

Status Investigation of the Marvdasht- Kharameh Water Resources Using Sustainability Analysis Indicators

OMID RAJA^{1*}, MASOUD PARSINEJAD², TEYMOR SOHRABI³, KHALED AHMADAULI

1. Graduate Student, Department of Irrigation and Reproduction Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.
2. Associate Professor, Department of Irrigation and Reproduction Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.
3. Professor, Department of Irrigation and Reproduction Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.
4. Assistant professor of arid and mountain regions, Faculty of Natural Resources, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.

(Received: June. 19, 2018- Revised: Sep. 14, 2018- Accepted: Sep. 26, 2018)

ABSTRACT

In most countries, agricultural sector is the main user of water resources (surface and ground water). The process of exploitation of water resources to explain the sustainability and continuity of exploitation in each region, especially in arid and semi-arid areas, which is faced with the shortage and severe competition of water resources use in different sectors is necessary. The purpose of this study was to investigate the status of water resources in the Marvdasht-Kharameh range (covered by two modern irrigation networks in Dorodzan and traditional Korbali) in Fars province during the statistical period of 2006-2016, based on the stability analysis indexes proportional to the volume of water allocated in comparison with excessive withdrawal of groundwater resources, as well as the relationship between rainfall and the amount of variations in the level of stagnation. For this purpose, by using Dorodzan weather data and Persepolis stations, as well as Kheirabad, Pulkhan and Zarghamabad hydrometric stations and the irrigation networks data, the available water resources in terms of surface and groundwater were estimated. According to the average level of stagnation and changes in aquifer volume, excess water harvesting were calculated in two areas covered by Dorodzan and Korbali irrigation networks. The amount of runoff coefficient in plain, altitudes and total range was calculated to be 6.9, 14.1 and 9.9 percent, respectively. The average amount of excess withdraw in the area covered by two modern Dorodzan and Korbali networks is 96.33 and 16.2 MCM /year, which according to available water resources is 8.2% and 5.2%, respectively. The Average standardized precipitation-evaporation-transpiration 12-month SPEI index for Dorodzan and Persepolis stations was calculated to be -0.33 and -0.43, indicating the mild drought in the area and during the proposed time period, and this is in good agreement with the Water table drawdown. The result of linear regression between the independent variable of rainfall and the dependent variable of the average water table changes showed a significant increasing linear relationship ($p < 0.001$) with $R^2 = 0.95$ and RMSE = 0.99. This result for the independent variable of rainfall with the dependent variable of water allocation volume, indicated an incremental linear relationship ($P = 0.110$), with R^2 equal to 0.29 and RMSE equal to 245.6. Indicators of water resource sustainability analysis, such as Falcon Mark (FI), United Nation (UN) and Water Tension Index (WSI), were calculated for the region. The values of the Indicators of water resource sustainability analysis including Falcon Mark (FI), United Nation (UN) and Water Tension Index (WSI) were 1983 cubic meters per person, 210 percent and 2.93, respectively. By comparing the values of these indexes, it was found that based on the FI index, the area is close to tension. The UN and WSI indicators are indicative of the fact that the study area is under severe crisis and excessive use of water resources and the pattern of exploitation of water resources should be managed in order to eliminate surplus withdrawals and sustainability of water resources.

Keywords: Runoff, water table drawdown, the percentage of the surplus harvest, water availability, sustainability of water resources.

بررسی وضعیت منابع آب محدوده مرودشت-خرامه با استفاده از شاخص‌های تحلیل پایداری

امید رجا^{*}، مسعود پارسی نژاد^۲، تیمور سهرابی^۳ و خالد احمد آلی^۴

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

۲. دانشیار گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

۳. استاد گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

۴. استادیار گروه احیای مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۳/۲۹ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۷/۶/۲۳ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۷/۷/۴)

چکیده

در اکثر کشورها بخش کشاورزی عمده‌ترین مصرف‌کننده منابع آب (سطحی و زیرزمینی) است. روند بهره‌برداری از منابع آب در جهت تبیین پایداری و تداوم بهره‌برداری در هر منطقه بالأخص در مناطق خشک و نیمه‌خشک که با کمبود و رقابت شدید استفاده از منابع آب در بخش‌های مختلف مواجه است ضروری است. این مطالعه با هدف بررسی وضعیت منابع آب در محدوده مرودشت-خرامه (تحت پوشش دو شبکه آبیاری مدرن درودزن و سنتی کربال) واقع در استان فارس در دوره آماری ۹۵-۱۳۸۵ بر اساس شاخص‌های تحلیل پایداری متناسب با حجم آب تخصیص‌یافته در مقایسه با میزان برداشت مازاد از منابع آب زیرزمینی و همچنین ارتباط بین بارش و میزان متغیر نوسانات سطح ایستایی صورت گرفته است. برای این منظور با استفاده از آمار هواشناسی ایستگاه‌های درودزن و تخت جمشید و نیز ایستگاه‌های هیدرومتری خیرآباد، پل‌خان و ضرغام‌آباد و اطلاعات شبکه‌های آبیاری مذکور، منابع آب قابل‌دسترس سطحی و زیرزمینی برآورد گردید و با توجه به متوسط افت سطح ایستایی، تغییرات حجم آبخوان‌ها، میزان برداشت مازاد آب در دو محدوده تحت پوشش شبکه‌های آبیاری درودزن و کربال محاسبه شد. مقدار ضریب رواناب در دشت، ارتفاعات و کل محدوده به ترتیب ۶/۹، ۱۴/۱ و ۹/۹ درصد محاسبه شد. متوسط میزان برداشت مازاد در محدوده تحت پوشش دو شبکه مدرن درودزن و کربال ۹۶/۳۳ و ۱۶/۲ میلیون مترمکعب در سال است که این مقدار با توجه به میزان منابع آب قابل‌دسترس به ترتیب معادل ۸/۲٪ و ۵/۲٪ است. میانگین شاخص بارش-تبخیر-تعرق استاندارد شده SPEI ۱۲ ماهه برای ایستگاه‌های درودزن و تخت‌جمشید به ترتیب ۰/۳۳- و ۰/۴۳- محاسبه شد و نشان‌دهنده‌ی این واقعیت است که در بازه‌ی زمانی مورد نظر، منطقه تحت تأثیر خشکسالی خفیف بوده است و این با روند افت سطح ایستایی در محدوده مطابقت خوبی دارد. نتیجه حاصل از رگرسیون خطی بین متغیر مستقل بارش و متغیر وابسته متوسط تغییرات سطح ایستایی نشان‌دهنده وجود یک رابطه خطی افزایشی معنی‌دار ($P < 0.001$) با R^2 برابر ۰/۵۹ و RMSE برابر ۰/۹۹ بود. این نتیجه برای متغیر مستقل مقدار بارش با متغیر وابسته حجم آب تخصیص داده شده، نشان‌دهنده یک رابطه خطی افزایشی ($P = 0.110$)، با R^2 برابر ۰/۲۹ و RMSE برابر ۲۴۵/۶ بود. شاخص‌های تحلیل پایداری منابع آب از قبیل فالکن مارک (FI)، سازمان ملل (UN) و شاخص تنش آبی (WSI) برای منطقه محاسبه گردید. مقادیر شاخص‌های تحلیل پایداری منابع آب از قبیل فالکن مارک (FI)، سازمان ملل (UN) و شاخص تنش آبی (WSI) به ترتیب ۱۹۸۳ مترمکعب به ازای هر نفر، ۲۱۰ درصد و ۲/۹۳ محاسبه گردید. با مقایسه مقادیر این شاخص‌ها ملاحظه می‌شود که بر اساس شاخص FI، منطقه در محدوده نزدیک به تنش قرار دارد. شاخص‌های UN و WSI نشان‌دهنده‌ی این واقعیت است که محدوده مورد مطالعه در کلاس بحران شدید و بهره‌برداری بیش از حد از منابع آب قرار دارد و الگوی بهره‌برداری از منابع آب باید در جهت حذف برداشت مازاد و پایداری منابع آب مدیریت شود.

واژه‌های کلیدی: رواناب، افت سطح ایستایی، درصد برداشت مازاد، آب قابل‌دسترس، پایداری منابع آب.

مقدمه

سبب عدم تعادل منابع و مصارف و به تبع آن موجب کاهش شدید جریان‌ات سطحی و افت شدید سطح منابع آب زیرزمینی در اغلب دشت‌های کشور شده است. لذا ضرورت به‌کارگیری سیاست‌های

افزایش سطح زیر کشت، کاهش نزولات آسمانی، تداوم خشکسالی‌های اخیر و از همه مهم‌تر برداشت بی‌رویه از منابع آب،

زیرزمینی به میزان ۴۰ درصد سبب تعادل بخشی در آب زیرزمینی خواهد شد (Alfaro et al., 2017).

با توجه به شرایط اقلیمی استان فارس، در اکثر دشت‌های این استان، منابع آب سطحی محدود است. در بعضی از نقاط تنها منبع آب موجود، آب‌های زیرزمینی است که در سال‌های اخیر حجم برداشت از آن افزایش یافته و شرایط نامطلوبی را ایجاد کرده است. کشت گیاهان آب‌بر در دشت‌های استان سبب برداشت بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی شده که این خود باعث وارد آمدن صدمات جبران‌ناپذیری بر پتانسیل آبی این منطقه شده است. آمار و اطلاعات سطح زیر کشت در استان فارس نشان می‌دهد سطح زیر کشت برنج و ذرت دانه‌ای در این استان از ۳۳۱۰۲ و ۲۵۷ هکتار در سال ۶۲-۱۳۶۱ به مقدار ۵۵۵۳۸ و ۸۶۲۰۶ هکتار در سال ۸۴-۱۳۸۳ رسیده است (Shabani et al., 2008). این استان ۸۰ درصد آب مصرفی خود را از منابع آب زیرزمینی تأمین می‌کند که عمدتاً با بیلان منفی روبه‌رو هستند. در ۶۷ دشت از مجموع ۹۰ دشت کشاورزی استان فارس، بیلان آب زیرزمینی منفی است. میانگین افت سطح آب در دشت‌های استان فارس طی ۱۱ سال گذشته بیش از ۷ متر بوده است (Zibai, 2007). در تحقیقی تغییرات سطح آب زیرزمینی دشت داراب در استان فارس برای یک دوره ۱۸ ساله (۸۹-۱۳۷۲) مورد بررسی قرار گرفت (Fallah et al., 2012). نتایج حاصل از اندازه‌گیری سطح آب در ۳۹ چاه پیژومتری بیانگر متوسط افت سطح آب زیرزمینی در دشت داراب استان فارس، برای مدت مورد مطالعه برابر ۲۷/۲۳ متر بوده است. کاهش سطح آب در سفره‌های آب زیرزمینی مشکلاتی نظیر خشک شدن چاه‌های آب، کاهش دبی رودخانه‌ها و آب چاه‌ها، کاهش کیفیت آب، تغییر در خصوصیات خاک و تأمین آب گیاه، افزایش هزینه پمپاژ و استحصال آب و نشست زمین را به دنبال دارد که این به نوبه خود منجر به کاهش دسترسی به آب و کاهش تولید برای کشاورزان می‌شود (Renger et al., 2002; Zimmermann et al., 2017). با توجه به اهمیت موضوع، با بررسی دقیق ویژگی‌های هیدرولوژیکی حوضه‌های آبریز و روند نوسانات بیلان آب سفره‌های زیرزمینی، می‌توان الگوی بهره‌برداری مطمئن و پایدار از این منابع حیاتی را با توجه به محدودیت‌های فزاینده در پایداری منابع آب ارائه نمود. بارش و تبخیر-تعرق، دو پارامتر مهم و ضروری برای پایش خشکسالی‌های هواشناسی هستند. از این رو شاخص‌هایی که علاوه بر بارش مقدار تبخیر-تعرق را نیز در نظر می‌گیرند، می‌توانند برای پایش تغییرات اقلیمی دوره‌های فعلی و دوره‌های آتی بر مبنای سناریوهای اقلیمی بکار گرفته شوند. در این بین شاخص بارش-تبخیر-تعرق استاندارد شده (SPEI) یکی از شاخص‌های پایش

منطقه و کارآمد مدیریت منابع آب سطحی و زیرزمینی بیش از هر زمان دیگر مطرح شده است (Safavi et al., 2010). بنابراین منابع آب باید به صورت یکپارچه مدیریت شوند تا کمبود آب در فصل‌های خشک را جبران کند (Zibai et al., 2013). مفهوم توسعه پایدار آب به معنای تأمین نیاز جمعیت فعلی بدون اثر منفی بر توانایی تأمین نیازهای نسل‌های آینده است (Bithas, 2008). در همین راستا لازم است روش‌های مناسبی جهت حفظ کمیت و کیفیت منابع آب در جهت توسعه پایدار اتخاذ گردد (Fallah et al., 2012). مدیریت منابع آب برای رفع مشکلات ناشی از کاهش کمیت و کیفیت آب با برداشت متعادل از دو منبع سطحی و زیرزمینی به نحوی که هم نیازها به نحو مطلوب برآورده شوند و هم منابع آبی موجود با بحران مواجه نشوند، امری ضروری و حیاتی است (Ahmadi et al., 2015).

در مناطق خشک و نیمه‌خشک، کمبود و یا نوسانات شدید منابع آب سطحی، منجر به مصرف آب‌های زیرزمینی به‌عنوان منبع کمکی برای تأمین آب کشاورزی در فصول پرمصرف شده است. در این مناطق شور شدن و آلودگی آب به دلیل استحصال آب برای مصرف کشاورزی، فشارهایی را به کیفیت آب و زمین اعمال کرده است. مطالعات انجام‌شده نشان می‌دهد در دشت همدان - بهار در استان همدان در طی دو دهه گذشته، حدوده ۱۶/۵ متر افت سطح آب زیرزمینی داشته است. همچنین در شرایط فعلی ۶۹ درصد از منابع آب‌های زیرزمینی استان در وضعیت ممنوعه، ۱۷/۵ درصد آن در وضعیت محدود و ۱۳/۵ درصد در وضعیت بحرانی قرار دارد (Seydan et al., 2017). در مطالعه‌ای به بررسی نوسانات آب زیرزمینی دشت‌های استان کرمان از سال آبی ۸۱-۸۰ تا ۸۶-۸۵ پرداخته شد (Shahidash et al., 2011). نتایج نشان داد سطح آب زیرزمینی به‌طور متوسط سالیانه ۹۰ سانتی‌متر افت داشته است. در صورت ادامه روند کنونی تغذیه و تخلیه سفره‌ها و عدم انجام اقدامات جدی و عملی جهت کاهش برداشت‌های بی‌رویه، این استان در آینده‌ای نه‌چندان دور، با تشدید پیامدهای زیست‌محیطی و حتی مشکلات اقتصادی و اجتماعی مواجه خواهد شد. Alfaro et al. (2017) در تحقیقی در اردن دریافتند که برای مقابله با چالش‌های فراگیر آب‌های زیرزمینی در مناطق خشک و نیمه‌خشک لازم است استراتژی‌های مدیریتی مناسب بر اساس دانش هیدرولوژیکی به کار گرفته شود. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که میانگین مصرف سالانه آب آبیاری ۲۹ میلیون مترمکعب است و نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که کاهش پمپاژ آب‌های

تخصیص یافته بررسی شد. در نهایت ارتباط بین شاخص SPEI با میزان افت، مورد بررسی قرار گرفت که در مطالعات پیشین کمتر به آن پرداخته شده است.

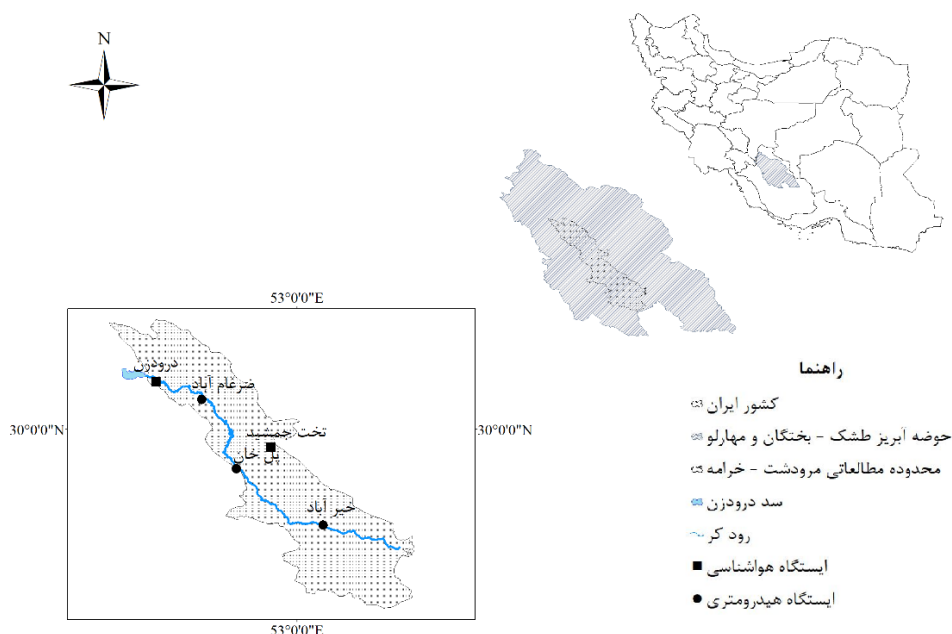
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه محدوده مرودشت-خرامه با مساحت ۳۹۴۱ کیلومترمربع بین طول‌های جغرافیایی ۱۵° ۵۲' تا ۲۷° ۵۳' شرقی و عرض‌های ۱۹° ۲۹' تا ۲۵° ۳۰' شمالی، واقع در مرکز حوضه آبریز دریاچه‌های طشک-بختگان و مهارلو واقع است (شکل ۱) که بزرگ‌ترین رود این حوضه یعنی رودخانه کر از شمال غرب وارد آن شده و در راستای شمال غرب-جنوب شرق به سمت دریاچه بختگان حرکت می‌کند. ۲۴۵۲/۵ کیلومترمربع محدوده مورد مطالعه را دشت و ۱۴۸۸/۵ کیلومترمربع را ارتفاعات تشکیل داده است. سطح عمده دشت تحت پوشش دو شبکه آبیاری و زهکشی درودزن (شبکه مدرن) و گربال (شبکه سنتی) است که بین سد درودزن و شهرستان‌های مرودشت و خرامه در طرفین بخش انتهائی رودخانه کر واقع شده‌اند.

در این مطالعه جهت بررسی وضعیت منابع آب محدوده و برآورد میزان برداشت مازاد آب احتمالی، حجم منابع آب قابل دسترس با استفاده از اطلاعات شرکت آب منطقه‌ای استان فارس و شرکت مدیریت منابع آب ایران مشخص گردید. برای این کار، ابتدا منابع آب قابل دسترس در محدوده به دو قسمت منابع آب سطحی و زیرزمینی تقسیم شد. سپس با بررسی تغییرات حجم آبخوان‌های محدوده و متوسط افت سطح ایستابی، میزان مازاد برداشت آب در منطقه محاسبه شد. با توجه به افت و خیز سطح ایستابی و نیز نوسانات بارش در دهه‌های اخیر، داده‌های میزان آب قابل دسترس و افت سطح ایستابی ۱۰ سال اخیر (۹۵-۱۳۸۵) مبنای قرار داده شد تا برآورد برداشت مازاد، برآورد مطمئنی در راستای پایداری و تعادل بخشی منابع آب زیرزمینی باشد. تاکنون بیش از ۵۰ شاخص در زمینه توسعه پایدار ارائه و مورد ارزیابی قرار گرفته است که در این مطالعه برای تحلیل وضعیت پایداری منابع آب محدوده، از شاخص‌های فالکن مارک (FI) و شاخص کمیسیون توسعه پایدار سازمان ملل (UN) و نیز شاخص تنش آبی (WSI) برای تحلیل وضعیت تعادل منابع آب و توسعه پایدار استفاده شده است. (Falkenmark et al., 1989) در مطالعه-ای، کشورها را از منظر تأمین آب، با توجه به حجم منابع آب سالانه تجدیدپذیر رده‌بندی کردند. در جدول (۱) مقادیر استاندارد این شاخص نشان داده شده است.

خشکسالی است که توسط Vicente-Serrano et al. (2010) ارائه شده است. دوره بازگشت خشکسالی با استفاده از شاخص استاندارد شده بارش (SPI) در استان فارس در یک دوره آماری ۳۰ ساله برای ۲۰ ایستگاه استان در سه مقیاس زمانی ۶، ۱۲ و ۲۴ ماهه ارزیابی گردید (Pirmoradian et al., 2008). نتایج نشان داد استان فارس در بیشتر سال‌ها دچار خشکسالی بوده است و نیز خشکسالی‌های کوتاه‌مدت دارای نوسانات و تغییرات زیادی می‌باشند و حساسیت بیشتری به تغییرات شرایط رطوبت و بارش دارند. تاکنون بیش از ۵۰ شاخص در زمینه بررسی وضعیت توسعه و تحلیل پایداری منابع آب از قبیل فالکن مارک (FI^۱) و شاخص کمیسیون توسعه پایدار سازمان ملل (UN^۲)، شاخص تنش آبی (WSI^۳)، شاخص نسبت آب مصرفی به آب تجدیدپذیر، شاخص حداکثر اراضی فاریاب (MILI^۴)، شاخص تجاوز سطح اراضی فاریاب (OILI^۵) و غیره ارائه و مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج تحقیقات (Shahedi and Talebi Hossinabad, 2013) از ارزیابی و تحلیل پایداری منابع آب در حوضه آبریز قره‌قروم در استان خراسان رضوی نشان داد، بر اساس شاخص فالکن مارک سرانه آب هر نفر ۵۶۲ مترمکعب است که نشان‌دهنده عدم توسعه پایدار و ناکافی بودن آب در این منطقه است. بررسی وضعیت منابع آب کشور توسط (Rahimi and Kaledi, 2000) با شاخص کمیسیون توسعه پایدار سازمان ملل (UN) نشان داد بیش از ۶۸ درصد از منابع قابل استحصال، سالیانه استفاده می‌شود که با توجه به این شاخص کشور ایران را در جزء کشورهای شدیداً کم‌آب قرار می‌دهد.

با توجه به مرور منابع ملاحظه می‌شود که در رابطه با بررسی وضعیت منابع آب تجدیدپذیر، مقدار افت آب زیرزمینی و نیز بررسی ارتباط بین شاخص بارش-تبخیر و تعرق استاندارد شده (SPEI) که شاخص نسبتاً جدیدی برای بررسی و پایش خشکسالی است، مطالعات چندانی انجام نشده است. لذا این مطالعه با هدف بررسی وضعیت منابع آب محدوده مرودشت-خرامه (تحت پوشش دو شبکه آبیاری مدرن درودزن و سنتی گربال) واقع در استان فارس در دوره آماری ۹۵-۱۳۸۵ به تفکیک منابع آب سطحی و زیرزمینی انجام شده است. سپس با استفاده از شاخص‌های تحلیل پایداری منابع آب از قبیل فالکن مارک (FI)، سازمان ملل (UN) و شاخص تنش آبی (WSI)، وضعیت پایداری منابع آب محدوده مورد بررسی قرار گرفت. پس از بررسی وضعیت پایداری منابع آب منطقه، رابطه بین میزان بارش با متغیرهای میزان نوسانات سطح ایستابی و حجم آب



شکل ۱- موقعیت محدوده مرودشت-خرامه و ایستگاه‌های هیدرومتری و هواشناسی مورد استفاده

اگر این مقدار بین ۲۰ تا ۴۰ درصد باشد بحران آب در وضعیت متوسط تا شدید و اگر این شاخص بین ۱۰ تا ۲۰ درصد باشد بحران در حد متعادل و در نهایت برای مقادیر کمتر از ۱۰ درصد بحران آب کم بوده و یا اصلاً وجود نخواهد داشت (Rahimi and Khaledi, 2000). مقادیر استاندارد شاخص UN در جدول (۲) نشان داده شده است.

Smakhtin et al. (2005) شاخص WSI را برای تجزیه و

تحلیل و ارزیابی منابع آب یک حوضه آبریز توسعه دادند.

$$WSI = \frac{\text{Withdrawals}}{\text{MAR}} \quad (\text{رابطه ۲})$$

که در آن میزان آب مصرفی (کشاورزی، شرب و صنعت) به متوسط رواناب سالانه (MAR^2) تقسیم شده است (رابطه ۲). مقادیر استاندارد این شاخص در جدول (۳) نشان داده شده است.

جدول ۲- مقادیر استاندارد شاخص کمیسیون توسعه پایدار سازمان ملل (UN)

وضعیت	نسبت آب مصرفی به آب تجدیدپذیر سالانه (UN)
بحران شدید	$UN > 40\%$
بحران متوسط تا شدید	$20\% < UN < 40\%$
بحران در حد متعادل	$10\% < UN < 20\%$
بحران کم یا عدم وجود بحران	$UN < 10\%$

جدول ۱- مقادیر استاندارد سرانه آب تجدیدپذیر با شاخص فالکن مارک

وضعیت	سرانه آب تجدیدپذیر ($m^3 / person$)
بدون تنش	بیشتر از ۱۷۰۰
تنش	۱۷۰۰-۱۰۰۰
کمیابی	۱۰۰۰-۵۰۰
کمبود	کمتر از ۵۰۰
مطلق	

در این مطالعه، حجم آب تجدیدپذیر (RW^1) با توجه به رابطه زیر محاسبه شده است (Shahdi and Talebi Hossinabad, 2013).

$$RW = R + R_i + I - R_o + G_i - G_o \quad (\text{رابطه ۱})$$

که در آن R و R_i به ترتیب رواناب و حجم آب نفوذ یافته ناشی از بارش، R_o و R_i به ترتیب رواناب‌های ورودی و خروجی، G_o و G_i به ترتیب جریان‌های زیرزمینی ورودی و خروجی است. کمیسیون توسعه پایدار سازمان ملل متحد^۲ (UNCSD) میزان درصد برداشت از منابع آب تجدیدپذیر در هر کشور را به‌عنوان شاخص اندازه‌گیری بحران آب معرفی کرده است. هرگاه میزان برداشت آب یک کشور بیشتر از ۴۰ درصد کل منابع آب تجدیدپذیر آن باشد این کشور با بحران شدید آب مواجه است.

جدول ۳- مقادیر استاندارد شاخص تنش آبی (WSI)

وضعیت	شاخص تنش آبی (WSI)
بهره‌برداری بیش از حد	$WSI > 1$
بهره‌برداری زیاد	$0.6 < WSI < 1$
بهره‌برداری متوسط	$0.3 < WSI < 0.6$
بهره‌برداری کم	$WSI < 0.3$

نتایج و بحث

منابع آب سطحی

بخش اعظم آب سطحی مورد نیاز محدوده مطالعاتی مرودشت- خرامه از طریق انتقال آب رودخانه کر تامین می‌گردد. منابع اطلاعات مورد نیاز در این بخش عبارتند از: شرکت آب منطقه‌ای استان فارس، مطالعات بهنگام‌سازی اطلس منابع آب حوضه آبریز دریاچه‌های طشک-بختگان و مهارلو، دفتر مدیریت امور آبیاری شهرستان مرودشت و شرکت بهره‌برداری از شبکه‌های آبیاری و زهکشی شمال استان. برآورد میزان آبدهی رودخانه با استفاده از داده‌های بارش (ایستگاه‌های هواشناسی درودزن و تخت جمشید) و نیز حجم آب تخصیص‌یافته به کشاورزان محدوده مرودشت- خرامه از سد درودزن (ایستگاه‌های هیدرومتری خیرآباد، پل خان و زرغام آباد) صورت گرفت.

در محدوده مطالعاتی ۱۹ ایستگاه هیدرومتری موجود است که سه ایستگاه بر روی زهکش، یک ایستگاه بر روی چشمه و مابقی بر روی رودخانه احداث شده‌اند که از این تعداد، ۱۳ ایستگاه تعطیل بوده و شش ایستگاه فعال است. در مطالعه حاضر از آمار و اطلاعات ایستگاه زرغام آباد، پل خان و خیرآباد استفاده شد که موقعیت آن‌ها در شکل (۱) نشان داده شده است. علت انتخاب این سه ایستگاه موقعیت مناسب آن‌ها و در دسترس بودن اطلاعات بود. ایستگاه‌های هواشناسی درودزن و تخت جمشید به ترتیب در ارتفاعات و دشت محدوده مورد مطالعه قرار گرفته‌اند و موقعیت آن‌ها در شکل (۱) نشان داده شده است. میانگین بارش سالانه در دوره ۹۵-۱۳۸۵ در ارتفاعات و دشت به ترتیب برابر با ۳۷۸/۵ و ۲۶۵/۵ میلی‌متر است.

با توجه به موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های هیدرومتری، ایستگاه‌های زرغام‌آباد و پل خان برای برآورد ضریب رواناب در ارتفاعات و ایستگاه‌های پل خان و خیرآباد برای برآورد ضریب رواناب در دشت استفاده شده است. با بررسی آمار آبدهی روزانه، دبی پایه و میزان رواناب حاصل از نزولات جوی در ایستگاه‌های زرغام آباد و پل خان در دوره ۸۵-۱۳۴۵ (بر اساس آمار و اطلاعات درازمدت بررسی‌شده توسط مهندسین مشاور فارساب)، مقدار ضریب رواناب ارتفاعات محدوده ۱۴/۰۱ درصد و در ایستگاه‌های پل خان و خیرآباد در دوره مذکور، مقدار ضریب رواناب دشت برابر ۶/۸۸ درصد و در نهایت مقدار ضریب رواناب کل محدوده مطالعاتی ۹/۹ درصد برآورد شده است (Faresab Consulting Engineers, 2010).

به علت وجود چشمه‌های فراوان در حوضه آبریز ایستگاه

در ادامه برای بررسی ارتباط بین مقدار بارش، متوسط تغییرات سطح ایستابی و آب تخصیص‌یافته به محدوده مورد مطالعه، از مدل رگرسیون خطی استفاده شد که این کار در محیط MATLAB انجام گرفت. همچنین جهت بررسی اثرات اقلیم بر وضعیت منابع آب محدوده، از شاخص بارش، تبخیر - تعرق استاندارد شده (SPEI) که توسط (Vicente-Serrano et al., 2010) پیشنهاد شد، استفاده گردید. از داده‌های بارش و تبخیر-تعرق ایستگاه‌های سینوپتیک درودزن (۱۳۷۰-۱۳۹۵) و تخت جمشید (۱۳۷۷-۱۳۹۵)، شاخص SPEI برای مقیاس‌های زمانی یک ماهه، سه ماهه، چهار ماهه، شش ماهه، ۱۲ ماهه و ۲۴ ماهه از فرمول زیر و با کدنویسی در محیط MATLAB محاسبه شد. از رابطه (۳) تا (۵) برای محاسبه شاخص SPEI استفاده شده است.

$$SPEI = W - \frac{C_0 + C_1 W + C_2 W^2}{1 + d_1 W + d_2 W^2 + d_3 W^3} \quad (\text{شماره } 3)$$

که در آن W از رابطه‌ی (۴) محاسبه می‌شود:

$$W = \sqrt{-2 \ln(P)} \quad \forall P \leq \frac{1}{2} \quad (\text{رابطه } 4)$$

D، تفاوت بین مقدار بارندگی و تبخیر-تعرق پتانسیل است و P مقدار احتمال تجاوز از مقدار D تعیین شده است، به عبارتی $P = 1 - F(x)$. فرم تابع احتمال تجمعی لوگ-لوگستیک سه پارامتری سری‌های D است:

$$F(x) = [1 + (\frac{\alpha}{x-\gamma})^\beta]^{-1} \quad (\text{رابطه } 5)$$

مقادیر ضرایب ثابت $C_0, C_1, C_2, d_1, d_2, d_3$ به ترتیب برابر با ۰/۱۸۹۲۷، ۱/۴۳۲۷۹، ۰/۱۰۳۳، ۰/۸۲۲۸۵، ۲/۵۱۵۵۲ و ۰/۱۰۳۳ می‌باشد (Hosseinipejoh and Ahmauli, 2017). مقادیر استاندارد این شاخص در جدول (۴) ارائه شده است.

جدول ۴- طبقه‌بندی خشکسالی با استفاده از شاخص SPEI

مقدار SPI	طبقه‌ی خشکسالی
$SPI \leq -2$	خشکسالی بسیار شدید
$-1.99 \leq SPI \leq -1.5$	خشکسالی شدید
$-1.49 \leq SPI \leq -1$	خشکسالی متوسط
$-0.99 \leq SPI \leq 0$	خشکسالی خفیف (محدوده نرمال)

ضرغام‌آباد و ذوب برف در ماه‌های اسفند تا اردیبهشت و همچنین به دلیل رهاسازی آب سد درودزن در ماه‌های ذکرشده، دبی پایه در این ماه‌ها مقدار قابل توجهی را به خود اختصاص داده است. بنابراین پس از جدا کردن دبی پایه، میزان رواناب برآورد شده و در نهایت از ضریب رواناب برآورد شده توسط شرکت مهندسی مشاور فارساب در طی دوره ۸۵-۱۳۴۵ استفاده شد (Faresab Consulting Engineers, 2010). به طور مشابه از ضریب رواناب دشت با استفاده از ایستگاه‌های پل خان و خیرآباد، به دلیل ناقص بودن اطلاعات آبدهی ایستگاه‌های مذکور در دهه اخیر (۹۵ - ۱۳۸۵)، جهت برآورد مقدار حجم جریان سطحی سالانه از ضرایب به دست آمده برای دوره ۸۵-۱۳۴۵ استفاده گردید. نتایج حاصل از این محاسبات در جدول (۵) آورده شده است.

جدول ۵- برآورد جریان سطحی سالانه و ضریب رواناب در محدوده مرودشت-خرامه در دوره (۹۵ - ۱۳۸۵) به تفکیک دشت و ارتفاعات

محدوده مطالعاتی	مساحت (کیلومتر مربع)	بارش (سانتی متر)	ضریب رواناب (درصد)	ارتفاع رواناب (سانتی متر)	جریان سطحی سالانه (میلیون مترمکعب)
کل محدوده	۳۹۴۱	۳۰/۸	۹/۹	۳/۰۵	۱۲۰/۲
ارتفاعات	۱۴۸۸/۵	۳۷/۹	۱۴/۰۱	۵/۳	۷۸/۹
دشت	۲۴۵۲/۵	۲۶/۶	۶/۹	۱/۸	۴۴/۹

سد مخزنی درودزن به عنوان قدیمی‌ترین سد خاکی ساخته شده در خاورمیانه، از نوع خاکی با هسته رس، ارتفاع پی ۵۸ متر، طول و عرض تاج به ترتیب ۷۱۰ و ۹ متر با حجم مخزن ۹۶۰ میلیون مترمکعب واقع در نزدیک شهر درودزن است که در سال ۱۳۵۱ خورشیدی به منظور تأمین آب آشامیدنی شهر شیراز و تأمین آب کشاورزی منطقه مرودشت و کامفیروز احداث شد. مقدار آب اختصاص یافته از طریق سد درودزن به شبکه آبیاری و زهکشی درودزن و کربال در دهه اخیر (۹۵-۱۳۸۵) در شکل (۲) ارائه شده است. متوسط سالانه حجم آب اختصاص یافته در طی

دوره شاخص ۱۳۸۵-۱۳۹۵ به شبکه مدرن درودزن برابر با ۲۱۶/۱ میلیون مترمکعب و به شبکه سنتی کربال برابر با ۱۹۰/۷ میلیون مترمکعب می‌باشد که مجموعاً ۴۰۶/۷ میلیون مترمکعب آب به کشاورزی اختصاص یافته است. بررسی‌ها نشان می‌دهد در بازه زمانی ۹۰-۱۳۸۷، میزان بارش‌ها دارای افت محسوسی بوده و در نتیجه میزان حجم آبی که پشت سد جمع می‌شود کاهش می‌یابد. این مسئله در سیاست‌های بهره‌برداری از سد بیشترین تأثیر را داشته و کشاورزی در شرایط خشکسالی اولین بخشی است که میزان تخصیص به آن به شدت کاهش می‌یابد.

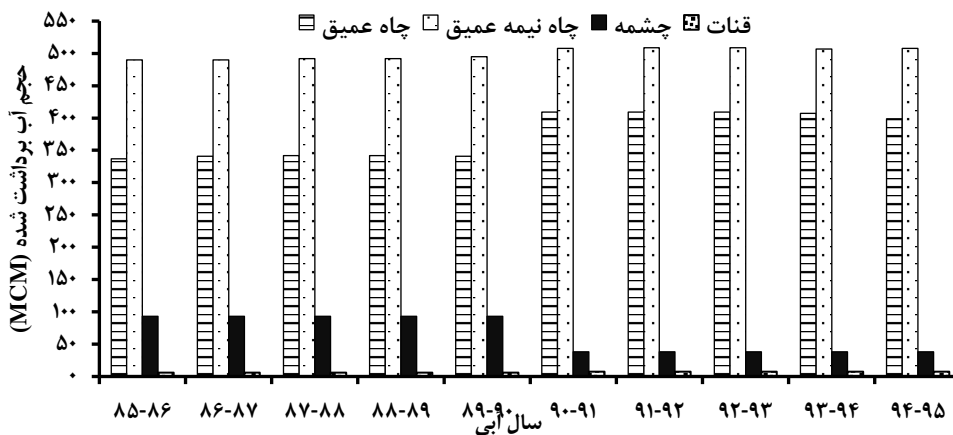


شکل ۲- حجم آب تخصیص یافته (میلیون مترمکعب) از سد درودزن به کشاورزی در طی دوره شاخص ۹۵-۱۳۸۵

با توجه به تعداد، متوسط آبدهی و متوسط ساعات کارکرد آن‌ها محاسبه شد. همچنین میزان برداشت از چشمه‌ها، قنات‌های موجود با توجه به تعداد (دهنه)، متوسط آبدهی در طول سال در طی دوره شاخص ۹۵-۱۳۸۵ تعیین گردید که نتایج این محاسبات در شکل (۳) نشان داده شده است.

منابع آب زیرزمینی

منابع آب زیرزمینی محدوده شامل قنات، چشمه، چاه‌های عمیق و نیمه عمیق است. میزان برداشت از چاه‌های عمیق و نیمه عمیق،



شکل ۳- روند تغییرات حجم آب تخلیه شده از منابع آب زیرزمینی محدوده مرودشت-خرامه در دوره آماري ۱۳۸۵-۹۵

نتایج نشان می‌دهد که تعداد حلقه‌ها، متوسط ساعات کارکرد افزایش و متوسط آبدهی چاه‌ها کاهش پیدا کرده است طوری که میزان برداشت در سال ۱۳۸۵-۸۶ از ۳۳۶/۷ به ۳۹۹/۳ میلیون مترمکعب در سال ۱۳۹۴-۹۵ رسیده است. سالانه به‌طور متوسط، ۳۷۴ میلیون مترمکعب در طول دوره ۱۳۸۵-۹۵ از چاه‌های عمیق، آب زیرزمینی برداشت شده است (Resources Management Co. 2017).

نیز تعداد حلقه‌ها، متوسط ساعات کارکرد افزایش و متوسط آبدهی چاه‌ها کاهش پیدا کرده است و میزان برداشت در سال ۱۳۸۵-۸۶ از ۴۹۰/۰۲ به ۵۰۸/۳ میلیون مترمکعب در سال ۱۳۹۴ رسیده است. میانگین برداشت سالانه آب از این چاه‌ها ۵۰۱ میلیون مترمکعب در طول دوره ۱۳۸۵-۹۵ است. میزان برداشت از چشمه‌ها به‌طور متوسط از ۱۰۲/۳۵ در سال ۱۳۸۵-۸۶ به ۵۲/۰۳ میلیون مترمکعب در سال ۱۳۹۴-۹۵ رسیده است. سالانه به‌طور متوسط، ۷۷/۲ میلیون مترمکعب در طول دوره ۱۳۸۵-۹۵ از چشمه‌ها برداشت شده است. میزان برداشت از قنات‌ها به‌طور متوسط از ۶/۱ میلیون مترمکعب در سال ۱۳۸۵-۸۶ به ۷/۴ میلیون مترمکعب در سال ۱۳۹۴-۹۵ رسیده است. سالانه به‌طور متوسط، ۶/۸ میلیون مترمکعب در طول دوره شاخص ۱۳۸۵-۹۵

برآورد میزان برداشت مازاد سالانه

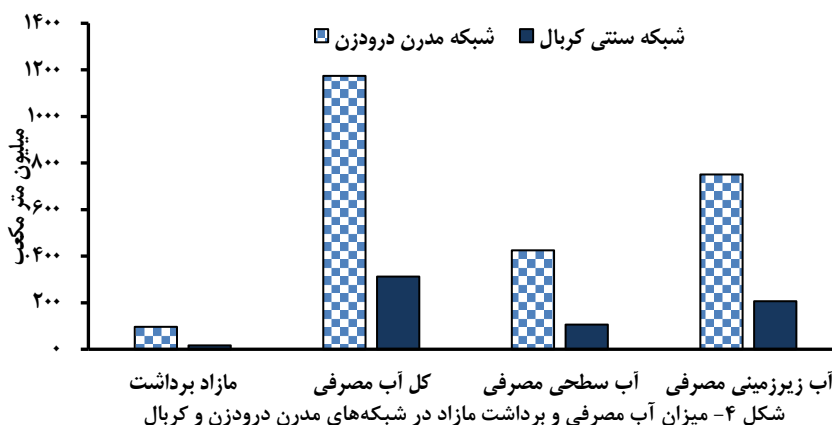
با توجه به این‌که افت سطح ایستابی سالانه در قسمت‌های مختلف محدوده مطالعاتی متفاوت است، آبخوان‌های مرودشت، خرامه، مائین-بیدگل، دشتک-درودزن، رامجرد غربی و رامجرد شرقی به‌عنوان آبخوان‌های معرف مرودشت-خرامه (Resources Management Co. 2017) به‌صورت پیوسته در محدوده مطالعاتی مرودشت-خرامه مورد پایش قرار گرفته است. آبخوان خرامه در دشت خرامه (شبکه آبیاری و زهکشی کربال) و مابقی آبخوان‌ها در محدوده دشت مرودشت (شبکه آبیاری و زهکشی مدرن درودزن) قرار دارند. متوسط تغییرات سطح ایستابی و حجم سالانه هرکدام از آبخوان‌های محدوده مورد مطالعه در ۱۰ سال اخیر در جدول (۶) آورده شده است.

جدول ۶- تغییرات سطح ایستابی و حجم آبخوان‌های محدوده مطالعاتی مرودشت-خرامه در بازه زمانی ۱۳۸۵-۹۵

نام آبخوان	مساحت آبخوان (کیلومترمربع)	متوسط ضریب ذخیره	متوسط افت سالانه (متر)	متوسط تغییر حجم آبخوان (میلیون مترمکعب)
مرودشت	۶۸۱	۰/۰۴	-۱/۰۲	-۲۷/۷۸
خرامه	۴۲۵	۰/۰۴	-۰/۹۵	-۱۶/۲
رامجرد غربی	۲۶۹	۰/۰۴	-۰/۷۵	-۸/۱۱
رامجرد شرقی	۳۸۶	۰/۰۴	-۲/۸۶	-۴۴/۱۶
مائین-بیدگل	۱۴۶	۰/۰۴	-۱/۵۴	-۸/۹۸
دشتک-درودزن	۹۶	۰/۰۴	-۱/۹	۷/۳-
مجموع	۲۰۰۳	-	-	۱۱۲/۵۳-

شرایط بحرانی شده است. لذا ارائه الگوهای مدیریتی استفاده از منابع آب، بر اساس وضعیت بحرانی سال‌های اخیر، متضمن دوام و پایداری منابع آب‌های زیرزمینی خواهد بود. مقدار منابع آب قابل‌دسترس سطحی و زیرزمینی (چاه، چشمه و قنات) در محدوده مرودشت-خرامه در دوره ۹۵-۱۳۸۵ در جدول (۷) آورده شده است.

توجه به روند نزولی بارش و پراکنش غیر مؤثر زمانی و مکانی آن در سال‌های اخیر و همچنین روند افزایشی میزان برداشت از آب‌های زیرزمینی (شکل ۴) و نیز توجه به توسعه سطح اراضی تحت کشت و تغییر الگوی کشت (به سمت توسعه گیاهان پرمصرف)، بیانگر این واقعیت است که وضعیت آبخوان‌ها در ۱۰ سال اخیر چندان مناسب نیست و برداشت مازاد سبب ایجاد



جدول ۷- میزان منابع آب قابل‌دسترس محدوده مرودشت-خرامه در دوره ۹۵-۱۳۸۵

نام محدوده مطالعاتی	مصرف (میلیون مترمکعب)					
	آب زیرزمینی			آب سطحی		
مرودشت-خرامه	چاه نیمه عمیق	چاه عمیق	چشمه	قنات	تخصیص سد درودزن	رواناب
	۵۰۱	۳۷۴	۷۷/۲	۶/۸	۴۰۶/۷	۱۲۰/۲
کل						۱۴۸۶

شکل ملاحظه می‌شود که درصد متوسط سالانه برداشت مازاد به تفکیک دو شبکه درودزن و کربال به ترتیب ۸/۱۹ و ۵/۱۹ درصد است.

در ادامه شاخص‌های فالکن مارک (FI) و شاخص کمیسیون توسعه پایدار سازمان ملل (UN) و نیز شاخص تنش آبی (WSI) جهت تحلیل وضعیت تعادل منابع آب و توسعه پایدار محاسبه گردید. میزان متوسط مصرف کل در بخش کشاورزی، شرب و صنعت در دوره ۹۵-۱۳۸۵ بر اساس آمار و اطلاعات شرکت مدیریت منابع آب ایران و آب منطقه‌ای استان فارس برابر با ۱۵۴۶ میلیون مترمکعب است (Iran Water Resources Management Co. 2017). بر اساس سرشماری سال ۱۳۹۵، میزان کل جمعیت شهرستان‌های مرودشت و خرامه برابر با ۳۷۸۲۹۸ نفر گزارش شده است. با تقسیم میزان کل آب مصرفی بر میزان جمعیت، سرانه آب مصرفی برای هر نفر بر اساس شاخص فالکن مارک به دست آمد.

بررسی منابع آب در محدوده مورد مطالعه نشان داد که متوسط میزان منابع آب زیرزمینی و سطحی قابل‌دسترس در کل محدوده به ترتیب برابر با ۹۵۹ و ۵۲۷ میلیون مترمکعب و در مجموع برابر با ۱۴۸۶ میلیون مترمکعب است. (جدول ۷). درصد برداشت مازاد (PEW) با استفاده از حجم آب قابل دسترس (AW^1) و برداشت مازاد (EH^2) با استفاده از رابطه (۶) برای محدوده‌های شبکه مدرن درودزن و شبکه سنتی کربال و نیز برای کل محدوده محاسبه شد.

$$PEW = \frac{EH}{AW} \times 100 \quad (\text{رابطه ۶})$$

با توجه به جدول (۷) ملاحظه می‌شود که مقدار تغییرات ذخیره آبخوان‌های محدوده معادل ۱۱۲/۵۳- میلیون مترمکعب است و درصد مازاد برداشت در کل محدوده برابر با ۷/۵۷٪ حاصل شد (معادله ۶). درصد مازاد برداشت و نیز سهم آب مصرفی به تفکیک سطحی و زیرزمینی برای هر دو شبکه آبیاری محدوده محاسبه شد که در شکل (۴) نشان داده شده است. با توجه به

تجدیدپذیر است و در کلاس بحران "شدید" قرار دارد (جدول ۸). همچنین مقدار شاخص WSI برابر ۲/۹۳ برآورد شد که با مقایسه با جدول (۳) ملاحظه می‌شود که بهره‌برداری از منابع آب در محدوده مرودشت-خرامه "بیش از حد" است. با جمع‌بندی وضعیت محدوده بر اساس این سه شاخص WSI و UN و FI ملاحظه می‌گردد که این منطقه از نظر منابع آبی در شرایط تنش شدید و بیلان منفی قرار دارد و در راستای پایداری نیست.

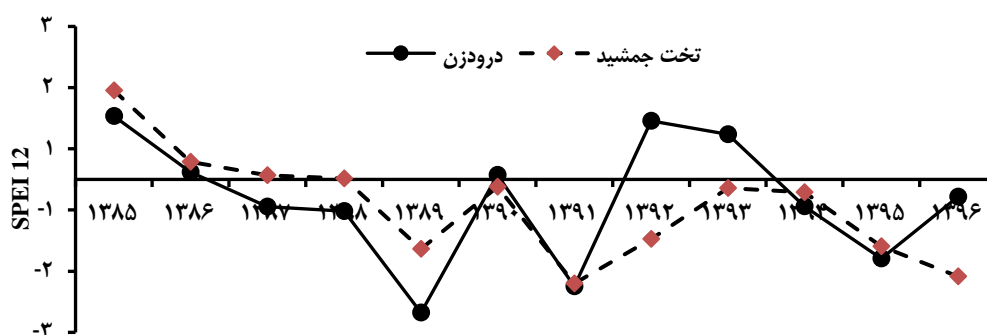
بر اساس شاخص FI محاسبه‌شده برای محدوده مرودشت-خرامه، میزان آب تجدیدپذیر به ازای هر نفر برابر ۱۹۸۲ مترمکعب است که بر اساس طبقه‌بندی ارائه شده توسط فالکن مارک در کلاس نزدیک به تنش قرار دارد (جدول ۸). مقدار محاسبه‌شده شاخص UN برای محدوده مورد مطالعه برابر ۲۱۰ درصد محاسبه شد که با مقایسه با حدود طبقات ارائه‌شده برای این شاخص، ملاحظه می‌شود که حجم آب مصرفی بسیار بیشتر از مقدار آب

جدول ۸- مقادیر آب تجدیدپذیر، مصرف و شاخص‌های وضعیت منابع آب در محدوده مرودشت-خرامه

نام محدوده مطالعاتی	RW (MCM)	مصرف (MCM)	MAR (MCM)	جمعیت (نفر)	FI (m ³ per capita)	UN (%)	WSI
مرودشت-خرامه	۷۵۰	۱۵۴۶	۵۲۷	۳۷۸۲۹۸	۱۹۸۲	۲۱۰	۲/۹۳

SPEI ۱۲ ماهه برای ایستگاه درودزن در بازه‌ی مورد بررسی (۱۳۸۵-۹۵) به ترتیب برابر ۱/۰۳- و ۲/۱۸- (خشکسالی بسیار شدید) در سال‌های ۱۳۸۵ و ۱۳۸۸ به دست آمد. همین پارامترها در ایستگاه تخت جمشید به ترتیب ۱/۴۵- و ۱/۷- (خشکسالی شدید) در سال‌های ۱۳۸۵ و ۱۳۹۰ به دست آمد (شکل ۵).

نتایج محاسبه‌ی شاخص SPEI محاسبه‌شده برای مقیاس-های زمانی یک ماهه، سه ماهه، چهار ماهه، شش ماهه و ۱۲ ماهه و ۲۴ ماهه و مقایسه با سری زمانی افت سطح ایستابی در منطقه نشان داد که شاخص SPEI ۱۲ ماهه در پایش افت سطح ایستابی مناسب‌ترین مقیاس است. بیشترین و کمترین مقدار شاخص



شکل ۵- روند تغییرات SPEI ۱۲ ماهه در ایستگاه‌های درودزن و تخت جمشید در بازه زمانی مورد مطالعه

یافته است. به همین دلیل SPEI-12 در ایستگاه درودزن در بازه زمانی ذکرشده در منطقه نرمال و در ایستگاه تخت جمشید در شرایط بحرانی قرار گرفته است. نتایج حاصل از رگرسیون خطی بین متغیر مستقل مقدار بارش (P) با متغیر وابسته متوسط تغییر سطح ایستابی (ΔS) در دوره آماری ۹۵-۱۳۸۵ نشان داد که یک رابطه خطی افزایشی و معنی‌دار ($P < 0.001$) بین این دو متغیر وجود دارد، طوری که مقدار ضریب تبیین 0.59^1 و مقدار مجذور میانگین مربعات خطای 0.99^2 مدل رگرسیون برازش داده‌شده نیز 0.99 به دست آمد (شکل ۶).

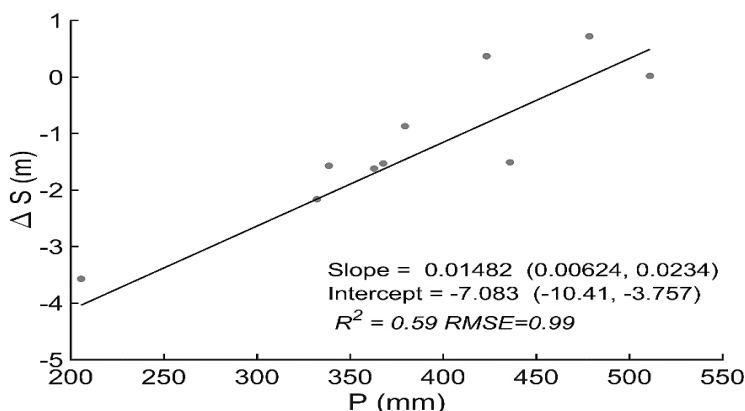
طبق بررسی‌های انجام‌شده با توجه به این که میزان بارش در هر سال بر میزان آب تخصیص‌یافته به کشاورزان محدوده در

میانگین شاخص SPEI ۱۲ ماهه برای ایستگاه‌های درودزن و تخت جمشید به ترتیب 0.33^- و 0.43^- محاسبه شد که نشان‌دهنده‌ی این واقعیت است که طی بازه‌ی زمانی ۹۵-۱۳۸۵ منطقه تحت تأثیر خشکسالی خفیف بوده است و این با روند افت سطح ایستابی در محدوده مطابقت خوبی دارد.

ایستگاه درودزن در منطقه کوهستانی واقع بوده و ایستگاه تخت جمشید در دشت واقع شده است. با بررسی داده‌های بارش و دما در بازه زمانی سال‌های ۹۲ و ۹۳ ملاحظه می‌گردد که داده‌های بارش و دما در ایستگاه درودزن تغییرات چندانی نداشته، درحالی که این داده‌ها در ایستگاه تخت جمشید دارای نوسانات زیادی است، یعنی بارندگی کاهش و دما افزایش

آب تخصیص یافته به کشاورزان محدوده در هر سال به حجم آب ذخیره شده در پشت سد درودزن در سال قبل بستگی دارد.

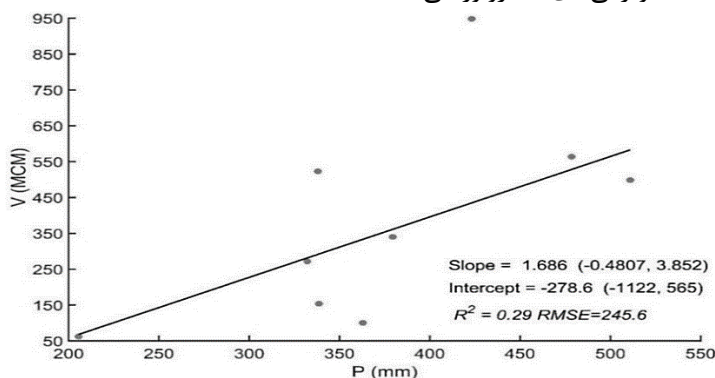
سال بعد تأثیرگذار است، ارتباط بین میزان بارش و حجم آب تخصیص یافته در سال بعد مورد ارزیابی قرار گرفت. چرا که حجم



شکل ۶- بررسی تغییرات بین میزان بارش و نوسانات سطح ایستابی در طول دوره شاخص ۱۳۸۵-۹۵

بالادست آن بستگی دارد، چرا که رواناب حاصل از بارش به کمبود رطوبتی خاک، توزیع زمانی و مکانی بارش و ... وابسته است، به همین دلیل نمی‌توان گفت، افزایش میزان بارش متضمن تخصیص آب بیشتر به کشاورزان محدوده مورد مطالعه خواهد بود. در سال‌های اخیر به دلیل کم بودن حجم آب ذخیره شده در پشت سد، کشاورزان محدوده جهت تأمین نیاز آب محصولات، با افزایش برداشت آب از چاه‌ها، سبب افت سطح ایستابی هر چه بیشتر محدوده شده‌اند.

نتایج حاصل از رگرسیون خطی بین متغیر مستقل مقدار بارش با متغیر وابسته حجم آب تخصیص یافته در دوره آماری ۹۵-۱۳۸۵ نشان داد که یک رابطه خطی افزایشی بین این دو متغیر وجود دارد ($P = 0.110$)، طوری که مقدار ضریب تبیین ۰/۲۹ و مقدار مجذور میانگین مربعات خطای مدل رگرسیون برازش داده شده نیز ۲۴۵/۶ به دست آمد (شکل ۷). مقدار ضریب تبیین نشان می‌دهد بین این دو پارامتر وابستگی معنی‌داری وجود ندارد. میزان رواناب حاصل از نزولات جوی در بالادست سد به ویژگی‌های هیدرولوژیکی



شکل ۷- بررسی تغییرات بین میزان بارش و حجم آب تخصیص یافته در بازه زمانی ۱۳۸۵-۹۵

آبخوان‌ها و از بین رفتن حقابه زیست‌محیطی و خشک شدن دریاچه‌های طشک-بختگان و مهارلو) شده است. بررسی حاضر نشان می‌دهد که میزان مازاد برداشت در محدوده شبکه مدرن درودزن و کربال به ترتیب برابر با ۸/۲٪ و ۵/۲٪ است. بررسی‌ها نشان می‌دهد که علیرغم اینکه کشاورزان محدوده شبکه مدرن درودزن نسبت به شبکه کربال منابع آب قابل‌دسترس بیشتر و حتی با کیفیت بهتری در اختیار دارند، در عین حال کشاورزان شبکه مدرن درودزن برای رسیدن به سود بیشتر با توجه به در اختیار داشتن آب کافی (آب سطحی و زیرزمینی) به کشت

نتیجه‌گیری

در طی زمان به واسطه تغییر در وضعیت معیشتی، نیاز بازار، توسعه تکنولوژی و سیاست‌گذاری‌های صورت گرفته، اجاره دادن زمین‌های کشاورزی، نامتناسب بودن میزان عرضه و تقاضا و عدم خرید تضمینی محصولات برداشت شده توسط کشاورزان و عدم رعایت آیش زراعی، الگوی کشت منطقه دست‌خوش تغییرات شده است. تغییر الگوی کشت در منطقه مرودشت-خرامه منجر به استفاده بی‌رویه از منابع آب و برداشت نامتعادل از منابع سطحی و زیرزمینی و نهایت ناپایداری اکوسیستم منطقه (افت شدید

و بهره‌برداری بیش از حد قرار دارد. عمده آب مصرفی در بخش کشاورزی در محدوده مطالعاتی مرودشت-خرامه از طریق آب زیرزمینی است. بنابراین در راستای مدیریت و بهره‌برداری اصولی و پایدار از منابع آب محدود کشور بالاخص منابع زیرزمینی، اعمال حاکمیت بهره‌برداری در جهت تغییر رفتار زارعین در میزان برداشت و استفاده منطقی با اعمال مدیریت‌هایی از قبیل تغییر الگوی کشت و جایگزین کشت‌های پرمصرف با کشت‌های کم-مصرف و با بهره‌وری اقتصادی بالاتر و نیز سرمایه‌گذاری در جهت توسعه روش‌های آبیاری با راندمان بالا ضروری است.

گیاهانی با نیاز آبی بالا از جمله برنج و ذرت روی آورده‌اند. تداوم این امر در جهت ناپایداری منابع آب قابل‌دسترس و تجدیدپذیر در آینده نه‌چندان دور، ادامه حیات ساکنین منطقه را به مخاطره خواهد انداخت. بررسی‌های انجام‌شده نشان می‌دهد مقدار سرانه منابع آب تجدیدپذیر برای هر نفر در هر سال با توجه به شاخص فالکن مارک برای منطقه در طبقه نزدیک به تنش قرار دارد و ضرورت مدیریت و بهره‌برداری صحیح از منابع آب در منطقه را نشان می‌دهد. نتایج به‌دست‌آمده برای شاخص UN و WSI نشان داد منطقه مورد مطالعه از نظر منابع آبی در شرایط بحران شدید

REFERENCES

- Ahmadi, A., Zadevakili, N., Safavi, H.R. and Ohabizadi, S.A. (2015). Developing a dynamic planning model for the allocation of surface water and underground resources, Case study: Zayandehroud catchment basin, *Iran water resources research*, 11(1), 22-31. (In Farsi)
- Alfaro, P., Liesch, T. and Goldscheider, N. (2017). Modelling groundwater over-extraction in the southern Jordan Valley with scarce *Hydrogeology Journal*, 25(5), 1319-1340.
- Benetti, A. D. (2008). Water reuse: issues, technologies, and applications. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, 13(3), 247-248.
- Bithas, K. (2008). The sustainable residential water use: Sustainability, efficiency and social equity. The European experience. *Ecological Economics*, 68(1-2), 221-229.
- Falkenmark, M. (1989). The massive water scarcity now threatening Africa: why isn't it being addressed? *Ambio*, 112-118.
- Fallah, S., Ghobadina, M., Shokrgozar Darabi, M. and Ghorbani Dashtaki, SH. 2012. Study of the Sustainability of Darab Groundwater in Fars Province, *Journal of Water Research in Agriculture*, 26(2), 162-172. (In Farsi)
- Hossianpejoh, N. and Ahmadali, KH. (2017). Comparison of precipitation and precipitation indexes - Evapotranspiration - Standardized flood monitoring and detection transpiration, *International Conference on Natural Resources in Developing Countries*, University of Tehran, Iran. (In Farsi)
- Iran Water Resources Management Co., Water Resources Research Center, Groundwater Studies Group. (2017), <http://wrbs.wrm.ir>. (In Farsi)
- Pirmoradian, N., Shamsnia, S.A., Bostani, F. and Shahrokhnia, M.A. (2008). Evaluation of Drought Return Period Using Standardized Index (SPI) in Fars Province, *Journal of Modern Agricultural Science*, 4(13), 9-21. (In Farsi)
- Pirmoradian, N., Shamsnia, S.A., Bostani, F. and Shahrokhnia, M.A. 2010. Evaluation of drought return period using the standardized precipitation index in Fars province, *Journal of Modern Agricultural Science*, 4(13), 8-21.
- Rahimi, H. and Kaledi, H. (2000). The Water Crisis in Iran and the Ways to Cope with It, *The First National Conference on Dehydration and Drought Management*, ppt: 941-951. (In Farsi)
- Renger, M., Wessolek, G., Schwarzal, K., Sauerbrey, R. and Siewert, C. (2002). Aspects of peat conservation and water management. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 165(4), 487.
- Safavi, H. R., Darzi, F. and Mariño, M. A. (2010). Simulation-optimization modeling of conjunctive use of surface water and groundwater. *Water resources management*, 24(10), 1965-1988.
- Seydan, S.M., Kohansal, M.R. and Ghorbani, M. (2017). Achieving the optimal route of extraction of groundwater resources by applying side effects in Hamedan plain - Bahar, *watershed management research*, 8(15), 191-200. (In Farsi)
- Shabaninia, M.K., Honar, T. and Zibai, M. (2010). Optimal management of water use and cropping patterns in combination with the use of surface and underground water resources, *science and technology of agriculture and natural resources*, 12(44), 54-66. (In Farsi)
- Shahedi, M. and Talebihossian abad, F. (2013). An Indicator of Application to Assess Water Balance and Development Sustainability, *Water and Sustainable Development*, 1(1), 73-79. (In Farsi)
- Shahidasht, A.R. and Abbasnejad, A. (2010). Presenting Groundwater Management Strategies in Kerman Province, *Quarterly Journal of Applied Geology*, 7(2), 131-146. (In Farsi)
- Smakhtin, V, C Revanga, and P Doll. 2005. "Taking into Account Environmental Water Requirements in Global scale Water Resources Assessments." IWMI the Global Podium. http://podium.iwmi.org/podium/Doc_Summary.asp (accessed June 2010).
- Studies on updating the water resources of the watershed of Tashk-Bakhtegan and Maharlo seafloor, Marvdasht-Karameh study area report, Faresab Sanat Consulting Engineers.(2010). (In Farsi)
- Vicente-Serrano, S. M., Beguería, S., and López-Moreno, J. I. (2010). A multiscalar drought index sensitive to global warming: the standardized precipitation evapotranspiration index. *Journal of climate*, 23(7), 1696-1718.
- Zibai, M. (2007). Factors affecting the persistence of the

use of sprinkler irrigation systems in the province compared logit analysis and discriminant analysis. *Economics and Agriculture*, 1(2), 183-193. (In Farsi)

Zibai, M.H., Zibai, M. and Ardokhani, k. (2013). Evaluation of combined use scenarios of surface and underground water resources in Firouzabad

Plain Fars, *Agricultural Economics Research*, 5(1) 157-181. (In Farsi)

Zimmermann, I., Fleige, H. and Horn, R. (2017). Longtime effects of deep groundwater extraction management on water table levels in surface aquifers. *Journal of soils and sediments*, 17(1), 133-143.