ارزیابی و مقایسه شاخص‌های خشکسالی هواشناسی و تعیین شاخص مناسب در حوضه آبریز زاینده‌رود

مرتضی خداقلی*[۱]، راضیه صبوحی[۲]

۱- دانشیار بخش تحقیقات منابع طبیعی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی

۲- کارشناس بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی

(تاریخ دریافت: ۹۶/۱۱/۱۴، تاریخ پذیرش: ۹۷/۰۵/۱۴)

چکیده

یکی از قدم‌های مهم و اساسی در مطالعات خشکسالی و ترسالی در هر منطقه تعیین شاخص‌هایی است که بتوان براساس آنها میزان شدت و تداوم خشکسالی و ترسالی را ارزیابی و سپس تأثیر آن بر منابع آب منطقه‌ی مورد نظر را تعیین کرد. در این مطالعه با استفاده از آمار هشت ایستگاه همدید (سینوپتیک) در حوضه آبخیز زاینده‌رود، شاخص‌های هواشناسی RAI، DI، BMDI، SPI، PNPI، SIAP محاسبه شد. سپس به منظور تعیین مناسب‌ترین شاخص در حوضه زاینده‌رود شاخص‌های خشکسالی هواشناسی، با به کارگیری روش‌های کمینه‌ی بارش و همبستگی اسپیرمن ارزیابی شدند. نتایج شاخص‌های خشکسالی هواشناسی نشان داد درصد وقوع خشکسالی توسط شاخص‌های مختلف متفاوت می‌باشد، به طوری‌که شاخص RAI، ۳۵ تا ۴۵ درصد، DI، ۳۰ درصد، BMDI، ۲۰ تا ۴۰ درصد، SPI، ۱۵ تا ۲۵ درصد، SIAP، ۲۵ تا ۳۵ درصد از سال‌های مورد بررسی را خشکسالی نشان می‌دهند و شاخص‌های RAI، BMDI، SPI و SIAP به ترتیب بیشترین درصد وقوع خشکسالی را در ایستگاه‌های شهرضا، ورزنه، آباده و ورزنه داشته و شاخص DI در تمامی ایستگاه‌ها به جز داران و کوهرنگ درصد وقوع خشکسالی برابر دارند. در نهایت با نگرش همزمان به دو روش کمینه بارش و همبستگی اسپیرمن، مشخص شد که شاخص‌های هواشناسی RAI و SIAP، شاخص‌های بهتری نسبت به سایر نمایه‌های خشکسالی می‌باشند.

کلمات کلیدی: شاخص‌های خشکسالی هواشناسی، کمینه بارش، همبستگی اسپیرمن، حوضه زاینده‌رود

مقدمه

خشکسالی وضعیتی از کمبود بارندگی و افزایش دماست که در هر وضعیت اقلیمی ممکن است رخ دهد. خشکسالی‌ها اهمیت زیادی در مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آبی دارند (میشرا و سینگ، ۲۰۱۰). این پدیده‌ی جهانی می‌تواند در هر ناحیه به وقوع پیوسته و منجر به زیان‌ها و خسارت‌های عمده اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی شود (مرادی و عرفان‌زاده ۱۳۸۰). بیش از ۱۱٪ مخاطرات طبیعی در سطح جهان، به ویژه در نواحی روستایی، مرتبط با وقوع خشکسالی‌ها می‌باشد (کارانگ، ۲۰۰۴).

تنها رودخانه دائمی فلات مرکزی در حوضه آبخیز زاینده رود با وسعت بیش از ۴۱۰۰۰ کیلومترمربع و متوسط بارش ۲۰۹,۵ میلی‌متر جریان دارد (خداقلی، ۱۳۸۴). این حوضه تامین‌کننده آب شرب شهرهای مهم درون حوضه و خارج از آن و نیز تأمین‌کننده آب یکی از مهم‌ترین قطب‌های صنعتی کشور است. رشد نسبتاً سریع این منطقه (مهاجرت‌پذیری و رشد طبیعی) و روند رو به افزایش آن، نیاز جامعه شهری و روستایی به منابع آب و خاک برای رفع نیازمندی‌ها، تخریب منابع خاک و آب و پیشروی مناطق بیابانی و کویری استان و در نهایت تفاوت در میزان رسیدگی به موقع به آسیب دیدگان ناشی از خشکسالی، از عوامل اصلی توجه به پدیده خشکسالی در تحقیق حاضر هستند. همچنین، از آنجا که مصارف آب در بخش‌های شرب و صنعت به ترتیب در اولویت هستند، کمبود آب در بخش کشاورزی حوضه‌ی زاینده‌رود، بیشترین نمود را داشته است (شرکت سهامی آب منطقه‌ای اصفهان، ۱۳۸۷).

* نگارنده رابط: m_khodagholi@yahoo.com

کاربرد شاخص‌های خشکسالی در خلاصه‌سازی بسیاری از پارامترهای مؤثر در خشکسالی، در سطوح مختلف برای برنامه-ریزان مفید است. با استفاده از شاخص‌های خشکسالی می‌توان شدت و وسعت خشکسالی را کمّی نموده و آن را به صورت دوره‌ای ارزشیابی کرد (آسیایی، ۱۳۸۵). شاخص‌های خشکسالی، از مهم‌ترین ابزارهای پایش و طراحی یک سامانه مؤثر هشدار بحران خشکسالی هستند. این شاخص‌ها، راهنمای خوبی در بارزسازی اجزای مؤثر خشکسالی و همچنین تصمیم گیری در رویکرد مدیریتی مناسب برای کاهش اثرات سوء خشکسالی می‌باشند. اگرچه هر یک از شاخص‌های خشکسالی بسته به توانایی‌ها و محدودیت‌های خود، قدرت و ضعف خود را دارند (هایز و همکاران، ۲۰۱۰)، اما در فرآیند تصمیم‌سازی، این شاخص‌ها ابزارهای بسیار مناسب‌تری نسبت به داده‌های خام اولیه هستند.

تعداد زیادی از منابع علمی در زمینه ارزیابی شرایط خشکسالی وجود دارد. این منابع به عنوان یکی از جنبه‌های بسیار با اهمیت مدیریت منطقه‌ای توسط متخصصین طراحی سامانه‌های کمک‌کننده به تصمیم‌گیری فعالیت می‌کنند (اسماختین و هاگز، ۲۰۰۷)، اما هنوز هیچ پژوهشی صورت نگرفته تا مدیران و تصمیم‌سازان ملی و منطقه‌ای متوجه شوند، چگونه باید با نتایج غیریکسان و اغلب متناقض شاخص‌های خشکسالی برخورد کنند و از آن‌ها در جهت اهداف مدیریتی منابع زمین استفاده کنند. در رابطه با خشکسالی مطالعات بسیاری در سطح داخلی و جهانی انجام گرفته است؛ از جمله خداقلی و همکاران (۱۳۹۳) نشان دادند که اکثر نقاط استان اصفهان در سال ۲۰۰۰ با خشکسالی شدیدی روبرو بوده و در سال ۲۰۰۸ چنین شرایطی بار دیگر در استان اتفاق افتاده است.

سعادتی و همکاران (۱۳۸۸)، از شاخص بارش استاندارد (SPI[1]) به منظور تحلیل فراوانی خشکسالی‌ها در استان اصفهان استفاده کردند. در این پژوهش از SPI دوازده ماهه در یک سری زمانی طولانی مدت بهره گرفته شد. نتایج به‌دست آمده نشان داد که خشکسالی‌های طولانی مدت با شدت زیاد تا متوسط عمدتاً در نواحی غرب استان و خشکسالی‌های کوتاه مدت با شدت زیاد تا متوسط در بخش‌های شرقی و شمالی استان واقع شده‌اند. در مطالعه‌ای که در سطح ایران برای ۴۸ ایستگاه انجام گرفت، خسروی و همکاران (۱۳۹۱) نشان دادند، سال ۲۰۰۱ سالی است که خشکسالی فراگیر کشوری در دوره آماری سی ساله برای ایران به وقوع پیوسته است. این پژوهشگران با ارزیابی دو روش پهنه‌بندی به روش RMSE[2] قضاوت کردند که ارزیابی شدت خشکسالی توسط شاخص‌های PNI[3] و RAI[4] دقت بیشتری نسبت به سایر شاخص‌ها دارد. همچنین در سطح جهانی در راستای طراحی سامانه مدیریت خشکسالی، آلتمن (۲۰۱۳) پژوهشی را در کارولینای جنوبی ایالات متحده انجام داد. وی در این پژوهش از شاخص شدت خشکسالی پالمر[5] (PDSI)، شاخص خشکسالی هیدرولوژیکی پالمر[6](PHDI)، شاخص Z، شاخص بارش استاندارد (SPI)، شاخص رطوبت محصول (CMI)[7]، شاخص خشکسالی کیچ-بیروم[8](KBDI) و روش پایش خشکسالی ایالات متحده[9](USDM)، استفاده کرد. از داده‌های ماهانه نه سال پیاپی، استفاده شد و نتایج شاخص‌ها با روش پیشنهادی کمیته تصمیم‌گیری خشکسالی[10](DRC) مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج نشان داد که استفاده از مقادیر تجمعی، برآورد بهتری از شرایط خشکسالی نسبت به وقتی که از یک یا دو شاخص به تنهایی استفاده می‌کنیم، دارد. همچنین روش DRC سه تا چهار ماه دیرتر از بیشتر شاخص ها، خشکسالی را نشان داده است.

مطالعه حاضر به منظور بررسی خشکسالی هواشناسی در حوضه آبریز زاینده‌رود و تعیین مناسب‌ترین شاخص از بین شاخص‌های منتخب خشکسالی انجام گرفته است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد بررسی

حوضه آبریز زاینده رود با مختصات جغرافیایی ۲′ ۵۰° تا ۲۴′ ۵۳° طول شرقی و ۱۱′ ۳۱° تا ۴۲′ ۳۳° عرض شمالی در

1- Standardized Precipitation Index

2- Root Mean Square Error
3- Percent of Normal Precipitation Index
4- Rainfall Anomaly Index
5- Palmer Drought Severity Index
6- Palmer Hydrological Drought Index
7- Crop Moisture Index
8- Keetch-Byrum Drought Index
9- the U .S .Drought Monitor
10- Drought Response Committee

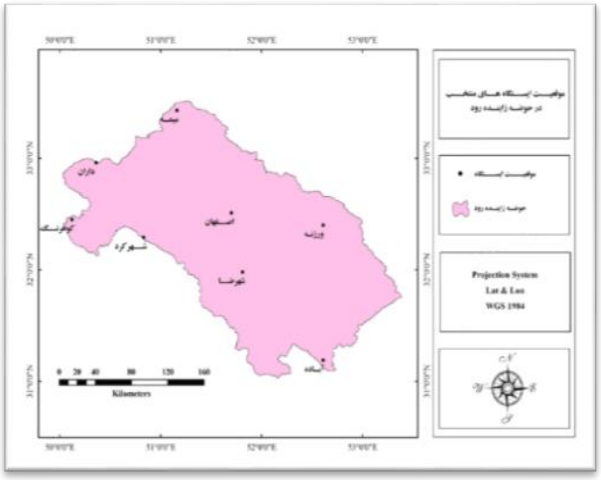
منطقه مرکزی ایران قرار گرفته است. مساحت این منطقه حدود ۴۱۳۴۷ کیلومترمربع و محیط آن ۱۱۸۳ کیلومتر است. در حدود ۸۷,۷ درصد از حوضه زاینده‌رود در استان اصفهان و بقیه آن در استان‌های چهارمحال و بختیاری، یزد و فارس قرار گرفته است (امیدوار و اصلانی، ۱۳۸۸). همچنین متوسط بارش سالانه مناطق پست (اطراف تالاب گاوخونی) حدود ۷۲ میلی‌متر و در مناطق مرتفع و ارتفاعات غرب منطقه بیش از۱۵۵۰ میلی‌متر است (خداقلی، ۱۳۸۴). متوسط وزنی آبارش این منطقه معادل ۲۰۹ میلی‌متر محاسبه شده است. مقدار دمای میانگین سالانه در مناطق مرکزی و تالاب گاوخونی بیش از ۱۴,۵ درجه سلسیوس و از مرکز حوضه به سمت شمال، غرب و جنوب متناسب با افزایش ارتفاع، دما کاهش می‌یابد، به طوری‌که میانگین سالانه دمای مناطق کوهستانی مرتفع کمتر از ۸,۵ درجه سلسیوس و میانگین وزنی آن برای کل حوضه معادل ۱۲,۶ درجه سلسیوس است.

داده‌های پژوهش

به منظور انجام این تحقیق هشت ایستگاه هواشناسی همدید (سینوپتیک) با کمترین داده گمشده در مناطق مختلف حوضه زاینده‌رود انتخاب و داده‌های اقلیمی آنها شامل بارش و میانگین دما در مقیاس ماهانه و سالانه استخراج شد. شکل ۱ و جدول ۱ موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های مورد مطالعه در حوضه آبخیز زاینده‌رود را نشان می‌دهد.

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های همدید مورد مطالعه

ردیف	ایستگاه سینوپتیک	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	ارتفاع (متر)	بازه‌ی آماری(سال)
۱	آباده	N '11 °31	E '40 °52	2030	2013 - 1984
۲	اصفهان	N '37 °32	E '40 °51	4/1550	2013 - 1984
۳	داران	N '58 °32	E '22 °50	2290	2013 - 1984
۴	شهرضا	N '59 °31	E '50 °51	1858	2013 - 1993
۵	شهرکرد	N '17 °32	E '51 °50	9/2048	2013 - 1984
۶	کوهرنگ	N '26 °32	E '7 °50	2365	2013 - 1987
۷	میمه	N '26 °33	E '10 °51	1980	2013 - 1984
۸	ورزنه	N '24 °32	E '37 °52	1450	2013 - 1984



شکل ۱- موقعیت ایستگاه‌های مورد مطالعه

روش مطالعه

در این مطالعه ابتدا پایگاه داده‌های اقلیمی (ماهانه و سالانه) با استفاده از متغیرهای اقلیمی ایستگاه‌های همدید (سینوپتیک) منتخب تشکیل شد. در ابتدا داده‌های گمشده از طریق همبستگی با نزدیکترین ایستگاه بازسازی شد و برای بررسی خشکسالی، سعی شد از شاخص‌هایی که از نظر ورودی داده‌ها مشابهت دارند و نیز از روش‌های متعارف و معمول استفاده شود. بر این اساس شاخص‌های خشکسالی هواشناسی شامل شاخص ناهنجاری بارش (RAI)، شاخص دهک‌ها (DI)، شاخص بالم و مولی (BMDI)، شاخص بارش استاندارد (SPI)، شاخص درصد بارش نرمال (PNPI) و شاخص معیار بارش سالانه (SIAP[1]) بررسی شدند (حجازی‌زاده و جوی‌زاده، ۱۳۸۹). از آنجایی که معیار محاسبه تمام شاخص‌ها بارش می باشد، سه ماهه تابستان و ماه اول فصل پاییز (ژوئن، ژوئیه، اوت و سپتامبر)، به دلیل مقدار بارش کم و یا صفر میلی‌متر، از محاسبات حذف شد. همچنین برای محاسبه‌ی شاخص دهک‌ها علاوه بر ماه‌های ذکر شده، در ایستگاه ورزنه ماه‌های مه و اکتبر و در ایستگاه‌های آباده، اصفهان، شهرضا و میمه، ماه اکتبر، به دلیل کمبود بارش و تعریف نشدن آستانه‌ی دهک‌ها، از محاسبات حذف شد.

1- Standard Index of Annual Precipitation

جهت ارزیابی میزان کارایی و سنجش هر یک از شاخص‌های خشکسالی هواشناسی مورد بررسی، ابتدا مقدار شاخص خشکسالی در مقیاس سالانه برای تمام ایستگاه‌ها محاسبه شد، سپس با به کارگیری روش‌های کمینه‌ی بارش، همبستگی اسپیرمن و با استفاده از آمار بارندگی در هشت ایستگاه مورد مطالعه، شاخص‌های خشکسالی مورد نظر ارزیابی شد.

روش کمینه مقدار بارش

در این روش برای بررسی کارایی شاخص‌های مختلف بر اساس فرضیه‌ی اول خلیلی و بذرافشان (۱۳۸۲)، کمینه مقدار بارندگی در طول دوره‌ی زمانی مورد بررسی استخراج و سپس مقادیر شاخص‌های خشکسالی محاسبه شد. در این روش، شاخص مناسب خشکسالی باید در سال وقوع کمینه مقدار بارندگی، دارای بیشترین شدت خشکسالی در ایستگاه مورد بررسی باشد.

در این مطالعه نیز به منظور انتخاب شاخص مناسب با استفاده از فرضیه‌ی خلیلی و بذرافشان (۱۳۸۲) و مقایسه‌ی همزمان شاخص‌های خشکسالی هواشناسی با یکدیگر، ابتدا نتایج کمی شاخص‌های محاسبه شده، بر اساس جدول ۲ به صورت کیفی مشخص و با استفاده از ۹ وضعیت مشترک در این جدول، طبقه‌بندی گردید و سپس مورد بررسی قرار گرفت.

جدول ۲- طبقات مختلف شاخص‌های خشکسالی مورد بررسی (خلیلی و بذرافشان، ۱۳۸۲)

طبقات شدت خشکسالی	شاخص معیار بارندگی سالانه	شاخص نرمال بارندگی (درصد)	شاخص دهک- های بارندگی (RAI)	شاخص ناهنجاری بارش (PNI)	شاخص خشکسالی بالم و همکاران (BMDI)	شاخص بارش استاندارد شده (SPI)
ترسالی بسیار شدید	بیشتر از ۱/۲۸	-	بیشتر از ۱۰۰٪	بیشتر از ۳	بیشتر از ۳/۹۹	بیشتر از ۲
ترسالی شدید	۰/۸۴ تا ۱/۲۸	-	۸۰٪ تا ۹۰٪	۲/۱ تا ۳	۲/۱ تا ۳/۹۹	۱/۵ تا ۲
ترسالی متوسط	۰/۵۲ تا ۰/۸۴	-	۷۰٪ تا ۸۰٪	۱/۲ تا ۲/۱	۲ تا ۲/۹۹	۱ تا ۱/۵
ترسالی ضعیف	۰/۲۵ تا ۰/۵۲	-	۶۰٪ تا ۷۰٪	۰/۳ تا ۱/۲	۱ تا ۱/۹۹	-

ادامه جدول ۲-

طبقات شدت خشکسالی	شاخص معیار بارندگی سالانه	شاخص نرمال بارندگی (درصد)	شاخص دهک- های بارندگی (RAI)	شاخص ناهنجاری بارش (PNI)	شاخص خشکسالی بالم و همکاران (BMDI)	شاخص بارش استاندارد شده (SPI)
نرمال	-۰/۲۵ تا +۰/۲۵	بیشتر از ۸۰٪	۴۰٪ تا ۶۰٪	-۰/۳ تا +۰/۳	-۰/۹۹ تا +۰/۹۹	-۱ تا +۱
خشکسالی ضعیف	۰/۵۲ تا -۰/۲۵	۷۰٪ تا ۸۰٪	۳۰٪ تا ۴۰٪	-۱/۲ تا -۰/۳	-۱/۹۹ تا -۱	-
خشکسالی متوسط	-۰/۸۴ تا -۰/۵۲	۵۵٪ تا ۷۰٪	۲۰٪ تا ۳۰٪	-۲/۱ تا -۱/۲	-۲/۹۹ تا -۲	-۱/۵ تا -۱
خشکسالی شدید	-۱/۲۸ تا -۰/۸۴	۴۰٪ تا ۵۵٪	۱۰٪ تا ۲۰٪	-۳ تا -۲/۱	-۳/۹۹ تا -۲/۱	-۲ تا -۱/۵
خشکسالی بسیار شدید	کمتر از -۱/۲۸	کمتر از ۴۰٪	کمتر از ۱۰٪	کمتر از -۳	کمتر از -۳/۹۹	کمتر از -۲

آزمون همبستگی

در آمار انواع زیادی از ضرایب همبستگی متفاوت وجود دارد که هر کدام همبستگی بین دو متغیر را با توجه به نوع داده‌ها و شرایط متغیرها اندازه‌گیری می‌کند. به‌طور کلی ضرایب همبستگی بین ۱- تا ۱ تغییر می‌کنند و رابطه بین دو متغیر می‌تواند مثبت یا منفی باشد. ضریب همبستگی یک رابطه متقارن است؛ هر چه ضریب همبستگی به صفر نزدیک شود از قدرت همبستگی بین دو متغیر کاسته می‌شود و بالعکس هر چه ضریب به یک نزدیکتر باشد وابستگی دو متغیر بیشتر است به طوری که (۱) به معنای همبستگی مثبت کامل و (۱-) به معنی همبستگی منفی کامل است (نجیبی، ۱۳۸۸).

در این پژوهش برای انتخاب شاخص مناسب، همبستگی بین مقادیر کمی شاخص‌های خشکسالی و بارش سالانه، به تفکیک ایستگاه‌ها، طی دوره آماری محاسبه شد و سپس میانگین و انحراف معیار ضرایب همبستگی هر یک از شاخص‌ها در تمام ایستگاه‌ها تعیین گردید. هر چه میزان همبستگی بین شاخص‌های کمی خشکسالی و تغییرات بارش طی دوره آماری بیشتر باشد، کارایی آنها نیز برای اهداف

هواشناسی بیشتر است. برای این منظور از ضریب همبستگی اسپیرمن به صورت دو دامنه و در سطح ۰،۰۱، ۰،۰۵ و ۰،۱ استفاده شد.

نتایج

نتایج شاخص‌های خشکسالی

به‌منظور تعیین خشکسالی در حوضه زاینده‌رود از شاخص های مختلف ذکر شده استفاده شد. نتایج نشان می‌دهد کمترین درصد وقوع خشکسالی‌ها با استفاده از شاخص ناهنجاری بارش با ۴۳ درصد فراوانی، مربوط به ماه مارس در ایستگاه اصفهان و بیشترین درصد وقوع، با ۸۳ درصد فراوانی، مربوط به ماه اکتبر در ایستگاه اصفهان می‌باشد و طبق نتایج سالانه این شاخص، کمترین درصد وقوع خشکسالی‌ها با ۴۴ درصد فراوانی، در ایستگاه داران و ورزنه و بیشترین درصد وقوع، با ۵۷ درصد فراوانی، در ایستگاه اصفهان رخ داده است (شکل ۲).

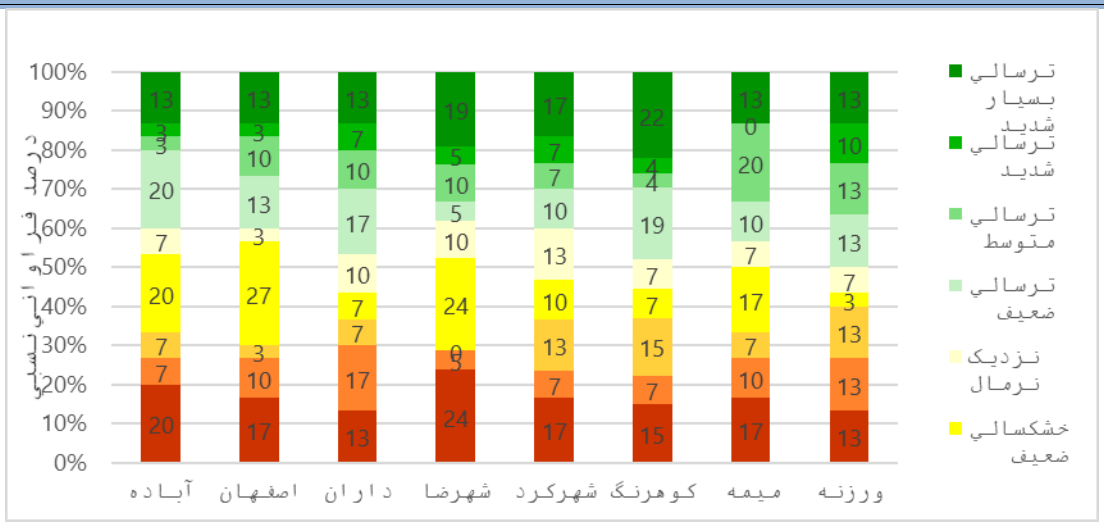
در بررسی شاخص دهک‌ها در مقیاس ماهانه، کمترین درصد وقوع خشکسالی‌ها با ۲۸ درصد فراوانی، مربوط به ماه-های مارس، آوریل، مه، دسامبر و نوامبر در ایستگاه شهرضا و بیشترین درصد وقوع، با ۳۰ درصد فراوانی، مربوط به ماه‌های ژانویه و فوریه در تمام ایستگاه‌ها به جز کوهرنگ، ماه‌های مارس، آوریل، دسامبر و نوامبر در تمام ایستگاه‌ها به جز کوهرنگ و شهرضا، ماه مه در تمام ایستگاه‌ها به جز کوهرنگ، شهرضا و ورزنه و ماه اکتبر در ایستگاه‌های داران و شهرکرد مشاهده شد. در بازه سالانه کمترین درصد وقوع خشکسالی‌ها با ۲۸ درصد فراوانی، در ایستگاه شهرضا و بیشترین درصد وقوع، با ۳۳ درصد فراوانی، در ایستگاه داران رخ داده است (شکل ۳).

نتایج شاخص بالم و مولی در بازه ماهانه نشان داد کمترین درصد وقوع خشکسالی‌ها با ۲۶ درصد فراوانی، مربوط به ماه ژانویه در ایستگاه کوهرنگ و بیشترین درصد وقوع، با ۶۲ درصد فراوانی، مربوط به ماه اکتبر در ایستگاه شهرضا می‌باشد. در بازه سالانه کمترین درصد وقوع خشکسالی‌ها با ۱۹ درصد فراوانی، در ایستگاه شهرضا و بیشترین درصد وقوع، با ۴۰ درصد فراوانی، در ایستگاه ورزنه رخ داده است (شکل ۴).

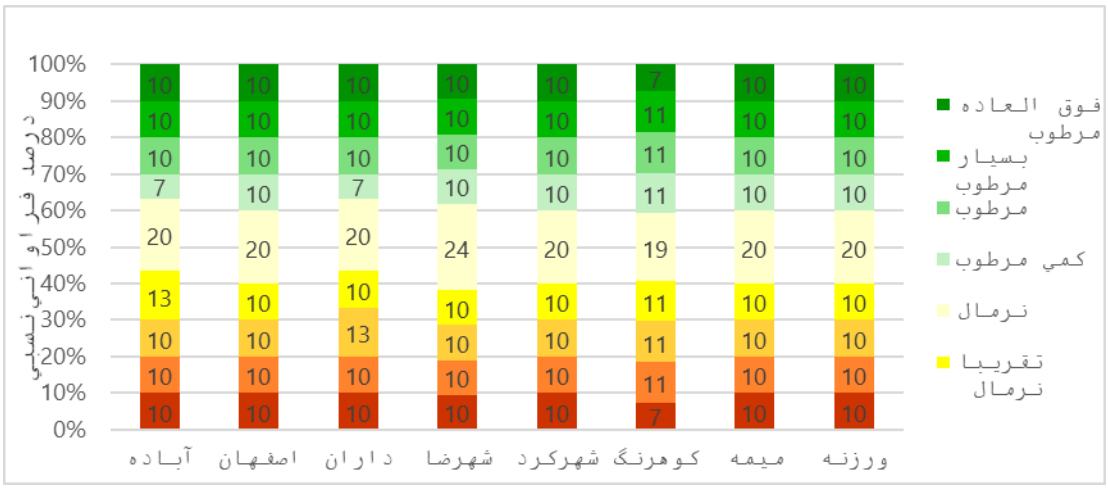
در بررسی شاخص بارش استاندارد نتایج نشان می‌دهد، کمترین درصد وقوع خشکسالی‌ها صفر است که مربوط به ماه مه در ایستگاه‌های اصفهان و ورزنه، ماه اکتبر در همه ایستگاه‌ها به جز کوهرنگ و ماه نوامبر در ایستگاه‌های آباده و ورزنه است. بیشترین درصد وقوع خشکسالی‌ها نیز با ۲۰ درصد فراوانی، مربوط به ماه ژانویه در ایستگاه شهرضا، ماه فوریه در ایستگاه‌های آباده و اصفهان، ماه مارس در ایستگاه اصفهان، ماه آوریل در ایستگاه‌های آباده، اصفهان و ورزنه، ماه مه در ایستگاه‌های داران و شهرکرد، ماه دسامبر در ایستگاه‌های میمه و ورزنه است. نتایج بررسی این شاخص در بازه سالانه نشان داد کمترین درصد وقوع خشکسالی‌ها با ۱۳ درصد فراوانی، در ایستگاه داران و بیشترین درصد وقوع، با ۲۳ درصد فراوانی، در ایستگاه آباده است (شکل ۵).

در شاخص درصد بارش نرمال کمترین درصد وقوع خشکسالی‌ها با ۳۷ درصد فراوانی، مربوط به ماه فوریه در ایستگاه داران و ماه مارس در ایستگاه اصفهان و بیشترین درصد وقوع، با ۸۰ درصد فراوانی، مربوط به ماه اکتبر در ایستگاه‌های آباده و اصفهان است. همچنین کمترین درصد وقوع شرایط نرمال با ۲۰ درصد فراوانی، مربوط به ماه اکتبر در ایستگاه‌های آباده و اصفهان و بیشترین درصد وقوع، با ۶۳ درصد فراوانی، مربوط به ماه فوریه در ایستگاه داران و ماه مارس در ایستگاه اصفهان است. طبق نتایج سالانه این شاخص، کمترین درصد وقوع خشکسالی‌ها با ۲۲ درصد فراوانی، در ایستگاه کوهرنگ و بیشترین درصد وقوع، با ۳۷ درصد فراوانی، در ایستگاه ورزنه رخ داده است. همچنین کمترین درصد وقوع شرایط نرمال با ۶۳ درصد فراوانی، در ایستگاه ورزنه و بیشترین درصد وقوع، با ۷۸ درصد فراوانی، در ایستگاه کوهرنگ اتفاق افتاده است (شکل۶).

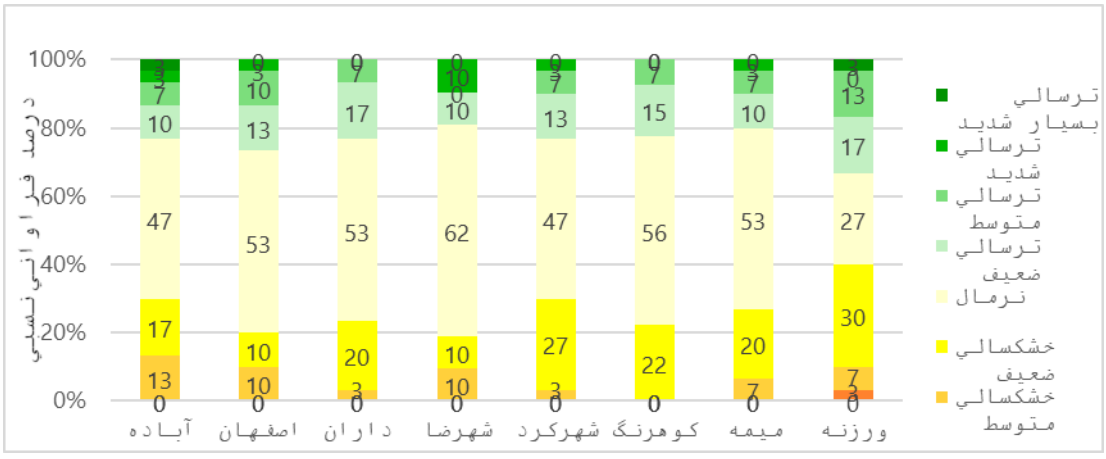
نتایج شاخص معیار بارندگی سالانه نشان می‌دهد کمترین درصد وقوع خشکسالی‌ها با ۲۷ درصد فراوانی، در ایستگاه شهرکرد و اصفهان و بیشترین درصد وقوع، با ۳۷ درصد فراوانی، در ایستگاه داران رخ داده است و همچنین کمترین درصد وقوع شرایط نرمال با ۲۷ درصد فراوانی، مربوط به ایستگاه ورزنه و بیشترین درصد وقوع، با ۵۰ درصد فراوانی، مربوط به ایستگاه آباده است (شکل ۷).



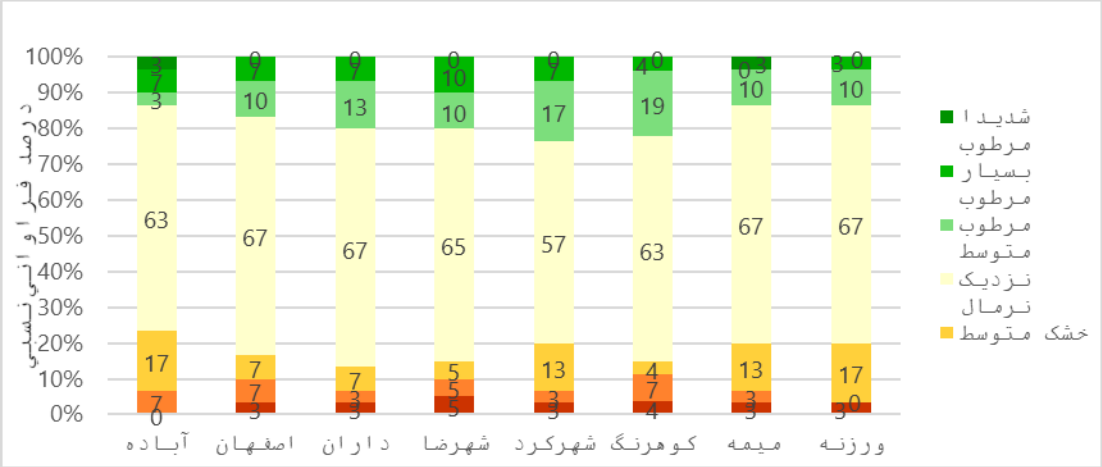
شکل ۲- درصد فراوانی طبقات خشکسالی و ترسالی سالانه بر اساس شاخص ناهنجاری بارش سالانه



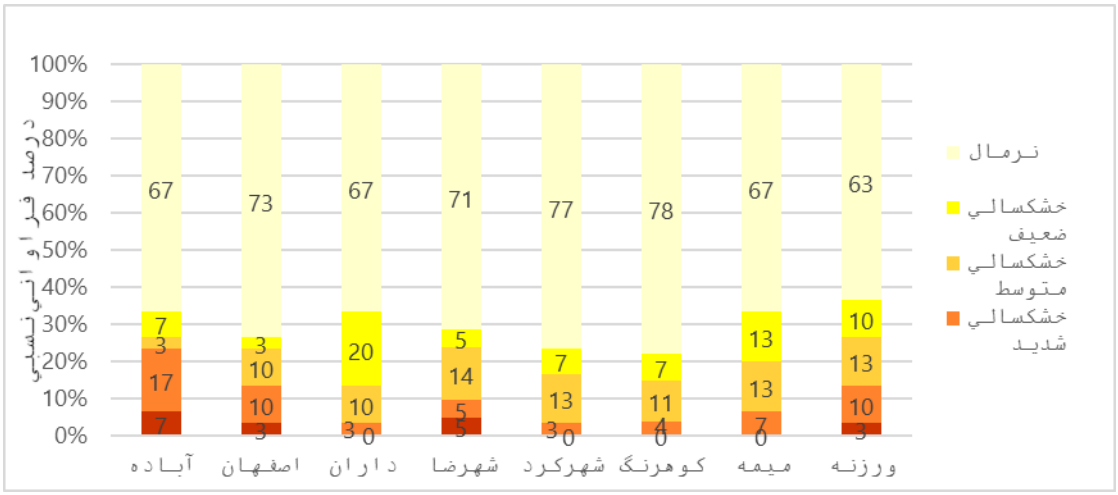
شکل ۳- درصد فراوانی طبقات خشکسالی و ترسالی سالانه بر اساس شاخص دهک‌های سالانه



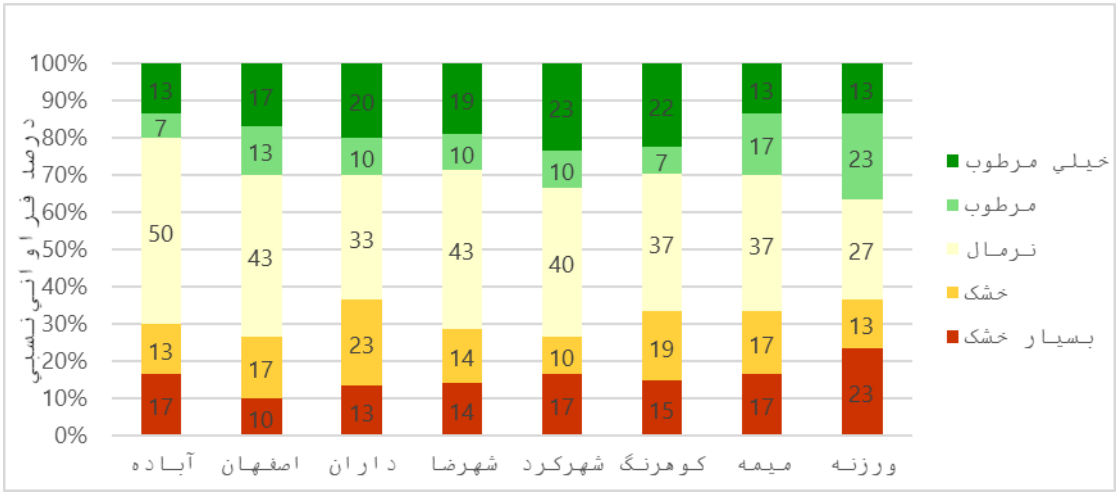
شکل ٤- درصد فراوانی طبقات خشکسالی و ترسالی سالانه بر اساس شاخص بالم و مولی سالانه



شکل ۵– درصد فراوانی طبقات خشکسالی و ترسالی سالانه بر اساس شاخص بارش استاندارد سالانه



شکل ٦– درصد فراوانی طبقات خشکسالی و ترسالی سالانه بر اساس شاخص درصد بارش سالانه



شکل ۷– درصد فراوانی طبقات خشکسالی و ترسالی سالانه بر اساس شاخص معیار بارندگی سالانه

جدول ۲- نتایج انتخاب شاخص خشکسالی مناسب براساس روش کمینه مقدار بارش

ایستگاه	کمینه بارش	سال وقوع (میلادی)	سال وقوع (شمسی)	RAI	DI	BMDI	SPI	PNPI	SIAP
آباده	۶۸,۳۵	2010	۱۳۸۸-۱۳۸۹	خشکسالی بسیار شدید	خشکسالی بسیار شدید	خشکسالی متوسط	خشکسالی شدید	خشکسالی بسیار شدید	خشکسالی بسیار شدید
اصفهان	۹,۴۰	2008	۱۳۸۶-۱۳۸۷	خشکسالی بسیار شدید	خشکسالی بسیار شدید	خشکسالی متوسط	خشکسالی بسیار شدید	خشکسالی بسیار شدید	خشکسالی بسیار شدید
داران	۸۸,۱۴۹	2008	۱۳۸۶-۱۳۸۷	خشکسالی بسیار شدید	خشکسالی بسیار شدید	خشکسالی ضعیف	خشکسالی بسیار شدید	خشکسالی شدید	خشکسالی بسیار شدید
شهرضا	۸,۵۲	2008	۱۳۸۶-۱۳۸۷	خشکسالی بسیار شدید	خشکسالی بسیار شدید	خشکسالی متوسط	خشکسالی بسیار شدید	خشکسالی بسیار شدید	خشکسالی بسیار شدید
شهرکرد	۱۴۰,۹۲	2008	۱۳۸۶-۱۳۸۷	خشکسالی بسیار شدید	خشکسالی بسیار شدید	خشکسالی ضعیف	خشکسالی بسیار شدید	خشکسالی شدید	خشکسالی بسیار شدید
کوهرنگ	۵,۵۶۵	2008	۱۳۸۶-۱۳۸۷	خشکسالی بسیار شدید	خشکسالی بسیار شدید	خشکسالی ضعیف	خشکسالی بسیار شدید	خشکسالی شدید	خشکسالی بسیار شدید
میمه	۶۲,۸۳	2008	۱۳۸۶-۱۳۸۷	خشکسالی بسیار شدید	خشکسالی بسیار شدید	خشکسالی ضعیف	خشکسالی بسیار شدید	خشکسالی شدید	خشکسالی بسیار شدید
ورزنه	۷,۱۸	2008	۱۳۸۶-۱۳۸۷	خشکسالی بسیار شدید	خشکسالی بسیار شدید	خشکسالی شدید	خشکسالی بسیار شدید	خشکسالی بسیار شدید	خشکسالی بسیار شدید

انتخاب شاخص خشکسالی مناسب

کمینه مقدار بارش

نتایج حاصل از انتخاب شاخص مناسب بر اساس فرضیه‌ی اول روش خلیلی و بذرافشان (۱۳۸۲) در جدول ۲، ارایه شده است

نتایج بررسی کمینه بارش در ایستگاه‌های مختلف در جدول ۲ نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد، شاخص‌های ناهنجاری بارش (RAI)، دهک‌ها (DI) و معیار بارندگی سالانه (SIAP)، در تمام ایستگاه‌ها مقارن با سال وقوع کمینه بارندگی، خشکسالی بسیار شدید را نشان می‌دهند. بنابراین، از نظر تأمین اهداف هواشناسی به طور مشترک در جایگاه نخست قرار می‌گیرند. شاخص بارش استاندارد (SPI)، در ایستگاه آباده خشکسالی شدید و در بقیه ایستگاه‌ها خشکسالی بسیار شدید را نشان می‌دهد. بنابراین، از نظر کاربرد برای اهداف هواشناسی در جایگاه دوم قرار می‌گیرد و شاخص درصد بارش نرمال (PNPI)، در ایستگاه‌های داران، شهرکرد، کوهرنگ و میمه، خشکسالی شدید و در بقیه ایستگاه‌ها خشکسالی بسیار شدید را نشان می‌دهد. بنابراین، از نظر کاربرد در اهداف هواشناسی در جایگاه سوم قرار می‌گیرد.

شاخص بالم و مولی (BMDI)، در ایستگاه‌های داران، شهرکرد، کوهرنگ و میمه، خشکسالی ضعیف، در ایستگاه‌های آباده، اصفهان و شهرضا، خشکسالی متوسط و در ایستگاه ورزنه، خشکسالی شدید را نشان می‌دهد. بنابراین، از نظر تأمین اهداف هواشناسی در جایگاه چهارم قرار می‌گیرد.

بنابراین شاخص‌های RAI، DI، SIAP و SPI، در تمام ایستگاه‌ها مقارن با سال وقوع کمینه بارندگی، خشکسالی شدید و خشکسالی بسیار شدید را نشان می‌دهند.

آزمون همبستگی

نتایج آزمون ضرایب همبستگی رتبه‌ای اسپیرمن، معنی‌دار بودن همبستگی شاخص‌های خشکسالی با بارش را در سطح ۰,۰۱، در تمام ایستگاه‌ها تأیید می‌نماید. نتایج در جدول۳، آورده شده است که دو سطر آخر جدول مذکور، میانگین و انحراف معیار ضرایب همبستگی رتبه‌ای را در کل ایستگاه‌ها نشان می‌دهد.

جدول ۳- نتایج همبستگی شاخص‌های خشکسالی با بارش، مقیاس سالانه

ایستگاه	RAI	DI	BMDI	SPI	PNPI	SIAP
آباده	۱	۰,۹۸۲	۰,۸۰۶	۱	۱	۱
اصفهان	۱	۰,۹۵۹	۰,۸۲	۰,۹۹۲	۱	۱
داران	۱	۰,۷۰۷	۰,۷۴۴	۱	۱	۱
شهرضا	۱	۰,۹۹۵	۰,۷۸۳	۱	۱	۱
شهرکرد	۱	۰,۹۹۶	۰,۸۷۶	۱	۰,۶۵۳	۱
کوهرنگ	۱	۰,۹۹۶	۰,۸۰۷	۱	۱	۱
میمه	۱	۰,۹۹۶	۰,۷۷۰	۱	۱	۱
ورزنه	۱	۰,۹۹۶	۰,۸۰۲	۱	۱	۱
میانگین	۱	۰,۹۵۳	۰,۸۰۱	۰,۹۹۹	۰,۹۵۷	۱
انحراف	۰	۰,۱۰۰	۰,۰۳۹	۰,۰۰۳	۰,۱۲۳	۰

نتایج آزمون همبستگی در ایستگاه‌های مختلف نشان می‌دهد در تمام ایستگاه‌ها، شاخص‌های ناهنجاری بارش (RAI) و معیار بارندگی سالانه (SIAP)، دارای بیشترین همبستگی (یک) با بارش می‌باشند. همچنین در تمام ایستگاه‌ها به جز ایستگاه اصفهان، شاخص بارش استاندارد (SPI) نیز دارای ضریب همبستگی یک می‌باشد که در ایستگاه اصفهان این مقدار ۰,۹۹ است. شاخص درصد بارش نرمال (PNPI)، در تمام ایستگاه‌ها به جز ایستگاه شهرکرد، دارای ضریب همبستگی یک می‌باشد که در ایستگاه شهرکرد این مقدار ۰,۶۵ است.

در تمام ایستگاه‌ها به جز آباده، اصفهان و داران، شاخص دهک‌ها (DI)، دارای ضریب همبستگی ۰,۹۹ می‌باشد که این ضریب در ایستگاه آباده ۰,۹۸، در ایستگاه اصفهان ۰,۹۵ و در ایستگاه داران ۰,۷۰ است و کمترین مقدار ضریب همبستگی شاخص بالم و مولی (BMDI)، ۰,۷۴ و مربوط به ایستگاه داران می‌باشد. بیشترین مقدار نیز ۰,۸۷ و مربوط به ایستگاه شهرکرد است. در بقیه‌ی ایستگاه‌ها ضریب همبستگی این شاخص با بارش بین ۰,۷۷ تا ۰,۸۲ متغیر است.

مقایسه‌ی ضرایب همبستگی رتبه‌ای در کل ایستگاه‌ها نیز نشان می‌دهد که شاخص‌های ناهنجاری بارش (RAI) و معیار بارندگی سالانه (SIAP)، از میانگین بالاتر و انحراف معیار پایین‌تری نسبت به سایر شاخص‌ها برخوردار هستند. شاخص بارش استاندارد (SPI)، با اختلاف کمی در جایگاه دوم قرار دارد. شاخص‌های درصد بارش نرمال (PNPI)، دهک‌ها (DI) و بالم و مولی (BMDI)، بر اساس میانگین و انحراف معیار ضرایب همبستگی به ترتیب در جایگاه‌های سوم، چهارم و پنجم قرار می‌گیرند.

بحث و نتیجه‌گیری

بدیهی است شناخت خشکسالی منجر به مدیریت بهتر و مناسب‌تر تغییرات به وجود آمده و در نهایت کاهش اثرات آن خواهد شد، اما به دلیل طبیعت و ذات پنهانی این پدیده تعیین زمان آغاز، گسترش و پایان آن بسیار دشوار است. این مسئله اهمیت پایش گستره و یا ایجاد یک نظام هشدار و پیش‌آگاهی را در مناطق مستعد خشکسالی نشان می‌دهد.

در سال‌های گذشته شاخص‌های متعددی برای بررسی خشکسالی مطرح شده است و ضرورتاً هر کدام از این شاخص‌ها با یکی از چهار نوع خشکسالی مرتبط است. در این تحقیق نیز از شش شاخص خشکسالی هواشناسی (RAI، DI، BMDI، SPI، PNPI، SIAP) در بازه ماهانه و سالانه استفاده گردید. سپس برای ارزیابی شاخص‌های خشکسالی، نتایج سالانه شاخص‌ها و دو روش کمینه بارش و همبستگی رتبه‌ای اسپیرمن به کار برده شد. بر اساس نتایج روش کمینه مقدار بارش، شاخص‌های ناهنجاری بارش (RAI)، دهک‌ها (DI) و معیار بارندگی سالانه (SIAP)، از نظر تأمین اهداف هواشناسی به طور مشترک در جایگاه نخست قرار می‌گیرند. شاخص بارش استاندارد (SPI)، در جایگاه دوم و به همین ترتیب

شاخص‌های درصد بارش نرمال (PNPI) و شاخص بالم و مولی (BMDI)، در جایگاه‌های سوم و چهارم قرار می‌گیرند. نتایج به دست آمده با نتایج جوادی و همکاران (۱۳۹۰) مطابقت دارد. نتایج بررسی آن‌ها نشان داد شاخص‌های RAI و SIAP، مقارن با سال وقوع کمینه بارندگی، رخداد خشکسالی بسیار شدید را در تمام ایستگاه‌ها گزارش نمودند که نتایج ما آن را تأیید می‌کند. همچنین ناصرزاده و احمدی (۱۳۹۱) نشان دادند که شاخص‌های DI و SPI، عملکرد بهتری در نمایش خشکسالی‌های شدید نسبت به دیگر شاخص‌ها از خود نشان می‌دهند که در مطالعه حاضر نیز نتایج مشابهی به دست آمد.

بر اساس نتایج روش همبستگی اسپیرمن، شاخص‌های ناهنجاری بارش (RAI) و معیار بارندگی سالانه (SIAP)، جهت پایش خشکسالی هواشناسی در استان، به طور مشترک در جایگاه اول قرار می‌گیرند. شاخص بارش استاندارد (SPI)، در جایگاه دوم و شاخص درصد بارش نرمال (PNPI)، در جایگاه سوم قرار دارد. اگرچه شاخص بارش استاندارد در جایگاه دوم قرار گرفته، اما این شاخص واکنش کافی به کمبود ریزش‌ها از خود نشان نمی‌دهد و این موضوع در مقیاس ماهانه نسبت به مقیاس سالانه برجسته‌تر است. بنابراین مقایسه‌ی ایستگاه‌ها از نظر شدت خشکسالی بسیار مشکل می‌باشد. همچنین شاخص دهک‌ها (DI) و شاخص بالم و مولی (BMDI)، در جایگاه‌های چهارم و پنجم قرار می‌گیرند. کاظمی و همکاران (۱۳۹۱) نیز به نتایج مشابهی در این مورد رسیدند. آن‌ها در پژوهشی، با استفاده از روش تحلیل خوشه‌ای و همبستگی آماری بین شاخص‌ها در همدان، به این نتیجه رسیدند که شاخص‌های RAI و عدد Z، از لحاظ توصیف وضعیت خشکسالی بسیار به هم نزدیک هستند. بر این اساس، معیارهای ناهنجاری بارش و عدد Z به ترتیب به عنوان بهترین سنجه‌ها جهت ارزیابی خشکسالی هواشناسی در شرایط اقلیمی سرد نیمه خشک شناخته شدند. همچنین محمدی مطلق (۱۳۸۹) نشان داد، شاخص RAI، توانایی ارزیابی خشکسالی‌های بسیار شدید و شدید منطقه را دارد که نتایج ما آن را تأیید می‌کند.

اگرچه در روش کمینه بارش، شاخص دهک‌ها در جایگاه اول قرار گرفته، اما با توجه به اینکه شاخص DI در مقایسه با دیگر شاخص‌ها نسبت به نوسانات بارندگی، نوسانات شدیدتری را نشان می‌دهد، در نتیجه در نشان دادن خشکسالی‌ها و ترسالی‌ها، اندکی مبالغه‌آمیز رفتار می‌کند. در واقع با وجود این که شاخص مذکور نوسان‌هایی هماهنگ و همسو با سایر شاخص‌ها دارد، اما این نوسانات تند و تیزتر و مبالغه‌آمیزتر می‌باشد. بنابراین شاخص دهک‌ها نمی‌تواند کمیت خاصی را برای تعیین شدت خشکسالی محاسبه کند و صرفاً به دسته‌بندی داده‌های بارندگی می‌پردازد و بدین سبب نتایج در مقیاس ماهانه و سالانه بسیار مشابه یکدیگر می‌باشد. در نتیجه استفاده از این شاخص محدودیت‌هایی را در این مطالعه به دنبال دارد که باعث کاهش دقت آن میشود.

با نگرش همزمان به دو روش کمینه بارش و ضرایب همبستگی اسپیرمن، مشخص می‌شود که برای بررسی خشکسالی هواشناسی، RAI و SIAP، شاخص‌های بهتری نسبت به سایر شاخص‌های خشکسالی می‌باشند. نظری پویا و خسروشاهی (۱۳۹۲) نیز در مطالعه‌ی خود از دو روش مذکور استفاده نمودند و شاخص SIAP را به عنوان مناسب‌ترین شاخص به منظور پایش خشکسالی هواشناسی سالانه در همدان معرفی نمودند. خلیلی و بذرافشان (۱۳۸۲) هم با استفاده از فرضیه‌های کمینه بارش و همبستگی، عنوان داشتند که شاخص SIAP در نمونه‌های اقلیمی مختلف ایران، سنجه‌ی بهتری نسبت به سایر سنجه‌های خشکسالی می‌باشد. امیدوار و اصلانی (۱۳۸۸) در مطالعه‌ی خود به ارزیابی چند شاخص خشکسالی در حوضه زاینده‌رود پرداختند. نتایج نشان داد که در بین شاخص‌های مطالعه شده، بیشترین حساسیت نسبت به شدت خشکسالی را به ترتیب شاخص SIAP و RAI دارند. حسین‌زاده طلایی و معروفی (۱۳۸۸) شاخص ناهنجاری بارش را به عنوان شاخص برتر مطرح کردند که با نتایج این مطالعه مطابقت دارد.

اگرچه دو شاخص RAI و SIAP، شدت‌های خشکسالی را نسبت به دیگر شاخص‌ها بهتر نشان می‌دهند، اما در شاخص

ناهنجاری بارش به دلیل تفاوت حدود بیشینه شدت خشکسالی ها و ترسالی‌ها و توالی مقادیر در ایستگاه‌های مورد مطالعه، قابلیت مقایسه مناطق مختلف را از نظر شدت خشکسالی دارد. همچنین این شاخص قادر به تعیین خشکسالی در مقیاس ماهانه و سالانه می‌باشد، در صورتی که شاخص SIAP تنها در مقیاس سالانه کارایی دارد. بنابراین با توجه به موارد اشاره شده شاخص ناهنجاری بارش در حوضه زاینده‌رود بهتر می‌تواند شدت‌های خشکسالی را تعیین کند.

منابع

۱- آسیایی م.، پایش خشکسالی در مشهد با استفاده از شاخص خشکسالی پالمر، مجله جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای، شماره ۳، ۱۳۸۵، صفحه ۱۶۷ الی ۱۸۶.

۲- امیدوار ک.، اصلانی ا.، ارزیابی چند شاخص خشکسالی در حوضه زاینده‌رود. دومین همایش ملی اثرات خشکسالی و راهکارهای مدیریت آن، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان و ستاد حوادث غیر مترقبه استانداری اصفهان، ایران، ۳۱-۳۰ اردیبهشت.

۳- جوادی م. ر.، باقری م. و میرزاجان سمسار ع.، بررسی و تحلیل وقوع خشکسالی و ترسالی های اقلیمی با استفاده از نمایه‌های درصد از نرمال بارندگی، ناهنجاری های بارش و معیار بارندگی سالانه در استان مرکزی. دومین همایش ملی مقابله با بیابان زایی و توسعه پایدار تالاب های کویری ایران، دانشگاه آزاد اسلامی اراک، ایران، ۱۳۹۰.

۴- حجازی‌زاده ز. و جوی‌زاده س.، مقدمه‌ای بر خشکسالی و شاخص‌های آن، ۱۳۸۹، سازمان چاپ و انتشارات، وزارت فرهنگ و ارشاد اسلامی. ۳۵۸ صفحه.

۵- حسین‌زاده طلایی پ. و معروفی ص.، بررسی وضعیت خشکسالی با استفاده از چند شاخص آماری در استان کردستان- سنندج. دومین همایش ملی اثرات خشکسالی و راهکارهای مدیریت آن، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان و ستاد حوادث غیر مترقبه استانداری اصفهان، ایران، ۳۱-۳۰ اردیبهشت ۱۳۸۸،

۶- خداقلی م.، بررسی زیست اقلیم گیاهی حوضه آبخیز زاینده‌رود، ۱۳۸۴، پایان‌نامه دکتری جغرافیای طبیعی، دانشگاه اصفهان.

۷- خداقلی م.، صبوحی ر. و اسکندری ذ.، تحلیل روند گذشته و پیش‌بینی آینده خشکسالی در استان اصفهان. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع‌طبیعی، علوم آب و خاک، شماره ۱۸، ۱۳۹۳، صفحه ۳۶۷ الی ۳۷۹.

۸- خلیلی ع. و بذرافشان ج.، ارزیابی کارایی چند نمایه‌ی خشکسالی هواشناسی در نمونه‌های اقلیمی مختلف ایران. مجله علمی و فنی نیوار، شماره (۴۸ و ۴۹)، ۱۳۸۲، صفحه ۴۷ الی ۶۲.

۹- خسروی م.، موقری ع. ر. و منصوری دانشور م. ر.، ارزیابی شاخص‌هایPNI، RAI، SIP و SPI برای پهنه‌بندی شدت خشکسالی ایران با مقایسه دو روش درون‌یابی IDW و مدل ارتفاعی رقومی DEM، مجله جغرافیا و پایداری محیط, شماره ۲، ۱۳۹۱، صفحه ۵۳ الی ۷۰.

۱۰- شرکت سهامی آب منطقه ای اصفهان، مطالعات منابع و مصارف آب حوضه زاینده رود، جلد ۳: آب های زیرزمینی، ۱۳۸۷، شرکت سهامی آب منطقه ای اصفهان.

۱۱- کاظمی آ.، سبزی‌پرور ع. ا. و فصل‌بهار ش.، مطالعه تطبیقی چهار نمایه خشکسالی در استان همدان. مجله ی علوم و تکنولوژی محیط زیست، شماره ۱۴، ۱۳۹۱، صفحه ۹۷ الی ۱۰۶.

۱۲- محمدی مطلق، ر.، کارایی نمایه های خشکسالی هواشناسی در مدیریت خطر خشکسالی های سه دهه اخیر در شیراز. دومین کنفرانس سراسری مدیریت جامع منابع آب، دانشگاه کرمان، ۹-۱۰ بهمن‌ماه ۱۳۸۹.

۱۳- مرادی ح. ر. و عرفان زاده ر.، بررسی روند خشکسالی ها و ترسالی ها در حوزه رود هراز. مجموعه مقالات اولین کنفرانس ملی بررسی راهکارهای مقابله با بحران آب، دانشگاه زابل، ایران، ۱۳۸۰.

۱۴- ناصرزاده م. ح. و احمدی ا.، بررسی عملکرد شاخص‌های خشکسالی هوشناسی در ارزیابی خشکسالی و پهنه‌بندی آن در

استان قزوین. نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، شماره ۱۲، ۱۳۹۰، صفحه ۱۴۱ الی ۱۶۲.

۱۵- نجیبی م.، انواع ضریب همبستگی و محاسبه آنها. سایت گروه دانش آماری، قابل دسترسی در

http://www.daneshamari.blogfa.com/post-61.aspx1388

۱۶- نظری پویا ه. و خسروشاهی م.، بررسی و تعیین مناسب ترین شاخص خشکسالی هواشناسی به منظور ارزیابی خشکسالی در استان همدان. تحقیقات مرتع و بیابان ایران، شماره ۲۰، ۱۳۹۲، صفحه۶۲۵ الی ۶۳۳.

۱۷- سعادتی س. س.، سلطانی س. و اسلامیان س. س.، بررسی اماری دوره بازگشت وضعیت‌های مختلف خشکسالی (میانگین، شدید و خیلی شدید) در استان اصفهان با بهره‌گیری از شاخص استاندارد بارش. نشریه مرتع و آبخیزداری، مجله منابع طبیعی ایران. شماره ۲، ۱۳۸۸، صفحه ۲۵۷ الی ۲۶۹.

18- Altman, E. N., Drought Indices In Decision-Making Process of Drought Management. (Master's thesis). 2013, Retrieved from http://scholarcommons.sc.edu/etd/2320

19- Camaro W., Vegetation dynamics and their relationships with precipitation in Africa for drought monitoring purposes. PhD thesis, 2015, http://porto.polito.it/2604355/

20- Hayes, M., M. , Svoboda, N. , Wall & M. Widhalm, The Lincoln Declaration on Drought Indices: Universal Meteorological Drought Index Recommended. Bulletin of the American Meteorological Society, vol 92 (4), pp 485-488, 2010.

21- Mishra, A. K. & v. p. Singh, A review of drought concepts, Journal of Hydrology, Vol, 391, pp, 202 – 216, 2010.

22- Smakhtin, V.U. & Hughes, D. A., Automated estimation and analyses of meteorological drought characteristics from monthly rainfall data. Environ. Model. Softw., Vol, 22, pp, 880-890, 2007

23- Wu, H. , M. J. Hayes, A. Weiss, & Q. Hu, An evaluation of the Standardized Precipitation Index, the China-Z Index and the statistical Z-Score. International Journal of Climatology, Vol, 21, pp, 745-758, 2001.

24- Evaluation and Comparison of Drought Indices and Determination the Suitable Index in Zayandehroud Basin

25- Morteza Khodagholi, Associate Prof., Research Division of Natural Resources, Isfahan Agriculture and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Isfahan, Iran, m_khodagholi@yahoo.com, 989133265318.

26- Razieh Saboohi, expert, Soil conservation and Watershed Management Research Department, Isfahan Agriculture and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Isfahan, I.R. Iran, razieh_saboohi@yahoo.com