



چکیده

برای ارزیابی روند خشکسالی‌های اقلیمی در ۲۳ زیرحوضه آبی دریای خزر، داده‌های بارش ماهانه را با روش میانبایی به داده‌های پهنه‌ای تبدیل نموده سپس بر حسب مختصات حوضه‌ها، بارش ماهانه هر حوضه تفکیک گردید. از روش شاخص بارش استاندارد (SPI) برای ارزیابی خشکسالی‌های اقلیمی استفاده نموده و این شاخص بصورت ماهانه برای هر یک از حوضه‌ها محاسبه گردید. بر اساس آزمون پارامتری رگرسیون خطی بارش ۲۳ زیر حوضه دریای خزر ماه‌های ژانویه، می و دسامبر در سطح اطمینان ۹۵٪ روند معناداری نشان نمی‌دهند. ۵

تحلیل مقایسه‌ای روند

بارش و خشکسالی

حوضه دریای خزر

دکتر مجید منتظری

عضو هیئت علمی گروه جغرافیا دانشگاه آزاد نجف آباد

می‌توان به کار چیو و مک ماهون ۱۹۹۳ در استرالیا، برن ۱۹۹۴ در کانادا، داگلاس و همکاران ۲۰۰۴ در ایالات متحده اشاره کرد. همچنین ژانگ و همکاران ۲۰۰۰، با استفاده از متغیرهایی مانند دما، بارش و تبخیر به مناطق دارای روند منفی و مثبت در چین اشاره کرده‌اند.

در منطقه مدیترانه نیز هیدالگو و همکاران ۲۰۰۳، لازارو ۲۰۰۱، به تحلیل روند بارش در اسپانیا پرداختند. بولاک ۲۰۰۳ در مناطق خشک و نیمه خشک آمریکای شمالی و در برزیل دی پائولو و همکاران ۲۰۰۴، روند تغییر اقلیم را مورد مطالعه و بحث قرار دادند.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش داده‌های بارش تمام ایستگاه‌های سینوپتیک و کلیماتولوژی حوضه دریای خزر از ژانویه سال ۱۹۵۱ تا دسامبر ۱۹۹۹ به مدت ۴۹ سال (۵۸۸ ماه)، به صورت ماهانه از پایگاه داده‌های سازمان هواشناسی کشور استخراج گردید. پس از ارزیابی صحت و کیفیت داده‌ها، باتوجه به مزایای روش پهنه‌ای از روش مذکور برای تهیه پایگاه اطلاعاتی پژوهش استفاده گردید. بدین منظور اندازه کوچکترین واحد پهنه‌ای را ۵x۵ کیلومتر در نظر گرفته و با انتخاب روش میانبایی کریجینگ، مبادرت به وزن دادن عددی به هر یک از یاخته‌ها نموده و بدین ترتیب ماتریس داده‌های بارش حوضه دریای خزر محاسبه گردید. در این ماتریس سطرها معرف مکان و ستونها معرف زمان است. در مرحله بعد با توجه به مختصات ۲۳ حوضه آبی دریای خزر داده‌های بارش برای هر حوضه تفکیک گردید و بدین وسیله پایگاه داده‌های مورد نیاز تحقیق تهیه شد. با توجه به پیشینه تحقیقات انجام شده مرتبط با موضوع پژوهش حاضر در سطح دنیا و تأیید کار آمدی آنها، جهت ارزیابی خشکسالی‌های اقلیمی حوضه دریای خزر، از روش شاخص بارش استاندارد (SPI) استفاده گردید. این شاخص در سال ۱۹۹۵ توسط مکی و همکارانش ارائه شد که از مهمترین و کاربردی‌ترین شاخصهای ارزیابی خشکسالی است و در تحلیل منطقه‌ای خشکسالی و مطالعات تطبیقی و مقایسه‌ای بین مناطق مختلف متداولتر است. چرا که این شاخص استاندارد بوده و می‌توان از آن در مطالعات منطقه‌ای و ایجاد ارتباط زمانی بین رخداد‌های خشکسالی، در بخش‌های مختلف یک پهنه، استفاده کرد (لشنی زنده ۱۳۸۳).

شاخص بارش استاندارد، بر اساس تفاوت بارش از میانگین برای یک مقیاس زمانی مشخص و سپس تقسیم آن بر انحراف معیار به دست می‌آید. تنها فاکتور مؤثر در محاسبه این شاخص، عنصر بارندگی است. این شاخص به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$SPI = \frac{P_i - \bar{P}}{\sigma}$$

که در آن P_i مقدار بارندگی در زمان i ، \bar{P} متوسط بارندگی در دوره زمانی مورد مطالعه و σ انحراف استاندارد بارندگی در دوره زمانی مورد نظر است.

زیر حوضه در ماه‌های فوریه و ژوئیه روند مثبت و ۱۱ زیر حوضه عمدتاً در ماه‌های مارس و سپتامبر روند منفی نشان می‌دهند. با اعمال آزمون ناپارامتری مان - کندال بر روی ماتریس شاخص SPI ۲۳ زیر حوضه دریای خزر مشخص شد که در ماه می هیچ حوضه‌ای روند معناداری نشان نمی‌دهد. بالاترین روند در ۶ زیرحوضه در ماه‌های ژوئیه و اگوست بوده است. **واژه‌های کلیدی:** خشکسالی، روند، بارش، شاخص بارش استاندارد.

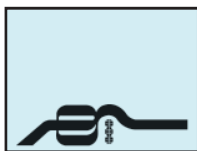
مقدمه

در بین بلایای طبیعی تعداد و فراوانی وقوع پدیده خشکسالی بیشتر است. خشکسالی از نظر فراوانی، گسترش و شدت متفاوت بوده و خسارات اقتصادی و اثرات اجتماعی بلند مدتی را بر جوامع انسانی وارد آورده است. وجه تمایز خشکسالی با سایر بلایای طبیعی آن است که آرام آرام و در یک دوره زمانی نسبتاً طولانی اثر کرده و پیامدهای آن با تأخیر بیشتری جلوه میکند از این رو به بلای طبیعی خزنده مشهور است.

خشکسالی را از جنبه هواشناسی، اقلیم‌شناسی، آب‌شناسی، کشاورزی، اقتصادی و اجتماعی بررسی و تعریف کرده‌اند، اما در اینجا تعریف اقلیمی آن مد نظر است. از دیدگاه اقلیم‌شناسی خشکسالی عبارت است از کاهش غیر منظره بارش در مدتی معین در منطقه‌ای که لزوماً خشک نیست. میزان این کاهش آن قدر است که روند عادی رشد را در منطقه مختل می‌کند. خشکسالی ویژگی دائمی یک منطقه نیست و در هر رژیم آب و هوایی می‌تواند اتفاق افتد (علیچانی و کاویانی ۱۳۷۱).

پیشینه تحقیق

یکی از مباحث مطرح در محافل علوم طبیعی، بحث تحلیل روند و مطالعه رفتار پدیده‌های طبیعی در بستر زمان است. مطالعات بسیاری در سطح دنیا پیرامون این موضوع به انجام رسیده است. اغلب این مطالعات با استفاده از دو روش پارامتری رگرسیون خطی و ناپارامتری مان-کندال و اسپیرمن انجام شده‌اند. چون در روش‌های ناپارامتری شرط نرمال بودن توزیع داده‌ها مطرح نیست، به همین دلیل اکثر مطالعات تحلیل روند با استفاده از روش‌های ناپارامتری صورت می‌گیرد. از جمله این مطالعات در ایران می‌توان به کار مسعودیان ۲۰۰۳، و در سطح جهانی



و متوسط بارش آن در حدود ۵۲۲ میلیمتر است. پربارش‌ترین زیرحوضه آن حوضه شماره ۱۳ با ۹۷۳ میلیمتر است که پربارش‌ترین پهنه کشور نیز محسوب شده و بالاترین بارش ماهانه نیز مربوط به این زیرحوضه می‌باشد. زیرحوضه شماره ۲۲ با ۲۰۹ میلیمتر بارش سالانه خشکترین زیرحوضه است. زیرحوضه شماره ۱ با بیش از ۲۰ هزار کیلومتر مربع وسیع‌ترین زیرحوضه دریای خزر می‌باشد (جدول ۲).

جدول (۲): مشخصات بارش ۲۳ زیر حوضه دریای خزر

شماره حوضه	مساحت (کیلومتر مربع)	بارش سالانه (میلیمتر)	متوسط بارش ماهانه	حداکثر بارش ماهانه
۱	۲۰۲۲۵	۳۴۰/۱۹	۲۸/۱۳	۱۲۸/۵۰۷۹
۲	۵۰۲۵	۴۸۵/۹۳	۴۰/۲۷	۱۸۰/۴۲۲۹
۳	۱۲۶۷۵	۴۲۱/۵۳	۳۵/۱	۱۵۲/۴۷۴۶
۴	۳۵۵۰	۵۳۶/۹۲	۴۴/۷۲	۱۷۸/۲۰۶۳
۵	۴۳۲۵	۵۹۴/۳۹	۴۹/۵۱	۲۰۲/۴۲۶۶
۶	۳۵۵۰	۶۱۴/۵۶	۵۱/۱۹	۱۸۲/۳۷۵۴
۷	۶۵۷۵	۵۹۳/۲۸	۴۹/۴۲	۱۷۱/۹۴۴۱
۸	۴۷۲۵	۷۱۸/۴۵	۵۹/۸۵	۲۶۵/۰۲۵۹
۹	۲۷۵۰	۸۷۲/۶۹	۷۲/۷۱	۴۵۶/۴۰۸۲
۱۰	۴۸۷۵	۵۵۴/۶۸	۴۶/۲۱	۲۱۸/۳۰۸۷
۱۱	۲۶۰۰	۸۶۹/۴۸	۷۲/۴۴	۴۳۸/۴۰۷۷
۱۲	۶۹۷۵	۷۰۶/۲۸	۵۸/۸۵	۲۹۱/۴۱۳۳
۱۳	۳۱۷۵	۹۷۳/۵۸	۸۱/۱۳	۴۶۱/۷۰۳۹
۱۴	۳۰۷۵	۸۰۲/۱۶	۶۶/۸۴	۴۷۶/۸۱۳۸
۱۵	۶۸۰۰	۵۲۹/۳۷	۴۴/۱	۲۳۲/۰۲۹۸
۱۶	۶۵۲۵	۳۵۹/۲۶	۲۹/۹۳	۲۰۲/۰۱۴۶
۱۷	۱۵۶۷۵	۳۴۲/۶۹	۲۸/۵۵	۱۵۴/۵۶۶۳
۱۸	۲۰۱۲۵	۳۷۶/۱۲	۳۱/۳۴	۱۳۳/۷۱۵۴
۱۹	۱۴۱۲۵	۳۱۰/۱۸	۲۵/۸۱	۱۲۳/۱۶۷۳
۲۰	۳۶۲۵	۲۳۶/۵۳	۱۹/۶۷	۱۸۰/۴۸۹۷
۲۱	۶۴۰۰	۲۵۸/۲	۲۱/۴۸	۱۱۴/۵۹۸۸
۲۲	۵۸۷۵	۲۰۹/۶	۱۷/۴۴	۱۵۵/۱۰۲۶
۲۳	۸۰۰۰	۲۹۳/۱۸	۲۴/۴	۱۵۴/۰۷۶۲
مجموع	۱۷۱۲۵۰	-	-	-
میانگین	-	۵۲۱/۷	۴۳/۴۴	۲۲۸/۴۴

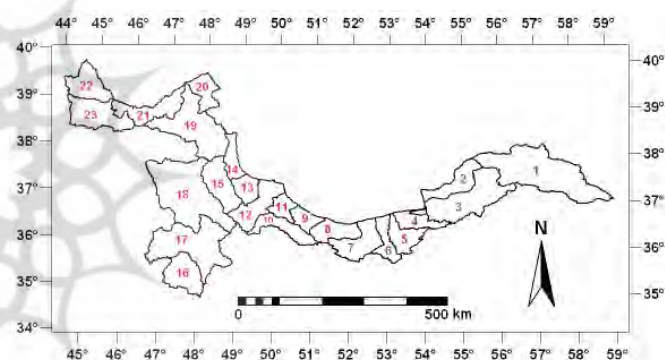
بررسی‌های انجام شده بر روی نمودارهای حاصل از محاسبه شاخص SPI نشان می‌دهد که زیرحوضه‌های دریای خزر را از لحاظ زمان وقوع خشکسالی به ۴ گروه می‌توان تقسیم نمود.

(۱) رفتار خشکسالی زیرحوضه شماره ۱ در شمال خراسان با سایر زیرحوضه‌ها شباهت چندانی ندارد (نگاره ۳).

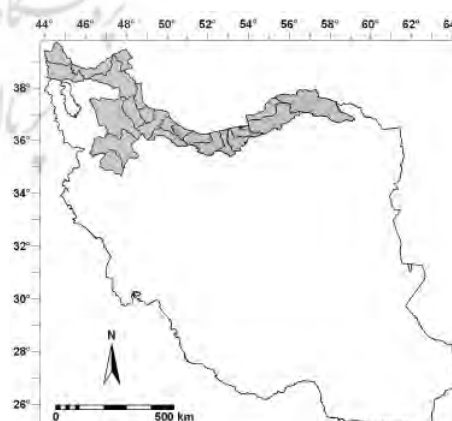
جدول (۱): تعیین درجه خشکسالی و ترسالی با استفاده از شاخص بارش استاندارد شده SPI

مقادیر SPI	
+۲	فوق العاده مرطوب
۱/۵ تا ۱/۹۹	خیلی مرطوب
۱ تا ۱/۴۹	مرطوب متوسط
-۰/۹۹ تا ۰/۹۹	نزدیک به نرمال
-۱ تا -۱/۴۹	خشک ملایم
-۱/۵ تا -۱/۹۹	خشک شدید
-۲ و کمتر	فوق العاده خشک

جهت تحلیل روند نیز از دو روش پارامتری رگرسیون خطی و ناپارامتری مان-کندال استفاده گردید. سپس با برنامه نویسی در محیط نرم افزار مت لب محاسبات لازم بر روی ماتریس داده‌های بارش ماهانه و ماتریس شاخص SPI ۲۳ حوضه آبی دریای خزر صورت گرفت.



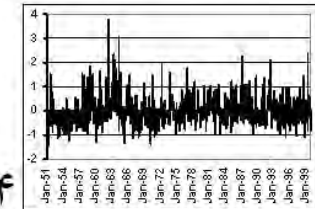
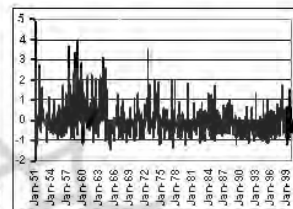
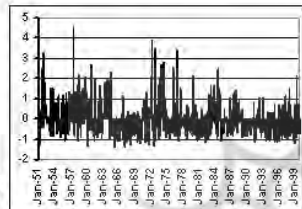
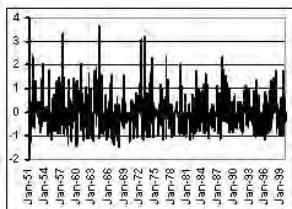
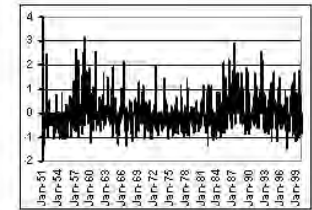
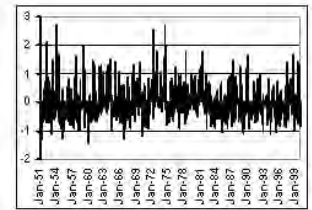
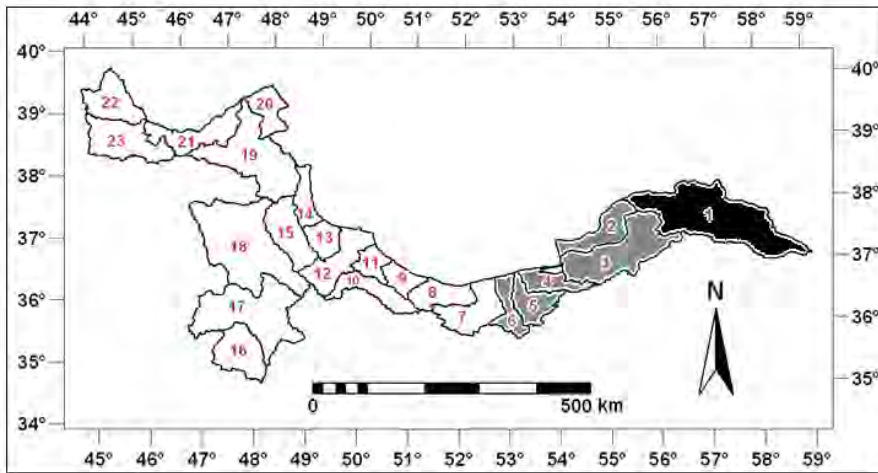
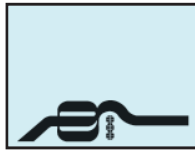
نگاره (۱): شماره گذاری ۲۳ زیر حوضه دریای خزر



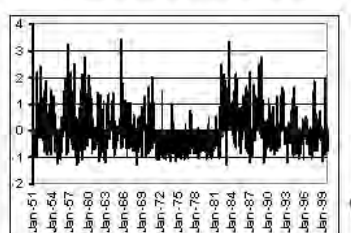
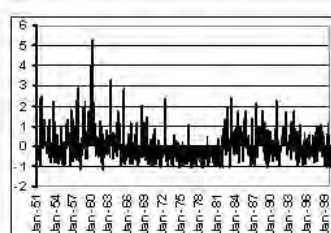
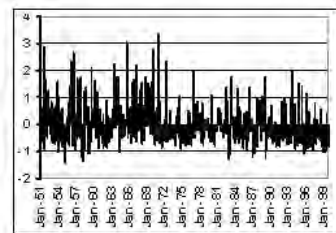
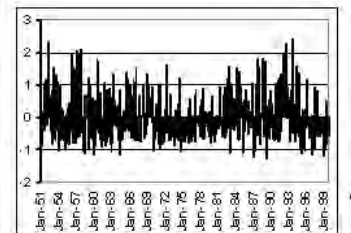
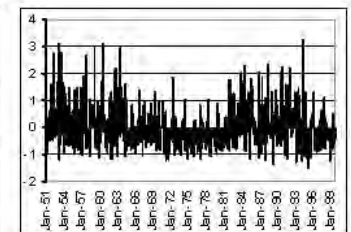
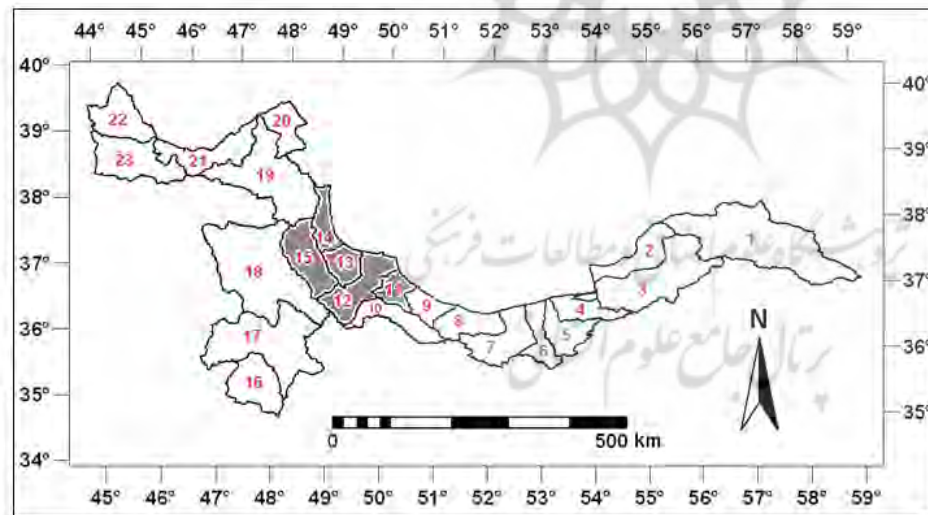
نگاره (۲): موقعیت حوضه دریای خزر در ایران

بحث

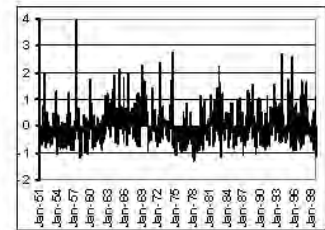
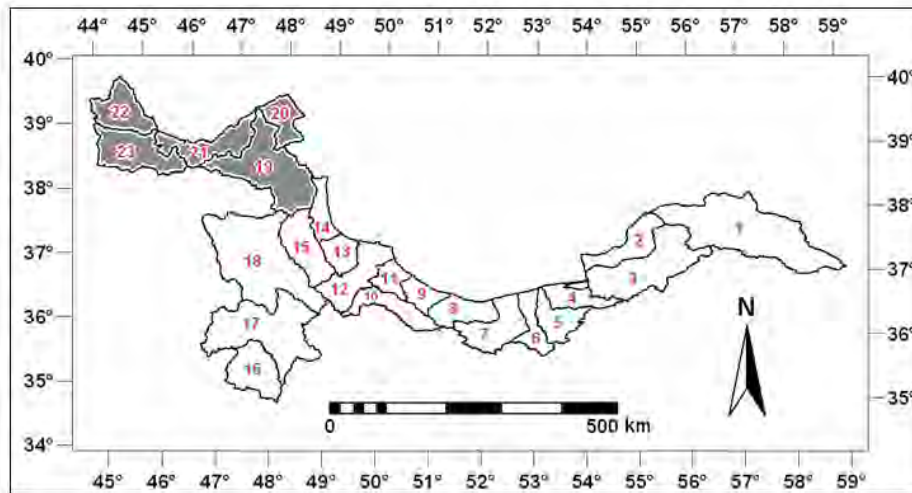
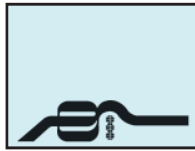
حوضه دریای خزر با بیش از ۱۷۰ هزار کیلومتر مربع افزون بر ۱۰٪ از مساحت کشور را فراگرفته است. این حوضه از ۲۳ زیرحوضه تشکیل شده



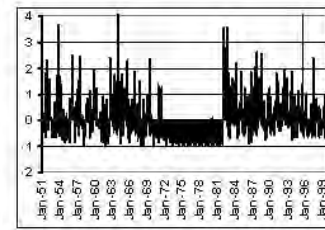
نگاره (۳): شاخص SPI زیرحوضه‌های ۱ تا ۶ که ترسالی در اواخر دهه ۵۰ و خشکسالی در اواسط و اواخر دهه ۶۰ را نشان می‌دهد.



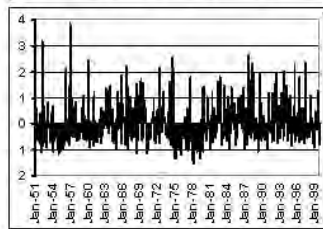
نگاره (۴): شاخص SPI زیرحوضه‌های ۱۱ تا ۱۵ که وقوع خشکسالی را در اواخر دهه ۷۰ نشان می‌دهد.



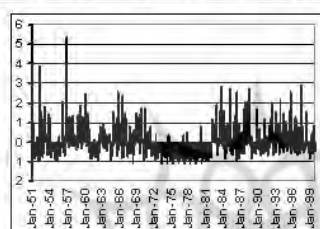
۱۹



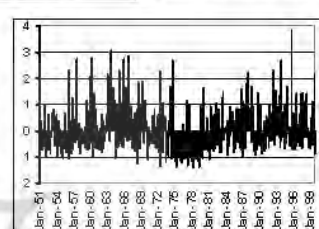
۲۰



۲۱

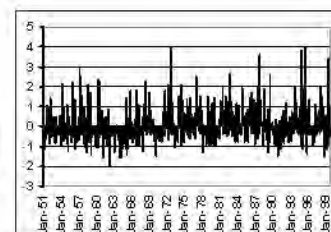
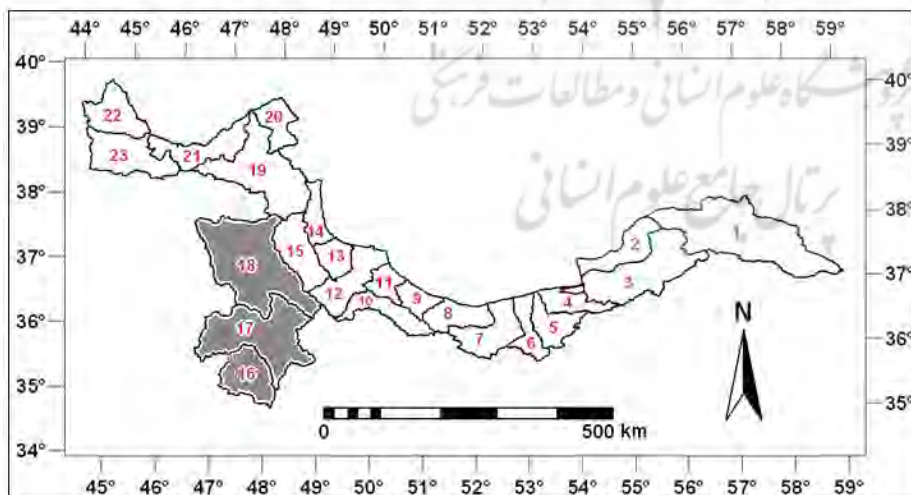


۲۲

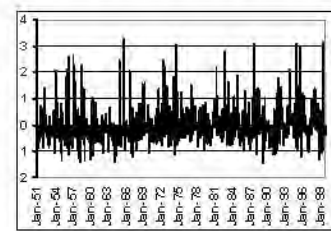


۲۳

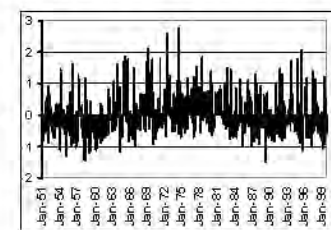
نگاره ۵) شاخص SPI زیرحوضه های ۱۹ تا ۲۳ که وقوع خشکسالی را در اواسط دهه ۷۰ نشان می دهد



۱۶

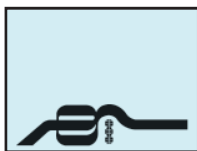


۱۷



۱۸

نگاره ۶): شاخص SPI زیرحوضه های ۱۶ تا ۱۸ که خشکسالی در ابتدای دهه ۶۰ و ترسالی در اواسط دهه ۷۰ را نشان می دهد



جدول (۳): بارش حوضه‌هایی که به روش آزمون خطی در سطح ۹۵٪ دارای روند مثبت یا منفی بوده‌اند.

Jan		Feb		Mar		Apr		May		Jun		Jul		Aug		Sep		Oct		Nov		Dec	
+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-
		۳			۱۳		۲۲			۵	۱۶	۱۴		۱۰		۱۴		۱۵		۱۵			
		۲۳			۱۵					۴	۱۷	۱۵		۵		۱۵		۵					
					۱۲						۲۲			۴		۱۰		۴					
					۱۱						۲۳					۱۱							
					۴											۹							
																۶							
																۵							
																۴							

جدول (۴): حوضه‌هایی که شاخص SPI آنها روند داشته است

Dec	Nov	Oct	Sep	Aug	Jul	Jun	May	Apr	Mar	Feb	Jan
۳	۱۰	۵	۴	۳	۴	۴		۱	۴	۲	۲
۱۵	۱۵	۱۵	۵	۴	۵	۵		۴	۱۱	۳	۶
			۱۰	۵	۱۳			۵	۱۲	۱۲	۷
			۱۵	۱	۱۴			۸	۱۵		۱۸
				۱۱	۲۲			۱۲			۱۹
				۲۳	۲۳						

حوضه‌های شماره ۴ و ۱۵ در پنج ماه و حوضه شماره ۵ در چهار ماه روند منفی نشان می‌دهند. زیرحوضه‌های ۱-۲-۷-۸-۱۸-۱۹-۲۰ هیچ روندی نداشتند (جدول ۳).

با اعمال آزمون ناپارامتری مان - کندال بر روی ماتریس شاخص SPI ۲۳ زیر حوضه دریای خزر مشخص شد که در ماه می هیچ حوضه‌ای روند معناداری نشان نمی‌دهد. بالاترین روند در ماه‌های ژوئیه و اگوست بوده است (در ۶ زیر حوضه). زیرحوضه‌های شماره ۴ و ۵ در شش ماه و زیر حوضه شماره ۱۵ در پنج ماه بالاترین روند را داشته‌اند. در زیرحوضه‌های شماره ۹-۱۶-۱۷-۲۰ و ۲۱ روندی مشاهده نشد (جدول ۴).

نتیجه‌گیری

(۱) خشکسالی در هر رژیم آب و هوایی حادث می‌شود «حتی در اقلیم معتدل و مرطوب سواحل شمالی کشور».

(۲) در حوضه دریای خزر مکانیسم‌های متعددی در ایجاد بارش مؤثر هستند زیرا خشکسالی‌های حادث شده در بخش‌های مختلف آن، همزمان وقوع نیافته‌اند. در دهه ۷۰ زیرحوضه‌های جنوب غربی و شمال آذربایجان دوره خشکسالی نسبتاً مداومی را تجربه کرده‌اند در حالی که زیرحوضه‌های بخش شرقی سواحل دریای خزر و زیرحوضه‌های شمال کردستان در دهه ۶۰ دوره خشکسالی را تجربه کرده‌اند.

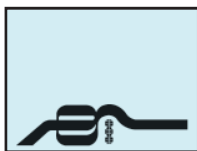
(۳) با اعمال آزمون ناپارامتری مان - کندال بر روی ماتریس شاخص SPI ۲۳ حوضه دریای خزر مشخص شد که در ماه می هیچ حوضه‌ای روند معناداری

(۲) زیرحوضه‌های ۲ تا ۱۰ که عمدتاً در شرق دریای خزر واقع‌اند دوره ترسالی را در دهه ۵۰ و دوره خشکسالی را در اواسط و اواخر دهه ۶۰ تجربه کرده‌اند (نگاره ۳).

(۳) زیرحوضه‌های ۱۱ تا ۱۵ که عمدتاً در جنوب غرب دریای خزر واقع‌اند (نگاره ۴) و همین‌طور زیرحوضه‌های ۱۹ تا ۲۳ که در شمال آذربایجان قرار دارند (نگاره ۵)، دوره خشکسالی را در دهه ۷۰ تجربه کرده‌اند. این نشان دهنده این است که ساختار بارش این دو گروه شباهتهایی با هم دارند که ضعف عوامل مؤثر در ایجاد بارش در دوره مذکور در هر دو منطقه مشهود است.

(۴) در حالی که حوضه‌های شرقی دریای خزر در دهه ۷۰ دوره ترسالی را تجربه می‌کرده‌اند، سه زیر حوضه ۱۶، ۱۷، ۱۸ که تقریباً خارج از محدوده سواحل دریای خزر در پشت رشته کوه البرز هستند (نگاره ۶)، دوره خشکسالی را در اوایل دهه ۶۰ و دوره ترسالی را در اواسط دهه ۷۰ تجربه کرده‌اند که تشابه آنها از این حیث به حوضه‌های شرقی دریای خزر بیشتر است. در کل می‌توان گفت که ساختار بارش در حوضه خزر همگن نیست و مکانیسم‌های جداگانه‌ای در ایجاد بارش این حوضه دخالت دارند. زیرا زمان و تداوم وقوع خشکسالی و ترسالی‌ها یکسان و یکنواخت نمی‌باشد.

با اعمال آزمون پارامتری رگرسیون خطی بر روی ماتریس بارش ۲۳ زیر حوضه دریای خزر مشخص شد که ماه‌های ژانویه، می و دسامبر در سطح اطمینان ۹۵٪ روند معناداری نشان نمی‌دهند. ۵ زیر حوضه روند مثبت (در ماه‌های فوریه و ژوئیه) و ۱۱ زیر حوضه روند منفی نشان می‌دهند (عمدتاً در ماه‌های مارس و سپتامبر)



۳) لشنی زند، مهران، ۱۳۸۳، بررسی شدت و فراوانی خشکسالی‌های اقلیمی در شش حوضه واقع در غرب و شمال غرب کشور، مجله پژوهشی دانشگاه اصفهان (علوم انسانی) جلد شانزدهم شماره ۱.

4) Burn, D. H. (1994) Hydrologic effects of climate changes in West Central Canada. *Journal of hydrology*, 160, 53-70.

5) Chiew, F. H. S., McMahon, T. A. (1993) Detection of trend or change in annual flow of Australian rivers. *International Journal of Climatology*, 13, 643-653

6) De Paulo, V., Da Silva, R., (2004). On climate variability in Northeast of Brazil. *Journal of Arid Environment*, 58:575-596

7) Douglas, E. M., Vogel, R. M., Kroll, C. N. (2000). Trends in flood and low flows in the United States: impacts of spatial correlation. *Journal of Hydrology*, 240, 90-105

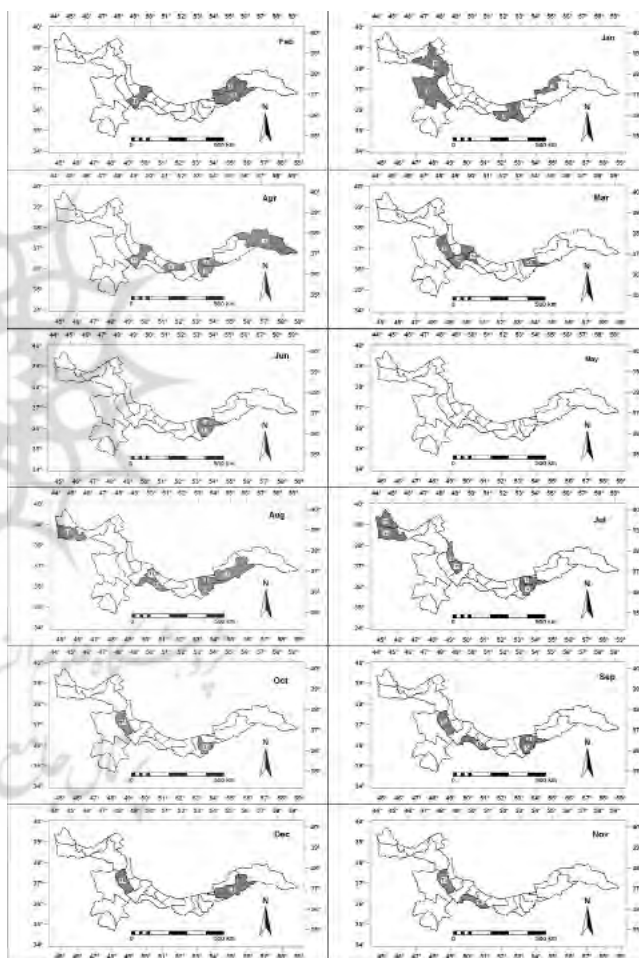
8) Lazaro, R., Rodrigo, F. s., Gutierrez, L., Domingo, F., Puigdefabregas, J (2001). Analysis of a 30year rainfall record (1967-1997) in semi-arid SE Spain for implications on Vegetation. *Journal of Arid Environments*, 48: 373-395.

9) Ni, J., Zhang, X. S. (2000). Climate variability, ecological gradient and the Northeast China Transect (NECT). *Journal of Arid Environments*, 49: 313-325.

10) Yue, S., Pilon, P., Cavadias, G. (2002). Power of the Mann-Kendall and Spearman s rho test for detecting monotonic trends in hydrologic series. *journal of hydrology*, 259, 254-271

نشان نمی‌دهد. بالاترین روند در ماه‌های ژوئیه و اگوست بوده است (در ۶ زیر حوضه). زیرحوضه‌های شماره ۴ و ۵ در شش ماه و زیر حوضه شماره ۱۵ در پنج ماه بالاترین روند را داشته‌اند. در زیرحوضه‌های شماره ۹ - ۱۶ - ۱۷ - ۲۰ و ۲۱ روندی مشاهده نشد.

۴) بر اساس آزمون رگرسیون خطی بارش ۲۳ حوضه دریای خزر در ماه‌های ژانویه، می و دسامبر در سطح اطمینان ۹۵٪، روند معناداری نشان نمی‌دهند. ۵ حوضه در ماه‌های فوریه و ژوئیه روند مثبت و ۱۱ حوضه عمدتاً در ماه‌های مارس و سپتامبر روند منفی نشان می‌دهند. حوضه‌های شماره ۴ و ۱۵ در پنج ماه و حوضه شماره ۵ در چهار ماه روند منفی نشان می‌دهند. زیرحوضه‌های ۱-۲-۷-۸-۱۸-۱۹-۲۰ هیچ روندی نداشتند.



نگاره (۷): حوضه‌هایی که شاخص SPI آنها روند داشته است.

منابع و مأخذ

- ۱) علیجانی، بهلول و کاویانی، محمد رضا، (۱۳۷۱)، مبانی آب و هوا شناسی، انتشارات سمت، تهران.
- ۲) مسعودیان، سید ابوالفضل، (۱۳۸۲)، بررسی روند بارش ایران در نیم سده گذشته، مجله جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای، سال اول، شماره ۲.