H., Akhondali, A., & Khoramian, A. (2022). Assessment of effects of changes in land use on the water balance components using SWAT (Case study: Doroudzan dam basin). *Irrigation Sciences & Engineering*, 45(2), 139-150. <https://doi.org/10.22055/jise.2021.36431.1952>
- Statistical Center of Iran. (2019). No Title. *Statistical Yearbooks, FARS*. (In Persian)
- Tarazkar, M. H., Zibaei, M., Soltani, GH. (2016). Identification & ranking of Bakhtegan International Wetland rehabilitation strategies with fuzzy TOPSIS approach. *Journal of Wetland Ecobiology*, 8(27), 23-39. (In Persian)
- Winz, I. (2005, January). A system dynamics approach to sustainable urban development. In The 23rd International Conference of the System Dynamics Society, Cambridge, Massachusetts.
- World Climate Research Programme (WCRP), Coupled Model Intercomparison Project (Phase 6). <https://esgf-node.llnl.gov/projects/cmip6/>
- Zibaei, M. H., Akhond Ali, A.M., Radmanesh, F., Zarei, H. (2019). Modernization of irrigation systems & water protection with emphasis on the return effect at the farm level in Bakhtegan catchment. *Journal of Agricultural Economics Research*, 11 (43), 127-154. (In Persian)



# The effectiveness of management strategies to preserve the groundwater resources of Marvdasht-Kharameh plain using system dynamics

## EXTENDED ABSTRACT

### Introduction

In recent decades, the increase in water demand on the one hand and the pollution of water sources on the other hand have threatened groundwater resources. The purpose of this research is to investigate the impact of management scenarios of preserving the groundwater resources of Marvdasht-Kharameh plain and its effect on improvement of the aquifer volume reduction process using dynamic system approach.

### Materials and methods

The current conditions of the aquifer during the statistical period of 1384-1398 were simulated in Vensim PLE software and recalibrated according to the observed values of the aquifer volume. In this study, in order to investigate the effect of climate change on precipitation, temperature and recharge of the Marvdasht-Kharameh aquifer during the period of 1400 to 1425, four atmospheric general circulation models available in the sixth report CMIP6, including GFDL-ESM4, IPSL-CMA6-LR, MPI-ESM1-2-HR and UKESM1-0-II were used under the influence of two scenarios SSP1-2.6 and SSP5-8.5 from the ISI-MIP Fast Track project for the two synoptic stations of Doroudzan dam and Takhte Jamshid from the ESGF portal. Considering the unsettled conditions of water resources in the plain, 3 scenarios were considered. Scenarios were adopted in three ways: examining the effect of climate change, changing the amount of water allocated to farmers from Doroudzan dam, and changing the cultivation pattern in order to reduce the area under rice cultivation by 30%, 50%, and 100%. Changing the cropping pattern for climate change conditions was applied under two scenarios SSP1-2.6 and SSP5-8.5.

### Findings

In order to evaluate and diagnose the efficiency of GCM atmospheric general circulation models, the correlation coefficient index ( $R^2$ ) and the root mean square error (RMSE) between observational data and historical data obtained from the models in the base period (1989-2014) were calculated. The precipitation data, minimum temperature and maximum temperature of the GFDL-ESM4 model are in good agreement with the observational data of two synoptic stations of Doroudzan dam and Persepolis. Then the precipitation and temperature variables of GFDL-ESM4 model were considered for the period from 1400 to 1425 under two scenarios SSP1-2.6 and SSP5-8.5. By examining the impact of climate change and release from Doroudzan dam under two scenarios SSP1-2.6 and SSP5-8.5, it was shown that in the SSP1-2.6 scenario, the reduction of 50 and 49 million cubic meters respectively in the volume and supply of groundwater and also in the SSP5-8.5 scenario, 54 and 67 million cubic meters is decreased respectively in the volume of groundwater and its recharge. Also, by removing the rice crop from the cultivation pattern of Marvdasht-Kharameh plain in the future climate conditions under two scenarios SSP1-2.6 and SSP5-8.5, which will add 495 and 207 million cubic meters to the aquifer volume respectively, the greatest effect in increasing the aquifer volume will be achieved, instead of the 30 and 50 percent reduction in the area under rice cultivation.

### Conclusion

In the last few decades, the exploitation of groundwater in Marvdasht-Kharameh plain has been on the rise and due to the lack of proper feeding of the aquifer of the plain and excessive harvesting, especially the increase in the construction of unauthorized wells, the drop in groundwater in this plain has increased. On the other hand, with the increase of human activities in the upper part of the plain, the decrease in rainfall has led to a decrease in water storage and release from the Doroudzan dam, and the agricultural potential of the plain has not been well secured. According to the three applied scenarios, the effect of climate change with the current conditions of water release from the dam has reduced the volume of the Marvdasht-Kharameh aquifer. However, the simultaneous effect of climate change and release from the Darudzen dam in the future will be much greater than the current conditions of release from the dam. With the decrease in precipitation and increase in temperature, a sharp drop in the aquifer level in the future will be observed. Also, changing the cultivation pattern has had a significant effect in reducing the volume of the aquifer in the future period, and by removing the rice crop from the cultivation pattern, the replacement of wheat cultivation in the future climatic conditions will have the greatest effect in increasing the volume of the aquifer.

**Keywords:** Cultivation pattern, Climate change, Doroudzan dam, Groundwater resources, Vensim.