

جغرافیا و توسعه شماره ۳۸ بهار ۱۳۹۴

وصول مقاله : ۱۳۹۱/۹/۱۸

تأیید نهایی : ۱۳۹۳/۴/۸

صفحات : ۲۰۷ - ۱۸۹

پیش‌بینی خشکسالی استان آذربایجان شرقی در دوره‌ی ۲۰۲۲-۲۰۱۳ میلادی

سیده شیما پورعلی‌حسین^۱، دکتر علیرضا مساح‌بوانی^۲

چکیده

با توجه به روند احتمالی افزایش خشکسالی در جهان در اثر تغییر اقلیم، بررسی این پدیده در هر منطقه برای دوره‌ی آتی ضروری می‌نماید. در این تحقیق داده‌های ریزمقیاس شده ماهانه شبیه‌سازی شده دما و بارش استان آذربایجان شرقی در دوره ۲۰۱۳-۲۰۲۲ میلادی، توسط مدل AOGCM، تحت سه سناریوی انتشار A1B، A2، B1 تهیه شدند. پس از بررسی شرایط (فراوانی و شدت) خشکسالی گذشته (۱۹۹۹-۱۹۵۰) در منطقه، به منظور لحاظ کردن عدم قطعیت سناریوهای انتشار، با استفاده از روش مقیاس الگو (Pattern Scaling)، داده‌ها برای ۴۶ سناریوی انتشار دیگر محاسبه شده، و وضعیت خشکسالی استان در دوره‌ی آتی با شاخص بارش استاندارد شده (SPI) بررسی گردید، و در نهایت نقشه‌های پهنه‌بندی این شاخص با به کارگیری روش کریگینگ در هر سال با در نظر گرفتن سناریوی میانه برای اقلیم منطقه، به دست آمد. نتایج نشان داد در سال ۲۰۲۱ خشکسالی بسیار زیاد در نواحی شرقی استان رخ خواهد داد و می‌توان این سال را خشک‌ترین سال دوره قلمداد کرد، بطوری که در مجموع ۵۹/۳۷۵ درصد استان دارای شرایط خشک خواهد بود. برای سال‌های ۲۰۱۳، ۲۰۱۷ و ۲۰۱۸ نیز در برخی نقاط خشکسالی پیش‌بینی می‌شود، در حالی که سال ۲۰۱۹ در تمامی نقاط از شرایط نزدیک به نرمال برخوردار خواهد بود. سال ۲۰۲۰ نیز در دوره‌ی ده ساله مرطوب‌ترین سال خواهد بود، به گونه‌ای که این سال تنها سالی است که رطوبت بسیار زیاد را تجربه خواهد کرد. پس از ۲۰۲۰، سال ۲۰۱۴ با پوشش ۵۰ درصد استان با سطوح رطوبتی، مرطوب‌ترین سال خواهد بود. در کل، استان آذربایجان شرقی به جز سال‌های ۲۰۱۳، ۲۰۱۷، ۲۰۱۸ و ۲۰۲۱، در ۶ سال دیگر از شرایط نزدیک به نرمال و بالاتر تبعیت خواهد نمود. با پیش‌بینی مقادیر بارش و تعیین شرایط خشکسالی، می‌توان راهکارهای سازگاری با تغییر اقلیم در این خصوص را پیشنهاد نمود.

کلیدواژه‌ها: خشکسالی، تغییر اقلیم، عدم قطعیت، مقیاس الگو، SPI.

مقدمه

راه مستقیم کند نمودن روند افزایش دمای جهانی و تغییر اقلیم، کاهش چشمگیر استفاده از سوخت‌های فسیلی و تلاش برای سازگاری با اثرات تغییر اقلیم از جمله افزایش شدت و تواتر خشکسالی‌ها می‌باشد (Mitchell, 2003: 1). مناطق خیلی مرطوب و خیلی خشک جهان از سال ۱۹۷۲ از ۲۰٪ به ۳۸٪ افزایش یافته است (Solomon et al, 2007: 40). گروه کاری اول IPCC نیز اعلام نموده، که افزایش خشکسالی‌ها در عرض‌های جغرافیایی پایین و میانی (از جمله ایران) در تابستان محتمل است (Parry et al, 2007: 15) و در قرن آینده مناطق میانی نیمکره شمالی، خصوصاً در تابستان خشک‌تر خواهند بود (Mishra and Singh, 2011: 11).

از آنجا که استناد به یک سناریو برای شرایط آتی توصیه نشده است (Parry et al, 2011: 27)، بررسی عدم قطعیت با دو منبع کلیدی در مقدار انتشار گازهای گلخانه‌ای در دوره‌های آتی و هم‌چنین عدم قطعیت الگوی منطقه‌ای تغییر اقلیم شبیه‌سازی شده توسط مدل‌های گردش عمومی جو^۱ (Mitchell, 2003: 2; Lu & Hulme, 2002: 4; Raje & Mujumdar, 2010: 1) ضروری می‌نماید.

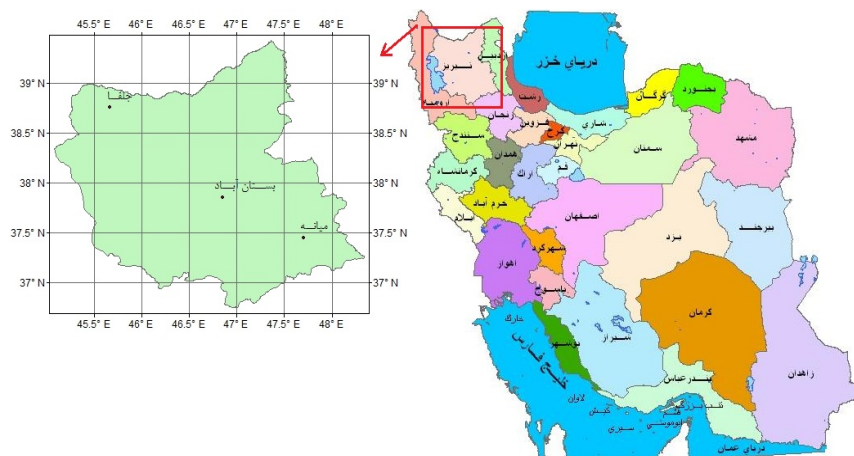
از جمله روش‌های لحاظ نمودن عدم قطعیت، استفاده از روش مقیاس الگو^۲ برای شبیه‌سازی اقلیم منطقه‌ای تحت تعداد بیشتر سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌باشد (IPCC TAR, 2001: 1). یکی از رایج‌ترین شاخص‌های تصویرسازی خشکسالی با اهداف مدیریت منابع آب، شاخص بارش استاندارد شده (SPI) می‌باشد که برای اولین بار توسط مک‌کی و همکاران در دانشگاه کلرادو معرفی گردید (Mckee et al, 1993: 1).

در مطالعات اثرات تغییر اقلیم بر خشکسالی، اثرات مورد انتظار تغییر اقلیم، توزیع مکانی یکنواختی ندارد، و خشکسالی نیز رویداد محلی است. بنابراین لازم است تا پس از بررسی اثرات تغییر اقلیم بر خشکسالی، میان‌یابی صورت گیرد. در این راستا در تحقیق حاضر اثرات تغییر اقلیم بر خشکسالی استان آذربایجان شرقی در دوره‌ی ۲۰۱۳-۲۰۲۲ با در نظر گرفتن عدم قطعیت‌های مربوط، بررسی خواهد شد.

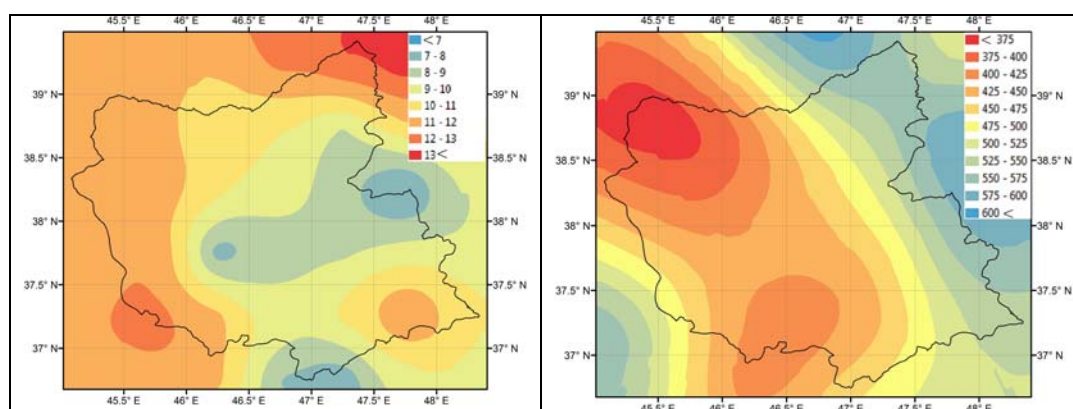
مواد و روش‌ها

الف- منطقه مطالعاتی

استان آذربایجان شرقی بزرگ‌ترین و پرجمعیت‌ترین استان ناحیه شمال غربی ایران محسوب می‌شود. این استان از سمت شمال به جمهوری آذربایجان و ارمنستان از سمت غرب و جنوب غرب به استان آذربایجان غربی، از شرق به استان اردبیل و از جنوب شرق به استان زنجان محدود شده است (بانک اطلاعاتی آماری داده‌های هواشناسی ایران). این استان دارای آب و هوای سرد کوهستانی بوده و کل محدوده آن را کوه‌ها و ارتفاعات تشکیل داده‌اند (شکل ۱). استان آذربایجان شرقی به دلیل وسعت زیاد دارای آب و هوای متنوع می‌باشد، بطوری‌که بیشترین دمای ثبت شده، در شهرهای میانه و جلفا با دمای +۴۵ درجه سلسیوس است و همچنین کمترین دمای ثبت شده در استان و در کلیه‌ی شهرهای ایران مربوط به شهرستان بستان‌آباد با دمای -۴۶ درجه سلسیوس می‌باشد.



شکل ۱: موقعیت منطقه مطالعاتی



شکل ۲: میانگین دمای ماهانه (°C) (چپ) و میانگین بارش سالانه (mm) (راست)

مأخذ: محاسبات نگارنده‌گان از داده‌های آماری ایستگاه‌های هواشناسی

درازمدت منطقه، شاخص خشکسالی SPI را در این دوره به‌دست آورد. موقعیت ایستگاه‌های مورد استفاده، در شکل ۳ آورده شده است. ضمناً طول و عرض جغرافیایی و ارتفاع ایستگاه‌ها از سطح دریا، در جدول ۱ آورده شده است.

ج- سناریوهای انتشار و مدل‌های AOGCM

به تعریف IPCC در سال ۱۹۹۴، سناریو، یک توضیح منطقی و معقول موقعیت آینده‌ی جهان می‌باشد و مدل‌های اقلیمی جهانی اتمسفر- اقیانوس (AOGCM)، ابزار مدل‌سازی سناریوهای تغییر اقلیم هستند (Mearns et al, 2003: 3).

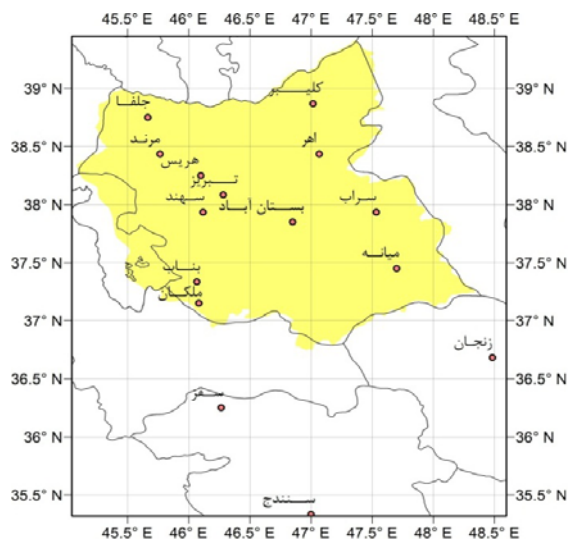
شکل ۲ میانگین درازمدت بارش و دمای سالانه را در منطقه بین سال‌های ۱۹۵۰-۱۹۹۹ نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در مناطق غربی استان بارش کمتر و دمای بالاتر و در قسمت‌های شرقی بارندگی بیشتری رخ داده است، ضمن آن که دما نیز در این نواحی پایین‌تر خواهد بود. همچنین بارش تجمعی سالانه بین ۶۰۸-۳۶۱ میلی‌متر می‌باشد.

ب- ایستگاه‌های هواشناسی مورد استفاده

داده‌های دما و بارش ماهانه استان در دوره‌ی ۱۹۹۹-۱۹۵۰ از ایستگاه‌های هواشناسی (سازمان هواشناسی) برداشت شده‌اند تا بتوان ضمن محاسبه‌ی متوسط

GCM مدل‌های مفهومی بوده و بطور دینامیکی مدل‌های اقیانوس را به مدل‌های اتمسفر مرتبط می‌کنند (Carter, 2007: 39). اینجا از داده‌های ماهانه دما و بارش ۱۶ مدل AOGCM تحت سناریوهای A1, A2, B1 (IPCC, 2007: 2) دوره‌ی ۲۰۲۲-۲۰۱۳ استفاده گردید (جدول ۲).

مدل‌های اقیانوس را به مدل‌های اتمسفر مرتبط می‌کنند (Carter, 2007: 39). اینجا از داده‌های ماهانه دما و بارش ۱۶ مدل AOGCM تحت سناریوهای A1, A2, B1 (IPCC, 2007: 2) استفاده گردید (جدول ۲).



شکل ۳: موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های هواشناسی منطقه
 مأخذ: بانک اطلاعاتی آماری داده‌های هواشناسی ایران

جدول ۱: مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی برداشت داده‌های بارندگی

نام ایستگاه	طول جغرافیایی (درجه)	عرض جغرافیایی (درجه)	ارتفاع از سطح دریا (متر)
تبریز	۴۶/۲۸	۳۸/۰۸	۱۳۶۱
مرند	۴۵/۷۷	۳۸/۴۳	۱۵۵۰
اهر	۴۷/۰۷	۳۸/۴۳	۱۳۹۰/۵
سراب	۴۷/۵۳	۳۷/۹۳	۱۶۸۲
جلفا	۴۵/۶۷	۳۸/۷۵	۷۳۶/۲
میانہ	۴۷/۷	۳۷/۴۵	۱۱۱۰
سهند	۴۶/۱۲	۳۷/۹۳	۱۶۴۱
بناب	۴۶/۰۷	۳۷/۳۳	۱۲۹۰
کلیر	۴۷/۰۲	۳۸/۸۷	۱۱۸۰
هریس	۴۶/۱	۳۸/۲۵	۱۹۵۰
بستان آباد	۴۶/۸۵	۳۷/۸۵	۱۷۵۰
ملکان	۴۶/۰۸	۳۷/۱۵	۱۳۰۲
سقز	۴۶/۲۷	۳۶/۲۵	۱۵۲۲/۸
زنجان	۴۸/۴۸	۳۶/۶۸	۱۶۶۳
سنندج	۴۷	۳۵/۳۳	۱۳۷۳/۴

مأخذ: بانک اطلاعاتی آماری داده‌های هواشناسی ایران

جدول ۲: مدل‌های AOGCM در مقاله

مدل	کشور حامی	رزولوشن اتمسفر	رزولوشن اقیانوس	سناریوهای مدل
BCCR-BCM2.0	نروژ	$1/9^{\circ} \times 1/9^{\circ}$	$1/5^{\circ} \times 1/5^{\circ}$	A1B, A2, B1
CCSM3	آمریکا	$1/4^{\circ} \times 1/4^{\circ}$	$1^{\circ} \times 1^{\circ}$	A1B, A2, B1
CGCM3.1(T47)	کانادا	$2/8^{\circ} \times 2/8^{\circ}$	$1/9^{\circ} \times 1/9^{\circ}$	A1B, A2, B1
CNRM-CM3	فرانسه	$1/9^{\circ} \times 1/9^{\circ}$	$2^{\circ} \times 2^{\circ}$	A1B, A2, B1
CSIRO-Mk3.0	استرالیا	$1/9^{\circ} \times 1/9^{\circ}$	$1/8^{\circ} \times 1/9^{\circ}$	A1B, A2, B1
ECHAM5MPI-OM	آلمان	$1/9^{\circ} \times 1/9^{\circ}$	$1/5^{\circ} \times 1/5^{\circ}$	A1B, A2, B1
ECHO-G	آلمان/کره	$3/9^{\circ} \times 3/9^{\circ}$	$2/8^{\circ} \times 2/8^{\circ}$	A1B, A2, B1
GFDL-CM2.0	آمریکا	$2/0^{\circ} \times 2/5^{\circ}$	$1^{\circ} \times 1^{\circ}$	A1B, A2, B1
GFDL-CM2.1		$2/0^{\circ} \times 2/5^{\circ}$	$1^{\circ} \times 1^{\circ}$	A1B, A2, B1
GISS-ER	آمریکا	$4^{\circ} \times 5^{\circ}$	$4^{\circ} \times 5^{\circ}$	A2, B1
INM-CM3.0	روسیه	$4^{\circ} \times 5^{\circ}$	$2/0^{\circ} \times 2/5^{\circ}$	A1B, A2, B1
IPSL-CM4	فرانسه	$2/5^{\circ} \times 3/75^{\circ}$	$2^{\circ} \times 2^{\circ}$	A1B, A2, B1
MIROC3.2(medres)	ژاپن	$2/8^{\circ} \times 2/8^{\circ}$	$1/4^{\circ} \times 1/4^{\circ}$	A1B, A2, B1
MRI-CGCM2.3.2	ژاپن	$2/8^{\circ} \times 2/8^{\circ}$	$2/0^{\circ} \times 2/5^{\circ}$	A1B, A2, B1
PCM	آمریکا	$2/8^{\circ} \times 2/8^{\circ}$	$1/1^{\circ} \times 1/7^{\circ}$	A2, B1
UKMO-HadCM3	انگلستان	$2/5^{\circ} \times 3/75^{\circ}$	$1/25^{\circ} \times 1/25^{\circ}$	A1B, A2, B1

مأخذ: Solomon et al, 2007

وارد محاسبات گردند که در بخش بعد تحت عنوان مقیاس الگو آورده شده است. در این مطالعه روش: Bias Correction/ Spatial Downscaling برای ریزمقیاس‌نمایی داده‌ها استفاده شده است. در استفاده از کلیه روش‌های ریزمقیاس‌نمایی اعم از آماری و دینامیکی، عدم قطعیت‌هایی وجود دارد و تنها روشی که بتوان عدم قطعیت تمامی مدل‌ها و سناریوهای انتشار را با هم دید، روشی است که در اینجا به کار رفته است.

د- مقیاس الگو (Pattern Scaling, PS)

در این تحقیق، روش مقیاس‌الگوی معرفی شده توسط سنتر و همکاران در سال ۱۹۹۰ (روابط ۱ و ۲) به کار برده می‌شود (Santer et al, 1990: 1).

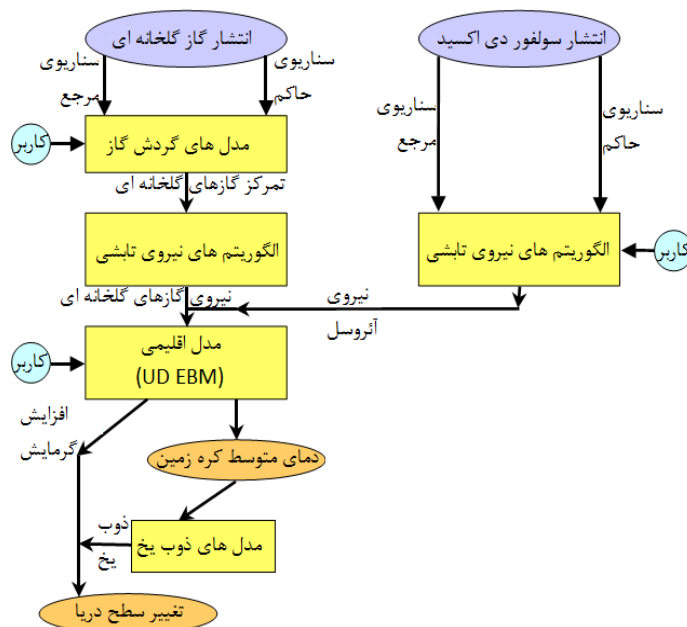
از آنجا که مدل‌های مذکور قادر به ارائه‌ی متغیرهای اقلیمی در مقیاس مناسب نیستند (Mearns et al, 2003: 3) و به دلیل عدم تطابق مقیاس مکانی مدل اقلیمی و مدل هیدرولوژیکی (Wood et al, 2004: 2)، از داده‌های ریزمقیاس‌شده ($0/5 \times 0/5$ درجه) (برنامه تحقیقات اقلیم جهان، (gdo-dcp.ucllnl.org) استفاده گردید. مدل‌های GCM کلاً توسط IPCC برای تمامی دنیا واسنجی شده‌اند، لذا در این تحقیق لزومی به پرداختن بدان وجود ندارد. ضمناً به گزارش IPCC حتی اگر یک مدل قادر به ارائه‌ی بهترین شبیه‌سازی برای دوره مشاهداتی (گذشته) باشد، به دلیل وجود عدم قطعیت‌ها، نمی‌توان گفت که آن مدل برای آینده نیز پیش‌بینی دقیقی به دست خواهد داد، لذا لازم است که کلیه‌ی مدل‌ها تحت تمامی سناریوهای

ΔR و ΔT معرف تغییرات دما و بارش، $\langle \rangle$ نشان‌دهنده‌ی نسبت میانگین جهانی اختلاف دما در سناریوی انتشار مورد نظر به سناریوی مبنا، و زیرنویس S بیانگر مقدار محاسباتی مدل مورد نظر می‌باشد. برای محاسبه‌ی نسبت میانگین جهانی اختلاف دما، به دلیل هزینه بالا در اجرای AOGCM ها و زمان بر بودن آن، مدلی ساده (MAGICC) توسعه داده شده است که میانگین دمای اتمسفر زمین را تحت سناریوهای مختلف انتشار تا سال ۲۱۰۰ ارائه می‌کند (Lu and Hulme, 2002: 1) که در شکل ۴ متدولوژی به کار رفته در این نرم‌افزار مشاهده می‌شود.

طبق این روابط، مقادیر سناریوی تغییر اقلیم دما (ΔT) و بارش (ΔP) حاصل از هر سناریوی انتشار به وسیله مقادیر سناریوی انتشار مبنا قابل محاسبه است. سناریوی A2 به‌عنوان سناریوی مبنا انتخاب گردید، چرا که در مقیاس الگو بهتر است سناریوی مبنا با واداشت نسبتاً بالا باشد (Mitchell, 2003: 22).

$$\Delta T_{A1F1,s} = \left\langle \frac{\Delta T_{A1F1}}{\Delta T_{A2}} \right\rangle \Delta T_{A2,s} \quad \text{رابطه ۱}$$

$$\Delta R_{A1F1,s} = \left\langle \frac{\Delta R_{A1F1}}{\Delta R_{A2}} \right\rangle \Delta R_{A2,s} \quad \text{رابطه ۲}$$



شکل ۴: شماتیک روش کار سیستم مدل MAGICC

مأخذ: Carter, 2007

در سال پایه‌ی مورد نظر (مؤسسه سیاست زمین، آمریکا، www.earth-policy.org) جمع نمود، سپس با داشتن دمای مدل‌ها تحت سناریوی مبنای A2، دما و بارش ماهانه سایر سناریوها در هر سلول، برای دوره‌ی ۲۰۲۲-۲۰۱۳ به دست می‌آید.

در این مقاله به جای اختلاف دما و بارش (آنومالی) نسبت به یک سال مبنا، مستقیماً از دمای میانگین کره‌ی زمین و مدل‌ها استفاده شده است. برای محاسبه‌ی دمای متوسط کره‌ی زمین تحت هر سناریو، تنها کافی است مقدار اختلاف دمای داده شده توسط مدل MAGICC را با مقدار دمای میانگین کره‌ی زمین

$$G(x) = \frac{1}{\Gamma(\hat{\alpha})} \int_0^x t^{\hat{\alpha}-1} e^{-t} dt \quad \text{رابطه ۸}$$

پارامترهای توزیع گاما برای هر سلول جداگانه در هر ماه از سال تخمین زده می‌شود. با در نظر گرفتن احتمال برای بارش صفر ($x=0$) که توزیع گاما برای آن تعریف نشده، احتمال تجمعی به این صورت است:

$$H(x) = q + (1-q)G(x) \quad \text{رابطه ۹}$$

q احتمال صفر است که از رابطه $\frac{m}{n}$ به دست می‌آید که m تعداد بارش‌های ثبت شده برابر صفر، و n کل تعداد بارش‌های ثبت شده است. احتمال تجمعی توزیع برای هر مقدار بارش، با استفاده از احتمال برابر، به توزیع نرمال با میانگین صفر و انحراف معیار ۱ تبدیل می‌شود که برابر مقدار SPI می‌باشد:

$$SPI = \begin{cases} k - \frac{(c_2 k + c_1)k + c_0}{((d_3 k + d_2)k + d_1)k + 1.0} & 0.5 < H(x) < 1 \\ - \left(k - \frac{(c_2 k + c_1)k + c_0}{((d_3 k + d_2)k + d_1)k + 1.0} \right) & 0 < H(x) \leq 0.5 \end{cases} \quad \text{رابطه ۱۰}$$

$$k = \begin{cases} \sqrt{\ln\left(\frac{1}{(1-H(x))^2}\right)} & 0.5 < H(x) < 1 \\ \sqrt{\ln\left(\frac{1}{H^2(x)}\right)} & 0 < H(x) \leq 0.5 \end{cases} \quad \text{رابطه ۱۱}$$

$$\begin{aligned} C_1 &= 0.8028853, C_0 = 2/515517 \\ d_1 &= 1/432788, C_2 = 0.10328 \\ d_3 &= 0.101308 \text{ و } d_2 = 0.1189269 \end{aligned}$$

د- شاخص بارش استاندارد شده (SPI)

لرنزو-لاکروز و همکاران (۲۰۱۰) از SPI به عنوان شاخصی مؤثر برای تعیین کمبود آب در مقیاس‌های زمانی متفاوت نام برده‌اند (Lorenzo-Lacruz et al, 2010: 1). ابتدا تابع توزیع احتمالات ناقص گاما به توزیع بارش موجود، برازش داده می‌شود

(Liu et al, 2012: 2; Gebrehiwot et al, 2011: 2).

$$p(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-x/\beta}, \quad x > 0 \quad \text{رابطه ۳}$$

که X مقدار بارش، α پارامتر شکل (shape) و β پارامتر مقیاس می‌باشد. روش حداکثر درست‌نمایی برای تخمین مقدار بهینه α و β استفاده می‌شود.

$$\hat{\alpha} = \frac{1}{4A} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}} \right) \quad \text{رابطه ۴}$$

$$\hat{\beta} = \frac{\bar{x}}{\hat{\alpha}} \quad \text{رابطه ۵}$$

$$A = \ln(\bar{x}) - \frac{\sum \ln(x)}{n} \quad \text{رابطه ۶}$$

n تعداد بارش ثبت شده می‌باشد. احتمال تجمعی برای یک ماه از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

رابطه ۷

$$G(x) = \int_0^x g(x) dx = \frac{1}{\hat{\beta}^{\hat{\alpha}} \Gamma(\hat{\alpha})} \int_0^x x^{\hat{\alpha}-1} e^{-x/\hat{\beta}} dx$$

با قرار دادن $t = \frac{x}{\hat{\beta}}$ تابع گامای ناقص به صورت زیر

می‌شود:

نتایج و بحث

الف- پیش‌بینی دما و بارش منطقه با در نظر گرفتن عدم قطعیت‌های مربوط

برای پیش‌بینی دما و بارش ماهانه منطقه طی دوره ۲۰۲۲-۲۰۱۳، پس از محاسبه سناریوهای تغییر اقلیم و اجرای مقیاس الگو، نمودارهای جعبه‌ای دما و بارش درازمدت ماهانه منطقه ترسیم گردیدند. شکل‌های ۵ و ۶ به عنوان نمونه، دما و بارش در ماه ژانویه را نشان می‌دهند که برای مشاهده بهتر، نمودار جعبه‌ای یکی از سلول‌ها بزرگ شده و در قسمت پایین سمت راست شکل‌های مربوطه آورده شده است.

طبق نتایج به دست آمده بارش در تمامی نقاط و در تمامی ماه‌ها، چوله به راست می‌باشد. همچنین تعداد داده‌های پرت بارش در ماه مارس کمتر از سایر ماه‌هاست و بعد از آن ماه آوریل قرار دارد؛ در حالی که داده‌های پرت موجود در ماه آگوست بسیار زیاد می‌باشد. داده‌های دما به نسبت بارش، داده‌های پرت کمتری دارد. لذا می‌توان نتیجه گرفت که عدم قطعیت پیش‌بینی دما توسط مدل‌ها کمتر از عدم قطعیت تخمین مقدار بارندگی دوره آتی توسط این مدل‌ها می‌باشد.

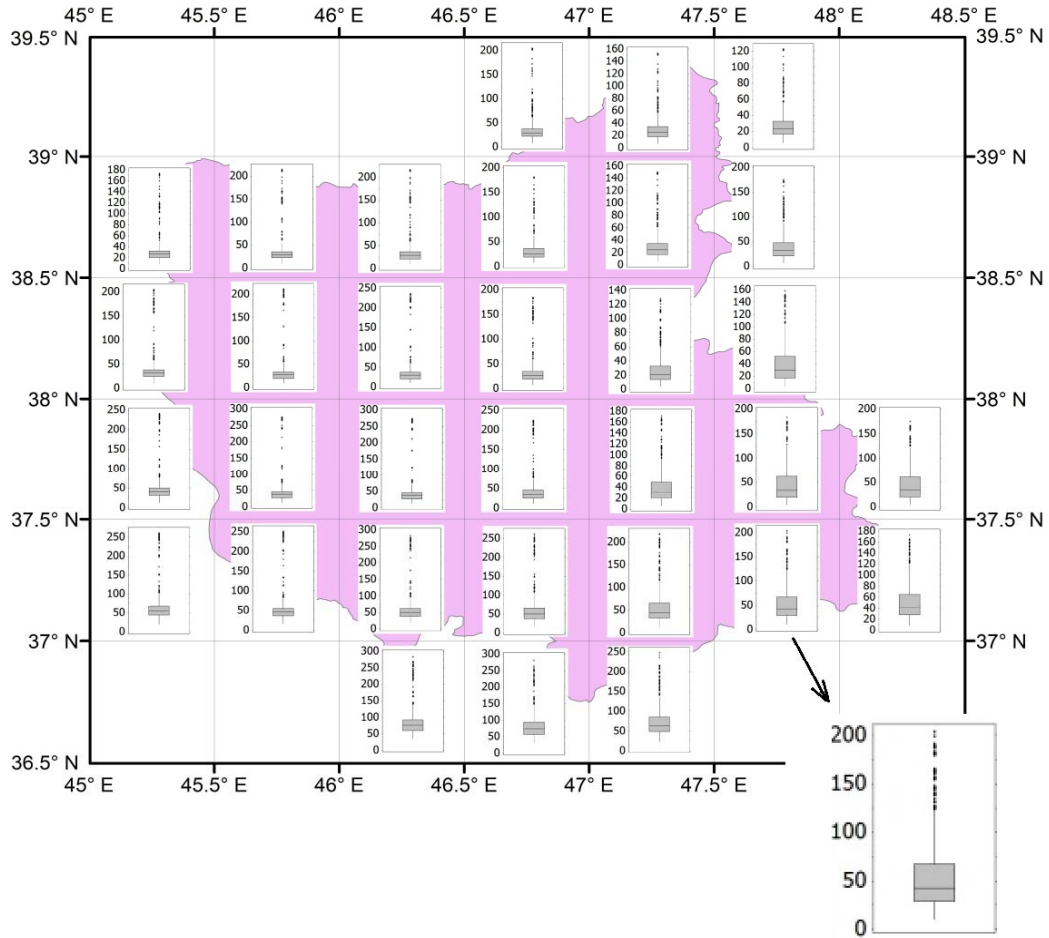
مقادیر SPI قرینه بوده و می‌توان برای تعیین هم‌شرایط خشکسالی و همچنین ترسالی استفاده‌شود. طبقه‌بندی SPI در جدول ۳ مشاهده می‌شود

جدول ۳: طبقه‌بندی شاخص SPI

طبقه	مقدار شاخص
رطوبت بسیار زیاد	۲ یا بیشتر
رطوبت زیاد	۱/۵ تا ۱/۹۹
رطوبت کم	۱ تا ۱/۴۹
نزدیک به نرمال	۰/۹۹- تا ۰/۹۹
خشکسالی کم	-۱ تا -۱/۴۹
خشکسالی زیاد	-۱/۵ تا -۱/۹۹
خشکسالی بسیار زیاد	-۲ یا کمتر

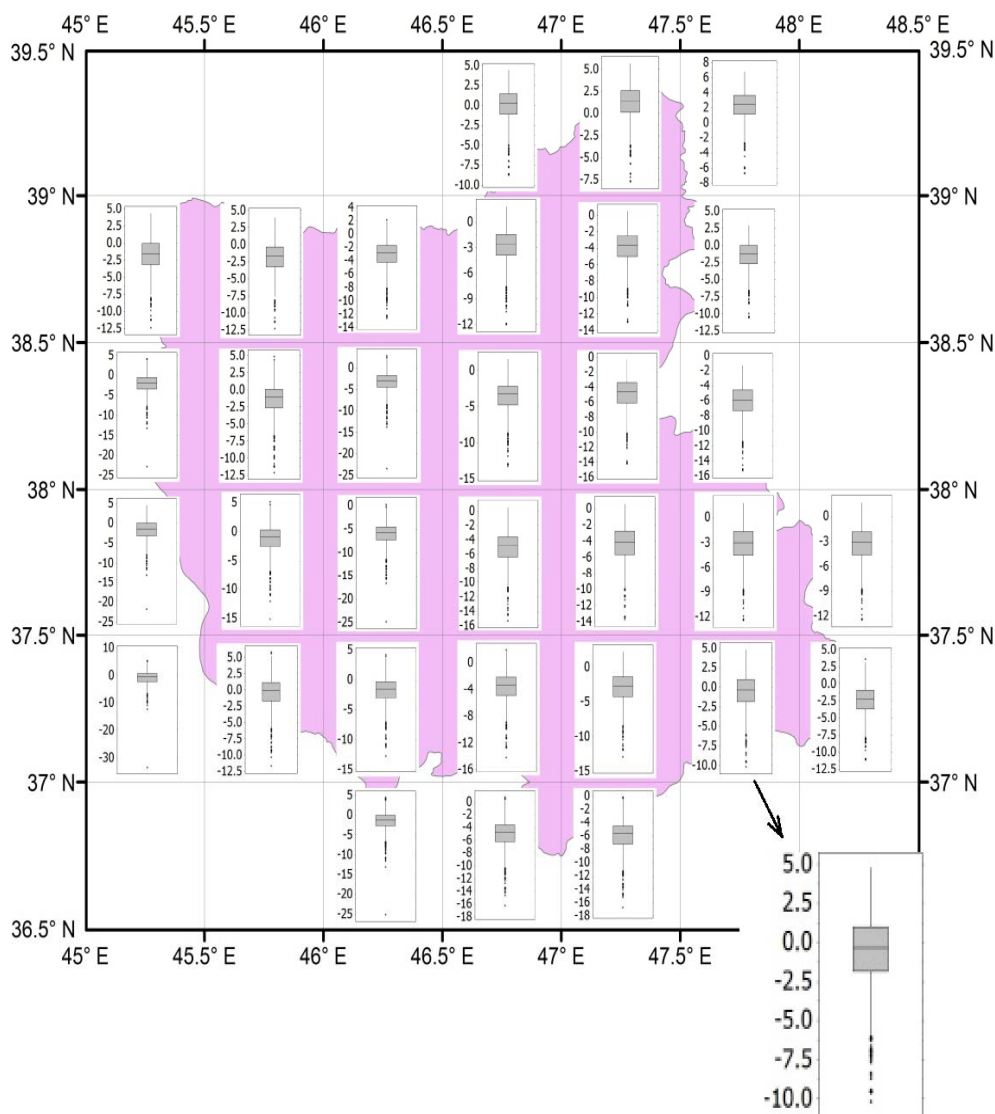
مأخذ: *Mckee, 1993; Gebrehiwot et al, 2011*

گام‌های زمانی بلندتر (۹، ۱۲ یا ۲۴ ماه) نتایج بهتری برای وقوع خشکسالی به دست می‌دهد (*Stricevic et al, 2011: 1*) و با مدیریت منابع آب در ارتباط می‌باشد. در این مقاله SPI_{۱۲} یا SPI دوازده ماهه که بر اساس احتمال تجمعی بارش در ۱۲ ماه می‌باشد، محاسبه می‌شود و معرف خشکسالی هیدرولوژیکی است (*Liu et al., 2012: 3*). همچنین برای پهنه‌بندی این شاخص از روش کریگینگ (Kriging) معمولی استفاده شده است (*Tao and Gao, 2009: 2*).

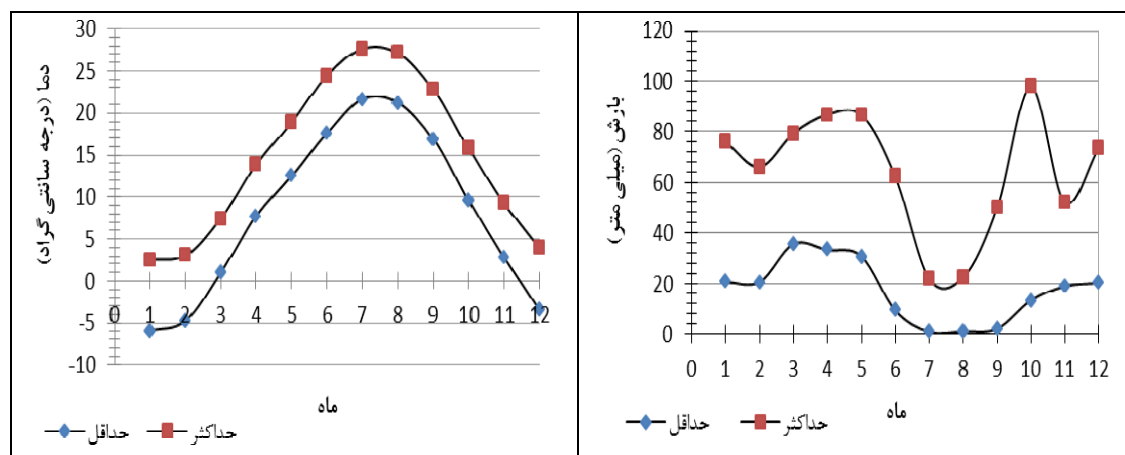


شکل ۵: نمودار جعبه‌ای بارش منطقه در ماه ژانویه

مأخذ: محاسبات نگارندگان، ۱۳۹۱



شکل ۶: نمودار جعبه‌ای دمای منطقه در ماه ژانویه
 مأخذ: محاسبات نگارندگان، ۱۳۹۱



شکل ۷: مقادیر حداقل و حداکثر میانه دما و بارش در دوره‌ی ۲۰۲۲-۲۰۱۳ در منطقه

مأخذ: محاسبات نگارندگان، ۱۳۹۱

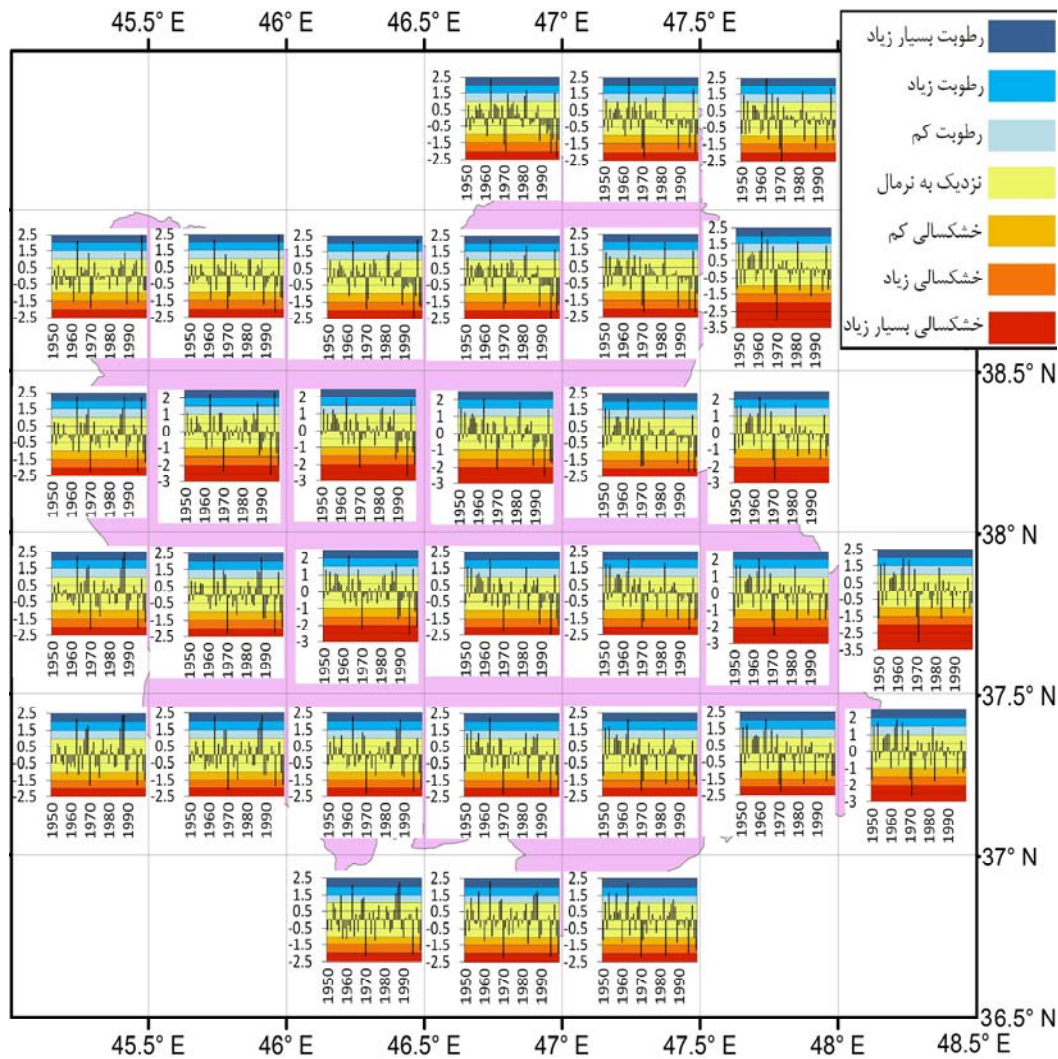
درجه دوره ۱۹۹۹-۱۹۵۰ که از تحقیق کمال در سال ۱۳۹۰ برداشت شده است، (کمال، ۱۳۹۰: ۱) محاسبه گردید (شکل ۸). در این ۵۰ سال روند خاصی در وقوع خشکسالی‌ها مشاهده نمی‌شود.

این نتایج هماهنگ با نتایج اکبرزاده و همکاران (۱۳۸۲) می‌باشد، بطوری که شدیدترین خشکسالی، در شرق استان بوده است، درحالی‌که بیشترین فراوانی در شمال غرب (جلفا) می‌باشد و به طرف جنوب و جنوب شرق کاسته می‌شود. بیشترین تداوم خشکسالی نیز در شرق و مرکز (سراب و تبریز) رخ داده است (اکبرزاده، ۱۳۸۲: ۱). همچنین فراوانی سال‌های بسیار مرطوب در استان، کم می‌باشد و اکثر سال‌ها از شرایط نزدیک به نرمال برخوردار بوده‌اند.

به‌منظور درک بهتر، داده‌های دما و بارش سناریوی میانه به دست آمد. سپس، حداقل و حداکثر میانه دما و بارش در این دوره ده ساله محاسبه گردید که در شکل ۷ ملاحظه می‌شود.

حداکثر دما و حداقل بارش در ماه‌های جولای و آگوست و حداقل دما در ماه ژانویه خواهد بود. ضمناً می‌توان دریافت که دو نمودار حداقل و حداکثر دما کاملاً مطابق یکدیگرند، به گونه‌ای که گرادیان آن دو مشابه هم است. در مورد بارش نیز در اکثر ماه‌ها، دو مقدار بارش حداقل و حداکثر منطقه در دوره‌ی آتی با یکدیگر مطابق است.

ب- تعیین وضعیت خشکسالی منطقه در دوره‌ی آتی
برای ارزیابی خشکسالی هیدرولوژیکی استان، شاخص SPI دوازده ماهه برای داده‌های 0.5×0.5



شکل ۸: مقادیر شاخص SPI در دوره ۱۹۵۰-۱۹۹۹

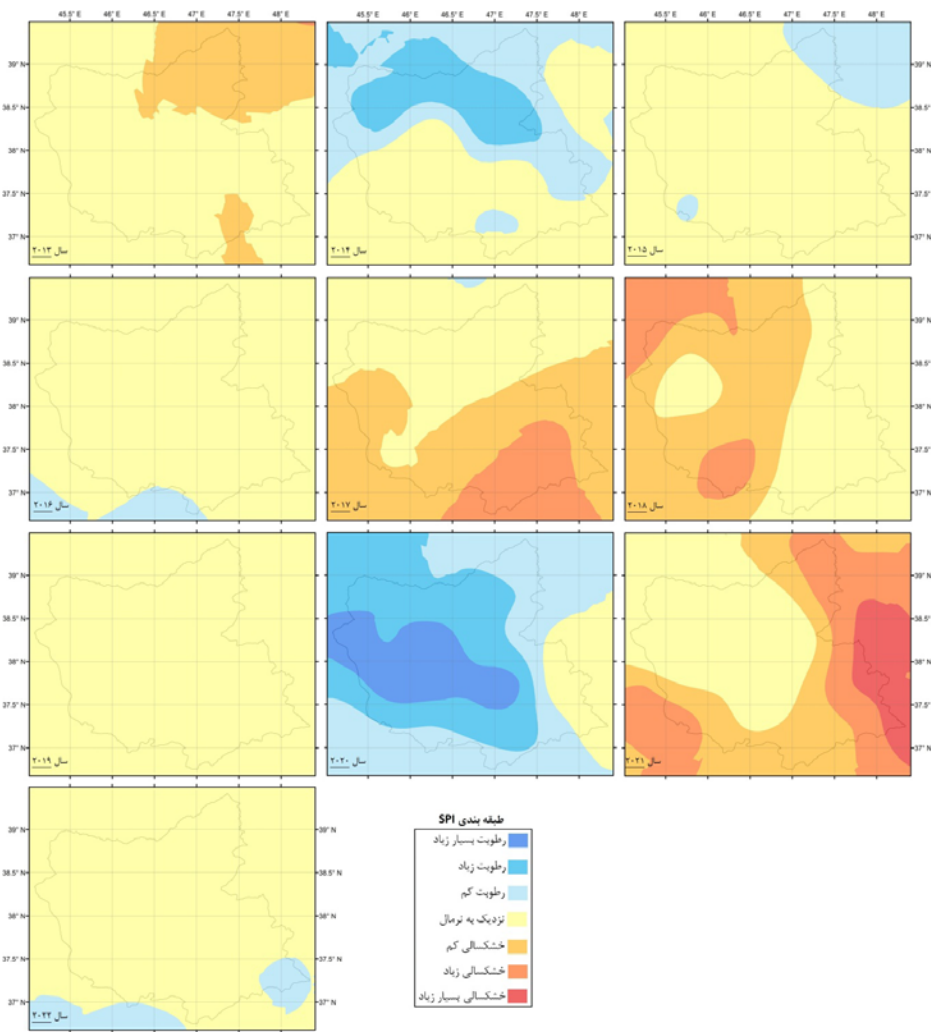
مأخذ: محاسبات نگارندگان، ۱۳۹۱

و ۲۰۲۱ خشکسالی در برخی مناطق استان آذربایجان شرقی پیش‌بینی می‌شود. در سایر سال‌ها، اکثر نقاط دارای وضعیت نزدیک به نرمال هستند و در برخی نواحی رطوبت بیش از نرمال می‌باشد، به عبارتی به جز سال‌های ۲۰۱۳، ۲۰۱۷، ۲۰۱۸ و ۲۰۲۱، استان آذربایجان شرقی در بقیه سال‌ها از شرایط نزدیک به نرمال و بالاتر تبعیت خواهد نمود. همچنین سال

پس از محاسبه مقدار صدک ۵۰ (میان، P_{50} : بارشی که با ریسک ۵۰٪ اتفاق خواهد افتاد)، SPI_{12} این بارش برای استان با استفاده از نرم‌افزار DIPv.2 به دست آمد و با روش کریگینگ میان‌یابی شد تا نقشه‌های پهنه‌بندی خشکسالی سال‌های ۲۰۱۳-۲۰۲۲ حاصل گردید (شکل ۹) (Morid et al, 2003). همان‌طور که از نقشه‌ها برمی‌آید، در سال‌های ۲۰۱۳، ۲۰۱۷، ۲۰۱۸

سال خواهد بود، بطوری‌که سطح کمی از استان را شرایط نزدیک به نرمال پوشانده است و نزدیک به کل استان دارای شرایط رطوبتی بالاتر خواهد بود. کل سطح منطقه در سال ۲۰۱۹ دارای وضعیت نزدیک به نرمال خواهد بود.

۲۰۲۱ خشکسالی بسیار زیاد در نواحی شرقی استان رخ خواهد داد و می‌توان این سال را خشک‌ترین سال دوره‌ی ده‌ساله قلمداد کرد، چراکه سال ۲۰۲۱ در دهه‌ی آتی تنها سالی است که استان خشکسالی بسیار زیاد را تجربه خواهد نمود. در مقابل، سال ۲۰۲۰ مرطوب‌ترین

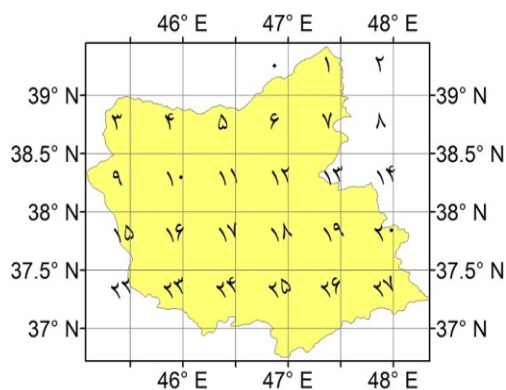


شکل ۹: وضعیت خشکسالی استان در دوره‌ی آتی (۲۰۲۲-۲۰۱۳)

مأخذ: محاسبات نگارندگان، ۱۳۹۱

جدول ۳ می‌باشد. به عبارتی با توجه به مقادیر جدول ۴ و مقایسه آن‌ها با طبقه‌بندی ارائه شده در جدول ۳، نقشه‌های پهنه‌بندی شکل ۹ ترسیم شده‌اند.

بطور خلاصه مقادیر SPI محاسباتی برای دهه‌ی آتی در ۳۲ سلول استان طبق شماره‌گذاری شکل ۱۰ همان طور که در شکل ۹ نیز مشاهده گردید، به صورت



شکل ۱۰: شماره بندی سلول های استان

مأخذ: محاسبات نگارندگان، ۱۳۹۱

جدول ۴: مقادیر شاخص خشکسالی SPI ده سال آبی در منطقه

سلول	x	y	۲۰۱۳	۲۰۱۴	۲۰۱۵	۲۰۱۶	۲۰۱۷	۲۰۱۸	۲۰۱۹	۲۰۲۰	۲۰۲۱	۲۰۲۲
۰	۴۶/۷۵	۳۹/۲۵	-۰/۷۸	۱/۱۴	-۰/۸۹	-۰/۹۷	۱/۰۱	-۱/۲۷	-۰/۰۸	۱/۴۱	-۱/۳۱	-۰/۰۴
۱	۴۷/۲۷	۳۹/۲۵	-۱/۳۲	۱/۲۶	۱/۱۹	-۰/۳۳	-۰/۳۵	-۰/۹۱	۰/۳۲	۱/۲۱	-۱/۶۴	-۰/۰۶
۲	۴۷/۷۵	۳۹/۲۵	-۱/۵۸	۱/۰۲	۱/۲۴	-۰/۳۱	-۰/۱۲	-۰/۶۱	۰/۳۱	۱/۲۲	-۱/۵۲	-۰/۱۴
۳	۴۵/۲۵	۳۸/۷۵	-۰/۱۴	۱/۴۵	-۰/۱۷	-۰/۴۲	-۰/۵۷	-۱/۸۶	-۰/۰۶	۱/۸۹	-۰/۲۲	-۰/۵۲
۴	۴۵/۷۵	۳۸/۷۵	-۱/۰۶	۱/۶۴	-۰/۲۹	-۰/۳۵	-۰/۸۷	-۱/۱	-۰/۴۳	۱/۹۵	-۰/۰۲	-۰/۱۱
۵	۴۶/۲۵	۳۸/۷۵	۰/۹۸	۱/۸۲	-۰/۳۵	-۰/۰۷	-۱/۵۴	-۰/۱۵	۱/۵۹	-۰/۴۳	-۰/۱۳	-۰/۱۳
۶	۴۶/۷۵	۳۸/۷۵	-۱/۱	۱/۷۱	۰/۵۲	-۰/۶۵	۰/۲	-۱/۲۶	-۰/۲۳	۱/۷۲	-۰/۶۹	-۰/۲۱
۷	۴۷/۲۵	۳۸/۷۵	-۱/۱۷	۱/۴۹	۰/۸۳	-۰/۲۵	-۰/۱۹	-۰/۹۷	۰/۴۶	۱/۵	-۱/۴۷	-۰/۲۲
۸	۴۷/۷۵	۳۸/۷۵	-۱/۱۴	۰/۸۸	۱/۵۲	-۰/۲۶	-۰/۶۵	-۰/۵۷	۰/۲۶	۱/۲۲	-۱/۹۵	-۰/۴۵
۹	۴۵/۲۵	۳۸/۲۵	۰	۱/۳۱	-۰/۲۲	-۰/۱۵	-۰/۹۲	-۱/۲۴	-۰/۹۹	۲/۱۸	-۰/۱۱	-۰/۳
۱۰	۴۵/۷۵	۳۸/۲۵	-۱/۰۸	۱/۴۵	-۰/۱	-۰/۵۹	-۰/۳۸	-۰/۵۶	-۰/۳۴	۱/۹۸	۰/۳۷	-۰/۰۴
۱۱	۴۶/۲۵	۳۸/۲۵	-۰/۸۷	۰/۶۸	۰/۴	-۰/۴۳	-۰/۹۲	-۱/۰۵	-۰/۴۶	۲/۳	-۰/۵۱	۰/۸۶
۱۲	۴۶/۷۵	۳۸/۲۵	-۱/۰۲	۱/۵۸	-۰/۰۴	-۰/۲۷	-۰/۷۵	-۱/۵۲	-۰/۲۳	۱/۷۹	-۰/۰۲	-۰/۴۸
۱۳	۴۷/۲۵	۳۸/۲۵	-۰/۹۹	۱/۸۳	-۰/۳۷	-۰/۰۵	-۱/۱۴	-۰/۶۶	۰/۸۶	۱/۴	-۰/۹	-۰/۲۶
۱۴	۴۷/۷۵	۳۸/۲۵	-۰/۷۴	۱/۲۲	۰/۷	-۰/۴۳	-۱/۳۸	-۰/۵۴	-۰/۰۹	۰/۸۳	-۲/۰۳	-۰/۵۱
۱۵	۴۵/۲۵	۳۷/۷۵	۰/۲۹	۰/۹۱	-۰/۵۶	-۰/۲۶	-۱/۳۵	-۱/۰۲	-۰/۴۷	۰/۸۱	-۱/۴۵	-۰/۴۶
۱۶	۴۵/۷۵	۳۷/۷۵	-۰/۲۸	۰/۲	-۰/۷۷	-۰/۲۲	-۰/۷۲	-۱/۲۵	-۰/۶۸	۲/۲۷	-۰/۹۲	-۰/۸۴
۱۷	۴۶/۲۵	۳۷/۷۵	-۰/۵۴	۰/۱۷	-۰/۶۹	-۰/۰۱	-۰/۸۷	-۱/۲۷	-۰/۵۲	۲/۲۷	-۰/۸۱	-۰/۸۸
۱۸	۴۶/۷۵	۳۷/۷۵	-۰/۹۳	۰/۸۲	-۰/۱۶	۰/۳۶	-۱/۱۷	-۱/۳۹	-۰/۰۳	۲/۰۷	-۰/۵۳	-۰/۶۵
۱۹	۴۷/۲۵	۳۷/۷۵	-۰/۷۹	۰/۷۴	-۰/۳۷	-۰/۲۲	-۱/۵۵	۰	۰/۵۴	۲/۰۹	-۱/۲۶	-۰/۰۸
۲۰	۴۷/۷۵	۳۷/۷۵	-۱/۸۲	۱/۱۸	-۰/۶۵	-۰/۵۸	-۱/۳۹	-۰/۶۳	-۰/۰۱	۰/۵۷	-۲/۰۳	-۰/۶۴
۲۱	۴۸/۲۵	۳۷/۷۵	-۱/۸۵	۱/۰۶	۰/۶۹	-۰/۶۵	-۱/۳۵	-۰/۶۶	-۰/۱۲	۰/۴۵	-۲/۰۲	-۰/۸۳
۲۲	۴۵/۲۵	۳۷/۲۵	۰/۴۲	۰/۳۸	۰/۶۲	۱	-۱/۱۵	-۱/۴۷	-۰/۲۳	۱/۱۶	-۱/۶۲	-۰/۸۹
۲۳	۴۵/۷۵	۳۷/۲۵	۰/۳۴	۰/۳۶	۱/۰۴	۰/۴۱	-۰/۹۷	-۱/۳۵	-۰/۳۸	۱/۵۲	-۱/۶۸	-۰/۷۱
۲۴	۴۶/۲۵	۳۷/۲۵	-۰/۰۸	۰/۴۷	۰/۶۳	۰/۸۳	-۱/۲۳	-۱/۸۳	۰/۱۴	۱/۵	-۱/۰۹	-۰/۶۵
۲۵	۴۶/۷۵	۳۷/۲۵	-۰/۸۱	۰/۹۶	۰/۴	-۰/۹۳	-۱/۴۳	-۱/۱۷	۰/۱۱	۱/۷۱	-۰/۹۹	-۰/۳۸
۲۶	۴۷/۲۵	۳۷/۲۵	-۱/۲۸	۱	۰/۱۸	۰/۱۷	-۱/۵۷	-۰/۰۷	۰/۴۹	۱/۷۱	-۱/۲۲	-۰/۴۴
۲۷	۴۷/۷۵	۳۷/۲۵	-۱/۱۶	۰/۸۴	-۰/۰۸	-۰/۰۸	-۱/۵۲	-۰/۷۵	۰/۳۷	۱/۲۳	-۱/۵۵	۱/۰۱
۲۸	۴۸/۲۵	۳۷/۲۵	-۰/۴۲	۰/۸۶	۰/۷	-۰/۱۴	-۱/۴۲	-۰/۳۸	۰/۲	۰/۶۸	-۲/۱۹	۱/۰۶
۲۹	۴۶/۲۵	۳۶/۷۵	-۰/۰۳	۰/۶۱	-۰/۳۶	۱/۰۳	-۱/۴۱	-۱/۲۸	۰/۵۲	۱/۰۴	-۱/۲۱	۱/۴۱
۳۰	۴۶/۷۵	۳۶/۷۵	-۰/۰۵	۰/۸	-۰/۱۹	۱/۳۷	-۱/۶۶	-۰/۶۶	-۰/۵۶	۱/۱۵	-۱/۱۶	۱/۱۴
۳۱	۴۷/۲۵	۳۶/۷۵	-۱/۲۹	۰/۷	-۰/۱۳	-۰/۹۹	-۱/۷۵	-۰/۳۷	۰/۳۷	۱/۳۸	-۱/۲۲	-۰/۴۳

مأخذ: محاسبات نگارندگان، ۱۳۹۱

خواهد نمود و در سایر سال‌ها خشکسالی بسیار زیاد رخ نخواهد داد. سال ۲۰۲۰ نیز تنها سالی است که رطوبت بسیار زیاد خواهد داشت و لذا مرطوب‌ترین سال دوره می‌باشد. پس از سال ۲۰۲۰ نیز سال ۲۰۱۴ قرار دارد که در مجموع ۵۰ درصد استان را سطوح مرطوب پوشش خواهد داد.

به منظور محاسبه درصد مساحت وضعیت‌های خشکسالی منطقه در ده سال آتی، در هر سال تعداد سلول‌های دارای هر وضعیت خشکسالی بر تعداد کل سلول‌های منطقه، تقسیم، و نتایج در جدول ۵ ثبت گردید. طبق نتایج به دست آمده تنها در سال ۲۰۲۱، ۱۲/۵ درصد استان خشکسالی بسیار زیاد را تجربه

جدول ۵: درصد مساحت تحت شرایط مختلف خشکسالی در منطقه در دوره‌ی آتی

سال	۲۰۱۳	۲۰۱۴	۲۰۱۵	۲۰۱۶	۲۰۱۷	۲۰۱۸	۲۰۱۹	۲۰۲۰	۲۰۲۱	۲۰۲۲
وضعیت خشکسالی										
رطوبت بسیار زیاد	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱۸/۷۵	۰	۰
رطوبت زیاد	۰	۱۵/۶۲۵	۰	۰	۰	۰	۰	۳۴/۳۷۵	۰	۰
رطوبت کم	۰	۳۴/۳۷۵	۱۲/۵	۶/۲۵	۳/۱۲۵	۰	۰	۳۴/۳۷۵	۰	۱۲/۵
نزدیک به نرمال	۶۵/۶۲۵	۵۰	۸۷/۵	۹۳/۷۵	۴۳/۷۵	۴۶/۸۷۵	۱۰۰	۱۲/۵	۴۰/۶۲۵	۸۷/۵
خشکسالی کم	۳۱/۲۵	۰	۰	۰	۳۷/۵	۴۰/۶۲۵	۰	۰	۲۸/۱۲۵	۰
خشکسالی زیاد	۳/۱۲۵	۰	۰	۰	۱۲/۵	۱۵/۶۲۵	۰	۰	۱۸/۷۵	۰
خشکسالی بسیار زیاد	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱۲/۵	۰

مأخذ: محاسبات نگارندگان، ۱۳۹۱

نتیجه

میانه به دست آمده، نقشه پهنه‌بندی دوازده ماهه آن ترسیم گردید. نتایج نشان می‌دهند که خشکسالی در استان در سال ۲۰۲۱ در شدیدترین حالت قرار خواهد داشت و سطح بیشتری از منطقه تحت تأثیر خشکسالی قرار خواهد گرفت. ضمناً سال‌های ۲۰۱۳، ۲۰۱۷ و ۲۰۱۸ نیز با خشکسالی مواجه خواهند شد.

این نتیجه با نتایج تحقیقات سایرین که خشکسالی غرب آسیا را رو به افزایش پیش‌بینی نمودند، مطابقت دارد. لذا با آگاهی بر شرایط آتی، می‌توان راهکار سازگاری مطابق با اقلیم منطقه را ارائه نمود، از جمله این راهکارها می‌توان به بارورسازی ابرها اشاره کرد که هم‌اکنون در حال بررسی امکان‌سنجی آن در منطقه می‌باشیم.

در این مقاله، داده‌های مشاهداتی دما و بارش در استان آذربایجان شرقی مورد ارزیابی قرار گرفت و وضعیت خشکسالی با استفاده از شاخص SPI_{12} (خشکسالی هیدرولوژیکی) در این مدت بررسی گردید که روند خاصی در دوره‌های گذشته مشاهده نگردید. این شاخص تنها احتیاج به داده‌های بارش داشته، به سادگی در زمان و مکان قابل مقایسه و محاسبه است. در ادامه داده‌های دما و بارش ماهانه منطقه در دوره‌ی ۲۰۲۲-۲۰۱۳ شبیه‌سازی شده توسط مدل AOGCM، تحت سه سناریوی A1B, A2, B1 با به کارگیری روش مقیاس الگو (با در نظر گرفتن سناریوی A2 به عنوان سناریوی مبنا)، برای ۴۶ سناریوی دیگر محاسبه گردیدند و پس از آن شاخص SPI برای بارش

- McKee, Thomas B., Doesken, Nolan J. and Kleist, and John (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales, Eighth Conference on Applied Climatology, 17-22 January 1993, Anaheim, California.
- Mearns, L.O., Giorgi, F., Whetton, P., Pabon, D., Hulme, M. and Lal, M. (2003). Guidelines for Use of Climate Scenarios Developed from Regional Climate Model Experiments, DDC of IPCC TGCIA.
- Mishra, Ashok K. and Singh, Vijay P. (2011). Drought modeling – A review, *Journal of Hydrology* 403 (2011) 157–175.
- Mitchell, TIMOTHY D. (2003). Pattern Scaling An Examination of the Accuracy of the Technique for Describing Future Climates, *Climatic Change* 60: 217–242, 2003.
- Morid, S., Moghaddasi, M., Arshad, S. and Omid, M (2003). Drought Indices Package (DIP), The Bureau of Research and Scientific Affairs of Iran Water Resources Management Company, <http://www.wrm.or.ir.research/>
- Parry, M.L., Canziani, O.F., Palutikof, J.P., van der Linden, P.J. and Hanson, C.E., (eds). (2007). Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Santer, B.D., Wigley, T.M.L., Schlesinger, M.E. and Mitchell, J.F.B. (1990). Developing climate scenarios from equilibrium GCM results. Rep. No.47, Max-Planck-Institut-für Meteorologie, Hamburg, 29 pp.
- Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K.B., Tignor, M. and Miller, H.L (eds) (2007). Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Stricevic, Ruzica, Djurovic, Nevenka and Djurovic, Zeljko (2011). Drought classification in Northern Serbia based on SPI and statistical pattern recognition, *Meteorol. Appl.* 18: 60–69 (2011).
- Tao, Wenyong and Gao, Yang (2009). Near real-time water vapor distribution surface rendering using Ordinary Kriging, *Can. J. Earth Sci.* 46: 611-625 (2009).
- Wood, A. W., Leung, L.R., Sridhar, V. and Lettenmaier, D.P. (2004). Hydrologic Implications of Dynamical and Statistical Approaches to Downscaling Climate Model Outputs, *Climatic Change* 62: 189–216, 2004.

منابع

- اکبرزاده، یونس؛ فاطمه صادقی شقاقی؛ مصطفی حسین‌بایابی (۱۳۸۲). تحلیل مکانی شاخص خشکسالی SPI در استان آذربایجان شرقی طی دوره آماری (۲۰۰۶–۱۹۸۷). همایش منطقه‌ای بحران آب و خشکسالی، اردیبهشت ۱۳۸۸. رشت.
- بانک اطلاعاتی آماری داده‌های هواشناسی ایران. <http://www.irimo.ir/>
- کمال، علیرضا؛ علیرضا مساح‌بوانی؛ محمدرضا نجفی (۱۳۹۰). مقایسه روش‌های کوچک مقیاس کردن آماری در تأثیر بر رواناب حوضه تحت تأثیر تغییر اقلیم، کنفرانس ملی پژوهش‌های کاربردی منابع آب ایران، زنجان.
- Carter, T.R. (2007). General Guidelines on the Use of Scenario Data for Climate Impact and Adaptation Assessment, version 2, Task Group on Data and Scenario Support for Impact and Climate Assessment (TGICA)
- Gebrehiwot, Tagel, van der Veen, Anne and Maathui, Ben (2011). Spatial and temporal assessment of drought in the Northern highlands of Ethiopia, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 13 (2011) 309–321.
- <http://gdo-dcp.ucllnl.org/downscaled-projections/dcpInterface.html>
- <http://www.earth-policy.org/indicators/C51> (Earth Policy Institute, USA)
- IPCC TAR WG1 (2001). Houghton J.T. Ding Y. Griggs D.J. Noguer M. van der Linden P.J. Dai X. Maskell K. and Johnson C.A. ed. *Climate Change 2001: The Scientific Basis*, Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, ISBN 0-521-80767-0 (pb: 0-521-01495-6).
- Liu, Xingcai, Xu, Zongxue and Yu, Ruihong (2012). Spatiotemporal variability of drought and the potential climatological driving factors in the Liao River basin, *Hydrol.Process.* 26, 1-14 (2012).
- Lorenzo-Lacruz, J., Vicente-Serrano, S.M., López-Moreno, J.I., Beguería, S., Cuadrat, J.M. and García-Ruiz, J. M (2010). The impact of droughts and water management on various hydrological systems in the headwaters of the Tagus River (central Spain), *Journal of Hydrology* 386 (2010) 13–26.
- Lu, Xianfu and Hulme, Mike (2002). A Short Note on Scaling GCM Climate Response Patterns, Prepared for the AIACC regional study teams.