پایش خشکسالی منطقه‌ای بر اساس جریان ورودی به مخزن سد درودزن در استان فارس

اعظم رنجبر[۱]، داور خلیلی[۲*]، شاهرخ زندپارسا[۳] و علی اکبر کامگار حقیقی[۴]

۱- کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی دانشگاه شیراز

۲*- نویسنده مسئول، استاد بخش مهندسی آب دانشگاه شیراز dkhalili@shirazu.ac.ir

۳- دانشیار بخش مهندسی آب دانشگاه شیراز

۴- استاد بخش مهندسی آب دانشگاه شیراز

تاریخ دریافت: ۹۲/۱۰/۲۵ تاریخ پذیرش: ۹۳/۲/۳۰

چکیده

در این تحقیق با مدنظر قرار دادن شرایط خشکسالی بر اساس حجم جریان ورودی به مخزن سد، به تعیین خشکسالی‌های مخزن از روش‌های مختلف پرداخته، تا ضمن مقایسه با شرایط خشکسالی در ایستگاه‌های هواشناسی و هیدرومتری، امکان ارزیابی شاخص‌های مورد استفاده در حوضه نیز حاصل گردد. همچنین ارتباط حجم ورودی تجمعی به مخزن سد در تاریخ‌های بحرانی با حجم ورودی تجمعی مخزن در ماه‌های قبل با استفاده از معادلات رگرسیونی مورد بررسی قرار گرفت تا بتوان با مشخص شدن متغیرهای مؤثر، برای بهره برداری از آب سد در آینده گام برداشته و مدیریت مطلوب را تدوین نمود. ابتدا از شاخص بارش استاندارد شده[۱] به دو روش مکی و همکاران[۲] و نالبانتیس و تساکریس[۳] برای بررسی خشکسالی های هواشناسی در چهار ایستگاه باران سنجی در حوضه کر (بالادست سد درودزن) استفاده شد. همچنین شرایط خشکسالی هیدرولوژیک بر اساس جریان ورودی به مخزن سد درودزن و ایستگاه هیدرومتری چمریز نیز با استفاده از شاخص خشکسالی جریان رودخانه بررسی گردید. طبق نتایج بدست آمده شاخص بارش استاندارد شده به تنهایی شاخص مناسبی برای پایش خشکسالی منطقه ای نبوده و اعمال شاخص خشکسالی جریان رودخانه[۴] بر جریان ورودی به مخزن که نماینده ای از کل حوضه است، مناسب تر است. به منظور تعیین ارتباط حجم ورودی تجمعی به مخزن سد در تاریخ های بحرانی با حجم ورودی تجمعی مخزن در ماه های قبل، روز اول ماه های فروردین، اردیبهشت، خرداد و تیر به عنوان تاریخ های بحرانی در نظر گرفته شدند. بر اساس معادله های نهایی، حجم ورودی به مخزن در تاریخ های اول اردیبهشت، اول خرداد و اول تیر، در ارتباط مستقیم با حجم ورودی مخزن در یک ماهه‌ی قبل می‌باشد، این بدان معنی است که با نزدیک شدن به دوره خشکی، حجم ورودی به مخزن به تعادل رسیده و کمتر تحت تأثیر فصل بارندگی یا به عبارتی شاخص های خشکسالی که نمادی از عوامل اقلیمی هستند، می‌باشد حال آنکه در تاریخ اول فروردین قرار گرفتن ماه مهر در کنار ماه های بهمن و دی به عنوان متغیر مؤثر، بر تغییرات تابع، این نکته را می‌رساند که حجم ورودی به مخزن در تاریخ اول فروردین وابسته به فصل بارندگی است که این موضوع اهمیت شاخص های خشکسالی و همچنین تأثیر عوامل اقلیمی بر حجم ورودی به مخزن در فصل بارندگی را نشان می دهد.

کلید واژه ها: شاخص‌های خشکسالی، جریان ورودی به مخزن سد، عوامل اقلیمی.

Regional Drought Monitoring Based On Infelow Into The Doroodzan ReservoirOIR In Fars Province

A. Ranjbar[1], D. Khalili[2*], Sh. Zand-Parsa[3], and A. A. Kamgar-Haghighi[4]

Received: 15 June 2014 Accepted: 17 November 2014

1-Graguated Student, Water Engineering Department, Shiraz University
2*- Professor, Water Engineering Department, Shiraz University, dkhalili@shirazu.ac.ir
3-Associate Professor, Water Engineering Department, Shiraz University

1 - Standard Percipitation Index (SPI)
2 - Mckee *et al.*
3 - Nalbantis and Tesakiris
4 - Streamflow Drought Index (SDI)

4-Professor, Water Engineering Department, Shiraz University

Abstract

In this study reservoir inflow volume is used to investigate drought conditions by various methods so that by comparison with drought conditions at meteorological and hydrometric stations, the used drought indices could be evaluated. Also, relationships between cumulative reservoir inflow volumes at critical dates and those of the previous months were investigated, in order to identify effective variables for future utilization of stored water and implementation of optimal management decisions for reservoir operation. At first, the SPI was used in two different manners, by applying the method by Mckee and also by applying the method by Nalbantis and Tsakiris, in order to investigate meteorological droughts in four rainfall stations at Kor watershed (upstream of Doroodzan Dam). Also, hydrological drought conditions were investigated based on data on inflow into the Doroodzan reservoir and Chamriz hydrometric station, which were modeled utilizing the SDI, which according to the results the SPI and the SDI from the hydrometric station data, would not be sufficient for drought monitoring and utilization of the SDI on inflow into the reservoir as a good representative of the entire watershed would be more appropriate. In order to establish relationships between cumulative reservoir inflows at critical dates with cumulative reservoir inflow of previous months, the first days of Farvardin, Ordibehesht, Khordad and Tir were considered as critical dates. According to final equations, inflow into the reservoir on the first days of Ordibehesht, Khordad and Tir are directly related to cumulative inflows of the previous month. This would indicate that as the non-rainy season approaches, inflow volume stabilizes and is less effected by rainfalls or in other words by climatological factors. Whereby, for the first day of Farvardin, month of Mehr along with Dey and Bahman as effective variables indicates that inflow volume on the first day of Farvardin is dependent on the rainy season, which would highlight the importance of drought indices and also climatological factors on reservoir inflow during the rainy season.

Keywords: Drought indices, Reservoir inflow, Climatological factors.

مقدمه

آب یک مولفه حیاتی و در عین حال نادیده انگاشته شده‌ی توسعه پایدار است و سیستم‌های پایدار منابع آب، سیستم هایی هستند که نه تنها به منظور تأمین نیاز حال افراد، طراحی و مدیریت می‌شوند بلکه نیازهای جوامع آینده را نیز در نظر گرفته و آنها را نیز تامین می‌کنند. پدیده خشکسالی که یکی از ریسک‌های هیدرولوژیک محسوب می‌شود به عنوان یکی از معیارهای پایداری سیستم‌های منابع آب می‌باشد.

به‌طور کلی خشکسالی به شرایطی اطلاق می‌شود که در آن پیامدهای نامطلوب و گسترده اقتصادی، اجتماعی و محیط زیستی در اثر وجود آب کمتر از حد نرمال آن حاصل می‌شود و بنابراین می‌توان آن را به صورت انحراف از شرایط عادی متغیرهایی مانند بارندگی، رطوبت خاک، آب زیرزمینی و جریان رودخانه قلمداد کرد.

هر چند دیدگاه ها و نقطه نظرات متفاوتی در زمینه تعاریف به‌طور کلی خشکسالی وجود دارد، اما مهمترین انواع خشکسالی شامل خشکسالی هواشناسی، خشکسالی هیدرولوژیک، خشکسالی کشاورزی و خشکسالی اجتماعی-اقتصادی (ویلهیت و گلنتز[1]، ۱۹۸۵) می‌باشد. خشکسالی هواشناسی به دلیل کمبود بارش بر یک منطقه وسیع و برای یک دوره زمانی طولانی رخ می‌دهد که این کمبود آب در طول چرخه هیدرولوژیک منتقل می‌شود و دیگر انواع خشکسالی را به وجود می‌آورد. این خشکسالی فقط حالت مفهومی دارد و شاخص‌های لازم برای چنین تعریفی از ناحیه‌ای به ناحیه دیگر متفاوت می‌باشند (بی نام[2]، ۱۹۹۸). خشکسالی هیدرولوژیک زمانی اتفاق می‌افتد که سطح تراز ذخایر آب های سطحی و زیرزمینی از حد معمول خود کمتر باشد. خشکسالی هیدرولوژیک اغلب در عرض‌های میانی بر اثر کمبود و فقدان بارش زمستانی اتفاق می‌افتد. علاوه بر بارش، عوامل اقلیمی دیگر مانند دماهای بالا، بادهای قوی و رطوبت نسبی کم نیز به طور قابل ملاحظه‌ای بر خشکسالی هیدرولوژیک تأثیر دارند. از دیدگاه کشاورزی زمانی خشکسالی اتفاق می افتد که رطوبت خاک به میزانی کم شود که پاسخگوی مقدار تبخیر تعرق نباشد و منجر به خسارت در محصول شود. از دیدگاه اجتماعی و اقتصادی، خشکسالی یعنی زمانی که کمبود آب برای نیاز های بشر موجب نابهنجاری های اجتماعی و اقتصادی شود (ویلهیت و گلنتز، ۱۹۸۵).

با توجه به پیچیدگی‌هایی که در مطالعه و تحلیل پدیده خشکسالی وجود دارد، معمولاً از شاخص‌های خشکسالی به منظور بررسی این گونه وقایع استفاده می‌شود. محققین همواره تلاش در ارائه یکسری از شاخص های محاسباتی برای پایش شدت، تداوم، زمان شروع و خاتمه پدیده

1- Wilhite and Glantz

2- Anonimous

خشکسالی داشته اند (ریچاردز و هیمز[1]، ۲۰۰۲). شاخص‌های خشکسالی بر اساس متغیرهای هیدرولوژیک و هواشناسی ممکن است الگوهای زمانی و مکانی متفاوتی را نشان دهند (سول[2]، ۱۹۹۲). شاخص‌های زیادی برای بررسی وقایع خشکسالی ارائه شده اند، که در این میان شاخص بارش استاندارد شده که توسط مکی و همکاران (۱۹۹۳) ارائه گردید، در مناطق مختلف جهان مورد استفاده قرار گرفته است. شاخص نزولات جوی استاندارد شده به عنوان یک شاخص خشکسالی هواشناسی، وقایع بارندگی را تحلیل می‌نماید، اما در بسیاری از موارد بررسی خشکسالی‌های هیدرولوژیک اجتناب ناپذیر است، که در این‌گونه موارد نیاز به شاخصی می‌باشد که قابلیت تحلیل جریان‌های رودخانه‌ای را داشته باشد. بدین منظور روش‌های متنوعی برای بررسی خشکسالی‌های هیدرولوژیک ارائه شده اند، که در این خصوص می‌توان روش‌های ارائه شده توسط یوجویچ[3] (۱۹۶۷) و زلنهیزیک و سالوای[4] (۱۹۸۷) را ذکر نمود. در سال‌های اخیر شاخص خشکسالی جریان رودخانه به عنوان یک شاخص خشکسالی هیدرولوژیک توسط نالبانتیس و تساکریس (۲۰۰۹) ارائه گردید. این شاخص از قابلیت خوبی در بررسی وضعیت منابع آب حوضه‌های آبریز و مخازن سدها، بخصوص در مواقع خشکسالی برخوردار است (نالبانتیس[5]، ۲۰۰۸).

بنا برعقیده بسیاری از محققین، خشکسالی در ایران یک واقعیت اقلیمی است. به همین دلیل برای مقابله با خشکسالی بایستی راهکارهای مناسبی را جست وجو کرد. متغیر بودن رژیم بارندگی و رژیم رودخانه در سال‌های مختلف، در عین حال که تأییدی بر تکرار پدیده خشکسالی است، اتخاذ این راهکار مناسب را ضروری می‌نماید. در این راستا بهره برداری مناسب از آب ذخیره شده در مخازن سدها، به عنوان یک راهکار مناسب برای مقابله با خشکسالی می‌تواند مورد بحث قرار گیرد (قهرمان و سپاسخواه، ۱۳۷۹). آب‌های سطحی که به صورت رودخانه های دائمی یا فصلی در منطقه جریان دارد با احداث مخازن سطحی (مخازن آب در پشت سدها) ذخیره شده و بر اساس برنامه خاصی به تدریج به پایین دست انتقال می‌یابد تا نیازهای مختلف را مرتفع نماید. در دوره خشکسالی که آب رودخانه‌ها کاهش می‌یابد، بایستی با برنامه های دقیق و از قبل تعیین شده، نیاز آبی منطقه تامین شود. لذا مدیریت سیستم مخازن در دوره خشکسالی بسیار حساس بوده و نیاز به ابزار و دید نسبت به آینده دارد. همان طور که گفته شد یکی از راهکارهای مهم و اساسی در مطالعات خشکسالی هر منطقه، تعیین شاخص‌هایی است که بتوان بر اساس آنها میزان شدت و تداوم خشکسالی را در یک منطقه ارزیابی کرد، اما از آنجا که شاخص های خشکسالی تنها پارامترهای خشکسالی به وقوع پیوسته را می‌سنجند، نمی توان از آن‌ها در جهت بهره برداری بهینه از منابع آب استفاده کرد، ضمن اینکه پایش خشکسالی منطقه‌ای تنها براساس شاخص‌های خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیک ممکن است اطلاعات کافی را ارائه ندهد. بنابراین روشی لازم است تا ضمن پایش خشکسالی در مخزن سد با استفاده از مناسب‌ترین شاخص‌ها، امکان ارائه رویکردهای مدیریتی را نیز با توجه به نیاز آبی منطقه بدهد.

بدین منظور در این تحقیق با مدنظر قرار دادن شرایط خشکسالی بر اساس حجم جریان ورودی به مخزن سد، به تعیین خشکسالی‌های مخزن از روش‌های مختلف پرداخته، تا ضمن مقایسه با شرایط خشکسالی در ایستگاه‌های هواشناسی و هیدرومتری، امکان ارزیابی شاخص‌های مورد استفاده در حوضه را نیز بدهد. همچنین در مقیاس زمانی کوتاه مدت در دوره بحرانی، به بررسی ارتباط حجم آب مخزن در تاریخ‌های بحرانی با حجم آب مخزن در ماه‌های قبل پرداخته شد تا بتوان با مشخص شدن متغیرهای مؤثر، برای بهره‌برداری از آب سد در آینده گام برداشته و مدیریت مطلوب را تدوین نمود.

اهداف تحقیق

در این تحقیق اهداف زیر مورد بررسی قرار می‌گیرند:

تعیین وضعیت مخزن سد در شرایط خشکسالی با استفاده از روش‌های مختلف و مقایسه با شرایط خشکسالی در ایستگاه های هواشناسی و هیدرومتری منطقه،

بررسی ارتباط مستقیم حجم ورودی تجمعی به مخزن سد در تاریخ‌های بحرانی با حجم ورودی تجمعی مخزن در ماه‌های قبل با استفاده از معادلات رگرسیونی، در مقیاس زمانی کوتاه مدت در دوره بحرانی.

منطقه مورد مطالعه

در این پژوهش آمار جریان متوسط روزانه مخزن سد درودزن و همچنین آمار بارندگی و جریان ماهانه مربوط به ایستگاه های هواشناسی و هیدرولوژیک، طی دوره آماری ۳۱ ساله (۱۹۷۶-۲۰۰۷) مورد استفاده قرار گرفت.

موقعیت حوضه‌ی آبریز

منطقه مورد مطالعه در این تحقیق، حوضه ی آبریز کر (بالادست سد درودزن) با مساحت ۴۵۶۲/۵ کیلومتر مربع واقع در استان فارس، در جنوب غربی ایران است، که از طریق سد درودزن و سیستم مخازن، آب مورد نیاز کشاورزی، شرب و مصارف صنعتی

1- Richards and Heims
2- Soule
3- Yevjevich
4- Zelenhasic and Salvai
5- Nalbantis

خود را تأمین می کند. سیستم آبریز کر به درون رودخانه کر تخلیه می شود، رودخانه ای با رژیم جریان دائمی. منابع تأمین آب این رودخانه شامل ذوب برف ها، دبی چشمه ها و وقایع پراکنده بارندگی می‌شود. میانگین بارش سالانه در حوضه‌ی آبریز کر ۴۴۳ میلی‌متر و میانگین دمای سالانه ۱۴ درجه سانتیگراد می‌باشد، که با توجه به قرار داشتن این حوضه در اقلیم نیمه خشک، وقوع خشکسالی‌های منطقه‌ای و به‌خصوص تأثیر آنها بر جریان‌های رودخانه‌ای از اهمیت ویژه برخوردار می‌باشد. از طرفی، در این حوضه وقوع ۳۰۰–۲۰۰ میلی‌متر بارندگی در طول یک واقعه، با مقادیر روزانه ی بین ۵۰ تا ۱۰۰ میلی متر که سبب طغیان‌های رودخانه‌ای و وقوع سیلاب‌های شدید می‌گردد، غیر عادی نیست، در حالی‌که رژیم دائمی جریان رودخانه در سراسر سال نتیجه مستقیم ذوب برف و دبی آب چشمه بوده و لذا وقوع جریان حداکثری در نتیجه‌ی وقایع بارندگی می‌باشد. به علاوه، جریان‌های حداکثر با دوره های یخبندان و نزدیک یخبندان همزمان می باشند. رژیم طغیانی رود خانه کر از یک طرف و رژیم دائمی جریان از طرف دیگر و اقلیم نیمه خشک منطقه، وابستگی شدید به وقایع بارندگی را نشان می‌دهد و لذا مطالعات خشکسالی را اجتناب ناپذیر می‌نماید.

موقعیت سد درودزن و اطلاعات کلی سد

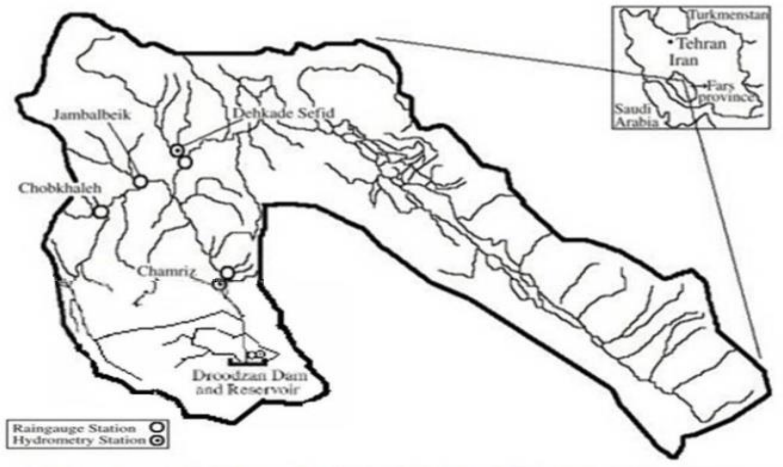
در این تحقیق از اطلاعات حجم جریان ورودی به مخزن سد درودزن استفاده شده است. سد درودزن (نام پیشین: سد داریوش) در استان فارس در یک‌صد کیلومتری شمال غرب شیراز و بر روی رود کر ساخته شده‌است. ساخت این سد در سال ۱۳۵۱ هجری شمسی به پایان رسید.

این سد از نوع مخزنی (خاکی با هسته رسی) است که حجم مرده مخزن ۱۳۳ میلیون متر مکعب و حجم مفید آن ۸۳۰ میلیون متر مکعب می‌باشد. طول و عرض تاج به ترتیب ۲۷۰ و ۸ متر و ارتفاع از پی ۵۸ متر می‌باشد. نوع سرریز بتنی آزاد و مساحت دریاچه ۵۵ کیلومتر می‌باشد.

ایستگاه‌های هواشناسی و هیدرومتری مورد استفاده

در این تحقیق چهار ایستگاه باران سنجی به نام‌های چمریز، چوبخله، جمال بیگ و دهکده سفید و ایستگاه هیدرومتری چمریز به همراه اطلاعات حجم جریان ورودی به مخزن سد درودزن مورد استفاده قرار گرفتند که موقعیت حوزه، ایستگاه‌ها و سد مورد نظر در شکل (۱) قابل مشاهده است.

همچنین مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌ها در جدول (۱) نشان داده شده است.



شکل ۱- نقشه محل مطالعه (موقعیت ایستگاه‌ها وسد مورد نظر)

جدول ۱-مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌های مورد مطالعه

نوع ایستگاه	نام ایستگاه	سال تأسیس	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	میانگین ارتفاع از سطح آزاد دریا (متر)
هواشناسی	چمریز	۱۳۴۳	۳۰–۲۷	۵۲ – ۶۰/۵	۱۷۴۰
هواشناسی	چوبخله	۱۳۵۱	۳۰ – ۳۳	۵۱ – ۳۳	۱۷۸۰
هواشناسی	جمال بیک	۱۳۴۷	۳۰ – ۳۵/۵	۵۱ – ۵۸	۱۸۴۰
هواشناسی	دهکده سفید	۱۳۴۹	۳۰ – ۳۸/۵	۵۲ – ۷۰/۵	۱۸۹۰
هیدرومتری	چمریز	۱۳۴۳	۳۰ – ۲۷	۵۲ – ۶۰/۵	۱۷۴۰

جدول ۲- طبقه‌بندی دوره‌های تر و خشک بر اساس شاخص بارش استاندارد شده (برگرفته ازنالبانتیس و تساکریس، ۲۰۰۹)

معیار سنجش	توصیف وضعیت
SPI ≥ ۲	شدیدا" مرطوب
۱/۵≤ SPI < ۲	خیلی مرطوب
۱≤ SPI <۱/۵	مرطوب متوسط
-۱≤ SPI <۱	نزدیک به نرمال
-۱/۵≤ SPI <-۱	خشک متوسط
-۲≤ SPI <-۱/۵	شدیداً خشک
SPI ≤-۲	بی نهایت خشک

روش پژوهش

تعیین خشکسالی‌های هواشناسی

در این تحقیق از شاخص بارش استاندارد شده به عنوان شاخص منتخب جهت بررسی خشکسالی‌های هواشناسی در چهار ایستگاه باران سنجی موجود در حوضه استفاده گردید. این شاخص توسط مکی و همکاران (۱۹۹۳) به منظور کمی سازی کمبود بارش و پایش وضعیت خشکسالی در مقیاس های زمانی ۳، ۶، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه ارائه گشته و به صورت گسترده در مناطق مختلف جهان مورد استفاده می باشد. همچنین در این تحقیق از روشی که نالباتیس و تساکریس (۲۰۰۹) برای محاسبه شاخص بارش استاندارد شده پیشنهاد دادند نیز برای تعیین خشکسالی‌های هواشناسی استفاده شد که در ادامه به بررسی آن پرداخته خواهد شد.

شاخص بارش استاندارد شده (روش نالبانتیس و تساکریس)

با استفاده از شاخص بارش استاندارد شده (نالبانتیس و تساکریس، ۲۰۰۹)، خشکسالی هواشناسی طبق روش زیر مدل‌سازی می شود. با فرض بر اینکه ارتفاع بارش ($P_{i,j}$) موجود است، i و j به ترتیب شماره سال آبی و ماه مورد نظر در آن سال خواهد بود.:

$$V_{i,k} = \sum_{j=1}^{3k} P_{i,j}$$

$$i = 1,2,... j = 1,2,...,12 \quad k = 1,2,3,4 \qquad (1)$$

$V_{i,k}$ = حجم تجمعی بارندگی در سال آبی i ام و دوره زمانی k ام (۳، ۶، ۹ و ۱۲ ماهه):

K=1 (اکتبر- دسامبر)
K=2 (اکتبر- مارس)
K=3 (اکتبر- ژوئن)
K=4 (اکتبر- سپتامبر)

بدین ترتیب شاخص بارش استاندارد شده برای هر سال i و k به صورت زیر محاسبه می شود :

$$SPI_{i,k} = \frac{V_{i,k} - \overline{V}}{s_k} \qquad i = 1,2,... \quad k = 1,2,3,4 \qquad (2)$$

$\overline{V}$ = میانگین ارتفاع تجمعی بارش در دوره k در دراز مدت

s_k = انحراف معیار تجمعی بارش در دوره k در دراز مدت

در صورت وجود چولگی در داده ها، ابتدا با گرفتن لگاریتم داده ها نرمالیزه شده وبه صورت زیر عمل می شود :

$$SPI_{i,k} = \frac{y_{i,k} - \bar{y}_k}{s_{y,k}} \qquad i = 1,2,... \quad k = 1,2,3,4 \qquad (3)$$

$$y_{i,k} = ln(V_{i,k}), \quad i = 1,2,... \quad k = 1,2,3,4 \qquad (4)$$

$\bar{y}_k$ = میانگین نرمال شده ارتفاع تجمعی بارش در دوره K طی دوره آماری

$s_{y,k}$ = انحراف معیار نرمال شده ارتفاع تجمعی بارش در دوره K طی دوره آماری

برای تعیین شدت خشکسالی ناشی از شاخص بارش استاندارد شده از یک سیستم طبقه بندی شده مشابه جدول (۲) استفاده می گردد.

تعیین خشکسالی‌های هیدرولوژیک

تاکنون شاخص‌های زیادی برای مطالعه خشکسالی هیدرولوژیک به کار گرفته شده که همگی نیازمند محاسبات پیچیده‌ای هستند. این در حالی است که تعیین مشخصات خشکسالی هواشناسی، با استفاده از شاخص های بسیار ساده مثل شاخص بارش استاندارد شده صورت می پذیرد. از این رو نالبانتیس و تساکریس (۲۰۰۹)

یک روش جدید را با استفاده از شاخصی شبیه و همتراز با شاخص بارش استاندارد شده به‌نام شاخص خشکسالی جریان رودخانه ارائه کردند که طی آن جریان تجمعی رودخانه در مقیاس های زمانی ۳، ۶، ۹ و ۱۲ ماهه در هر سال هیدرولوژیک مورد استفاده قرار می‌گیرد و در آخر برای تعیین شدت خشکسالی ناشی از شاخص خشکسالی جریان رودخانه از یک سیستم طبقه بندی شده مطابق جدول (۳) استفاده می شود. در تحقیق حاضر با استفاده از شاخص خشکسالی جریان رودخانه، برای ایستگاه هیدرومتری چمریز و همچنین حجم جریان ورودی به مخزن سد، خشکسالی هیدرولوژیک مدل‌سازی می‌شود. همچنین برای تعیین خشکسالی هیدرولوژیک بر اساس جریان ورودی به مخزن سد از نرم افزار نیزوکا[1] (جاکوبووسکی و رادزوک[2]، ۲۰۰۳) نیز استفاده شد. این نرم افزار از روش حد آستانه[3] برای استخراج خشکسالی ها و تعیین خصوصیات آن‌ها (حجم کمبود و ...) استفاده می‌کند. به علاوه، شرایط خشکسالی هیدرولوژیک برای ایستگاه هیدرومتری چمریز و حجم جریان ورودی به مخزن سد در قالب روش شاخص بارش استاندارد شده توسط مکی و همکاران (۱۹۹۳) نیز مدل‌سازی می شود. نکته قابل توجه در این تحقیق این است که با مدنظر قرار دادن شرایط خشکسالی بر اساس حجم جریان ورودی به مخزن سد، به تعیین خشکسالی های مخزن از روش‌های مختلف پرداخته، تا ضمن مقایسه با شرایط خشکسالی در ایستگاه های هواشناسی و هیدرومتری، ارزیابی شاخص های مورد استفاده نیز انجام پذیرد.

ارتباط حجم ورودی تجمعی به مخزن در تاریخ های بحرانی با حجم ورودی تجمعی مخزن در ماه های قبل

در دوره خشک که آب رودخانه ها کاهش می‌یابد، می‌توان با برداشت از ذخایر مخازن پشت سدها نیاز آبی منطقه را تأمین کرد. اما زمان و میزان برداشت از سد، دو نکته مهم در سیاست بهره برداری از مخزن محسوب می‌شوند. چنان‌چه بتوان حجم ورودی مخزن سد در ماه‌های برداشت (دوره بحرانی) را طی یک دوره کوتاه مدت برآورد کرد، گام بزرگی در جهت بهره برداری مناسب از آن برداشته ایم. در این قسمت از رگرسیون گام به گام با در نظر گرفتن حجم ورودی تجمعی مخزن در تاریخ‌های بحرانی به عنوان متغیر وابسته (تابع) و حجم ورودی تجمعی مخزن در ماه‌های قبل به عنوان متغیر مستقل جهت تعیین متغیرهایی که بیشترین سهم را در توجیه تغییرات تابع دارند، استفاده شد. با مشخص شدن متغیرهای موثر می‌توان به ارتباط مناسبی بین حجم ورودی تجمعی مخزن در تاریخ بحرانی موردنظر با ماه های قبل از آن رسید و نسبت به بهره برداری مناسب از آب سد در آینده اقدام کرد.

1- NIZOWKA
2- Jacubowski and Radczuk
3- Threshold Method

رگرسیون خطی گام به گام

با کمک تجزیه رگرسیون گام به گام می توان اثر صفات غیرمؤثر یا کم تأثیر را در مدل رگرسیونی بر روی متغیر تابع حذف نموده و تنها صفاتی را که میزان قابل ملاحظه ای از تغییرات تابع را توجیه می کنند مورد بررسی قرار داد (آگراما[4]، ۱۹۹۶). به دلیل تأثیر متقابل در بین متغیرها ممکن است یک متغیر در کنار برخی متغیرها معنی دار و در کنار متغیرهای دیگر معنی دار نباشد. به همین جهت لازم است متغیرهای مهمی را انتخاب کنیم که تأثیر معنی دار بر روی تابع دارند. یک راه برای حذف کردن متغیرهای غیر ضروری استفاده از آزمون معنی داری است و بر اساس نتیجه آزمون‌ها، متغیرهایی که معنی دار هستند؛ در مدل باقی خواهند ماند و آنهایی که معنی دار نیستند؛ حذف می شوند.

نتایج و بحث

رابطه بین شاخص بارش استاندارد شده و شاخص خشکسالی جریان رودخانه (روش مکی)تعیین ماه‌های خشک

با توجه به میانگین ناچیز بارندگی در ماه های خشک و جواب های نادرست شاخص بارش استاندارد شده، لازم بود ماه های آبی (ماه های تر) مشخص گردد. بدین منظور از روش نمودار جعبه‌ای[5] استفاده گردید (اصغری تبریزی و همکاران[6]، ۲۰۱۱). لذا، ماه‌های نوامبر (آبان) تا می (اردیبهشت) (۷ ماه) برای چهار ایستگاه باران سنجی، دوره تر محسوب شده که در محاسبات خشکسالی لحاظ گردیدند.

در مورد جریان رودخانه، با توجه به دائمی بودن آن همه ماه‌های سال مورد استفاده قرار گرفتند. علاوه بر این با اهتمام به بحث دو رژیمی بودن جریان رودخانه، ماه‌های از سال که تنها جریان پایه در رودخانه وجود دارد، به وسیله نمودار جعبه‌ای تعیین شده و در محاسبات خشکسالی بررسی گردیدند. نتایج مربوط به این روش در شکل (۲) آورده شده است. با توجه به اینکه معمولاً بارندگی‌ها از ماه اکتبر (مهر) شروع می شوند، این ماه به عنوان ماه شروع در نظر گرفته شد.

همان‌گونه که در نمودار شکل ۲ مشاهده می شود، مقدار میانه در ماه های اکتبر (مهر)، نوامبر (آبان)، ژوئن (خرداد)، ژوئیه (تیر)، آگوست (مرداد) و سپتامبر (شهریور) کم بوده، بطوریکه می‌توان این ماه ها را به عنوان دوره ای از سال که تنها جریان پایه در رودخانه وجود دارد در نظر گرفت. بنابراین یک دوره شش‌ماهه {دسامبر(آذر) تا می (اردیبهشت)} به عنوان دوره ترسالی برای مخزن در نظر گرفته شده و SDI بر آن اعمال شد. نکته قابل توجه این است که این دوره ترسالی برای رودخانه، مشابه دوره تر در نظر گرفته شده برای بارندگی است اما با یک ماه تاخیر، که این با توجه به زمان فرصت برای تبدیل بارندگی به جریان رودخانه و رسیدن به مخزن سد قابل توجیه است.

4- Agrama
5- Boxplot
6- Asghari Tabrizi

جدول ۳- طبقه بندی دوره های تر و خشک بر اساس شاخص خشکسالی جریان رودخانه (برگرفته از نالبانتیس وتساکریس، ۲۰۰۹)

حالت	معیار سنجش	توصیف وضعیت	احتمال(در صد)
۰	SDI ≥ ۰	بدون خشکی	۵۰
۱	-۱≤ SDI < ۰	خشکی ملایم	۳۴/۱
۲	-۱/۵ SDI <-۱	خشکی متوسط	۹/۲
۳	-۲≤ SDI <-۱/۵	خشکی شدید	۴/۴
۴	SDI< -۲	بی نهایت خشک	۲/۳

شکل ۲- تعیین ماه های خشک بر اساس جریان ورودی به مخزن

رابطه شاخص بارش استاندارد شده (سالانه بارندگی) با شاخص خشکسالی جریان رودخانه (سالانه ورودی به مخزن سد)

برای مقایسه نتایج شاخص بارش استاندارد شده ایستگاه های باران سنجی با نتایج شاخص خشکسالی جریان رودخانه ورودی به مخزن سد (با توجه به یکسان نبودن تعداد ماه)، لازم شد که داده های شاخص بارش استاندارد شده سالانه (هفت ماهه بارندگی)، با شیفت زمانی ۵ ماهه نسبت به داده‌های شاخص خشکسالی جریان رودخانه که برای ۱۲ ماه سال محاسبه شده است، رسم گردد. به عنوان نمونه نتایج مربوط به مقادیر ایستگاه چمریز در مقابل نتایج مخزن سد (برای سری‌های زمانی ۳ ماهه، ۶ ماهه و ۷ ماهه (سالانه)) به ترتیب در شکل (۳) رسم شده اند. همان‌طور که مشاهده می شود نوسانات دو شاخص بطور کلی رفتار مشابه دارند، اما در چند مورد شاخص بارش استاندارد شده خشکسالی شدیدی (خشکسالی های حداکثر) را نشان می دهد که این‌گونه موارد در شاخص خشکسالی جریان رودخانه مشابه عمل نکرده که البته تفاوت موجود با توجه به دائمی بودن جریان رودخانه قابل توجیه می باشد. همچنین شاخص خشکسالی جریان رودخانه‌ای نیز در سال های ۱۳۷۹ تا ۱۳۸۳ خشکسالی‌های شدیدی را نشان داده که در همه نمودارها قابل مشاهده است. اما شاخص بارش استاندارد شده در این دوره خشکسالی نشان نمی دهد؛ از آنجا که برداشت های آب قبل از مخزن سد، کاهش جریان ورودی به مخزن سد را به همراه دارد، شاخص خشکسالی جریان رودخانه مخزن این موضوع را طی این سال ها به خوبی نشان داده است در حالیکه شاخص بارش استاندارد شده که بر اساس داده های ایستگاه های هواشناسی عمل کرده و چنین کارآیی را ندارد. در مطالعه ای ون لون و همکاران[1] مطرح کردند که اگر برداشت آب از رودخانه به‌صورت قابل ملاحظه باشد، نبایستی از شاخص‌های خشکسالی هواشناسی در مطالعات مربوط به خشکسالی‌های هیدرولوژیک استفاده نمود.

به طور کلی شدت خشکسالی‌ها با افزایش مقیاس زمانی، کاهش پیدا کرده است به طوری که در سری زمانی سه ماهه، شدت خشکسالی ها بیشتر از سری های زمانی شش ماهه و سالانه است.

برای بررسی دقیق تر ارتباط بین شاخص بارش استاندارد شده و شاخص خشکسالی جریان رودخانه از آزمون ناپارامتری ویلکاکسون-من-ویتنی-رنک-سم[2] که توسط ویلکز[3] (۲۰۰۶) ارائه گشته، (با توجه به نامساوی بودن تعداد داده ها) استفاده شد که نتایج این آزمون به طور خلاصه در جدول (۴) آورده شده است. بر اساس نتایج آزمون های ناپارامتری تفاوت معنی دار (در سطح پنج در صد) بین شاخص بارش استاندارد شده و شاخص خشکسالی جریان رودخانه مشاهده نمی شود، که به‌طور کلی تشابه رفتاری بین دو شاخص را بیان می کند. از طرفی در مقیاس های زمانی شش‌ماهه و سالانه نزدیکی و هماهنگی بیشتری دیده می شود. این موضوع را می‌توان بدین گونه توجیه کرد که با توجه به اینکه بعضی از پدیده ها مانند جریان رودخانه، سطح آب در مخازن و ... در مقیاس زمانی طولانی معمولاً چندین ماه، از آب و هوا تأثیر می پذیرند، بنابراین در مقیاس های زمانی شش ماهه و سالانه نسبت به سه ماهه انتظار هماهنگی بیشتری می رود. علاوه بر این، بیشترین نزدیکی و هماهنگی در مقیاس زمانی شش ماهه بین ایستگاه جمال بیگ و مخزن و در مقیاس های زمانی سه ماهه و سالانه بین ایستگاه دهکده سفید و مخزن مشاهده شد. اما به‌هر حال همانگونه که قبلا هم بحث شد درخشکسالی های خیلی شدید هماهنگی مناسبی بین شاخص بارش استاندارد شده و شاخص خشکسالی جریان رودخانه وجود ندارد.

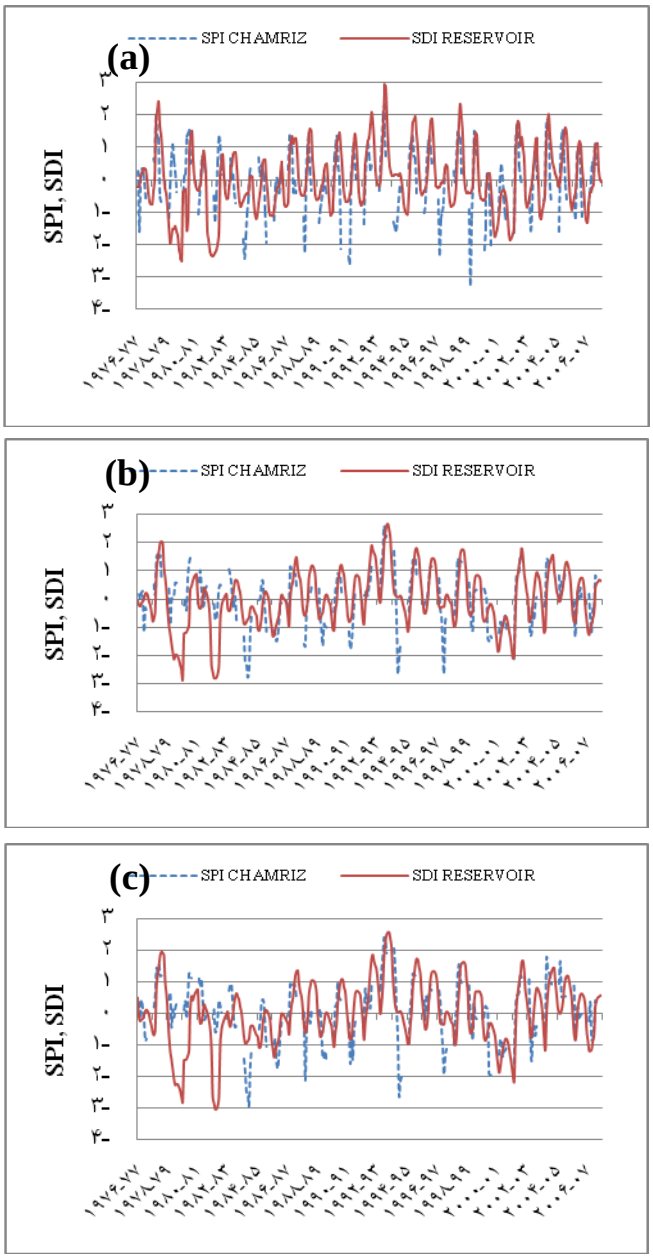
ارتباط بین بین شاخص بارش استاندارد شده (سالانه) و شاخص خشکسالی جریان رودخانه ورودی به مخزن سد (شش ماهه تر)

در اینجا نیز با توجه به یکسان نبودن تعداد ماه های مورد بررسی، در ابتدا بین شاخص خشکسالی جریان رودخانه جریان ورودی به مخزن که برای دوره شش ماهه تر لحاظ شده است با شیفت زمانی یک ماهه نسبت به بین شاخص بارش استاندارد شده محاسبه شده برای دوره هفت‌ماهه بارندگی رسم شد. نتایج مربوط

1 - Van Loon *et al.*

2 - Wilcoxon-Man-Whitney-rank-sum test
3 - Wilks

به مقادیر شاخص بارش استاندارد شده ایستگاه چمریز به عنوان نمونه در مقابل نتایج خشکسالی جریان رودخانه ورودی به مخزن (سری های زمانی سه و شش ماهه) به ترتیب در شکل (۴) رسم شده اند که با توجه به نمودارهای رسم شده، نتایج مشابه نتایج قسمت قبل بوده است. نتایج آزمون ناپارامتری ویلکاکسون–من–ویتنی–رنک–سم نیز به طور خلاصه در جدول (۵) آورده شده است. با توجه به جدول (۴) در هر دو مقیاس زمانی بین هیچ کدام از ایستگاه‌های هواشناسی با مخزن در سطح اطمینان پنج درصد اختلاف معنی دار مشاهده نمی‌شود. به علاوه بیشترین هماهنگی در هر دو مقیاس زمانی بین ایستگاه چمریز و مخزن مشاهده می‌شود که این مورد را می‌توان به علت نزدیکی جغرافیایی ایستگاه چمریز به مخزن توجیه کرد. نکته قابل توجه این است که به طور کلی اعداد Z بدست آمده در این قسمت بزرگتر از اعداد قسمت قبل است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت شاخص بارش استاندارد شده محاسبه شده، در ارتباط بیشتری با شاخص خشکسالی جریان رودخانه ورودی به مخزن (سالانه) می باشد. اما به‌هر حال در مواردی که هر شاخص شاخص بارش استاندارد شده و شاخص جریان رودخانه خشکسالی‌های شدید را نشان می دهند، الزاما هماهنگی بین آنها وجود ندارد.

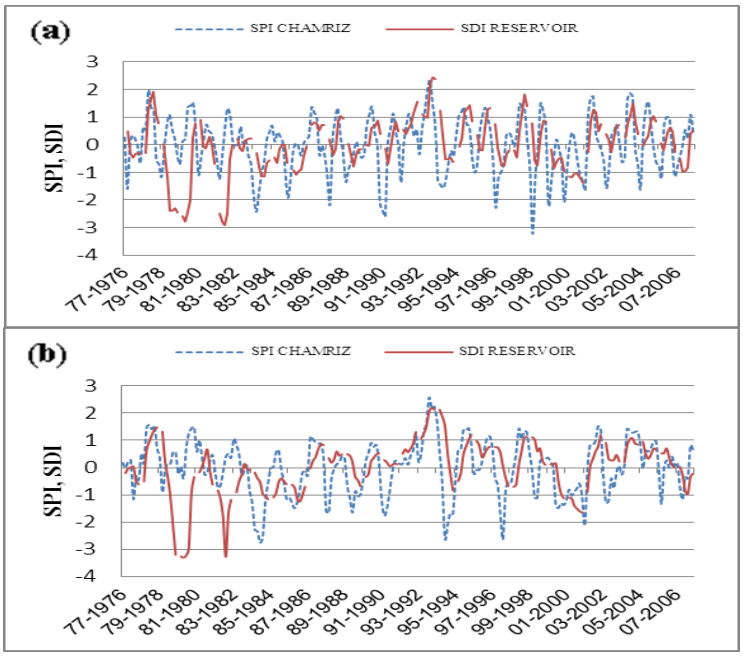


شکل ۳- مقادیر مربوط به داده های ایستگاه باران سنجی چمریز در مقابل داده های مخزن سد

برای سری های زمانی a: سه ماهه، b: شش ماهه و c: سالانه

جدول ٤- نتایج آزمون ناپارامتری جهت بررسی ارتباط SPI ایستگاه های باران سنجی با SDI مخزن در مقیاس های زمانی سه ماهه، شش ماهه و سالانه (حد بحران سطح ٥ درصد معنی داری، Z =1.96 می باشد.)

جفت ایستگاه ها	Z SPI,SDI 3MONTH	Z SPI,SDI 6MONTH	Z SPI,SDI 7MONTH
چمریز و مخزن	۰/۷۹۹	۰/۳۴۳	۰/۳۲۹
چوبخله و مخزن	۰/۶۴۲	۰/۰۵۱	۰/۰۴۷
جمال بیک و مخزن	۰/۶۹۷	۰/۰۴	۰/۰۹۱
دهکده سفید و مخزن	۰/۲۲	۰/۰۵۸	۰/۰۱۶



شکل٤-مقادیر شاخص بارش استاندارد شده ایستگاه باران سنجی چمریز در مقابل شاخص خشکسالی جریان رودخانه مخزن سد برای سری های زمانی a: سه ماهه و b: شش ماهه

جدول ٥- نتایج آزمون ناپارامتری برای بررسی ارتباط شاخص بارش استاندارد شده ایستگاه های باران سنجی با شاخص خشکسالی جریان رودخانه مخزن سد در مقیاس های زمانی سه ماهه و شش ماهه

جفت ایستگاه ها	Z SPI,SDI 3MONTH	Z SPI,SDI 6MONTH
چمریز و مخزن	۰/۱۳۲	۰/۳۰۸
چوبخله و مخزن	۰/۳۴۷	۰/۴۹۸
جمال بیک و مخزن	۰/۲۲۷	۰/۵۲۳
دهکده سفید و مخزن	۰/۶۴۹	۰/۶۲۵

ارتباط شاخص بارش استاندارد شده ایستگاه های باران سنجی با شاخص خشکسالی جریان رودخانه مخزن سد (روش نالبانتیس و تساکریس)

مقادیرشاخص بارش استاندارد شده ایستگاه های باران سنجی و شاخص خشکسالی جریان رودخانه مخزن سد برای هر سال هیدرولوژیک در دوره های زمانی سه ماهه (K=1)، شش ماهه (K=2)، ۹ ماهه (K=3) و سالانه (K=4) مدل‌سازی شد. نتایج ایستگاه بارندگی چمریز به عنوان نمونه در مقابل نتایج شاخص خشکسالی جریان رودخانه ورودی به مخزن در شکل (۵) رسم شده اند. با

مقایسه نوسانات شاخص ها، می‌توان نتیجه گرفت که رفتار نسبتا مشابه بین دو شاخص وجود دارد. قابل ذکر است که همانند نمودارهای روش مکی، تعداد خشکسالی ها و شدت آن ها در نمودارهای مربوط به شاخص بارش استاندارد شده بیشتر است، در ضمن شاخص خشکسالی جریان رودخانه نیز در دوره ۱۹۷۹ تا ۱۹۸۳خشکسالی های شدیدی را نشان داده است.

جهت بررسی دقیق تر ارتباط بین مقادیرشاخص بارش استاندارد شده ایستگاه های باران سنجی و شاخص خشکسالی جریان رودخانه، از آزمون ویلکاکسون–من–ویتنی–رنک–سم استفاده شد که نتایج این آزمون به طور خلاصه در جدول (۶) آورده شده است. همان‌گونه که دیده می شود در هر چهار دوره زمانی بین هیچ کدام از ایستگاه های هواشناسی با مخزن، در سطح پنج درصد اختلاف معنی داری مشاهده نمی شود. به علاوه بیشترین نزدیکی و هماهنگی در سه دوره زمانی سه ماهه، شش ماهه و نه ماهه بین ایستگاه چوبخله و مخزن دیده می شود و در دوره زمانی دوازده ماهه (یکساله) ایستگاه جمال بیگ بیشترین هماهنگی را با مخزن دارد. همچنین هر چهار ایستگاه در دوره زمانی سه ماهه بیشترین همبستگی را با مخزن نشان دادند.

بررسی ارتباط شاخص بارش استاندارد شده ایستگاه های باران سنجی با شاخص خشکسالی جریان رودخانه در دو روش مکی و نالبانتیس–تساکریس، نشان می‌دهد که با وجود نوسان شدید در نمودار های شاخص بارش استاندارد شده، به دلیل ناپیوسته بودن داده های بارندگی، تعداد و شدت خشکسالی ها در نمودارهای شاخص بارش استاندارد شده نسبت به نمودارهای شاخص خشکسالی جریان رودخانه افزایش می یابد، اما با توجه به رفتار مشابه شاخص‌ها در اکثر نقاط و همبستگی معنی دار بین آنها، روش خشکسالی بارش استاندارد شده برای پایش خشکسالی حوضه آبریز مناسب است. اما، چنانچه هدف از پایش خشکسالی دستیابی به مدیریت مطلوب جهت بهره برداری از آب سد در آینده باشد شاخص بارش استاندارد شده به تنهایی شاخص مناسبی برای پایش خشکسالی در سطح حوضه نیست، چرا که در شرایط خشکسالی‌های شدید رفتار شاخص ها مشابه نمی باشند، از طرفی هر ایستگاه باران‌سنجی به صورت نقطه‌ای داده ها را اندازه گیری می کند. حال آنکه جریان ورودی به مخزن سد نتیجه همه جریان های سطحی و زیرسطحی است که در مقیاس زمانی طولانی مدت (چندین ماهه) و با احتساب برداشت های آب، به مخزن سد رسیده اند، بنابراین پایش خشکسالی حوضه بر اساس حجم جریان ورودی به مخزن سد که نماینده بهتری از کل حوضه است، مناسب تر است.

بررسی ارتباط بین شاخص خشکسالی جریان رودخانه ایستگاه چمریز و شاخص خشکسالی جریان رودخانه ورودی به مخزن سد

تعیین ماه‌های خشک (روش مکی و همکاران (۱۹۳۱)

همان طور که گفته شد در مورد جریان ورودی به مخزن سد، علاوه بر اینکه شاخص خشکسالی جریان رودخانه برای هر دوازده ماه سال لحاظ شد، با اهتمام به بحث دو رژیمی بودن جریان رودخانه، برای دوره ترسالی {دسامبر (آذر) تا می (اردیبهشت)} نیز این شاخص لحاظ گردید. بنابراین در مورد ایستگاه هیدرومتری چمریز لازمست با استفاده از نمودار جعبه‌ای، ماه‌های تر مشخص گردد. نتایج مربوط به این روش در شکل (۶) آورده شده است. همان طور که مشاهده می شود می توان برای ایستگاه هیدرومتری چمریز (همانند مخزن سد) یک دوره شش ماهه (آذر تا اردیبهشت) را به عنوان دوره ترسالی در نظر گرفت که این مورد به علت نزدیکی جغرافیایی چمریز به مخزن سد قابل توجیه می باشد.

تحلیل نتایج از روش های مکی و همکاران (۱۹۹۳) و نالبانتیس و تساکریس (۲۰۰۹)

ابتدا نتایج مربوط به روش مکی و همکاران (۱۹۹۳) برای دوره‌ی سالانه (در سری های زمانی سه، شش و دوازده ماهه) و شش ماهه تر (در سری های زمانی سه و شش ماهه) مورد بررسی قرار گرفت. نمودارهای به دست آمده و همچنین نتایج آزمون ناپارامتری ویلکاکسون–من–ویتنی–رنک–سم که در جدول (۷) ارائه شده، نشان می‌دهد که در همه دوره ها و سری های زمانی بین شاخص‌های خشکسالی جریان رودخانه ایستگاه هیدرومتری چمریز و مخزن در سطح اطمینان پنج درصد اختلاف معنی دار وجود داشته و غیرهمبسته اند.

همچنین با استفاده از روش نالبانتیس و تساکریس (۲۰۰۹)، شاخص خشکسالی جریان رودخانه ایستگاه هیدرومتری چمریز همانند شاخص خشکسالی جریان رودخانه ورودی به مخزن سد برای هر سال هیدرولوژیک در دوره های زمانی سه ماهه (K=1)، شش ماهه (K=2)، نه ماهه (K=3) و دوازده ماهه (K=4) مدل‌سازی شد. در اینجا نیز نتایج نشان داد که در هر سری زمانی نمودارهای شاخص‌های خشکسالی جریان رودخانه چمریز و مخزن دقیقا رفتار مشابهی ندارند، ضمن اینکه نتایج آزمون ناپارامتری ویلکاکسون–من–ویتنی–رنک–سم نیز که در جدول (۸) آورده شده است همبستگی بسیار ضعیفی در سطح معنی داری پنج درصد نشان می دهد.

جدول ٦- نتایج آزمون ناپارامتری برای بررسی ارتباط شاخص بارندگی استاندارد شده ایستگاه‌های باران سنجی با شاخص خشکسالی جریان رودخانه مخزن سد در دوره های زمانی سه ماهه، شش ماهه، نه ماهه و دوازده ماهه

جفت ایستگاه ها	$Z_{SPI,SDI\ 3MONTH}$	$Z_{SPI,SDI\ 6MONTH}$	$Z_{SPI,SDI\ 9MONTH}$	$Z_{SPI,SDI\ 12MONTH}$
چمریز و مخزن	۰/۵۲۹	۰/۸۴۳	۰/۸۰۳	۰/۶۴۷
چوبخله و مخزن	۰	۰/۱۹۶	۰/۲۳۵	۰/۳۳۳
جمال بیک و مخزن	۰/۰۵۹	۰/۹۸	۰/۳۵۳	۰/۱۷۶
دهکده سفید و مخزن	۰/۲۱۶	۰/۳۳۳	۰/۲۹۴	۰/۲۹۴

جدول ۷- نتایج آزمون ناپارامتری برای بررسی ارتباط شاخص های خشکسالی جریان رودخاته ایستگاه هیدرومتری چمریز با ورودی مخزن در روش مکی و همکاران (۱۹۹۳)

جفت ایستگاه ها	$Z_{SDI\ 3MONTH}$	$Z_{SDI\ 6MONTH}$	$Z_{SDI\ 12MONTH}$
چمریز و مخزن (سالانه)	۷/۵۸۲	۷/۰۲۵	۵/۶۳۴
چمریز و مخزن (شش ماهه)	۴/۵۱۵	۳/۹۲۲	-

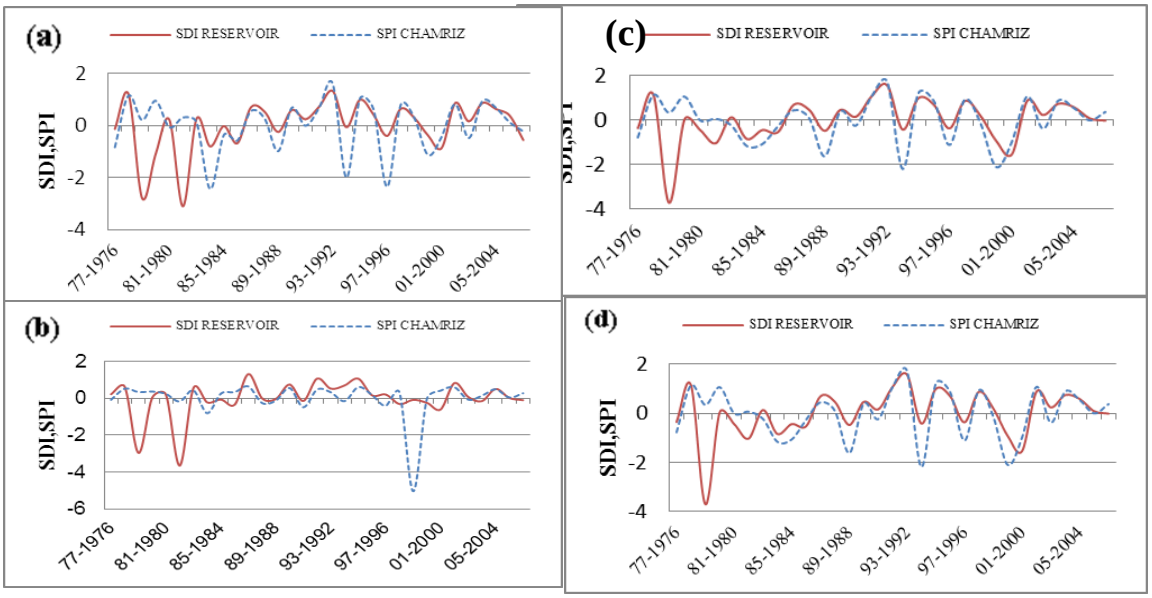
جدول ۸- نتایج آزمون ناپارامتری برای بررسی ارتباط شاخص های خشکسالی جریان رودخاته ایستگاه هیدرومتری چمریز با ورودی مخزن در روش نالبانتیس و تساکریس (۲۰۰۹)

جفت ایستگاه ها	$Z\ SDI_{3MONTH}$	$Z\ SDI_{6MONTH}$	$Z\ SDI_{7MONTH}$	$Z\ SDI_{12MONTH}$
چمریز و مخزن	۱/۳۷۲	۱/۱۵۶	۱/۵۴۸	۱/۲۷۴

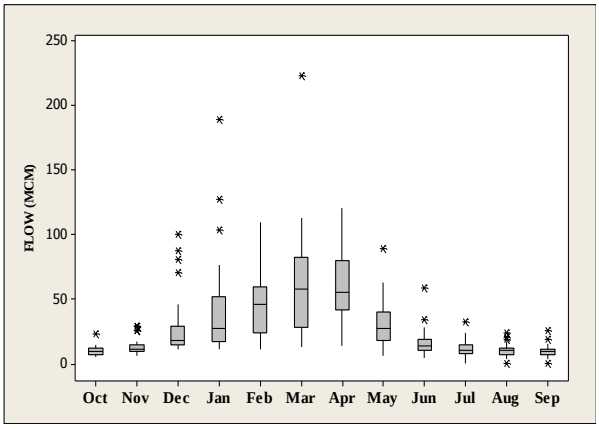
با توجه به عدم همبستگی بین ایستگاه هیدرومتری چمریز با جریان ورودی به مخزن سد در روش مکی و همکاران و همبستگی بسیار ضعیف آن دو طبق روش نالبانتیس و تساکریس (۲۰۰۹)، برای تفهیم این موضوع، سری زمانی جریان های ورودی به مخزن سد و ایستگاه هیدرومتری چمریز ترسیم گردید. نتایج نشان داد که جریان ورودی به مخزن سد چندین برابر جریان ورودی به ایستگاه هیدرومتری چمریز بوده و در برخی نقاط حتی به چهار برابر هم می رسد. با نگاهی به حوضه آبریز و موقعیت این ایستگاه می توان دید علی‌رغم اینکه ایستگاه چمریز نزدیک‌ترین ایستگاه هیدرومتری به مخزن سد می باشد، تنها بخشی از جریان‌های حوضه به این ایستگاه وارد می‌شود. در صورتی‌که موقعیت مخزن سد به‌گونه‌ای است که علاوه بر جریان های ورودی به ایستگاه چمریز، بخش دیگری از جریان‌های حوضه را نیز زهکشی می‌کند. بنابراین شاخص خشکسالی جریان رودخانه ایستگاه هیدرومتری چمریز نمی‌تواند به تنهایی شاخص مناسبی برای پایش خشکسالی در سطح حوضه باشد و اعمال این شاخص بر جریان های ورودی به مخزن مناسب تر است.

استخراج خشکسالی‌های هیدرولوژیک بر اساس جریان-های ورودی به مخزن سد با استفاده از نرم افزار نیزوکا

با توجه به مناسب نبودن ایستگاه هیدرمتری چمریز برای پایش خشکسالی، در این قسمت به استخراج خشکسالی های هیدرولوژیک و تعیین خصوصیات آن ها، تنها بر اساس مخزن سد پرداخته می شود. قابل ذکر است که یکی ازمهم ترین خصوصیات خشکسالی، مقدار حجم کمبود می‌باشد که استفاده از نرم افزار نیزوکا تعیین این پارامتر را میسر می سازد. پایش دو جنبه دارد، یکی تعیین وقوع خشکسالی که توسط شاخص ها انجام می شود و دیگری میزان خشکسالی.



شکل ۵- مقادیرشاخص بارندگی استاندارد شده ایستگاه باران سنجی چمریز در مقابل شاخص خشکسالی جریان رودخانه ورودی به مخزن سد برای دوره های زمانی a: سه ماهه، b: شش ماهه،c: نه ماهه و d: دوازده ماهه



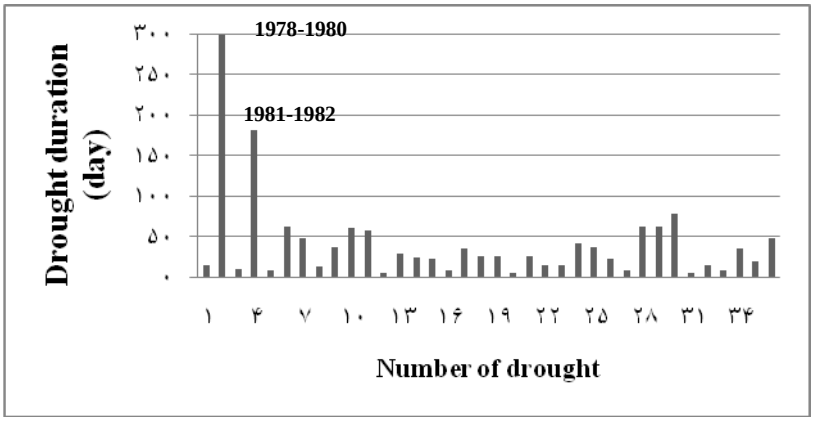
شکل ٦- تعیین ماه های خشک با استفاده از نمودارجعبه ای بر اساس جریان ورودی به ایستگاه هیدرومتری چمریز

در تحقیق حاضر، با اهتمام به بحث دو رژیمی بودن جریان رودخانه، ماه هایی از سال را که تنها جریان پایه در رودخانه وجود دارد با استفاده از نمودار جعبه‌ای تعیین و برای دوره تر و دوره خشک حد آستانه ثابت به طور جداگانه در نظر گرفته شد. ازآنجا که برای رودخانه های دائمی حد آستانه های نسبتا کم در محدوده ی Q_{70} تا Q_{90} منطقی به نظر می رسد، در این تحقیق Q_{70} به عنوان حد آستانه برای دوره تر و Q_{90} به عنوان حد آستانه برای دوره خشک برگزیده شدند که مقدار آن ها برای دوره تر و خشک به ترتیب برابر با ۲۳/۶۲۸ و ۱۰/۲ می باشد. همچنین حجم جریان ورودی به مخزن سد به صورت سری زمانی روزانه به کار برده شد، زیرا که پایه زمانی روزانه می تواند اطلاعات جامع و دقیقی را در رابطه با دبی رودخانه و به تبع آن رخداد های خشکسالی ارائه دهد. بر اساس تحلیل های حساسیت که توسط تبریزی و همکاران[1] (۲۰۱۳) برای ایستگاه های هیدرومتری چمریز و دهکده سفید انجام شده است، مشخص شده که معیارهای مناسب عبارتند از ضریب آلفا[3] = ۰۰۵/.، معیار طول دوره[4] = ۵ روز و معیار تفکیک زمانی[5] = ۳ روز. در این تحقیق نیز بر اساس این معیارها به استخراج خشکسالی های هیدرولوژیک پرداخته می شود. که بر اساس آن ها، تعداد کل وقایع خشکسالی بر اساس جریان ورودی به مخزن سد برای دوره های تر و خشک به ترتیب برابر شد با ۳۶ و ۲۹ واقعه. خصوصیات خشکسالی های هیدرولوژیک استخراج شده در طول دوره آماری ۳۱ ساله در جدول‌های (۹) و (۱۰) به ترتیب برای دوره های تر و خشک مخزن ارائه شده اند. سری زمانی مدت خشکسالی برای

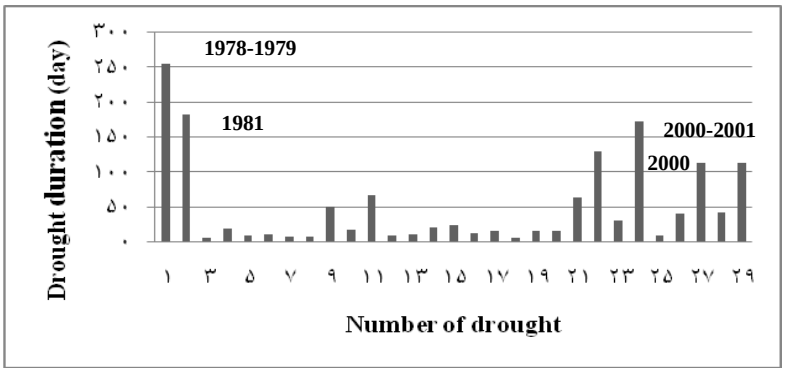
1- Asghari Tabrizi *et al.*

دوره‌های تر و خشک به ترتیب در شکل های (۷) و (۸) نشان داده شده اند. همان گونه که ملاحظه می شود در دوره تر اکثر خشکسالی ها کمتر از ۵۰ روز می باشند. به علاوه، به طور کلی با گذشت زمان مقدار حداکثر تداوم ها کاهش می یابد. در دوره خشک اکثر خشکسالی ها کمتر از ۲۵ روز می باشند و مقدار حداکثر تداوم ها (با در نظر نگرفتن دو واقعه اول)، به طور کلی افزایش می یابد.

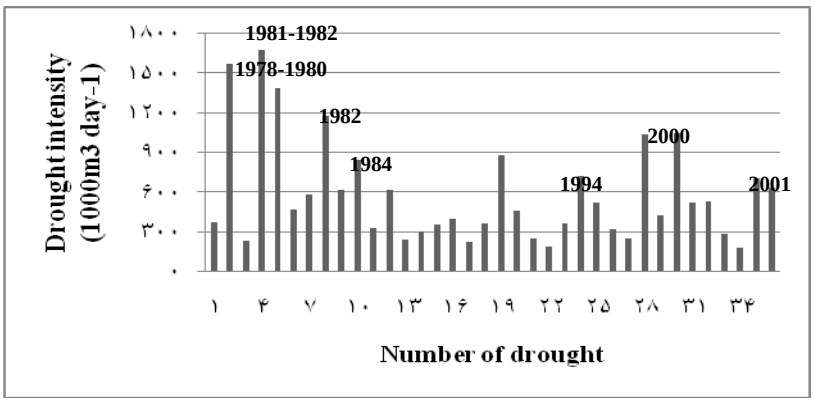
سری زمانی شدت خشکسالی نیز برای دوره های تر و خشک به ترتیب در شکل‌های (۹) و (۱۰) نشان داده شده اند. همان طور که ملاحظه می‌شود در دوره تر، اکثر خشکسالی ها دارای شدت های بزرگ تر از ۳۰۰ (۱۰۰۰ متر مکعب بر روز) می باشند. به علاوه به طور کلی با گذشت زمان مقدار حداکثر شدت خشکسالی‌ها کاهش می‌یابد. در دوره خشک اکثر خشکسالی‌ها دارای شدت های بزرگ تر از ۲۰۰ (۱۰۰۰ متر مکعب بر روز) می باشند و به طور کلی با گذشت زمان مقدار حداکثر شدت خشکسالی ها افزایش می یابد.



شکل ۷- سری زمانی مدت خشکسالی برای دوره تر مخزن



شکل ۸- سری زمانی مدت خشکسالی برای دوره خشک مخزن



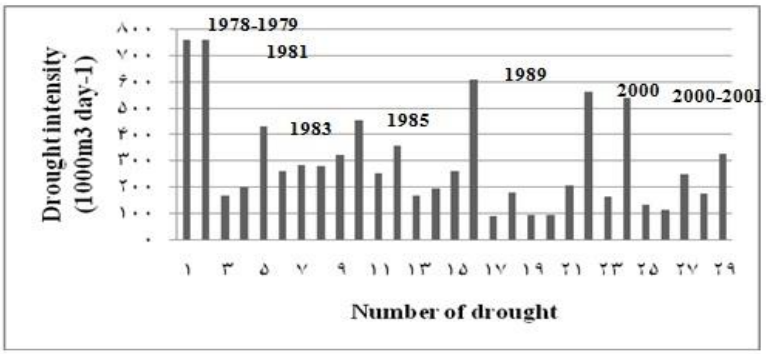
شکل۹- سری زمانی شدت خشکسالی برای دوره تر مخزن

جدول ۹- خشکسالی های هیدرولوژیک استخراج شده وخصوصیات آن ها بر اساس دوره تر در مخزن

	تاریخ شروع	تاریخ پایان	کمبود ($1000\ m^3$)	شدت خشکسالی ($1000\ m^3/day$)	دوره زمانی واقعی (روز)	حداقل رواناب (m^3/s)	میانگین رواناب (m^3/s)
۱	۱۹۷۷/۵/۱۲	۱۹۷۷/۵/۳۱	۷۵۵۹/۲۷	۳۷۷/۹۶	۱۵	۱۰/۱۲	۱۹/۵۸
۲	۱۹۷۹/۵/۳۰	۱۹۸۰/۳/۲۷	۴۷۵۵۵۵/۵	۱۵۷۴/۶۹	۳۰۰	۰/۵۵	۵/۴۵
۳	۱۹۹۰/۱۲/۱	۱۹۸۰/۱۲/۱۸	۴۳۰۴/۷۱	۲۳۹/۱۵	۱۱	۱۱/۳۵	۲۱/۲۱
۴	۱۹۸۱/۳/۲۷	۱۹۸۲/۳/۲۶	۳۰۵۳۹۴/۸	۱۶۷۷/۹۹	۱۸۲	۰/۸۶	۴/۲۱
۵	۱۹۸۲/۴/۱۸	۱۹۸۲/۴/۲۶	۱۲۴۷۳/۳۱	۱۳۸۵/۲	۹	۶/۶۶	۷/۵۹
۶	۱۹۸۳/۵/۲۶	۱۹۸۴/۲/۳	۳۳۶۹۸/۶۸	۴۷۴/۶۳	۶۴	۹/۸۷	۱۸/۸۶
۷	۱۹۸۴/۲/۷	۱۹۸۴/۳/۲۶	۲۸۶۵۸/۵۳	۵۸۴/۸۷	۴۹	۷/۳۹	۱۶/۸۶
۸	۱۹۸۴/۵/۱	۱۹۸۴/۵/۱۴	۱۶۴۵۹/۳۷	۱۱۷۵/۶۷	۱۴	۶/۶۲	۱۰/۰۲
۹	۱۹۸۴/۵/۲۱	۱۹۸۴/۱۲/۳۱	۲۶۱۳۳/۳۸	۶۲۲/۲۲	۳۸	۳/۸۴	۲۱/۵۱
۱۰	۱۹۸۵/۴/۲۲	۱۹۸۵/۱۲/۲۲	۵۲۵۱۶/۴۳	۸۴۷/۰۴	۶۱	۵/۳۸	۱۴/۰۵
۱۱	۱۹۸۶/۱/۶	۱۹۸۶/۳/۱۱	۲۱۸۶۲/۶۶	۳۳۶/۳۵	۵۸	۱۵/۳	۱۹/۹۵
۱۲	۱۹۸۶/۵/۲۶	۱۹۸۶/۱۲/۲	۴۹۴۹/۱۶	۶۱۸/۶۵	۷	۸/۹۵	۱۷/۰۶
۱۳	۱۹۸۷/۵/۳۰	۱۹۸۷/۱۲/۳۱	۸۱۵۸/۷۵	۲۴۷/۲۳	۳۰	۱۶/۶۲	۲۱/۶۸
۱۴	۱۹۸۸/۵/۲۳	۱۹۸۸/۱۲/۱۹	۸۶۴۶/۴۴	۳۰۸/۸	۲۶	۱۵/۷۵	۲۰/۱۶
۱۵	۱۹۸۹/۵/۸	۱۹۸۹/۵/۳۱	۸۶۳۶/۲	۳۵۹/۸۴	۲۴	۹/۶۳	۱۹/۴۶
۱۶	۱۹۹۰/۵/۲۳	۱۹۹۰/۱۲/۲	۴۳۸۰/۸۳	۳۹۸/۲۶	۱۰	۱۱/۰۵	۱۹/۱۳
۱۷	۱۹۹۰/۱۲/۸	۱۹۹۱/۱/۱۷	۹۳۳۵/۵۲	۲۲۷/۷	۳۷	۱۵/۳۷	۲۱/۲۵
۱۸	۱۹۹۱/۵/۱۱	۱۹۹۱/۱۲/۸	۱۰۷۵۳/۶۹	۳۷۰/۸۲	۲۷	۱۴/۲۳	۱۹/۴۴
۱۹	۱۹۹۴/۵/۴	۱۹۹۴/۵/۳۱	۲۴۷۱۱/۵۲	۸۸۲/۵۵	۲۷	۹/۱۶	۱۳/۶۴
۲۰	۱۹۹۵/۱۲/۱	۱۹۹۵/۱۲/۷	۳۲۱۲/۰۹	۴۵۸/۸۷	۷	۱۷/۱۹	۱۸/۳۲
۲۱	۱۹۹۷/۲/۲۷	۱۹۹۷/۳/۲۷	۷۳۲۸/۷۹	۲۵۲/۷۲	۲۷	۱۸/۸۹	۲۰/۸۹
۲۲	۱۹۹۷/۵/۲۰	۱۹۹۷/۱۲/۴	۳۰۸۸/۰۲	۱۹۳	۱۵	۱۵/۴۶	۲۱/۵۲
۲۳	۱۹۹۷/۱۲/۸	۱۹۹۷/۱۲/۲۴	۶۲۰۶/۸۹	۳۶۵/۱۱	۱۵	۱۵/۳۵	۱۹/۸۵
۲۴	۱۹۹۸/۱۲/۱	۱۹۹۹/۱/۱۱	۳۰۴۷۷/۸۹	۷۲۵/۶۶	۴۲	۱۴/۲۶	۱۵/۲۳
۲۵	۱۹۹۹/۵/۹	۱۹۹۹/۱۲/۱۵	۱۹۷۹۲/۹۹	۵۲۰/۸۷	۳۸	۱۴/۲۸	۱۷/۶
۲۶	۱۹۹۹/۱۲/۱۹	۲۰۰۰/۱/۱۳	۸۳۲۴/۹	۳۲۰/۱۹	۲۴	۱۸/۵۸	۲۰/۲۶
۲۷	۲۰۰۰/۳/۱۸	۲۰۰۰/۳/۲۹	۳۰۱۲/۶۳	۲۵۱/۰۵	۱۰	۱۲/۸۸	۲۰/۷۳
۲۸	۲۰۰۰/۴/۱۲	۲۰۰۰/۱۲/۱۴	۶۶۴۴۲/۷۷	۱۰۳۸/۱۷	۶۴	۰/۷۴	۱۱/۶۱
۲۹	۲۰۰۱/۱/۶	۲۰۰۱/۳/۱۵	۲۹۷۳۴/۹۵	۴۳۰/۹۴	۶۴	۱۴/۴۸	۱۸/۸۵
۳۰	۲۰۰۱/۳/۲۱	۲۰۰۱/۱۲/۱۰	۸۵۸۶۳/۲	۱۰۴۷/۱۱	۸۰	۲/۰۵	۱۱/۵۷
۳۱	۲۰۰۲/۱۲/۱	۲۰۰۲/۱۲/۷	۳۶۹۰/۵۸	۵۲۷/۲۳	۷	۱۷/۴	۱۷/۵۳
۳۲	۲۰۰۳/۵/۲۶	۲۰۰۳/۱۲/۱۰	۸۴۸۵/۹۵	۵۳۰/۳۷	۱۶	۱۳/۶	۱۷/۴۹
۳۳	۳۲۰۰/۱۲/۱۷	۲۰۰۳/۱۲/۲۶	۲۸۹۳/۵۴	۲۸۹/۳۵	۱۰	۱۹/۶۷	۲۰/۲۸
۳۴	۲۰۰۵/۵/۲۵	۲۰۰۵/۱۲/۲۹	۶۶۸۹/۳۵	۱۸۵/۸۲	۳۶	۱۸/۰۹	۲۱/۴۸
۳۵	۲۰۰۶/۵/۱۲	۲۰۰۶/۵/۳۱	۱۴۱۸۳/۷۷	۷۰۹/۱۹	۲۰	۱۰/۱۶	۱۵/۴۲
۳۶	۲۰۰۶/۱۲/۲۰	۲۰۰۷/۱۲/۹	۳۳۳۴۷/۹۸	۶۴۱/۳۱	۴۹	۱۲/۲۵	۱۶/۳

جدول ۱۰- خشکسالی های هیدرولوژیک استخراج شده وخصوصیات آن ها بر اساس دوره خشک در مخزن

	تاریخ شروع	تاریخ پایان	کمبود m^3 (1000)	شدت خشکسالی (1000 m^3/day)	دوره زمانی واقعی (روز)	حداقل رواناب (m^3/s)	میانگین رواناب (m^3/s)
۱	۱۹۷۸/۹/۲۰	۱۹۷۹/۱۱/۳۰	۱۹۴۱۱۷/۷	۷۶۱/۲۵	۲۵۵	۰/۳۹	۱/۴۵
۲	۱۹۸۱/۶/۱	۱۹۸۱/۱۱/۳۰	۱۳۸۹۷۶/۹	۷۵۹/۴۴	۱۸۳	۰/۲۳	۱/۴۷
۳	۱۹۸۲/۹/۲۶	۱۹۸۲/۱۰/۴	۱۵۱۰/۰۱	۱۶۷/۷۸	۶	۶/۲۹	۱۰/۷۸
۴	۱۹۸۳/۷/۱۷	۱۹۸۳/۸/۵	۳۹۹۵/۳۱	۱۹۹/۷۷	۲۰	۲/۶۷	۷/۹۵
۵	۱۹۸۳/۸/۲۰	۱۹۸۳/۸/۳۰	۴۷۲۱/۶۷	۴۲۹/۲۴	۱۰	۲/۳۸	۵/۵۳
۶	۱۹۸۳/۹/۱۰	۱۹۸۳/۹/۲۶	۴۴۵۳/۴۹	۲۶۱/۹۷	۱۲	۱/۹۹	۸/۰۴
۷	۱۹۸۴/۶/۲۸	۱۹۸۴/۷/۱۰	۳۶۶۲/۴۱	۲۸۱/۷۲	۹	۱/۴	۷/۷۲
۸	۱۹۸۴/۷/۱۴	۱۹۸۴/۷/۲۲	۲۵۱۸/۳	۲۷۹/۸۱	۹	۴/۱۷	۷/۰۲
۹	۱۹۸۴/۷/۲۸	۱۹۸۴/۹/۱۸	۱۷۱۷۵/۸۹	۳۲۴/۰۷	۵۱	۲/۳	۶/۶۱
۱۰	۱۹۸۵/۶/۱	۱۹۸۵/۶/۱۸	۸۱۹۷/۴۶	۴۵۵/۴۱	۱۸	۳/۴	۴/۹۹
۱۱	۱۹۸۵/۷/۶	۱۹۸۵/۹/۲۲	۱۹۸۷۷/۰۱	۲۵۱/۶۱	۶۸	۳/۷۴	۷/۵۷
۱۲	۱۹۸۵/۹/۲۷	۱۹۸۵/۱۰/۶	۳۵۵۵/۳۶	۳۵۰/۵۴	۱۰	۴/۷۳	۶/۱۵
۱۳	۱۹۸۶/۶/۲۸	۱۹۸۶/۷/۱۳	۲۶۶۳/۸	۱۶۶/۴۹	۱۱	۶/۷۷	۹/۲۲
۱۴	۱۹۸۶/۸/۱۳	۱۹۸۶/۹/۶	۴۸۸۹/۵۵	۱۹۵/۵۸	۲۲	۴/۷۳	۸/۰۶
۱۵	۱۹۸۹/۶/۱	۱۹۸۹/۷/۲	۸۳۶۷/۷۵	۲۶۱/۴۹	۲۴	۰/۹۴	۷/۵
۱۶	۱۹۸۹/۷/۶	۱۹۸۹/۷/۲۰	۹۱۲۹/۲	۶۰۸/۶۱	۱۴	–	۳/۵۱
۱۷	۱۹۸۹/۸/۶	۱۹۸۹/۸/۲۴	۱۷۰۳/۱۲	۸۹/۶۴	۱۷	۷/۶۷	۹/۲۵
۱۸	۱۹۸۹/۹/۲۷	۱۹۸۹/۱۰/۳	۱۲۴۹/۵۲	۱۷۸/۵	۷	۴/۶۲	۸/۲
۱۹	۱۹۸۹/۱۰/۱۰	۱۹۸۹/۱۰/۲۵	۱۴۹۰/۰۵	۹۳/۱۳	۱۶	۹/۱۷	۹/۱۸
۲۰	۱۹۹۴/۶/۱۶	۱۹۹۴/۷/۲	۱۵۸۹/۱۶	۹۳/۴۸	۱۷	۷/۰۳	۹/۱۸
۲۱	۱۹۹۴/۸/۱۸	۱۹۹۴/۱۰/۲۰	۱۳۱۱۴/۳۱	۲۰۴/۹۱	۶۴	۵/۲۹	۷/۸۹
۲۲	۲۰۰۰/۶/۱	۲۰۰۰/۱۰/۱	۷۳۷۵۱/۲۱	۵۶۲/۹۹	۱۳۱	۰/۱۳	۳/۷۴
۲۳	۲۰۰۰/۱۰/۱۴	۲۰۰۰/۱۱/۱۴	۵۲۲۰/۲	۱۶۳/۱۳	۳۲	۷/۱۶	۸/۳۷
۲۴	۲۰۰۰/۱۱/۱۷	۲۰۰۱/۱۱/۲۸	۹۳۶۳۳/۹۳	۵۴۱/۲۴	۱۷۳	۰/۷۲	۴
۲۵	۲۰۰۱/۱۱/۲۱	۲۰۰۱/۱۱/۳۰	۱۳۳۷/۴۷	۱۳۳/۷۵	۱۰	۸/۱۲	۸/۷۱
۲۶	۲۰۰۲/۷/۹	۲۰۰۲/۸/۲۱	۵۰۳۵/۳۱	۱۱۴/۴۴	۴۲	۸/۰۲	۸/۹۴
۲۷	۲۰۰۳/۶/۱۳	۲۰۰۳/۱۰/۳	۲۸۲۶۶/۸	۲۵۰/۱۵	۱۱۳	۵	۷/۳۷
۲۸	۲۰۰۵/۷/۱۰	۲۰۰۵/۸/۲۱	۷۵۴۴/۲۸	۱۷۵/۴۵	۴۳	۶/۵	۸/۲۳
۲۹	۲۰۰۶/۶/۱۸	۲۰۰۶/۱۰/۸	۳۶۸۳۳/۴۴	۳۲۵/۹۶	۱۱۳	۱/۹۸	۶/۴۹



شکل۱۰- سری زمانی شدت خشکسالی برای دوره خشک مخزن

جدول ۱۱- ضرائب رگرسیونی، ضریب تبیین، خطای استاندارد، تعداد دادها و سطح معنی داری با استفاده از روش گام به گام

مدل		ضرائب رگرسیونی	ضریب تبیین	خطای استاندارد	تعداد داده ها	سطح معنی داری
1	عدد ثابت	-۵۴/۰۷۰	۰/۹۴۰	۹۲/۸۵	۲۷	۰/۰۰۰
	X5	۱/۸۳۸				
	X1	۲/۶۳۶				
	X4	-۰/۷۸۴				
2	عدد ثابت	۹۰/۶۳۱	۰/۹۴۷	۹۹/۳۹	۲۷	۰/۰۰۰
	X6	۱/۱۵۶				
3	عدد ثابت	۱۱/۴۶۲	۰/۹۸۴	۶۱/۴۹	۲۷	۰/۰۰۰
	X6	۱/۱۲۶				
4	عدد ثابت	-۰/۶۴۷	۰/۹۹۸	۲۰/۳۶	۲۷	۰/۰۰۰
	X8	۱/۰۵۴				

ارتباط حجم ورودی تجمعی به مخزن سد در تاریخ های بحرانی با حجم ورودی تجمعی مخزن در ماه های قبل

از آنجا که برنامه ریزی منابع آب معمولاً از اواخر ماه اسفند به بعد صورت می گیرد، روز اول ماه های فروردین، اردیبهشت، خرداد و تیر به عنوان تاریخ های بحرانی در نظر گرفته شدند. توضیح بیشتر اینکه، مراحل پنجه زنی و رشد ریشه گیاه از اواخر ماه اسفند شروع شده و به تبع آن با افزایش دما، تبخیر و تعرق بالا رفته و نیاز آبی گیاه افزایش می یابد و با توجه به اینکه یکی از اهداف سد درودزن تأمین آب مورد نیاز کشاورزی است، بنابراین این تاریخ ها به عنوان تاریخ های بحرانی مدنظر قرار گرفتند.

در ادامه، نتایج مدل‌سازی معادلات نهایی در جدول (۱۱) آورده شده است. لازم به ذکر است که مدل‌های بدست آمده برای تاریخ اول فروردین، اول اردیبهشت، اول خرداد و اول تیر به ترتیب به عنوان مدل های یک، دو، سه و چهار معرفی شده اند. که در آن ها X_5، X_1، X_4، X_6 و X_8 به ترتیب حجم ورودی تجمعی مخزن در ماه های بهمن، مهر، دی، اسفند و اردیبهشت می باشد.

بر اساس نتایج به‌دست آمده از رگرسیون گام به گام، می توان مشاهده کرد که حجم ورودی به مخزن در تاریخ های اول اردیبهشت، اول خرداد و اول تیر به‌طور کلی تابع حجم ورودی به مخزن در یک ماه قبل از آن‌ها می‌باشد. بنابراین می توان این‌طور نتیجه گرفت که با کاهش نزولات آسمانی و نزدیک شدن به دوره خشکی، حجم ورودی به مخزن به تعادل رسیده و کمتر تحت تأثیر فصل بارندگی یا به عبارتی شاخص‌های خشکسالی که نمادی از عوامل اقلیمی هستند، می باشد، اما در مورد اول فروردین، قرار گرفتن ماه مهر در کنار ماه های بهمن و دی به عنوان متغیر موثر بر تغییرات تابع، این نکته را می رساند که اول فروردین وابسته به فصل بارندگی است که این موضوع اهمیت شاخص‌های خشکسالی و همچنین تأثیر عوامل اقلیمی بر حجم ورودی به مخزن در فصل بارندگی را نشان می دهد.

مقایسه با نتایج سایر محققین

مرور بر تحقیقات انجام شده در مسائل خشکسالی بیانگر گستردگی بسیار زیاد موضوع می‌باشد. در این رابطه بررسی خشکسالی از نقطه نظر تحلیل جریان‌های رودخانه‌ای و در چارچوب بررسی و تحلیل منابع آب موجود، همواره مورد توجه محققین بوده است. در این خصوص می‌توان به مطالعه‌ای که برای ارزیابی شاخص خشکسالی جریان رودخانه در یونان انجام شده اشاره نمود (نالبانتیس، ۲۰۰۸). در این تحقیق ضمن تایید کارآیی شاخص خشکسالی جریان رودخانه، پیشنهاد شده از این روش برای هشداری وقایع خشکسالی در منطقه مورد مطالعه، استفاده گردد. در تحقیق دیگری SDI به منظور بررسی وضعیت خشکسالی در رودخانه های شمال غرب ایران مورد استفاده قرار

گرفت (طبری و همکاران[1]، ۲۰۱۳)، که محققین ضمن تایید تجربه خشکسالی در تمامی رودخانه‌های مورد مطالعه، یک دوره دوازده ساله را به‌عنوان بحرانی‌ترین دوره خشکسالی (در طول دوره آماری موجود) معرفی نمودند. در تحقیق حاضر ازشاخص خشکسالی جریان رودخانه به‌عنوان راهکاری برای پایش خشکسالی منطقه ای با استفاده ازجریان های ورودی به مخزن سد استفاده شده است، در این راستا مشکلات استفاده از شاخص بارش استاندارد شده در مطالعات مربوط به منابع آب بررسی گردیده و همانند تحقیقات قبلی کارآیی ازشاخص خشکسالی جریان رودخانه در این‌گونه مطالعات مورد تأیید قرار گرفته است. مضافا" آنکه برای پایش خشکسالی اطلاعات پایه مانند مدت، شدت و حجم کمبود جریان برآورد گردیده و همچنین پیش بینی های کوتاه مدت برمبنای تحلیل داده ها بصورت ماهانه ارائه گردیده است.

نتیجه گیری

پس از بررسی ارتباط شاخص بارش استاندارد شده ایستگاه های باران سنجی با شاخص خشکسالی جریان رودخانه ورودی به مخزن در هر دو روش مکی و همکاران (۱۹۹۳) و نالبانتیس و تساکریس (۲۰۰۹)، می‌توان نتیجه گرفت که هر چند ناپیوسته بودن داده های بارندگی باعث نوسان شدید در نمودارهای شاخص بارش استاندارد شده، گردیده و به همین دلیل تعداد و شدت خشکسالی‌ها نسبت به نمودارهای شاخص خشکسالی جریان رودخانه افزایش می یابد، اما به‌طور کلی با توجه به رفتار مشابه دو شاخص در اکثر نقاط و وجود همبستگی معنی دار بین آنها، روش شاخص بارش استاندارد شده برای پایش خشکسالی حوضه آبریز مناسب است. اما، چنانچه هدف از پایش خشکسالی مدیریت مطلوب جهت بهره برداری از آب سد در آینده باشد، شاخص بارش استاندارد شده به تنهایی شاخص مناسبی برای پایش خشکسالی در سطح حوضه نیست، چرا که در خشکسالی های شدید رفتار شاخص ها مشابه نمی باشند، از طرفی ایستگاه باران سنجی به صورت نقطه‌ای داده ها را اندازه گیری می کند حال آنکه جریان ورودی به مخزن سد نتیجه همه جریان های سطحی و زیرسطحی است که در مقیاس زمانی طولانی مدت (چندین ماهه) و با احتساب برداشت های آب، به مخزن سد رسیده اند، بنابراین پایش خشکسالی حوضه بر اساس جریان ورودی به مخزن سد که نماینده بهتری از کل حوضه است، مناسب تر است.

همچنین شرایط خشکسالی هیدرولوژیک بر اساس جریان ورودی به مخزن سد درودزن و ایستگاه هیدرومتری چمریز نیز در قالب این شاخص ها با عنوان شاخص خشکسالی جریان رودخانه مدلسازی شد که با توجه به عدم همبستگی بین ایستگاه هیدرومتری چمریز با جریان ورودی به مخزن سد در روش مکی و همکاران (۱۹۹۳) و همبستگی ضعیف روش نالبانتیس و تساکریس (۲۰۰۹)، اطلاعات ایستگاه هیدرومتری چمریز برای پایش خشکسالی مناسب تشخیص داده نشد. با نگاهی به حوضه آبریز و موقعیت این ایستگاه می‌توان دید علی رغم اینکه ایستگاه چمریز نزدیک‌ترین ایستگاه هیدرومتری به مخزن سد می باشد، اما تنها بخشی از جریان‌های حوضه به این ایستگاه وارد می شود. در صورتی‌که موقعیت مخزن سد به‌گونه‌ای است که علاوه بر جریان‌های ورودی به ایستگاه چمریز، بخش دیگری از جریان‌های حوضه را نیز زهکشی می‌کند. بنابراین شاخص خشکسالی جریان رودخانه ایستگاه هیدرومتری چمریز به تنهایی شاخص مناسبی برای پایش خشکسالی در سطح حوضه نمی‌باشد و اعمال این شاخص بر جریان های ورودی به مخزن مناسب تر است.

با توجه به مناسب نبودن ایستگاه هیدرمتری چمریز برای پایش خشکسالی، با استفاده از نرم افزار نیزوکا به استخراج خشکسالی های هیدرولوژیک و تعیین خصوصیات آن‌ها (حجم کمبود و...)، تنها بر اساس مخزن سد پردخته شد، به‌طوری‌که برای ماه هایی از سال که تنها جریان پایه در رودخانه وجود دارد (دوره خشک) و دوره تر، حد آستانه به طور جداگانه در نظرگرفته شد. ازآنجا که برای رودخانه‌های دائمی حد آستانه‌های نسبتا کم در محدوده ی Q_{70} تا Q_{90} منطقی به نظر می‌رسد، در این تحقیق Q_{70} به عنوان حد آستانه برای دوره تر و Q_{90} به عنوان حد آستانه برای دوره خشک برگزیده شدند که مقدار آن ها برای دوره تر و خشک به ترتیب برابر با ۲۳/۶۲۸ و۱۰/۲ متر مکعب بر ثانیه می‌باشد.

در قسمت آخر از رگرسیون گام به گام با در نظر گرفتن حجم ورودی تجمعی به مخزن در تاریخ های بحرانی به عنوان متغیر وابسته (تابع) و حجم ورودی تجمعی مخزن در ماه های قبل به عنوان متغیر مستقل برای تعیین متغیرهایی که بیشترین سهم را در توجیه تغییرات تابع دارند، استفاده شد. از آنجا که برنامه ریزی منابع آب معمولاً از اواخر ماه اسفند صورت می گیرد، روز های اول فروردین، اردیبهشت، خرداد و تیر به عنوان تاریخ های بحرانی در نظر گرفته شدند. بر اساس نتایج به‌دست آمده مشاهده شد که حجم ورودی به مخزن در تاریخ‌های اول اردیبهشت، اول خرداد و اول تیر تابع حجم ورودی به مخزن در ماه قبل می باشد. بنابراین می‌توان اینطور نتیجه گرفت که با کاهش نزولات جوی و نزدیک شدن به دوره خشکی، حجم ورودی به مخزن به تعادل رسیده و کمتر تحت تأثیر فصل بارندگی یا به عبارتی شاخص‌های خشکسالی که نمادی از عوامل اقلیمی هستند می‌باشد، اما در مورد اول فروردین، قرار گرفتن ماه آبان در کنار ماه های بهمن و دی به عنوان متغیر موثر بر تغییرات تابع، این نکته را می رساند که اول فروردین وابسته به فصل بارندگی است که این موضوع اهمیت شاخص های خشکسالی و همچنین تأثیر عوامل اقلیمی بر حجم ورودی به مخزن در فصل بارندگی را نشان می‌دهد.

1 -Tabari *et al.*

منابع

۱- قهرمان، ب.، و ع. ر. سپاسخواه. ۱۳۷۹. مدیریت بهره برداری از مخازن سدها: راهکاری مناسب برای مقابله با خشکسالی. مجموعه مقالات اولین کارگاه آموزشی و تخصصی بررسی مسائل خشکسالی استان فارس، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، صفحات ۲۷-۴۲.

2- Agrama, H. A. S. 1996. Sequential path analysis of grain yield and its components in maize. Plant Breeding, 115: 343-346.

3- Annonimos. 1998. What is drought? Chapter 16: Extreme heat and drought. University of Florida, Coperative Extention Service.

4- Asghari Tabrizi, A., Khalili, D., Kamgar-Haghigh, A. A. and Zand-Parsa, Sh. 2010. Utilization of time-based meteorological droughts to investigate occurrence of streamflow droughts. Water Resources Management, 24: 4287-4306.

5- Jacubowski, W., and Radczuk, L. 2003. NIZOWKA2003 Software. Agricultural University Wroclaw, Poland.

6- Mckee, T. B. Doesken, N. J. and Kleist, J. 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scale. In: Proceeding of the 8th Conference on Applied Climatology, January 17-22, American Meteorological Society, Mass. pp. 179-184.

7- Nalbantis, I. 2008. Evaluation of a hydrological drought index. European Water, 23/24: 67-77.

8- Nalbantis, I. and Tsakiris, G. 2009. Assessment of hydrological drought revisited. Water Resources Management, 23: 881-897.

9- Richards, R. and Heims, J. R. 2002. A review of twentieth century drought indices used in the United States. Bulletin of the American Meteorological Society, 83: 1149 – 1165.

10- Soule, P. T. 1992. Spatial patterns of drought frequency and duration in the contiguous USA based on the multiple drought event definitions. International Journal of Climatology, 12: 11 – 24.

11- Tabari, H., Nikbakht, J. and Hosseinzadeh Talaee, P. 2013. Hydrological drought assessment in Northwestern Iran based on streamflow drought index (SDI). Water Resources Management, 27(1): 137-151.

12- Van loon, A., Van Lanen, H. and Teuling, A. J. 2013. Why meteorological drought indices should not be used to study hydrological anomalies. 6th International Conference on Water Resources and Environmental Research, 3-7 June, Koblenz, Germany.

13- Wilhite, D. A., and Glantz, M. H. 1985. Understanding the drought phenomenon: the role of definitions. Water International, 10(3):111-120.

14- Wilks, D. S. 2006. Statistical methods in the atmospheric siences, Academic Press, New York.

15- Yevjevich, V. 1967. An objective approach to definition and investigation of continental hydrologic droughts. Hydrology papers 23, Colorado State University, Fort Collin, USA.

16- Zelenhasic, E. and Salvai, A.. 1987. A method of streamflow drought analysis. Water Resources Research, 23(1): 156-168.