

ارزیابی چند شاخص خشکسالی اقلیمی و تعیین مناسبترین شاخص در حوضه دریاچه نمک¹ طاهره انصافی مقدم¹

1-عضو هیئت علمی موسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور.
تاریخ دریافت: 1385/6/1 تاریخ پذیرش: 86/4/30

چکیده

تحقیق حاضر، تلاشی است برای ارزیابی کارایی برخی از شاخصهای متداول اقلیمی در اقلیمهای نمونه و معرف حوضه دریاچه نمک. این شاخصها که در حال حاضر در سیستم های فعال جهانی مورد استفاده قرار می گیرند عبارتند از: شاخص درصد نرمال، شاخص دهک، شاخص SPI، شاخص ZSI. این شاخصها طی یک دوره آماری 44 ساله بر روی 34 ایستگاه هواشناسی حوضه دریاچه نمک مورد بررسی و مقایسه قرار گرفتند. نتایج حاصل از آزمون فرضیه ها نشان داد شاخص دهک (DI) و شاخص SPI مقارن با سال وقوع کمینه بارندگی، رخداد خشکسالی شدید و بسیار شدید را در تمام ایستگاههای تحت مطالعه نشان داده و کارایی بیشتری نسبت به سایر شاخصها از جنبه نمایش خشکسالی بسیار شدید دارند. شاخص (PNI) در 24 ایستگاه تحت مطالعه با رخداد خشکسالی بسیار شدید در طی سالهای وقوع کمینه بارندگی انطباق داشته و در 10 ایستگاه مقارن با سال وقوع کمینه بارندگی، با خشکسالی شدید و بسیار شدید تطابق نداشته است. فراوانیهای مقادیر مختلف شاخص (SPI) و (ZSI) رفتار و عملکرد مناسب و مشابهی نشان دادند. بر این اساس در انتخاب مناسب ترین شاخص جهت تحلیل وضعیت خشکسالی در طی سالهای یک دوره طولانی مدت، شاخص SPI و شاخص دهکها در جایگاه نخست، شاخص ZSI در جایگاه دوم، شاخص درصد نرمال در جایگاه سوم قرار می گیرد.

واژه های کلیدی: حوضه دریاچه نمک، روشهای آماری، شاخصهای خشکسالی، شاخصهای متداول اقلیمی

مقدمه

گردیده است». (سازمان جنگلها، مراتع و آبخیزداری، 1383). «خشکسالیهای بازگشت کننده باروری سرزمینها را تهدید کرده و آنها را متمایل می سازد تا برای تخریب سریع و پس از آن، بیابانزایی آسیب پذیر و

«خشکسالی پدیده ای است که به صورت مکرر و تقریباً در هر نوع آب و هوایی به وقوع می پیوندد» (مهدویان و همکاران، 1384). «قرارگرفتن بر روی کمربند خشک جهان و ایجاد شرایط خاص سینوپتیکی، همواره سبب وقوع پدیده خشکسالی در کشور ایران

- این مقاله بخشی از نتایج طرح تحقیقاتی «بررسی و ارزیابی شاخص های اقلیمی و تعیین شاخص مناسب پیش بینی خشکسالی در حوضه دریاچه نمک» است که اجرا آن در موسسه تحقیقات جنگلها و مراتع در سال 1385 به پایان رسیده و اصل گزارش آن با شماره ثبت 4516 و کد 06-417000-0310-82 موجود می باشد.

خشکسالی ایران نشان می‌دهد که بطور کلی هیچ منطقه ای از کشور، از این پدیده درامان نبوده و به نسبت موقعیت طبیعی خود اثرهای این پدیده مخرب را تجربه می‌نماید و بخشهای جنوبی، شرقی و مرکزی کشور به علت نوسانهای بیشتر در مقادیر بارندگی، از آسیب پذیری زیادتری برخوردار هستند. پهنه حوضه دریاچه نمک به دلیل شرایط ویژه آب و هوایی از این پدیده مصون نبوده و همواره خشکسالی در همه مناطق آن محتمل می‌باشد. از این رو، لازم است برای شناسایی مشخصه‌های آن در هر منطقه به تدوین و ارائه طرحهای بلند مدت علمی پرداخت تا به مدد دانش و آگاهی، بتوان برای عبور از این پدیده با حداقل خسارات اجتماعی و اقتصادی آمادگی لازم را پیدا کرد و خسارت ناشی از آن را به حداقل رساند.

مواد و روشها

استخراج و آماده سازی داده ها الف- انتخاب

ایستگاهها و استخراج داده‌های اقلیمی

پس از تعیین موقعیت جغرافیایی حوضه آبخیز دریاچه نمک، انتخاب 300 ایستگاه هواشناسی که از سال 1957 تا 2000، دارای سابقه آمار بودند و از سوی دیگر در محدوده حوضه آبخیز دریاچه نمک یا نزدیک به مرز حوضه قرار داشتند، انتخاب شدند. به منظور داشتن میانگین قابل اعتماد، و بر اساس انتخاب آستانه حداقل 25 تا 45 سال، از بین 300 ایستگاه فهرست شده 266 ایستگاه حذف شده و فقط 34 ایستگاه باقی ماندند. (جدول شماره 1). علت حذف سایر ایستگاهها نداشتن آمار طولانی مدت بود.

مستعد شوند» (WMO,1997). «نوسانهای آب و هوایی که باعث بیابان زایی می‌شود، بیشتر به کاهش میزان بارندگی، رطوبت، افزایش دما به ویژه در تابستان، افزایش میزان خشکی، تبخیر و تعرق، وزش بادهای گرم و سوزان و کاهش پوشش گیاهی ارتباط می‌یابند» (سیوف، 1385). خشکسالی و کمبود ریزشهای جوی نیز از جمله عوارضی است که همگام با دخالت مطالعه نشده انسان در طبیعت، محدودیت منابع آب را تشدید می‌کند. تدوین ماهیت اقلیم شناسی خشکسالی یک منطقه درک بهتری از خصوصیات و احتمال وقوع مجدد با شدت های مختلف این پدیده بدست می‌دهد. خشکسالی تاثیر عمده‌ای بر خاک‌ها و پوشش گیاهی، منابع آب و کاربری زمین توسط انسان دارد. خشکسالی کاهش طبیعی وقوع بارندگی در دوره‌ای ممتد از زمان است که معمولاً یک فصل یا بیشتر طول می‌کشد و اغلب با سایر عوامل آب و هوایی نظیر دمای بالا، بادهای فراوان و رطوبت نسبی کم همراه است که می‌تواند شدت واقعه را افزایش دهد. بدین ترتیب خشکسالی بخشی از ویژگیهای هر اقلیم محسوب می‌شود که هر از چندگاه اقلیمها را تحت تاثیر خود قرار می‌دهد. متأسفانه زمانی به خشکسالی پرداخته می‌شود که این بلای طبیعی جامعه را فراگرفته باشد، در این حالت مجریان و دست اندرکاران در شرایطی کاملاً منفعلانه مجبور می‌شوند تا اقداماتی را که معمولاً طرحهایی کوتاه مدت و بسیار پرهزینه است، بطور سریع در رفع بحران به انجام رسانند. ایران در طول تاریخ، صدها دوره خشکسالی را بدون مسئله پشت سر گذاشته است. اما به تازگی و به ویژه در دهه اخیر با صدمات زیاد ناشی از خشکسالی روبرو شده است. ویژگیهای

جدول 1- فهرست ایستگاههای برگزیده هواشناسی در حوضه آبریز دریاچه نمک

ردیف	نام ایستگاه	نوع ایستگاه	ارتفاع	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	سابقه آمار	ملاحظات
1	آوج	کلیماتولوژی	1894	35 35	13 49	33	ناپیوسته
2	اراک	سینوپتیک	1753	6 34	46 49	44	پیوسته
3	اردستان	کلیماتولوژی	1381	32 33	23 52	32	ناپیوسته
4	اصقهان	سینوپتیک	1590	37 32	40 51	44	پیوسته
5	امین‌آباد	کلیماتولوژی	1000	35 35	28 51	31	ناپیوسته
6	بروجرد	کلیماتولوژی	1600	54 33	38 48	36	ناپیوسته
7	تاکستان	کلیماتولوژی	1325	4 36	42 49	31	ناپیوسته
8	تفرش	کلیماتولوژی	1878	41 34	2 50	37	پیوسته
9	تهران (فرودگاه)	سینوپتیک	1191	41 35	19 51	44	پیوسته
10	خرمدره	کلیماتولوژی	1570	12 36	12 49	33	ناپیوسته
11	خنداب	کلیماتولوژی	1920	24 34	12 49	25	ناپیوسته
12	خوانسار	کلیماتولوژی	2300	14 33	19 50	26	ناپیوسته
13	دامنه فریدن	کلیماتولوژی	2300	1 33	29 50	35	ناپیوسته
14	درگزین	کلیماتولوژی	1870	21 35	4 49	22	ناپیوسته
15	دوشان تپه	سینوپتیک	1232	42 35	25 51	28	پیوسته
16	دودهک	کلیماتولوژی	1445	3 34	38 50	34	ناپیوسته
17	دوزج	کلیماتولوژی	2100	24 35	49 49	28	ناپیوسته
18	زنجان	سینوپتیک	1663	41 36	29 48	44	پیوسته
19	ساوه	سینوپتیک	1167	01 35	21 50	37	ناپیوسته
20	شمس‌آباد	کلیماتولوژی	1400	49 33	44 49	41	ناپیوسته
21	قروین	سینوپتیک	1340	15 36	0 50	44	پیوسته
22	قم	سینوپتیک	928	42 34	1 50	39	ناپیوسته
23	کاشان	سینوپتیک	954	59 33	27 51	35	پیوسته
24	کرج	سینوپتیک	1312	55 35	54 50	33	پیوسته
25	کرج (دانشکده کشاورزی)	کلیماتولوژی	1321	48 35	2 51	29	پیوسته
26	گلپایگان	سینوپتیک	1870	28 33	17 50	41	پیوسته
27	گرگان آشتیان	کلیماتولوژی	1741	33 34	58 49	23	پیوسته
28	گرمسار	سینوپتیک	825/2	12 35	16 52	42	ناپیوسته
29	ملایر	کلیماتولوژی	1740	17 34	49 48	24	ناپیوسته
30	نطنز	کلیماتولوژی	1685	32 33	56 51	32	ناپیوسته
31	ورامین	کلیماتولوژی	1000	19 35	39 51	35	ناپیوسته
32	همدان (فرودگاه)	سینوپتیک	1749	51 34	32 48	30	پیوسته
33	همدان (نوزه)	سینوپتیک (مرجع)	1644	12 35	41 48	44	پیوسته
34	همند آبسرد	کلیماتولوژی	1800	39 35	5 52	37	ناپیوسته

قرار گرفتند. ضرایب همبستگی برای کلیه ایستگاههای مرجع و ناقص در سطح 1٪ معنی دار بودند.

ه- انجام محاسبات برای طولانی کردن سریها از مجموع بارانهای سالیانه

1 - تعیین مقدار قابل بسط و توسعه آمار

هنگام برقراری همبستگی بین دو متغیر، ابتدا باید

$$N_e = \frac{N}{1 + \left(\frac{N-n}{n-2} \right) (1-R^2)}$$

مدت زمان مجاز قابل گسترش برای تطویل آمار ایستگاههای ناقص را بدست آورد. برای این منظور از رابطه زیر استفاده شد: (مهدوی، 1381).

مدت مجاز آمار برای تطویل با احتساب آمار ایستگاه کوتاه

$N_e =$ مدت

n = تعداد سالهای آماری مربوط به آمارهای کوتاه مدت

N = تعداد سالهای آماری مربوط به ایستگاه شاهد یا مبنا

R = ضریب همبستگی بین دو متغیر قبل از تطویل آمار

حد مجاز تطویل آمار با استفاده از ضرایب همبستگی

ایستگاههای تابع و مرجع، از رابطه فوق محاسبه شد. با

توجه به حاصل محاسبات انجام شده، دوره پایه 44 سال

برای کلیه ایستگاهها، قابل گسترش و تطویل می باشد.

برای تکمیل خلاء های آماری ایستگاههای ناقص با

استخراج مقادیر a و b و جایگزین کردن آنها در معادله

رگرسیون $(Y=a+bx)$ خلاء آماری ایستگاههای ناقص

برطرف گردید. (جدول شماره 2)

ب- انتخاب پایه زمانی مشترک یا دوره شاخص آماری

از بین 300 ایستگاه فهرست شده گزینشی بر مبنای سال میلادی (2000) که جدیدترین آمار و اطلاعات اقلیمی را در بر داشت انجام گردید. بدین ترتیب که کلیه ایستگاههای واقع در حوضه دریاچه نمک ایران که فهرست و آمار آنها در سالنامه 2000 موجود است، استخراج شدند. برای انتخاب دوره آماری آنها ضرورتا به سالهای قبل مراجعه شد. آن دسته از ایستگاههای استخراج شده که از سال 1957 تا 2000 دارای آمار بودند و از سوی دیگر در محدوده حوضه دریاچه نمک ایران یا نزدیک به مرز حوضه قرار داشتند، انتخاب شدند. آستانه حداقل 25 سال و حداکثر 44 سال به منظور داشتن میانگین قابل اعتماد، حتی الامکان در نظر گرفته شد.

ج- بررسی درستی و همگنی داده ها

در بررسی درستی و همگنی داده های آماری، دو روش آزمون منحنی جرم مضاعف (Double Mass) curve test و آزمون توالی¹ (Runs Test) مورد استفاده قرار گرفته و در مورد کلیه ایستگاههای مورد بررسی اعمال شده است.

د- بازسازی نواقص آماری

این کار به کمک روش همبستگی بین ایستگاهها انجام شد. ایستگاههای مرجع یا شاخص که از آمار کامل 44 سال برخوردار بودند و از نظر ارتفاع و طول و عرض جغرافیایی، بر مبنای نزدیک بودن ارقام فاصله و ارتفاع، وضعیتی مشابه ایستگاههای ناقص داشتند، برای بازسازی خلاء آماری ایستگاههای ناقص همان منطقه مورد استفاده

³ - آزمون روش غیر نموداری، آزمون توالی، آزمون دنباله ها و با ()

Runs Test نامهای متعدد یک روش بررسی می باشند.

جدول 2- ضرایب همبستگی ایستگاههای تابع و مرجع برای داده های میانگین سالانه بارش (1957-2000)

ایستگاههای مرجع	تعداد سال های آماری	ارتفاع به متر	ایستگاههای ناقص	تعداد سال های آماری	ارتفاع به متر	تعداد سالهای مشترک	ضریب همبستگی	معادله رگرسیون (Y=A+BX)	آمار کامل منهای حد مجاز	حدمجاز تطویل آمار
اراک	44	1753	ساوه	33	1167	33	0.887	$Y = -0.249 + 0.756 X$	40.9	8
			شمس آباد اراک	41	1400	38	0.804	$Y = 4.241 + 0.749 X$	42.8	2
			تفرش	37	1878	33	0.894	$Y = 2.228 + 0.890 X$	42.3	5
			گرگان آشتیان	23	1741	23	0.848	$Y = 4.911 + 0.632 X$	34.4	11
			دوزج	23	2100	21	0.81	$Y = 0.995 + 0.851 X$	32.7	10
اصفهان	44	1590	اردستان	32	1381	28	0.83	$Y = 0.241 + 0.761 X$	39.1	7
			نطنز	28	1685	28	0.825	$Y = 0.191 + 0.928 X$	36.8	9
قزوین	44	1340	تاکستان	27	1325	27	0.894	$Y = 0.184 + 0.738 X$	38.7	12
تهران	44	1191	امین آباد	31	1000	27	0.914	$Y = 0.811 + 0.788 X$	41.0	10
			دوشان تپه	28	1232	24	0.957	$Y = 2.159 + 0.958 X$	41.8	14
			قم	39	928	35	0.776	$Y = 1.220 + 0.617 X$	41.8	3
			گرمسار	42	852.	38	0.793	$Y = 6.377 + 1.043 X$	43.2	1
			کرج (دانشکده)	29	1321	30	0.879	$Y = 3.217 + 0.901 X$	39.1	10
			کرج (سینوپتیک)	33	1312	29	0.898	$Y = 3.276 + 0.926 X$	41.2	8
			ورامین	35	1000	35	0.868	$Y = 1.045 + 0.661 X$	41.2	6
گرمسار	44	852.	کاشان	35	954	31	0.777	$Y = 3.225 + 0.816 X$	39.7	5
			کویر	10	792	10	0.783	$Y = 1.365 + 0.677 X$	16.6	7
قم	44	928	دودهک	34	1445	34	0.83	$Y = 1.902 + 0.851 X$	40.1	6
گلپایگان	44	1870	دامنه فریدن	35	2300	31	0.971	$Y = 1.213 + 0.981 X$	43.3	8
			خوانسار	26	2300	23	0.913	$Y = 2.255 + 0.906 X$	39.1	13
همدان (نورّه)	44	1644	آوج	33	1894	28	0.911	$Y = 1.874 + 0.924 X$	41.5	8
			بروجرد	36	1600	31	0.873	$Y = 3.094 + 0.879 X$	41.7	6
			درگزین همدان	22	1870	18	0.941	$Y = 0.954 + 0.932 X$	39.1	17
			همدان (فرودگاه)	30	1749	20	0.96	$Y = 1.032 + 0.919 X$	42.3	12
			ملایر	24	1740	22	0.885	$Y = 0.576 + 0.913 X$	36.8	13
زنجان	44	1663	خرمدره	33	1570	29	0.847	$Y = 1.463 + 0.896 X$	40.0	7
			همند آبسرد	37	1800	33	0.78	$Y = 6.975 + 0.77 X$	40.8	4
بروجرد	44	1600	خنداب	25	1920	24	0.896	$Y = 0.119 + 0.835 X$	37.8	13

*همه ضرایب همبستگی در سطح 1٪ معنی دار است

شاخصهای خشکسالی

شاخص درصد نرمال (Percent of Normal Index- PNI)

PNI عبارت است از:

$$PN = \frac{p1}{p}$$

که در این رابطه P_1 بارندگی ماه، یا دوره مورد نظر و P میانگین بارش طولانی مدت طی این دوره می باشد.

جدول 3- طبقه بندی درصد از نرمال (PN)

وضعیت	درصد از نرمال
خشکسالی ضعیف	70 تا 80 درصد
خشکسالی متوسط	55 تا 70 درصد
خشکسالی شدید	40 تا 55 درصد
خشکسالی بسیار شدید	کمتر از 40 درصد

شاخص دهک* (Desiles Index-DI) وقوع

بارندگیهای طولانی مدت را در دهم هایی از توزیع نرمال

تقسیم کرده و هریک از این

$$P_i = \frac{i}{N+1} * 100$$

گروهها را یک دهک می نامند.

به منظور محاسبه دهکها ابتدا

داده های بارندگی ماهانه یا سالانه به صورت صعودی

*- اگر رشته مرتب نمره ها را با 9 نقطه به فاصله یکسان از مبداء به 10

قسمت مساوی تقسیم کنیم هر قسمت یک دامنه دهکی نامیده می شود.

دهک اول، شامل یک دهم یا 10٪ ضعیف ترین نمره هاست. دهک دوم،

شامل 10٪ قویتر از دهک اول و ضعیف تر از دهک سوم است ...دهک

دهم، شامل 10٪ قویترین نمره ها می شود. نقطه های نه گانه تقسیم دهک ها

به ترتیب شامل D1 (دهک اول)، D1، D2، D3، D4 و ... D9 علامت

گذاری می شوند. در این مقیاس میانه مترادف با دهک پنجم است.

2- انجام محاسبات برای طولانی کردن سریها از

مجموع بارانهای ماهانه

درمورد مقادیر ماهانه بارش، بین ماههای مشابه

ایستگاههای ناقص و مرجع، ضریب همبستگی محاسبه و

معادله ویژه همبستگی هر ماه متناظر در ایستگاههای

مرجع برای بازسازی همان ماه در ایستگاه ناقص بکار

برده شد.

و- محاسبه و کاربرد شاخص های اقلیمی برای

آزمودن کارایی و انتخاب بهترین شاخص

توصیفگر خشکسالی در داده های حوضه دریاچه نمک

مراحل انجام شده در این بخش به شرح زیر می باشد

:

1. محاسبه و کاربرد شاخص (PNI)، (SPI)، (DI)،

(ZSI) بر روی داده های یک دوره 44 ساله اقلیمی در 34

ایستگاه هواشناسی حوضه دریاچه نمک

2. تعیین درجه های خشکسالی بر اساس طبقه

بندی هر یک از شاخصها در هر ایستگاه در طول دوره

مورد بررسی.

ز- تهیه جدولها و ترسیم نمودارهای هر یک از

شاخصها در هر ایستگاه در طول دوره مورد بررسی

1. ترسیم نمودارهای تغییرات سال به سال داده های

هر ایستگاه بر اساس هریک از شاخصها در طول دوره

مورد بررسی

2. ترسیم نمودارهای میانگین متحرک داده های هر

ایستگاه بر اساس هریک از شاخصها در طول دوره مورد

بررسی

3. مقایسه کلیه نمودارهای ترسیم شده از طریق

انطباق نمودارهای هر یک از شاخصهای محاسبه شده در

یک نمودار کلی

مقادیر تجمعی SPI نیز، بزرگی و شدت دوره خشکسالی و همچنین دوره های مرطوب را نشان می دهد. یک خشکسالی زمانی اتفاق می افتد که شاخص بارش استاندارد منفی، تداوم داشته باشد و همچنین وقوع یک خشکسالی زمانی شدید است که شاخص بارش استاندارد 1- یا کمتر باشد و در صورتی که SPI مثبت شود رخداد خشکسالی به پایان خواهد رسید. مدت دوره خشکسالی با شروع و خاتمه ارقام منفی SPI تعیین می شود و مقادیر تجمعی SPI نیز، بزرگی و شدت دوره خشکسالی را نشان می دهد. طبقه بندی مقادیر SPI در جدول شماره (5)، ارائه شده است. (HAYES, 2000, MICHAEL به نقل از مرید و همکاران، 1384).

مرتب می شود. سپس احتمال وقوع بارش یک ماه یا سال معین از رابطه زیر تعیین می شود: که در آن π_i احتمال وقوع بارندگی در شماره ردیف i ام و N تعداد داده های بارندگی می باشد. در این صورت برحسب اینکه یک مقدار π_i در چه فاصله دهکی (فاصله 10 درصدی) قرار گرفته باشد مطابق جدول شماره (4)، یکی از درجه های خشکی به آن نسبت داده می شود. طبق تعریف، دهک اول مقدار بارندگی است که از کمترین 10 درصد احتمال وقوع بارش تجاوز ننماید. دهک دوم، مقدار بارندگی است که از کمترین 20 درصد احتمال وقوع بارش تجاوز ننماید و الی آخر. (خلیلی و بذرافشان، 1382)

جدول 5- طبقه بندی SPI

SPI	وضعیت
بزرگتر از یا مساوی 2	فرا مرطوب
1/5 تا 1/99	بسیار مرطوب
1 تا 1/99	نسبتا مرطوب
0/99- تا 0/99	نزدیک نرمال
1- تا 1/49-	نسبتا خشک
1/5- تا 1/99-	بسیار خشک
کوچکتر یا مساوی 2-	فرا خشک

شاخص Z-SCORE (ZSI)

$$Z = \frac{x_i - \bar{x}}{S}$$

رابطه بالا، برای محاسبه شاخص Z-SCORE (ZSI) قابل استفاده است (Triola, 1995) به نقل از مرید و همکاران، 1384).

$Z =$ نمره استاندارد بارش یا متغیر استاندارد شده
 $X_i =$ میانگین ماهانه بارش

جدول 4- طبقه بندی دهکها (DI)

مقدار درصد وقوع	وضعیت	شماره دهک
کمتر از 20 درصد	خشکسالی خیلی شدید	اول
20 تا 30 درصد	خشکسالی شدید	دوم
30 تا 40 درصد	خشکسالی	سوم
40 تا 50 درصد	تقریبا نرمال	چهارم
50 تا 60 درصد	نرمال	پنجم
60 تا 70 درصد	نرمال	ششم
70 تا 80 درصد	کمی مرطوب	هفتم
80 تا 90 درصد	مرطوب	هشتم
90 تا 99 درصد	بسیار مرطوب	نهم
بیشتر از 99 درصد	فوق العاده مرطوب	دهم

شاخص بارندگی استاندارد شده: (Standard)

Precipitation Index - SPI

طبق این روش، دوره خشکسالی هنگامی اتفاق می افتد که SPI به طور مستمر منفی و به مقدار 1- یا کمتر برسد، و هنگامی پایان می یابد که SPI مثبت گردد و

جدول 6- طبقه بندی ZSI

Z-SCORE (ZSI)	وضعیت
+0.25 تا -0.25	خشکسالی ضعیف
-0.25 تا -0.52	خشکسالی متوسط
-0.52 تا -0.84	خشکسالی شدید
-0.84 تا -1.28	خشکسالی بسیار شدید

$$\bar{X} =$$
 میانگین بارش کل دوره

$$S =$$
 انحراف از معیار بارندگی در هر مقیاس زمانی

در جدول شماره (6)، طبقات شدت درجه خشکسالی در شاخصهای مورد بررسی نشان داده شده است.

جدول 7- طبقات مختلف شاخصهای مختلف خشکسالی (خلیلی و بذرافشان، 1382)

شاخص Z-SCORE (ZSI)	شاخص دهمک (DI)	شاخص درصد نرمال (PNI)	شاخص (SPI) بارندگی استاندارد شده	طبقات شدت خشکسالی
+0.25 تا -0.25	%40 تا %60	%80 تا %120	-1 تا +1	نرمال
-0.25 تا -0.52	%30 تا %40	%70 تا %80	*	خشکسالی ضعیف
-0.52 تا -0.84	%20 تا %30	%55 تا %70	-1 تا -1.5	خشکسالی متوسط
-0.84 تا -1.28	%10 تا %20	%40 تا %55	-1.5 تا -2	خشکسالی شدید
کمتر از -1.28	کمتر از %10	کمتر از %40	کمتر از -2	خشکسالی بسیار شدید

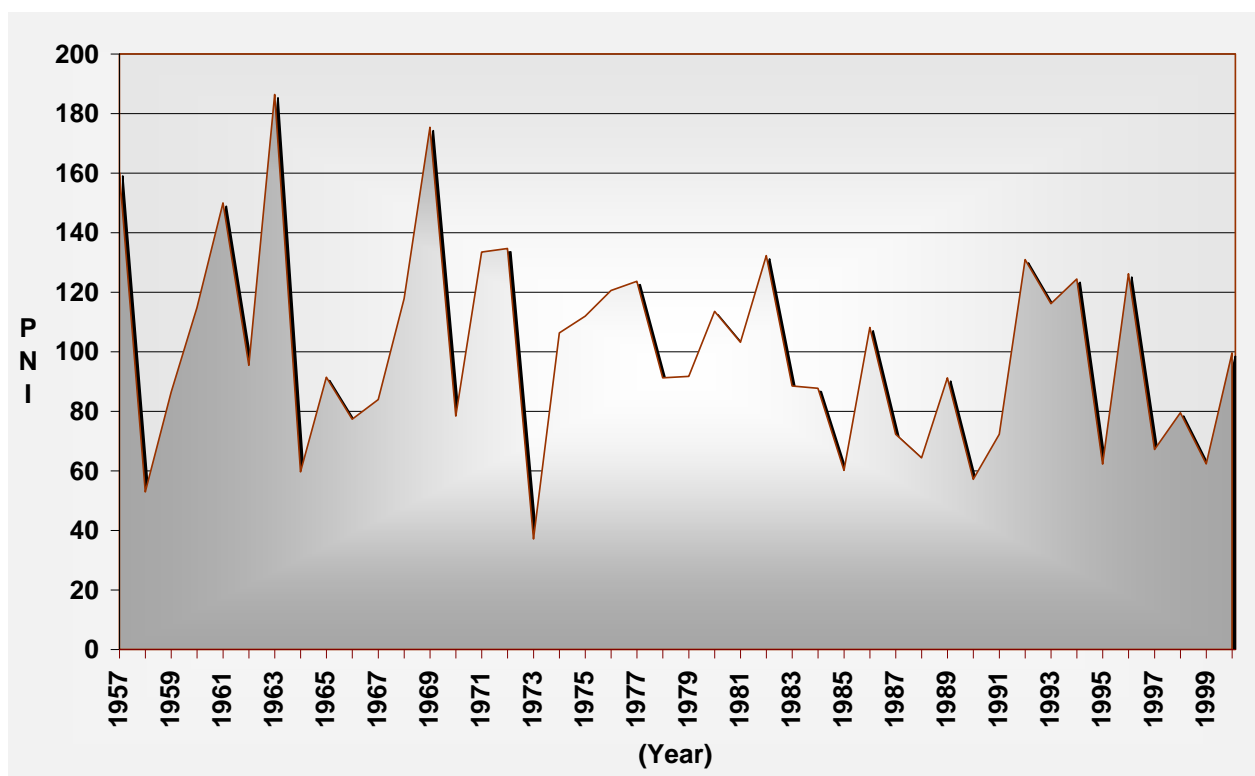
* تعریف نشده است.

نتایج

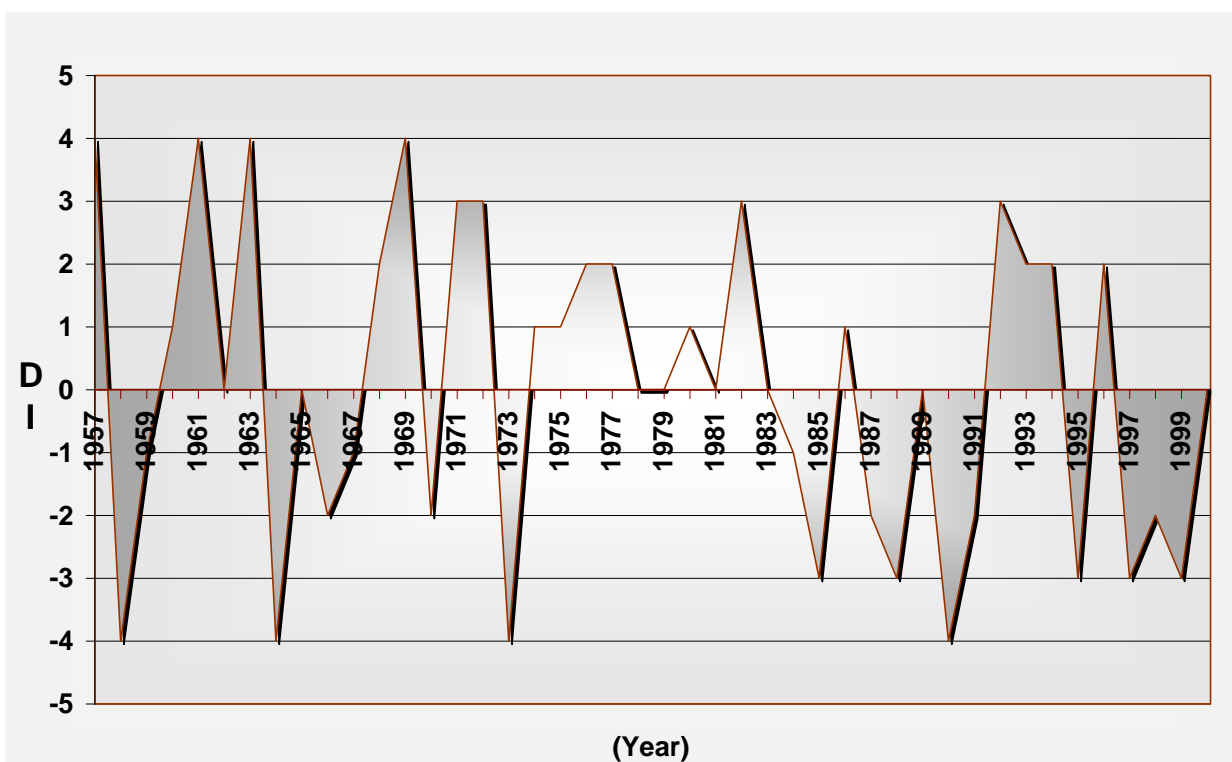
بررسی چهار شاخص خشکسالی

به منظور بررسی دقیق و کمی سازی شدت خشکسالی و برای تعیین تاریخ شروع، خاتمه و طول مدت یا تداوم خشکسالی و با استفاده از لوح فشرده تخصصی- آموزشی تحت عنوان Drought Indices package از چهار شاخص منتخب اقلیمی استفاده شد. هر یک از این شاخصها اولاً بطور دقیق تعیین کننده طول دوره های مرطوب و خشک بوده اند، ثانیاً خصوصیات یک خشکسالی را از حیث زمان شروع، خاتمه، شدت و طول مدت یا تداوم به خوبی در منطقه نشان داده اند. می

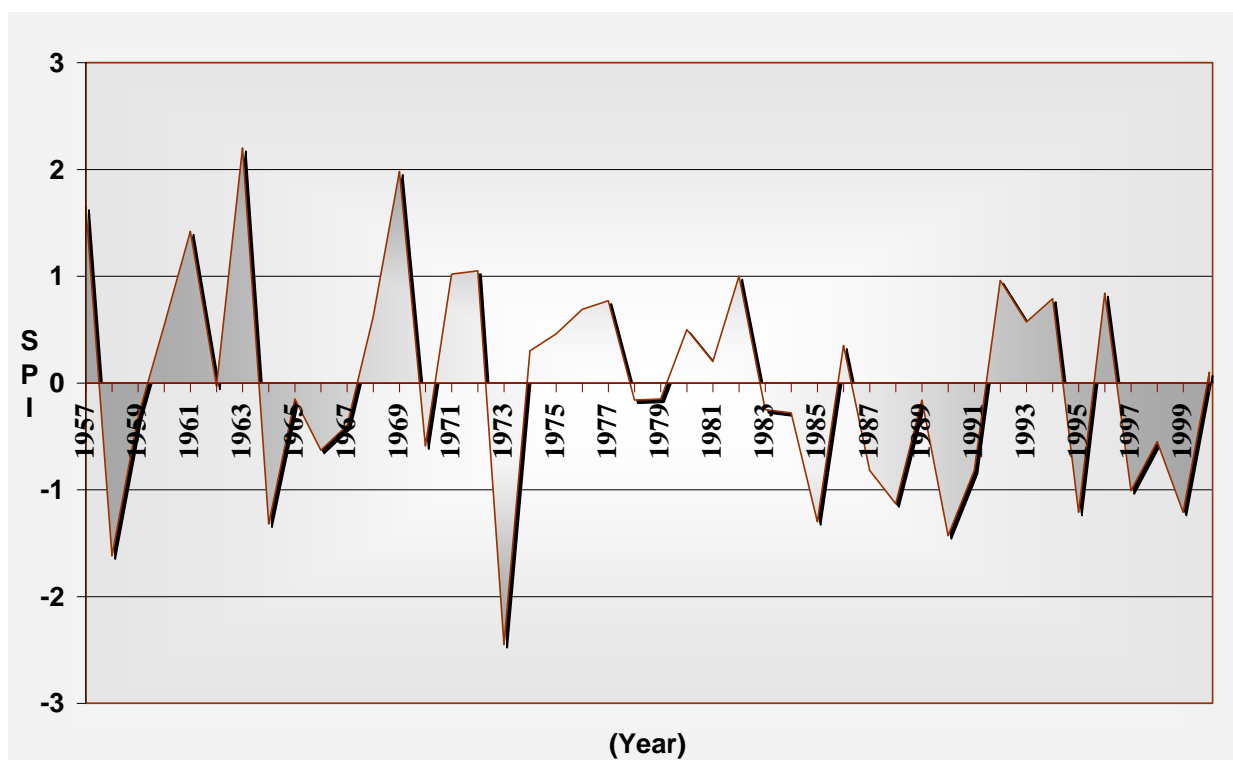
توان با استفاده از شاخصهای مورد بررسی وضعیت خشکسالی را برای هر ایستگاه بررسی نمود و وقوع خشکسالی را در منابع آب و خاک نشان داد. در این بخش، نمودار شاخصهای مورد مطالعه در ایستگاه اراک در (شکل های شماره 1، 2، 3 و 4) به عنوان نمونه ارائه شده و سپس انطباق و مقایسه هر 4 شاخص مورد مطالعه در ایستگاه اراک در شکل شماره (5) نشان داده شده است.



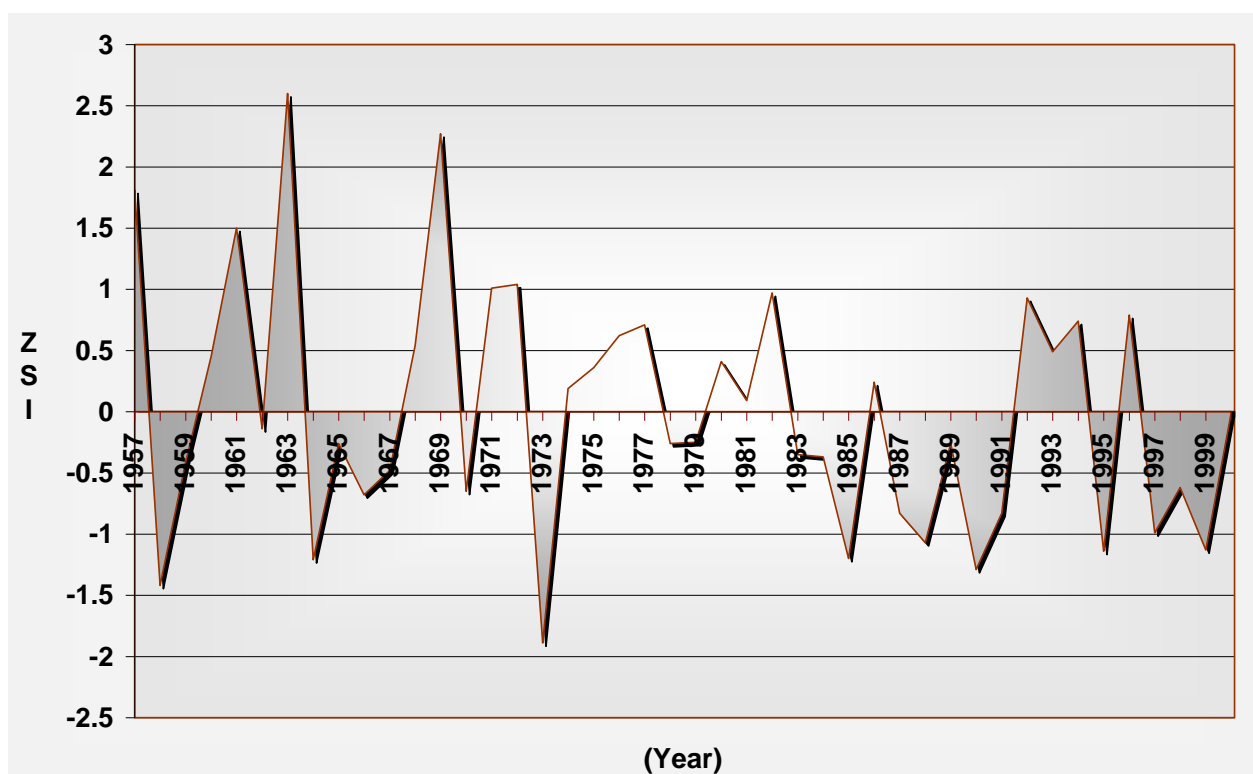
شکل 1- تغییرات سال به سال شاخص PNI در ایستگاه اراک در طول دوره (1957-2000)



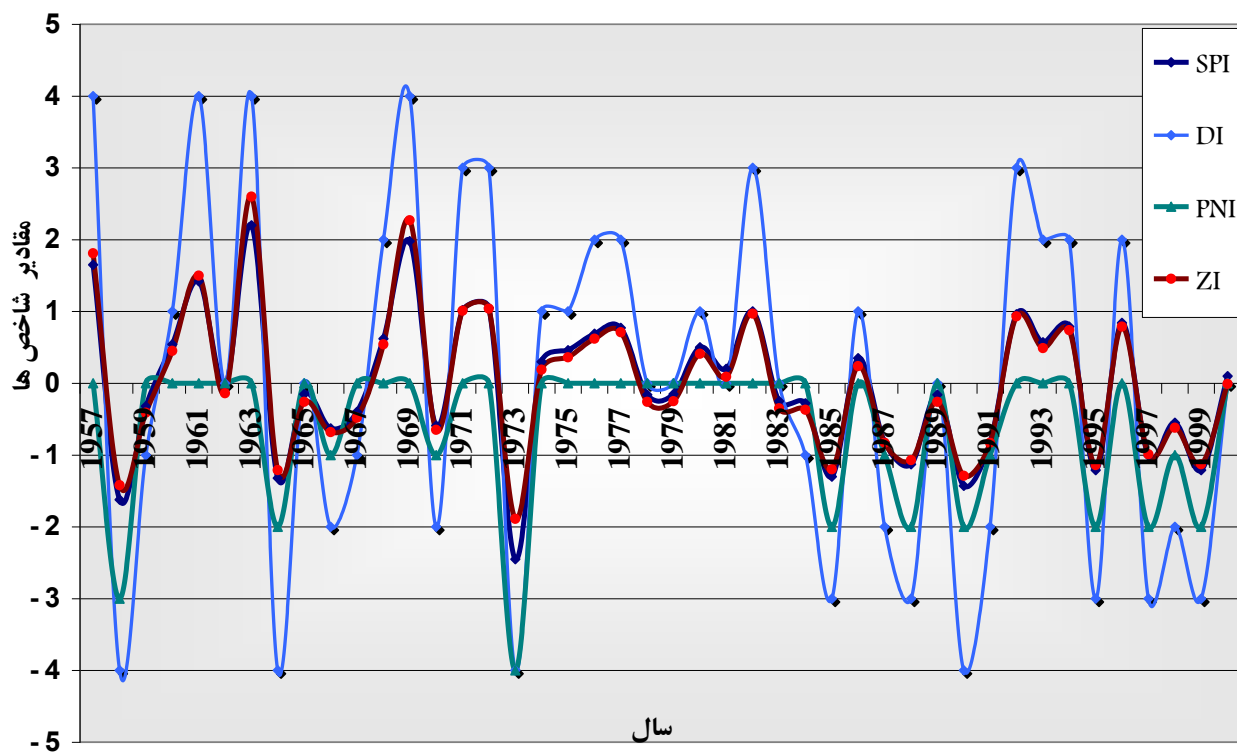
شکل 2- تغییرات سال به سال شاخص DI در ایستگاه اراک در طول دوره (1957-2000)



شکل 3- تغییرات سال به سال شاخص SPI در ایستگاه اراک در طول دوره (1957-2000)



شکل 4- تغییرات سال به سال شاخص ZSI در ایستگاه اراک در طول دوره (1957-2000)



شکل 5- انطباق و مقایسه 4 شاخص خشکسالی در ایستگاه اراک (1957-2000)

ارزیابی شاخصهای منتخب خشکسالی

به منظور بررسی انتخاب بهترین شاخص توصیفگر ابتدا محاسبات کلیه شاخصها در مقیاس ماهانه انجام و سپس این محاسبات به مقیاس مشترک سالانه تبدیل گردید. در پاسخ به این سوال که برای ارزیابی شدت خشکسالی در یک منطقه کدام شاخص دقیق تر و گویا تر است براساس الگوی تحقیقاتی ارزیابی کارآیی چند نمایه خشکسالی هواشناسی در نمونه های اقلیمی ایران (خلیلی و بذرافشان, 1382) از یک فرضیه به عنوان سنجه کارآمد برای پایش خشکسالی استفاده شد. دراین فرضیه کمینه مقدار بارندگی طی یک دوره بلند مدت اقلیمی منعکس کننده خشکسالی هواشناسی بسیار شدید یا شدیدی است که در منطقه تحت بررسی اتفاق افتاده است.

مطابق این فرضیه ابتدا کمینه مقادیر بارندگی درهریک از ایستگاهها استخراج , پایش و توسط شاخصهای خشکسالی ارزیابی شده است. جدول شماره (8) کمینه یا حداقل مقادیر بارندگی و سال وقوع آن را به همراه پایش وضعیت جوی از دیدگاه شاخصهای خشکسالی اقلیمی نشان می دهد. (در این جدول عدد 3 خشکسالی شدید و عدد 4 خشکسالی بسیار شدید را نشان می دهد)

جدول 8- تقارن سال وقوع کمینه بارندگی با خشکسالیهای شدید و بسیار شدید هواشناسی در ایستگاههای حوضه دریاچه نمک

ZSI	DI	PNI	SPI	سال وقوع	کمینه بارش	ایستگاه
4	4	3	4	1973	175	آوج (آوه)
4	4	4	4	1973	128	اراک
4	4	4	4	1973	31	اردستان
4	4	3	4	1973	48.9	اصقهان
3	4	4	4	1997	83.5	امین آباد
4	4	4	4	1973	189	بروجرد
4	4	4	4	1967	98.4	تاکستان
4	4	4	4	1999	84.1	تفرش
4	4	3	4	1967	106	تهران (فرودگاه)
4	4	4	4	1970	67.3	خرمدره
4	4	4	4	1976	88.9	خنداب
4	4	2	4	1985	202.8	خوانسار
4	4	4	4	1967	106	دامنه فریدن
4	4	4	4	1978	181.6	درگزین
4	4	2	3	1995	147.3	دوشان تپه
4	4	4	4	1970	41.5	دودهک
4	4	4	4	1978	36	دوزج
4	4	3	4	1989	111.3	زنجان
4	4	3	4	1973	83	ساوه
4	4	4	4	1983	82.5	شمس آباد
4	4	3	4	1964	160	قزوین
4	4	4	4	1979	20	قم
4	4	4	4	1973	44.9	کاشان
4	4	4	4	1967	84.5	کرج (سینوپتیک)
4	4	4	4	1961	78.4	کرج (دانشکده کشاورزی)
2	4	4	3	1973	62	گلپایگان
4	4	4	4	1973	83.5	گرگان آشتیان
4	4	4	4	1973	20	گرمسار
4	4	2	4	1995	197	ملایر
4	4	4	4	1966	52.5	نطنز
4	4	4	4	1973	42.59	ورامین
4	4	3	4	1970	125.2	همدان (فرودگاه)
4	4	4	4	1964	100.8	همدان (نورژه)
4	4	4	4	1988	110	همند آسرد
3	1	4	2			رتبه نمایه

دامنه (0/5- تا 0/99-) نیز به طبقات خشکسالی افزوده شده است. محدوده مورد مطالعه در این تحقیق منطبق با حوضه هفتم طرح جامع آب کشور بوده و به لحاظ موقعیت جغرافیایی به محدوده غرب و شمال غرب کشور نزدیک است. بنابراین از اصلاحات انجام شده لشنی زند بر روی طبقه بندی SPI از دیدگاه MACKEE که در طرح « بررسی شدت، تداوم و فراوانی خشکسالیهای اقلیمی در شش حوضه واقع در غرب و شمال غرب کشور» به کار گرفته شده، در مطالعه حاضر نیز استفاده شده است. بر اساس جدول شماره (10)، SPI(-0/5) به عنوان آستانه وقوع خشکسالی تعیین گردیده است.

ویژگیهای خشکسالیها از نظر شدت، مدت و فراوانی وقوع خشکسالیها در ایستگاههای حوضه دریاچه نمک در دوره 44 ساله

چهار ویژگی مهم مورد بررسی در هر خشکسالی عبارتند از: شدت، مدت یا تداوم، فراوانی و گستره خشکسالیها. در جدول شماره (11) ضمن ارائه ویژگیهای خشکسالی های ایستگاههای حوضه دریاچه نمک، به همراه سال وقوع آن، طولانی ترین تداوم از نظر طول دوره خشکسالی و شدیدترین تداوم از نظر بزرگی مقادیر SPI و فراوانی وقوع وضعیت خشکسالی چند ایستگاه مورد بحث و بررسی قرار گرفته است. بالاترین رقم فراوانی نسبی وقوع خشکسالیها در منطقه مورد مطالعه به ایستگاههای آوج، دوشان تپه و کاشان اختصاص دارد. در هر سه ایستگاه یادشده در 38/6 درصد طول دوره آماری مورد مطالعه خشکسالی حاکم بوده است. از سوی دیگر پایین ترین رقم فراوانی نسبی وقوع خشکسالیها در منطقه مورد مطالعه به ایستگاه گلپایگان تعلق دارد. در این ایستگاه فقط در 18/1 درصد طول دوره آماری مورد مطالعه خشکسالی حاکمیت داشته است.

تعیین آستانه وقوع خشکسالی بر اساس شاخص SPI

جدول 9- درجه بندی شدت و احتمال وقوع شاخص

SPI (MACKEE et al., 1993)، به نقل از لشنی زند،

(1383)

حدود SPI	توصیف رخداد
بزرگتر از یا مساوی با 2	فرا مرطوب
1/5 تا 1/99	بسیار مرطوب
1 تا 1/49	نسبتا مرطوب
99 تا 0	تقریبا نرمال
0 تا -/99	تقریبا نرمال
-1 تا -1/49	نسبتا خشک
-1/5 تا -1/99	بسیار خشک
کوچکتر یا مساوی -2	فراخشک

اصلاحاتی در طبقه بندی آقای MACKEE جهت

استفاده در منطقه مورد مطالعه انجام شده که نتایج آن

به صورت جدول شماره (10) ارائه می شود». (لشنی

زند، 1383)

جدول 10- مقیاس طبقه بندی برای مقادیر SPI (با اقتباس از

لشنی زند، 1383)

مقادیر SPI	طبقه
بزرگتر از یا مساوی با 2	بسیار بسیار مرطوب
1/5 تا 1/99	بسیار مرطوب
1 تا 1/49	مرطوب متوسط
0/5 تا 0/99	مرطوب ملایم
0/49 تا -0/49	تقریبا نرمال
-0/5 تا -/99	خشک ملایم
-1 تا -1/49	خشک متوسط
-1/5 تا -1/99	بسیار خشک
کوچکتر یا مساوی -2	بسیار بسیار خشک

بر اساس اصلاحات انجام شده لشنی زند بر روی طبقه

بندی SPI از دیدگاه MACKEE که بر مبنای تحقیقات

خشکسالی در 46 ایستگاه مورد مطالعه در غرب کشور در طی

دوره آماری 30 ساله انجام پذیرفته است، محدوده نرمال از

(0/99 تا -0/99) به (0/49 تا -0/49) تغییر داده شده و

جدول 11- ویژگیهای خشکسالی حوضه دریاچه نمک در مقیاس زمانی 12 ماهه (1957-2000)

فراوانی نسبی	فراوانی واقع	تداوم در سال طولانی ترین	تداوم	طولانی ترین تداوم در طی دوره آماری	شدیدترین مقدار مشاهده شده		استانگاه	
					سال	مقدار SPI		
31/8	14	1997		(98-97-96-95)	4	1997	-1/67	امین آباد
31/8	14	1999		(99-98-97)	3	1973	-2/45	اراک
31/8	14	1960		(64-63-62-61-60)	5	1973	-2/68	اردستان
38/6	17	1980		(82-81-80-79-78)	5	1973	-2/1	آوج
25	11	1966		(67-66)(85-84)	2	1973	-3/01	بروجرد
29/5	13	1970		(71-70)(2000-99)	2	1967	-3/06	دامنه فریدن
34	15	1964		(67-66-65-64)	4	1964	-3/03	درگزین
29/5	13	1967		(68-67-66-65-64)	5	1970	-2/19	دودهک
38/6	17	1965		(67-66-65-64)	4	1995	-1/82	دوشان تپه
29/5	13	1978		(81-80-79-78)	4	1978	-2/58	دوزج
31/8	14	1965		(67-66-65-64-63)	5	1960	-2/06	اصفهان
31/8	14	1973		(75-74-73)	3	1973	-3/1	گرگان آشتیان
27/2	12	1967		(68-67-66)	3	1973	-2/81	گرمسار
29/5	13	1960		(61-60-59)	3	1964	-2/03	قزوین
31/8	14	1979		(80-79-78)	3	1979	-2/9	قم
18/1	8	1973		(74-73)	2	1973	-1/61	گلپایگان
27/2	12	1964		(65-64)	2	1970	-2/71	فرودگاه همدان
27/2	12	1964		(65-64)	2	1964	-3/25	همدان (نوژه)
34	15	1988		(90-89-88)	3	1988	-3/12	همند آبسرد
27/2	12	1961		(61-60)	2	1961	-2/83	کرج (دانشکده)
31/8	14	1967		(67-66)	2	1967	-2/91	کرج (سینوپتیک)
38/6	17	1988		(91-90-89-88-87)	5	1973	-2/51	کاشان
27/2	12	1973		(74-73)	2	1985	-2/07	خوانسار
27/2	12	1999		(99-2000)	2	1976	-2/98	خنداب
27/2	12	1989		(90-89-88)	3	1970	-2/99	خرمدره
36/3	16	1967		(67-66-65-64)	4	1973	-2/53	ملایر
27/2	12	1966		(67-66)	2	1966	-2/28	نطنز
31/8	14	1966		(67-66)	2	1973	-2/21	ساوه
34	15	1973		(74-73)	2	1983	-2/86	شمس آباد
31/8	14	1981		(81-80-79-78)	4	1999	-2/42	تفرش
34	15	1997		(2000-99-98-97)	4	1967	-2/35	تاکستان
36/3	16	1961		(61-60-59-58)	4	1967	-2/1	تهران
34	15	1985		(86-85)	2	1973	-2/98	ورامین
22/7	10	1961		(61-60-59-58)	4	1973	-2/31	زنجان
38/6	17	1973 و 1967			5	1964	-3/25	شدیدترین مقدار مشاهده شده در طول دوره

بحث

شاخصهای خشکسالی در واقع بیان کننده حدود طبیعی خشکسالیهای رخ داده هستند تا امکان ارزیابی آن را در مقیاسهای مختلف زمانی و مکانی ممکن سازند. مطابق جدول شماره (11) شدیدترین مقدار مشاهده شده خشکسالی حوضه دریاچه نمک با توجه به محاسبات شاخص SPI در سال 1964 با $3/25$ - درجه در ایستگاه همدان (نورژه) رخ داده است. طولانی ترین دوره تداوم خشکسالی در سرتاسر دوره اقلیمی مورد بررسی به ایستگاههای اردستان، دودهک، اصفهان و کاشان (با مدت 5 سال متوالی) و کوتاه ترین دوره تداوم خشکسالی به 13 ایستگاه (با تداوم 2 سال) تعلق دارد.

از مجموع شاخصهای ارزیابی شده در این تحقیق شامل: شاخص درصد نرمال PNI، شاخص دهک DI، شاخص SPI و شاخص ZSI، دو شاخص دهکها DI و SPI با فاصله بسیار کم بیشترین رتبه را در آزمون فرضیه ها در سطح حوضه دریاچه نمک به خود اختصاص داده اند.

اگرچه، نتایج حاصل از آزمون فرضیه ها نشان داد شاخص دهکها (DI) و شاخص SPI مقارن با سال وقوع کمینه بارندگی، رخداد خشکسالی شدید و بسیار شدید را در تمام ایستگاههای تحت مطالعه نشان داده و کارآیی بیشتری نسبت به سایر شاخصها از جنبه نمایش خشکسالیهای شدید دارند، اما محدوده مقادیر ماهانه و سالانه شاخص دهکها (DI)، بر روی نمودارهای ترسیم شده کمی وسیع تر از سایر شاخصهاست. به ویژه در نمودارهای ترسیم شده شاخص دهکها (DI) به نظر می رسد مبالغه ای اندک در بزرگ نمایی تظاهرات خشکسالیها و ترسالیها مشاهده می شود. شاید بتوان گفت،

بر اساس این مطالعه شاخص دهکها (DI) نوسانهایی اگرچه هماهنگ و همسو با سایر شاخصها اما تند و تیزتر و مبالغه آمیزتر در نمودارهای بارش ماهانه و سالانه نشان داده است.

شاخصهای (SPI) و (ZSI) به استثناء دو ایستگاه، درمابقی ایستگاههای تحت مطالعه با رخداد خشکسالی بسیار شدید در طی سالهای وقوع کمینه بارندگی انطباق داشته است.

شاخص (PNI) در 24 ایستگاه تحت مطالعه با رخداد خشکسالی بسیار شدید در طی سالهای وقوع کمینه بارندگی انطباق داشته و در 10 ایستگاه مقارن با سال وقوع کمینه بارندگی، از گزارش خشکسالی شدید و بسیار شدید قاصر بوده است.

فراوانیهای مقادیر مختلف شاخص (SPI) و (ZSI) رفتار و عملکرد مناسب و تقریباً مشابهی نشان دادند. محدوده مقادیر ماهانه و سالانه شاخص درصد نرمال (PNI)، از سایر شاخصها بسیار دور و ناهماهنگ بوده و وضعیت بسیار متفاوت تر و غیرمنطقی تری را داشته است.

شاخص دهکها (DI) و (SPI) در میان همه شاخصها خروجی های مناسب تر و بهتری نشان داده اند و به عبارت دیگر می توان گفت محدوده مقادیر ماهانه و سالانه آنها بر روی نمودارهای رسم شده با سایر شاخصها نزدیک تر و هماهنگ تر است.

اگرچه، هیچ شاخص عمده ای از نظر کم و کیف بالاتر از بقیه شاخصها نیست، اما بعضی از شاخصها ممکن است برای بعضی از کاربران مفیدتر و مناسبتر باشد برای مثال، از جمله ویژگیهای متمایز کننده شاخص SPI، یکی، شناسایی و ظاهر شدن ماههای خشکسالی زودتر از

- 4- مهدوی، م. ، 1381. هیدرولوژی کاربردی؛ دانشگاه تهران، تهران، جلد اول.
- 5- مرید، س.، مقدسی، م.، پایمزد، ش و قائمی، ه. ، 1384. طراحی سیستم پایش خشکسالی استان تهران؛ پژوهشکده مهندسی آب دانشگاه تربیت مدرس و شرکت سهامی مدیریت منابع آب، تهران، 195 صفحه.
- 6- مهدویان، ع. ، جوانمرد، س. ، 1383. نقش پیش‌آگاهی‌های هواشناسی در امنیت غذایی و کاهش ضایعات تولیدات کشاورزی؛ مجموعه مقالات همایش روشهای پیشگیری از اتلاف منابع ملی، شامل: آب، انرژی، دارو، نان و سایر مواد غذایی، وقت و سایر منابع ملی، تهران، ص 271 تا 282.
- 7- لشنی زند، م. ، 1383. بررسی اقلیمی خشکسالیهای ایران و راهکارهای مقابله با آن (مطالعه موردی شش حوضه واقع در غرب و شمال غرب ایران؛ گروه جغرافیای دانشگاه اصفهان، اصفهان، ص 62 تا 65.
- 8- سایت کامپیوتری دانشگاه تربیت مدرس Drought university Web Page of Tarbiat Modares
- 9- سایت کامپیوتری سازمان هواشناسی کشور. Drought@irimet.net
- 10- سایت کامپیوتری سازمان جنگلها و مراتع و آبخیزداری کشور: شبکه پیام رسانی سبز. webmaster@frw.org.ir
- 11- سایت کامپیوتری سازمان حفاظت و بهره برداری از رودخانه ها و سواحل.
- http://www.iranrivers.com/Drought/LSimpleDrought.htm
- 12- سایت کامپیوتری مرکز مقابله با خشکسالی ایالات متحده آمریکا. http://drought.unl.edu The NDMC
13. HAYES M., 2000 "Drought Indices" National Drought Mitigation Center, University of Nebraska-Lincoln.
14. MACKEE, T.B.J.DOESKEN, and J.KLEIST, 1993 "The Relationship of Drought Ferquency and Duration to time Scales", 8th cong. On Applied Climatology, Anheim, CA,Amer. Meteor. Soc.179-184.
15. WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION, 1997, "Climate Drought and Desertification", Geneva, Switzerland, No: 869,Page:5.

شاخصهای دیگر و دیگری، محاسبه آن برای مقیاسهای زمانی متفاوت است، هر چند خود این شاخص از عیب و نقص مبرا نمی باشد.

براین اساس درانتخاب مناسب ترین شاخص جهت پهنه بندی و تحلیل وضعیت خشکسالی در طی سالهای یک دوره طولانی مدت شاخص دهکها در جایگاه نخست، شاخص SPI در جایگاه دوم، شاخص ZSI در جایگاه سوم و شاخص درصد نرمال در جایگاه چهارم قرار می گیرد.

سپاسگزاری

در اینجا لازم است، از جناب آقای دکتر سعید مرید رئیس محترم گروه آبیاری دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس و دست‌اندرکاران محترم در دفتر مطالعات منابع آب دانشگاه تربیت مدرس برای تهیه و توزیع رایگان لوح فشرده تخصصی Drought Indices Package (شبکه شاخصهای خشکسالی) که محاسبه و تحلیل شاخصهای خشکسالی با حجم گسترده آمار را آسان نمود، قدردانی شود. همچنین از جناب آقایان دکتر خسروشاهی و دکتر مهران لشنی زند به خاطر ارائه رهنمود های علمی در انجام کاملتر تحقیق، مراتب سپاس و قدردانی به عمل می آید.

منابع مورد استفاده

- 1- سازمان جنگلها، مراتع و آبخیزداری کشور، 1383. برنامه اقدام ملی بیابان زدایی و کاهش اثرات خشکسالی جمهوری اسلامی ایران؛ نشر پونه، تهران، ص 7.
- 2- خلیلی، ع. ، بذرافشان، ج. ، 1382. ارزیابی کارآیی چند نمایه خشکسالی هواشناسی در نمونه های اقلیمی مختلف ایران؛ نشریه نیوار، شماره 48 و 49، بهار و تابستان، تهران، ص 79 تا 93.
- 3- سیوف، س. ، 1385. تغییر اقلیم و خشکسالی ؛ دانشگاه هرمزگان saeed@cloudsky.ir

An Investigation and assessment of climatological indices and determination of suitable index for climatological droughts in the Salt Lake Basin of Iran

T Ensafi Moghaddam

Research institute of forest and rangelands

Received: 22.11.2006 Accepted:21.07.2007

Abstract:

Of the many Climatic events that influence earth's environmental fabric, drought is perhaps the one that is most linked with desertification(WMO,1997).This Investigation is an effort for assessment of acceptability about many of Climatic current Drought Indices in reagent and sample stations of Salt Lake Basin of Iran. These drought indices which are used in world active systems, are Percent of normal precipitation Index PNI, Deciles of precipitation Index DPI, Standardized precipitation Index SPI, and Z Score Index ZSI.The above mentioned indices were calculated first by average of monthly precipitation data for a 44 years period from 1957 to 2000 relate to 34 synoptic and climatological stations in their common time scales. Based on obtained results from one hypotheses, DPI and SPI indices in the contemporary with minimum occurrence, showed, extremely drought in the studied stations. These acceptability of indices in more than of other indices and according of this investigation,DPI index sit on the first place, SPI sit on the second place, ZSI index sit on the third place, and finally PNI Index, sit on the forth place. In next stage the Standardized Precipitation Index SPI, based on precipitation values from 34 monitoring stations around the Salt Lake Basin of Iran, is computed monthly and was performed for climatic interpret and characteristic include assess drought relative frequency, intensity, expand and duration and calculated return period of the most intense drought and according to the point stations data, drew intense map. This investigation indicate the most intense drought in Salt Lake Basin of Iran belong to Hamadan(Nozheh) and the longest drought duration in Avaj ,Dooshantappeh, and Kashan Stations with the highest relative frequency digit of drought (38/6%) and the lowest relative frequency digit of drought (18/1%) belong to Golpayegan. The most of severe year has occurred in 1973 and 1967 in 44 years period.

Key Words: drought, regional droughts, drought Indices, Salt Lake Basin of Iran, drought analysis.