

تحلیل روند بارش و ارزیابی خشکسالی‌های هواشناسی ایران با استفاده از روش هربست

محمد عیسی زاده^{1*}، مهری کاکی²، احمد فاخری فرد³

تاریخ دریافت: 93/10/09 تاریخ پذیرش: 95/03/10

¹ دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آب دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

² دانشجوی سابق کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آب دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

³ استاد، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: mohammadisazade@gmail.com

چکیده

ارزیابی و پایش خشکسالی در سیستم منابع آب از گام‌های اساسی در تحلیل سیستم‌ها و تخصیص بهینه منابع آب جهت مصارف مختلف می‌باشند. از این رو در این تحقیق کل کشور ایران به‌عنوان منطقه مطالعاتی انتخاب شده و سعی گردید خشکسالی هم‌زمان رخ داده در کشور در دوره 1360-1389 با استفاده از داده‌های بارش ماهانه 31 ایستگاه سینوپتیک مشخص گردد. شاخص خشکسالی هربست جهت پایش خشکسالی کشور استفاده شده و شدت و مدت خشکی برای ایستگاه‌های سینوپتیک مورد مطالعه تعیین گردید. همچنین روش IDW برای درون‌یابی و پهنه‌بندی شدت‌ها و دوره‌های خشکی مورد استفاده قرار گرفت. نتایج تحقیق نشان داد که در دوره‌های 1377-1379 و 1386-1388، کل کشور با خشکسالی روبرو بوده است. مناطق شمالی و جنوبی ساحلی و همچنین مناطق مرکزی کشور نسبت به مناطق دیگر حساسیت کمتری به دوره‌های خشکی از خود نشان دادند. همچنین شرق و غرب کشور که محل ورود سامانه‌های بارش‌زا هستند، حساسیت بیشتری به کاهش بارش و در نتیجه وقوع خشکسالی دارند. مطابق با نتایج به‌دست آمده از آزمون اسپیرمن، شدیدترین روند منفی متعلق به ایستگاه‌های موجود در مرکز، جنوب شرقی و جنوب غربی کشور می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: اسپیرمن، پهنه‌بندی، خشکسالی، درون‌یابی IDW، هربست

Analysis of Rainfall Trend and Evaluation of Weather Droughts of Iran Using the Herbst Method

M Isazadeh^{*1}, M Kaki², A Fakheri Fard³

Received: 30 December 2014 Accepted: 30 May 2016

¹ M.Sc. Student, Dept. of Water Engineering, Faculty of Agric., Univ. of Tabriz, Iran

² Former M.Sc. Student, Dept. of Water Engineering, Faculty of Agric., Univ. of Tabriz, Iran

³ Prof., Dept. of Water Engineering, Faculty of Agric., Univ. of Tabriz, Iran

* Corresponding Author, Email: mohammadisazade@gmail.com

Abstract

Drought monitoring and evaluation in water resources systems, are basic steps in systems analysis as well as the optimal water resources allocation for different demands. Therefore, in this study, whole of Iran country was selected as the study area, and it was attempted to determine the simultaneous droughts which had been occurred in the period of 1981-2010, using monthly rainfall data of 31 synoptic stations. In order to perform the drought monitoring, the Herbst drought index was used and drought intensity and duration were determined for the studied synoptic stations. Additionally, the IDW method was used for interpolation and delineation of drought intensities and durations. The study results showed that in the periods of 1998- 2000 and 2007-2009, the country had faced droughts. Northern and Southern coastal regions and Central region exhibited less susceptibility to drought periods in comparison to the other regions. Also, the East and West of the country, which are the rainfall systems entrances, are more sensitive to rainfall reduction and thus, to drought. According to the results of the spearman's test, the most severity of negative trend belonged to the stations in central, South-east and South-west of the country.

Keywords: Delineation, Drought, Herbst, IDW interpolation, Spearman

مقدمه

بیش از 150 تعریف مختلف از خشکسالی که می‌توانند به طرق مختلف دسته‌بندی شوند، اشاره داشته‌اند. جدیدترین تعریف توسط تالکسن و ونلانن (2004) ارائه شده که در آن خشکسالی عبارت از یک رویداد شدید منطقه‌ای و پایدار است، که در آن شرایط دسترسی به منابع آب کمتر از متوسط طبیعی می‌باشد. علیزاده (1385) خشکسالی را به صورت وضعیتی از کمبود بارندگی و افزایش دما که ممکن است در هر وضعیت اقلیمی رخ دهد، تعریف می‌کند. خشکسالی غالباً به عنوان یک پدیده خزننده بیان شده و توصیف زمانی و مکانی

خشکسالی به عنوان یکی از موضوع‌های مهم در مطالعه بلایای طبیعی و تأثیرگذار در کشاورزی مطرح بوده و در چند دهه اخیر از دیدگاه‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. خشکسالی یک اختلال موقتی است و تقریباً در تمامی مناطق اقلیمی رخ می‌دهد. این پدیده با خشکی تفاوت دارد چرا که خشکی صرفاً محدود به مناطقی با بارندگی اندک است و حالتی دائمی از اقلیم می‌باشد. تعاریف زیادی در مورد خشکسالی ارائه شده است به طوری که ویلهیت و گالنتز (1985) به

که دارای شدت زیاد، مدت طولانی و گسترش مکانی زیادی هستند، در کلیه زمینه‌های اقتصادی، اجتماعی، زیست محیطی و ... دارای اثرات تخریبی به مراتب شدیدتری خواهند بود.

امروزه گرمایش جهانی در نتیجه افزایش گازهای گلخانه‌ای و اثر آن بر تغییر اقلیم، واقعیتی علمی است که مورد توافق محققان بسیاری قرار گرفته است. تقریباً همه فرآیندها در بیوسفر¹ تحت تأثیر تغییر اقلیم قرار گرفته و نگرانی عمده در خصوص اثر این پدیده بر محیط و منابع آب است. جهت آمادگی در برابر اثرات نامطلوب پدیده تغییر اقلیم و کاهش خسارت‌های ناشی از آن، بررسی روندها و تغییرات معمول در متغیرهای آب و هواشناسی در هر منطقه اقدامی ضروری است تا اینکه سیاست‌ها و برنامه‌های مناسبی برای توسعه و مدیریت منابع آب اتخاذ گردد.

در اقلیم شناسی، روند به عنوان تغییرات دراز مدت عناصر اقلیمی یعنی جابه‌جایی در شرایط متوسط اقلیمی اطلاق می‌شود (ماتی و همکاران 2009).

از مطالعات صورت گرفته در زمینه خشکسالی با روش‌های مختلف و بررسی روند تغییرات بارش می‌توان به تحقیقات زیر اشاره کرد.

موهان و رانگاچاریا (1991) با استفاده از روش اصلاح شده هرست و همکاران (1966)، دوره و شدت خشکی داده‌های یک ایستگاه باران‌سنجی و یک ایستگاه آب‌سنجی را در حوضه بهادرا² هندوستان بررسی کردند. نتایج حاکی از چهار دوره خشکی 6 تا 16 ماهه و با شدت‌های متفاوت در ایستگاه هواشناسی و ده دوره خشکی 4 تا 17 ماهه در ایستگاه آب‌سنجی می‌باشد. ستن‌مان (2003) با استفاده از شاخص‌های PHDI³، PDSI⁴ و SPI⁵ شدت و مدت

آن بسیار دشوار است. کمی بارش و نوسان‌های شدید آن سبب عدم اطمینان جهت دریافت کمترین بارش مورد نیاز جهت مصارف کشاورزی، تأمین جریان‌های سطحی، تغذیه آب‌های زیرزمینی و مصارف انسانی می‌گردد. تغییرات اقلیمی مانند کاهش بارندگی که به وقوع خشکسالی منجر می‌شود، بر منابع آبی تأثیر منفی گذاشته و به تبع آن، کشاورزی را تحت تأثیر قرار می‌دهد (پیرمردیان و همکاران 1387ب). خشکسالی یکی از مزمن‌ترین و از لحاظ اقتصادی زیان‌بارترین، مخاطرات طبیعی به‌شمار می‌رود (بداق جمالی و همکاران 2002). در بین بلاهای طبیعی تهدید کننده انسان و محیط زیست، خشکسالی از نظر فراوانی رخ دادن و هم از جنبه اندازه زیان‌های وارده در صدر قرار دارد (کنت 2003). بنابراین باید بین محدودیت منابع آبی و توسعه همه جانبه کشور، توازن برقرار شود که تنها راه آن مدیریت علمی بخش آب است. شناخت خشکسالی‌ها و بررسی دقیق شدت، مدت و وسعت آنها، یکی از مهم‌ترین حلقه‌ها در زنجیره مدیریت علمی منابع آب در مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌باشد.

سه خصوصیت شدت، مدت و گسترش مکانی برای خشکسالی از اهمیت بیشتری برخوردارند (پیرمردیان و همکاران 1387الف). شدت خشکی هر منطقه بستگی به میزان کاهش بارش عرف منطقه مورد نظر دارد. زمانی را که خشکی به‌طور پیوسته در یک منطقه وجود دارد با مدت خشکی معرفی می‌کنند. هرچه مدت یک خشکی طولانی‌تر باشد، اثرات تخریبی بیشتری در زمینه مدیریت جامع آب ایجاد می‌کند و در واقع عامل مدت، باعث تشدید بیشتر شدت خشکی می‌گردد. گسترش مکانی خشکسالی یا به‌عبارت دیگر بزرگی منطقه خشکی‌زده، عاملی است که خود را در مدیریت خشکی نشان می‌دهد. هرچه گسترش مکانی خشکسالی بیشتر باشد مدیریت آب در یک حوضه آبریز و یا چندین حوضه آبریز مختلف (با استفاده از انتقال بین حوضه‌ای) بسیار مشکل می‌گردد. بنابراین خشکی‌هایی

¹ Biosphere

² Bhadra

³ Palmer hydrologic drought index

⁴ Palmer drought severity index

⁵ Standardized precipitation index

بارش ماهانه 31 ایستگاه سینوپتیک مراکز استان‌های ایران، مقادیر شدت و مدت خشکی را با استفاده از روش هربست و همکاران (1966) محاسبه کرده‌اند. نتایج این تحقیق نشان داد که در دوره‌های 1998-2000 و 2007-2009 کل کشور با خشکسالی روبه‌رو بوده است و به‌ترتیب ایستگاه بیرجند با شدت خشکی 39/4 و ایستگاه ایلام با شدت خشکی 42، بیشترین شدت خشکی را در این دو دوره داشته‌اند.

خلیلی و همکاران (2014) به تحلیل روند بارش طی دوده (2010-1990) در 140 ایستگاه سینوپتیک با استفاده از دو روش مان-کندال و اسپیرمن پرداختند. بررسی‌ها نشان داد که بین نتایج دو روش تفاوت معنی‌داری وجود ندارد. نتایج روند بارش مان-کندال نشان داد که در ایستگاه کبوترآباد و اردستان در استان اصفهان هیچ روند مشخصی وجود نداشته است، ولی در ایستگاه‌های ایزه، بم و زابل روند کاهشی در دو سطح 1 و 5 درصد وجود داشته است. خلیلی و همکاران (2015) تحلیل زمانی و مکانی بارش 50 سال اخیر را با استفاده از داده‌های 34 ایستگاه سینوپتیک انجام داده‌اند. در این تحقیق شاخص تمرکز بارش⁶ PCI در مقیاس‌های سالانه و فصلی محاسبه شده و سپس با استفاده از روش مان-کندال اصلاح شده با حذف اثر همبستگی در مقیاس‌های فصلی و سالانه، روند بارش و شاخص PCI در مقیاس‌های فصلی و سالانه محاسبه شده است. نتایج روند مقیاس سالانه شاخص PCI نشان داد که در 50 درصد از ایستگاه‌های مورد بررسی روند افزایشی وجود دارد و همچنین 58 درصد از ایستگاه‌های سینوپتیک روند کاهشی بارش‌های سالانه را نشان می‌دهند. همچنین در این تحقیق بازه زمانی 50 ساله به دو بازه‌ی 25 ساله تقسیم گردیده و سپس روند هر دوره ارزیابی شده است. نتایج نشان دادند که در مقیاس زمانی سالانه، شاخص PCI در بازه دوم (2010-1987) دارای روند افزایشی بوده است. علت این

خشکسالی‌ها را در جنوب شرقی آمریکا بدست آورده و سپس به تحلیل مدت و شدت‌های خشکسالی‌های بدست آمده با استفاده از مدل چند حالتی مارکف پرداختند. نتایج حاکی از آن بود که بین شاخص‌ها تفاوت وجود داشته و آستانه‌ی شروع خشکسالی‌ها در هر یک از شاخص‌ها متفاوت هستند. کریمی و همکاران (1380) با استفاده از روش هربست و همکاران (1966)، که بعداً توسط موهان و رانگاچاریا (1991) اصلاح شده، براساس داده‌های بارش ماهانه 51 ایستگاه هواشناسی مربوط به سازمان هواشناسی کشور، نقشه‌های هم‌مدت و هم‌شدت خشکسالی را برای کل استان فارس تهیه کردند. بر اساس نتایج به‌دست آمده مناطق شمال شرقی، جنوب شرقی، جنوب و جنوب غربی استان که در مجاورت استان‌های خشک اصفهان، کرمان، هرمزگان و بوشهر واقع هستند، مناطق مستعد خشک-سالی شناخته می‌شوند.

حمیدیانپور (1384) با استفاده از شاخص SPI خصوصیات خشکسالی‌های واقع شده در دوره آماری 1352 تا 1383 دشت مشهد را مورد ارزیابی قرار داده و اثر خشکسالی بر منابع آب سطحی و زیرزمینی را مورد بررسی قرار داده‌اند. نتایج نشان داد که خشکسالی باعث تشدید افت آب‌های سطحی و زیرزمینی در این منطقه شده است. نصیری و همکاران (1388) با استفاده از شاخص بارش استاندارد شده SPI به بررسی و پایش خشکسالی در شهرستان مرودشت پرداختند و به این نتیجه رسیدند که منطقه مورد مطالعه در بیشتر سال‌ها دچار خشکسالی‌های کوتاه مدت بوده و با دیرپایی خشکسالی شدت آن در سال‌های اخیر به-مراتب بیشتر از سال‌های گذشته است. همچنین، شهرستان مرودشت پنج دوره خشکسالی را تجربه کرده که طولانی‌ترین آن پنج سال ادامه داشته و شدیدترین آن مربوط به سال آبی 86-87 می‌باشد که در کلاس خشکسالی بسیار شدید طبقه‌بندی می‌شود. عیسی‌زاده و همکاران (1393) با استفاده از داده‌های

⁶ Precipitation concentration index

مواد و روش‌ها

محدوده مطالعاتی کشور ایران است که از نظر مختصات جغرافیایی در محدوده 25 درجه و 3 دقیقه الی 39 درجه و 47 دقیقه عرض شمالی و 44 درجه و 5 دقیقه الی 63 درجه و 18 دقیقه طول شرقی واقع شده است. به منظور انجام این تحقیق، از داده‌های بارش ماهانه 31 ایستگاه سینوپتیک مراکز استان‌ها (به جز ایستگاه ساری که به دلیل دوره آماری 7 ساله، از ایستگاه بابلسر استفاده شد) در دوره آماری 1360 تا 1389 استفاده شده است. موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی و منطقه مورد مطالعه در شکل 1 نشان داده شده است.

لازم به ذکر است که در این تحقیق داده‌های هر یک از ایستگاه‌های سینوپتیک، از سال 1360 (یا زمان تأسیس ایستگاه) تا سال 1389 (که در کمترین حالت بین 21 تا 30 سال داده بارش ماهانه می‌باشند) استفاده شده است.

روش هربست

روش هربست در سال 1966 برای بررسی شدت، مدت و شاخص خشکسالی داده‌های بارش مورد استفاده قرار گرفته است. در این روش تصور بر این است که دوره‌های خشکی فصلی با شدت و مدت معین که از تغییرات میانگین ماهانه بارش ناشی می‌شود، جنبه نرمال یک ناحیه با اقلیم مشخص بوده و خشکی زیان‌آور محسوب نمی‌شود. کمبودهای متوسط طبق فرض هربست سازگار با اقلیم می‌باشند و کمبودهای متجاوز از آن طبق نظر این محقق کمبودهای زیان‌آور محسوب می‌شوند، زیرا با سازگاری اقلیم منافات دارد. اگر بارش هر ماه از سالی به سال دیگر تغییر یابد تصور بر این است که می‌توان موارد مصرف را با تغییرات متوسط سازگاری داد و تنها آن مقدار کمبود بارش ایجاد خسارت خواهد نمود که متجاوز از متوسط کمبود هر ماه باشد. به عبارت دیگر، روش هربست بر مبنای تفکیک خشکی‌های نرمال از خشکی‌های زیان‌آور استوار می‌باشد (آقایی یوسف آباد 1382).

روند افزایشی را افزایش روند بارش‌ها در این مقیاس زمانی بیان کرده‌اند.

اسمعیل‌پور و دین‌پژوه (1390) تغییرات بارش در دشت سراب را با داده‌های بارش ماهانه در دوره آماری (1355-1386)، با استفاده از آزمون مان-کندال کلاسیک و اصلاح شده مورد بررسی قرار دادند. نتایج بررسی آنها نشان داد که کاهش بارش در محدوده دشت سراب در مقیاس‌های زمانی مختلف وجود دارد. کاکی و فاخری‌فرد (1394) با استفاده از آزمون‌های ناپارامتری مان-کندال و شیب تخمین‌گر سین و آزمون پارامتری تحلیل رگرسیون به بررسی تغییرات روند بارش در حوضه رودخانه قشلاق پرداختند. برازش مدل رگرسیون خطی و مان-کندال روی سری‌های فصلی حاکی از وجود روند کاهشی در فصل‌های بهار و زمستان و روند افزایشی در فصل پاییز بوده است. در مقیاس سالانه نیز روند کاهشی در ایستگاه‌های حسین‌آباد، تازه‌آباد، بهارستان و کژی کران مشاهده گردیده است.

از آنجا که وقوع خشکسالی در هر یک ماه‌های سال از اهمیت متفاوتی برخوردار است و اینکه در واقعیت پایان یک دوره خشکی به ازای یک افزایش موقتی بارش میسر نمی‌گردد، استفاده از شاخصی که بتواند نگرش واقعی‌تری از شروع و پایان خشکسالی و همچنین شدت خشکسالی (با توجه به وزن اهمیت بارش هر ماه) ارائه دهد لازم و ضروری می‌باشد. لذا براساس اینکه روش هربست کلیه موارد فوق را بر خلاف شاخص‌های دیگر خشکسالی همچون SPI در نظر می‌گیرد، در این تحقیق از این روش استفاده گردیده است. با توجه به مطالب بیان شده هدف از این تحقیق محاسبه مدت و شدت خشکسالی‌های هواشناسی ایران با استفاده از روش هربست و تحلیل روند بارش‌ها در مقیاس ماهانه طی دوره آماری 1360-1389 با استفاده از روش اسپیرمن می‌باشد.



شکل 1- موقعیت ایستگاه‌های سینوپتیک مورد استفاده.

بارش مؤثر ماه $(i-1)$ ام از سال زام و E_{ij} بارش مؤثر ماه نام از سال زام می‌باشند.

ج- کمبود ماهانه به ترتیب زیر محاسبه می‌شود:

$$MD_{ij} = E_{ij} - M_i \quad [4]$$

E_{ij} بارش مؤثر ماه نام سال زام، MD_{ij} کمبود ماهانه بارش در ماه نام و سال زام.

کمبود ماهانه متوسط با توجه به MD های حاصل شده برای هر ماه سال به دست می‌آید. برای محاسبه MMD_i مقادیر $MD_i > 0$ که کمبود محسوب نمی‌شود، صفر در نظر گرفته شده و در محاسبات وارد می‌شوند.

$$MMD_i = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N MD_{ij} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (E_{ij} - M_i) \quad [5]$$

MMD_i کمبود ماهانه متوسط ماه نام است.

د- کمبود متوسط سالانه به صورت زیر به دست می‌آید:

$$MAD = \sum_{i=1}^{12} MMD_i \quad [6]$$

MAD کمبود متوسط سالانه (mm) می‌باشد.

و- پیرودهای خشکی طبق مراحل که در مقاله هرست (1966) ذکر شده تعیین می‌گردد و شدت نسبی خشکی،

جهت تعیین مدت و شدت خشکسالی در یک

دوره آماری با استفاده از روش هرست لازم است که پارامترهای روابط 1 تا 8 محاسبه گردند. مراحل محاسباتی آن‌ها به صورت زیر می‌باشد:

الف- ابتدا وزن تأثیر بارش هر ماه در بارش ماه بعد محاسبه می‌شود.

$$W_i = 0.1 \frac{\hat{e}_i}{\hat{e}} + \frac{M_i}{12} \frac{\hat{u}_i}{\hat{u}} \quad [1]$$

$$MAR = \sum_{i=1}^{12} M_i \quad [2]$$

که در آن MAR میانگین سالانه بارش و W_i فاکتور انتقال ماه نام می‌باشند.

ب- بارش مؤثر برای تمام ماه‌ها از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$E_{ij} = (E_{(i-1)j} - M_{(i-1)j}) W_i + R_{ij} \quad [3]$$

که در آن R_{ij} بارش ماه نام، W_i فاکتور انتقال ماه نام،

$M_{(i-1)j}$ میانگین بارش ماهانه ماه $(i-1)$ ام از سال زام،

مقایسه می‌شود. سپس با توجه به تعداد داده‌ها مقدار t استیودنت را از جدول استخراج و فرض صفر مبنی بر عدم وجود روند معنی‌دار و فرض مخالف مبنی بر وجود روند معنی‌دار بین داده‌ها بررسی گردید.

نتایج

با استفاده از فرمول‌های 1 تا 4 روش هرست، مقدار کمبود بارش ماهانه (MD) و سپس مقدار متوسط کمبود ماهانه (MMD) با توجه به فرمول 5 محاسبه شده و سپس شروع و پایان خشکسالی‌ها برای هر ایستگاه بررسی و تعیین گردید. در حالت کلی می‌توان شروع خشکی را از زمانی که مقدار MD، مقدار نسبتاً قابل توجهی از MMD کمتر باشد در نظر گرفت. لازم به ذکر است که این مقدار نسبتاً قابل توجه تفاوت MD با MMD، در هر ماه و هر یک از ایستگاه‌های سینوپتیک متفاوت می‌باشد. به علت طولانی بودن فرآیند تعیین شروع و پایان خشکسالی به روش هرست، از توضیح بیشتر آن صرف نظر شده است. نتایج مربوط به مقادیر MD، MMD، زمان شروع و پایان خشکسالی سه ایستگاه سینوپتیک اصفهان، ایلام و ارومیه در شکل 2 آورده شده است. زمان شروع خشکی ابتدای خطوط مشکی افقی و پایان خشکی نیز انتهای خطوط مشکی افقی می‌باشد که به ترتیب در شکل‌های 2-الف، 2-ب و 2-پ نشان داده شده است. با توجه به این شکل‌ها می‌توان دریافت که در ابتدای شروع خشکی، خطوط آبی رنگ (مقادیر MD) از خطوط قرمز رنگ (مقادیر MMD) بزرگتر می‌باشند. پایان خشکی نیز زمانی رخ خواهد داد که MD مثبت به مقدار قابل توجهی وجود داشته باشد. در شکل‌های زیر پایان خشکی (انتهای خطوط مشکی افقی) زمانی که مقدار MD مثبت نسبتاً بزرگی وجود داشته باشد اتفاق می‌افتد.

مدت و شاخص خشکی از طریق روابط زیر محاسبه می‌کنیم:

$$Y = \frac{\sum_{i=1}^D (E_i - M_i) - MMD_i}{\sum_{i=1}^D MMD_i} \quad [7]$$

$$I = Y \cdot D \quad [8]$$

D طول دوره خشکی (بر حسب ماه)، Y میانگین ماهانه شدت نسبی خشکی (بدون بعد) و I شاخص خشکسالی می‌باشد.

روش اسپیرمن

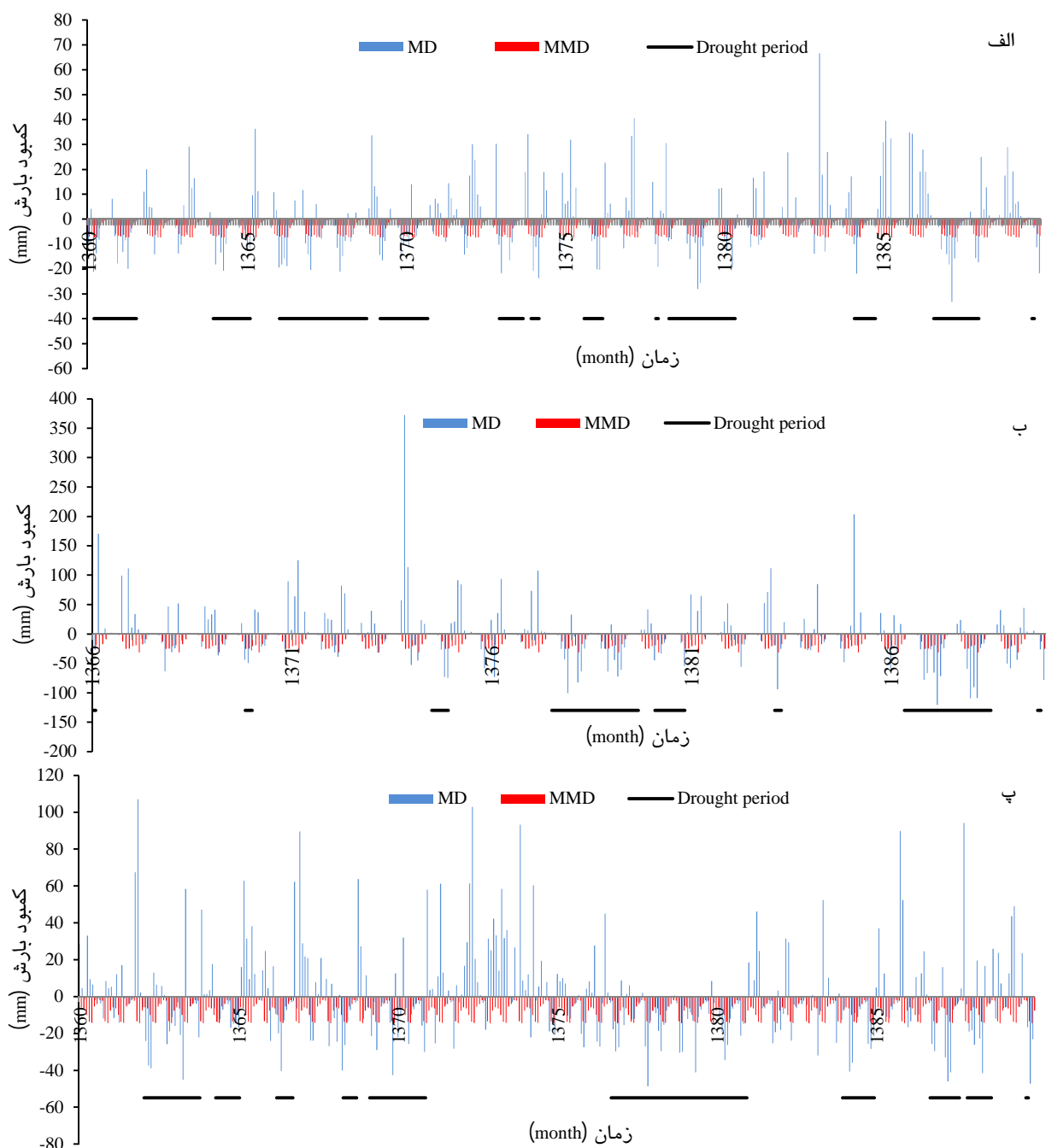
آزمون اسپیرمن یکی از متداول‌ترین روش‌های ناپارامتری تحلیل روند سری‌های هیدرولوژیکی و هواشناسی به‌شمار می‌رود. در این آزمون فرض صفر یکنواختی توزیع و مستقل بودن داده‌ها در سری زمانی است و فرض مقابل، روند افزایشی یا کاهش داده‌ها در سری زمانی است. برای انجام این آزمون ابتدا داده‌ها به ترتیب صعودی مرتب شده و به هر کدام رتبه‌ای از 1 تا n داده می‌شود. سپس داده‌ها به شکل تاریخی در نظر گرفته شده‌اند و رتبه‌های هر کدام در مقابل آنها درج شده است. این رتبه‌ها با $R(X_i)$ نشان داده شد. آنگاه مقدار آماره D برای مجموعه داده‌ها از رابطه زیر به دست می‌آید (کانل و همکاران 2008).

$$D = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n (R(X_i) - i)^2}{n(n^2 - 1)} \quad [9]$$

آماره اسپیرمن با Z_s مشخص شده و به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$Z_s = D \sqrt{\frac{n-2}{1-D^2}} \quad [10]$$

در این آزمون آماره Z_s از روابط بالا محاسبه شده و آماره آن با آماره t استیودنت جدول با درجه آزادی $(n-2)$ ، روند معنی‌داری آن را همانند آزمون مان-کنندال در سطح 90 و 95 درصد (با پذیرش 10 و 5 درصد خطا)



شکل 2- کمبود و ذخیره بارش ماهانه بر اساس روش هرست در ایستگاه‌های اصفهان (الف)، ایلام (ب) و ارومیه (پ).

دوره خشکسالی در کل دوره آماری می‌باشد و همچنین ایستگاه ایلام به‌ازای 80 ماه خشکی کم‌ترین دوره خشکسالی را به خود اختصاص داده است. خشکسالی‌هایی که در مناطق مختلف ایران روی می‌دهند در بعضی مواقع همه جای کشور را شامل می‌شوند که این یک مسئله مهم در مدیریت منابع آب، کشاورزی و اقتصاد کشور است.

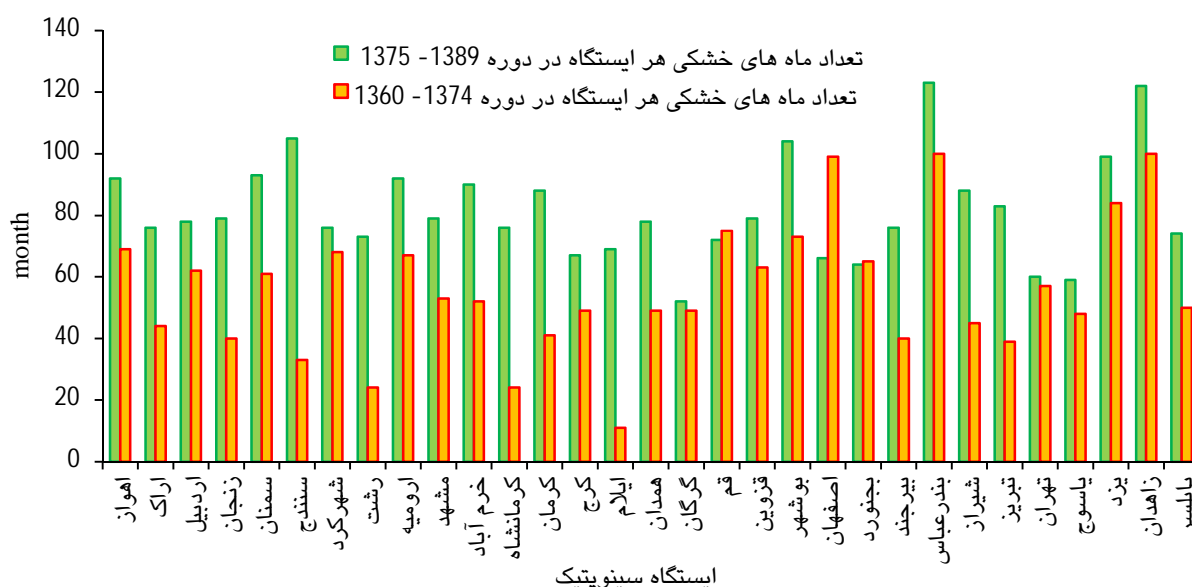
در ادامه پارامترهای مدت و شدت خشکی کلیه ایستگاه‌های سینوپتیک تعیین گردیده و همچنین بیشینه شدت خشکی که در طول دوره آماری برای هر ایستگاه رخ داده است، در جدول 1 نشان داده شده است. مقادیر کمبود، ذخیره و پریودهای خشکی برای کلیه ایستگاه‌ها مشخص گردیدند. نتایج نشان داد که ایستگاه سینوپتیک بندرعباس به‌ازای 223 ماه خشکی دارای طولانی‌ترین

جدول 1- بیشینه شدت خشکی در هر یک از ایستگاه‌های هواشناسی در کل طول دوره آماری.

ایستگاه	شدت خشکی (i)	ایستگاه	شدت خشکی (i)	ایستگاه	شدت خشکی (i)
اهواز	28/90	خرم آباد	16/58	اصفهان	18/62
اراک	17/45	کرمانشاه	24/45	بجنورد	14/42
اردبیل	17/04	کرمان	15/58	بیرجند	39/39
زنجان	17/25	کرج	23/98	بندرعباس	17/91
سمنان	14/21	ایلام	41/98	شیراز	25/77
سنندج	35/10	همدان	22/69	تبریز	13/09
شهرکرد	22/96	گرگان	20/25	تهران	20/70
رشت	8/06	قم	14/94	یاسوج	25/67
ارومیه	21/54	قزوین	21/10	یزد	22/62
مشهد	29/60	بوشهر	14/00	زاهدان	34/38
بابلسر	12/43				

جهت ارزیابی تغییرات بارش، کل دوره آماری را به دو زیر دوره 1360-1374 و 1375-1389 تقسیم گردیده و سپس تعداد ماه‌های خشکسالی و شدت خشکسالی این دو دوره برای هر ایستگاه سینوپتیک به دست آمده است. نتایج به دست آمده از این بررسی در شکل‌های 3 و 4 نمایش داده شده است. با توجه به شکل 3، تعداد ماه‌های خشکی در دوره دوم افزایش یافته است که نشان دهنده کاهش بارندگی دوره 15

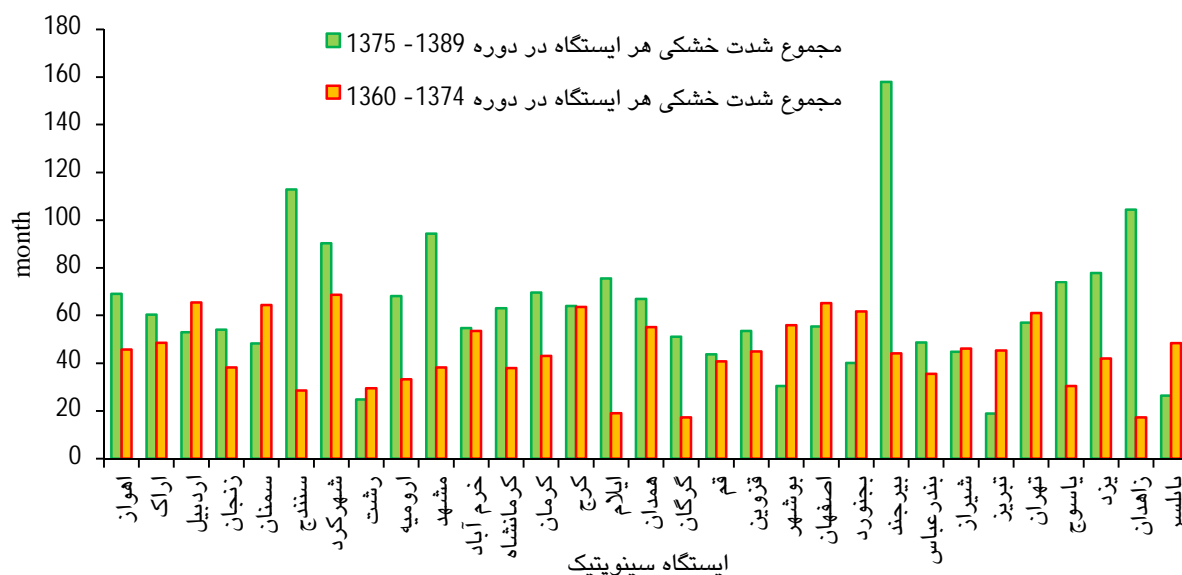
ساله دوم نسبت به دوره 15 ساله اول می‌باشد و همچنین با توجه به شکل 4 در بیشتر ایستگاه‌ها مجموع شدت خشکی دوره دوم بیشتر از دوره اول می‌باشد. با توجه به موارد ذکر شده، افزایش نسبی مدت و شدت خشکسالی‌ها در دوره 15 ساله دوم حاکی از تغییرات قابل توجه در مقدار و زمان بارش‌ها دارد که لزوم برنامه‌ریزی و مدیریت دقیق‌تر منابع آبی را متذکر می‌گردد.



شکل 3- مقایسه تعداد ماه‌های خشکی برای همه ایستگاه‌ها در دو دوره 15 ساله.

دوم نیز بطور متوسط 25/7 ماه خشکی بیشتر از دوره 15 ساله اول دارد.

با توجه به شکل 3، در 28 ایستگاه سینوپتیک تعداد ماه‌های خشکی در دوره 15 ساله دوم بیشتر از دوره 15 ساله اول می‌باشد و همچنین دوره 15 ساله



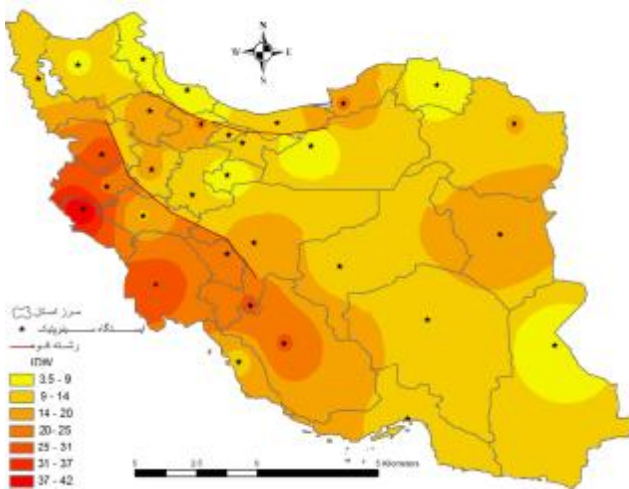
شکل 4- مقایسه شاخص شدت خشکی (I) برای همه ایستگاه‌ها در دو دوره 15 ساله.

1999 الی 2001 می‌باشد. به طوری که در استان فارس، 37 درصد از جنگل‌ها و مراتع به میزان 70 تا 100 درصد آسیب دیده و تولید علوفه به میزان 52 درصد کاهش یافته است (پیرمادیان و همکاران 1387 الف) که با نتایج این تحقیق همخوانی دارد.

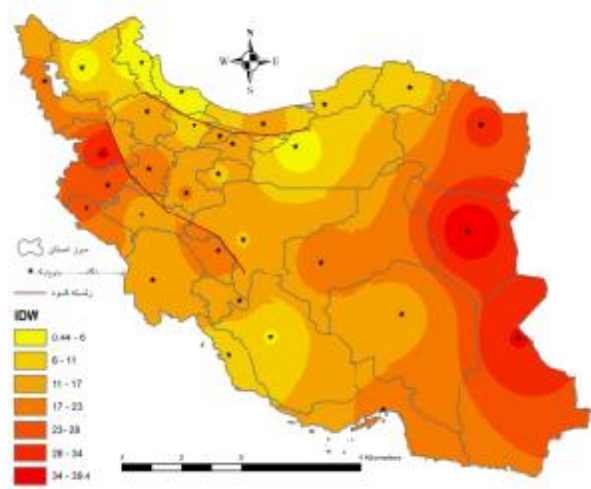
به علت وجود رشته کوه‌های البرز و زاگرس، اقلیم مناطق شمالی رشته کوه البرز با مناطق جنوبی آن و نواحی شرقی رشته کوه زاگرس با مناطق غربی آن متفاوت است، بنابراین با توجه به قابلیت تأثیر دادن این رشته کوه‌ها در روش درون‌یابی IDW، پهنه‌بندی مقادیر شدت خشکی شاخص هر بست انجام گردیده است. پهنه‌بندی شدت خشکی دو دوره ذکر شده و بیشینه شدت خشکی اتفاق افتاده در هر ایستگاه با استفاده از روش IDW انجام گردیده و مطابق شکل 5 می‌باشند.

با توجه به شکل 4 در 21 ایستگاه سینوپتیک مورد مطالعه مجموع مقدار شدت خشکی اتفاق افتاده در دوره 15 ساله دوم بیشتر از دوره 15 ساله اول می‌باشد. خشکسالی‌های رخ داده در دوره دوم شامل 58 درصد از کل خشکسالی‌های اتفاق افتاده در کل دوره 30 ساله می‌باشد. همچنین از این دو شکل می‌توان استنباط کرد که بارش کشور در بیشتر ایستگاه‌ها دارای کاهش و یا تغییر الگوی بارش می‌باشد.

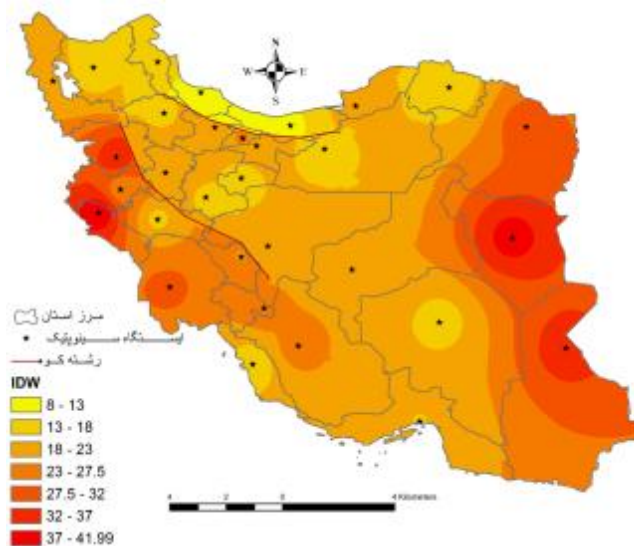
بر اساس نتایج تحقیق حاضر در طول دوره آماری مورد مطالعه، در دو دوره آماری 1377-1379 و 1386-1388 کلیه مناطق کشور با خشکسالی مواجه شده است، تحقیقات دارند (1393)، بهشتی‌راد (1393) و نسیمی و محمدی (1393) نیز مؤید خشکسالی شدید دوره اول می‌باشند. همچنین برطبق گزارش فائو، بدترین خشکسالی 40 سال گذشته مربوط به سال‌های



درون‌یابی شدت خشکی به روش IDW در دوره 1386-1388



درون‌یابی شدت خشکی به روش IDW در دوره 1377-1379

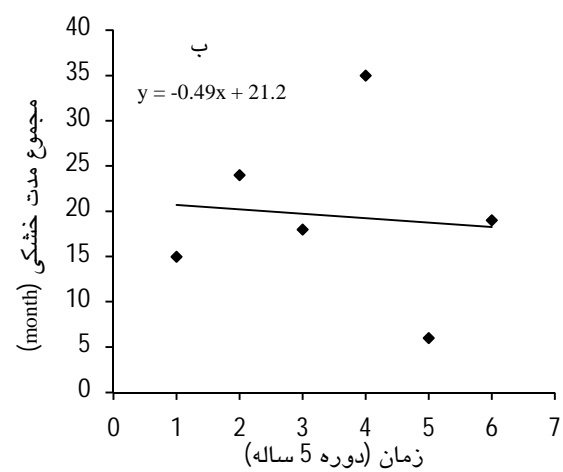
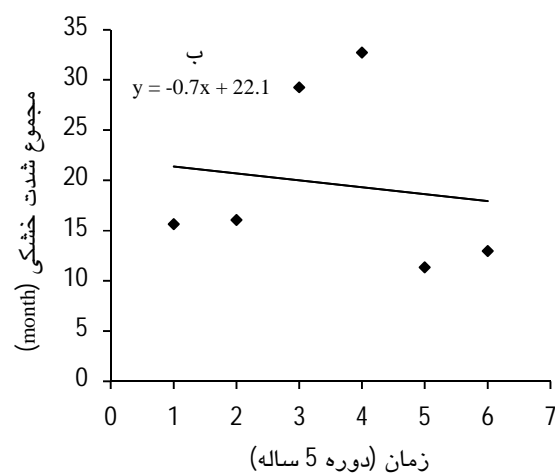
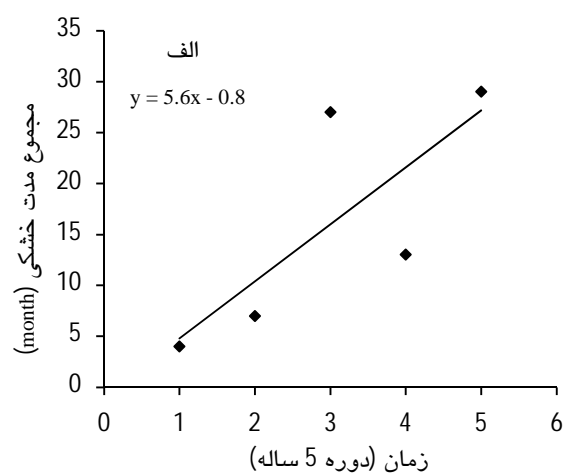
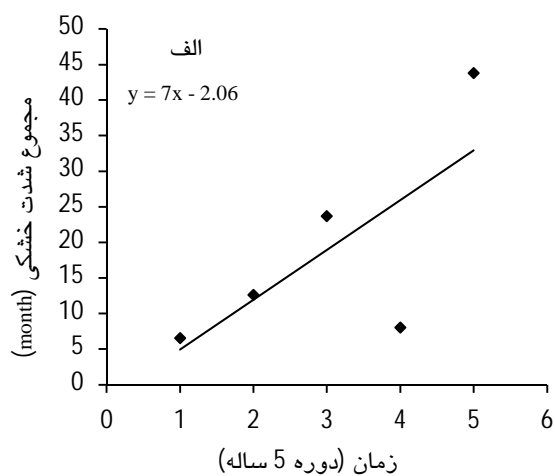


درون‌یابی بیشینه شدت خشکی به روش IDW برای کل دوره آماری

شکل 5- پهنه‌بندی شدت خشکسالی هرست کشور در دوره‌های خشکی متفاوت با روش درون‌یابی IDW.

بوده و تغییر اقلیمی رخ نداده است. شکل‌های 6 الف و 6 ب به ترتیب روند مدت و شدت خشکی را در دوره‌های 5 ساله نشان می‌دهند. البته بعضی از ایستگاه‌ها دارای شیب شدت خشکی مثبت بوده ولی شیب مدت خشکی منفی دارند و برخی دیگر از ایستگاه‌ها دارای شیب شدت خشکی منفی بوده ولی شیب مدت خشکی مثبت دارند، در واقع الزامی بر همسو بودن شیب شدت و مدت خشکی (هر دو دارای شیب مثبت یا منفی باشند) وجود ندارد. البته لازم به ذکر است که شیب مثبت شدت و مدت خشکی می‌تواند نشان‌دهنده تغییرات محسوس میزان بارش یک منطقه باشد.

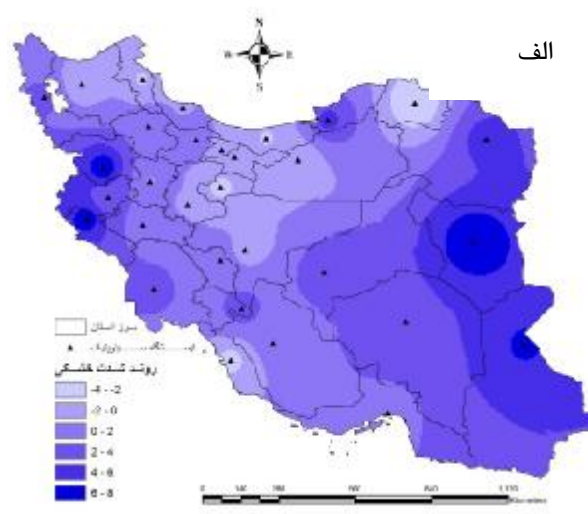
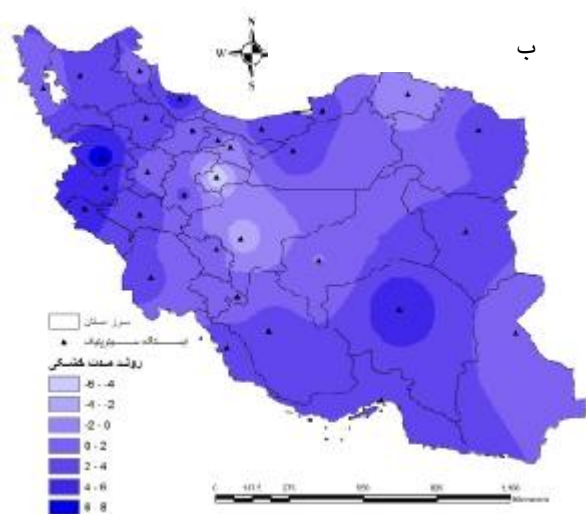
در ادامه دوره 30 ساله مورد بررسی به 6 دوره 5 ساله تقسیم گردیده و سپس تعداد ماه‌های خشکی و شدت خشکی هر یک از دوره‌های 5 ساله در 31 ایستگاه سینوپتیک به دست آمده است. هدف از این کار بررسی روند تغییرات مدت و شدت‌های خشکسالی دوره‌های 5 ساله می‌باشد. سپس شیب خط رگرسیونی شدت و مدت خشکسالی‌های مربوط به این دوره‌های 5 ساله هر یک از ایستگاه‌های سینوپتیک محاسبه شدند. نتایج نشان داد که در ایستگاه ایلام شدت و مدت خشکی دارای شیب افزایشی می‌باشد و در ایستگاه تهران شیب خط رگرسیونی شدت و مدت خشکی تقریباً بدون روند



شکل 6- خط رگرسیون شدت و مدت خشکی دو ایستگاه هواشناسی ایلام (الف) و تهران (ب).

سینوپتیک کشور با استفاده از روش IDW را نشان می-دهد.

شکل‌های 7-الف و 7-ب پهنه‌بندی مقادیر شیب خط رگرسیونی شدت و مدت خشکی هر یک از ایستگاه‌های



شکل 7- شیب خط رگرسیونی شدت خشکی (الف) و مدت خشکی (ب) ایستگاه‌های سینوپتیک ایران.

جدول 2- نتایج آزمون اسپیرمن برای داده‌های بارش ماهانه طی دوره آماری (1360-1389).

ایستگاه	شهریو ر	مرداد	تیر	خرداد	اردیبه شت	فرورد ین	اسفند	بهمن	دی	آذر	آبان	مهر
اهواز	-0/25	-	-	-8/38**	†	11/14* *	-	-	1/13	-1/33	-	-
اراک	-0/88	0/40	-0/47	-2/20*	-0/50	-1/76	-2/44*	-0/79	0/87	-0/56	-	0/43
اردبیل	-0/40	-	-0/75	-0/35	-0/22	0/35	-0/53	0/27	2/04*	-0/08	0/77	0/11
زنجان	-0/10	-	-1/23	-1/09	0/60	-1/33	-0/48	-0/60	0/30	-2/73*	-	-
سمنان	-0/03	0/48	0/53	-1/38	-	-2/42*	-	-1/81	0/50	-1/17	0/23	0/28
سنندج	-1/13	-	-0/63	-2/56*	-	†	-	-1/07	0/20	-2/61*	-	-
شهرکرد	0/31	0/43	-1/10	-1/53	-	†	-2/05*	-1/92	1/72	-0/36	0/16	0/11
رشت	0/04	0/66	-1/38	0/02	0/16	-1/11	0/38	-0/97	1/13	-0/34	-	-
ارومیه	-1/19	-	-0/88	-0/46	-1/63	-	-0/93	-1/32	0/33	-0/66	-	-
مشهد	-1/56	1/48	-2/29*	-1/69	-2/32*	-	-0/86	-0/10	1/62	-1/02	-	-
خرم آباد	-0/61	0/43	-0/08	-2/38*	-	-	-	-0/93	0/71	-2/00	-	-
کرمانشاه	-2/25*	-	-0/44	-2/25*	-	-	-2/59*	-1/46	0/15	-1/71	-	-
کرمان	-1/42	1/43	-	-3/95**	-	-	-	-	0/24	-1/89	-	-
کرج	0/36	1/21	0/98	-2/39*	0/15	-	-	0/02	0/95	0/11	-	-
ایلام	-2/51*	-	-0/45	0/52	**	-2/54*	**	0/06	0/32	-2/23*	-	-
همدان	-0/93	0/97	-0/63	-2/83**	-1/69	-	-2/01	-0/65	1/22	-1/06	-	-
گرگان	-0/42	0/60	-1/31	0/84	-0/95	-	-0/21	-0/20	0/85	0/16	-	-

1/37	-	-0/08	1/21	-0/22	-1/54	-	**	-0/64	0/70	2/07	0/48	قم
	1/77					4/13**						
-	-	-0/93	1/90	-1/11	-	-	-0/15	-1/24	-1/08	0/14	-1/21	قزوین
0/12	0/66				3/22**	-2/51*						
0/69	-	-1/65	-	-	-	-	†	-	-	-	-0/17	بوشهر
	1/02		0/08	4/83**	11/14*	3/95**		11/05**	5/57**	0/28		
1/04	0/79	-0/24	1/62	-1/04	-	-	-	-3/48**	-2/31*	0/34	1/34	اصفهان
					4/91**	9/38**	5/97**					
-	1/34	0/31	0/95	0/28	0/19	-	-1/85	-0/52	-1/91	1/49	-0/35	بجنورد
						8/30**						
0/24	-	-1/28	-	-0/44	-	-	-	-8/72**	-	-	-1/62	بیرجند
	0/47		1/62		7/09**	-1/86	4/81**	4/55**	0/92			
-	-	-0/73	1/31	0/64	0/79	-0/12	-2/10*	0/70	-0/15	1/77	0/89	بابلسر
	1/35											
1/68	-	-1/39	4/08*	†	-	†	-	-	†	-	-1/23	بندرعباس
	2/49*		*		7/46**		5/23**	11/57**		2/06*		
0/20	-	-1/22	0/66	-	-	-	-	-7/88**	-	-	-0/57	شیراز
	0/14			5/03**	5/70**	4/83**	5/41**	3/70**	0/85			
-	0/09	-0/76	0/70	-1/06	-0/91	-	-0/11	-0/73	-1/03	1/20	-0/93	تبریز
1/68						6/71**						
0/19	0/84	-0/91	1/44	-0/78	-1/77	-2/16*	-1/50	-1/95	-0/39	0/10	-1/06	تهران
0/39	-	-1/15	0/97	-1/88	-	-1/38	-2/38*	-1/51	-	1/20	-0/01	یاسوج
	1/28				4/10**			4/27**				
1/08	-	-0/39	-	-2/32*	-	-	-	-9/90**	-	-	0/54	یزد
	2/96*		0/38		2/88**	12/88*	5/43**	9/55**	1/86			
	*					*						
0/14	-	-2/26*	-	-	-	-	-	-	-	-	-2/31*	زاهدان
	0/38		2/19*	4/62**	7/98**	14/57*	8/09**	40/44**	5/48**	2/27*		
						*						
0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	تعداد ایستگاه با روند مثبت
0	3	4	2	6	13	20	14	15	10	2	3	تعداد ایستگاه با روند منفی
29	26	25	26	23	16	9	15	14	19	27	26	تعداد ایستگاه بدون روند

توجه: در این جدول روند معنی دار به صورت ستاره دار در سطح 10 و 5 درصد به ترتیب یک ستاره و دو ستاره مشخص شده اند. \dagger به منزله فقدان یا ناقص بودن داده می باشد.

با توجه به شاخص خشکسالی هرست و با استفاده از داده‌های ماهانه بارش ایستگاه‌های سینوپتیک کشور مقادیر شدت و مدت خشکسالی برای هر یک از 31 ایستگاه سینوپتیک تعیین گردید.

نتایج تحقیق حاکی از آن است که در دو دوره 1377-1379 و 1386-1388 کل کشور با خشکسالی روبرو بوده است. برای دوره اول ایستگاه بیرجند با شدت خشکی 39/4 و برای دوره دوم ایستگاه ایلام با شدت خشکی 42 بیشترین شدت خشکی را داشته‌اند و این شدت‌ها حاکی از کمبود محسوس بارش در ایستگاه‌های مذکور، نسبت به کمبودهای متداول اتفاق افتاده در کل دوره آماری آن ایستگاه می‌باشد. مناطق شمالی و جنوبی ساحلی و همچنین مناطق مرکزی کشور نسبت مناطق دیگر حساسیت کمتری به دوره‌های خشکی از خود نشان می‌دهند. البته شرق و غرب کشور که محل ورود سامانه‌های بارش‌زا هستند، حساسیت بیشتری به کاهش بارش و در نتیجه وقوع خشکسالی دارند که این موضوع با تحقیق دارند (1393) همخوانی دارد. در واقع عدم ورود این سامانه‌های بارش‌زا به داخل کشور بیشتر باعث خشکسالی در این مناطق و سپس سایر مناطق کشور می‌گردد. پس از تقسیم کل دوره آماری به دو دوره 15 ساله، مدت خشکی‌ها در دوره 15 ساله دوم به‌طور متوسط 25/7 ماه بیشتر از دوره 15 ساله اول می‌باشد که تغییرات میزان و الگوی بارش کشور ایران را در این دوره نمایان می‌سازد.

بررسی روند بارش با روش اسپیرمن نشان داد که ایستگاه‌های مرکزی و جنوب شرقی و غربی در سطح کشور دارای روند کاهشی بوده و شدیدترین روندهای کاهشی مربوط به ایستگاه‌های اصفهان، بندرعباس، کرمان، اهواز و خرم‌آباد برای فصل‌های اسفند و فروردین و اردیبهشت می‌باشند. شایان ذکر است که نتایج این تحقیق که شامل تغییرات روند مکانی و زمانی و همچنین دوره و شدت خشکسالی‌های هواشناسی در سطح کل کشور می‌باشد را می‌توان در بررسی‌های

در این مطالعه روند بارش ماهانه ایستگاه‌های سینوپتیک مورد مطالعه در سطح کشور با استفاده از آزمون ناپارامتری اسپیرمن مورد بررسی و نتایج آن در جدول 2 نشان داده شده است. نتایج نشان داد که در دوره آماری مذکور از کل 31 ایستگاه، بارش در مقیاس ماهانه در 63 درصد ایستگاه‌ها دارای روند کاهشی معنی‌دار در ماه‌هایی که سرد و انتظار بارندگی وجود دارد، مشاهده گردید. شدیدترین روند منفی متعلق به ایستگاه‌های موجود در مرکز و جنوب شرقی و جنوب غربی کشور می‌باشد. در ایستگاه‌های زاهدان، یزد و اصفهان نسبت به سایر ایستگاه‌های مورد مطالعه روند معنی‌داری در دو سطح بیشتر مشاهده گردید. ایستگاه تهران فقط در فروردین ماه دارای روند کاهشی معنی‌دار است، اما اثبات وجود روند در سری‌های زمانی دال بر وقوع تغییر اقلیم نیست، بلکه احتمال رخداد آن را تقویت می‌کند (خلیلی و بذرافشان 1383). همچنین از بین ایستگاه‌های مورد بررسی، ایستگاه اردبیل روند مثبت معنی‌دار (در سطح 10 درصد) را تجربه کرده است.

همانطور که از روش هرست و پهنه‌بندی‌ها نیز حاصل شد مقدار بارش ماهانه ایستگاه‌ها در قسمت‌های مرکزی، غربی و جنوب غربی با کاهش روبرو بوده که این مطلب هم در بررسی روند تغییرات زمانی برای ماه‌های سرد سال و بارش‌های بهاره مشهود گردیده است.

بحث

در این تحقیق مدت و شدت خشکسالی‌های رخ داده در سطح کشور در طی دوره 1360-1389 با استفاده از داده‌های بارش 31 ایستگاه سینوپتیک با استفاده از روش هرست محاسبه شد. سپس با استفاده از روش درون‌یابی IDW پهنه‌بندی شدت و مدت خشکسالی‌ها انجام گرفته است. همچنین روند بارش ماهانه ایستگاه‌ها نیز با روش اسپیرمن مورد ارزیابی قرار گرفته و نتایج زیر حاصل گردید:

آتی، جهت طراحی و برنامه‌ریزی‌های آبیاری و مدیریت منابع آب برای مناطقی که دچار خشکسالی‌های شدید شده‌اند و همچنین استفاده بهینه از منابع آبی موجود در مناطقی که هنوز دچار خشکسالی نشده‌اند، به‌کار برد.

منابع مورد استفاده

- اسمعیل‌پور م و دین‌پژوه ی، 1390. تحلیل تغییرات بارش در دشت سراب با استفاده از آزمون مان‌کنندال کلاسیک و اصلاح شده. صفحه‌های 1710 تا 1715. همایش ملی تغییر اقلیم و تأثیر آن بر کشاورزی و محیط زیست، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان غربی، ارومیه.
- آقایی یوسف‌آباد م، 1382. مطالعه و بررسی خشکسالی در آذربایجان شرقی به روش هرست. پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب، دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز.
- بهشتی‌راد م، 1393. پایش و پیش‌بینی خشکسالی در استان کرمان با استفاده از شاخص DI و پهنه‌بندی آن با روش‌های زمین آماری. فصل‌نامه برنامه‌ریزی منطقه‌ای، سال 4، شماره 16، صفحه‌های 149 تا 158.
- پیرمردیان ن، شمس‌نیا س، بوستانی ف و شاهرخ‌نیا م، 1387الف. ارزیابی دوره بازگشت خشکسالی با استفاده از شاخص استاندارد شده بارش (SPI) در استان فارس. فصل‌نامه بوم‌شناسی گیاهان زراعی، سال 4، شماره 4، صفحه‌های 7 تا 21.
- پیرمردیان ن، شمس‌نیا س و شاهرخ‌نیا م، 1387ب. پایش و تحلیل پراکندگی مکانی شدت خشکسالی سال زراعی 1380-1379 استان فارس با استفاده از شاخص معیار شده بارش (SPI) در محیط سامانه جغرافیایی (GIS). مجله مهندسی آب، سال 1، شماره 2، صفحه‌های 61 تا 70.
- حمیدیانپورم، 1384. تحلیل دوره‌های خشکسالی دشت مشهد و میزان تأثیر آن بر منابع آب. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید بهشتی تهران.
- خلیلی ع و بذرافشان ج، 1383. تحلیل روند تغییرات بارندگی‌های سالانه، فصلی و ماهانه پنج ایستگاه قدیمی ایران در یک صد و شانزده سال گذشته. بیابان، جلد 9، شماره 1، صفحه‌های 26 تا 33.
- دارند م، 1393. پایش خشکسالی ایران به‌کمک شاخص شدت خشکسالی پالمر و ارتباط آن با الگوهای پیوند از دور جوی - اقیانوسی. فصل‌نامه تحقیقات جغرافیایی، سال 29، شماره 4، صفحه‌های 67 تا 82.
- علیزاده ا، 1385. اصول هیدرولوژی کاربردی. انتشارات دانشگاه امام رضا (ع).
- عیسی زاده م، احمدزاده ح و فاخری فرد ا، 1393. پهنه‌بندی خشکسالی هواشناسی کشور با توجه به شاخص هرست با استفاده از روش‌های کریجینگ و IDW. صفحه‌های 1866 تا 1874. دومین همایش ملی بحران آب (تغییر اقلیم، آب و محیط زیست)، 18-19 شهریور ماه، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد.
- کاکلی م و فاخری فرد ا، 1394. تحلیل روند تغییرات زمانی بارش با استفاده از آزمون‌های پارامتری و ناپارامتری (مطالعه موردی: حوضه رودخانه قشلاق). فصل‌نامه بین‌المللی منابع آب و توسعه، سال 3، شماره 3، صفحه‌های 109 تا 118.
- کریمی و ا، کامکار حقیقی ع، سپاسخواه ع و خلیلی د، 1380. بررسی خشکسالی هواشناسی در استان فارس. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، جلد 5، شماره 4، صفحه‌های 1 تا 10.
- نسیمی ع و محمدی ض، 1393. ارزیابی آسیب‌پذیری استان یزد در برابر خشکسالی با استفاده از شاخص بارش معیار شده و روش‌های زمین آماری. مجله مهندسی منابع آب، سال 7، شماره 20، صفحه‌های 79 تا 90.

نصیری مع، جباری س، بوستانی ف و شمس‌نیا س، 1388. تحلیل و پایش خشکسالی با استفاده از نمایه معیار شده بارش (SPI): (مطالعه موردی شهرستان مرودشت). صفحه‌های 612 تا 622. همایش ملی مدیریت بحران آب، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مرودشت.

- Badagh Jamali J, Javanmard S and Shirmohammady R, 2002. Monitoring of drought conditions across the province classification using the Standardized Precipitation Index. *Geographical Research Quarterly* 67: 4-21.
- Herbst PH, Bredekamp DB and Barker HMG, 1966. A technique for the evaluation of drought from rainfall data. *Journal of Hydrology* 4: 264-272.
- Kannel PR, Lee S and Lee YS, 2008. Assessment of spatial-temporal patterns of surface and ground water qualities and factors influencing management strategy of groundwater system in an urban river corridor of Nepal. *Journal of Environmental Management* 86(4): 595-604.
- Keneth HF, 2003. *Climate Variation Drought and Desertification*, W. M. Annual Report. Jevnva.
- Khalili K, Nazeri Tahrudi M and Khanmohammadi N, 2014. Trend Analysis of Precipitation in Recent two Decades over Iran. *Journal of Applied Environmental and Biological Sciences* 4(1): 5-10.
- Khalili K, Nazeri Tahrudi M, Mirabbasi R and Ahmadi F, 2015. Investigation of spatial and temporal variability of precipitation in Iran over the last half Century. *Stochastic Environmental Research and Risk* 30(4): 1205-1221.
- Matti C, Pauling A, Kuttel M and Wanner H, 2009. Winter precipitation trends for two selected European regions over the last 500 years and their possible dynamical background. *Theoretical and Applied Climatology* 95: 9-26.
- Mohan S and Rangacharya NCV, 1991. A modified method for drought identification. *Journal of Hydrological Sciences* 36: 11-21.
- Stenemann A, 2003. Drought indicators & triggers: A stochastic approach to evaluation. *Journal of the American Water Resources Association* 39(5): 1217-1233.
- Tallaksen LM and Van Lanen HAJ, 2004. *Hydrological Drought: Processes and Estimation Methods for Stream flow and Groundwater*, Elsevier.
- Wilhite DA and Glantz MH, 1985. Understanding the drought phenomenon: the role of definitions. *Water International* 10:111-120.