

واکاوی دقت شاخص‌های خشکسالی اقلیمی و پهنه‌بندی فراوانی خشکسالی توسط بهترین شاخص منتخب در پهنه مرکزی ایران

سید اسعد حسینی^۱، فرشاد پژوه^۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۲/۰۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۵/۲۱

چکیده

پدیده خشکسالی مهم‌ترین بلای طبیعی که بسیاری از کشورها را تحت تأثیر خود قرار داده و باعث بروز مشکلات بسیاری از جمله اقتصادی، اجتماعی و... شده است. هدف پژوهش بررسی کارایی ۸ نمایه خشکسالی در استان‌های اصفهان، کرمان و یزد و انتخاب بهترین نمایه است. بدین منظور، با استفاده از داده‌های ماهانه و سالانه بارش طی دوره ۳۰ ساله (۱۹۸۵-۲۰۱۴) و با استفاده از ۸ نمایه خشکسالی در ۲۰ ایستگاه هواشناسی مرکز ایران، دقت هر نمایه در تعیین خشکسالی موردبررسی قرار گرفته است. پهنه‌بندی نیز در نرم‌افزار *ARC GIS 9.3* برای خشک‌ترین سال طی دوره آماری و بر اساس بهترین نمایه انتخابی صورت گرفته است. برای انتخاب بهترین نمایه‌ها در مقیاس ماهانه و سالانه از سنجه کارآمد تقارن سال وقوع کمینه بارندگی با خشکسالی بسیار شدید در ایستگاه‌های منطقه استفاده شده است. بر اساس نتایج در مقیاس ماهانه تنها نمایه *SPI* ۶ و ۱۲ ماهه جهت پایش خشکسالی حتی در ماه‌های کم‌باران با داده‌های صفر مواجه می‌شوند و نمایه‌های استاتیک مثل *RAI* و *DI* قادر به تعیین شرایط واقعی خشکسالی نیستند. در مقیاس سالانه نمایه‌های *RAI* و *DI* در تمام ایستگاه‌ها، سال کمینه بارندگی را مطابق با خشکسالی بسیار شدید نشان داده و به‌عنوان بهترین نمایه شناخته شده‌اند. ضعیف‌ترین نمایه (نیچه) توانایی تعیین شدت خشکسالی را در کل منطقه مورد مطالعه ندارد. در مقایسه کارایی نمایه *RAI* و *SPI*، نمایه *RAI* رخداد خشکسالی بسیار شدید را در تمام منطقه نشان داده و نمایه *SPI* در چند ایستگاه، توان نمایش رده خشکسالی بسیار شدید را طی دوره ۳۰ ساله در منطقه ایران مرکزی نداشت.

^۱ دکتری اقلیم شناسی دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، Email: hosseini.asad8@gmail.com

^۲ دکتری اقلیم شناسی دانشگاه خوارزمی تهران (نویسنده، مسئول مکاتبات) Email: farshad.pazhooh44@gmail.com

کلید واژگان: ایران مرکزی، بارندگی، پهنه‌بندی، خشکسالی، نمایه RAI

مقدمه

در خاورمیانه آب منبعی کمیاب محسوب می‌شود و پیش‌بینی‌های مختلفی درباره اینکه ممکن است تنش‌ها بر سر دسترسی به آب به درگیری‌های خشونت‌آمیز منجر شود وجود دارد (Myres, 2001). Kaldor آب را منبعی می‌داند که با منازعه و درگیری، ارتباطی مستقیم دارد و انتظار می‌رود چنین ارتباطاتی در شرایط تغییرات اقلیمی و به‌خصوص در مناطق خشکی مثل خاورمیانه و آسیای مرکزی، تقویت شوند. ایران کنونی در بستر تغییرات اقلیمی، می‌رود تا شاهد بحران‌های اجتماعی (مهاجرت و رشد لجام‌گسیخته نقاط شهری به‌ویژه کلان‌شهرها و عدم توانایی دولت در مدیریت بهینه مسائل شهری)، بحران سلامتی (بخش‌های مختلفی در ایران و کل خاورمیانه با معضل پیچیده خشکسالی و به‌تبع آن رخداد طوفان‌های ریزگرد، گردوخاک و آلودگی هوا در نقاط شهری روبه‌رو می‌باشد که این امر باعث شیوع شدید بیماری‌های تنفسی، آلرژیک و حتی سرطانی در طی سال‌های اخیر بوده است) باشد.

بحران اقتصادی (به‌ویژه اینکه در وضعیت کنونی اشتغال، بخش عمده‌ای از جمعیت ایران در بخش کشاورزی در معرض تهدید قرار دارد و از آنجا که بخش اصلی فعالیت‌های اقتصادی ایران در عمق سرزمین ایران یعنی در استان‌های مرکزی و کم‌آب تمرکز دارد، اقتصاد صنعتی ایران با تهدید بزرگی روبه‌رو است) و حتی بحران‌های سیاسی-اجتماعی سرزمین پهناور ایران با شرایط اقلیمی متفاوت، در وضعیت کنونی، مدیران ارشد کشوری را جهت تأمین آب موردنیاز اکثر کلان‌شهرها و استان‌های کم‌آب ملزم به اجرای سیاست جابه‌جایی بین حوضه‌ای آب کرده که این موضع با توجه به الگوهای خاص پراکنندگی جمعیتی به‌ویژه گروه‌های

مختلف انسانی با فرهنگ‌های متفاوت، خطر ایجاد تنش و منازعات سیاسی را در سال‌های آتی بالا می‌برد.

خشکسالی یکی از بلایای طبیعی می‌باشد که خسارات زیادی به زندگی انسان و اکوسیستم‌های طبیعی وارد می‌کند و با دیگر حوادث طبیعی از قبیل سیل، طوفان و زلزله تفاوت‌هایی دارد. عمده‌ی این تفاوت‌ها در تأثیر تدریجی خشکسالی طی یک دوره‌ی نسبتاً طولانی، عدم امکان تعیین دقیق زمان شروع و خاتمه و وسعت جغرافیایی می‌باشد. از طرف دیگر نبود تعریف دقیق و قابل قبول جهانی از خشکسالی به پیچیدگی و سردرگمی این پدیده افزوده است (زارع و محبوبی، ۱۳۸۳، ۶۲). در کل خشکسالی عبارت است از کاهش غیرمنتظره‌ی بارش در مدتی معین در منطقه‌ای که لزوماً خشک نیست (علیجانی و کاویانی، ۱۳۹۰، ۱۱۷) و یا به کاهش بارش نسبت به میانگین درازمدت اطلاق می‌گردد (فرج‌زاده، ۱۳۸۶، ۲۵).

ایران یکی از کشورهایی است که در کمربند بیابانی کره‌ی زمین قرار دارد و در برخی سال‌ها از خشکسالی و در بعضی دیگر از سال‌ها از ترسالی آسیب می‌پذیرد. با استفاده از شاخص‌ها و ابزارهای تحلیلی متعددی که وجود دارد، تلاش می‌شود سیستم‌های پایش خشکسالی با استفاده از این شاخص‌ها طراحی گردند و اطلاعاتی که از آن‌ها استخراج می‌شود بیانگر عملیات مقابله با خشکسالی و زمان شروع آن‌ها می‌باشد.

شاخص‌هایی که بیشتر در این خصوص به کار برده می‌شوند عبارت‌اند از: شاخص درصد از نرمال (PN)، شاخص خشکسالی مؤثر (EDI)، شاخص بارش استاندارد (SPI)، شاخص Z (CZI) و شاخص دهک (DI). در تحقیقات اقلیمی، خشکسالی یکی از موضوعاتی است که به‌طور گسترده مورد بررسی قرار گرفته است، زیرا خشکسالی به‌طور مستقیم جوامع را از طریق

تغییرات در فراوانی یا قابلیت دسترسی به مواد غذایی، منابع آب و ذخایر انرژی تحت تأثیر قرار می‌دهد، همچنین اثرات مستقیم بر محیط‌زیست دارد (کریمی، ۱۳۷۷، ۱۲۷).

خشکسالی را می‌توان به چهار گروه عمده هواشناسی، هیدرولوژی، کشاورزی و اقتصادی- اجتماعی تقسیم نمود. در خشکسالی هواشناسی، کمبود میزان بارندگی نسبت به میانگین برای یک منطقه برآورد می‌شود که کمبودهای بارندگی از یک مقدار مشخص، مانند درصدهای کاهش از میانگین درازمدت نیز قابل بررسی خواهد بود. در خشکسالی هیدرولوژیکی، وضعیت درازمدت جریان‌های رودخانه‌ای، آب‌های زیرزمینی و یا دیگر منابع بررسی می‌شود. درحالی‌که در خشکسالی‌های کشاورزی، ذخیره رطوبتی خاک در طول فصل رشد بررسی می‌شود. طبیعتاً یافته‌های علمی هر یک از خشکسالی‌های فوق در بررسی اقتصادی- اجتماعی به کار گرفته می‌شود. از کریمی و همکاران (۱۳۸۰) مطالعات متعددی تاکنون در مورد خشکسالی‌ها صورت گرفته است.

مک‌کی و همکاران به مطالعه‌ی آن با استفاده از ضرایب همبستگی بین دو نمایه بارش استاندارد و پالمر در مقیاس‌های زمانی متعدد پرداختند و به این نتیجه رسیدند که این دو شاخص حداکثر همبستگی را در مقیاس زمانی نزدیک به ۱۲ ماه دارند که در این مقیاس ضریب همبستگی نزدیک به ۰/۹۰ و کمترین همبستگی مربوط به مقیاس زمانی ۲۴ ماه است (1995,233).

دوپینگی گیروکس معتقد است که نمایه خشکسالی SPI بهتر از نمایه‌های رطوبت محصول و پالمر اصلاح‌شده، در مقیاس زمانی کوچک تا متوسط عمل می‌کند (2001, 505).

مطالعات مشابهی نیز توسط امپلاسوکا در استرالیا (2008,1283) و تغییرپذیری خشکسالی و اثر آب‌وهوایی آن نیز توسط بوردی و سوترا انجام پذیرفته است (2004,115).

وانگلیس و همکاران با استفاده از روش عکس مجذور فاصله، نقشه بارندگی ماهانه و نقشه‌ی درصد نرمال متوسط بارندگی سالانه را ترسیم و سپس با این اطلاعات، نقشه‌ی توزیع مکانی شاخص SPI را برای دوره آماری یک‌ساله ۶۵-۱۹۶۴ تهیه کردند (2013,130).

غلام و همکاران در مطالعه‌ای به ارزیابی روش‌های زمین‌آمار برای تحلیل مکانی شاخص بارش استاندارد شده و شاخص خشکسالی مؤثر پرداخته‌اند. نتایج آنها در این آزمایش نشان می‌دهد که روش کریجینگ عادی، روش بسیار مناسبی برای تحلیل مکانی شاخص مؤثر خشکسالی می‌باشد (2011, 474).

طبری اقدام به ارزیابی خشکسالی هیدرولوژیکی با استفاده از شاخص هیدرولوژیکی (SDI) در شمال غرب ایران کرد که نتایج حاصل از تحقیق نشان داد که تقریباً تمام ایستگاه‌ها از خشکسالی شدید رنج می‌برند (2013,137).

نیکبخت به تجزیه و تحلیل شدت خشکسالی هیدرولوژیکی با درصد شاخص نرمال در شمال غرب ایران پرداخت که نتایج تحقیق نشان داد که شدیدترین خشکسالی هیدرولوژیکی در تمامی ایستگاه‌ها در سالهای ۲۰۰۰-۱۹۹۹ و ۲۰۰۲-۲۰۰۱ رخ داده است و شدت خشکسالی هیدرولوژیکی بر اساس شاخص PNI در طول ۳۴ سال گذشته افزایش یافته است (2013,565).

خلیلی و بذرافشان (۱۳۸۲،۷۹) نمایه‌های خشکسالی هواشناسی را مورد بررسی قرار داده و نتیجه گرفتند که نمایه‌های دهک‌های بارندگی (DPI) و نمایه معیار بارندگی سالانه (SIAP) بهترین کاربرد را برای ارزیابی خشکسالی هواشناسی در ایران دارد.

انصافی مقدم (۱۳۸۶) در مطالعه‌ای به ارزیابی چند شاخص خشکسالی اقلیمی و تعیین مناسب‌ترین شاخص در حوضه‌ی دریاچه‌ی نمک پرداخت. نتایج نشان داد که شاخص SPI و

دهک‌ها در جایگاه نخست، شاخص ZSI در جایگاه دوم و شاخص درصد نرمال در جایگاه سوم قرار می‌گیرد.

حسینی و همکاران (۱۳۹۱) به پایش خشکسالی‌های شهرستان سقز با استفاده از شاخص‌های درصد از نرمال (PNPI)، دهک‌ها (DI)، توزیع استاندارد (Z)، میانگین متحرک (MA)، تفاضل درصدی بارش و ناهنجاری‌های بارندگی (RAI)، در دوره آماری ۳۰ ساله (۱۹۸۱-۲۰۱۰) پرداختند. نتایج حاصل از بررسی آنان نشان داد خشکسالی شدید و بسیار شدید در طول دوره آماری مورد بررسی در منطقه روی نداده است و خشکسالی ضعیف با ۶۳ درصد و خشکسالی متوسط با ۳۷ درصد، بیشتر خشکسالی‌های منطقه را در برمی‌گیرند و معمولاً تداوم یک تا دوساله دارند.

ناصرزاده و احمدی (۱۳۹۱، ۱۴۱) به بررسی عملکرد شاخص‌های خشکسالی هواشناسی در ارزیابی خشکسالی و پهنه‌بندی آن در استان قزوین پرداختند. نتایج حاکی از آن است که شاخص Z و شاخص بارندگی استاندارد شده در نشان دادن خشکسالی شدید، عملکرد بهتری دارند. همچنین شاخص دهک‌ها با توجه به عملکرد مناسب در مشخص کردن خشکسالی شدید، دارای اندکی مبالغه در نمایش خشکسالی شدید می‌باشد.

صالح‌وند و همکاران (۱۳۹۲، ۳۵) به پهنه‌بندی خشکسالی با شاخص‌های (DI، PNI، SPI)، (ZSI، CZI) در استان خوزستان پرداختند. نتایج نشان داد ضرایب همبستگی ایستگاه‌های این استان، مقادیر نسبتاً بالایی دارند و سال‌های ۱۹۹۵ و ۲۰۱۰ خشک‌ترین سال‌ها بودند.

بهشتی‌راد (۱۳۹۲، ۸۱) به بررسی کارایی روش‌های پهنه‌بندی شدت خشکسالی در استان کرمان پرداخت. نتایج نشان داد که روش کریجینگ از سه روش کریجینگ، کوکرکریجینگ و معکوس فاصله از عملکرد مناسب‌تری برخوردار است. همچنین شدیدترین خشکسالی‌ها در سال‌های ۱۳۶۷، ۱۳۷۲، ۱۳۷۹، ۱۳۸۱ و ۱۳۸۴ اتفاق افتاده است.

بروغنی و همکاران (۱۳۹۲، ۷۳۳) به تحلیل ارتباط خشکسالی‌های هیدرولوژیکی و اقلیمی دشت سبزوار با استفاده از شاخص‌های SWI و SPI پرداختند. نتایج حاکی از آن است که خشکسالی اقلیمی و هیدرولوژیکی از نظم خاصی تبعیت نمی‌کند و بیشترین شدت و فراوانی خشکسالی در غرب دشت سبزوار بوده است. شرق دشت از شرایط نرمال و ترسالی برخوردار بوده و خشکسالی هیدرولوژیکی با یک سال تأخیر نسبت به خشکسالی اقلیمی اتفاق می‌افتد.

حسینی و همکاران (۱۳۹۳) با استفاده از روش تحلیل داده‌های بارندگی و شاخص‌های درصد از نرمال (PNPI)، دهک‌ها (DI)، توزیع استاندارد (Z score)، بارش استاندارد (SPI) و ناهنجاری‌های بارندگی (RAI)، خشکسالی‌های شهرستان مریوان در دوره آماری ۲۱ ساله (۱۹۹۲-۲۰۱۲) را مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاصل نشان داد که روند بارش سالانه با استفاده از روش رگرسیون خطی و پولی نومیال یک روند کاهشی نسبتاً شدید در منطقه بوده است و خشکسالی‌های با شدت خیلی زیاد و شدید فقط یک بار در طول دوره آماری مورد بررسی به ترتیب در سال‌های (۲۰۰۸ و ۱۹۹۹) روی داده است و حدود ۸۰ درصد خشکسالی منطقه نیز در حد ضعیف و متوسط بوده‌اند. بیشترین تداوم خشکسالی نیز مربوط به دوره (۲۰۰۷ تا ۲۰۱۲) یعنی حدود ۶ سال اخیر، بارش کمتر از میانگین بلندمدت بوده است. با توجه به پیشینه اشاره شده تاکنون کاری گسترده و در مقیاس منطقه‌ای با استفاده از شاخص‌های مختلف و در قالب تحلیل زمانی و مکانی و تعیین بهترین شاخص که هدف این تحقیق را تشکیل می‌دهد صورت نگرفته است. از این رو این پژوهش سعی در ارائه‌ی یک الگوی واکاوی شدت و مدت خشکسالی و تحلیل زمانی و مکانی آن برای شناسایی مناطق حساس و آسیب‌پذیر مناطق مورد مطالعه در مقابل خشکسالی دارد.

منطقه مورد مطالعه

ایستگاه ناقص هستند) یک ماتریس تشکیل و سپس معنی داری نتایج در سطح ۱٪ و ۵٪ آزمایش شدند (فرج زاده، ۱۳۸۶).

نمایه‌های خشکسالی هواشناسی

به منظور واکاوی خشکسالی از تعدادی نمایه برای مشخص کردن وضعیت این پدیده در منطقه مورد مطالعه استفاده می‌شود. این نمایه‌ها ترکیبی از پارامترهای مختلف هستند که بر ویژگی‌های خشکسالی شامل فراوانی، شدت، گستره و دوره تداوم، تأثیر می‌گذارند. نمایه‌هایی که جهت پایش خشکسالی منطقه‌ی ایران مرکزی در این پژوهش استفاده شده عبارتند از:

۱- شاخص معیار بارش سالانه (SIAP)، ۲- شاخص بارندگی استاندارد شده (SPI)، ۳- شاخص نمره استاندارد (ZSI) Z-Score، ۴- شاخص دهک‌ها (DI)، ۵- شاخص درصدی از نرمال (PNPI)، ۶- شاخص ناهنجاری بارندگی (RAI)، ۷- شاخص نیچه (NICHE)، ۸- شاخص Z چینی (CZI).

جدول شماره ۱. طبقات خشکسالی و ترسالی نمایه‌های انتخابی در تحقیق

رده	RAI	ZSI	SIAP	SPI	PNPI	DI	CZI
۱	بیشتر از ۳	≥ 2	$1,28 >$	۲ و بیشتر	$160 \geq$	$90 \geq$	$2 \geq$
۲	تا ۳	تا $1/99$	تا $1/28$	تا $1/99$	تا ۱۴۵ درصد	تا ۸۰ درصد	تا $1/99$
۳	تا $2/1$	تا $0/99$	تا $0/84$	تا $1/49$	تا ۱۳۰ درصد	تا ۷۰ درصد	تا $0/99$
۴	تا $1/2$	تا $0,99$	تا $0/52$	تا $0/99$	تا ۷۰ درصد	تا ۳۰ درصد	تا $-0/99$
۵	تا $-1/2$	تا $-0,99$	تا $-0/52$	تا $-1/49$	تا ۵۵ درصد	تا ۲۰ درصد	تا $-1/49$
۶	تا ۳	تا $-1/9$	تا $-1/28$	تا $-1/99$	تا ۴۰ درصد	تا ۱۰ درصد	تا $-1/99$

رده	RAI	ZSI	SIAP	SPI	PNPI	DI	CZI
۷	< -۳	≤ -۳	< -۱,۲۸	۲- و کمتر	< ۴۰٪	< ۱۰٪	≤ -۲
توضیح: ۱: ترسالی بسیار شدید، ۲: ترسالی شدید، ۳: ترسالی متوسط، ۴: نرمال، ۵: خشکسالی متوسط، ۶: خشکسالی شدید، ۷: خشکسالی بسیار شدید							

نتایج و بحث شاخص ZSI

جهت بررسی کارایی نمایه‌ها در دو مقیاس زمانی ماهانه و سالانه مورد بررسی قرار گرفتند. در نمایه ZSI امکان استفاده برای بررسی خشکسالی در مقیاس سالانه وجود دارد؛ اما در ماه‌های خشک به دلیل تشابه اعداد و برخورد با عدد صفر توانایی پایش خشکسالی را ندارد؛ اما در ماه‌های پرباران (فصل زمستان) توانسته است تمامی رده‌های خشکسالی و ترسالی را نشان دهد که نشان از کارایی نمایه در فصول مرطوب سال است. این نمایه همانند نمایه‌های CZI و DI در بیشتر سال‌های مورد بررسی طی فصول گرم و کم‌بارش وضعیت خشکسالی را به صورت نرمال نشان داده است!

شاخص بارش استاندارد شده (SPI)

این نمایه انعطاف بیشتری را در بررسی ویژگی‌های مختلف خشکسالی در مقیاس‌های زمانی ماهانه، فصلی و سالانه از خود نشان داد. در ماه کم‌بارش اوت (۱۰ مرداد تا ۹ شهریورماه) در مقیاس ۳ ماهه در بیشتر سال‌های دوره آماری با اعداد مشابه و نزدیک به صفر مواجه است که به دلیل افت بارندگی در ماه‌های گرم و خشک سال، توانایی ارزیابی و مقایسه ایستگاه‌ها از نظر شدت خشکسالی وجود ندارد. در ماه‌های گرم از خرداد تا شهریور در این مقیاس در بیشتر سال‌های مورد بررسی یک رده خشکسالی با اعداد منفی و مثبت نزدیک به صفر را نمایش می‌دهد و در محاسبه خشکسالی یا ترسالی با مشکل مواجه می‌شود. برای ماه می (۱۱)

اردیبهشت تا ۱۰ خردادماه) مقیاس ۳ ماهه عملکرد بهتری را نشان داده است که به دلیل رخداد بارندگی و عدم وقوع بارندگی صفر، رده‌های مختلف را به‌خوبی تعیین کرده است؛ اما در مقیاس ۶ و ۱۲ ماهه در ماه‌های مختلف سال و حتی ماه‌های خشک و کم‌بارش که با عدم بارش روبه‌رو هستیم، توانایی ارزیابی و مقایسه شدت خشکسالی در ایستگاه‌های مختلف وجود دارد. در سال‌های آماری موردبررسی تمامی رده‌های مختلف خشکسالی و ترسالی در مقیاس ۶ و ۱۲ ماهه در ماه اوت و می نشان داده شده است. در ماه تقریباً پرباران می (۱۱ اردیبهشت تا ۱۰ خرداد) نمایه SPI در مقیاس‌های زمانی موردنظر عملکرد بسیار بهتری را از خود نشان داده است که به دلیل نبود مقادیر بارندگی صفر و کاهش شباهت سال‌های آماری و در نتیجه تعیین نوع وضعیت حاکم بوده است؛ اما در مجموع چه در ماه‌های پربارش و کم‌بارش، SPI ۶ و ۱۲ ماهه بهتر از مقیاس‌های زمانی این نمایه و نمایه‌های دیگر جهت واکاوی خشکسالی و ترسالی در منطقه مورد مطالعه، عمل کرده است.

شاخص دهک بارندگی (DI)

این نمایه وقوع بارندگی‌های طولانی‌مدت را در دهم‌هایی از توزیع نرمال تقسیم کرده و هر یک از این گروه‌ها را یک دهک می‌نامند (انصافی‌مقدم، ۱۳۸۶، ۲۸۶). با توجه به اینکه نمایه دهک‌های بارندگی، مقدار معینی را برای واکاوی شدت خشکسالی محاسبه نمی‌کند و فقط طبقه‌بندی مقادیر بارش را انجام می‌دهد، تعیین بیشینه شدت خشکسالی در منطقه امکان‌پذیر نیست؛ بنابراین از روی فراوانی ماه‌هایی که یک سال معین در هر دهک قرار داده است می‌توان سال یا سال‌هایی که خشکسالی بسیارشدیدی را تجربه نموده‌اند، مشخص کرد. در ماه جولای که در بیشتر سال‌های دوره آماری با عدم بارندگی مواجه هستیم، نمایه دهک بارندگی توانایی جداسازی سال‌های مختلف از نظر رده‌های مختلف خشکسالی را نداشته و نوع آن را در سال‌های موردبررسی در وضعیت یکنواخت نرمال مشخص کرده است. این نمایه همچون

نمایه‌های ZSI و CZI وضعیت را در ماه‌های کم‌بارش و گرم سال به شکل نرمال تعیین کرده که نسبت به شاخص‌های استاتیک RAI، SIAP و PN که شدت خشکسالی را به صورت بسیار شدید نشان داده‌اند، از کارایی بهتری برخوردار بوده است، اما در مقایسه با نمایه SPI ۶ و ۱۲ ماهه تمامی نمایه‌های ذکر شده کاملاً ضعیف عمل کرده‌اند.

شاخص درصد از نرمال بارندگی (PN)

در ایستگاه‌های مناطق مرطوب که در تمام سال و به ویژه ماه‌های خشک با رخداد بارندگی روبه‌رو هستند همچون نوار شمالی کشور، امکان استفاده از این نمایه جهت پایش و مقایسه سال‌های آماری و تمامی ماه‌ها از لحاظ شدت خشکسالی وجود دارد؛ اما در ایستگاه‌های نواحی خشک شرق و جنوب شرقی ایران مانند کرمان به دلیل عدم وقوع بارندگی و شباهت اعداد، توانایی محاسبه شدت خشکسالی در ماه‌های گرم طی سال‌های آماری وجود ندارد. جدول شماره ۴ نمونه‌ای از ماه کم‌بارش جولای را برای سال‌های خشک فراگیر بر اساس نمایه‌های موردبررسی نشان می‌دهد. طبق جدول شدت خشکسالی برای ماه جولای در سال‌های موردنظر همگی شبیه نمایه‌های SIAP و RAI، خشکسالی بسیار شدید را نمایش داده است و رفتار این سه نمایه متفاوت از دیگر نمایه‌ها بوده است.

شاخص ناهنجاری بارندگی (RAI)

این نمایه نیز در ماه‌های گرم و کم‌باران سال وضعیت یکنواختی از شدت خشکسالی را نشان می‌دهد. درحالی‌که برای ماه پر باران فوریه، رده‌های مختلف خشکسالی و ترسالی را نمایش داده است و قابلیت مقایسه سال‌های آماری از نظر شدت خشکسالی وجود دارد. همان‌طور که دیده می‌شود در مقایسه با نمایه SPI ۶ و ۱۲ ماهه که توانسته‌اند وضعیت‌های مختلف را در هر سال به خوبی تعیین کنند، این نمایه قادر به بررسی خشکسالی در ماه‌های کم باران سال نمی‌باشد. در مقابل هم به علت کاهش شدید باران در فصل گرم سال با رخداد ۱ میلی‌متر بارندگی، وضعیت ترسالی بسیار شدید را نشان می‌دهد که حاکی از عدم توانایی در بررسی ماه‌های کم باران سال توسط این نمایه است.

شاخص نیچه (NICHE)

در این نمایه ابتدا با استفاده از معادلات روش نیچه (معادله‌های ۸ تا ۱۰)، ابتدا آستانه ترسالی، خشکسالی و نرمال بودن برای هر یک از ایستگاه‌های مطالعاتی محاسبه گردید، سپس تفکیک سال‌های مرطوب، خشک و نرمال انجام شد. در این تحقیق به منظور بررسی پدیده خشکسالی و ترسالی نمایه نیچه به دلیل نیاز آماری کمتر و سهولت محاسبات، روشی ساده برای رسیدن به اهداف است؛ اما از آنجایی که تنها به تفکیک خشکسالی، ترسالی و بارش نرمال می‌پردازد و به شدت وقوع توجهی ندارد، کارایی کمتری را از خود نشان داده و در واقع ضعیف‌ترین نمایه مورد بررسی می‌باشد.

شاخص Z چینی (CZI)

ارزیابی شدت خشکسالی در مقیاس ماهیانه در نمایه Z چینی برای ماه جولای در سال‌های ۲۰۰۱، ۲۰۰۸ و ۲۰۱۰ که با خشکسالی‌های فراگیر شدید و متوسط روبه‌رو بوده‌اند، نشان داد که نتایج حاصله عملکرد بهتری را در مقایسه با نمایه‌های RAI، PN و SIAP داشته است.

همچنین این نمایه با نمایه‌های ZSI و SPI در مقیاس ۳ ماهه شباهت دارد. به نحوی که این نمایه در ماه کم‌باران سال که با مقادیر بارندگی صفر یا عدم رخداد بارندگی مواجه هستیم، شدت خشکسالی را نرمال نشان داده است.^۱

شاخص معیار بارندگی سالانه (SIAP)

نمایه معیار بارندگی سالانه نیز از لحاظ عملکرد همانند نمایه‌های ناهنجاری بارندگی سالانه و درصد از نرمال بارندگی می‌باشد به صورتی که با رسیدن به فصل گرم و خشک و قطع بارندگی‌ها، شدت خشکسالی را بیش از حد نشان داده و به صورت یکسان برای هر سه سال نمونه وضعیت خشکسالی بسیار شدید را نشان داده است؛ اما این نتایج در نمایه SPI ۶ و ۱۲ ماهه دیده نمی‌شود به نحوی که این نمایه‌ها به خوبی توانسته‌اند رده‌های مختلفی از شدت خشکسالی را به نمایش بگذارند؛ اما برای ماه پرباران فوریه نمایه معیار بارندگی سالانه کاملاً منطبق بر شرایط رخ داده عمل کرده و در ماه فوریه برای سال‌های فراگیر ترسالی در منطقه نیز شبیه نمایه ناهنجاری بارندگی سالانه و دهک بهترین عملکرد را در میان نمایه‌های مورد بررسی برای ماه‌های پرباران داشته است.

جدول شماره ۲. مقایسه نمونه‌ای از ماه کم‌بارش و پربارش. خروجی نمایه‌های مورد بررسی در ایستگاه کرمان در ماه جولای و فوریه

جولای			
سال	۲۰۰۱	۲۰۰۸	۲۰۱۰
CZI	نرمال	نرمال	نرمال
DI	نرمال	نرمال	نرمال
SIAP	خ ب ش	خ ب ش	خ ب ش
PN	خ ب ش	خ ب ش	خ ب ش
RAI	خ ب ش	خ ب ش	خ ب ش
SPI (۳)	نرمال	نرمال	نرمال
SPI (۶)	نرمال	خ ش	خ م
SPI (۱۲)	نرمال	خ ب ش	خ شدید
ZSI	نرمال	نرمال	نرمال

فوریه			
سال	۱۹۹۸	۲۰۰۴	۲۰۱۳
CZI	ت ش	ت ب ش	نرمال
DI	ت ش	ت ب ش	خ ش
SIAP	ت م	ت ش	خ م
PN	نرمال	ت ب ش	خ ش
RAI	ت ب ش	ت ب ش	خ ش
SPI (۳)	نرمال	نرمال	نرمال
SPI (۴)	نرمال	نرمال	خ م
SPI (۱۲)	ت م	نرمال	نرمال
ZSI	نرمال	ت شدید	نرمال

توضیح: خ ب ش: خشکسالی بسیار شدید، خ ش: خشکسالی شدید، خ م: خشکسالی متوسط ت ب ش: ترسالی بسیار شدید، ت ش: ترسالی شدید، ت م: ترسالی متوسط

مقادیر شاخص CZI

جدول مقادیر سالانه شاخص Z چینی، برای منطقه ایران مرکزی و طی دوره آماری ۱۹۸۵ تا ۲۰۱۴ می‌باشد. همانطور که دیده می‌شود مقادیر این شاخص عموماً در طبقه نرمال قرار دارند و توانایی نمایش مقادیر کمینه منطبق بر خشکسالی‌های شدید و بیشینه منطبق بر ترسالی‌های شدید را کمتر از خود نشان داده است. همچنین بزرگترین و طولانی‌ترین ترسالی‌ها در دهه ۹۰ میلادی و بزرگترین خشکسالی‌ها در دهه ۲۰۰۰ میلادی رخ داده است. دقت این شاخص در مناطق خشک و بیابانی کرمان بهتر از سایر مناطق بوده است.^۱

مقادیر شاخص DI

این شاخص نیز مقادیر خشکسالی و ترسالی را برای دوره ۱۹۸۵ تا ۲۰۱۴ و منطقه ایران مرکزی نشان می‌دهد. می‌توان گفت این شاخص بعد از شاخص ناهنجاری بارندگی (RAI) بیشترین دقت را در نمایش خشکسالی و ترسالی‌ها بر اساس واقعیت و مقادیر بارندگی هر ایستگاه داشته است. همانند شاخص Z چینی شروع دوره خشکسالی‌های شدید و فراگیر بعد

^۱ کلیه جداول مقادیر در دفتر فصلنامه موجود است.

از سال ۱۹۹۹ بوده است که نشان از تغییر اقلیم منطقه مورد بررسی داشته است. دقت شاخص در مناطق خشک تر همچون جنوب استان کرمان بهتر از سایر مناطق بوده است.

مقادیر شاخص نیچه

شاخص نیچه نیز مقادیر را برای دوره ۳۰ ساله ۱۹۸۵ تا ۲۰۱۴ و سه استان اصفهان، یزد و کرمان نشان می‌دهد. می‌توان گفت که این شاخص ضعیف‌ترین شاخص در میان ۸ شاخص مورد بررسی بوده است. بدین دلیل که تنها توانایی نمایش سه رده خشکسالی، ترسالی و نرمال را داشته است و شدت خشکسالی و ترسالی را نشان نداده است.^۱

مقادیر شاخص PNPI

در شاخص درصد از نرمال بارندگی (PNPI) نیز همانند شاخص‌های SPI و ZSI در اکثر سال‌های دوره آماری مقادیر آن نزدیک به رده نرمال بوده است و در بعضی از سال‌ها که کمترین یا بیشترین میزان بارندگی ثبت شده است توانایی کمتری در نمایش شدت خشکسالی و ترسالی از خود نشان داده است. در این شاخص نیز همانند دیگر شاخص‌های مورد بررسی، دوره مورد بررسی به دو دوره قبل از دهه ۲۰۰۰ و بعد از آن تقسیم می‌شود به نحوی که قبل از آن عموماً ترسالی و بعد از آن خشکسالی‌های پیاپی و شدید رخ داده است.

مقادیر شاخص SIAP

شاخص معیار بارش سالانه (SIAP) بعد از شاخص‌های ناهنجاری بارندگی (RAI) و دهک‌ها (DI) بالاترین دقت را در شناسایی شدت خشکسالی و ترسالی بر اساس میزان بارندگی هر ایستگاه در طی دوره آماری ۳۰ ساله از خود نشان داده است. همانطور که دیده می‌شود تنها در

^۱ کلیه جداول مقادیر در دفتر فصلنامه موجود است.

نمایش رده خشکسالی بسیارشدید در بعضی از سال‌های موردبررسی شدت کمتر نشان داده شده است؛ اما درمجموع یکی از شاخص‌های مطلوب در بررسی خشکسالی و ترسالی‌ها به‌ویژه در مناطق خشک و بیابانی می‌باشد.

مقادیر شاخص SPI

شاخص SPI در بررسی مقادیر خشکسالی و ترسالی نسبت به دیگر شاخص‌ها عملکرد بهتری داشته است اما نسبت به شاخص‌های RAI و DI ضعیف‌تر بوده است. به‌ویژه در رده خشکسالی بسیارشدید در بعضی سال‌ها شدت خشکسالی را کمتر از حدانتظار نمایش داده است. دقت این شاخص در مناطق خشک‌تر و با وضعیت بیابانی همچون مناطق جنوبی کرمان و شرق یزد در مقایسه با سایر مناطق بهتر بوده است. در این شاخص نیز خشکسالی‌های شدید و گسترده با شروع دهه ۲۰۰۰ رخ داده‌اند.

مقادیر شاخص ZSI

شاخص نمره استاندارد (ZSI) یکی از شاخص‌های ضعیف در بررسی مقادیر خشکسالی و ترسالی در منطقه موردپژوهش بوده است و عملکردی مشابه با شاخص Z چینی داشته است. از نقاط ضعف این شاخص عدم توانایی در شناسایی خشکسالی و ترسالی‌های بسیارشدید و شدید در منطقه بوده است. همچنین مقادیر وضعیت نرمال را بیشتر از مقدار واقعی و عدم انطباق با مقادیر بارشی نشان داده است.

مقادیر شاخص RAI

آخرین شاخص مورد بحث در این پژوهش ناهنجاری بارندگی (RAI) می‌باشد. این شاخص در مقیاس سالانه بالاترین دقت را در نمایش رده‌های مختلف خشکسالی و ترسالی منطبق با مقادیر بارشی داشته است. به‌گونه‌ای که در سراسر منطقه موردبررسی مقدار شاخص دقیقاً با مقدار بارش همسویی نشان می‌دهد. درمجموع، نکته مشابه و قابل توجه میان شاخص‌های

موردبررسی این است که از سال ۱۹۹۹ به بعد یک جهش در اقلیم منطقه موردبررسی رخ داده است به صورتی که خشکسالی‌های پیاپی، شدید و گسترده‌ای آغاز شده و تا آخر دوره آماری موردبررسی نیز ادامه یافته است.

در پاسخ به این سؤال که برای ارزیابی شدت خشکسالی در یک منطقه کدام شاخص گویاتر و دقیق‌تر است بر اساس الگوی تحقیقاتی، ارزیابی کارایی چند نمایه خشکسالی هواشناسی در نمونه‌های اقلیمی ایران (خلیلی و بذرافشان، ۱۳۸۲) از یک فرضیه به‌عنوان سنجه کارآمد برای پایش خشکسالی استفاده شد. در این تحقیق کارایی نمایه‌های خشکسالی جهت واکاوی خشکسالی‌های هواشناسی منطقه مورد مطالعه بررسی شد. برای دست یافتن به چنین نتیجه‌ای کمینه مقدار بارندگی طی یک دوره بلندمدت اقلیمی منعکس‌کننده خشکسالی هواشناسی بسیار شدیدی است که در منطقه تحت بررسی رخ داده است. مطابق این فرضیه ابتدا کمینه مقادیر بارندگی در هر یک از ایستگاه‌ها استخراج و توسط نمایه‌های خشکسالی ارزیابی گردید. جدول شماره ۳ و ۴ به ترتیب کمینه و بیشینه مقدار بارندگی و سال وقوع آن را به همراه پایش وضعیت جوی از دیدگاه نمایه‌های خشکسالی نشان می‌دهد. بر اساس نتایج حاصل نمایه RAI و DI بهترین عملکرد جهت پایش خشکسالی هواشناسی را نشان دادند. به عبارتی در همه‌ی ایستگاه‌ها کمینه مقدار بارندگی ۳۰ ساله با خشکسالی بسیار شدید در این دو نمایه انطباق داشت. ضعیف‌ترین کارایی هم به نمایه نیچه تعلق داشت که در همه ایستگاه‌ها کمینه بارندگی را به‌عنوان خشکسالی بدون توجه به میزان شدت خشکسالی در نظر گرفته بود. نکته جالب توجه اینکه در واکاوی تقارن سال‌های وقوع بیشینه مقدار بارندگی با ترسالی بسیار شدید نیز نمایه‌های RAI و DI از بهترین کارایی جهت پایش ترسالی‌های منطقه برخوردار بودند. ملاحظه می‌شود که نمایه SPI و PN در بررسی وضعیت خشکسالی عملکردی شبیه به هم

داشته‌اند. نمایه SPI نیز که در بیشتر تحقیقات مورد استفاده محققین هست عملکرد ضعیف‌تری را نسبت به نمایه‌های RAI و DI داشته است.

جدول شماره ۳. تقارن سال وقوع کمینه بارندگی با خشکسالی‌های بسیار شدید هواشناسی در منطقه مورد مطالعه

نام ایستگاه و سال وقوع پیشینه	کاشان (۱۹۸۵)	سیرجان (۱۹۸۷)	خور و بیابانک (۲۰۰۵)	اصفهان (۲۰۰۸)	اردستان (۲۰۰۸)	نجفآباد (۲۰۰۸)
بارش	۶۲,۲	۳۷,۷	۳۵,۱	۴۰,۸	۶۰,۵	۴۳,۱
NICHE	۱	۱	۱	۱	۱	۱
DI	۴	۴	۴	۴	۴	۴
CZI	۳	۳	۳	۳	۳	۳
SIAP	۴	۴	۴	۴	۴	۴
ZSI	۳	۳	۳	۴	۴	۴
SPI	۳	۳	۴	۴	۴	۴
PN	۳	۴	۳	۴	۴	۴
RAI	۴	۴	۴	۴	۴	۴

نام ایستگاه و سال وقوع پیشینه	سمیرم (۲۰۰۸)	نائین (۲۰۰۸)	فریدون‌شهر (۲۰۱۰)	گلپایگان (۲۰۱۰)	شرق اصفهان (۲۰۰۸)	انار (۲۰۱۰)	بم (۲۰۱۰)
بارش	۱۷۲	۵۰,۲	۸۶,۴	۱۱۲,۲	۳۸,۱	۷,۱	۱۴,۶
NICHE	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
DI	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴
CZI	۳	۳	۳	۳	۳	۴	۳
SIAP	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴
ZSI	۴	۴	۴	۴	۳	۳	۳
SPI	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۳
PN	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴
RAI	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴

نام ایستگاه و سال وقوع پیشینه	کرمان (۲۰۱۰)	شهرابک (۲۰۱۰)	یزد (۲۰۱۰)	طیس (۲۰۱۳)	ابركوه (۲۰۰۸)	رباط (۲۰۱۰)	عقدا (۲۰۱۰)
بارش	۴۱,۲	۲۰,۷	۹,۳	۵۱,۷	۱۷,۱	۵۵,۶	۱۹,۷
NICHE	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
DI	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴
CZI	۳	۴	۴	۴	۲	۳	۲
SIAP	۴	۴	۴	۳	۳	۲	۳
ZSI	۳	۳	۳	۱	۲	۱	۲

۲	۲	۳	۲	۴	۴	۴	SPI
۲	۲	۲	۲	۴	۴	۴	PN
۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	RAI

PN	SPI	ZSI	RAI	SIAP	CZI	DI	NICHE	
۷۰	۷۰	۶۱	۸۰	۷۵	۶۰	۸۰	۲۰	مجموع
۳	۳	۴	۱	۲	۵	۱	۶	رتبه شاخص
توضیح: ۱: خشکسالی، ۲: خشکسالی متوسط، ۳: خشکسالی شدید، ۴: خشکسالی بسیار شدید								

جدول شماره ۴. تقارن سال وقوع بیشینه بارندگی با ترسالی‌های شدید و بسیار شدید هواشناسی در منطقه مورد مطالعه

نام ایستگاه و سال وقوع بیشینه	کاشان (۱۹۸۶)	سیرجان (۱۹۹۲)	خور و بیابانک (۱۹۹۶)	اصفهان (۲۰۰۶)	اردستان (۲۰۰۹)	نجف‌آباد (۲۰۰۶)
بارش	۲۳۳	۲۵۳	۱۳۸	۲۵۰	۲۰۵,۶	۲۷۳,۸
NICHE	۱	۱	۱	۱	۱	۱
DI	۴	۴	۴	۴	۴	۴
CZI	۳	۳	۴	۴	۴	۴
SIAP	۴	۳	۴	۴	۴	۴
ZSI	۴	۳	۴	۳	۳	۳
SPI	۴	۴	۴	۴	۴	۴
PN	۴	۴	۴	۴	۴	۴
RAI	۴	۴	۴	۴	۴	۴

نام ایستگاه و سال وقوع بیشینه	سمیرم (۲۰۰۴)	نائین (۱۹۹۹)	فریدون‌شهر (۲۰۰۶)	گلپایگان (۱۹۹۳)	شرق اصفهان (۱۹۹۳)	انار (۱۹۸۶)	بم (۱۹۹۱)
بارش	۹۸۰	۱۸۱,۲	۸۶۸	۴۳۷	۱۹۱	۱۶۹	۱۲۱
NICHE	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
DI	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴
CZI	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴
SIAP	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴
ZSI	۳	۳	۳	۳	۴	۴	۴
SPI	۴	۴	۴	۴	۳	۴	۳
PN	۴	۴	۴	۳	۴	۳	۴
RAI	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴

نام ایستگاه و سال وقوع پیشینه	کرمان (۱۹۹۲)	شهربابک (۱۹۹۲)	یزد (۱۹۸۶)	طبس (۱۹۹۱)	ابركوه (۲۰۰۴)	رباط (۲۰۱۲)	عقد۱ (۲۰۱۳)
بارش	۲۴۲	۲۸۰	۱۱۸	۱۹۱	۱۱۲	۱۶۳	۱۲۰,۱
NICHE	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
DI	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴
CZI	۴	۳	۴	۴	۴	۴	۴
SIAP	۴	۴	۴	۴	۴	۳	۴
ZSI	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴
SPI	۳	۳	۴	۴	۳	۳	۴
PN	۴	۲	۴	۴	۳	۴	۴
RAI	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴

PN	SPI	ZSI	RAI	SIAP	CZI	DI	NICHE	
۸۰	۷۵	۶۵	۷۲	۷۸	۷۷	۸۰	۲۰	مجموع
۱	۴	۶	۵	۲	۳	۱	۷	رتبه شاخص

توضیح: ۱: ترسالی، ۲: ترسالی متوسط، ۳: ترسالی شدید، ۴: ترسالی بسیار شدید

با توجه به اینکه نمایه ناهنجاری بارندگی RAI در میان ۸ نمایه خشکسالی، بهترین کارایی را جهت پایش ترسالی و خشکسالی‌های منطقه دارا بود؛ بدین منظور با استفاده از این نمایه چهار ویژگی مهم در هر خشکسالی یعنی شدت، تداوم، فراوانی و فراگیری یا گستره خشکسالی در جدول شماره ۵ نشان داده می‌شود. شدیدترین خشکسالی در ایستگاه شهربابک واقع در استان کرمان با ۵/۹۷- در سال ۲۰۱۰ به ثبت رسیده است. بیشترین تداوم خشکسالی نیز در همین ایستگاه از سال ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۱ بوده است. حداکثر فراوانی هم در ایستگاه‌های انار، بم، کرمان، یزد، طبس و ابرکوه با ۱۷ رخداد در طی ۳۰ سال دوره آماری دیده شد. با توجه به سال کمینه مقدار بارندگی مشخص گردید که فراگیرترین سال که منطبق بر شدیدترین خشکسالی‌ها در منطقه مورد بررسی بود در سال ۲۰۰۸ و ۲۰۱۰ هرکدام با ۸ ایستگاه مشاهده گردید. در همه‌ی

ایستگاه‌ها مقادیر منفی نمایه RAI ثبت شده بود. سال‌های ذکر شده در واقع بزرگ‌ترین خشکسالی‌های رخ داده طی نیم‌قرن اخیر در استان‌های مورد بررسی است.

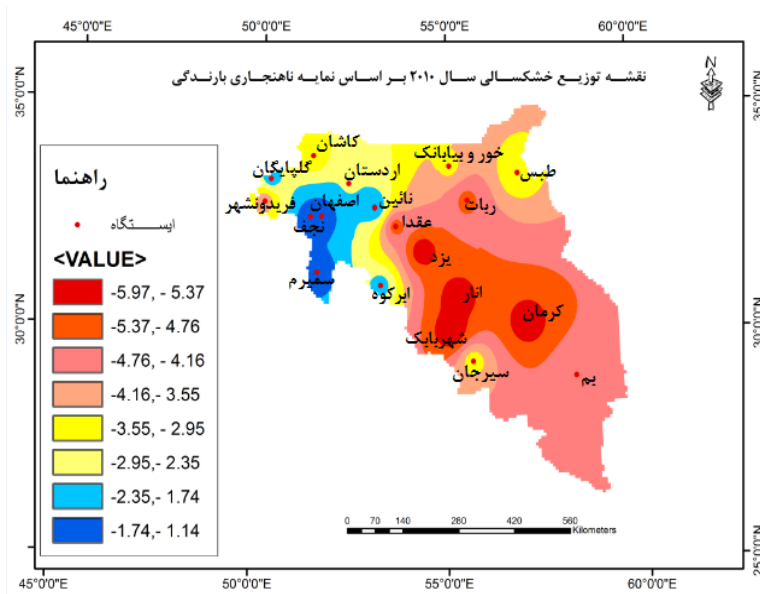
جدول شماره ۵. شدت، تداوم، فراوانی و فراگیری خشکسالی‌های منطقه طبق نمایه RAI طی دوره ۱۹۸۵-۲۰۱۴

ایستگاه	شدیدترین	سال	طولانی‌ترین تداوم	فراوانی وقوع	سال وقوع کمینه بارش
کاشان	-۴/۸۸	۱۹۸۵	۱۹۸۷ تا ۱۹۹۱	۱۵	۱۹۸۵
سیرجان	-۴/۱۷	۱۹۸۷	۱۹۸۷ تا ۱۹۹۰	۱۶	۱۹۸۷
خور و بیابانک	-۴/۷۸	۲۰۰۵	۲۰۱۰ تا ۲۰۱۳	۱۵	۲۰۰۵
اصفهان	-۴/۹۷	۲۰۰۸	۹۹ تا ۲۰۰۱	۱۶	۲۰۰۸
اردستان	-۴/۲۴	۲۰۰۸	۱۹۹۹ تا ۲۰۰۱	۱۴	۲۰۰۸
نجف‌آباد	-۴/۷۳	۲۰۰۸	۲۰۰۷ تا ۲۰۱۰	۱۴	۲۰۰۸
سمیرم	-۳/۶۴	۲۰۰۸	۲۰۰۸ تا ۲۰۱۰	۱۲	۲۰۰۸
نائین	-۴/۵۵	۲۰۰۸	۲۰۰۰ تا ۲۰۰۵	۱۴	۲۰۰۸
فریدون‌شهر	-۴/۱۳	۲۰۱۰	۲۰۰۸ تا ۲۰۱۱	۱۰	۲۰۱۰
گلپایگان	-۴/۰۹	۲۰۰۸	۲۰۰۸ تا ۲۰۱۱	۹	۲۰۰۸
شرق اصفهان	-۵	۲۰۰۸	۱۹۸۷ تا ۱۹۹۰	۱۳	۲۰۰۸
انار	-۵/۷۷	۲۰۱۰	۲۰۱۰ تا ۲۰۱۴	۱۷	۲۰۱۰
بم	-۴/۲۷	۲۰۱۰	۲۰۰۰ تا ۲۰۰۴	۱۷	۲۰۱۰
کرمان	-۵/۷۳	۲۰۱۰	۲۰۰۵ تا ۲۰۱۰	۱۷	۲۰۱۰
شهربابک	-۵/۹۷	۲۰۱۰	۲۰۰۵ تا ۲۰۱۱	۱۶	۲۰۱۰
یزد	-۵/۸۴	۲۰۱۰	۲۰۱۰ تا ۲۰۱۳	۱۷	۲۰۱۰
طیس	-۳/۳۸	۲۰۱۳	۲۰۰۰ تا ۲۰۰۲	۱۷	۲۰۱۳
ابرکوه	-۴/۸۵	۲۰۰۸	۲۰۰۰ تا ۲۰۰۲	۱۷	۲۰۰۸
ریاط	-۴/۷۹	۲۰۱۰	۲۰۱۰ تا ۲۰۱۳	۱۶	۲۰۱۰
عقدا	-۵/۴۸	۲۰۱۰	۲۰۱۰ تا ۲۰۱۳	۱۷	۲۰۱۰

شکل شماره ۲ فراگیرترین و شدیدترین خشکسالی رخ داده را طی دوره ۳۰ ساله ۱۹۸۵ تا ۲۰۱۴ نشان می‌دهد. همانطور که مشخص است در سال ۲۰۰۸، به ترتیب ایستگاه‌های شرق اصفهان و نجف‌آباد، شدیدترین خشکسالی را طبق نمایه ناهنجاری بارندگی داشته‌اند. همچنین بیش از ۸ ایستگاه که بیشتر آن‌ها در استان اصفهان واقع شده‌اند در حالت فراگیر شدیدترین خشکسالی ۳۰ ساله را تجربه کرده‌اند؛ اما در سال ۲۰۱۰ در مقایسه با سال ۲۰۰۸ شدت

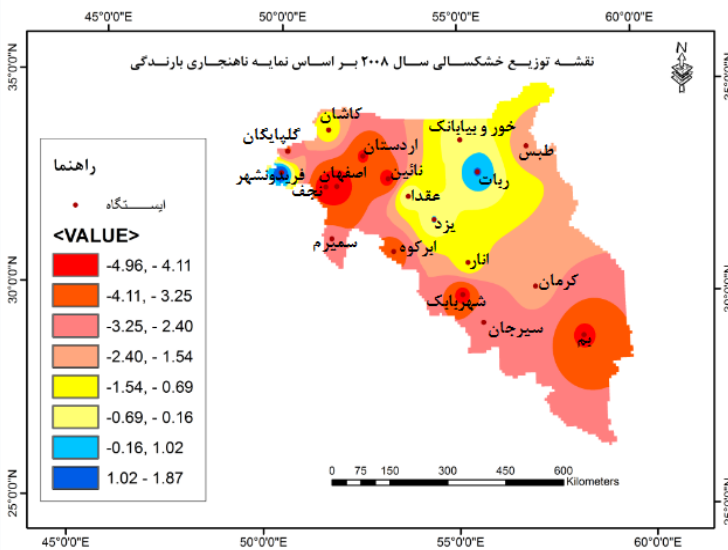
خشکسالی بیشتر بوده به نحوی که در همه ایستگاه‌ها مقادیر منفی ثبت شده است و از نظر فراگیری شدیدترین خشکسالی نیز همانند سال ۲۰۰۸ در ۸ ایستگاه، اما در استان‌های کرمان و یزد قرار دارند.

جهت مقایسه کارایی نمایه‌ها، درصد فراوانی رده خشکسالی بسیار شدید ۸ شاخص مورد بررسی در این پژوهش ترسیم شد (شکل شماره ۳) تا توانایی هر شاخص بهتر نمایان گردد. ملاحظه می‌گردد که ضعیف‌ترین شاخص یعنی نیچه، توانایی نمایش شدت خشکسالی را نداشته است و تنها رده خشکسالی مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین در نیمه شرقی منطقه مورد بررسی، کمترین درصد خشکسالی دیده می‌شود در حالی که در سال‌های مورد بررسی در شرق منطقه بیشترین درصد فراوانی، خشکسالی بسیار شدید را تجربه کرده است و در دیگر شاخص‌ها نیز در چندین ایستگاه رده خشکسالی بسیار شدید نمایش داده نشده است. در حالی که بر اساس مقادیر بارشی طی دوره آماری، در همه ایستگاه‌ها این رده رخ داده است. تنها در شاخص ناهنجاری بارندگی (RAI) و دهک‌ها (DI) وضعیت بهتری را نسبت به سایر شاخص‌ها داشته‌اند. حتی شاخص SPI که در بیشتر مطالعات خشکسالی مورد استفاده قرار می‌گیرد در ایستگاه‌های واقع در جنوب کرمان، شمال اصفهان و یزد درصد فراوانی، رده خشکسالی بسیار شدید را صفر نشان داده است که این ویژگی حاکی از عدم توان نمایش رده خشکسالی بسیار شدید و شرایط واقعی خشکسالی حاکم بر این مناطق است.



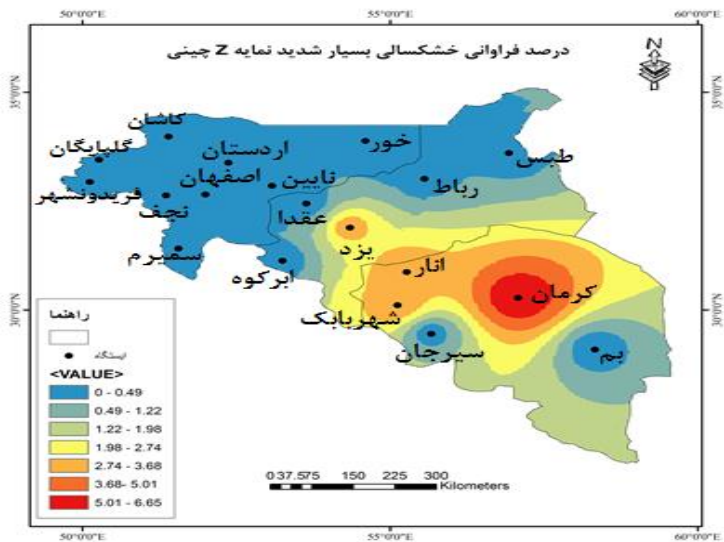
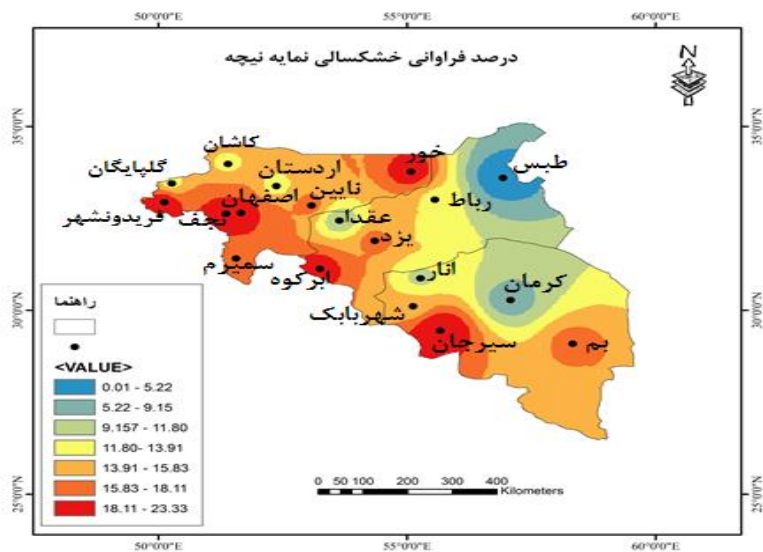
شکل شماره ۲. توزیع خشکسالی بر اساس نمایه RAI طی شدیدترین و فراگیرترین

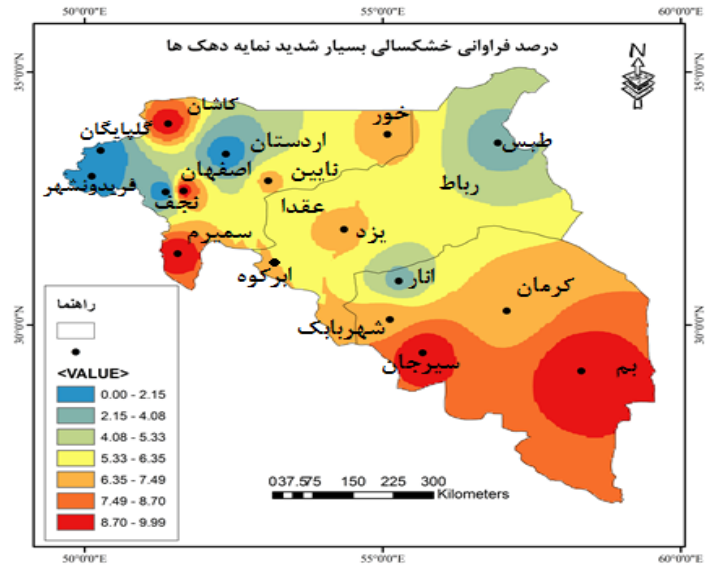
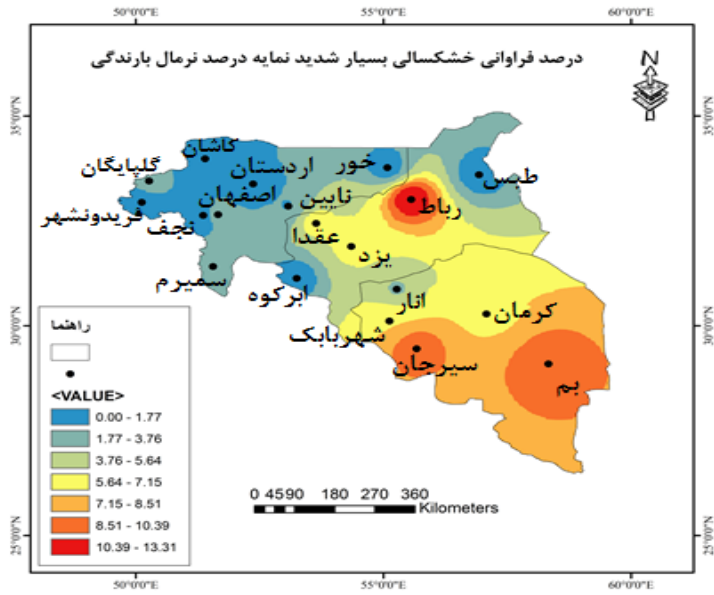
الف: سال ۲۰۱۰

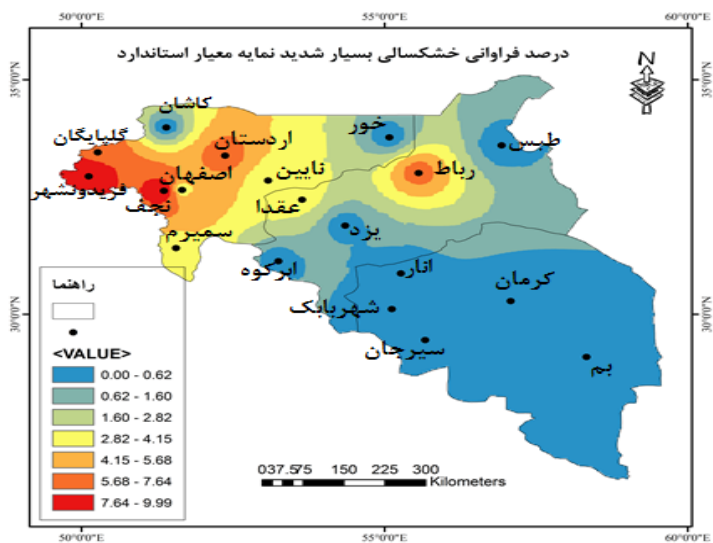
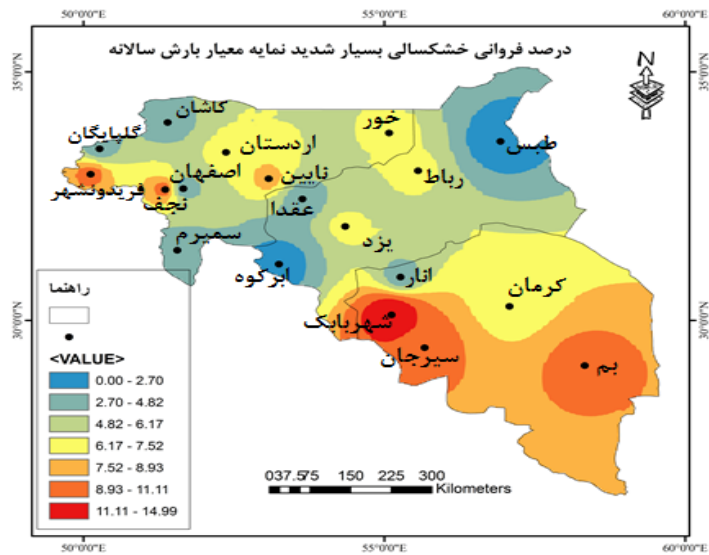


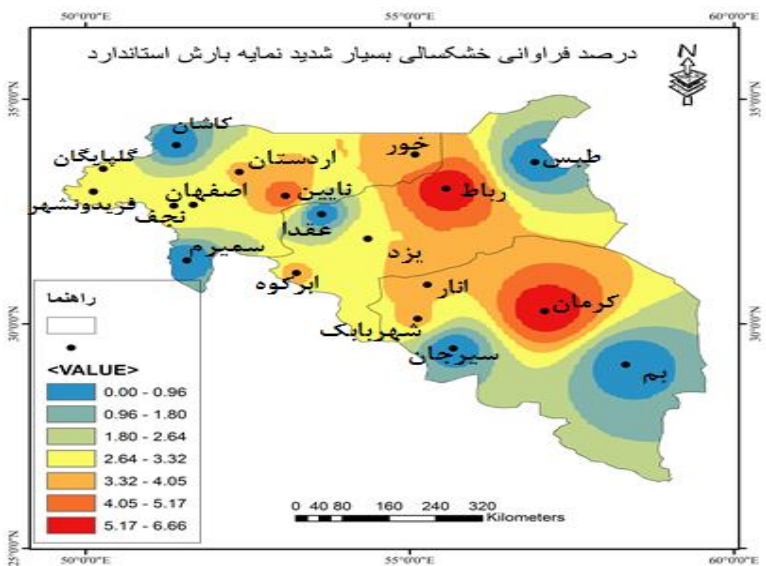
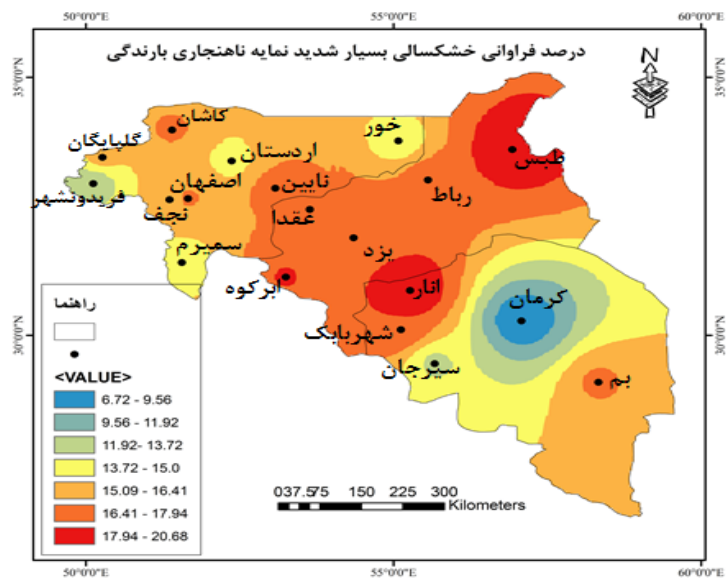
شکل شماره ۲. توزیع خشکسالی بر اساس نمایه RAI طی شدیدترین و فراگیرترین

ب: سال ۲۰۰۸









شکل شماره ۳. درصد فراوانی خشکسالی بسیار شدید ۸ شاخص مورد بررسی در طی دوره

آماري ۲۰۱۴-۱۹۸۵ ایران مرکزی

نتیجه گیری

در این تحقیق برای اولین بار وضعیت خشکسالی استان‌های نیمه شرقی و جنوب شرقی کشور با استفاده از ۸ نمایه مورد بررسی قرار گرفته است تا بهترین نمایه در مقیاس ماهانه و سالانه جهت شناسایی و واکاوی خشکسالی مشخص گردد. نتایج حاصل از خروجی نمایه‌ها در مقیاس ماهانه نشان داد که نمایه‌های SPI ۶ و ۱۲ ماهه جهت بررسی خشکسالی‌ها بهترین کارایی را دارند و حتی در ماه‌های کم‌باران که با مشکل عدم رخداد بارندگی مواجه می‌شوند نیز ارزیابی‌های دقیقی را از وضعیت خشکسالی نشان می‌دهند. در حالی که SPI ۳ ماهه و نمایه‌های استاتیک همچون RAI، DI، PN، PNPI به دلیل عدم رخداد بارش و ثبت داده‌های صفر در ماه‌های کم‌باران، شرایط را یکسان و غالباً به صورت خشکسالی بسیار شدید نشان می‌دهند؛ اما در ماه‌های پر باران از عملکرد بهتری در نمایش شرایط مختلف خشکسالی برخوردار هستند. در مجموع نمایه‌های SPI ۶ و ۱۲ ماهه بهترین عملکرد را در بررسی خشکسالی ماهانه داشته‌اند. سپس نمایه‌های DI، CZI، ZSI شبیه به هم عمل کرده‌اند و در رتبه دوم قرار می‌گیرند. این نمایه‌ها شدت خشکسالی را به صورت نرمال نمایش داده‌اند. در آخر نیز نمایه‌های RAI، PNPI و SIAP شدت خشکسالی را همانند هم بیان کرده‌اند و در جایگاه سوم هستند.

در فصل تابستان به دلیل نفوذ پرفشار جنب حاره و انحراف بادهای غربی به سمت عرض‌های بالاتر در بیشتر ایران با قطع بارش و پایداری هوا مواجه هستیم (علیجانی و کاویانی، ۱۳۸۶)؛ بنابراین خشکی بیشتر مناطق کشور در این فصل طبیعی بوده و کاربرد نمایه‌های خشکسالی در ماه‌های پر بارش سال که بیشتر نزولات جوی رخ می‌دهد اهمیت زیادی دارد؛ اما در مقیاس سالانه، یعنی تقارن سال وقوع کمینه و بیشینه بارندگی در طی ۳۰ سال دوره آماری، نمایه‌های RAI و DI در کل دوره مقادیر کمینه بارندگی هر ایستگاه را

منطبق بر خشکسالی بسیار شدید نشان داده بودند که رتبه‌های اول را به دست آورده‌اند. ضعیف‌ترین عملکرد نیز در نمایه نیچه دیده شد که وضعیت خشکسالی را بدون توجه به شدت آن و تنها با سه رده خشکسالی نمایش داد. نکته جالب اینکه نمایه پرکاربرد SPI در بررسی خشکسالی‌ها در مقیاس سالانه کارایی کمتری را نسبت به RAI و DI نشان داد و مشابه با نمایه PN در رتبه سوم قرار گرفت. در مقایسه بین نمایه‌ها نیز بیشترین شباهت بین نمایه‌های DI، RAI و SIAP با هم و نمایه‌های SPI و PN نیز در یک دسته و CZI و ZSI نیز در دسته دیگر قرار می‌گیرند.

با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) کارایی نمایه RAI و SPI در نمایش رده خشکسالی بسیار شدید طی دوره ۱۹۸۵-۲۰۱۴ نشان داده شد. در نمایه RAI در کل منطقه مورد بررسی، رده خشکسالی بسیار شدید نشان داده شد؛ و مقادیر درصد فراوانی منطبق بر شرایط واقعی حاکم بر منطقه توزیع شده بود؛ اما در نمایه SPI در چندین ایستگاه از نشان دادن رده خشکسالی بسیار شدید ناتوان بود و مقادیر درصد فراوانی رده خشکسالی بسیار شدید را در سایر ایستگاه‌ها کمتر از حدانتظار و در تضاد با شرایط واقعی مناطق نمایش داده بود!

در مرحله بعد شدیدترین، متداوم‌ترین، بیشترین فراوانی و گستره خشکسالی برای هر ایستگاه در طول دوره آماری ۱۹۸۵-۲۰۱۴ طبق بهترین نمایه یعنی RAI مشخص گردید. شدیدترین با ۵/۹۷- در سال ۲۰۱۰ و متداوم‌ترین خشکسالی از سال ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۱ مربوط به ایستگاه شهر بابک واقع در استان کرمان بود. بیشترین فراوانی خشکسالی در استان‌های یزد و کرمان با ۱۷ مورد دیده شد. فراگیرترین خشکسالی بسیار شدید نیز در سال‌های ۲۰۰۸ و ۲۰۱۰ بود که در هر دو سال بیش از ۸ ایستگاه را فراگرفته بود. شدیدترین خشکسالی‌ها نیز در کل منطقه مورد مطالعه در سال‌های ۲۰۰۸ و ۲۰۱۰ به وقوع پیوسته است.

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که جهت پایش خشکسالی‌ها و ترسالی‌های ایران به‌ویژه مناطق خشک و بیابانی مرکزی و شرقی کشور باید دقت و کارایی نمایه‌های متفاوت مورد واکاوی قرار گیرد و تصمیمات فقط بر اساس یک نمایه صورت نگیرد؛ بنابراین پیشنهاد می‌شود برای بررسی خشکسالی ابتدا نمایه‌های خشکسالی متناسب با هدف تحقیق ارزیابی شود و پس از انتخاب بهترین نمایه وضعیت خشکسالی‌ها طبق نمایه برگزیده مورد تحلیل قرار گیرد تا با برنامه‌ریزی مرتبط با نوع وضعیت حاکم، خسارت احتمالی، هزینه‌ها و اتلاف انرژی را به حداقل رساند. اما انتخاب ۸ نمایه پرکاربرد در تحقیقات، استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) برای مقایسه بهترین نمایه یعنی RAI و نمایه پرکاربرد SPI در نمایش درصد فراوانی رده خشکسالی بسیارشدید و انتخاب منطقه‌ی وسیع ایران مرکزی بر صحت و دقت نتایج افزوده است. همچنین معایب و مزایای هر نمایه خشکسالی در مقیاس ماهانه و سالانه بررسی و مقایسه گردیده است.

طبق نظر (Lacy, 2005, 75) به سه روش می‌توان استدلال کرد که تغییر اقلیم، پیامدهای امنیتی جدی به همراه دارد: اثرات فیزیکی بر امنیت انسانی، مهاجرت‌های اجباری و منازعه بر سر منابع. در همین راستا، مسائلی از قبیل طوفان‌های گردوخاک، خشکسالی، کمبود آب آشامیدنی، غذا و دیگر منابع می‌تواند سبب جنگ‌ها و منازعات گسترده‌ای در میان دولت‌ها شود که یک نمونه آن در دارفور اتفاق افتاد و به‌عنوان یک موضوع امنیتی مهم مطرح شد (Yanga, 2011, 45).

با توجه به نقش مهم تغییرات اقلیمی و پیامدهای آن از جمله خشکسالی، مناطق شناسایی شده‌ای که در این تحقیق بیشترین خشکسالی‌های شدید را به خود اختصاص داده‌اند آسیب‌پذیری و بحران امنیتی بیشتری را برای نیروهای مسلح در زمان درگیری‌های مسلحانه با دشمن ایجاد می‌کند. چون این مناطق در اثر خشکسالی با پدیده‌های مخرب دیگر مثل طوفان

گردوخاک، شور شدن آب و کاهش شدید منابع آبی مواجه می‌شوند که در هنگام استقرار نیروهای مسلح در این گونه مناطق باید با مدیریت و برنامه‌ریزی دقیق شرایط مناسبی را برای فعالیت نیروهای مسلح در مناطق بحرانی به وجود آورد تا توانایی لازم را برای مقابله با انواع تهدیدهای امنیتی و نظامی در مناطق خشک و بیابانی کشور داشته باشند. همچنین رخدادهای خشکسالی و کاهش منابع آب موجب کاهش سطح اشتغال و افزایش بیکاری ساکنین و به‌خصوص جوانان بیکار شده، در چنین شرایطی، به مشاغل کاذب و حتی خلاف سلامت اجتماعی از جمله قاچاق مواد مخدر یا تجارت غیرقانونی کالا روی می‌آورند و یا اینکه به‌سادگی این افراد جذب گروه‌های معاند برای کسب درآمد و امرارمعاش می‌شوند. همچنین خالی شدن مناطق از سکنه در اثر مهاجرت ساکنین به مناطق دیگر، زمینه را برای انجام جرائم، حضور اشرار و تروریست‌ها در منطقه فراهم می‌کند و این امر در به خطر افتادن امنیت منطقه و نفوذ به دیگر مناطق کشور، نقش عمده‌ای دارد.

این مقاله مستخرج از طرح پژوهشی با عنوان «طرح کلان آمایش دفاعی - امنیتی جمهوری اسلامی ایران در مناطق کویری، بیابانی و سواحل مکران» می‌باشد که در پژوهشکده آماد و فناوری دفاعی، پژوهشگاه راهبردی دانا (مرکز تحقیقات راهبردی دفاعی) به انجام رسیده است.

منابع

- انصافی مقدم، طاهره، (۱۳۸۶)، ارزیابی چند شاخص خشکسالی اقلیمی و تعیین مناسب‌ترین شاخص در حوضه دریاچه نمک، فصلنامه علمی- پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان ایران، شماره ۱۴، جلد ۲: ۲۷۱-۲۸۸.
- بابائیان، ایمان و زهرا نجفی‌نیک، (۱۳۸۹)، تحلیل تغییر اقلیم استان خراسان رضوی در دوره ۳۹-۲۰۱۰ با استفاده از ریزگردانی خروجی الگوی GCM، مجله جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای، شماره ۱۵: ۱-۱۹.
- بروغنی، مهدی، طایی، مجید و سیدخلاق میرنیا، (۱۳۹۲)، تحلیل ارتباط خشکسالی‌های هیدروژئولوژیکی و اقلیمی دشت سبزواری با استفاده از شاخص‌های SWI و SPI، فصلنامه علمی-پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان ایران، دوره ۴، شماره ۲۰: ۷۳۳-۷۴۴.
- بهشتی‌راد، مسعود و محبوبه بهشتی‌راد، (۱۳۹۲)، بررسی کارایی روش‌های پهنه‌بندی شدت خشکسالی در استان کرمان، فصلنامه‌ی برنامه‌ریزی منطقه‌ای، دوره ۱، شماره ۹: ۸۱-۱۰۹.
- پیری، حلیمه؛ راهداری، وحید؛ ملکی، سعیده، (۱۳۹۲). بررسی و مقایسه کارایی چهار نمایه خشکسالی هواشناسی در مدیریت خطر خشکسالی‌های استان سیستان و بلوچستان، مجله آبیاری و آب، شماره ۱۱: ۹۶-۱۱۴.
- حجازی‌زاده، زهرا؛ حسینی، سید محمد؛ کربلایی درئی، علیرضا، (۱۳۹۴)، شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی استان سمنان با استفاده از مدل گردش عمومی جو (hadcm3)، مجله جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره ۱۵: ۱-۲۴.
- حسنی صفا، حمیده و سعید مرید، (۱۳۸۷)، تحلیل احتمالاتی خصوصیات مکانی شدت خشکسالی در استان تهران، مجله‌ی علوم کشاورزی و منابع، دوره ۵، شماره ۱۱: ۲۰۳-۲۱۲.

حسینی، سید اسعد، احمدی، حمزه، محمدپور، کاوه، (۱۳۹۱)، پایش خشکسالی‌های شهرستان سقز با استفاده از روش تحلیل داده‌های بارندگی، نخستین همایش علمی تخصصی توسعه روستایی و کشاورزی با تأکید بر تولید ملی، دانشگاه پیام نور مرکز پیرانشهر، ۱۳.

حسینی، سید اسعد، ارغوانی، ایوب، آزادی‌مبارکی، محمد، محمدپور، کاوه، (۱۳۹۰)، پایش خشکسالی و روند آن در شهرستان سنندج، پنجمین همایش منطقه‌ای یافته‌های پژوهشی کشاورزی، دانشگاه کردستان، ۶.

حسینی، سید اسعد، محمدپور، کاوه، مسگری، ابراهیم، (۱۳۹۳)، پایش خشکسالی‌های شهرستان مریوان با استفاده از شاخص‌های PNPI و Z score، DI، RAI، SPI، (۱۳۹۳)، همایش ملی راهکارهای پیش‌روی بحران آب در ایران و خاورمیانه، شیراز، ۷.

خلیلی، علی و جواد بذرافشان، (۱۳۸۲)، ارزیابی کارایی چند نمایه خشکسالی هواشناسی در نمونه‌های اقلیمی ایران، نشریه نیوار، شماره ۴۸: ۷۹-۹۳.

زارع ایبانه حمید، محبوبی علی‌اصغر، نیشابوری، محمدرضا، (۱۳۸۳)، بررسی وضعیت خشکسالی و روند آن در منطقه همدان براساس شاخص‌های آماری خشکسالی، مجله پژوهش و سازندگی در زراعت و باغبانی، شماره ۳: ۷-۶۴.

شایق، الهام و سعید سلطانی، (۱۳۸۹)، مقایسه شاخص‌های خشکسالی هواشناسی در استان یزد، مجله علوم آب و خاک، شماره ۵۷: ۲۳۱-۲۵۰.

صالح‌وند، ایران، منتظری، مجید و مهدی مومنی، (۱۳۹۲)، پهنه‌بندی خشکسالی با شاخص‌های (PNI، DI، CZI، ZSI و SPI) و دنباله‌ها در شهرهای استان خوزستان در محیط GIS، فصلنامه‌ی جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری چشم‌انداز زاگرس، دوره ۳، شماره ۱۷: ۳۵-۵۲.

علیجانی، بهلول و محمدرضا کاویانی، (۱۳۹۰). مبانی آب‌وهواشناسی، انتشارات سمت، جلد ششم، تهران.

فرج‌زاده منوچهر، (۱۳۸۶)، خشکسالی از مفهوم تا راهکار، انتشارات سازمان جغرافیایی کشور. کریمی، ولی، (۱۳۷۷)، بررسی خشکسالی‌های هواشناسی در استان فارس، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز. ۱۲۷.

میرزایی، علی‌اصغر و سبوعه غلامعلی، (۱۳۹۰)، نرم افزارهای تخصصی مهندسی آب، انتشارات کیان رایانه سبز، چاپ اول.

ناصرزاده، محمدحسین و اسماعیل احمدی، (۱۳۹۱)، بررسی عملکرد شاخص‌های خشکسالی هواشناسی در ارزیابی خشکسالی و پهنه‌بندی آن در استان قزوین، نشریه‌ی تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، دوره ۲، شماره ۲۷: ۱۴۱-۱۶۲.

هاشمی‌عنا، سیدکرامت؛ خسروی، محمود؛ طاوسی، تقی، (۱۳۹۵)، شبیه‌سازی طولانی‌ترین طول دوره‌های خشک با رویکرد تغییر اقلیم در گستره ایران‌زمین، مجله مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، شماره ۲۲: ۱۸-۳۳.

Bordi I., and Sutera A, (2004) Drought variability and its climatic implications, *Global and Planetary Change*. 2004;40(1, 2), pp. 115-127.

Doupingy-Girux, L.A.(2001), Towards characterizing and planning for drought in Vermont Part1: A climatological perspective. *Journal of the American Water Resource Association*. 37(3):505-524

Gholam Ali, M. Younes, KH. Esmail, A. Fatemeh, T. (2011) Assessment of Geostatistical Methods for Spatial Analysis of SPI and EDI Drought Indices. *World Applied Sciences Journal* 15 (4): 474-482.

Gibbs, W.J. and J.V. Maher. 1967. Rainfall deciles as drought indicators. *Bulletin No.48, Bureau of Meteorology, Melbourne*. 34-41.

Herweijer, C., Seager, R., (2008), The global footprint of persistent extra-tropical drought in the instrumental era, *International Journal of Climatology*, 28(13):pp1761-1774

Kaldor, M., 2006. *New and old wars: organized violence in a global era* combridge ; malden, MA: polity press.

- Lacy, Mark J. (2005), *Security and Climate Change*, London and New York: Rputledge.
- Mckee, T.B., N.J. Doesken, and J. Kleist, (1995), Drought monitoring with multiple time scales. Ninth Conference on Applied Climatology, American Meteorological Society, Jan 15- 20, Dallas TX, 233-236.
- Morid Saeid, Smakhtin Vladimir, Moghaddasi Mahnosh, 2006, Comparison of seven meteorological indices for drought monitoring in Iran, *International Journal of climatology*, 26, 971-985.
- Mpelasoka F., Hennessy K., Jones R., Bates B., (2008), Comparison of suitable drought indices for climatic change impacts assessment over Australia towards resource management, *International Journal of climatology*, 28, 1283-1292.
- Myers, N., (2001), Environmental refugees: a growing phenomenon of the 21st century, *phil. Trans. R.Soc. London*.
- Nikbakht, J., Tabari, H., and Talaei, P. H. (2013), Streamflow drought severity analysis by percent of normal index (PNI) in northwest Iran. *Theoretical and applied climatology*, 112(3-4), 565-573.
- Tabari, H., Nikbakht, J., and Talaei, P. H. (2013). Hydrological drought assessment in Northwestern Iran based on streamflow drought index (SDI). *Water resources management*, 27(1), 137-151.
- Vangelis H., Tigkar D. and Tsakiris G. 2013. The effect of PET method on Reconnaissance Drought Index (RDI) calculation., *Journal of Arid Environments* 88: 130-140.
- Wilks, D.S.1998. International variability and extreme-value characteristics of several stochastic daily precipitation models, *Agricultural and forest meteorology*. 98-99, 547-554.
- Yanga, B., Emmy Anne (2011), "Climate Change and ASEAN", Presented at the First International Conference in International Relations, Bangkok: Thammasat University. 19-20 may.

