

مقایسه عددی شاخص‌های هواشناسی RAI و PNPI به منظور ارزیابی و پهنه‌بندی وضعیت خشکسالی در استان خوزستان

محمدحسین جهانگیر^{۱*}، اقبال نوروزی^۲

۱. استادیار گروه انرژی‌های نو و محیط زیست، دانشکده علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران

۲. دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت ۱۳۹۵/۱۱/۱۲؛ تاریخ تصویب ۱۳۹۶/۰۲/۳۰)

چکیده

طی دهه‌های اخیر در میان بلایای طبیعی که جوامع انسانی را تحت تأثیر قرار داده است، تعداد و فراوانی خشکسالی بیشتر از سایر حوادث طبیعی بوده است. خشکسالی از جمله بلایای طبیعی است که در مقایسه با مخاطرات طبیعی نظیر بارش‌های سنگین و سیلاب‌ها، به‌طور خزننده شکل می‌گیرد و گسترش می‌یابد. برای بیان کمی خشکسالی شاخص‌های متعدد و متفاوتی وجود دارد. در پژوهش حاضر شاخص‌های درصد از نرمال بارندگی (PNPI) و ناهنجاری بارش (RAI)، وضعیت و تداوم خشکسالی در هشت ایستگاه آبادان، اهواز، بندر ماهشهر، بستان، مسجدسلیمان، امیدیه، رامهرمز و صفی‌آباد در استان خوزستان طی دوره آماری ۱۹۹۰-۲۰۱۴ بررسی شده است. نتایج نشان داد بر اساس شاخص PNPI شدیدترین خشکسالی طی دوره زمانی ۱۹۹۰-۲۰۱۴ در ایستگاه بندر ماهشهر با مقدار ۲۰/۳۹ در سال ۲۰۱۰ اتفاق افتاده است. در ضمن بیشترین مقدار ترسالی بر اساس شاخص PNPI در ایستگاه اهواز با مقدار ۲۱۶/۳۳ و در سال ۱۹۹۷ اتفاق افتاده است. همچنین براساس شاخص RAI شدیدترین خشکسالی طی دوره زمانی ۱۹۹۰-۲۰۱۴ در ایستگاه بندر ماهشهر با مقدار ۶/۲۶- و در سال ۲۰۱۰ اتفاق افتاده است. نیز براساس شاخص RAI بیشترین مقدار ترسالی در ایستگاه اهواز با مقدار ۸/۶ و در سال ۱۹۹۷ به وقوع پیوسته است.

کلیدواژگان: استان خوزستان، پهنه‌بندی، خشکسالی، شاخص PNPI، شاخص RAI.

مقدمه

بشر همواره با بلایای طبیعی نظیر خشکسالی، سیل و زلزله دست‌به‌گریبان بوده است و تحقیقات و پژوهش‌های متعددی برای پیش‌بینی، کنترل و برنامه‌ریزی‌هایی برای جلوگیری از خسارت‌های این پدیده‌ها انجام داده است [۱]. خشکسالی پدیده‌ای متفاوت از دیگر بلایای طبیعی است که به‌طور اتفاقی و ناگهانی رخ نمی‌دهد و خسارت‌هایی که می‌تواند در صورت وقوع طی یک دوره زمانی وارد کند، جبران‌نشده است [۲]؛ به‌طوری که فقط در ۲۲ سال گذشته، ایران با ۱۳ سال خشکسالی مواجه بوده است [۳]. اقلیم خشک و نیمه‌خشک بیشتر مناطق ایران را تحت تأثیر قرار داده است. متوسط بارندگی در ایران ۲۴۰ میلی‌متر است که کمتر از یک سوم متوسط بارندگی جهان است. به همین دلیل باید به پهنه‌بندی و پایش خشکسالی به‌منزله شاخصی مهم در برنامه‌ریزی‌های کلان ملی و منطقه‌ای توجه شود. یکی از روش‌های مطالعات خشکسالی تحلیل داده‌های بارندگی است که از عمومی‌ترین روش‌ها به‌شمار می‌رود. برای بیان کمی پدیده خشکسالی و همچنین ارزیابی آن در مقیاس‌های مختلف زمانی و مکانی، از شاخص‌های مختلفی استفاده می‌شود که برای محاسبه آنها وجود داده‌های مناسب و طولانی‌مدت پارامترهای اقلیمی و هیدرولوژیکی بسیار ضروری است. از جمله این شاخص‌ها می‌توان به DI ، $PNPI$ ، SPI ، CZI ، EDI ، RAI اشاره کرد [۴]. روش‌های مختلفی برای پهنه‌بندی شدت خشکسالی یک منطقه وجود دارد که از جمله آنها می‌توان به روش‌های زمین‌آمار اشاره کرد. در روش‌های زمین‌آمار علاوه بر مقدار یک کمیت معین در یک نمونه، موقعیت مکانی نمونه نیز مورد توجه قرار می‌گیرد. روش‌های عمده پهنه‌بندی خشکسالی‌ها را می‌توان شامل روش‌های درون‌یابی در چهار گروه اصلی IDW ، GPI ، RBF ، $Kriging$ طبقه‌بندی کرد که در این بین تکرار استفاده از روش پهنه‌بندی IDW بیشتر از بقیه روش‌ها در تحلیل خشکسالی بوده است [۵]. به‌طور سیستمی می‌توان گفت که ارزیابی اثر خشکسالی تابعی از شدت و تداوم دوره‌های خشک به وقوع پیوسته است. انصاری و مرادی [۶] در پهنه‌بندی دوره خشک در استان

خراسان با استفاده از $SPI3$ در محیط GIS نشان دادند در سال‌های اخیر، تکرار و تداوم این پدیده در کلیه نقاط استان افزایش داشته؛ ولی از شدت آن کاسته شده است. برنا و همکارانش [۷] با استفاده از شاخص‌های $PNPI$ و RAI و SIP تحقیقاتی در استان خوزستان انجام داده و نتایج متفاوتی را در شدت و تداوم خشکسالی‌های منطقه نشان داده‌اند. وفاه‌خواه و رجیبی [۸] شاخص‌های درصد از نرمال بارندگی ($PNPI$)، دهک‌های بارندگی (DPI) و ناهنجاری بارش (RAI) حوضه آبخیز دریاچه‌های بختگان، طشک و مهرلو را ارزیابی کردند و به این نتیجه رسیدند که نمایه‌های دهک‌های بارندگی و درصد نرمال کارایی بیشتری نسبت به سایر شاخص‌ها دارند. خشکسالی‌های استان تهران با استفاده از شاخص‌های $PNPI$ ، DI ، SPI ، CZI ، EDI ارزیابی شده است و نتایج نشان داده است که شاخص‌های SPI و EDI نسبت به شاخص‌های دیگر بهتر است [۹]. مودت و ملکی [۱۰] نمایه‌های $PNPI$ ، $SIAP$ و $TOPSIS$ را در استان یزد مطالعه کردند و به این نتیجه رسیدند که مدل تاپسیس بیان می‌کند که ایستگاه شهرستان نیر در فاکتور رطوبت و دما خشک‌ترین ایستگاه است و نمایه‌های نرمال و سالانه بارندگی نشان می‌دهد به‌ترتیب ایستگاه میبد و خانم در وضعیت نرمال و خشکسالی بسیار شدید قرار دارند. محمدیان و همکارانش [۱۱] شاخص‌های خشکسالی SPI ، DI و $PNPI$ را در استان خراسان شمالی بررسی کردند و نقشه‌های پهنه‌بندی به روش IDW را تهیه کردند. نتایج کار آنها نشان داد وسیع‌ترین و شدیدترین خشکسالی به‌ترتیب در سال‌های ۱۹۹۰ و ۲۰۰۱ اتفاق افتاده و همچنین طولانی‌ترین خشکسالی مربوط به سال‌های ۱۹۹۴-۱۹۹۷ است. خسروی و همکارانش [۱۲] برای پهنه‌بندی و ارزیابی خشکسالی از ۴۸ ایستگاه سینوپتیک استفاده کردند و سپس با استفاده از چهار شاخص RAI ، $PNPI$ ، SPI و SIP به تعیین شدت خشکسالی در سال ۲۰۰۱ پرداختند. همچنین برای پهنه‌بندی از دو روش تحلیل فضایی درون‌یابی (IDW) و مدل ارتفاعی رقومی (DEM) استفاده کرده و در آخر مشخص کردند که شاخص‌های RAI و $PNPI$ حساسیت بیشتری دارند و شدت خشکسالی را با دقت بیشتری به نمایش گذاشته‌اند. هدف از این پژوهش، تحلیل عددی خشکسالی استان خوزستان با استفاده از شاخص‌های خشکسالی درصد از نرمال بارندگی

1. Percent of Normal Precipitation Index
2. Standardized Precipitation Index
3. Rainfall Anomaly Index

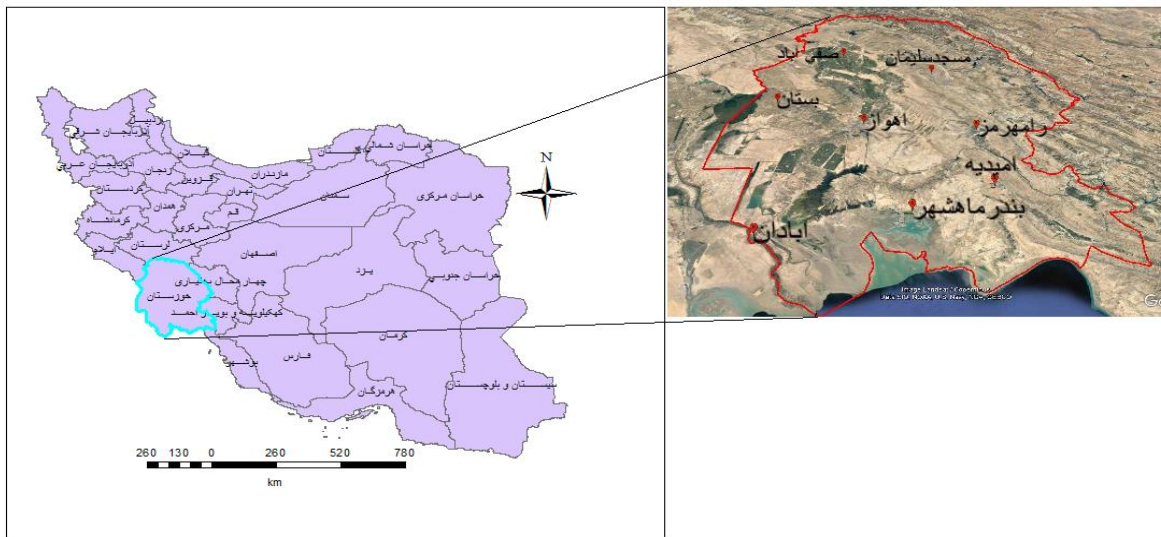
مواد و روش‌ها

بستر مناسب در مطالعات اقلیمی و هواشناسی دسترسی به داده‌های مطمئن از یک شبکه مناسب ایستگاهی در یک دوره مطلوب آماری است. طول دوره آماری بستگی به عنصر اقلیمی بررسی شده دارد. داده‌هایی که برای تجزیه و تحلیل در این تحقیق استفاده می‌شوند شامل هشت ایستگاه سینوپتیک واقع در استان خوزستان است که داده‌های آماری (۱۹۹۰-۲۰۱۴) است. آمار مربوط به ایستگاه‌ها از سازمان هواشناسی کل کشور جمع‌آوری شده و در جدول ۱ نشان داده شده است. در تحقیق حاضر آنالیز آماری بارش بر اساس شاخص‌های درصد از نرمال (PNPI)، شاخص ناهنجاری بارش (RAI) صورت گرفته است.

(PNPI) و ناهنجاری بارش (RAI)، و بررسی تداوم خشکسالی و پهنه‌بندی خشکسالی با استفاده از روش IDW است.

منطقه مطالعه شده

منطقه مطالعه شده استان خوزستان واقع در جنوب غرب کشور ایران است که در موقعیت جغرافیایی بین ۲۹ درجه و ۵۸ دقیقه تا ۳۲ درجه و ۵۸ دقیقه شمالی و ۴۷ درجه و ۴۲ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۳۹ درجه شرقی واقع شده است. این استان از شمال با استان لرستان و از شمال غرب با استان ایلام و از جنوب شرق با استان بوشهر و از شرق با استان‌های چهارمحال بختیاری و کهگیلویه و بویراحمد همسایه است. مساحت استان حدود ۶۴۰۵۷ کیلومتر مربع است.



شکل ۱. موقعیت منطقه مطالعه شده و ایستگاه‌های هواشناسی مربوط به آن برای ارزیابی وضعیت خشکسالی

جدول ۱. مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌های مطالعه شده

نام ایستگاه	کد ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا (متر)
آبادان	۴۰۸۳۱	۴۸/۲۱	۳۰/۳۷	۶/۶
اهواز	۴۰۸۱۱	۴۸/۷۴	۳۱/۳۴	۲۲/۵
بندر ماهشهر	۴۰۸۳۲	۴۹/۱۵	۳۰/۵۴	۶/۲
بستان	۴۰۸۱۰	۴۸/۰۱	۳۱/۶۰	۷/۸
مسجد سلیمان	۴۰۸۱۲	۴۹/۲۴	۳۱/۹۸	۳۲۰/۵
امیدیه	۴۰۸۳۳	۴۹/۶۸	۳۰/۷۴	۲۷
رامهرمز	۴۰۸۱۳	۴۹/۵۹	۳۱/۲۷	۱۵۰/۵
صفی آباد	۴۰۷۹۴	۴۸/۴۳	۳۲/۲۵	۸۲/۹

ب) اگر $P < \bar{P}$ یا به اصطلاح ناهنجاری منفی باشد، شاخص ناهنجاری بارندگی از رابطه ۳ محاسبه می‌شود:

$$RAI = -3 \left[\frac{P - \bar{P}}{\bar{M} - \bar{P}} \right] \quad (3)$$

طبقات مختلف نمایه یادشده در جدول ۳ آمده است.

یافته‌های پژوهش

با توجه به کیفیت شاخص‌های PNPI و RAI نمودارهای مربوط به هشت ایستگاه استخراج شده است. همچنین با توجه به مقادیر به‌دست‌آمده از شاخص‌ها جدول مربوط به شدیدترین و تداوم ایستگاه‌ها در جدول ۴ آورده شده است. سپس با توجه به اطلاعات به‌دست‌آمده پهنه‌بندی خشکسالی برای تداوم خشکسالی برای ایستگاه‌ها نشان داده شده است.

جدول ۲. طبقات نمایه شاخص خشکسالی PNPI

PNPI	طبقه‌بندی خشکسالی
۱۲۰- تا ۸۰-	نرمال
۸۰- تا ۷۰-	خشکسالی ضعیف
۷۰- تا ۵۵-	خشکسالی متوسط
۵۵- تا ۴۰-	خشکسالی شدید
کمتر از ۴۰-	خشکسالی بسیار شدید

جدول ۳. طبقات نمایه شاخص خشکسالی RAI

RAI	وضعیت خشکسالی
۰/۳ تا +۰/۳	نزدیک به نرمال
-۰/۳ تا -۱/۲	خشکسالی ضعیف
-۱/۲ تا -۲/۱	خشکسالی متوسط
-۲/۱ تا -۳	خشکسالی شدید
کوچک‌تر یا مساوی -۳	خشکسالی بسیار شدید

الف) معرفی شاخص درصد از نرمال بارندگی (PNPI)

این شاخص را ویلک و همکارانش (۱۹۹۸) ارائه کرده‌اند. شاخص درصد از نرمال بارش (PNPI) یکی از شاخص‌های ساده خشکسالی است. این امر سبب شده است محققان زیادی از آن استفاده کنند. این نمایه از رابطه ۱ به‌دست می‌آید [۱۳]:

$$PNPI = \frac{P_i}{\bar{P}} * 100 \quad (1)$$

در این رابطه P_i میزان بارندگی در ماه نام و \bar{P} میانگین درازمدت بارندگی همان ماه است. این نمایه همواره مثبت است. طبقات مختلف این نمایه در جدول ۲ آمده است.

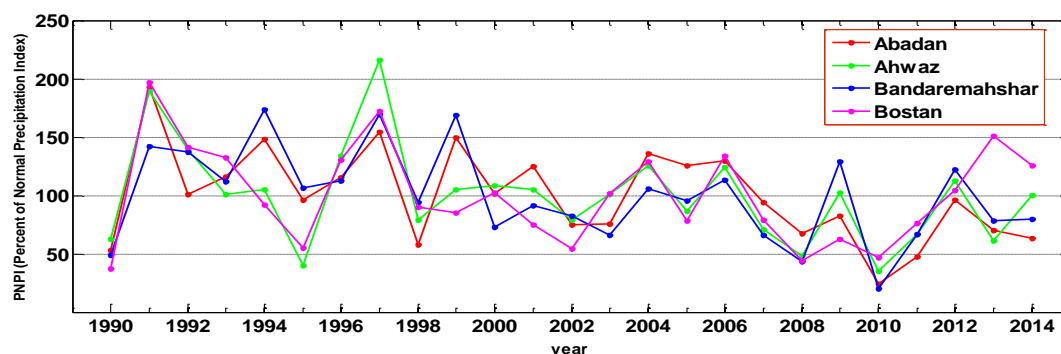
ب) معرفی شاخص ناهنجاری بارش (RAI)

شاخص ناهنجاری‌های بارش را ون روی (۱۹۶۵) ارائه کرده است. این شاخص بارندگی ماه یا سال معین را روی مقیاس خطی ارزیابی می‌کند که از روی سری داده‌ها به‌دست می‌آید. مراحل محاسبه این شاخص به‌صورت زیر است [۱۴]:

۱. محاسبه میانگین درازمدت بارندگی ماهانه در ایستگاه‌های مدنظر (\bar{P}); ۲. استخراج میانگین ده مورد از بزرگ‌ترین مقادیر بارندگی اتفاق افتاده طی دوره مطالعاتی (\bar{M}); ۳. استخراج میانگین ده مورد از کوچک‌ترین مقادیر بارندگی اتفاق افتاده طی دوره مطالعاتی (\bar{X}); ۴. مقایسه داده‌های بارندگی (P) با میانگین درازمدت بارندگی، به‌طوری که:

الف) چنانچه $P > \bar{P}$ یا به اصطلاح ناهنجاری مثبت باشد، شاخص ناهنجاری بارندگی از رابطه ۲ محاسبه می‌شود:

$$RAI = -3 \left[\frac{P - \bar{P}}{\bar{X} - \bar{P}} \right] \quad (2)$$

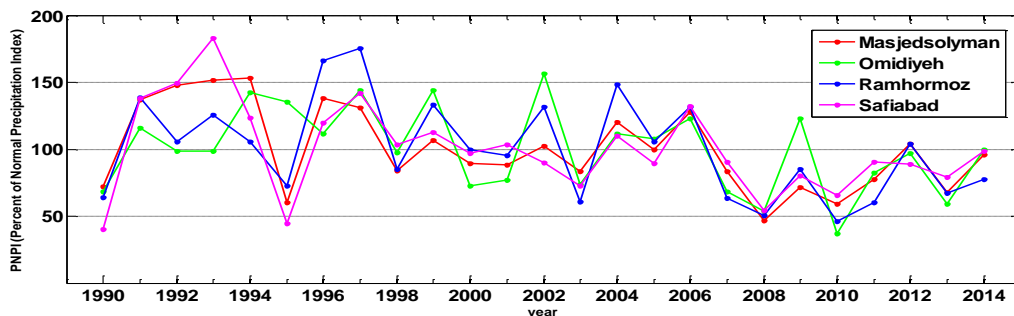


شکل ۲. مقادیر شاخص PNPI برای دوره زمانی ۱۹۹۰-۲۰۱۴ در چهار ایستگاه آبادان، اهواز، بندر ماهشهر و بستان

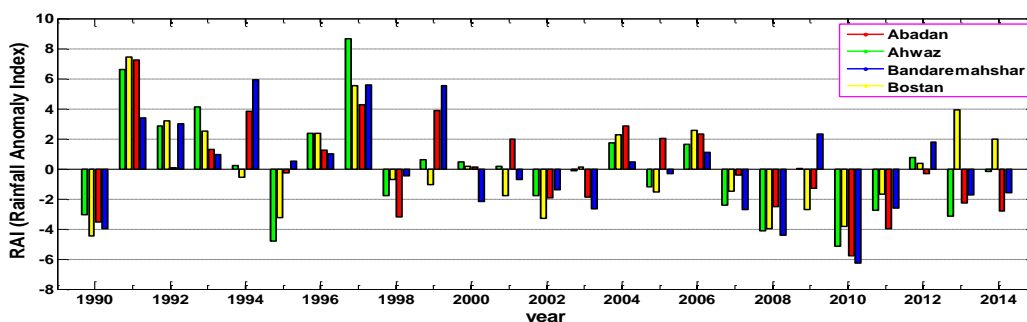
که وارد ترسالی شوند اما ایستگاه بستان با شیب منفی به سمت خشکسالی در حال رشد است.

مطابق شکل ۳ مقادیر به دست آمده شاخص خشکسالی PNPI برای دوره زمانی مطالعه شده (۱۹۹۰-۲۰۱۴) در چهار ایستگاه مسجدسلیمان، امیدیه، رامهرمز و صفی آباد ارائه شده است. همان گونه که مشاهده می‌شود، مساحت زیر نمودار برای ایستگاه یادشده از سال ۱۹۹۵-۱۹۹۱ نشان‌دهنده بزرگی شدت خشکسالی است که در دوره مد نظر چنین اتفاقی پیش نیامده است و این تغییرات متناوب و تقریباً یکسان است؛ اما برای ایستگاه رامهرمز بیشتر ترسالی وجود دارد که به دلیل بارندگی آنها در چندین مقطع قله در سال‌های ۱۹۹۶، ۱۹۹۷ و ۲۰۰۴ که این قله‌های متعلق به ایستگاه رامهرمز است. خشک‌ترین وضعیت در بین ایستگاه‌های مطالعه شده ایستگاه امیدیه با مقدار ۳۷/۱۴ در سال ۲۰۱۰ و ایستگاه صفی آباد با مقدار ۴۰/۳۹ در سال ۱۹۹۰ اتفاق افتاده است. همچنین شدیدترین ترسالی برای ایستگاه صفی آباد در سال ۱۹۹۳ با مقدار ۱۸۲/۹۹ است و بیشترین تعداد ترسالی برای ایستگاه رامهرمز در سال‌های ۱۹۹۱، ۱۹۹۳، ۱۹۹۶، ۱۹۹۷، ۱۹۹۹، ۲۰۰۲، ۲۰۰۴، ۲۰۰۶ و با مقادیر ۱۳۸/۷۹، ۱۲۵/۷۲، ۱۶۶/۲۴، ۱۷۵/۳۹، ۱۳۳/۳۲، ۱۳۱/۴۴، ۱۳۱/۷۲ اتفاق افتاده است.

مطابق شکل ۲ مقادیر به دست آمده برای شاخص خشکسالی PNPI طی دوره زمانی مطالعه شده (۱۹۹۰-۲۰۱۴) برای چهار ایستگاه آبادان، اهواز، بندر ماهشهر و بستان ارائه شده است. همان طور که مشاهده می‌شود روند تغییرات به دست آمده برحسب بارش سالانه است و چون کل چهار ایستگاه اشاره شده از نظر فاصله نزدیک به هم هستند، تقریباً روند تغییرات شاخص نسبت به بازه زمانی مطالعه شده یکسان است. نکته شایان توجه این است که در حالت کلی همان طور که مشاهده می‌شود دوره‌های مداوم خشکسالی برای چهار ایستگاه یادشده بیشتر از سال ۱۹۹۸ به بعد رخ داده است. به طور مثال، از سال ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۴ یک دوره تداوم خشکسالی و از سال ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۲ نیز یک دوره خشکسالی با طول دوره بیشتر مشاهده می‌شود. مطابق شکل ۲ مشاهده می‌شود که ایستگاه اهواز بیشترین مقدار PNPI با عدد ۲۱۶/۳۳ در سال ۱۹۹۷، که نشان‌دهنده بارندگی بسیار خوب برای این ایستگاه است و کمترین مقدار PNPI که نشان‌دهنده خشکسالی بسیار شدید است برای ایستگاه بندر ماهشهر در سال ۲۰۱۰ با مقدار ۲۰/۳۹ به دست آمده است؛ اما برای مثال در سال ۲۰۱۳ فقط ایستگاه بستان است که روندی برخلاف ایستگاه‌های دیگر دارد و در سال ۲۰۱۳ طبق بارندگی‌های سال‌های گذشته همه ایستگاه‌ها آمادگی دارند



شکل ۳. مقادیر شاخص PNPI برای دوره زمانی ۱۹۹۰-۲۰۱۴ در چهار ایستگاه مسجدسلیمان، امیدیه، رامهرمز و صفی آباد

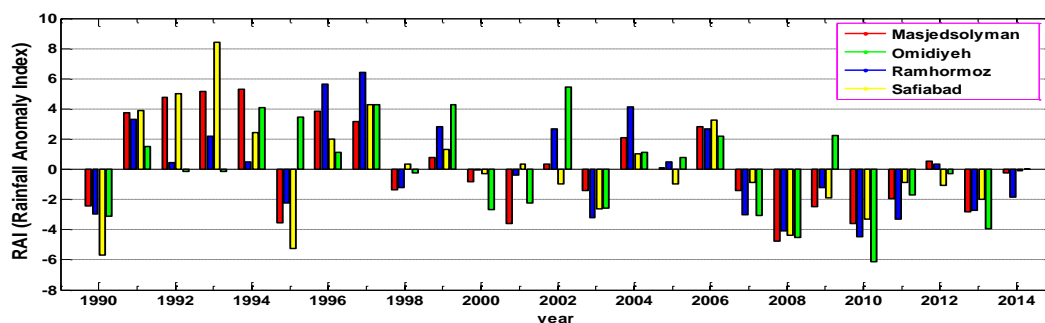


شکل ۴. مقادیر خشکسالی RAI برای دوره زمانی ۱۹۹۰-۲۰۱۴ در چهار ایستگاه آبادان، اهواز، بندر ماهشهر و بستان

در سال ۲۰۱۰ اتفاق افتاده است که نشان‌دهنده خشکسالی بسیار شدید است.

مطابق شکل ۵ مقادیر به‌دست‌آمده برای شاخص خشکسالی RAI طی دوره زمانی مطالعه‌شده (۱۹۹۰-۲۰۱۴) برای چهار ایستگاه مسجدسلیمان، امیدیه، رامهرمز و صفی‌آباد به‌صورت میله‌ای ارائه شده است. همان گونه که مشاهده می‌شود از اوایل سال ۲۰۰۷ تا اواخر سال ۲۰۱۱ یک دوره مداوم خشکسالی به‌جز ایستگاه امیدیه در سال ۲۰۰۹ اتفاق افتاده است؛ ولی همان گونه که مشاهده می‌شود در دوره زمانی مطالعه‌شده به‌طور متناوب دوره‌های خشکسالی و ترسالی به‌دست آمده است. بیشترین مقدار ترسالی در ایستگاه‌های یادشده در سال ۱۹۹۳ برای ایستگاه صفی‌آباد با مقدار ۸/۴۳ به‌دست آمده است که نشان‌دهنده بارندگی خوب در این سال بوده است و بیشترین مقدار خشکسالی برای ایستگاه امیدیه در سال ۲۰۱۰ با مقدار ۶/۱۲- اتفاق افتاده است که نشان‌دهنده خشکسالی بسیار شدید در این سال است.

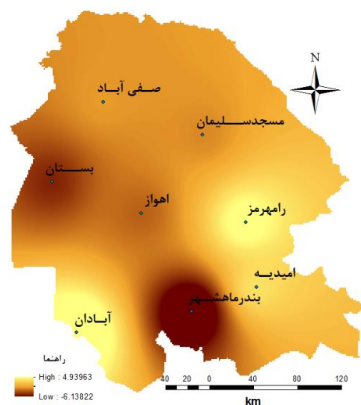
مطابق شکل ۴ مقادیر به‌دست‌آمده برای شاخص خشکسالی RAI برای دوره زمانی مطالعه‌شده (۱۹۹۰-۲۰۱۴) برای چهار ایستگاه آبادان، اهواز، بندر ماهشهر و بستان به‌صورت میله‌ای ارائه شده است. همان طور که ملاحظه می‌شود مقادیر زیاد این محور نشان‌دهنده مقادیر ترسالی و مقادیر منفی زیر محور نشان‌دهنده خشکسالی است. به‌طور عمده مزیت نمودار میله‌ای این است که چون بیشتر مقادیر زیر مقدار صفر است، بیشتر خشکسالی مشاهده می‌شود؛ اما دوره‌های مداوم ترسالی هم کم نیست. مثلاً از سال ۱۹۹۱ تا ۱۹۹۴ یک دوره ترسالی مداوم وجود دارد یا از اواسط سال ۲۰۰۶ تا سال ۲۰۱۲ تقریباً یک دوره مداوم خشکسالی دیده می‌شود. به‌جز ایستگاه بندر ماهشهر در سال ۲۰۰۹ که ترسالی است و باقی سال‌ها متناوب بوده است. همچنین بیشترین مقدار ترسالی در چهار ایستگاه یادشده برای ایستگاه اهواز در سال ۱۹۹۷ با مقدار ۸/۶ است که نشان‌دهنده بارندگی خوب در این سال بوده است و بیشترین مقدار خشکسالی برای ایستگاه بندر ماهشهر با مقدار ۶/۲۶-



شکل ۵. مقادیر شاخص خشکسالی RAI برای دوره زمانی ۱۹۹۰-۲۰۱۴ در چهار ایستگاه آبادان، اهواز، بندر ماهشهر و بستان

جدول ۴. مقادیر به‌دست‌آمده برای شاخص‌ها در بازه زمانی ۱۹۹۰-۲۰۱۴

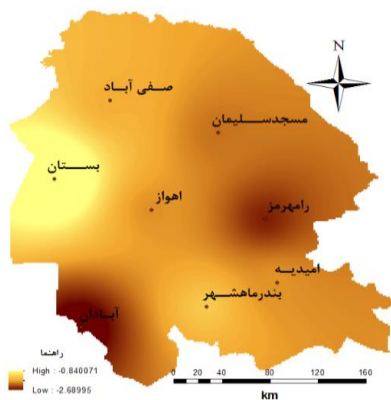
نام ایستگاه	شاخص خشکسالی RAI				شاخص خشکسالی PNPI			
	شدیدترین مقدار خشکسالی	طولانی‌ترین دوره خشکسالی (سال)	تعداد خفیلی شدید	تعداد خشکسالی‌های شدید	شدیدترین مقدار خشکسالی	طولانی‌ترین دوره خشکسالی (سال)	تعداد خفیلی شدید	تعداد خشکسالی‌های شدید
آبادان	-۵/۷	۸	۴	۴	۲۴/۱۱	۸	۱	۲
اهواز	-۵/۱۲	۲	۵	۲	۳۵/۳۴	۸	۲	۱
بندر ماهشهر	-۶/۲۶	۴	۳	۴	۲۰/۳۹	۹	۱	۲
بستان	-۴/۴۸	۵	۵	۱	۳۷/۳۳	۶	۱	۴
مسجدسلیمان	-۴/۷۴	۵	۴	۳	۴۶/۷۲	۸	-	۱
امیدیه	-۶/۱۲	۵	۵	۳	۳۷/۱۴	۵	۱	۱
رامهرمز	-۴/۴۶	۵	۵	۳	۴۵/۹۹	۸	-	۲
صفی‌آباد (آغاچاری)	-۵/۶۸	۸	۴	۱	۴۰/۳۹	۸	-	۳



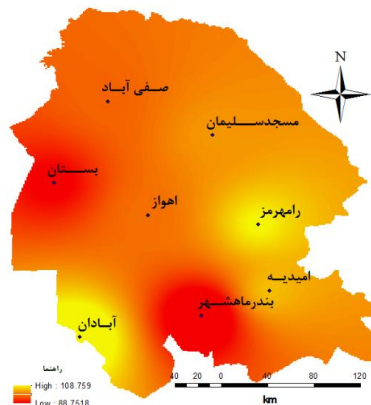
شکل ۷. پهنه‌بندی شاخص خشکسالی RAI در بازه زمانی ۲۰۰۱-۲۰۰۷ برای حوضه خوزستان

می‌شود، ایستگاه‌های بندر ماهشهر و بستان خشکسالی شدیدتری نسبت به سایر ایستگاه‌ها دارند.

مطابق شکل ۸ مقادیر تداوم دوره خشکسالی براساس شاخص خشکسالی PNPI برای بازه زمانی ۲۰۰۸-۲۰۱۴ برای کل پهنه مد نظر در استان خوزستان ارائه شده است. همان گونه که ملاحظه می‌شود، کمترین مقدار ۶۴/۴۳ و بیشترین مقدار ۸۷/۳۴ است. همان طور که در تصویر مشاهده می‌شود، ایستگاه‌های آبادان و رامهرمز خشکسالی شدیدتری نسبت به سایر ایستگاه‌ها دارند. همچنین مطابق شکل ۹ مقادیر تداوم دوره خشکسالی براساس شاخص خشکسالی RAI برای بازه زمانی ۲۰۰۸-۲۰۱۴ برای کل پهنه مد نظر در استان خوزستان ارائه شده است. همان طور که ملاحظه می‌شود کمترین مقدار ۲/۶۸- و بیشترین مقدار ۰/۸۴- است. همان گونه که نشان داده شده است، ایستگاه‌های بندر ماهشهر و بستان خشکسالی شدیدتری نسبت به سایر ایستگاه‌ها دارند.

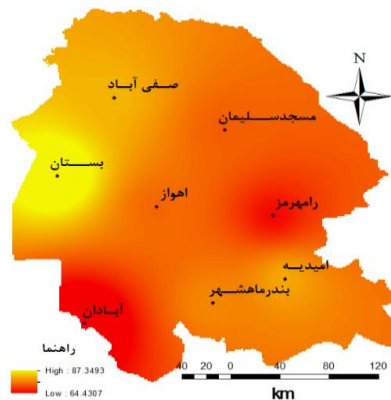


شکل ۹. پهنه‌بندی شاخص خشکسالی RAI در بازه زمانی ۲۰۰۸-۲۰۱۴ در استان خوزستان



شکل ۶. پهنه‌بندی شاخص خشکسالی PNPI در بازه زمانی ۲۰۰۱-۲۰۰۷ برای حوضه خوزستان

مطابق شکل ۶ مقادیر تداوم دوره خشکسالی براساس شاخص خشکسالی PNPI برای بازه زمانی ۲۰۰۱-۲۰۰۷ برای کل پهنه مد نظر در استان خوزستان ارائه شده است. همان گونه که ملاحظه می‌شود کمترین مقدار ۸۸/۷۵ و بیشترین مقدار ۱۰۸/۷۵ است. این مقدار تقریباً نشان‌دهنده وضعیت خشکسالی نرمال است و مشاهده می‌شود ایستگاه‌های بستان و بندر ماهشهر در بازه هفت‌ساله یادشده وضعیت خشکسالی براساس میانگین مقادیر PNPI دارای وضعیت خشکسالی نرمال‌اند، اما هر چه سردتر (ملایم‌تر) می‌شود، برای ایستگاه آبادان و رامهرمز وضعیت نسبتاً نرمال‌تری مشاهده می‌شود و مطابق شکل ۷ که مقادیر تداوم دوره خشکسالی براساس شاخص خشکسالی RAI برای بازه زمانی ۲۰۰۱-۲۰۰۷ برای کل پهنه مد نظر در استان خوزستان ارائه شده است. همان گونه که نشان داده شده است، کمترین مقدار ۶/۱۳- و بیشترین مقدار ۴/۹۳ است. همان طور که مشاهده



شکل ۸. پهنه‌بندی شاخص خشکسالی PNPI در بازه زمانی ۲۰۰۸-۲۰۱۴ در استان خوزستان

Province using Geostatistical Methods. *Jornal of Range and Watershed Management, Iranian journal of Natural Resources*. 2011; 64(1): 65-78. (In Persian).

- [6]. Ansari H, Davari K. Zoning drought using standard precipitation index(SPI) in GIS Environment, Case study of khorasan province. *Jornal of Geogrohi*. 2007; Res. 60:97-108. (In Persian).
- [7]. Brna R, Azimi F, Saeidi Dehaki N, Comparison of RAI, PN and SIAP Indicators in the Study of Drought in Khuzestan Province with Emphasis on Abadan and Dezful Station. *Jornal of Natural Geography Quarterly*. 2010; 3(9): 77-88. (In Persian).
- [8]. Vafakhah M, Rajabi M. Efficiency of Meteorological Drought Indices for Monitoring and Assessment of Drought in Bakhtegan, Tashk, and Maharlo Lakes Watershed. *Jornal of Desert*. 2005; 10(2): 369-383. (In Persian).
- [9]. Saeid M, Moghadasi M, Ghasemi H. Drought monitoring system design for Tehran province. Research project, 2004. (In Persian).
- [10]. Maleki S, Movedat E. Drought crisis zoning with SIAP, PNPI and TOPSIS profiles, Case Study of Yazd Province. *Journal of Disaster Management and Mitigation* 2016; 6(1): 59-70. (In Persian).
- [11]. Mohamadian A, Kouhi M, Adine baigi A, Rasouli G, Bazrafshan B. Comparison of Monitoring Using SPI, DI and PNI and Zoning Them, Case Study Northern Khorasan Province. *Jornal of Water and Soil Coservation*. 2010; 17(1): 177-184. (In Persian).
- [12]. Khosravi M, Movaghari A, Mansori Daneshvar M. Evaluation of PNI, RAI, SPI and SIP Indices for Drought Zoning of Iran by Comparing IDW Intrusion Detection and DEM Digital Elevation Model. *Journal of Geography and Environmental Sustainability*. 2012; 2(5): 53-70. (In Persian).
- [13]. Willeke K, Lin X.J, Grinshpun S.A. Improved aerosol collection by combined impaction and centrifugal motion. *Aerosol Science and technology*, 1998; 28(5): 439-456.
- [14]. Van Rooy M.P. A Rainfall anomaly index (RAI) independent of time and space. *Notos*, 1965: No. 14: 43-48.

نتیجه گیری

با مطالعه و مقایسه شاخص های خشکسالی RAI و PNPI در استان خوزستان نتایج به این شرح است. براساس شاخص خشکسالی PNPI و در دوره زمانی ۱۹۹۰-۲۰۱۴ ایستگاه بندر ماهشهر خشکسالی بسیار شدید دارد و در سال ۲۰۱۰ اتفاق افتاده است که مقدار آن ۲۰/۳۹ است و همچنین بر اساس شاخص خشکسالی RAI ایستگاه بندر ماهشهر در سال ۲۰۱۰ که دارای مقدار ۶/۲۶- که بیان کننده خشکسالی بسیار شدید در این منطقه است. همچنین بر اساس شاخص خشکسالی PNPI ایستگاه اهواز در سال ۱۹۹۷ با مقدار ۲۱۶/۳۳ که بیشترین ترسالی را دارد و براساس شاخص خشکسالی RAI ایستگاه اهواز در سال ۱۹۹۷ با مقدار ۸/۶ که بیشترین ترسالی را دارد. از این دو مقایسه می توان نتیجه گرفت که دو شاخص مقدار خشکسالی بسیار شدید را برای ایستگاه بندر ماهشهر مشاهده و همچنین بیشترین ترسالی را برای ایستگاه اهواز بیان کرده اند، به این دلیل که پایه هر دو شاخص بارش است، بنابراین نتایج مشابهی از این دو شاخص به دست آمده است.

منابع

- [1]. Movedat E, Maleki S, Classification and Spatial Measurement of Social - Physical damages of the Cities Against Earthquakes by Using VIKOR Technique and GIS, Case Study: Yazd City. *Jornal of Management System*. 2014; 4(11): 85-103. (In Prsian).
- [2]. Mosavi S H, AbasAli V, Maeiri M. Study of Drought severity and its severity in Semnan using DI index. Second National Conference on Drought Effects and Management Tools. Isfahan Agricultural and Natural Resources Research Center. 2009. (In Prsian).
- [3]. Heidari, H. Plantand.Drought, Reserch institute of forest and Regeland publications, 2006.
- [4]. Khosravi Y, Mozafari Kh. Error Analysis in the Evaluation of the SPI Drought Index Using Geostatistical Methods, Case Study of Bushehr Province. *Jornal of Geography*. 2015; 14(48): 189-212. (In Prsian).
- [5]. Evazi M, Masaedi A. Monitoring and Spatial Analysis of Meteorological Drought in Golestan