

تحلیل فراوانی و پهنه‌بندی خشکسالیهای ایران با کاربرد نمایه شاخص استاندارد شده بارش

وحید یزدانی*^۱، حمید زارع ایبانه^۲ و مجتبی شادمانی^۳

تاریخ دریافت: ۸۹/۱۰/۵ تاریخ پذیرش: ۹۰/۱/۱۸

چکیده

در مطالعه حاضر به منظور بررسی خشکسالیها از شاخص بارش استاندارد (SPI) در دو مقیاس زمانی ۳ و ۱۲ ماهه و داده‌های بارش ۱۱۹ ایستگاه واقع در داخل کشور با طول دوره آماری مشترک ۳۲ ساله (۱۳۵۳-۱۳۸۴) استفاده گردید. نتایج نشان دادند که تعداد خشکسالیها در فواصل زمانی کوتاهتر بیش از تعداد آنها در فواصل زمانی طولانیتر نیز می‌باشند. بررسیها در دوره آماری فوق نشان دادند که خشکسالی یک ویژگی اقلیمی است که در دوره‌های زمانی خاصی به وقوع می‌پیوندد. در سالهای اخیر، تکرار خشکسالی در ایران افزایش داشته ولی از شدت آن کاسته شده است. همچنین، مشخص شد که تکرار خشکسالیها در مناطق مرکزی، جنوبی، جنوب شرقی و شرقی کشور نسبت به سایر مناطق بیشتر است. در ادامه، با پهنه‌بندی خشکسالیهای حاصل از SPI به روش کریجینگ با واریوگرامهای کروی، نمایی، گوسین و توانی مشخص شد که در مقیاس ۱۲ ماهه، واریوگرام دایره‌ای و در مقیاس ۳ ماهه واریوگرام نمایی نتایج قابل قبولی از خود نشان دادند. مقادیر جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)، دقت شبیه‌های برازش داده شده (MAE) و انحراف نتایج از مقادیر واقعی (MDE) در دوره زمانی یک ساله به ترتیب ۰/۸۵۷، ۰/۶۷۲ و ۰/۳۱ میلی‌متر و در دوره زمانی سه ماهه ۰/۹۴۱، ۰/۷۱۴ و ۰/۰۰۲ میلی‌متر بود. با توجه به نتایج پهنه‌بندی به نظر می‌رسد که بخش‌های مرکزی، جنوبی و قسمت‌هایی از شرق کشور از استعداد حساسیت بیشتری نسبت به خشکسالی‌ها در مقایسه با سایر نواحی ایران برخوردار می‌باشند. پهنه‌بندی خشکسالیها در ایران نشان داد که در مقیاس سالانه بیشترین مقدار مساحت کشور در پهنه‌ی خشکسالیها از نوع خفیف بوده است، در حالی که خشکسالیهای شدید و بسیار شدید، نمود چشمگیری نداشته‌اند. با عنایت به نتایج حاصله از پهنه‌بندی، بطور متوسط ۶۱ درصد از مساحت ایران در سالهای مورد بررسی در پهنه‌ی طبقات مختلف خشکسالی قرار داشته است.

واژه‌های کلیدی: خشکسالی هواشناسی، شاخص SPI، پهنه‌بندی، GIS، ایران.

۱- دانشجوی دکتری مهندسی آب دانشگاه فردوسی.

۲- استادیار گروه مهندسی آب دانشگاه بوعلی سینا.

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی آب دانشگاه بوعلی سینا همدان.

*-نویسنده‌ی مسوول مقاله: v.yazdany@yahoo.com

مقدمه

خشکسالی نوعی پدیده اقلیمی برگشت‌پذیر و واقعیتهای اجتناب‌ناپذیر در اقلیمهای مختلف است که در اثر کمبود بارندگی طی یک دوره زمانی بروز کرده، تحت تاثیر پدیده‌هایی چون النینو، لائینا و گازهای گلخانه‌ای در اقلیمهای خشک و نیمه‌خشک با روندی افزایشی در حال اتفاق است (انصاری، ۱۳۸۳). خشکسالی معلول عوامل فیزیکی و مکانی پرشماری است که عمدتاً می‌تواند در چارچوب گردش عمومی جو و تغییرات آب و هوایی مورد بررسی قرار گیرد. بررسیهای ویل‌هایت و گلنتز (۱۹۸۵) بیان‌کننده‌ی تلاش محققین در شناخت بهتر خشکسالی به عنوان ابزار مدیریتی از گذشته‌های دور است. اما تاثیرپذیری خشکسالی از عوامل متعدد اقلیمی، مانع از تعریف روشن و جامعی از آن شده است (یزدانی و همکاران، ۱۳۸۴). توصیف هنز و همکاران (۲۰۰۴) از خشکسالی، خشکی غیرعادی و کمبود ممتد بارش نسبت به میانگین درازمدت آن است که بسته به شدت و مدت آن می‌تواند دارای اثرات متفاوتی باشد (پالمر و هولمر، ۱۹۸۸). برای شناخت کمی خشکسالی، استفاده از شاخصهای توسعه داده شده بر مبنای بارش مدنظر محققین بوده است (زارع‌ایبانه و همکاران، ۱۳۸۳ و یزدانی و همکاران، ۱۳۸۴). مک‌کی و همکاران (۱۹۹۳) به منظور پایش خشکسالی در مقیاس زمانی کوتاه مدت ۳ و ۶ ماهه برای اهداف کشاورزی و مقیاس زمانی بلند مدت ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه برای اهداف آبشناسی شاخص بارش استاندارد (SPI) را پیشنهاد دادند. شاخص SPI از معدود شاخص‌های انعطاف‌پذیر است که در آن پیش‌بینی زمان شروع، خاتمه و شدت خشکسالی در مقیاس زمانی کوتاه و بلند مدت میسر است. هایز و همکاران (۱۹۹۸) در بررسی خشکسالی ۱۹۹۶ ایالت کلرادو آمریکا نشان دادند که شاخص SPI در تعیین زمان شروع و پیشرفت خشکسالی نتایج قابل قبولی داشته و حتی در مقیاس ماهانه عملکرد بهتری نسبت به شاخص پالمر دارد. دوسو و سومالیا (۲۰۰۷) در بررسی خشکسالیهای هواشناسی غرب آفریقا شاخص SPI را برای مقادیر بارش صفر اصلاح کردند. کنسلیر و همکاران (۲۰۰۷) خشکسالی‌های ماهانه را با

توابع انتقال احتمال، شاخص SPI و فرض نرمال بودن داده‌های بارندگی ماهانه پیش‌بینی کردند. آنها مقادیر آتی شاخص SPI را به وسیله ماتریس ضریب همبستگی که از روش تحلیلی به وسیله توابع آماری مشتق شده بود پیش‌بینی کردند، ضمن این که نتایج آنها تفاوت چندانی با مقادیر بارش اندازه‌گیری شده نداشتند. در ایران نیز محققین از شاخص فوق به تنهایی، یا در مقایسه با دیگر شاخصها بهره گرفته‌اند. مطالعات صورت گرفته غالباً به صورت نقطه‌ای و محدود به بخشهایی از ایران بوده، و در سطوح بزرگ، کمتر بررسی و پهنه‌بندی انجام شده است. در این خصوص می‌توان به مطالعات بانژاد و همکاران (۱۳۸۵) اشاره نمود. آنان از شاخص SPI در بررسی روند خشکسالیهای استان همدان استفاده کرده، نتایج را به کمک نرم‌افزار ArcView پهنه‌بندی کردند. بذرافشان (۱۳۸۱) در تحقیقی بیان کرد که به کمک شاخص SPI در مقیاسهای زمانی ۶، ۱۲ و ۲۴ ماهه، ایستگاههای متفاوت اقلیمی و سالهای آماری از نظر شدت خشکسالی با یکدیگر قابل مقایسه هستند. آشگرطوسی و علیزاده (۱۳۸۴) به کمک شاخص SPI و زنجیره مارکوف خشکسالیهای شرق ایران را پیش‌بینی و پهنه‌بندی کردند. فرارگیری ایران در نواحی خشک یا بیابانی سبب شده است که بطور طبیعی در آن، سال‌های با مقدار بارندگی کمتر از میانگین، به مراتب بیشتر از سال‌هایی با مقدار بارندگی بیش از میانگین درازمدت سالانه باشد، کمالینکه در ۱۳ سال از ۲۳ سال گذشته، کشور از بارندگی کمتر از میانگین سالانه برخوردار بوده است (خزایی، ۱۳۸۰).

در تحقیق حاضر فرض بر این است که شاخص SPI به عنوان یکی از شاخصهای مناسب در تجزیه و تحلیل خشکسالیهای گذشته است. از آنجا که ناحیه مطالعاتی به اندازه کافی گسترده است، از اطلاعات فصلی در مقایسه با اطلاعات سالانه به سبب ارتقای مدیریت خشکسالی، و نیز انتخاب روش نیز بر مبنای همین فضای زمانی استفاده شده است. از اهداف دیگر این مطالعه بررسی شدت، مدت و فراوانی خشکسالیهای ایران، و بررسی توزیع مکانی، زمانی و تعیین مناطق بحرانی ایران از دیدگاه خشکسالی هواشناسی، به منظور مدیریت بهتر منابع آب است.

مواد و روشها

ایران به عنوان منطقه مطالعاتی کشوری است که خشکسالی و تکرار آن با شدت‌های مختلف سبب زیانهای متفاوتی بر بخشهای اجتماعی، اقتصادی و سیاسی شده است. در این تحقیق از فراسنج بارش ماهانه‌ی ۱۱۹ ایستگاه هواشناسی در محدوده داخلی ایران با طول دوره آماری مشترک ۳۲ سال (۱۳۵۳-۱۳۸۴) و لحاظ

معیارهایی چون وجود آمار طولانی مدت، نواقص کم آماری، استاندارد بودن ایستگاه‌های هواشناسی و پراکنش مکانی مناسب استفاده شد. در مطالعه حاضر به منظور بررسی خشکسالیها از شاخص بارش استاندارد (SPI) در دوره‌های زمانی ۳ و ۱۲ ماهه استفاده گردیده است. شکل ۱ پراکنش ایستگاههای مورد مطالعه را در محدوده داخلی ایران نشان می‌دهد.



شکل ۱- پراکنش ایستگاه‌های مورد مطالعه در سطح کشور

ضریب تصحیح نرمال به کمک آماره شاپیرو- ویلک و نمودار احتمال تعریف شده در نرم‌افزار SPSS به طریق تکرار معادل ۰/۱ انتخاب شد (ماترون، ۱۹۶۳)، که با اجرای این مرحله داده‌های پرت نیز با مقادیر مناسب جایگزین شدند. مانایی داده‌ها نیز از طریق آزمون ناپارامتری ران^۲ در محیط SPSS انجام شد.

برای تعیین خشکسالی با فرض مقادیر بارش به عنوان نمونه‌ی آماری و برازش تابع تجمعی گاما بر آنها شاخص SPI محاسبه شد. محاسبات فوق بطور جداگانه برای هر ایستگاه در زمانهای ۳ و ۱۲ ماه انجام، و برای ۴ ایستگاه از اقلیمهای شاخص ایران نشان داده شد. ایستگاههای مدنظر از نظر مکانی در شمال شرق (مشهد)، شمال غرب (تبریز)،

در تحلیل داده‌های فضایی نظیر بارش، بایستی مفروضات بنیادین مانند نرمال بودن، وجود داده‌های پرت یا ناهمخوان و مانایی در میانگین (ثابت بودن میانگین) مورد بررسی قرار گیرد. نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگروف-اسمیرونوف^۱ انجام گردید. در معدود ایستگاههای با داده‌های بارش غیرنرمال از تبدیل باکس کاکس مطابق رابطه ۱ استفاده شد (مادان اسکي، ۱۹۸۸).

(۱)

$$Y = [(x^\lambda) - 1] / \lambda \quad x > 0$$

که در آن x مقادیر بارشهای مشاهداتی و λ ضریب تصحیح نرمال داده‌ها است.

²- Run test

¹- Kolmogorov-Smirnov

جدول ۱- طبقات مختلف شدت خشکسالی بر اساس شاخص SPI (هایس، ۲۰۰۱)

مقادیر SPI	طبقات خشکسالی
$SPI \geq 2$	ترسالی خیلی شدید
$1/5 \leq SPI < 2$	ترسالی شدید
$1 \leq SPI < 1/5$	ترسالی متوسط
$0 \leq SPI < 1$	ترسالی خفیف
$-1 \leq SPI < 0$	خشکسالی خفیف
$-1/5 \leq SPI < -1$	خشکسالی متوسط
$-2 \leq SPI < -1/5$	خشکسالی شدید
$SPI \leq -2$	خشکسالی بسیار شدید

اصولا چنین خصوصیات محیطی را تغییر ناحیه‌ای^۲ می‌نامند که پایه و اساس نظریه زمین آمار است (ماترون، ۱۹۶۳)، بنابراین از مجموعه ابزارهای ارائه شده در این فرضیه، می‌توان به منظور تهیه نقشه پراکنش جغرافیایی یک متغیر محیطی بهره جست.

در روشهای زمین‌آماری، همواره توزیع فضایی SPI، با فرض پیوستگی و همبستگی مکانی آن در بین ایستگاهها تا فاصله معینی در قالب واریوگرام قابل تخمین است. بدین منظور به کمک نرم‌افزار ARCGIS Ver 9.2 با پلیگون‌بندی تمامی سطح مورد مطالعه از روش تیسن مساحت تحت پوشش هر ایستگاه تعیین گردید. پس از آن با وزندهی مناسب به نقاط اطراف هر ایستگاه با توجه به اندازه تاثیرپذیری مکانی نقاط، واریوگرام هر ایستگاه تعیین می‌گردد. هر واریوگرام شامل فاصله نقاط اطراف هر ایستگاه در محور افقی و مقادیر SPI های محاسباتی در محور عمودی است. انجام این مرحله از کار به وسیله کد توسعه یافته کریجینگ در نرم‌افزار ARCGIS Ver 9.2 از طریق شبیه‌های کروی، نمایی، گوسین و توانی میسر شد. بنابراین چهار شبیه واریوگرام قابل تعریف است که با ارزیابی عملکرد از روش اعتبارسنجی متقاطع^۳ شبیه مناسب برای پهنه‌بندی انتخاب می‌گردد. برای این کار، با حذف مقادیر SPI محاسبه شده‌ی هر یک از ایستگاهها اقدام به برآورد آن از نقشه‌های پهنه‌بندی و مقایسه آن با مقادیر محاسباتی گردید. در نهایت برای پیشنهاد شبیه

جنوب غرب (بوشهر) و جنوب شرق (زاهدان) ایران واقعند. در محاسبه مقادیر SPI برای هر یک از داده‌ها ابتدا احتمال نقطه‌ای داده‌ها محاسبه، و پس از آن انحراف بارندگی در یک تابع چگالی احتمال استاندارد با میانگین صفر و انحراف معیار واحد به دست آمد. در نهایت، با محاسبه‌ی تابع احتمال تجمعی داده‌ها از رابطه ۲ و اعمال آن در رابطه ۳ در کد رایانه ای توسعه یافته به زبان ویژال بیسیک^۱ مقدار عددی به عنوان SPI حاصل شد.

$$H(x) = q + (1-q)G(x) \quad (2)$$

$$(3)$$

$$SPI =$$

$$\pm \left[t - \frac{C_0 + C_1 t + C_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right] \begin{cases} \text{if: } +, 0.5 < H(x) < 1 & t = \sqrt{\ln \left(\frac{1}{(1-H(x))^2} \right)} \\ \text{if: } -, 0 < H(x) \leq 0.5 & t = \sqrt{\ln \left(\frac{1}{(H(x))^2} \right)} \end{cases}$$

در روابط فوق: $H(x)$ تابع احتمال تجمعی داده‌ها، q احتمال تجربی بارندگی صفر (معادل نسبت تعداد داده‌های صفر به تعداد کل داده‌ها)، $G(x)$ تابع توزیع گامای تجمعی، C_0 و C_1 ها و d_1 ها ثوابت معادله و برابر $C_0 = 2/515517$ ، $C_1 = 0/10328$ ، $C_2 = 0/802853$ ، $d_1 = 1/432788$ و $d_2 = 0/1189269$ و $d_3 = 0/01308$ هستند.

برای رفع مشکلات محاسباتی ناشی از مقادیر بارندگی صفر در ماههای تابستان، مقدار بارش با توجه به دقت ثبت وسایل باران‌سنجی و مفید بودن آن در چرخه آبشناسی ۰/۰۱ میلی‌متر لحاظ گردید (علیزاده، ۱۳۸۳).

جهت تعیین طبقات مختلف شدت خشکسالی براساس شاخص SPI از طبقه‌بندی هایس (۲۰۰۱) در جدول ۱ استفاده شد.

براساس جدول ۱ مقادیر مثبت SPI نشان‌دهنده بارش بیش از میانگین و مقادیر منفی آن نشانه خشکسالی با درجات مختلف است. از آن جا که شاخص SPI تابعی از اندازه بارندگی در هر منطقه است، که خود متاثر از دیگر عوامل محیطی است، بنابراین تغییرات مکانی شاخص مذکور در مقیاس مورد مطالعه حائز اهمیت است.

² -Regionalized Variable

³ -Cross Validation

¹ - Visual BASIC

$$MAE = \left(\frac{\sum_{i=1}^n |E_{si} - E_{oi}|}{n} \right) \quad (۶)$$

که در آن، E_s مقدار برآورد شده، E_o مقدار اندازه‌گیری شده، i اندیس مربوط به ایستگاه و n تعداد ایستگاه است.

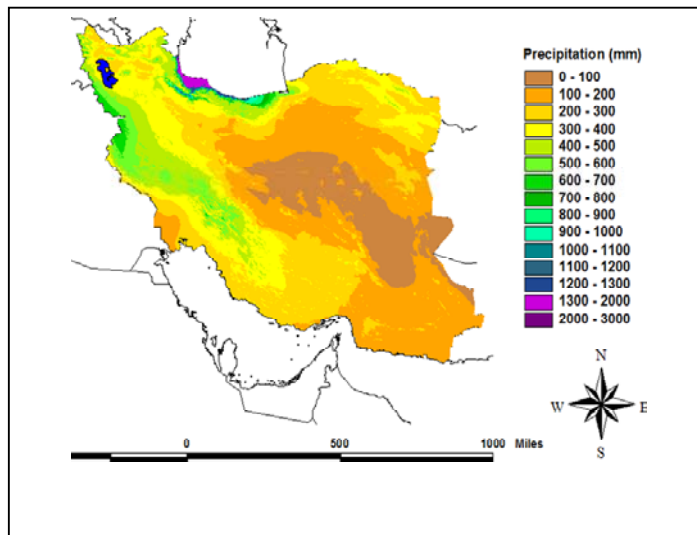
نتایج و بحث

شکل ۲ با نشان دادن میانگین بلند مدت بارش در سطح کشور ایران بیانگر آن است که قسمت اعظم کشور بارشی کمتر از ۳۰۰ میلی‌متر را دریافت می‌کند. بنابراین، از نظر دریافت بارشهای مطمئن ایران در منطقه‌ای خشک واقع است.

مناسب، مقایسه‌ای از مقادیر برآوردی و محاسباتی در قالب معیارهای جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)، انحراف نتایج (MDE) و دقت روش (MAE) بر اساس روابط ۴، ۵ و ۶ صورت گرفت.

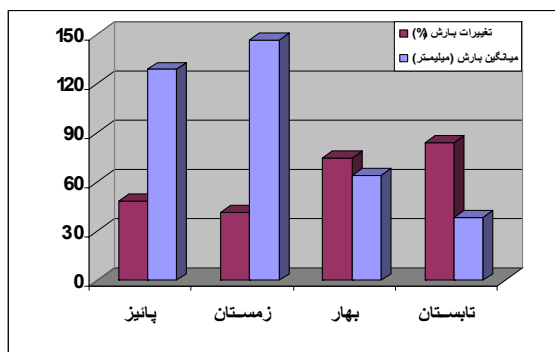
$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (E_{si} - E_{oi})^2}{n-1}} \quad (۴)$$

$$MBE = \left(\frac{\sum_{i=1}^n (E_{si} - E_{oi})}{n} \right) \quad (۵)$$



شکل ۲- پراکنش بارش در ایران

جهت روش شدن جزییات بیشتر، میانگینهای فصلی بارش و درصد تغییرات فصلی آن در طی سالیان مختلف در شکل ۳ نشان داده شده اند.



شکل ۳- میانگین درصد تغییرات و مقادیر فصلی بارندگی دراز مدت ایران

تعداد خشکسالیها براساس مقادیر منفی SPI محاسباتی برای هر ایستگاه و شدت آنها نیز براساس محدوده‌های توصیفی (جدول ۱) در دو مقیاس زمانی فصلی و سالانه تعیین گردیدند. از آن جا که تعداد ایستگاهها زیاد است به منظور جلوگیری از تطویل مقاله نتایج تعداد و درصد شدتهای مختلف ۴ ایستگاه در جدول ۲ آورده شده اند. لازم به ذکر است که هر یک از ۴ ایستگاه نماینده اقلیم خاصی از ایران است.

با توجه به جدول ۲ بیشترین تعداد خشکسالی‌های سالانه بدون توجه به شدت آنها در ایستگاه‌های زاهدان و تبریز به وقوع پیوسته اند. همچنین کمترین تعداد خشکسالی در ایستگاه مشهد بوده است. از دیگر نتایج جدول ۲ وجود تعداد زیاد خشکسالی با شدت خفیف برای هر ۴ ایستگاه و همین طور برای تمامی ایستگاههای مورد بررسی است. علاوه بر آن جدول ۲ نشان می‌دهد که در مقیاس ۳ ماهه مناطق بوشهر و زاهدان بیشترین تعداد خشکسالی بسیار شدید را در تابستان تجربه نموده‌اند که نشان دهنده حساسیت این مناطق به کمبود بارش است. این نتیجه با نتایج رضیئی و همکاران (۱۳۸۶) در خصوص بیشتر بودن فراوانی وقوع خشکسالی در مرکز و جنوب شرق کشور همخوانی دارد. در این راستا تقوی و محمدی (۱۳۸۶) نشان دادند که خشکسالی‌های رخ داده در ایران بیشتر از نوع خفیف بوده اند. علاوه بر آن کمترین شدت خشکسالی اعم از سالانه و یا فصلی در منطقه تبریز در شمال غربی ایران مشاهده شده است. علت این امر را می‌توان در ورودی منطقه شمال غرب و غرب ایران برای توده‌های هوای مرطوب شکل گرفته روی دریای مدیترانه

براساس شکل ۳ بیشترین تغییرات در مقادیر میانگین بارش مرتبط با تابستان و کمترین آن مربوط به زمستان است. با توجه به ریزشهای کم در تابستان می‌توان انتظار داشت که کوچکترین تغییرات در مقادیر بارندگی این فصل منجر به درصد تغییرات بزرگی گردد. لذا، تابستان کمترین مقدار بارندگی و زمستان بیشترین مقدار بارندگی را دارد. حالت فوق می‌تواند ناشی از خشک بودن اقلیم ایران باشد (شکل ۲). بنابراین، ذخیره‌سازی آب یکی از توصیه‌های مدیریتی در چنین شرایطی است.

برای ارائه تصویری روشن از مقادیر بارش در کشور، روند کلی درازمدت بارش کشور در مقیاس ۳ و ۱۲ ماهه به تفکیک سالهای مورد مطالعه (۱۳۵۳-۱۳۸۴) در شکل ۴ ترسیم گردید. شکل ۴ نیز نتایج مشابه شکل ۳ را ارائه داد.

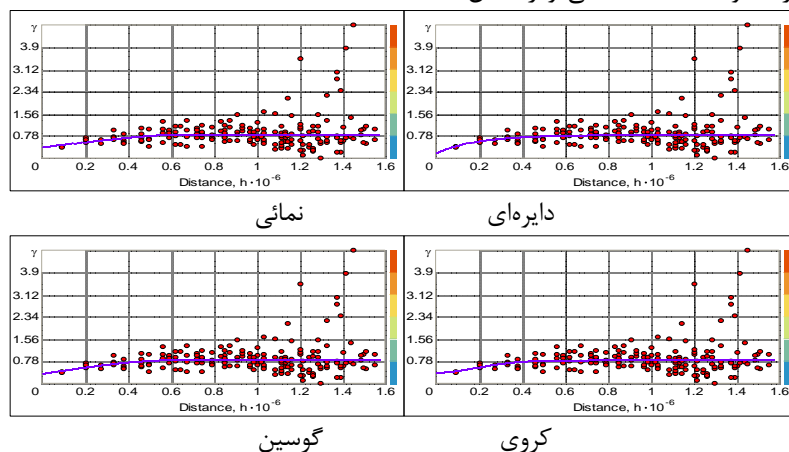
شکل ۴ نشان می‌دهد اندازه بارشهای دو فصل پاییز و زمستان از سایر فصول بیشتر و بارندگی‌های تابستان و بهار از میانگین کمتری برخوردارند. لذا انتظار آن است که در این دو فصل خشکسالیها از نظر تعداد و شدت بیشتر باشند. از آن جا که مجموع بارشهای سالانه از میانگینهای فصلی بیشتر است و هر سال خشک و یا تر شامل تعدادی فصل (ماه) خشک و مرطوب است می‌توان انتظار تعدیل خشکسالیها از نظر تعداد و شدت را در مقیاس سالانه نسبت به مقیاس فصلی داشت. این امر نشان دهنده لزوم بررسی خشکسالی در مقیاسهای زمانی کوتاهتر است. از دیگر نتایج حاصل از شکل ۴ روند کاهشی بارشها در طول دوره آماری (۱۳۵۳-۱۳۸۴) است که اثرات آن در قالب خشکسالی قابل بررسی است.

هم با کمترین درصد و شدت خشکسالی مواجه بوده است (جدول ۲). مشابه چنین نتایج را بانژاد و همکاران (۱۳۸۵) و زارع ایبانه و همکاران (۱۳۸۳) برای استان همدان گزارش کرده‌اند.

به منظور بررسی و مطالعه ساختار مکانی شدت خشکسالی، واریوگرام محاسبه و ترسیم شد. شکل ۵ واریوگرام محاسبه شده برای شدت خشکسالی را نمایش می‌دهد.

دانست. به نظر می‌رسد که مناطق شمالی، شمال غربی و غربی کشور که وضعیت بارندگی منظم‌تری دارند، نسبت به سایر مناطق از خشکسالی بسیار شدید رنج کمتری برده‌اند.

همان طور که قبلاً اشاره شد، بیشترین مقدار بارندگی‌های ایران در زمستان است و این فصل نسبت به سایر فصول کمترین درصد تغییرات را در مقدار بارندگی دارد (شکل ۳). به همین ترتیب تابستان نیز کمترین مقدار بارندگی را با بیشترین درصد تغییرات دارد در نتیجه تابستان با بیشترین درصد و شدت خشکسالی و زمستان



شکل ۵- واریوگرام کریجینگ (نقاط) و مدل برازش داده شده (منحنی)

ماورای این فاصله، نمونه‌ها را می‌توان مستقل از یکدیگر دانست که این فاصله اصطلاحاً دامنه تاثیر نامیده می‌شود. پهنه‌بندی با کاربرد روش‌های زمین آمار در قالب ۴ واریوگرام دایره‌ای، کره‌ای، نمایی و گوسین انجام گرفت. با توجه به نتایج حاصل از روش اعتبارسنجی و مقادیر MDE ، MAE و $RMSE$ (جدول ۳) در مقیاس ۱۲ ماهه واریوگرام دایره‌ای و در مقیاس ۳ ماهه واریوگرام نمایی در ترکیب با مقادیر شاخص SPI نتایج قابل قبولی برای پهنه‌بندی خشکسالی‌های ایران از خود نشان داد.

همان گونه که مشاهده می‌شود با افزایش فاصله، مقدار واریوگرام به تدریج افزایش یافته و به حد آستانه خود نزدیک می‌شود. این حد آستانه برای هر یک از شبیه‌ها متفاوت است. همان گونه که از شکل ۵ مشاهده می‌شود شبیه‌های دایره‌ای و کروی در فواصل دورتر، و شبیه‌های نمایی و گوسین در فواصل نزدیکتر به حد آستانه دست می‌یابند. چنین فاصله‌ای بیانگر مسافتی است که طی آن نمونه‌ها به نوعی با یکدیگر رابطه و همبستگی داشته و

جدول ۳- نتایج ارزیابی روش‌های مختلف جهت تعیین بهترین روش

شبهه	مقیاس زمانی	MDE	MAE	RMSE
دایره‌ای	۳ ماهه	۰/۰۰۳	۰/۷۲۶	۰/۹۴۵
	۱۲ ماهه	-۰/۰۳۱	۰/۶۷۲	۰/۸۵۷
کره‌ای	۳ ماهه	۰/۰۰۳	۰/۷۲۵	۰/۹۴۴
	۱۲ ماهه	-۰/۰۳۵	۰/۶۷۷	۰/۸۶۲
نمایی	۳ ماهه	-۰/۰۰۲	۰/۷۱۴	۰/۹۴۱
	۱۲ ماهه	-۰/۰۳۱	۰/۶۸۲	۰/۸۶۳
گوسین	۳ ماهه	۰/۰۰۲	۰/۷۲۱	۰/۹۵
	۱۲ ماهه	-۰/۰۲۷	۰/۶۷۵	۰/۸۶۱

براساس شکل‌های ۶ تا ۹ قسمت اعظم ایران در تابستان دچار خشکسالی بسیار شدید است. همچنین خشکسالی‌ها در زمستان بیشتر از نوع خفیف است. با توجه به نتایج پهنه‌بندی به نظر می‌رسد که بخش‌های مرکزی، جنوبی و قسمتهایی از شرق و جنوب شرق کشور از حساسیت بیشتری نسبت به خشکسالی‌ها در مقایسه با سایر نواحی ایران برخوردار می‌باشند. پهنه‌بندی خشکسالی‌ها در ایران نشان داد که در مقیاس سالانه بیشترین بخش مساحت کشور در پهنه‌ی خشکسالی‌ها از نوع خفیف است، در حالی که خشکسالی‌های شدید و بسیار شدید چشمگیر نبوده‌اند. از دیگر نتایج شکل‌های ۶ تا ۹ می‌توان به وقوع ترسالی‌های شدید در مناطق شمالی و شمال غربی کشور در تابستان ۱۳۵۳ اشاره نمود. درصدهای مساحت طبقات مختلف خشکسالی از کل مساحت ایران به تفکیک سال‌های مورد ارزیابی حاصل از شکل‌های ۶ تا ۹ در جدول ۴ ذکر گردیده‌اند.

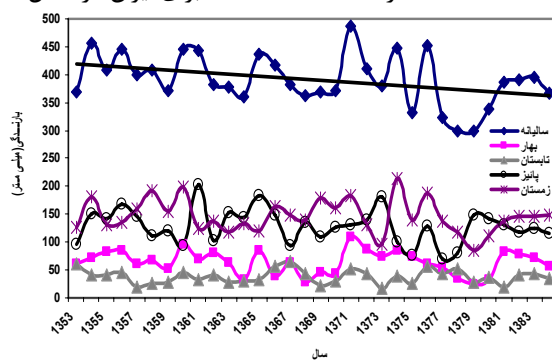
از آن جا که قسمت اعظم کشور در سال‌های (۱۳۵۳، ۱۳۶۴، ۱۳۷۵ و ۱۳۸۴) با خشکسالی مواجه بوده است لذا پهنه‌بندی برای سال‌های فوق با استفاده از نتایج شاخص SPI به صورت فصلی (واریوگرام نمایی) و سالانه (واریوگرام دایره‌ای) در محیط نرم‌افزار ArcGIS 9.2 انجام گردید. شایان ذکر است که سال ۱۳۸۴ از این قاعده مستثنی است. شکل‌های ۶ تا ۹ نتایج پهنه‌بندی‌های انجام شده را نشان می‌دهند. با توجه به این که هدف SPI اختصاص ارزش عددی به بارندگی برای مقایسه نواحی با آب و هوای کاملاً متفاوت است. به این ترتیب بارشی که در نواحی حاره‌ای ایجاد خشکسالی می‌کند، ممکن است همان مقدار بارشی باشد که در نواحی بیابانی به عنوان بارش سنگین مورد توجه قرار می‌گیرد (مک‌کی و همکاران، ۱۹۹۳). براین اساس بررسی خشکسالی‌ها به وسیله شاخص SPI فارغ از مکان و موقعیت اقلیمی هر منطقه است، لذا پایش خشکسالی با این شاخص دارای دقت کافی می‌باشد.

جدول ۴- درصدهای مساحت خشکسالی با شدتهای متفاوت در سالهای مورد بررسی

سال	شدت خشکسالی					جمع
	خفیف	متوسط	شدید	خیلی شدید	ترسالی	
۱۳۵۳	بهار	۳۹/۱۴	۱۱/۱۸	۵/۷۸	۱/۳۱	۴۲/۵۹
	تابستان	۱۶/۵۲	۹/۵۳	۱۱/۵۹	۳۵/۸۹	۲۶/۴۷
	پاییز	۲۲/۸۱	۰/۸۶	۰	۰	۷۶/۳۳
	زمستان	۶۷/۵۱	۱/۸۲	۰	۰	۳۰/۶۷
۱۳۶۴	بهار	۴۱/۰۹	۳۳/۷۹	۱۵/۲۶	۹/۸۶	۰
	تابستان	۸/۲۶	۲۳/۵	۲۳/۸۷	۴۴/۳۷	۰
	پاییز	۳۷/۵۹	۰/۸۱	۰	۰	۶۱/۶
	زمستان	۴۴/۰۸	۵/۲۷	۲/۵	۰/۳۶	۴۷/۷۹
۱۳۷۵	بهار	۲۵/۶۶	۲/۰۱	۰/۴۹	۰/۰۹	۷۱/۷۵
	تابستان	۱۵/۹۶	۱۴/۶۶	۱۵/۹۳	۴۶/۹۸	۶/۴۷
	پاییز	۳۱/۱۲	۴۳/۹۸	۲۰/۴۵	۰	۴/۴۵
	زمستان	۵۴/۹۲	۱/۹۶	۰	۰	۴۳/۱۲
۱۳۸۴	بهار	۶۴/۰۱	۰	۰	۰	۳۵/۹۹
	تابستان	۴۶/۷۲	۱۷/۰۵	۴/۸۴	۳/۱۸	۲۸/۲۱
	پاییز	۴۳/۲۴	۰	۰	۰	۵۶/۷۶
	زمستان	۶/۰۵	۰	۰	۰	۹۳/۹۵
سالانه	۳۲/۸۸	۲/۲۷	۰/۴۴	۰/۱	۶۴/۳۱	۱۰۰

مساحت ایران در پهنه‌ی خشکسالی خفیف قرار داشته است. در تأیید این نتیجه می‌توان به کمبود بارش در سال ۱۳۷۵ برای ایران در شکل ۴ اشاره نمود.

با توجه به مندرجات جدول ۴ بیشترین اندازه مساحت خشکسالیهای فراگیر در مقیاس زمانی سالانه از نوع خفیف بوده، که در سال ۱۳۷۵، ۷۵/۴۴ درصد

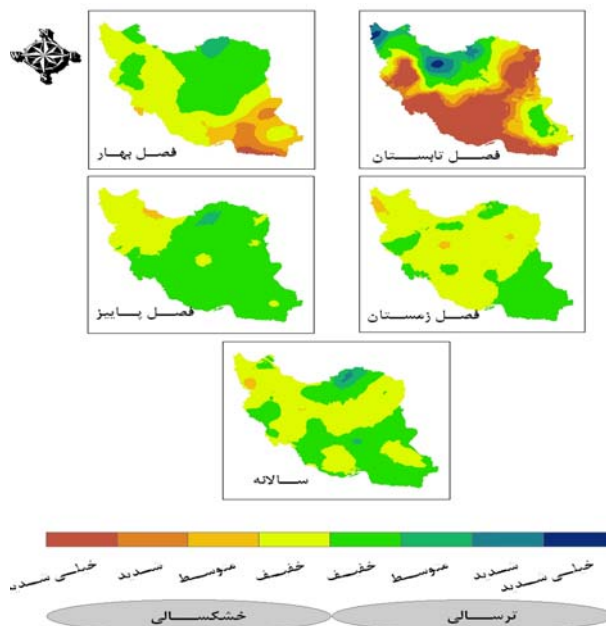


شکل ۴- روند بارشهای فصلی و سالانه کشور ایران

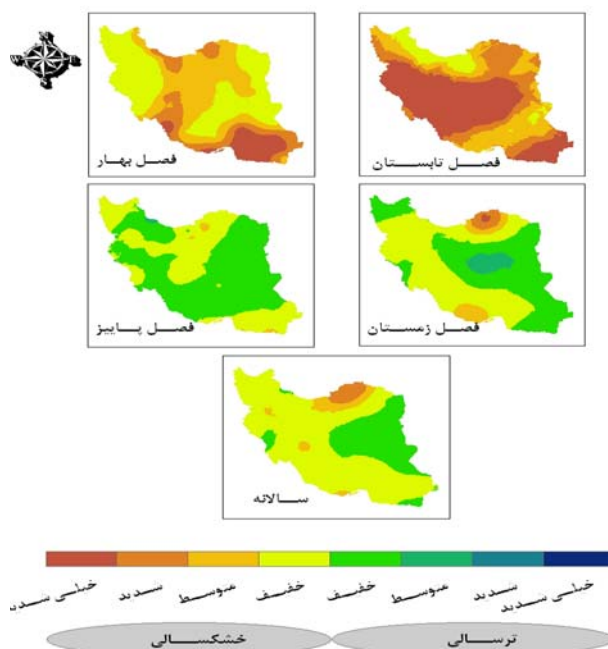
نبوده است. از دیگر نتایج جدول ۴ می‌توان به ترسالی ۱۳۸۴ اشاره نمود که ۶۴/۳۱ درصد از مساحت کل کشور را در بر گرفته بود. در تأیید این نتایج با مقایسه شکل ۹ با

لازم به ذکر است که کمبود بارش سالهای ۱۳۷۷ تا ۱۳۸۰ ناشی از کمبود در بخشهایی از ایران است که منجر به کاهش میانگین بارش سالانه شده و به صورت فراگیر

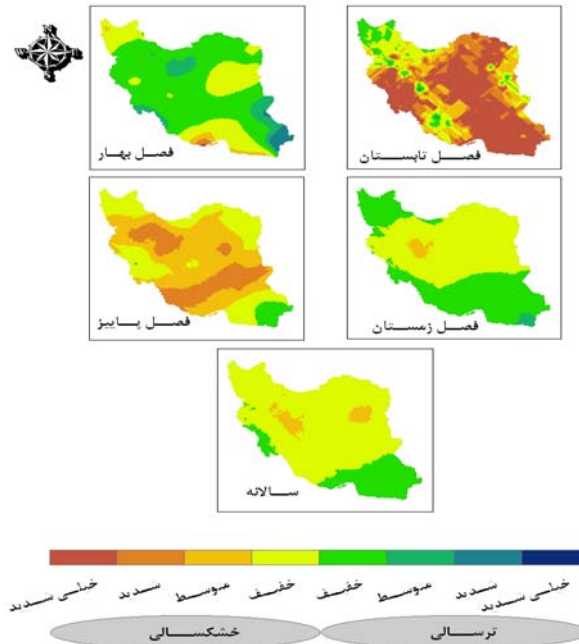
شکل‌های ۶ تا ۸ در مقیاس سالانه نشان می‌دهد که قسمت اعظم ایران با خشکسالی مواجه نبوده است.



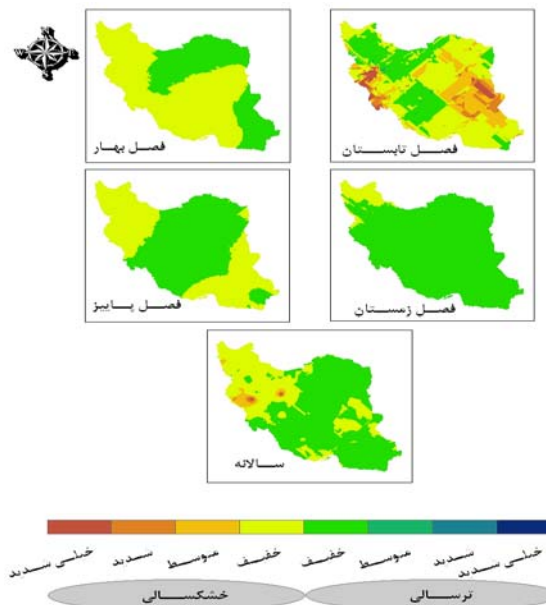
شکل ۶- پهنه‌بندی خشکسالی ۱۳۵۳ بر اساس شدت‌های مختلف فصلی و سالانه



شکل ۷- پهنه‌بندی خشکسالی ۱۳۶۴ بر اساس شدت‌های مختلف فصلی و سالانه



شکل ۸- پهنه‌بندی خشکسالی ۱۳۷۵ بر اساس شدت‌های مختلف فصلی و سالانه



شکل ۹- پهنه‌بندی خشکسالی ۱۳۸۴ بر اساس شدت‌های مختلف فصلی و سالانه

نتیجه می‌تواند ناشی از تعدیل کمبود بارش‌های فصلی در مقیاس سالانه باشد.

در سال ۱۳۷۵، در تابستان ۴۶/۹۸ درصد مساحت کشور در پهنه‌ی خشکسالی بسیار شدید واقع شده بود و تنها نواحی شمال غربی، غربی و ناحیه بسیار کوچک از شرق ایران دارای ترسالی خفیف بوده است. از دیگر نتایج

مقایسه نتایج فصلی و سالانه هر یک از اشکال ۶ تا ۹ نشان می‌دهد که در مقیاس سالانه از تعداد و شدت خشکسالی‌های شدید و بسیار شدید کاسته شده است. به دیگر عبارت در مقیاس سالانه بیشتر نواحی ایران با خشکسالی‌های خفیف و متوسط درگیر بوده اند، که این

پهنه‌بندی می‌توان به موضعی بودن پدیده خشکسالی اشاره نمود به طوری که در یک سال یا فصل در دو منطقه همسایه، شدتهای خشکسالی و ترسالی با هم یکی نیست و تفاوت این شدتها در بعضی مناطق زیاد است. به عنوان نمونه، شکل ۸ نشان می‌دهد که شهر سرخس در شمال شرق (مشهد) در تابستان دارای ترسالی خفیف بوده در حالی که شهر مشهد در مجاورت آن در شرایط زمانی مشابه با خشکسالی متوسط مواجه بوده است.

نتیجه‌گیری

بر پایه بررسیهای انجام شده در سطح کشور، درصد بیشتری از سالهای آماری در طبقه خشکسالی خفیف و متوسط بوده است. همچنین، در مقیاس زمانی فصلی، تعداد خشکسالیها بیش از شمار آنها در مقیاس سالانه است. در مقیاس زمانی ۳ ماهه نیز در پائیز و زمستان درصد بیشتری از سالهای آماری در طبقه خشکسالی خفیف و نرمال بوده است، که می‌تواند ناشی از ریزشهای بیشینه در این فصول باشد. مشابه نتایج فوق از سوی بانژاد و همکاران (۱۳۸۵) و زارع ایبانه و همکاران (۱۳۸۳) نیز گزارش شده است. بررسی دوره‌های خشک با استفاده از شاخص SPI در سطح کشور نشان داد که در سالهای اخیر، ضمن افزایش تداوم خشکیها تا حدودی از شدت آنها کاسته شده است. انصاری و داوری (۱۳۸۶) در بررسی خشکسالیهای استان خراسان، حیدری و یزدانی (۱۳۸۷الف) در مطالعه موردی شهرکرد و حیدری و یزدانی (۱۳۸۷ب) در ارزیابی خشکسالیهای استانهای غرب کشور نیز به چنین نتیجه‌ای دست یافتند. بررسی خشکسالیها در ایران نشان می‌دهد که مناطق مرکزی و جنوب شرقی کشور نسبت به مناطق دیگر بیشتر در معرض خشکسالیهای طولانی مدت قرار دارند. در کل می‌توان اظهار داشت هر ۱۰ سال یک خشکسالی به وقوع پیوسته است. خشکسالیهای رخ داده در ۱۳۵۳، ۱۳۶۴، ۱۳۷۵ و ۱۳۸۴ را می‌توان در این دسته‌بندی قرار داد. در طول دوره آماری مورد مطالعه (۳۲ سال) یک خشکسالی مصیبت بار و فراگیر نیز کشور را در بر گرفته که می‌توان به خشکسالی ۳۷۵ اشاره نمود. تکرار یک خشکسالی در هر ۱۰ سال در قسمت اعظم ایران و رخداد یک خشکسالی

کشنده در فواصل زمانی طولانی مدت، به ترتیب از سوی تقوی و محمدی (۱۳۸۶) و کردوانی (۱۳۸۰) هم گزارش شده است. با توجه به نتایج حاصل از مقادیر MDE، MAE و RMSE در مقیاس ۱۲ ماهه واریوگرام دایره‌ای و در مقیاس ۳ ماهه، واریوگرام نمایی در ترکیب با مقادیر شاخص SPI نتایج قابل قبولی برای پهنه‌بندی خشکسالیهای ایران نشان دادند. با توجه به نتایج پهنه‌بندی به نظر می‌رسد که بخش‌های مرکزی، جنوب، جنوب شرق و قسمت‌هایی از شرق کشور از استعداد و حساسیت بیشتری نسبت به خشکسالی در مقایسه با سایر نواحی ایران برخوردارند. با عنایت به نتایج حاصله از پهنه‌بندی، بطور متوسط، ۶۱ درصد از مساحت ایران در سالهای مورد مطالعه در پهنه‌ی طبقات مختلف خشکسالی قرار داشته است.

منابع

- ۱- آشگر طوسی، ش. و ا. علیزاده. ۱۳۸۴. پایش و پیش‌بینی خشکسالی در شرق ایران. خشکی و خشکسالی کشاورزی. ۱۶: ۱۶-۱.
- ۲- انصاری، ح. ۱۳۸۳. پایش و پهنه‌بندی خشکسالی با استفاده از منطق فازی و سیستم اطلاعات جغرافیایی. پایان‌نامه دکتری آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس.
- ۳- انصاری، ح. و ک. داوری. ۱۳۸۶. پهنه‌بندی دوره خشک با استفاده از شاخص استاندارد شده در محیط GIS (مطالعه موردی استان خراسان). پژوهش‌های جغرافیایی. ۶۰: ۹۷-۱۰۸.
- ۴- بانژاد، ح.، ج. زارع‌ایبانه، م. ه. نظری‌فر و ع. ا. سبزی‌پرور. ۱۳۸۵. بکارگیری شاخص بارش استاندارد (SPI) با روش‌های زمین آماری در تحلیل خشکسالی‌های هواشناسی استان همدان. پژوهش کشاورزی. ۲: ۶۱-۷۳.
- ۵- بذرافشان، ج. ۱۳۸۱. مطالعه تطبیقی برخی شاخص‌های خشکسالی هواشناسی در چند نمونه اقلیمی ایران. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران.
- ۶- تقوی، ف. و ح. محمدی. ۱۳۸۶. بررسی دوره بازگشت رویدادهای اقلیمی حدی به منظور شناخت پیامدهای زیست محیطی. محیط شناسی. ۴۳: ۱۱-۲۰.
- ۷- حیدری، م. و و. یزدانی. ۱۳۸۷الف. پایش شدت و مدت خشکسالی هواشناسی شهرکرد در مقیاس زمانی فصلی و سالانه. مجموعه مقالات همایش خشکسالی در استان چهارمحال و بختیاری و راه‌های مقابله با آن.

- Frequency and Duration to Time Scales. In: Proc. 8 Conference. on applied Climatology, 17-22 January. American Meteorological Society, Massachusetts. pp. 179-184.
- 22- Palmer, K. N., and K. J. Holmer. 1988. Operational guidance during droughts: expert system approaches. *J. Water Resour. Plan. Manage.* 114(6): 647-666.
- 23- Wilhite, D. A. and M. H. Glantz. 1985. Understanding the Drought Phenomenon: The Role of Definitions. *Water International*, 10: pp 111-120.
- ۸- حیدری، م. و. یزدانی. ۱۳۸۷. مطالعه تطبیقی پنج شاخص خشکسالی هواشناسی در شمال غرب کشور. مجموعه مقالات همایش خشکسالی در استان چهارمحال و بختیاری و راههای مقابله با آن.
- ۹- رضیعی، ط. پ. دانشکار آراسته، ر. اختری و ب. ثقفیان. ۱۳۸۶. بررسی خشکسالی‌های هواشناسی (اقليمی) در استان سیستان و بلوچستان با استفاده از نمایه SPI و شبیه زنجیره مارکوف. تحقیقات منابع آب ایران. ۱(۳): ۲۵-۳۵.
- ۱۰- زارع‌ایبانه، ح. ع. ا. محبوبی و م. ر. نیشابوری. ۱۳۸۳. بررسی روند خشکسالی‌های منطقه همدان بر اساس شاخص‌های آماری. پژوهش و سازندگی. ۱۷(۳): ۲-۷.
- ۱۱- علیزاده، ا. ۱۳۸۳. اصول هیدرولوژی کاربردی. چاپ هفدهم، انتشارات آستان قدس رضوی.
- ۱۲- کردوانی، پ. ۱۳۸۰. خشکسالی و راه‌های مقابله با آن در ایران. چاپ اول، تهران، موسسه انتشارات دانشگاه تهران.
- ۱۳- یزدانی، م. ر. س. چاوشی، م. خدقلی و ب. ثقفیان. ۱۳۸۴. بررسی خشکسالی‌های هواشناسی در استان اصفهان. آب و آبخیز. ۱(۴): ۴۱-۵۱.
- 14- Cancelliere, A., G. Mauro, B. Bonaccorso, and G. Rossi. 2007. Drought forecasting using the Standardized Precipitation Index. *J. Water Resour. Manage.* 21: 801-819.
- 15- Dossou, G., and M. Soumaila. 2007. Analysis of drought in Burkina Faso by using Standardized Precipitation Index. In: *The Pyrenees International Workshop on Statistics, Probability and Operations Research*. 12-15 September. Jaca.
- 16- Hayes, M.J. 2001. *Drought Indices*, National Drought Mitigation Center, Noaa.
- 17- Hayes, M. J., M. D. Svoboda, D. A. Wilhite, and O. V. Vanyarkho. 1998. Monitoring the 1996 drought using the Standardized precipitation Index. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* 80(3): 429-437.
- 18- Henz, G., S. Turner, W. Badini, and J. Kenny. 2004. Historical perspective on Colorado drought chapter: 1.
- 19- Madansky, A. 1988. *Prescriptions for Working Statistion*. Springer – Verlag Publition.
- 20- Matheron, G. 1963. Principles of eostatistics. *Econom. Geology.* 58: 1246-1266.
- 21- McKee, T. B., N. J. Doesken, and J. Kleist. 1993. *The Relationship of Drought*

