

ارزیابی خطر خشکسالی و تغییر اقلیم در استان خراسان رضوی

مسعود مسعودی^{۱*}، زهره عصار^۲

۱- دانشیار بخش مهندسی منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه شیراز

۲- کارشناسی ارشد بخش مهندسی منابع طبیعی و محیط زیست، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

(دریافت: ۹۵/۰۹/۱۱، پذیرش: ۹۶/۰۴/۱۱)

چکیده

در این تحقیق خطرات ناشی از تغییرات اقلیمی و خشکسالی در استان خراسان رضوی در طی دوره آماری ۲۳ ساله (۱۳۶۸-۱۳۹۰) مورد بررسی قرار گرفت. تغییرات اقلیمی در سطح استان با استفاده از شاخص رطوبتی دومارتن و تغییرات دما بدست آمد. به منظور بررسی خشکسالی نیز از دو شاخص SIAP^۱ و PNPI^۲ استفاده شد. نتایج نشان داد که براساس خطر تغییرات اقلیمی، ۷۶ درصد استان تحت تأثیر خطر خیلی شدید، ۱۱/۱ درصد دارای خطر شدید و ۱۲/۸ درصد در کلاس بدون خطر قرار دارد. از نظر خطر خشکسالی براساس شاخص SIAP نیز ۴/۹ درصد استان تحت تأثیر خطر شدید، ۶۴/۴ درصد متوسط و ۳۰/۷ درصد در کلاس خطر کم قرار دارد و براساس شاخص PNPI، ۴۹/۳ درصد تحت تأثیر خطر شدید، ۱۹/۹ درصد خطر متوسط و ۳۰/۷ درصد در کلاس خطر کم قرار دارد. بنابراین نتایج نشان داد که میزان خطر خشکسالی با استفاده از شاخص PNPI بیشتر از شاخص SIAP است.

کلمات کلیدی: خطر خشکسالی، تغییر اقلیم، SIAP، PNPI، خراسان رضوی.

مقدمه

در سال ۲۱۰۰ خواهد رسید، که این افزایش بیش از تغییرات دما در طول ۱۰،۰۰۰ سال گذشته خواهد بود (امیری و اسلامیان، ۲۰۰۹). خشکسالی که به عنوان یکی از پدیده‌های محیطی شناخته شده، در واقع بخش جدایی ناپذیری از تغییرات اقلیمی است که می‌تواند در هر منطقه‌ی جغرافیایی حادث شود و تأثیر عمده‌ای بر آن منطقه بر جای گذارد؛ از جمله بلایای طبیعی است که در مقایسه با مخاطرات طبیعی نظیر بارش‌های سنگین و سیلاب‌ها، به طور خزنده و بطئی شکل گرفته و گسترش می‌یابد.

دانشمندان، پدیده‌های اقلیمی به ویژه خشکسالی‌های متوالی و شدید را مهمترین عامل بیابان زایی می‌دانند (سالیناس و مندیتا^۳، ۲۰۱۲) که به ویژه در مناطق خاورمیانه، شمال آفریقا، استرالیا و آمریکای لاتین گسترش یافته است (برنا و همکاران، ۱۳۸۹). در واقع این پدیده، یک پدیده اقلیمی برگشت پذیر و واقعیتهی اجتناب ناپذیر در اقلیم‌های مختلف است که در اثر کمبود بارندگی طی یک دوره زمانی کوتاه بروز می‌کند (یزدانی و همکاران، ۱۳۹۰). دانشمندان علم آب و هواشناسی به منظور ارزیابی و پایش خشکسالی، شاخص‌های متعددی را ارائه کرده‌اند که هر یک

تغییر اقلیم عبارتست از تغییرات رفتار آب و هوایی یک منطقه نسبت به رفتاری که در طول یک دوره زمانی بلندمدت از اطلاعات مشاهده یا ثبت شده در آن منطقه مورد انتظار است. به بیان دیگر، تغییر اقلیم، معادل تغییرات معنادار آماری برای متوسط وضعیت آب و هوا در طی چندین دهه است (مدرسی و همکاران، ۱۳۸۸). وقوع انقلاب صنعتی در اوایل قرن نوزدهم و توسعه اقتصادی-اجتماعی شیوهی زندگی مردم را دچار تغییر نمود، نیاز به انرژی و مصرف سوخت‌های فسیلی از قبیل زغال سنگ، نفت و گاز طبیعی میزان انتشار دی اکسید کربن و سایر گازهای گلخانه‌ای را به اتمسفر افزایش داد (امیری و اسلامیان، ۲۰۰۹).

افزایش رشد جمعیت جهانی سبب تغییر کاربری اراضی، جنگل‌زدایی، افزایش فعالیت‌های کشاورزی و دامداری شده و تولید بیش از اندازه ضایعات مایع و جامد منجر به بسیاری از مشکلات زیست محیطی مخصوصاً تغییر اقلیم گردیده است (امیری و اسلامیان، ۲۰۰۹).

با استفاده از مدل‌های جوی، پیش بینی شده است که افزایش دمای کره‌ی زمین از ۱ درجه به ۳/۵ درجه سلسیوس

اختصاصی و همکاران (۱۳۸۶) شاخص رطوبتی دومارتن را به منظور بررسی تغییرات اقلیمی در دشت یزد در طی ۵۰ سال اخیر (۲۰۰۴-۱۹۵۴) را مورد بررسی قرار دادند و نتایج مطالعات بیانگر کاهش بارش و افزایش دماست که به عنوان زنگ خطر بیابان‌زایی در منطقه تلقی می‌شود.

عرفانیان و عزیزاده در سال ۱۳۸۸، جهت بررسی پهنه بندی اقلیمی در استان خراسان، از روش دومارتن استفاده کردند؛ نتایج آنان نشان داد که حدود ۲۶ درصد از مساحت استان نیمه‌خشک و ۷۴ درصد خشک و بسیار خشک هستند که بیشتر دربرگیرنده قسمت‌های جنوبی استان است.

اکبری و اکبری (۱۳۸۹) تغییرات اقلیمی در مناطق خشک، آمار پنجاه ساله (۲۰۰۵-۱۹۵۶) ایستگاه سینوپتیک بیرجند را با استفاده از شاخص خشکی دومارتن مورد بررسی قرار دادند. نتایج آنان نشان داد که دما دارای روند افزایشی، بارندگی از سال ۱۹۶۵ تا ۱۹۹۳ افزایش یافته و از سال ۱۹۹۳ به بعد دارای روند کاهشی است. همچنین براساس شاخص دومارتن روند خشکی در دشت بیرجند ($I=۶/۴۵$) در این دوره دارای روند کاهشی بوده است.

بروغنی و همکاران (۱۳۹۴) از شاخص‌های SPI، PNI و ZSI به منظور پهنه بندی خشکسالی و تعیین بهترین شاخص در استان خراسان رضوی استفاده کردند. نتایج حکایت از آن داشت که شاخص خشکسالی SPI بهترین عملکرد را نسبت به شاخص‌های دیگر دارد.

هدف از انجام این تحقیق، بررسی تغییرات اقلیمی با استفاده از شاخص دومارتن و تغییرات دما و تعیین وقایع خشکسالی با استفاده از شاخص معیار بارندگی سالانه (SIAP) و شاخص درصد نرمال بارندگی (PNPI) با استفاده از داده‌های دما و بارندگی سالانه ایستگاه‌های سینوپتیک واقع در استان خراسان رضوی با پایه زمانی مشترک می‌باشد. به دلیل همزمان نبودن زمان تأسیس ایستگاه‌ها از دوره آماری ۲۳ ساله استفاده گردید. همچنین شدت، مدت و تداوم خشکسالی‌های به وقوع پیوسته در طول این دوره نیز مورد بررسی قرار گرفت.

از این شاخص‌ها براساس به کارگیری متغیرهای هواشناسی و روش‌های محاسباتی متفاوتی طراحی شده‌اند (ریچارد^۱ و همکاران، ۲۰۰۲) در واقع یکی از اقدامات 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 کرد (ناصرزاده و احمدی، ۱۳۹۱).

مطالعات متنوعی در زمینه تغییر اقلیم و خشکسالی صورت گرفته است. پژوهش‌های آشکارسازی تغییر اقلیم (CCDP)^۲، در دهمین جلسه کمیسیون اقلیم‌شناسی WMO^۳ (لیسبون، آوریل ۱۹۸۹) شروع و در کنگره ششم در ماه می سال ۱۹۹۱ مورد بحث بیشتر قرار گرفت.

فرج‌زاده و همکاران (۱۳۷۴) با بررسی نمایه‌های مختلف خشکسالی، نشان دادند که نمایه درصد نرمال بارندگی را به علت سادگی، جامعیت و انعطاف‌پذیری می‌توان به عنوان نمایه مناسب انتخاب نمود و به بررسی خشکسالی‌ها در داخل کشور پرداخت.

صراف (۱۳۸۲) خشکسالی را در غرب ایران با استفاده از شاخص‌های PNPI^۴، SPI^۵، ZSI^۶ و شاخص دهک در طول دوره آماری ۴۱ ساله بارش ماهیانه ایستگاه‌های سنندج و میاندوآب (از سال ۱۹۶۱ تا ۲۰۰۱) بررسی کرده و به این نتیجه دست یافت که سال‌های ۲۰۰۱-۱۹۹۵ در طول دوره‌ی آماری، از خشک‌ترین سال‌ها می‌باشند.

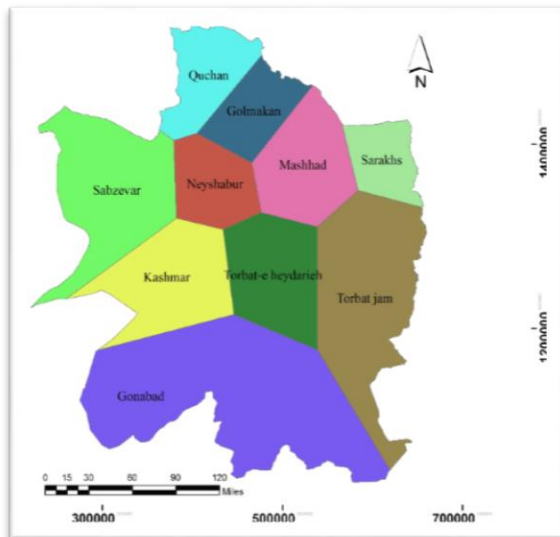
برونینی^۷ و همکاران (۲۰۰۱) نشان دادند که شاخص SPI جهت پایش خشکسالی مفید می‌باشد. آنها همچنین نشان دادند که این شاخص و معادلات توازن آب در مقیاس ماهانه، همخوانی خوبی با هم داشته است.

خلیلی و بذرافشان (۱۳۸۲) طی بررسی چندین نمایه خشکسالی هواشناسی در نمونه‌های اقلیمی مختلف ایران اثبات کرده‌اند که نمایه معیار بارندگی سالانه (SIAP) کمترین انحراف معیار ضرایب همبستگی را دارد و بررسی خشکسالی هواشناسی SIAP سنجی بهتری نسبت به سایر سنج‌های خشکسالی است.

1- Richard
2- Climate Change Detection Project
3- World Meteorological Organization
4- Percent of Normal Precipitation Index
5- Standardized Precipitation Index
6- Z Score Index
7- Bronini

مواد و روش‌ها

موقعیت منطقه مورد مطالعه



شکل ۱- نقشه تقسیم بندی استان به روش تیسن براساس ایستگاههای مورد استفاده

در مرحله بعد برای هر ایستگاه در هر سال، متوسط بارندگی سالیانه، دمای سالیانه و شاخص دومارتن (فرمول ۱) به عنوان یک شاخص اقلیمی محاسبه گردید (جدول ۲). P بارش سالانه بر حسب میلیمتر، T دمای متوسط سالانه بر حسب درجه سلیسیوس

$$I = \frac{P}{T+10} \quad (1)$$

جدول ۲- آمار سالیانه و شاخص دومارتن مربوط به ایستگاه مشهد در خصوص عوامل مورد بررسی

سال	متوسط بارندگی (mm)	متوسط درجه حرارت (°C)	شاخص دومارتن
۱۳۶۸	۱۴۸/۲	۱۵	۱۹/۶
۱۳۶۹	۲۶۰/۲	۱۴/۸	۷/۷
۱۳۷۰	۳۲۴/۲	۱۵/۹	۱۱/۷
...
۱۳۸۸	۲۷۶/۷	۱۸/۹	۱۴/۳
۱۳۸۹	۱۵۵/۵	۱۹	۲۰/۱
۱۳۹۰	۲۵۰/۷	۱۸/۲	۱۶

سپس نمودارهای مربوط به بارندگی سالیانه، دمای سالیانه و شاخص دومارتن برای هر ایستگاه ترسیم گردید (شکل ۲). این نمودارها در واقع نوسانات سالیانه مربوط به شاخصهای اقلیمی را در دورههای متوالی خشک و

استان خراسان رضوی در شمال شرق ایران با مساحتی معادل ۱۱۸۸۵۴ کیلومتر مربع بین ۵۶ درجه و ۱۲ دقیقه تا ۶۱ درجه و ۳۰ دقیقه طول شرقی ۳۳ درجه و ۲۷ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۴۱ دقیقه عرض شمالی قرار دارد. از شمال به ترکمنستان و استان خراسان شمالی، از غرب به استان سمنان، از جنوب غربی و جنوب به استان خراسان جنوبی و از شرق به افغانستان محدود می‌شود. براساس گزارش اداره کل هواشناسی استان خراسان میانگین بارش سالانه در سطح استان بین ۳۰۰ تا ۴۰۰ میلیمتر تغییر می‌کند ولی در مناطق جنوبی، شرقی و مرکزی، میزان بارندگی کاهش چشمگیری می‌یابد و به حدود ۱۵۰ میلیمتر می‌رسد. استان خراسان رضوی یکی از مناطق مستعد خشکسالی در کشور محسوب می‌شود که هر ساله خسارت‌های زیادی را در اثر بروز این پدیده متحمل می‌شود (عرفانیان و علیزاده، ۱۳۸۸).

روش کار

بررسی تغییرات اقلیمی

داده‌های هواشناسی که در این مطالعه مورد استفاده قرار گرفت شامل مقدار بارندگی و دمای سالیانه ۱۰ ایستگاه هواشناسی سینوپتیک در استان خراسان رضوی (شکل ۱) از سال ۱۳۶۸ تا ۱۳۹۰ در یک دوره آماری ۲۳ ساله است که در جدول ۱ ارائه شده‌اند.

جدول ۱- ایستگاه‌های هواشناسی واقع در منطقه مطالعاتی

ردیف	نام ایستگاه	متوسط بارندگی (mm)	متوسط درجه حرارت (°C)	شاخص دومارتن
۱	مشهد	۲۳۵/۸	۱۵/۴	۹/۳۵
۲	ترت حیدریه	۲۵۲/۴	۱۴/۱	۱۰/۵۲
۳	سبزوار	۱۸۳/۸	۱۸/۲	۶/۵۶
۴	گناباد	۱۳۳/۹	۱۷/۳	۴/۹۲
۵	ترت جام	۱۷۱/۹	۱۵/۵	۶/۸۵
۶	نیشابور	۲۳۶/۴	۱۴/۴	۹/۶۲
۷	سرخس	۱۸۷/۸	۱۸	۶/۷۲
۸	گلمکان	۲۰۶/۶	۱۳/۵	۸/۸۳
۹	قوچان	۳۱۰/۵	۱۲/۷	۱۳/۷
۱۰	کاشمر	۱۹۰/۷	۱۷/۸	۶/۹۱

عرفانیان و علیزاده، ۱۳۸۸) در این پژوهش نیز با توجه به اهمیت پدیده خشکسالی و مطالعه آن، عملکرد شاخص‌های خشکسالی هواشناسی SIAP و PNPI جهت ارزیابی شدت، روند و تداوم و پهنه بندی آن در استان خراسان رضوی مورد بررسی قرار گرفت.

شاخص معیار بارندگی سالیانه (SIAP)

بیشتر شاخص‌های خشکسالی برای محیط‌های متفاوت از اقلیم ایران طراحی شده‌اند. خلیلی و بذرافشان (۱۳۸۲) طی بررسی چندین نمایه خشکسالی هواشناسی در نمونه‌های اقلیمی مختلف ایران بیان کرده‌اند که شاخص خشکسالی هواشناسی SIAP شاخص بهتری نسبت به سایر شاخص‌های خشکسالی‌ها است که به منظور بررسی روند خشکسالی‌ها و ترسالی‌ها در گستره ایران معادله آن به صورت زیر ارائه شده است (صراف و امامقلی‌زاده، ۱۳۸۵؛ خلیلی، ۱۳۷۷):

$$SIAP = \frac{P_i - \bar{P}}{SD} \quad (2)$$

که در آن P_i بارندگی سالیانه، \bar{P} میانگین و SD انحراف معیار سری بارندگی است. طبقه‌بندی شاخص SIAP در جدول ۳ آمده است.

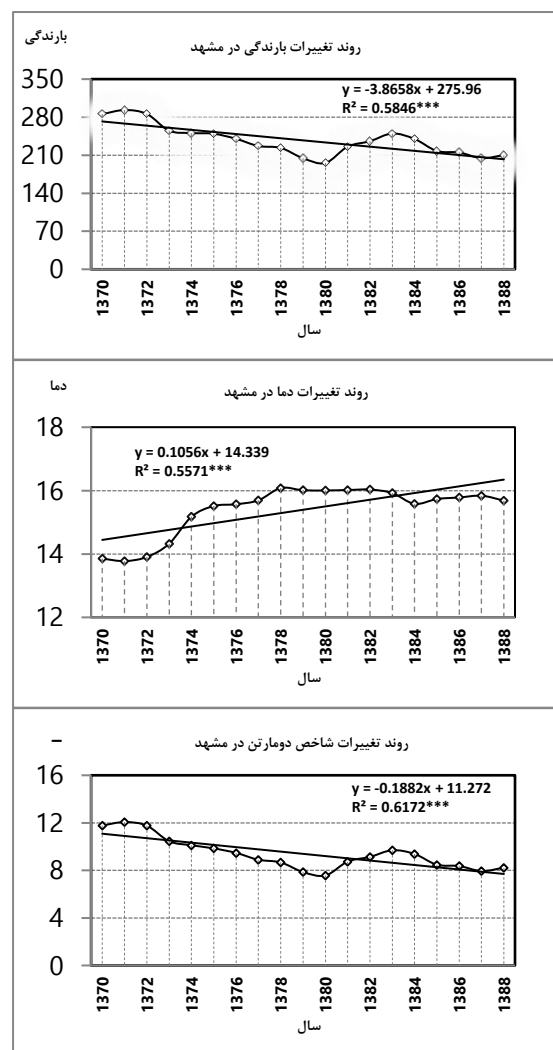
جدول ۳- طبقات مختلف شاخص SIAP

(کاردان مقدم و همکاران، ۱۳۸۸)

شاخص معیار بارندگی سالانه (SIAP)	طبقات شدت خشکسالی
+۰/۲۵ تا -۰/۲۵	نرمال
-۰/۲۵ تا -۰/۵۲	خشکسالی ضعیف
-۰/۵۲ تا -۰/۸۴	خشکسالی متوسط
۰/۸۴ تا -۱/۲۸	خشکسالی شدید
کمتر از -۱/۲۸	خشکسالی بسیار شدید

با بررسی آمار مربوط به ایستگاه‌های سینوپتیک، با استفاده از فرمول (۲)، مقادیر SIAP سالانه مشخص شده و پس از آن کلاس خطر شدت خشکسالی مربوط به آن با توجه به جدول ۴ بر اساس کمترین مقدار تعیین شده برای SIAP مشخص گردید. سالی خشک محسوب می‌شود که مقدار SIAP در آن کمتر از -۰/۵ باشد. طبقه‌بندی این شاخص با توجه به شرایط تداوم خشکسالی در جدول ۴

مرطوب نشان می‌دهد. با محاسبه میانگین لغزان ۵ ساله برای هر یک، از شدت نوسانات کاسته شده و روند افزایش یا کاهش آن به خوبی نشان داده می‌شود. سپس معنی دار بودن یا نبودن تغییرات به وقوع پیوسته در خصوص افزایش یا کاهش میزان بارندگی، درجه حرارت و خشک‌تر شدن یا مرطوب شدن اقلیم هر ایستگاه با استفاده از شاخص دومارتن با محاسبه خط برازش و ضریب همبستگی پیرسون در سطح اطمینان ۹۵٪ برای هر یک از ایستگاه‌های هواشناسی تعیین گردید.



شکل ۲- روند تغییرات شاخص‌های اقلیمی در ایستگاه سینوپتیک مشهد (***) معنی‌داری در سطح ۰/۰۰۱

خشکسالی

یکی از اقدامات مهم و اساسی در مطالعات خشکسالی در هر منطقه، تعیین شاخص‌هایی است که بتوان براساس آن‌ها میزان شدت، تداوم و روند خشکسالی را ارزیابی نمود

ارائه شده است. در مرحله بعد تقسیم سری داده‌ها به دو دوره برابر برای مقایسه روند افزایش خشکسالی‌های دوره‌ی دوم نسبت به دوره‌ی اول صورت می‌گیرد؛ روش کار بدین صورت است که ابتدا درصد خشکسالی‌ها (سال‌های خشک) به کل سال‌ها را در هر دوره تعیین شده سپس با توجه به فرمول (۳) درصد افزایش خشکسالی‌ها را در هر دوره بدست می‌آید و در نهایت براساس جدول ۴ طبقه‌بندی

روند صورت گرفت (اسراری و مسعودی، ۲۰۱۰؛ اسراری و همکاران، ۲۰۱۲). لازم به ذکر است که برآورد حدکثر شدت مشاهده شده بر اساس جدول ۴ صورت گرفت (اسراری و همکاران، ۲۰۱۲).

$$\text{روند} = \frac{\text{درصد نیمه اول} - \text{درصد نیمه دوم}}{\text{درصد نیمه اول}} \times 100 \quad (۳)$$

جدول ۴- چگونگی تعیین کلاس‌های خطر برای ارزیابی خشکسالی با استفاده از شاخص SIAP (اسراری و همکاران، ۲۰۱۲)

طبقات معیار	بدون خطر (۱)	خطر کم (۲)	خطر متوسط (۳)	خطر شدید (۴)	خطر خیلی شدید (۵)
حداکثر شدت مشاهده شده	$0/5 <$	$0/5$ تا $0/99$	1 تا $1/49$	$1/5$ تا $1/99$	$2 \geq$
حداکثر مدت تداوم (سال)	$1-0$	2	3	$4-5$	$6 \leq$
روند (درصد افزایش)	$0 \geq$	$1-32$	$33-65$	$66-99$	$100 \leq$

شاخص درصد نرمال بارندگی (PNPI)

استفاده از این شاخص یکی از ساده‌ترین روش‌های ارزیابی شدت خشکسالی است که برای بیان اولیه این پدیده مفید است. این شاخص یکی از مهم‌ترین شاخص‌هایی است که برای ارزیابی خشکسالی مورد استفاده قرار می‌گیرد و از تقسیم میزان بارندگی رخ داده بر مقدار بارندگی نرمال بدست آمده و برحسب درصد بیان می‌شود (برنا و همکاران، ۱۳۸۹) معادله‌ی این شاخص به شرح ذیل می‌باشد:

$$PNPI = \frac{P}{\bar{P}} \times 100 \quad (۴)$$

که در آن P_i بارندگی سالیانه، \bar{P} میانگین بارندگی است. طبقات مختلف این نمایه در جدول ۵ ارائه شده است.

جدول ۵- طبقه‌بندی شاخص درصد نرمال

(کریمی و همکاران، ۱۳۸۹)

کلاس	مقادیر PNPI
خشکسالی جزئی	۷۰-۸۰ درصد
خشکسالی متوسط	۵۵-۷۰ درصد
خشکسالی شدید	۴۰-۵۵ درصد
خشکسالی بسیار شدید	کمتر از ۴۰ درصد

با بررسی آمار مربوط به ایستگاه‌های سینوپتیک، با استفاده از فرمول (۴)، مقادیر PNPI سالانه مشخص گردید. سالی خشک محسوب می‌شود که مقدار PNPI در آن کمتر از ۸۰ درصد باشد که طبقه‌بندی این شاخص در جدول ۶ ارائه شده است. پس از آن کلاس خطر شدت خشکسالی مربوط به آن با توجه به جدول ۶ براساس کمترین مقدار تعیین شده برای PNPI مشخص گردید. در مرحله بعد روند خشکسالی براساس روش ذکر شده برای شاخص (SIAP) فرمول (۳) محاسبه گردید.

جدول ۶- چگونگی تعیین کلاس‌های خطر برای ارزیابی خشکسالی با استفاده از شاخص PNPI (اسراری و مسعودی، ۲۰۱۱)

طبقات معیار	بدون خطر (۱)	خطر کم (۲)	خطر متوسط (۳)	خطر شدید (۴)	خطر خیلی شدید (۵)
حداکثر شدت مشاهده شده	$80 <$	71 تا 80	55 تا 70	41 تا 55	$40 \geq$
حداکثر مدت تداوم (سال)	$1-0$	2	3	$4-5$	$6 \leq$
روند (درصد افزایش)	$0 \geq$	$1-32$	$33-65$	$66-99$	$100 \leq$

در نهایت با استفاده از جدول ۷ نقشه خطر نهایی خشکسالی با محاسبه میانگین حسابی کلاس خطر شدت، تداوم و روند براساس فرمول ۵ در استان خراسان رضوی با توجه به شاخص‌های SIAP و PNPI بدست آمد.

(۵) ۳/ (کلاس شدت+ کلاس تداوم+ کلاس روند)=درجه خطر

جدول ۷- چگونگی تعیین کلاس‌های نهایی خطر برای ارزیابی خشکسالی

طبقات معیار	کلاس ۱ (بدون خطر)	کلاس ۲ (کم خطر)	کلاس ۳ (خطر متوسط)	کلاس ۴ (خطر شدید)	کلاس ۵ (خطر خیلی شدید)
خطر نهایی خشکسالی	۱ تا ۱/۴۹	۱/۵ تا ۲/۴۹	۲/۵ تا ۳/۴۹	۳/۵ تا ۴/۴۹	۴/۵ ≤

نتایج

نقشه خطر تغییرات اقلیمی با استفاده از روش تیسن در محیط GIS بدست آمد. در نهایت با استفاده از داده‌های جداول ۸ و ۹ نقشه خطر تغییرات اقلیمی در استان خراسان رضوی بدست آمد (شکل ۳).

نتایج حاصل از آنالیز رگرسیون خطی عوامل اقلیمی در طول این دوره آماری در ایستگاه‌های هواشناسی بر اساس جدول ۸ می‌باشد. در نهایت با استفاده از جدول ۹ میزان خطر حاصل از تغییرات عوامل اقلیمی برآورد گردیده و

جدول ۸- روند تغییرات عوامل اقلیمی در هر ایستگاه

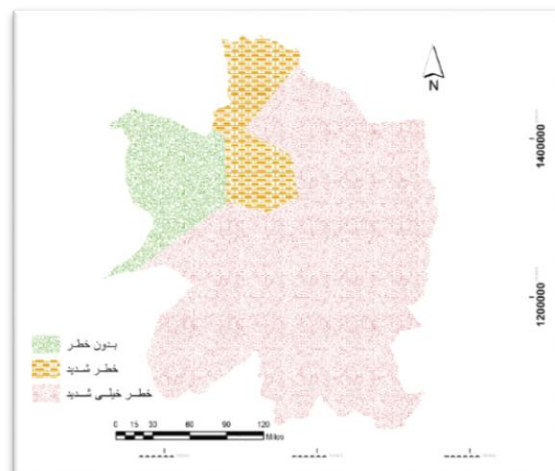
ردیف	نام ایستگاه	روند تغییرات بارندگی	روند تغییرات دما	روند تغییرات شاخص دوما رتن
۱	مشهد	کاهش در سطح ۰,۰۰۱	گرمتر شدن در سطح ۰,۰۰۱	خشکتر در سطح ۰,۰۰۱
۲	تربت حیدریه	کاهش در سطح ۰,۰۰۱	گرمتر شدن در سطح ۰,۰۰۱	خشکتر در سطح ۰,۰۰۱
۳	سبزوار	بدون تغییر	بدون تغییر	بدون تغییر
۴	گناباد	کاهش در سطح ۰,۰۰۱	گرمتر شدن در سطح ۰,۰۰۱	خشکتر در سطح ۰,۰۰۱
۵	تربت جام	کاهش در سطح ۰,۰۱	گرمتر شدن در سطح ۰,۰۰۱	خشکتر در سطح ۰,۰۰۱
۶	نیشابور	بدون تغییر	گرمتر شدن در سطح ۰,۰۰۱	بدون تغییر
۷	سرخس	کاهش در سطح ۰,۰۵	گرمتر شدن در سطح ۰,۰۰۱	خشکتر در سطح ۰,۰۱
۸	گلمکان	کاهش در سطح ۰,۰۱	گرمتر شدن در سطح ۰,۰۰۱	خشکتر در سطح ۰,۰۱
۹	قوچان	بدون تغییر	گرمتر شدن در سطح ۰,۰۱	بدون تغییر
۱۰	کاشمر	کاهش در سطح ۰,۰۰۱	گرمتر شدن در سطح ۰,۰۰۱	خشکتر در سطح ۰,۰۰۱

جدول ۹- چگونگی تعیین کلاس‌های خطر برای ارزیابی روند تغییرات عوامل اقلیمی (اسراری و مسعودی، ۲۰۱۰)

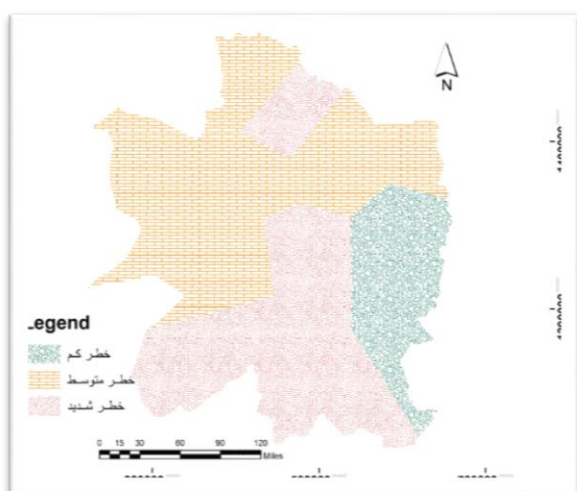
کلاس خطر	توصیف	تشریح کلاس
۱	بی خطر	بدون تغییر در دما و اقلیم
۲	کم خطر	تغییر معنی دار در افزایش دما (افزایش دما مساوی و کمتر از ۱ درجه سانتیگراد در ۱۰۰ سال)
۳	خطر متوسط	تغییر معنی دار در افزایش دما (افزایش دما بین ۱ تا ۴ درجه در ۱۰۰ سال)
۴	خطر شدید	تغییر معنی دار در افزایش دما (افزایش دما بیشتر از ۴ درجه در ۱۰۰ سال) یا تغییر معنی دار در خشکتر شدن اقلیم (کاهش ضریب دوما رتن)
۵	خطر خیلی شدید	تغییر معنی دار در افزایش دما (افزایش دما بیشتر از ۴ درجه در ۱۰۰ سال) و تغییر معنی دار در خشکتر شدن اقلیم (کاهش ضریب دوما رتن)



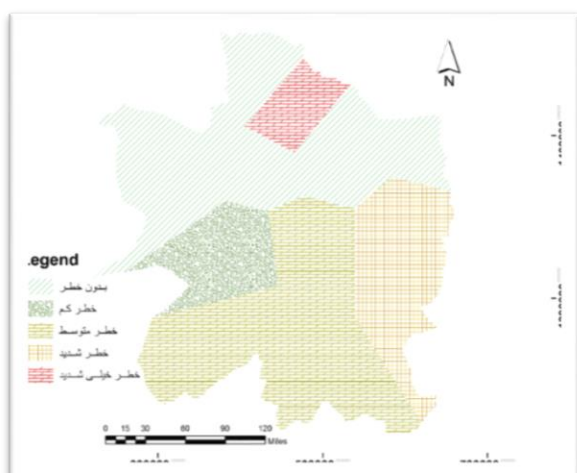
شکل ۱) شدت خشکسالی بر اساس شاخص SIAP



شکل ۳- نقشه خطر تغییرات اقلیمی در استان خراسان رضوی



شکل ۲) تداوم خشکسالی بر اساس شاخص SIAP



شکل ۳) روند خشکسالی بر اساس شاخص SIAP

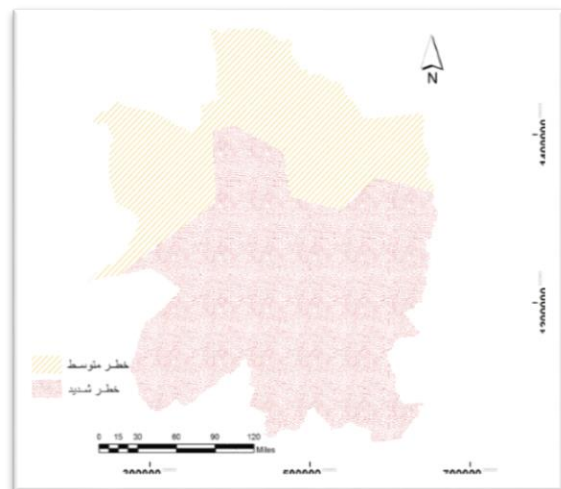
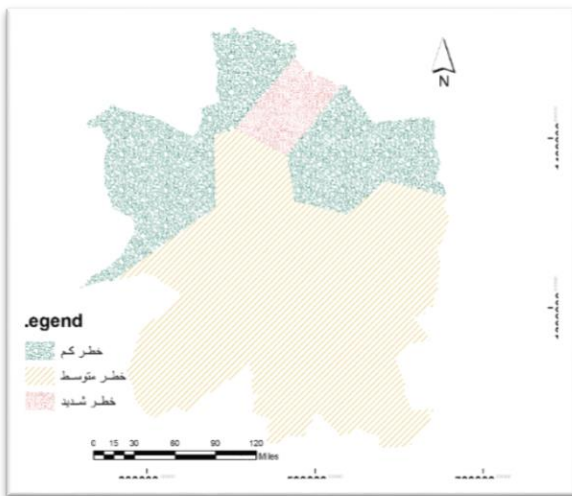
شکل ۴- شدت، تداوم و روند فرآیند خشکسالی

گسترش طبقات خطر نشان می‌دهد که به ترتیب ۱۲/۸، ۱۱/۱ و ۷۶ درصد از منطقه در طبقه بدون خطر، خطر شدید و خیلی شدید قرار گرفته است لذا می‌توان گفت تغییر اقلیم منطقه به سمت خشک و گرم‌تر شدن در افزایش پدیده بیابان‌زایی در منطقه از نقش بسزایی برخوردار است که این عامل تا حد زیادی از کنترل انسان خارج شده است و بایستی برای بهبود سایر عوامل تأثیرگذار (مانند پایش منظم و اجرایی شدن این قبیل پژوهش‌ها) تمهیداتی اندیشیده شود تا از شدت عمل فرآیند تغییرات اقلیمی کاسته شود.

بررسی خطر خشکسالی در استان خراسان رضوی با استفاده از شاخص‌های SIAP و PNPI از نظر شدت، تداوم و روند خشکسالی صورت گرفت و نتایج بدست آمده براساس جداول ۴ و ۶ نقشه خطر برای شدت، تداوم و روند خشکسالی (اشکال ۴ و ۵) بدست آمد.

اساس اشکال ۶ و ۷ می باشد.

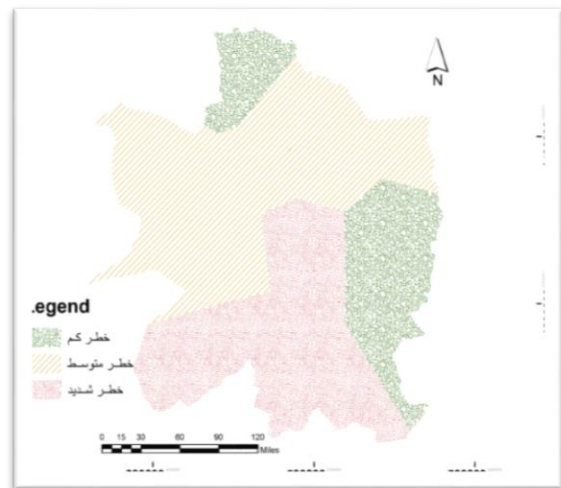
براساس شاخص SIAP



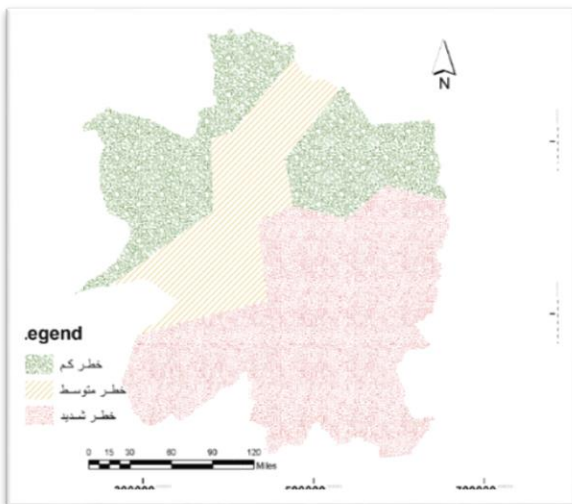
(۱) شدت خشکسالی بر اساس شاخص PNPI

شکل ۶- نقشه نهایی خطر خشکسالی بر اساس شاخص SIAP

گسترش طبقات خطر در نقشه نهایی خشکسالی بر اساس شاخص SIAP نشان می دهد که به ترتیب ۳۰/۷، ۴۴/۴ و ۴/۹ درصد تحت تأثیر خطر کم، متوسط و خطر شدید قرار می گیرد. وقوع خشکسالی های پی در پی با شدت و تداوم زیاد منجر به تغییر شرایط محیطی گردیده و مناطق مختلف را در معرض پدیده بیابانزایی قرار می دهد (یزدانی و همکاران، ۱۳۹۰).

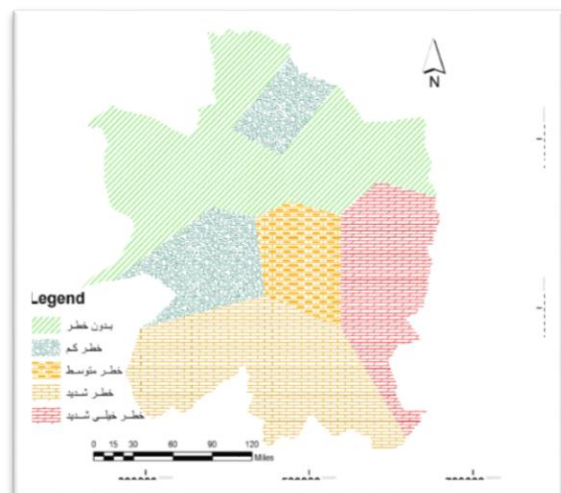


(۲) تداوم خشکسالی بر اساس شاخص PNPI



شکل ۷- نقشه نهایی خطر خشکسالی بر اساس شاخص PNPI

گسترش طبقات خطر در نقشه نهایی خشکسالی بر اساس شاخص PNPI نشان می دهد که به ترتیب ۳۰/۷، ۴۹/۳ و ۱۹/۹ درصد تحت تأثیر خطر کم، متوسط و خطر شدید قرار دارد.



(۳) روند خشکسالی بر اساس شاخص PNPI

شکل ۵- شدت، تداوم و روند فرآیند خشکسالی

بر اساس شاخص PNPI

نقشه نهایی خطر خشکسالی در استان خراسان رضوی بر

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از بررسی خشکسالی نشان می‌دهد که رابطه نزدیکی میان تغییرات اقلیمی و پدیده خشکسالی وجود دارد. براساس شاخص SIAP در خصوص پهنه‌بندی شدت، تداوم و روند خشکسالی تفاوت‌های بیشتری وجود دارد (شکل ۹) در حالیکه براساس شاخص PNPI این تفاوت کمتر به چشم می‌آید (شکل ۱۰)، که این مسئله ممکن است به دلیل تفاوت در روش و نحوه ارزیابی باشد. بررسی دوره-های خشک با استفاده از شاخص SIAP در سطح استان خراسان رضوی نشان می‌دهد که در سال‌های اخیر ضمن افزایش تداوم خشکی‌ها تا حدودی از شدت آن‌ها کاسته شده است که این نتایج با نتایج مطالعه یزدانی و همکاران (۱۳۹۰) مطابقت دارد. بررسی خشکسالی‌ها در استان خراسان رضوی نیز نشان می‌دهد که مناطق جنوبی استان نسبت به مناطق دیگر بیشتر در معرض خشکسالی‌های طولانی مدت قرار دارند.

همچنین عرفانیان و علیزاده (۱۳۸۸) در بررسی خشکسالی در استان خراسان رضوی از شاخص درصد نرمال بارندگی (PNPI) استفاده نمودند. نتایج آنان نشان داد که با پیشروی به سمت جنوب و غرب استان بر درصد خشکسالی‌ها افزوده می‌شود که با نتایج بدست آمده در این تحقیق هماهنگی دارد.

همچنین پهنه‌بندی شاخص PNPI در سال ۱۳۸۴، نشان می‌دهد که بخش وسیعی از استان (۶۴٪) در وضعیت خشکسالی متوسط و شدید قرار دارند. ۲۸٪ دارای خشکسالی ضعیف و تنها ۸٪ در وضعیت نزدیک نرمال به سر می‌برند (عرفانیان و علیزاده، ۱۳۸۸) که افزایش درصد گستره دارای خشکسالی شدید در طی سال‌های اخیر را نشان می‌دهد.

از نتایج پهنه‌بندی می‌توان به موضعی بودن پدیده خشکسالی اشاره نمود به طوری که کلاس خطر خشکسالی در برخی از ایستگاه‌ها با هم یکی نبوده و تفاوت بین آن‌ها در بعضی مناطق زیاد است. به طور کل براساس شاخص SIAP به ترتیب ۴/۹، ۴/۴ و ۳۰/۷ درصد تحت تاثیر خطر شدید، متوسط و خطر کم قرار می‌گیرد و براساس شاخص

این تحقیق با استفاده از آمار بارندگی و دمای سالیانه ۱۰ ایستگاه سینوپتیک واقع در استان خراسان رضوی در طی دوره آماری ۲۳ ساله (۱۳۶۸-۱۳۹۱) و با آنالیزهای صورت گرفته براساس معنی دار بودن یا نبودن تغییرات اقلیمی با محاسبه رگرسیون انجام گرفت. شکل ۳ نشان می‌دهد که بخش وسیعی از استان از نظر تغییرات اقلیمی به وقوع پیوسته در معرض خطر شدید قرار دارد. میزان تغییرات به وقوع پیوسته در خصوص افزایش یا کاهش بارندگی و دمای سالیانه و همچنین خشکتر یا مرطوب‌تر شدن مناطق با استفاده از شاخص رطوبتی دومارتن در شکل ۸ نشان داده شده است. در نهایت درصد گسترش طبقات خطر ناشی از تغییر اقلیم در استان خراسان رضوی نشان می‌دهد که بترتیب ۷۶، ۱۱/۱ و ۱۲/۸ درصد از استان تحت تاثیر خطر خیلی شدید، شدید و بدون خطر قرار گرفته است. همچنین نتایج حاصل از جدول ۸ نشان می‌دهد که در اکثر مناطق استان، روند تغییرات اقلیمی ناشی از بررسی دما و بارندگی کاملاً معنی‌دار بوده و تنها شهرستان‌های سبزوار، نیشابور و قوچان دارای شرایط طبیعی و بدون تغییر بوده است که با نتایج تحقیق عرفانیان و علیزاده (۱۳۸۸) مطابقت دارد.



شکل ۸- درصد گسترش شاخص‌های اقلیمی مختلف در استان خراسان رضوی

PNPI به ترتیب ۴۹/۳، ۱۹/۹ و ۳۰/۷ درصد تحت تاثیر خطر شدید، متوسط و خطر کم قرار می گیرد.

در مجموع از عوامل مؤثر در فرآیند خشکسالی بویژه در منطقه مورد مطالعه می توان به "کاهش میزان، شدت و دوره بارندگی و نزولات جوی، افزایش دمای هوا، کاهش پوشش ابر، کمبود منابع آب سطحی و زیرزمینی و همچنین مشکلات افزایش جمعیت که باعث دوچندان شدن مشکل گردیده" اشاره نمود. پیشنهاداتی نیز در پایان این مقاله می توان اضافه نمود که از جمله "افزایش سطح دانش و آگاهی عموم، استفاده از روش های نوین آبیاری در اراضی کشاورزی، تغذیه آب های سطحی و زیرزمینی، افزایش کاشت گیاهان و جلوگیری از تخریب آنها، نظارت و پایش منظم، سیاست گذاری و برنامه ریزی مدون دولت" می توان اشاره نمود.

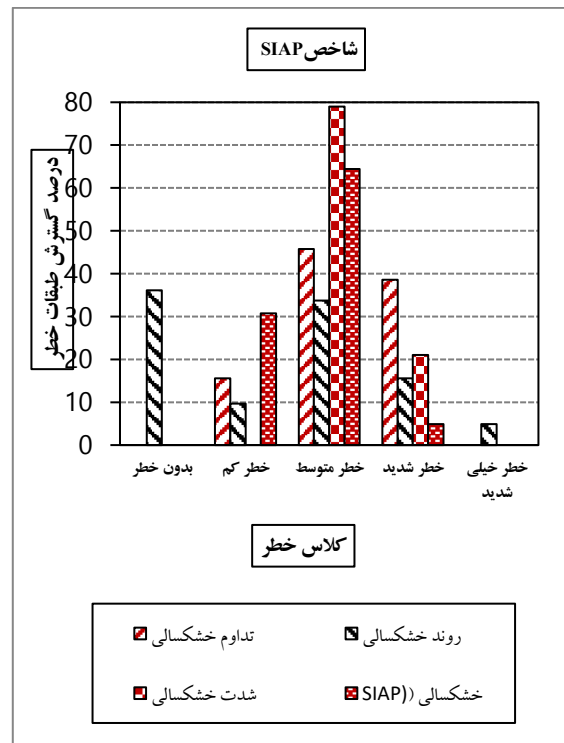
منابع

۱. اختصاصی، م. ر.، عبدی نژاد، غ. ع.، کوثری، م. ر.، نیازی، ی.، طباطبایی، س. ع. (۱۳۸۶) تغییر شاخص های اقلیمی، زنگ خطر بیابانزایی (مطالعه موردی: دشت یزد)، مجله علمی-پژوهشی جنگل و مرتع، شماره ۷۴، صص ۱۰-۷.

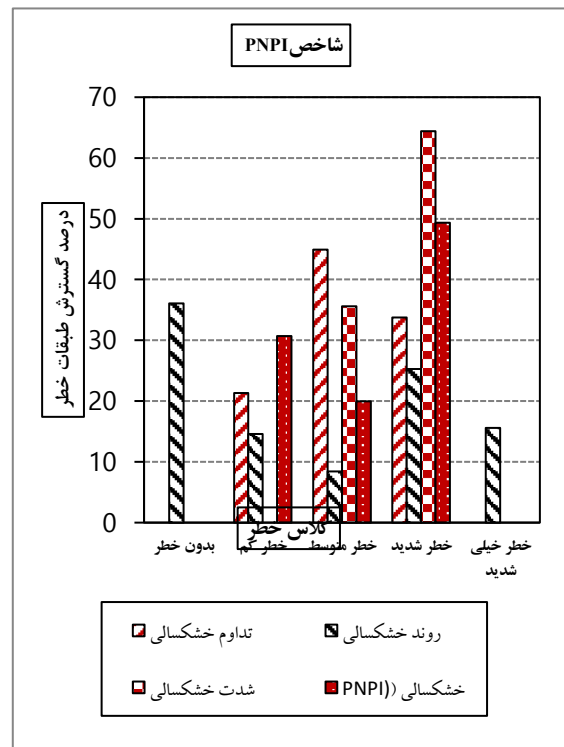
۲. اکبری، م.، اکبری، م. (۱۳۸۹) بررسی اثر تغییر اقلیم بر خشکسالی و بیابانزایی (مطالعه موردی: دشت بیرجند)، همایش کاربرد جغرافیای طبیعی در برنامه ریزی محیطی. خرم آباد - دانشگاه آزاد اسلامی واحد خرم آباد.

۳. انصافی مقدم، ط. (۱۳۸۶) ارزیابی چند شاخص خشکسالی اقلیمی و تعیین مناسب ترین شاخص در حوزه دریاچه نمک، فصلنامه علمی-پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان ایران، شماره ۲، صص ۲۸۸-۲۷۱.

۴. برنا، ر.، عظیمی، ف.، سعیدی دهکی، ن. (۱۳۸۹) مقایسه شاخص های SIAP، PN و RAI در بررسی خشکسالی های استان خوزستان با تأکید بر ایستگاه های آبادان و دزفول، فصلنامه جغرافیای طبیعی، شماره ۹، صص ۸۸-۷۷.



شکل ۹- درصد گسترش طبقات خطر تداوم، شدت، روند و نهایی خشکسالی براساس شاخص SIAP



شکل ۱۰- درصد گسترش طبقات خطر تداوم، شدت، روند و نهایی خشکسالی براساس شاخص PNPI

۵. بروغنی، م.، مرادی، ح.ر.، زنگنه اسدی، م.ع. (۱۳۹۴) پهنه بندی و تعیین بهترین شاخص خشکسالی در استان خراسان رضوی. مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، شماره نوزدهم، صص ۸۴-۷۰.
۶. خلیلی، ع.، بذرافشان، ج. (۱۳۸۲) ارزیابی کارایی چند نمایه خشکسالی هواشناسی در نمونه‌های اقلیمی مختلف ایران، نیوار، جلد‌های ۴۸ و ۴۹، صص ۹۳-۷۹.
۷. ساری صراف، ب.، جامعی، ج. (۱۳۸۲) تحلیل برآورد خشکسالی در غرب ایران، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، شماره ۴ (پیاپی ۷۱)، ص.
۸. ساری صراف، ب. و امامقلیزاده، م. (۱۳۸۵) بررسی اجمالی اقلیم ایران با تاکید به روش SIAP، نشریه فضای جغرافیایی، شماره ۱۵، صص ۵۵-۳۸.
۹. عرفانیان، م. و علیزاده، ا. (۱۳۸۸) بررسی وضعیت خشکسالی‌ها در استان خراسان رضوی، مجله جغرافیا و توسعه‌ی ناحیه‌ای، شماره ۱۳، صص ۱۷-۱.
۱۰. فرج‌زاده، م.، موحد دانش، ع. ا.، قائمی، ه. (۱۳۷۴) خشکسالی در ایران با استفاده از شاخص‌های آماری، مجله دانش کشاورزی، جلد ۵، شماره ۲، صص ۵۰-۱.
۱۱. کاردان‌مقدم، ح.، حاجی‌زاده، ف.، اعتباری، ب. (۱۳۸۸) تعیین خشکسالی‌ها براساس آمار بارندگی سالیانه در شرق کشور، دومین همایش ملی اثرات خشکسالی و راهکارهای مدیریت آن. اصفهان - مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان.
۱۲. کریمی، و. ا.، حبیب‌نژاد روشن، م.، آبکار، ع. ج. (۱۳۸۹) بررسی شاخص‌های خشکسالی هواشناسی در ایستگاه‌های سینوپتیک مازندران، فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب، شماره ۵، صص ۲۵-۱۵.
۱۳. ناصرزاده، م. ح.، احمدی، ا. (۱۳۹۱) بررسی عملکرد شاخص‌های خشکسالی هواشناسی در ارزیابی خشکسالی و
- پهنه‌بندی آن در استان قزوین، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، شماره ۲۷، صص ۱۶۲-۱۴۱.
۱۴. مدرسی، م.، عراقی‌نژاد، ش.، ابراهیمی، ک.، خلقی، م. (۱۳۸۸) بررسی منطقه‌ای پدیده تغییر اقلیم با استفاده از آزمون‌های آماری، مطالعه موردی: حوزه آبریز گرگانرود- قره‌سو، نشریه آب و خاک، شماره ۳، صص ۴۸۹-۴۷۶.
۱۵. یزدانی، و.، زارع ایبانه، ح.، شادمانی، م. (۱۳۹۰) تحلیل فراوانی و پهنه‌بندی خشکسالی‌های ایران با کاربرد نمایه شاخص استاندارد شده بارش، مجله مهندسی منابع آب، شماره ۸، صص ۴۳-۳۱.
16. Amiri, M.J.; S.S. Eslamian (2010). Investigation of Climate Change in Iran, Journal of Environmental Science and Technology, Vol. 3(4), pp. 208-216.
17. Asrari, E.; M. Masoudi (2010) Hazard assessment of climate changes, a case study area: Fars Province, Iran, International Pollution Research, Vol. 29 (2), pp. 275-281.
18. Asrari, E.; M. Masoudi (2011) Hazard assessment of drought using Percent of Normal Precipitation Index (PNPI), a case of study: Fars Province, Iran, Ecology Environment and conservation, Vol. 17 (2), pp. 257-261.
19. Asrari, E.; M. Masoudi, S.S. Hakimi, (2012) GIS overlay analysis for hazard assessment of drought in Iran using Standardized Precipitation Index (SPI). J. of Ecology and Field Biology, Vol. 35(4), pp. 323-329.
20. Bronini, O., H.S. Pinto, J. Zullo, M.T. Barbano, M.B.P. Camargo, R.R. Alfonsi, G.C. Blain, M.J. Pedro and G.Q. Pellegrino, (2001) Drought Quantification and Preparedness in Brazil. The example of Sao Paulo State.
21. Khalili, A. (1998). Country water integrated project-updating report. Ministry of power, Jamab, Tehran.
22. Richard, R. Heim (2002) A Review of Twentieth century drought Indices used in the united states, American Meteorological society, vol. 83, pp. 1149-1165.
23. Richard, R. Heim (2002) "A Review of Twentieth century drought Indices used in the

and adaptation investments for desertification and climate change: an assessment of the socioeconomic return, *Mitting Adapt Strategy Glob Change*, vol. 10, pp. 9380-9388.

united states", *American Meteorological society*, vol. 83, pp. 1149-1165.

24. Salinas, C.X.: J. Mendieta (2012) *Mitigation*