فصلنامه دانش پیشگیری و مدیریت بحران/ دورهٔ دوازدهم، شمارهٔ اول، بهار ۱۴۰۱
Disaster Prevention and Management Knowledge (DPMK) Quarterly, Vol. 12, No.1, Serial 43 (Spring 2022)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۹/۰۴
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۰/۱۴

Indicators and components of assessing variations and changes in climate change

Mohammad Pouralkhas Nokandeie[1], Abazar Esmali Ouri[2*], Raoof Mostafazadeh[3], Zeinab Hazbavi[4] & Meraj Sharari[5]

1. M.Sc. in Watershed Management Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran, Email: m.pouralkhas.n@gmail.com

2- Associate Professor, Department of Natural Resources, Faculty of Agriculture and Natural Resources, and Member of Water Management Research Center, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran (Corresponding Author), Email: esmaliouri@uma.ac.ir

3- Associate Professor, Department of Natural Resources, Faculty of Agriculture and Natural Resources, and Member of Water Management Research Center, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran, Email: raoofmostafazadeh@uma.ac.ir

4- Assistant Professor, Department of Natural Resources, Faculty of Agriculture and Natural Resources, and Member of Water Management Research Center, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran, Email: z.hazbavi@uma.ac.ir

5- Assistant Professor, Department of Natural Resources, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran, Email: mearaj_sharari@yahoo.com

Abstract

Background and objective: In the present study, concepts related to climate change and climate study scales have been studied and various indicators related to climate change have been presented and then important and practical indicators in evaluating climate change components have been evaluated.

Method: Monitoring the changes in extreme climatic events requires data in short-term time scales. The 32 indicators used in the present study were evaluated and classified into two categories related to rainfall and temperature. Rainfall indices included maximum rainfall and heavy rainfall, maximum number of consecutive dry and wet days, total wet day rainfall, seasonal rainfall index (SI). In addition, regarding temperature, the glacial day (FD) indices, tropical days and nights, hot and cold, minimum and maximum temperature in daily and monthly time scales, range of circadian temperature changes (DTR) and length of growing season (GSL) were assessed.

Results and Discussion: In selecting the appropriate index for assessing climate change, the length of the existing statistical period, existing of missing data, time scale of the data (hourly, daily, monthly, annual) and the purpose of the research should be considered. In the assessing drought and water balance, the mean values and timing indices would be a good option. While, in studying the flow regime and hydrologic modeling, the daily data flow produce satisfying results. In assessing vegetation change due to climatic factors, as well as groundwater fluctuations, seasonal indicators of rainfall distribution and timing will be better. Average or minimum and maximum and daily or annual indicators will be used to predict changes in climatic variable.

Conclusions: The introduced indicators can be used in selection of suitable climatic variables and adaptive management approaches to climate change challenges. In general, the selection of the appropriate index depends on the available data and the purpose of the research, and the statistical methods used in interpreting the variables will affect the choice of the index.

Keywords: Change pattern, Variability, Drought and wet season, Climate change indicators, Resource management

▶**Citation (APA 6th ed.):** Pouralkhas Nokandeie M, Esmali Ouri A, Mostafazadeh R, Hazbavi Z, Sharari M. (2022, Spring). Indicators and components of assessing variations and changes in climate change. *Disaster Prevention and Management Knowledge Quarterly (DPMK), 12*(1),85-98.

شاخص‌ها و مؤلفه‌های ارزیابی نوسانات و تغییرات اقلیمی

محمد پورالخاص نوکنده‌یی[۱]، اباذر اسمعلی عوری[۲*]، رئوف مصطفی‌زاده[۳]، زینب حزباوی[۴]، معراج شرری[۵]

۱- کارشناسی ارشد علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران، m.pouralkhas.n@gmail.com

۲- دانشیار گروه منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی و عضو پژوهشکده مدیریت آب، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران (نویسنده مسئول)، esmaliouri@uma.ac.ir

۳- دانشیار گروه منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی و عضو پژوهشکده مدیریت آب، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران، raoofmostafazadeh@uma.ac.ir

۴- استادیارگروه منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی و عضو پژوهشکده مدیریت آب، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران، z.hazbavi@uma.ac.ir

۵- استادیارگروه منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران، mearaj_sharari@yahoo.com

چکیده

زمینه و هدف: در پژوهش حاضر، مفاهیم مربوط به تغییر اقلیم و مقیاس‌های مطالعاتی اقلیم و شاخص‌های مختلف مرتبط با تغییر اقلیم ارائه شده و سپس، شاخص‌های مهم و کاربردی در ارزیابی تغییرات مؤلفه‌های حدی اقلیمی مورد ارزیابی قرار گرفته است.

روش: پایش تغییرات در وقایع حدی اقلیمی نیازمند داده‌ها در مقیاس زمانی کوتاه‌مدت است. تعداد ۳۲ شاخص مورد استفاده در تحقیق حاضر در دو دسته مرتبط با بارندگی و دما ارزیابی و طبقه‌بندی شدند. شاخص‌های بارندگی شامل مقادیر حداکثر بارش و بارش‌های شدید، حداکثر تعداد روزهای خشک و مرطوب متوالی، مجموع بارش روزهای مرطوب، شاخص فصلی بارش (SI)، بودند. همچنین در خصوص دما، شاخص‌های روزهای یخبندان (FD)، روزها و شب‌های حاره‌ای، گرم و سرد، بیشینه دمای حداقل و حداکثر روزانه و ماهانه و دامنه تغییرات شبانه‌روزی دما (DTR) و طول فصل رشد در سال (GSL) می‌باشند.

یافته‌ها: در انتخاب شاخص مناسب ارزیابی تغییرات اقلیمی باید طول دوره آماری موجود، نواقص آماری در داده‌ها، مقیاس زمانی داده‌ها (ساعتی، روزانه، ماهانه، سالانه) و هدف تحقیق مد نظر قرار گیرد. در پیش‌بینی خشکسالی و بیلان آب از مقادیر متوسط و زمان‌بندی و در مطالعه رژیم و مدل‌سازی‌های جریان داده‌های روزانه مناسبتر هستند. در ارزیابی تغییرات پوشش گیاهی ناشی از اقلیم و نیز نوسانات آب‌های زیرزمینی، شاخص‌های فصلی توزیع بارندگی و زمان‌بندی بهتر خواهد بود. در پیش‌بینی تغییر اقلیم از شاخص‌های میانگین و یا حداقل و حداکثرهای روزانه و یا سالانه استفاده خواهد شد.

نتیجه‌گیری: شاخص‌های معرفی شده می‌تواند در انتخاب مؤلفه‌های اقلیمی و رویکردهای مدیریت سازگار چالش‌های تغییر اقلیم استفاده شود. در مجموع، انتخاب شاخص مناسب براساس داده‌های موجود و هدف تحقیق انجام می‌شود و روش‌های آماری در تفسیر متغیرها بر انتخاب شاخص تأثیر خواهد داشت.

کلیدواژه‌ها: الگوی تغییرات، تغییرپذیری، خشکسالی و ترسالی، شاخص‌های تغییر اقلیم، مدیریت منابع

◀ **استناد فارسی (شیوه APA، ویرایش ششم ۲۰۱۰):** پورالخاص نوکنده‌یی، محمد؛ اسمعلی عوری، اباذر؛ مصطفی‌زاده، رئوف؛ حزباوی، زینب؛ شرری، معراج. (بهار، ۱۴۰۱)، شاخص‌ها و مؤلفه‌های ارزیابی نوسانات و تغییرات اقلیمی. *فصلنامه دانش پیشگیری و مدیریت بحران، ۱۲* (۱)،۸۵-۹۸.

مقدمه

اقلیم[1] میانگین شرایط آب و هوایی در یک نقطه خاص روی کره زمین است. به‌طور معمول، اقلیم بر اساس مشاهدات تاریخی، دمای هوا، بارندگی و شرایط باد بیان می‌شود؛ تغییر اقلیم[2] بیانگر تغییر در میانگین آب و هوا[3] یا تنوع آب و هوایی می‌باشد که برای مدت طولانی ادامه دارد. اقلیم زمین همواره در حال تغییر بوده است و عواملی مانند تغییرات در مدار زمین، انرژی خروجی خورشید، فعالیت آتشفشانی، توزیع جغرافیایی صفحات تکتونیکی زمین و سایر فرآیندهای داخلی یا خارجی می‌تواند بر اقلیم تأثیر بگذارد. دانشمندان از این نوع تغییرات اقلیمی طولانی مدت به‌عنوان تغییرات اقلیمی طبیعی یاد می‌کنند (ریدی[4]، ۲۰۱۶). امروزه تغییر شرایط انسانی و تأثیرات اقتصادی-اجتماعی به یک نگرانی بزرگ برای بشر تبدیل شده است. مشاهدات و مدل‌های علمی نشان می‌دهد که اقلیم زمین به دلیل فعالیت انسان در حال تغییر می‌باشد؛ این اصطلاح، تغییر اقلیم انسانی[5] نام دارد و فعالیت‌های انسانی مانند سوخت‌های فسیلی (زغال‌سنگ، نفت و گاز طبیعی)، تبدیل جنگل‌ها به مزارع و شهرها و پرورش دام و ایجاد گازهای گلخانه‌ای است که باعث وقوع تغییر اقلیم می‌شود (ریدی، ۲۰۱۶). تغییر اقلیم نشان‌دهنده تغییرات اقلیمی درون اتمسفر زمین و پیامدهای ناشی از آن در قسمت‌های مختلف کره زمین است. تغییر در دما و الگوهای بارش، تأثیر زیادی بر کمیت و کیفیت منابع آب به ویژه در مناطق خشک نظیر ایران دارد. در سال‌های اخیر وقوع خشکسالی‌های متعدد در ایران، تاثیر بسیار جدی بر منابع آب و تصمیم‌گیری‌های کلان مدیریتی دارد (ببران، ۱۳۸۶؛ مصطفی‌زاده و ذبیحی، ۱۳۹۵). تغییرات آب و هوایی با تغییر الگوهای اقلیمی و اختلال در نظم اکوسیستم‌ها، عواقب جدی بر محیط زیست وارد می‌کند. تغییر در الگوهای آب و هوایی می‌تواند به وقوع سیل‌های شدید، گرما و سرمای شدید، خشکسالی‌های مکرر، بالا آمدن سطح آب دریا، گرمایش جهانی هوا و ذوب یخ‌های دائمی منجر شود. علاوه بر این، هر یک از این پدیده‌ها می‌توانند بر بسیاری از پدیده‌ها، عناصر و محیط زیست مانند اقتصاد، انرژی، کشاورزی، منابع آب، زندگی شهری، حمل و نقل، بهداشت و سلامت اثرگذار باشند. به‌همین دلیل، این موضوع به یک مسئله جهانی تبدیل شده است که مورد توجه سیاست‌مداران، محققان، بهره‌برداران کشاورزی و منابع طبیعی، دانشمندان و اقتصاددانان است (احمدی و همکاران، ۱۳۹۴). نشانه‌های مربوط به تغییر اقلیم کاملاً مشهود است؛ سطح دریاها در حال افزایش است، یخچال‌های طبیعی در حال عقب‌نشینی هستند، الگوهای بارش در حال تغییر می‌باشند و جهان گرم‌تر می‌شود. گرمایش زمین اشاره به افزایش دی‌اکسیدکربن در جو دارد که به احتمال زیاد، اثرات انسانی از اواسط قرن بیستم دلیل اصلی این گرمایش بوده است (هیأت بین‌الدول تغییر اقلیم[6]، ۲۰۱۳). دمای سطح جهانی طی قرن گذشته به‌طور قابل توجهی افزایش یافته و تا مدت زمانی که انتشار گازهای گلخانه‌ای کاهش نیابد همچنان رو به افزایش خواهد بود (هوگتون[7] و همکاران، ۲۰۰۱). این تغییرات کنونی و پیش‌بینی‌شده در آینده، سیستم‌های انسانی و طبیعی را به خطر می‌اندازد که در صورت عدم کنترل می‌تواند فاجعه‌بار باشد. بر اساس گزارش هیأت بین‌الدول تغییر اقلیم، میزان فعلی انتشار گازهای گلخانه‌ای احتمالاً باعث می‌شود که میانگین دما تا ۰/۲ درجه سانتی‌گراد در هر دهه افزایش یابد. شواهد اخیر حاکی از تغییرات سریع در اقلیم است که نه تنها انسان، بلکه گونه‌ها و سیستم‌های زیست محیطی را نیز به شدت تحت‌تأثیر قرار خواهد داد و در برخی موارد این اثرات غیرقابل برگشت می‌باشند (آدجی[8] و همکاران، ۲۰۱۴).

از آن‌جایی‌که مؤلفه‌های اقلیمی عامل اصلی فرآیندهای هیدرولوژیکی هستند، بنابراین تغییرات اقلیمی بر هیدرولوژی و منابع آب نیز تأثیر می‌گذارند و انتظار می‌رود گرم شدن کره زمین از روش‌هایی مختلف چرخه هیدرولوژیکی را تحت تأثیر قرار دهد. تأثیرات تغییرات اقلیم طی قرن اخیر چند برابر شده و از نظر منطقه‌ای و شدت متفاوت است. با این‌حال خسارات زودهنگام به انسان به دلیل تغییرات تدریجی دما یا بارندگی ایجاد

1. Climate
2. Climate Change
3. Weather
4. Riedy
5. Anthropogenic Climate Change
6. The Intergovernmental Panel on Climate Change
7. Houghton
8. Adedeji

نمی‌شود، بلکه عمدتاً به‌دلیل تغییرات شدید آب و هوایی می‌باشد. رخدادهای کم‌نظیر غیرعادی، بررسی سوابق طولانی مدت داده را برای تعیین تغییرات قابل‌توجهی در فراوانی و شدت وقایع حدی ضروری می‌نماید (سیلمان[1] و روئکنر[2]، ۲۰۰۸). بدین منظور، تعداد محدودی از شاخص‌های ارزیابی شرایط حدی اقلیمی وجود دارند و کاربرد آن‌ها ابزار مناسبی برای شبیه‌سازی وضعیت آب و هوایی گذشته، حال و آینده است که در تحقیق حاضر، ضمن تبیین مفاهیم حاکم بر اقلیم و تغییر آن، مروری بر این شاخص‌ها شده است.

پیشینه

در سال‌های اخیر تحقیقات زیادی در زمینه بررسی روند حدی بارش و تغییرپذیری آن در نواحی مختلف جهان انجام شده است. تغییر اقلیم به عنوان یکی از عوامل تهدیدکننده حیات گزارش شده و در این راستا مطالعه اثرات آن در درازمدت بر جنبه‌های مختلف ضرورت دارد. برای نمونه، براون[3] و همکاران (۲۰۱۰) در مطالعه‌ای تغییر در شاخص‌های حدی اقلیمی شمال شرق ایالت متحده را طی سال‌های ۱۸۷۰ تا ۲۰۰۵ بررسی کردند. نتایج تحقیقات آن‌ها نشان داد که در بارش منطقه مورد مطالعه تغییرات کمی مشاهده می‌شود. با این وجود ، منطقه به سمت شرایط مرطوب‌تر تمایل دارد. همچنین گاجیک- کاپکا[4] و سیندریک[5] (۲۰۱۱) در مطالعه مشابهی به بررسی روندهای زمانی شاخص‌های حدی بارش در فواصل زمانی ۱۹۰۱ تا ۲۰۰۸ در کرواسی پرداختند و به این نتیجه رسیدند که بارش‌های سالانه از آغاز قرن بیستم در سراسر کشور کرواسی روند کاهشی داشته است. به‌طوری‌که با روند خشکی مشاهده شده در سراسر دریای مدیترانه انطباق کامل دارد. همچنین نتایج ایشان نشان داد که مقادیر بارش‌های حدی هم در مقیاس فصلی و هم در مقیاس سالیانه تغییرپذیری بسیار زیادی دارد. بسیاری از کشورهای واقع در خاورمیانه پدیده‌هایی نظیر افزایش دمای هوا، افت بارش، کاهش پوشش گیاهی و افزایش تعداد طوفان‌های همراه با گرد و غبار را در سال‌های اخیر به شکل کاملاً محسوسی مشاهده کرده‌اند (ویلبی[6] و همکاران، ۲۰۰۲). در ایران نیز، محمدی و تقوی (۱۳۸۴) با مطالعه روند شاخص‌های حدی بارش و دمای تهران در دوره آماری ۱۹۹۵ تا ۲۰۰۳ با استفاده از سری‌های زمانی روزانه، دمای حداکثر، دمای حداقل و بارش، دریافتند که دمای حداقل و متوسط روند افزایشی داشته است. سنسوی[7] و همکاران (۲۰۱۳) در مطالعه‌ای به بررسی روند شاخص‌های اقلیمی در کشور ترکیه طی سال‌های ۱۹۶۰ تا ۲۰۱۰ پرداختند؛ آن‌ها دریافتند که روزها و شب‌های گرم و حاره‌ای در حال افزایش است، درحالی‌که روزها و شب‌های سرد روند کاهشی داشته است. اغلب روندها در سطح ۹۵ درصد معنی‌دار بود. روند بارندگی سالانه در مناطق شمالی افزایشی و در مناطقی از جنوب کاهشی بوده است. بارش‌های سنگین در اغلب ایستگاه‌ها افزایش داشته که باعث وقوع سیل شده است. رجپراتاک[8] و همکاران (۲۰۲۰) برای ارزیابی وقوع و تأثیرات وقایع حدی اقلیمی، تغییرات شاخص‌های حدی بارش شامل بارش شش‌ماهه تجمعی از می تا اکتبر (SWMR)، بارش شش‌ماهه تجمعی از نوامبر تا آوریل (NEMR)، شاخص ساده شدت روزانه (SDII)، شاخص تعداد روزهای دارای بارش سنگین (R10)، شاخص تعداد روزهای دارای بارش خیلی سنگین (R20)، شاخص روزهای خیلی مرطوب (R95p)، شاخص روزهای بسیار مرطوب (R99p)، شاخص حداکثر بارش پنج روزه متوالی (RX5day)، شاخص حداکثر روزهای مرطوب متوالی (CWD)، شاخص روزهای خشک متوالی (CDD) و شاخص حداکثر بارش یک روزه (RX1day) را در سراسر کشور تایلند بررسی کردند. نتایج نشان داد که شاخص‌های حدی شدت نشان‌داده‌شده توسط SDII، R95p، R99p، RX1day و RX5day تغییرپذیری مکانی مشابهی با مقادیر بزرگتر در جنوب و شرق را نسبت به مناطق دیگر نشان می‌دهد. شاخص‌های فراوانی نشان‌داده‌شده توسط R10 و R20 مقادیر بزرگتری را در جنوب نشان می‌دهند. وینسنت[9] و همکاران (۲۰۰۵) با استفاده از داده‌های روزانه دما در هشت کشور آمریکای جنوبی مطالعه‌ای را با هدف ارزیابی تغییرات شاخص‌های حدی انجام دادند. در این مطالعه جهت بررسی تغییرات شاخص‌ها از ۱۱ شاخص حدی دما استفاده شد. نتایج تحقیقات حاکی از وجود

1. Sillmann
2. Roeckner
3. Brown
4. Gajic-Capka
5. Cindric
6. Wilby
7. Sensoy
8. Rojpratak
9. Vincent

روندی در شاخص‌های حدی طی سال‌های ۱۹۶۰ تا ۲۰۰۰ بود. رامل[1] و همکاران (۲۰۱۷) به بررسی تغییرات زمانی و مکانی شاخص‌های حدی دمایی در سیبری بر اساس ۱۸ شاخص حدی مبتنی بر داده‌های دمایی حداقل و حداکثر روزانه -که از ۲۶ ایستگاه طی سال‌های ۱۹۶۱ تا ۲۰۱۰ جمع‌آوری شده بود-، پرداختند. نتایج نشان داد که در این منطقه شاخص‌های گرم روندی سرد تا سال ۱۹۸۰ و روندی گرم برای سال‌های بعد از آن داشتند؛ همچنین شاخص‌های سرد در کل دوره مطالعاتی دارای روندی گرم بودند. عسگری و همکاران (۱۳۸۶) با تحلیل روند شاخص‌های حدی بارش در ایران نشان دادند که روند شاخص‌ها در سطح کشور به سه حالت ایستا، مثبت و منفی وجود دارد؛ در برخی از مناطق مانند هرمزگان، اصفهان و تهران، روند بیش‌تر شاخص‌ها مثبت بوده و طبق یافته‌های هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم حاکی از احتمال وقوع بارش‌های حدی به‌ویژه در مناطق حاره بوده است و در برخی از مناطق نیز مانند آذربایجان و فارس روند بیش‌تر شاخص‌ها منفی تعیین شده است. همچنین، شکیبا و پیشداد (۱۳۸۹) در تحقیقی به مطالعه تحلیل روند تغییرات شاخص‌های حدی دمای روزانه سمنان پرداختند و پی بردند که رژیم حرارتی در منطقه مطالعاتی طی دوره آماری با روند افزایشی همراه بوده است. این روند برای شاخص‌های حدی مانند روزهای سرد، شب‌های سرد، روزهای یخبندان و شاخص دامنه تغییرات دمایی منفی بوده است؛ درحالی‌که افزایش قابل‌توجهی در روند حدهای گرم منطقه مانند شب‌های گرم، روزهای داغ و روزهای تابستانی مشاهده گردید. بر این اساس روند شرایط اقلیمی سمنان به‌ویژه در دهه‌های اخیر، هم‌جهت با روند عمومی گرمایش جهانی می‌باشد. دارند (۱۳۹۳) نیز به مطالعه تغییرات حدی بارش و دما در شهر ارومیه پرداخت و در تحقیق خود به این نتیجه رسید که شاخص‌های بارش‌های ناهنجاری طی دوره آماری مورد مطالعه، روند نزولی معنی‌داری را نشان می‌دهند و در چند سال اخیر میزان کل بارش سالانه ارومیه به‌شدت کاهش یافته است. در استان مازندران، روزبه کوهشاهی و همکاران (۱۳۹۷) به بررسی شاخص‌های حدی بارش به‌عنوان نشانه تغییر اقلیم پرداختند. آن‌ها هشت شاخص بارش شامل شاخص تعداد روزهای دارای بارش سنگین (R10)، شاخص تعداد روزهای دارای بارش خیلی سنگین (R20)، شاخص روزهای خیلی مرطوب (R95p)، شاخص روزهای بسیار مرطوب (R99p)، شاخص حداکثر بارش پنج روزه متوالی (RX5day)، شاخص حداکثر روزهای مرطوب متوالی (CWD)، شاخص روزهای خشک متوالی (CDD) و شاخص حداکثر بارش یک روزه (RX1day) را در ۱۰ ایستگاه باران‌سنجی، تبخیرسنجی و سینوپتیک استان مازندران بررسی کردند. نتایج، نشان‌دهنده روند افزایشی در شاخص‌های خشکی CDD در ۷۰ درصد ایستگاه‌ها به‌ویژه روند افزایشی معنی‌دار در ایستگاه دارابکلا و روند کاهشی در شاخص‌های رطوبت و بارش متوالی (CWD، R99p) در نیمی از ایستگاه‌های دارای شرایط آب و هوایی مناسب نظیر رامسر و چمستان بوده است. نتایج حاصل از آزمون من-کندال نشان‌دهنده افزایش معنی‌دار و کاهش معنی‌دار شاخص R10 در ایستگاه چمستان و پنجاب بود. نتایج حاصل از دوره ۲۱ ساله بیان‌گر آن است که تقریباً ایستگاه‌هایی که در غرب استان قرار دارند دارای شیب افزایشی و ایستگاه‌های شرقی‌تر استان دارای شیب کاهشی در شاخص R10 می‌باشند.

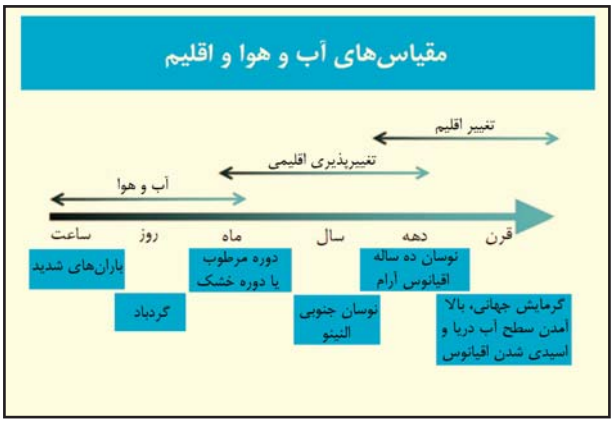
روش

۲-۱- مفاهیم مرتبط با تغییر اقلیم

مقیاس زمانی مطالعات و ارزیابی‌ها یکی از مفاهیم پرکاربرد و نکات اساسی در ارزیابی صحیح تغییرات اقلیمی می‌باشد. برخی از شاخص‌ها به تعیین میزان نوسانات در متغیرهای اقلیمی و برخی به تغییر در مقادیر مطلق متغیرهای اقلیمی می‌پردازند. همان‌گونه که قبلاً اشاره شد در زمینه تغییرپذیری طبیعی در برابر تغییر اقلیم می‌توان بیان نمود که آب و هوا، شرایط جوی فعلی مانند بارندگی، دما و سرعت باد را در یک مکان و زمان خاص توصیف می‌کند. در حالی‌که اقلیم الگوی متوسط آب و هوا برای یک مکان خاص در طول چندین دهه است. تغییر اقلیم بدون سوابق بسیار طولانی مدت به سختی قابل تشخیص است. برای نمونه، شکل ۱ راهنمای مقیاس زمانی قابل استفاده برای تحلیل مؤلفه‌های آب و هوا، تغییرپذیری اقلیمی[2] و تغییر اقلیم را نمایش می‌دهد.

1. Ruml

2. Climate Variability



شکل ۱. راهنمای بازه‌های زمانی قابل استفاده برای آب و هوا، تغییرپذیری اقلیمی و تغییر اقلیم

بر اساس تحلیل شکل ۱ مشخص می‌شود که آب و هوا به تغییرات در مقیاس ساعت، روز و شاید ماه، اقلیم به مقیاس ماه، سال و دهه و نهایتاً تغییر اقلیم به تغییرات در مقیاس دهه و قرن اشاره دارد. نمونه‌ای از آب و هوا شامل باران‌های شدید است که ممکن است یک یا دو ساعت طول بکشد و گردبادهای استوایی که ممکن است روزها تداوم داشته باشد. اما تغییرپذیری اقلیمی را می‌توان توسط الگوهای اقلیمی مانند نوسان جنوبی ال‌نینو[1] معرفی کرد.

با وجود آن‌که آب و هوا به آرامی تغییر می‌کند، اما بدین معنا نیست که در مقیاس‌های زمانی فصلی یا چندفصلی نوسانات کوتاه‌مدت تجربه نمی‌شود. موارد بسیاری مانند تغییر حدود میانگین بدون ایجاد تغییر در میانگین طولانی‌مدت وجود دارد که می‌تواند باعث تغییر دما شود. این پدیده به‌نوعی تداعی‌کننده تغییرپذیری اقلیمی است و به طور معمول به دوره‌های زمانی از چند ماه تا ۳۰ سال اشاره می‌کند. در بیشتر موارد، هنگام بحث در مورد تغییرپذیری اقلیمی، فرآیندهای طبیعی که بر جو تأثیر می‌گذارند، توصیف می‌شوند.

طبق شکل ۱، تغییراتی که در جو زمین طی دوره‌های طولانی‌مدت (دهه‌ها تا هزاره‌ها) اتفاق می‌افتد به‌عنوان تغییر اقلیم معرفی می‌شود و تغییر اقلیم می‌تواند ناشی از فرآیندهای طبیعی مانند فعالیت‌های آتشفشانی، تنوع خورشیدی، تکتونیک صفحه‌ای یا تغییر در مدار زمین باشد. معمولاً هنگام صحبت در مورد تغییر اقلیم از جمله افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای، به تغییرات مربوط به فعالیت‌های انسانی اشاره می‌شود. به‌عنوان نمونه، آخرین گزارش ارزیابی از هیأت بین‌الدول تغییر اقلیم (۲۰۱۳) نشان داد که به‌طور متوسط دمای کره زمین از سال ۱۸۸۰ تا ۲۰۱۲ حدود ۰/۸۵ درجه سانتی‌گراد افزایش یافته است و بیش از نیمی از افزایش مشاهده شده در دمای متوسط، ناشی از افزایش انتشار دی‌اکسیدکربن و سایر گازهای گلخانه‌ای می‌باشد.

۲-۳- شاخص‌های تغییر اقلیم مبتنی بر بارش و دما

بارش مهم‌ترین سنجه اقلیمی، و وضعیت آن حاصل بر هم‌کنش عوامل فیزیکی و تغییرات مکانی-زمانی است و از تغییر اقلیم متأثر می‌شود. از طرفی فصلی بودن نحوه توزیع بارندگی در ماه‌های سال را مشخص و به‌عبارتی تغییرات فصلی وضعیت بارش را ارزیابی می‌کند (مصطفی‌زاده و مهری، ۱۳۹۷). پایش تغییرات در شرایط حدی اقلیمی به طور معمول، نیازمند داده‌های دقیق روزانه دارد. متخصصان پروژه بین‌المللی تغییرات اقلیمی (CLIVAR[2]) برای تشخیص تغییرات اقلیمی در قالب یک پروژه گروهی، مجموعه‌ای از شاخص‌ها را هماهنگ کرده‌اند تا پژوهش‌گران بتوانند آن‌ها را مورد استفاده قرار دهند. آن‌ها در مجموع ۲۷ شاخص را به‌عنوان شاخص اصلی مورد توجه قرار دادند که بر اساس مقادیر دما یا بارندگی روزانه محاسبه می‌شود. در تحقیق حاضر، علاوه بر موارد مذکور، تعدادی از شاخص‌های معمول و پرکاربرد دیگر نیز استخراج و در مجموع ۳۲ شاخص معرفی و ارائه شده است. علاوه براین، شاخص‌های مورد استفاده در دو دسته شاخص‌های مبتنی بر بارش (۱۶ شاخص) و شاخص‌های مبتنی بر دما (۱۶ شاخص) تقسیم‌بندی و ارائه شده است.

شاخص‌های تغییر اقلیم در شرایط اقلیمی، هیدرولوژیکی، محیطی و اکولوژیکی متفاوت جهان و با رویکردهای مختلف مورد ارزیابی قرار گرفتند. یکی از آماره‌های نشان دهنده پراکندگی مؤلفه‌های اقلیمی، ضریب تغییرات سالانه (CV) است که به شکل رابطه (۱) محاسبه می‌شود. طبق این رابطه، ضریب تغییرات سالانه از نسبت انحراف معیار (S) به میانگین ($\overline{X}$) دوازده ماه هر سال و به درصد بیان می‌شود:

$$CV = \frac{S}{\overline{X}} \times 100 \qquad (۱)$$

1. Elnino Southern Oscillation

2. Climate Variability and Predictability

ضریب تغییراتِ کم، معرف پایداری و توزیع زمانی یکنواخت است، درحالی‌که ضریب تغییرات زیاد، معرف تمرکز بارش در یک بازه زمانی کوتاه می‌باشد. عدد ۴۰ مبنای مقایسه مقادیر ضریب تغییرات است، اگر کمتر از ۴۰ باشد، بارش منظم و با توزیع نسبتاً یکنواخت است، و هرچه از ۴۰ بیشتر باشد، دلیل بر بی نظمی وقوع بارندگی و تفاوت‌های شدید ماه‌ها به لحاظ میزان دریافت بارندگی است (عساکره و رزمی‌قلندری، ۱۳۹۳؛ لیاوادا و اسمیکاپولوس، ۲۰۰۵).

علاوه بر این آماره تحلیل پراکندگی، فهرست شاخص‌های رایج مورد استفاده برای ارزیابی تغییر اقلیم مبتنی بر بارش و دما در جدول (۱) و (۲) آمده که در ادامه توضیحات مرتبط با روش محاسبه آن‌ها نیز ارائه شده است.

جدول ۱. فهرست شاخص‌های اقلیمی مبتنی بر بارش

ردیف	شاخص	تعریف	منبع
۱	RX1day	حداکثر بارش یک روزه	(پروژه بین‌المللی CLIVAR، ۲۰۰۱؛ ژانگ و همکاران، ۲۰۱۱؛ دونات و همکاران، ۲۰۱۳؛ پاندا و همکاران، ۲۰۱۶)
۲	RX5day	بیش‌ترین بارش پنج روزه	(پروژه بین‌المللی CLIVAR، ۲۰۰۱؛ ژانگ و همکاران، ۲۰۱۱؛ دونات و همکاران، ۲۰۱۳؛ پاندا و همکاران، ۲۰۱۶)
۳	R10	روزهای با بارش سنگین (میزان بارش بزرگتر یا مساوی ده میلی‌متر)	(پروژه بین‌المللی CLIVAR، ۲۰۰۱؛ ژانگ و همکاران، ۲۰۱۱؛ دونات و همکاران، ۲۰۱۳)
۴	R20	روزهای با بارش خیلی‌سنگین (میزان بارش بزرگتر یا مساوی ۲۰ میلی‌متر)	(پروژه بین‌المللی CLIVAR، ۲۰۰۱؛ ژانگ و همکاران، ۲۰۱۱؛ دونات و همکاران، ۲۰۱۳)
۵	CDD	حداکثر تعداد روزهای خشک متوالی (جمع بارش کمتر از یک میلی‌متر)	(ژانگ و همکاران، ۲۰۱۱؛ دونات و همکاران، ۲۰۱۳؛ پاندا و همکاران، ۲۰۱۶)
۶	CWD	حداکثر تعداد روزهای مرطوب متوالی (جمع بارش بزرگتر یا مساوی یک میلی‌متر)	(ژانگ و همکاران، ۲۰۱۱؛ دونات و همکاران، ۲۰۱۳؛ پاندا و همکاران، ۲۰۱۶)
۷	SDII	شاخص ساده شدت روزانه	(ژانگ و همکاران، ۲۰۱۱؛ دونات و همکاران، ۲۰۱۳)
۸	RR	مجموع بارش	(پاندا و همکاران، ۲۰۱۶؛ پیترسون و همکاران، ۲۰۰۱)
۹	R75p	روزهایی با جمع بارش بزرگتر از ۷۵امین صدک بارش روزانه (روزهای نسبتاً مرطوب)	(پروژه بین‌المللی CLIVAR، ۲۰۰۱؛ پاندا و همکاران، ۲۰۱۶)
۱۰	R75pTOT	نسبت جمع بارش روزهای نسبتاً مرطوب به جمع بارش	(پروژه بین‌المللی CLIVAR، ۲۰۰۱؛ پاندا و همکاران، ۲۰۱۶)
۱۱	R95p	روزهایی با جمع بارش بزرگتر از ۹۵امین صدک بارش روزانه (روزهای خیلی‌مرطوب)	(ژانگ و همکاران، ۲۰۱۱؛ دونات و همکاران، ۲۰۱۳؛ پاندا و همکاران، ۲۰۱۶)
۱۲	R95pTOT	نسبت جمع بارش روزهای خیلی مرطوب به مجموع بارش	(ژانگ و همکاران، ۲۰۱۱؛ دونات و همکاران، ۲۰۱۳؛ پاندا و همکاران، ۲۰۱۶)
۱۳	R99p	روزهایی با جمع بارش بزرگتر از ۹۹امین صدک بارش روزانه (روزهای بسیار مرطوب)	(ژانگ و همکاران، ۲۰۱۱؛ دونات و همکاران، ۲۰۱۳؛ پاندا و همکاران، ۲۰۱۶)
۱۴	R99pTOT	نسبت جمع بارش روزهای بسیار مرطوب به مجموع بارش	(پاندا و همکاران، ۲۰۱۶)
۱۵	SI	شاخص فصلی بارش	(والش و لاولر، ۱۹۸۱؛ مصطفی‌زاده و مهری، ۱۳۹۷)
۱۶	PRCPTOT	مقدار کل بارش روزهای مرطوب سالانه (مقدار بارش دست کم از یک میلی‌متر بیشتر باشد)	(ژانگ و همکاران، ۲۰۱۱؛ دونات و همکاران، ۲۰۱۳)

۱- شاخص حداکثر بارش یک روزه (RX1day)

شاخص حداکثر بارش یک روزه از انواع شاخص‌های حدی مطلق است که با واحد میلی‌متر بیان می‌شود. اگر RRij میزان بارش در روز i و دوره j باشد، آن‌گاه حداکثر بارش یک روزه برای دوره j از رابطه (۲) محاسبه می‌شود:

$$RX1day_i = \max\left(RR_{ij}\right) \quad (۲)$$

۲- شاخص حداکثر بارش پنج روزه (RX5day)

شاخص حداکثر بارش پنج روزه نیز همانند شاخص حداکثر بارش یک روزه از انواع شاخص‌های حدی مطلق است که با واحد میلی‌متر بیان می‌شود. اگر RRkj میزان بارش طی پنج روز (k) در دوره j باشد، که k براساس روز آخر تعریف شده است؛ آن‌گاه حداکثر بارش پنج روزه برای دوره j از رابطه (۳) محاسبه می‌شود:

$$RX5day_i = \max\left(RR_{kj}\right) \quad (۳)$$

۳- شاخص روزهای با بارش سنگین (R10)

این شاخص از انواع شاخص‌های آستانه‌ای مطلق بوده و با واحد روز بیان می‌شود. اگر RRij میزان بارش روزانه در روز i و دوره j باشد، آن‌گاه روزهای با بارش سنگین از طریق محاسبه تعداد روزهایی که مقدار بارش روزانه مساوی یا بیش‌تر از ده میلی‌متر باشد تعیین می‌شود:

$$RR_{ij} \geq 10\ mm \quad (۴)$$

۴- شاخص روزهای با بارش خیلی سنگین (R20)

این شاخص از انواع شاخص‌های آستانه‌ای مطلق بوده و با واحد روز بیان می‌شود. اگر RRij میزان بارش روزانه در روز i و دوره j باشد، آن‌گاه روزهای با بارش خیلی سنگین از طریق محاسبه تعداد روزهایی که مقدار بارش روزانه مساوی یا بیشتر از ۲۰ میلی‌متر باشد تعیین می‌شود:

$$RR_{ij} \geq 20\ mm \quad (۵)$$

۵- شاخص حداکثر تعداد روزهای خشک متوالی (CDD)

اگر RRij میزان بارش روزانه در روز i و دوره j باشد، آن‌گاه حداکثر تعداد روزهای خشک متوالی از طریق شمارش تعداد روزهایی که دارای بارش روزانه کمتر از یک میلی‌متر باشند محاسبه می‌شود:

$$RR_{ij} < 1mm \quad (۶)$$

۶- شاخص حداکثر تعداد روزهای مرطوب متوالی (CWD)

اگر RRij میزان بارش روزانه در روز i و دوره j باشد، آن‌گاه حداکثر تعداد روزهای مرطوب متوالی از طریق شمارش تعداد روزهایی که دارای بارش روزانه مساوی یا بیشتراز یک میلی‌متر باشند محاسبه می‌شود:

$$RR_{ij} \geq 1mm \quad (۷)$$

۷- شاخص ساده شدت روزانه (SDII)

اگر RRwj میزان بارش در یک روز مرطوب w در دوره j باشد (RR ≥ ۱mm)، آن‌گاه این شاخص از رابطه (۸) محاسبه می‌شود:

$$SDII_j = \frac{\sum_{w=1}^{W} RR_{wj}}{W} \quad (۸)$$

۸- مجموع بارش (RR)

اگر RRij میزان بارش روزانه در روز i و دوره j باشد، آن‌گاه مجموع مقادیر توسط رابطه (۹) محاسبه می‌شود:

$$RR_j = \sum_{i=1}^{I} RR_{ij} \quad (۹)$$

۹- روزهایی با جمع بارش بزرگتر از ۷۵امین صدک بارش روزانه (روزهای نسبتاً مرطوب) (R75p)

اگر RRwj میزان بارش روزانه در یک روز مرطوب باشد که میزان بارش مساوی یا بیشتر از یک میلی‌متر است (RR ≥ ۱mm) و RRwn75 نیز ۷۵امین صدک بارش در روزهای مرطوب باشد، آن‌گاه تعداد روزهایی شمرده می‌شود که:

$$RR_{wj} > RR_{wn}75 \quad (۱۰)$$

۱۰- شاخص نسبت جمع بارش روزهای نسبتاً مرطوب به جمع بارش (R75pTOT)

اگر RRj مجموع بارش روزانه برای دوره j و RRwj میزان بارش روزانه در روز مرطوب w در دوره j (RR≥ ۱mm) و RRwn۷۵ نیز ۷۵امین صدک بارش در روزهای مرطوب باشند، آن‌گاه R75pTOTj به‌صورت رابطه (۱۱) تعیین می‌شود:

$$R75pTOT_j = 100 \times \frac{\sum_{w=1}^{W} RR_{wj.\ \text{where}\ RR_{wj} > RR_{wn}75}}{RR_j} \quad (۱۱)$$

۱۱- روزهایی با جمع بارش بزرگتر از ۹۵امین صدک بارش روزانه (روزهای خیلی‌مرطوب) (R95p)

اگر RRwj میزان بارش روزانه در یک روز مرطوب باشد که میزان بارش مساوی یا بیشتر از یک میلی‌متر است (RR ≥ ۱mm) و RRwn95 نیز ۹۵امین صدک بارش در روزهای مرطوب باشد، آن‌گاه تعداد روزهایی شمرده می‌شود که:

$$RR_{wj} > RR_{wn}95 \quad (۱۲)$$

۱۲- شاخص نسبت جمع بارش روزهای خیلی‌مرطوب به مجموع بارش (R95pTOT)

اگر RRj مجموع بارش روزانه برای دوره j و RRwj میزان بارش روزانه در روز مرطوب w در دوره j (RR≥ ۱mm) و RRwn95 نیز ۹۵امین صدک بارش در روزهای مرطوب باشند، آن‌گاه R95pTOTj به‌صورت رابطه (۱۳) تعیین می‌شود:

$$R95pTOT_j = 100 \times \frac{\sum_{w=1}^{W} RR_{wj.\ \text{where}\ RR_{wj} > RR_{wn}95}}{RR_j} \quad (۱۳)$$

۱۳- روزهایی با جمع بارش بزرگتر از ۹۹امین صدک بارش روزانه (روزهای بسیار مرطوب) (R99p)

اگر RRwj میزان بارش روزانه در یک روز مرطوب باشد که میزان بارش مساوی یا بیشتر از یک میلی‌متر است ($RR \geq 1mm$) و RRwn۹۹ نیز ۹۹امین صدک بارش در روزهای مرطوب در، آن‌گاه تعداد روزهایی شمرده می‌شود که:

$$RR_{wj} > RR_{wn}99 \quad (۱۴)$$

۱۴- شاخص نسبت جمع بارش روزهای بسیار مرطوب به مجموع بارش (R99pTOT)

اگر RRj مجموع بارش روزانه برای دوره j و RRwj میزان بارش روزانه در روز مرطوب w در دوره j ($RR \geq 1mm$) و RRwn95 نیز ۹۹امین صدک بارش در روزهای مرطوب باشند، آن‌گاه R99pTOTj به‌صورت رابطه (۱۵) تعیین می‌شود:

$$R99pTOT_j = 100 \times \frac{\sum_{w=1}^{W} RR_{wj} \text{ where } RR_{wj} > RR_{wn}99}{RR_j} \quad (۱۵)$$

۱۵- شاخص فصلی بارش ($\overline{SI}$)

در ارزیابی فصلی بودن بارش از دو رویکرد استفاده می‌شود. در رویکرد اول، خشک یا مرطوب بودن فصل‌های بارش بر اساس مقادیر بارش ماهانه زیر یک آستانه مشخص تعیین می‌گردد. در رویکرد دوم از میزان تغییرات بارش در ماه‌های مختلف و توزیع آن در طول سال استفاده می‌شود. شاخص فصلی بارش برای اولین‌بار توسط والش و لاولر[1] در سال ۱۹۸۱ برای کمی‌سازی وضعیت بارش به کار گرفته شد. این شاخص، مجموع قدرمطلق انحرافات میانگین بارش ماهانه از میانگین بارش سالانه، تقسیم بر میانگین بارش سالانه است (والش و لاولر، ۱۹۸۱):

$$\overline{SI} = \frac{1}{\bar{R}} \sum_{i=1}^{n=12} \left| \bar{X}_n - \frac{\bar{R}}{12} \right| \quad (۱۶)$$

که در آن، $\bar{R}$ میانگین بلندمدت بارش سالانه و $\bar{X}_n$ میانگین بارش ماهانه در ماه‌های مختلف می‌باشد.

این شاخص می‌تواند اختلاف وضعیت بارش را حتی برای مناطقی با ۲ تا ۳ اوج بارندگی در سال نشان دهد. مقادیر حاصل از این شاخص، بین صفر (توزیع یکنواخت بارش) و ۱/۸۳ (تنها یک ماه بارانی) تغییر می‌کند.

۱۶- شاخص مقدار کل بارش روزهای مرطوب سالانه (PRCPTOT)

اگر RRij میزان بارش روزانه در روز i و دوره j باشد، اگر I تعداد روزهای j را نشان دهد:

$$PRCPTOT_j = \sum_{i=1}^{I} RR_{ij} \quad (۱۷)$$

جدول ۲. فهرست شاخص‌های اقلیمی مبتنی بر دما

ردیف	شاخص	تعریف	منبع
۱	FD	روزهای یخبندان (تعداد روزهای با دمای حداقل کوچک‌تر از صفر سانتی‌گراد)	(کارل و همکاران، ۱۹۹۹؛ پروژه بین‌المللی CLIVAR، ۲۰۰۱؛ ژانگ و همکاران، ۲۰۱۱؛ دونات و همکاران، ۲۰۱۳)
۲	SU	روزهای تابستانی (تعداد روزهای با دمای حداکثر بزرگتر از ۲۵ درجه سانتی‌گراد)	(کارل و همکاران، ۱۹۹۹؛ ژانگ و همکاران، ۲۰۱۱؛ دونات و همکاران، ۲۰۱۳؛ علوی‌نیا و زارعی، ۱۳۹۹)
۳	ID	روزهای یخی (تعداد روزهای با دمای حداکثر کمتر از صفر سانتی‌گراد)	(پروژه بین‌المللی CLIVAR، ۲۰۰۱؛ ژانگ و همکاران، ۲۰۱۱؛ دونات و همکاران، ۲۰۱۳؛ علوی‌نیا و زارعی، ۱۳۹۹)
۴	TR	شب‌های حاره‌ای (تعداد روزهای با دمای حداقل بزرگتر از ۲۰ درجه سانتی‌گراد	(کارل و همکاران، ۱۹۹۹؛ پروژه بین‌المللی CLIVAR، ۲۰۰۱؛ ژانگ و همکاران، ۲۰۱۱؛ دونات و همکاران، ۲۰۱۳)
۵	TN_x	بیشینه ماهانه دمای حداقل روزانه	(کارل و همکاران، ۱۹۹۹؛ ژانگ و همکاران، ۲۰۱۱؛ دونات و همکاران، ۲۰۱۳؛ علوی‌نیا و زارعی، ۱۳۹۹)
۶	TN_n	کمینه ماهانه دمای حداقل روزانه	(کارل و همکاران، ۱۹۹۹؛ ژانگ و همکاران، ۲۰۱۱؛ دونات و همکاران، ۲۰۱۳)
۷	TX_x	بیشینه ماهانه دمای حداکثر روزانه	(پروژه بین‌المللی CLIVAR، ۲۰۰۱؛ ژانگ و همکاران، ۲۰۱۱؛ دونات و همکاران، ۲۰۱۳)
۸	TX_n	کمینه ماهانه دمای حداکثر روزانه	(پروژه بین‌المللی CLIVAR، ۲۰۰۱؛ ژانگ و همکاران، ۲۰۱۱؛ دونات و همکاران، ۲۰۱۳)

1. Walsh and Lawler

ادامه جدول ۲. فهرست شاخص‌های اقلیمی مبتنی بر دما

۹	TN10p	شب‌های سرد (درصد روزهایی که دمای حداقل کمتر از صدک دهم باشد)	(پروژه بین‌المللی CLIVAR، ۲۰۰۱؛ ژانگ و همکاران، ۲۰۱۱؛ دونات و همکاران، ۲۰۱۳)
۱۰	TN90p	شب‌های گرم (درصد روزهایی که دمای حداقل بیش‌تر از صدک نودم باشد)	(کارل و همکاران، ۱۹۹۹؛ ژانگ و همکاران، ۲۰۱۱؛ دونات و همکاران، ۲۰۱۳)
۱۱	TX10p	روزهای سرد (درصد روزهایی که دمای حداکثر کمتر از صدک دهم باشد)	(پروژه بین‌المللی CLIVAR، ۲۰۰۱؛ ژانگ و همکاران، ۲۰۱۱؛ دونات و همکاران، ۲۰۱۳)
۱۲	TX90p	روزهای گرم (درصد روزهایی که دمای حداکثر بیشتر از صدک نودم باشد)	(پروژه بین‌المللی CLIVAR، ۲۰۰۱؛ ژانگ و همکاران، ۲۰۱۱؛ دونات و همکاران، ۲۰۱۳)
۱۳	WSDI	موج گرما (تعداد روزهایی که حداقل شش روز متوالی دمای حداکثر آن‌ها بیشتر از صدک نودم باشد)	(کارل و همکاران، ۱۹۹۹؛ ژانگ و همکاران، ۲۰۱۱؛ دونات و همکاران، ۲۰۱۳)
۱۴	CSDI	موج سرما (تعداد روزهایی که حداقل شش روز متوالی دمای حداقل کمتر از صدک دهم باشد)	(کارل و همکاران، ۱۹۹۹؛ ژانگ و همکاران، ۲۰۱۱؛ دونات و همکاران، ۲۰۱۳)
۱۵	DTR	دامنه تغییرات شبانه‌روزی دما	(کارل و همکاران، ۱۹۹۹؛ پیترسون و همکاران، ۲۰۰۱؛ ژانگ و همکاران، ۲۰۱۱)
۱۶	GSL	طول فصل رشد در سال (اول ژانویه تا ۳۱ دسامبر در نیم‌کره شمالی؛ اول ژوئیه تا ۳۰ ژوئن در نیم‌کره جنوبی)	(کارل و همکاران، ۱۹۹۹؛ پیترسون و همکاران، ۲۰۰۱؛ ژانگ و همکاران، ۲۰۱۱)

۱- شاخص روزهای یخبندان (FD)

این شاخص از شمارش سالانه روزهای با TN < ۰ درجه سانتی‌گراد به‌دست می‌آید که TN دمای حداقل روزانه می‌باشد. اگر TNij دمای حداقل روزانه در روز i و سال j باشد، آن‌گاه شاخص FD از شمارش تعداد روزهایی به‌دست می‌آید که:

$$TN_{ij} < 0^{\circ}C \quad (۱۸)$$

۲- شاخص روزهای تابستانی (SU)

این شاخص از شمارش سالانه روزهای با TX > ۲۵ درجه سانتی‌گراد به‌دست می‌آید که TX دمای حداکثر روزانه می‌باشد. اگر TXij دمای حداکثر روزانه در روز i و سال j باشد، آن‌گاه شاخص SU از شمارش تعداد روزهایی به‌دست می‌آید که:

$$TX_{ij} > 25^{\circ}C \quad (۱۹)$$

۳- شاخص روزهای یخی (ID)

این شاخص از شمارش سالانه روزهای با TX < ۰ درجه سانتی‌گراد به‌دست می‌آید که TX دمای حداکثر روزانه می‌باشد. اگر TXij دمای حداکثر روزانه در روز i و سال j باشد، آن‌گاه شاخص ID از شمارش تعداد روزهایی به‌دست می‌آید که:

$$TX_{ij} < 0^{\circ}C \quad (۲۰)$$

۴- شاخص شب‌های حاره‌ای (TR)

این شاخص از شمارش سالانه روزهای با TN > ۲۰ درجه سانتی‌گراد به‌دست می‌آید که TN دمای حداقل روزانه می‌باشد. اگر TNij دمای حداقل روزانه در روز i و سال j باشد، آن‌گاه شاخص TR از شمارش تعداد روزهایی به‌دست می‌آید که:

$$TN_{ij} > 20^{\circ}C \quad (۲۱)$$

۵- شاخص بیشینه ماهانه دمای حداقل روزانه (TN_x)

اگر TN_x دمای حداقل روزانه در ماه k و دوره j باشد، آن‌گاه شاخص بیشینه ماهانه دمای حداقل روزانه از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$TN_{xkj} = \max\left(TN_{xij}\right) \quad (۲۲)$$

۶- شاخص کمینه ماهانه دمای حداقل روزانه (TN_n)

اگر TN_n دمای حداقل روزانه در ماه k و دوره j باشد، آن‌گاه شاخص کمینه ماهانه دمای حداقل روزانه از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$TN_{nkj} = \min\left(TN_{nij}\right) \quad (۲۳)$$

۷- شاخص بیشینه ماهانه دمای حداکثر روزانه (TX_x)

اگر TX_x دمای حداکثر روزانه در ماه k و دوره j باشد، آن‌گاه شاخص بیشینه ماهانه دمای حداکثر روزانه از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$TX_{xkj} = \max\left(TX_{xij}\right) \quad (۲۴)$$

۸- شاخص کمینه ماهانه دمای حداکثر روزانه (TX_n)

اگر TX_n دمای حداکثر روزانه در ماه k و دوره j باشد، آن‌گاه شاخص کمینه ماهانه دمای حداکثر روزانه از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$TX_{nkj} = \min\left(TX_{nij}\right) \quad (۲۵)$$

۹- شاخص شب‌های سرد (TN10p)

اگر TNij دمای حداقل روزانه در روز i و دوره j و TNin10 روزهای صدک دهم در بازه زمانی پنج روزه برای دوره پایه باشد، درصد زمان دوره پایه طوری تعیین می‌شود که:

$$TN_{ij} < TN_{in}10 \quad (۲۶)$$

۱۰- شاخص شب‌های گرم (TN90p)

اگر TNij دمای حداقل روزانه در روز i و دوره j و TNin90 روزهای صدک نود در بازه زمانی پنج روزه برای دوره پایه باشد، درصد زمان دوره پایه طوری تعیین می‌شود که:

$$TN_{ij} > TN_{in}90 \quad (۲۷)$$

۱۱- شاخص روزهای سرد (TX10p)

اگر TXij دمای حداکثر روزانه در روز i و دوره j و TXin10 روزهای صدک دهم در بازه زمانی پنج روزه برای دوره پایه باشد، درصد زمان دوره پایه طوری تعیین می‌شود که:

$$TX_{ij} < TX_{in}10 \quad (۲۸)$$

۱۲- شاخص روزهای گرم (TX90p)

اگر TXij دمای حداکثر روزانه در روز i و دوره j و TXin90 روزهای صدک نود در بازه زمانی پنج روزه برای دوره پایه باشد، درصد زمان دوره پایه طوری تعیین می‌شود که:

$$TX_{ij} > TX_{in}90 \quad (۲۹)$$

۱۳- شاخص موج گرما (WSDI)

اگر TXij دمای حداکثر روزانه در روز i و دوره j و TXin90 روزهای صدک نود در بازه زمانی پنج روزه برای دوره پایه ۱۹۹۰-۱۹۶۱ باشد، تعداد روزهای هر دوره در فواصل حداقل شش روز متوالی جمع می‌شود:

$$TX_{ij} > TX_{in}90 \quad (۳۰)$$

۱۴- شاخص موج سرما (CSDI)

اگر TNij دمای حداقل روزانه در روز i و دوره j و TNin10 روزهای صدک دهم در بازه زمانی پنج روزه برای دوره پایه باشد، تعداد روزهای هر دوره در فواصل حداقل شش روز متوالی جمع می‌شود:

$$TN_{ij} < TN_{in}10 \quad (۳۱)$$

۱۵- شاخص دامنه تغییرات شبانه‌روزی دما (DTR)

اگر TXij دمای حداکثر روزانه و TNij دمای حداقل روزانه در روز i و دوره j باشند و I تعداد روزهای j را نشان دهد:

$$DTR_j = \frac{\sum_{i=1}^{I}(TX_{ij} - TN_{ij})}{I} \quad (۳۲)$$

۱۶- شاخص طول فصل رشد (GSL)

تعداد روزهایی از سال که بین اولین رخدادی که حداقل شش روز متوالی میانگین دمای روزانه بیشتر از پنج درجه سانتی‌گراد و اولین رخدادی که حداقل شش روز متوالی بعد از اول ژوئیه (اول ژانویه در نیم‌کره جنوبی)، میانگین دمای روزانه کوچک‌تر از پنج درجه سانتی‌گراد باشد را طول فصل رشد می‌گویند.

اگر TGij میانگین روزانه دما در روز i و سال j باشد، تعداد روزهای بین اولین رخداد حداقل شش روز متوالی طوری محاسبه می‌شود که:

$$TG_{ij} > 5°C \quad (۳۳)$$

و اولین رخداد بعد از اول ژوئیه حداقل شش روز متوالی طوری محاسبه می‌شود که:

$$TG_{ij} < 5°C \quad (۳۴)$$

یافته‌ها

در مجموع بر اساس مرور منابع مذکور و مندرج در بخش روش تحقیق، شاخص‌های متعددی در پژوهش‌های مرتبط با تغییر اقلیم استفاده شده است. در زیر دسته‌بندی شاخص‌ها بر اساس ماهیت، کاربرد در ارزیابی تغییرات اقلیمی و نیز هدف از استفاده در پژوهش‌های مختلف صورت گرفته است.

شاخص‌های مبتنی بر مقادیر میانگین: حداکثر بارش یک روزه (RX1day)، بیشترین بارش پنج روزه (RX5day)، روزهای با بارش سنگین (میزان بارش بزرگتر یا مساوی ده میلی‌متر، R10)، روزهای با بارش خیلی سنگین (میزان بارش بزرگتر یا مساوی ۲۰ میلی‌متر، R20)، حداکثر تعداد روزهای خشک متوالی (جمع بارش کمتر از یک میلی‌متر، CDD)، حداکثر تعداد روزهای مرطوب متوالی (جمع بارش بزرگتر یا مساوی یک میلی‌متر، CWD)، روزهایی با جمع بارش بزرگتر از ۹۵امین صدک بارش روزانه (روزهای خیلی‌مرطوب، R95p)، نسبت جمع بارش روزهای خیلی مرطوب به مجموع بارش (R95pTOT)، روزهایی با جمع بارش بزرگتر از ۹۹امین صدک بارش روزانه (روزهای بسیار مرطوب، R99p).

علاوه بر این در این دسته می‌توان از شاخص‌های دمایی می‌توان

به شاخص روزهای یخبندان (FD)، شاخص روزهای تابستانی (SU)، شاخص روزهای یخی (ID)، شاخص شب‌های حاره‌ای (TR) اشاره نمود.

شاخص‌های مقادیر حدی: شاخص ساده شدت روزانه (SDII)، مجموع بارش (RR)، روزهایی با جمع بارش بزرگتر از ۷۵امین صدک بارش روزانه (روزهای نسبتاً مرطوب، R75p)، نسبت جمع بارش روزهای نسبتاً مرطوب به جمع بارش (R75pTOT)، نسبت جمع بارش روزهای بسیار مرطوب به مجموع بارش (R99pTOT).

در خصوص شاخص‌های دما می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

شاخص بیشینه ماهانه دمای حداقل روزانه (TN_x)، شاخص کمینه ماهانه دمای حداقل روزانه (TN_n)، شاخص بیشینه ماهانه دمای حداکثر روزانه (TX_x)، شاخص کمینه ماهانه دمای حداکثر روزانه (TX_n)، شاخص شب‌های سرد (TN10p)، شاخص شب‌های گرم (TN90p)، شاخص روزهای سرد (TX10p)، شاخص روزهای گرم (TX90p)، شاخص موج گرما (WSDI)، شاخص موج سرما (CSDI)

شاخص‌های مربوط به زمان‌بندی: شاخص فصلی بارش (SI).

شاخص دامنه تغییرات شبانه‌روزی دما (DTR) و شاخص طول فصل رشد (GSL) از دسته شاخص‌های دمایی در این دسته می‌باشند.

مطالعات انجام شده در شرایط ایران نشان می‌دهد که روند وقوع بیشتر بارش‌های حدی در مناطق مختلف مثبت بوده است (عسگری و همکاران، ۱۳۸۶؛ دارند، ۱۳۹۳؛ روزبه‌کوهشاهی و همکاران، ۱۳۹۷). از اثرات این تغییر در وقایع حدی بارش می‌توان به وقوع سیلاب‌های مخرب اشاره نمود. این درحالی است که مقادیر متوسط بارش‌های سالانه و فصلی کاهش داشته است (دارند، ۱۳۹۳؛ گاجیک-کاپکا و سیندریک، ۲۰۱۱). هر چند ممکن است در مناطقی مقادیر متوسط بدون تغییر باشد، اما این تغییر خود را در مقادیر حدی نشان داده است. به‌نحوی‌که تغییرات وقایع حدی نیز افزایش داشته است. نمونه آن نیز در بسیاری از مناطق کشور و نیز دنیا به‌صورت بارندگی‌های شدید (رجپراتاک و همکاران، ۲۰۲۰)، موج‌های گرما و نیز خشکسالی‌های شدید و افزایش طوفان‌های گردوغبار (غفاری و مصطفی‌زاده، ۱۳۹۴) دیده شده است. در مطالعه محمدی و تقوی (۱۳۸۴) در دوره آماری ۱۹۹۵ تا ۲۰۰۳ نیز گزارش شده است که دمای حداقل و متوسط روند افزایشی داشته است و سنسوی و همکاران (۲۰۱۳) نیز افزایش روزها و شب‌های گرم و حاره‌ای و کاهش روزها و شب‌های سرد را طی سال‌های ۱۹۶۰ تا ۲۰۱۰ در کشور ترکیه گزارش نموده‌اند. شکیبا و پیشداد (۱۳۸۹) نیز بیان نمودند که روند برای شاخص‌های حدی مانند روزهای سرد، شب‌های سرد، روزهای یخبندان و شاخص دامنه تغییرات دمایی در استان سمنان منفی بوده است؛ درحالی‌که افزایش قابل‌توجهی در روند حدهای گرم منطقه هم‌چون شب‌های گرم، روزهای داغ و روزهای تابستانی به‌دست آمده است. روزبه‌کوهشاهی و همکاران (۱۳۹۷) نیز در ارزیابی شاخص‌های حدی بارش در شمال ایران افزایش شاخص روزهای خشک متوالی (CDD) و کاهش در شاخص‌های رطوبت و بارش متوالی (CWD، R99p) در ایستگاه‌های شمال کشور را گزارش نمودند.

در خصوص انتخاب شاخص مناسب در ارزیابی تغییرات اقلیمی باید موارد زیر مد نظر قرار گیرد:

طول دوره آماری موجود، وجود نواقص آماری در داده‌ها: در این زمینه می‌توان اشاره نمود که وجود داده‌های مرتبط با مقادیر میانگین، نیازمند طول دوره آماری بیشتر است. در این راستا سازمان جهانی هواشناسی طول دوره ۳۰ ساله را برای ارزیابی‌های مرتبط با تغییر مؤلفه‌های اقلیمی مناسب معرفی نموده است. معمولاً در بسیاری از مطالعات توصیه می‌شود که دوره آماری مشترک تعیین و استفاده گردد. موردی که باید اشاره شود این است که در ارزیابی‌های مرتبط با تغییر مؤلفه‌های اقلیمی در مواردی نیاز به بازسازی داده‌ها و یا تعیین دوره آماری مشترک وجود ندارد. به عبارتی مبنای بسیاری از روش‌های بازسازی داده‌ها تکمیل آمار بر اساس مبانی مشخص است که در مواردی به بهبود کیفیت داده‌ها و افزایش صحت آن‌ها کمکی نخواهد کرد. از طرفی در انتخاب دوره آماری مشترک، آمار برخی از ایستگاه‌های حاوی داده‌های مشاهداتی ثبت شده کنار گذاشته می‌شود که این موضوع، سبب عدم توزیع مناسب مکانی ایستگاه‌ها خواهد شد. در تحلیل‌ها نیز اشاره به دوره بدون داده و یا کوتاه بودن دوره آماری می‌تواند محقق را در انجام تفسیرهای محتاطانه کمک نماید. باید ذکر شود که در اکثر موارد از تعیین دوره آماری مشترک برای کسب میانگین قابل اعتماد در داده‌ها نام می‌برند (انصافی مقدم، ۱۳۸۶).

مقیاس زمانی داده‌ها (ساعتی، روزانه، ماهانه، سالانه): برخی از

شاخص‌های مورد استفاده در ارزیابی تغییرات مانند شاخص‌های حدی نیازمند داده‌هایی با قدرت تفکیک زمانی بالا می‌باشند که باید بر اساس داده‌های ساعتی محاسبه شوند. در این زمینه باید در نظر داشت که داده‌های ساعتی در بسیاری از مناطق و ایستگاه‌های دوردست ثبت نمی‌شود که این موضوع، قابلیت استفاده از این شاخص‌ها را محدود خواهد نمود. قابل ذکر است که بسیاری از شاخص‌ها با استفاده از داده‌های روزانه محاسبه می‌شوند که در بسیاری از ایستگاه‌های اندازه‌گیری ثبت شده و یکی از نقاط قوت شاخص‌های مبتنی بر داده‌های روزانه می‌باشد (علوی‌نیا و زارعی، ۱۳۹۹).

هدف مورد انتظار تحقیق: برخی از پژوهش‌ها با هدف هواشناسی، تغییر در وضعیت آب و هوا و یا وقایع حدی (برنا و جهان، ۱۳۹۴؛ مصطفی‌زاده و مهری، ۱۳۹۷) انجام می‌شوند که در این زمینه استفاده از شاخص‌های حدی می‌تواند مفید واقع شود. پیش‌بینی خشکسالی بیشتر با مقادیر حدی بارش و دما انجام خواهد شد (انصافی مقدم، ۱۳۸۶؛ زینتی و حسامی کرمانی، ۱۳۹۳). این در حالی است که در مطالعات مربوط به تغییرات جریان رودخانه (مرید و همکاران، ۱۳۹۴؛ ناصری و همکاران، ۱۳۹۴؛ آقابیگی و همکاران، ۱۳۹۸؛ نصیری خیاوی و همکاران، ۱۳۹۸) و در اکثر مدل‌سازی‌های هیدرولوژی و رسوب (آقابیگی و همکاران، ۱۳۹۹) داده‌های روزانه و مقادیر متوسط درازمدت مؤلفه‌ها کاربرد دارد. در مطالعات مرتبط با بیلان آب و چرخه هیدرولوژی، مقادیر متوسط درازمدت و نیز شاخص‌های زمان‌بندی می‌تواند گزینه خوبی باشد. علاوه بر این، در اهدافی مانند ارزیابی تغییرات پوشش گیاهی ناشی از متغیرهای اقلیمی، مقادیر شاخص‌های فصلی توزیع بارندگی (مصطفی‌زاده و مهری، ۱۳۹۷) و زمان‌بندی با توجه به تأخیر فازهای زمانی موثر بر تغییرات پوشش گیاهی بهتر خواهد بود (عسکری‌زاده و همکاران، ۱۳۹۷). علاوه بر این، در ارزیابی تأثیر تغییر اقلیم بر تغذیه و نوسانات آب‌های زیرزمینی نیز به دلیل تأخیر زمانی، اثر مؤلفه‌های اقلیمی شاخص‌های فصلی و مرتبط با زمان‌بندی نسبت به شاخص‌های حدی بهتر خواهد توانست هدف تحقیق را میسر سازد (احمدی‌فر و همکاران، ۱۳۹۹). در مطالعات مربوط به پیش‌بینی تغییر اقلیم در آینده بیشتر از شاخص‌های میانگین و یا حداقل و حداکثرهای روزانه و یا سالانه استفاده خواهد شد (افشاری‌نیا و پناهی، ۱۴۰۰). در مجموع می‌توان گفت که انتخاب شاخص مناسب به داده‌های موجود و نیز هدف مشخص تحقیق بیشتر ارتباط دارد. علاوه بر این تفسیر نتایج حاصل از محاسبه شاخص‌ها نیز با تکنیک‌های آماری (زینتی و حسامی‌کرمانی، ۱۳۹۳)، تغییر در دامنه نوسانات، تغییر در مقادیر میانگین، تغییر در فراوانی وقوع و یا میزان متغیرها صورت خواهد گرفت که می‌تواند بر انتخاب شاخص تأثیر داشته باشد.

نتیجه‌گیری

تغییر اقلیم عامل اصلی تغییر مؤلفه‌های آب و هوایی است که در توالی‌های زمانی طولانی‌مدت به‌وقوع می‌پیوندد. لذا در همین راستا، تحقیق حاضر به تبیین برخی مفاهیم حاکم بر تغییر اقلیم و معرفی ۳۲ شاخص ارزیابی تغییرات حدی اقلیمی مبتنی بر بارش و دما پرداخته است. شاخص‌های معرفی شده ضمن داشتن مبنای ساده محاسباتی، قابلیت کاربرد در مناطق مختلف و نیز ارائه اطلاعات کاربردی مورد نیاز متخصصان، کارشناسان و مدیران حوزه‌های مختلف هوا و اقلیم‌شناسی، هیدرولوژی، انسانی، اقتصادی-اجتماعی و بسیاری دیگر از مباحث مدیریت بحران را دارا می‌باشد. تأثیر فعالیت‌های بشری سبب تشدید اثرات پدیده تغییر اقلیم، و افزایش شدت روند تغییرات و تغییر بازه زمانی توالی تغییرات اقلیمی شده است. به‌همین منظور، به‌طور فزاینده‌ای ضرورت تدوین شاخص‌های جامع و متنوع ارزیابی این تغییرات در نقاط مختلف جهان احساس می‌شود. در مجموع، تقسیم‌بندی شاخص‌های مرتبط با تغییر اقلیم در سه دسته شاخص‌های مبتنی بر مقادیر میانگین، شاخص‌های مقادیر حدی و شاخص‌های مربوط به زمان‌بندی می‌تواند متناسب با اهداف مختلف در انتخاب شاخص کمک نماید. در خصوص انتخاب شاخص مناسب در ارزیابی تغییرات اقلیمی باید مواردی مانند طول دوره آماری موجود، وجود نواقص آماری در داده‌ها، مقیاس زمانی داده‌ها (ساعتی، روزانه، ماهانه، سالانه)، هدف مورد انتظار تحقیق (هواشناسی و تغییر در وضعیت آب و هوا، بیلان آب و چرخه هیدرولوژی و رسوب، تغییرات جریان رودخانه، مدل‌سازی‌های هیدرولوژی، تغییرات پوشش گیاهی، نوسانات آب‌های زیرزمینی، پیش‌بینی تغییر اقلیم در آینده) مدنظر قرار گیرد. تفسیر نتایج حاصل از محاسبه شاخص‌های اقلیمی و نیز روش‌های آماری مورد

استفاده، در تفسیر، تغییر در فراوانی وقوع و یا میزان متغیرها بر انتخاب شاخص تأثیر خواهد داشت. علی‌رغم تأکید بر ضرورت ارائه شاخص‌های مبتنی بر زمان‌بندی مؤلفه‌های اقلیمی نیاز به در نظر گرفتن معیارهای مختلف در انتخاب شاخص‌های مناسب ارزیابی تغییرات و الگوهای اقلیمی منطقه‌ای وجود دارد.

منابع

احمدی، محمود؛ لشکری، حسن؛ آزادی، مجید؛ کیخسروی، قاسم (۱۳۹۴). آشکارسازی تغییر اقلیم با استفاده از شاخص‌های حدی بارش در خراسان بزرگ. پژوهشهای دانش زمین، ۶ (۳)، ۳۴-۵۲.
https://esrj.sbu.ac.ir/article_95680.html

احمدی‌فر، رقیه.، موسوی، مرتضی.، رحیم زادگان، مجید. (۱۳۹۹). بررسی اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب زیرزمینی (مطالعه موردی: آبخوان دشت سراب). دانش آب و خاک، ۳۰(۱): ۱۶۶-۱۵۳.
https://water-soil.tabrizu.ac.ir/article_12167.html

افشاری‌نیا، مهدیه.، پناهی، فاطمه. (۱۴۰۰). تأثیر خشکسالی اقلیمی بر شوری خاک سطحی در دشت کاشان. مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک، ۱(۲): ۴۰-۵۲. http://mmws.uma.ac.ir/article_1274.html

انصافی‌مقدم طاهره (۱۳۸۶). ارزیابی چند شاخص خشکسالی اقلیمی و تعیین مناسبترین شاخص در حوضه دریاچه نمک. تحقیقات مرتع و بیابان ایران، ۱۴(۲): ۲۸۸-۲۷۱. https://ijrdr.areeo.ac.ir/article_105638.html

آقابیگی، نیر؛ اسمعلی عوری، اباذر؛ مصطفی زاده، رئوف؛ گلشن، محمد (۱۳۹۹). ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر مقادیر رسوب معلق در تعدادی از حوزه های آبخیز استان اردبیل. جغرافیا و برنامه ریزی، سال ۲۴ (۷۱)، ۱-۲۱. https://journals.tabrizu.ac.ir/article_11233.html

آقابیگی، نیر؛ اسمعلی عوری، اباذر؛ مصطفی زاده، رئوف؛ گلشن، محمد(۱۳۹۸). اثرات تغییر اقلیم بر رواناب با مدل هیدرولوژیکی IHACRES در برخی از حوزه های آبخیز استان اردبیل. مهندسی آبیاری و آب ایران، ۱۰ (۲)، ۱۷۸-۱۸۹. http://www.waterjournal.ir/article_100750.html

ببران، صدیقه؛ احمدی، سعید (۱۳۸۶). تغییر اقلیم، چالش زیست محیطی قرن بیست و یکم، انتشارات مجمع تشخیص مصلحت نظام، پژوهشکده تحقیقات استراتژیک، گروه پژوهشی مطالعات بین‌الملل.
https://vista.ir/book/648621

برنا، رضا.، جهان، آیگین. (۱۳۹۴). مطالعه روند تغییرات شاخصهای حدی اقلیمی دما و بارش در جنوبغرب ایران (مطالعه موردی: استان بوشهر). جغرافیای طبیعی، ۸(۲۸): ۶۴-۴۳.
http://jopg.iaularestan.ac.ir/article_519222.html

دارند، محمد (۱۳۹۳). واکاوی تغییرات مقادیر حدی بارش و دما در ارومیه به‌عنوان نشانه‌هایی از تغییر اقلیم، نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، ۲۱ (۲)، ۱-۲۹. https://www.magiran.com/paper/1313333

روزبه‌کوهشاهی، سجاد؛ شاهدی، کاکا؛ علیپور، اعظم (۱۳۹۷). بررسی شاخص‌های حدی بارش به عنوان نشانه تغییراقلیم در استان مازندران، هفتمین همایش ملی سامانه‌های سطوح آبگیر باران، صفحات ۹۶۲ - ۹۷۱. http://www.agriconference.ir/article_14630.pdf

زینتی نسیم، حسامی کرمانی، مسعودرضا (۱۳۹۳). مقایسه دو روش نرو فازی و ASD در پیش بینی تغییرات اقلیمی (مطالعه موردی: ایستگاه سینوپتیک کرمان). هواشناسی کشاورزی، ۲(۱): ۱۶-۱.
https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=234092

شکیبا، علیرضا؛ پیشداد، الهام (۱۳۸۶). تحلیل روند تغییرات شاخص‌های حدی دمای روزانه در سمنان طی دهه‌های ۱۹۶۵-۲۰۰۶، پژوهش‌های دانش زمین، ۱ (۴)، ۱-۱۵. https://esrj.sbu.ac.ir/article_94355.html

عساکره، حسین (۱۳۹۳). توزیع زمانی و رژیم بارش در شمال‌غرب ایران، فصل‌نامه تحقیقات جغرافیایی، ۲۹(۱)، ۱۶۰-۱۴۵.
https://journals.ui.ac.ir/article_18033.html

عسکری‌زاده، دیانا؛ ارزانی، حسین؛ جعفری، محمد؛ بذرافشان، جواد؛ پرنتایس، آین کولین (۱۳۹۷). بررسی گذشته، حال و آینده تغییرات پوشش گیاهی مراتع البرز مرکزی در ارتباط با تغییر اقلیم، سنجش‌ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، ۹ (۳)، ۱-۱۸.
http://girs.iaubushehr.ac.ir/article_544812.html

عسگری، احمد؛ رحیم‌زاده، فاطمه؛ محمدیان، نوشین؛ فتاحی، ابراهیم (۱۳۸۶). تحلیل روند نمایه‌های بارش‌های حدی در ایران، تحقیقات منابع آب ایران، ۳ (۳). ۵۵-۴۲. http://iwrr.sinaweb.net/article_15572.html

علوی‌نیا سید حسن، زارعی مهدی. (۱۳۹۹). واکاوی روند تغییرات فرین‌های دما تحت تأثیر سناریوهای آینده به منظور ارزیابی نوسانات اقلیمی (مطالعه‌ی موردی: ایستگاه‌های همدیدی سنندج و سقز). مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، ۱۱(۴۱): ۱۶-۱.
http://journals.hsu.ac.ir/jarhs/article-1-1627-fa.html

غفاری، دیمن؛ مصطفی‌زاده، رئوف (۱۳۹۵). بررسی منشاء، اثرات و راهکارهای پدیده گرد و غبار در ایران. حفاظت و بهره برداری از منابع طبیعی، ۴ (۲). ۱۲۵-۱۰۷. magiran.com/paper/citation?ids=1525513

مرید، ریحانه.، ایگدری، سهیل.، دلاور، مجید. (۱۳۹۴). بررسی اثر تغییر اقلیم بر مطلوبیت زیستگاهی آبزیان رودخانه کردان - مطالعه موردی: سگ ماهی جویباری (Oxynemacheilus bergianus). تحقیقات منابع آب ایران، ۱۱(۳): ۱۵۸-۱۴۵. http://iwrr.sinaweb.net/article_14018.html

محمدی، حسین؛ تقوی، فرحناز (۱۳۸۴). روند شاخص های حدی دما و بارش در تهران، پژوهش‌های جغرافیایی، ۵۳. ۱۷۲-۱۵۱.
https://jrg.ut.ac.ir/article_17763_ea0fba28ce19cd4a2d1b4bc6285b34ef.pdf

مصطفی‌زاده، رئوف.، ذبیحی، محسن. (۱۳۹۵). تحلیل و مقایسه شاخص‌های SPI و SPEI در ارزیابی خشکسالی هواشناسی با استفاده از نرم‌افزار R (مطالعه موردی: استان کردستان). فیزیک زمین و فضا، ۴۲(۳): ۶۴۳-۶۳۳. https://jesphys.ut.ac.ir/article_57881.html

مصطفی‌زاده، رئوف؛ مهری، سونیا (۱۳۹۷). تعیین وضعیت و تغییرات شاخص فصلی بارش در بخش مرکزی استان اردبیل، پژوهش‌های آبخیزداری، ۳۱ (۳)، ۳۹-۲۸.
https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?ID=469297

مصطفی‌زاده، رئوف؛ مهری، سونیا (۱۳۹۷). روند تغییرات ضریب سیلابی در ایستگاه‌های هیدرومتری استان اردبیل، پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز، ۹ (۱۷)، ۹۵-۸۲. https://jwmr.sanru.ac.ir/article-1-629-fa.html

ناصری عرفان، شهیدی علی، فرزانه محمّدرضا. (۱۳۹۴). ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر رواناب به کمک مدل بارش- رواناب SWAT (مطالعه موردی: حوضه بهشت آباد، کارون شمالی). سامانه‌های سطوح آبگیر باران، ۳(۴): ۳۸-۲۷.https://jircsa.ir/article-1-144-fa.html

نصیری خیاوی، علی؛ مصطفی‌زاده، رئوف؛ اسمعلی عوری، ابادر؛ غفارزاده، امید؛ گلشن، محمد (۱۳۹۸). تغییر شاخص‌های هیدرولوژیک جریان رودخانه بالخلوچای ناشی از تأثیر ترکیبی تغییر مؤلفه‌های اقلیمی و احداث سد یامچی اردبیل با استفاده از رویکرد دامنه دامنه تغییرپذیری، مهندسی و مدیریت آبخیز، ۱۱ (۴)، ۸۶۵-۸۵۱.
https://jwem.areeo.ac.ir/article_119563.html

Adedeji, O., Reuben, O., & Olatoye, O. (2014). Global Climate Change, Journal of Geoscience and Environment protection, 2(2), 114-122.https://www.scirp.org/journal/paperinformation.aspx?paperid=45024

Brown, P.J., Bradley, R.S., & Keimig F.T. (2010). Changes in Extreme Climate Indices for the Northeastern United States, 1870-2005. Journal of Climate, 23(24), 6555-6572.https://www.geo.umass.edu/climate/papers2/Brown_JClimate_2010.pdf

Donat, M.G., Alexander, L.V., Yang, H., Durre, I., Vose, R., Dunn, R.J.H., Willett, K.M., Aguilar, E., Brunet, M., Caesar, J., Hewitson, B., Jack, C., Klein Tank, A.M.G., Kruger, A.C., Marengo, J., Peterson, T.C., Renom, M., Oria, R.C., Rusticucci, M., Salinger, J., Elrayah, A.S., Sekele, S.S., Srivastava, A.K., Trewin, B., Villarroel, C., Vincent, L.A., Zhai, P., Zhang, X., Kitching, S., 2013. Updated analyses of temperature and precipitation extreme indices since the beginning of the twentieth century: the HadEX2 dataset. Journal of Geophysical Research, 118: 2098–2118.

Gajic-Capka, M., & Cindric, K. (2011). Secular trends in indices of precipitation extremes in Croatia, 1901-2008. Geofizika, 28(2), 293-312.https://www.researchgate.net/publication/297869929_Secular_trends_in_indices_of_precipitation_extremes_in_Croatia_1901-2008

Houghton, J.T., Ding, Y., Griggs, D.J., Noguer, M., van der Linden, P., Dai, X., Maskell, K., & Johnson, C.I., (2001). 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, Cambridge, UK, pp. 881. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/07/WG1_TAR_FM.pdf
https://www.air-worldwide.com/blog/posts/2017/6/climate-variability-vs--climate-change-whats-the-difference/
https://www.pacificclimatefutures.net/en/help/climate-projections/understanding-climate-variability-and-change

International CLIVAR Project Office (2001) Report on the activities of the Working Group on Climate Change Detection and Related Rapporteurs 1998-2001 (ICPO Publication Series, 48) Southampton, UK. International CLIVAR Project Office 144pp.

IPCC. (2013). Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/

Karl, T.R., N. Nicholls, and A. Ghazi, 1999: CLIVAR/GCOS/WMO workshop on indices and indicators for climate extremes: Workshop summary. Climatic Change, 42, 3-7.

Livada, I., & Asimakopoulos, D.N. (2005). Individual seasonality index of rainfall regimes in Greece. Climate Research, 28(2), 155–161.https://www.int-res.com/abstracts/cr/v28/n2/p155-161/

Panda, D.K., Panigrahi, P., Mohanty, S., Mohanty, R.K., Sethi, R.R. 2016. The 20th century transitions in basic and extreme monsoon rainfall indices in India: Comparison of the ETCCDI indices, Atmospheric Research 181: 220-235.

Peterson, T.C., Folland, C., Gruza, G., Hogg, W., Mokssit, A., Plummer, N. 2001. Report on the activities of the working group on climate change detection and related rapporteurs 1998-2001. WMO, Rep. WCDMP-47, WMO-TD 1071, Geneve, Switzerland, 143pp.

Riedy, C. (2016). Climate Change. In the Blackwell Encyclopedia of Sociology, Edited by George Ritzerhttps://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/9781405165518.wbeos0737

Rojpratak, S., Thani, P., Sudprasert, C., Aribarg, T., Supharatid, S., & Change, C. (2020). Hot Spot of climate extreme events (floods and droughts) in Thailand for a changing climate. https://iahr-apd2020.eng.hokudai.ac.jp/htdocs/static/mirror/proceedings/pdf/4-3-5.pdf

Ruml, M., Gregori, E., Vujadinovi, M., et al. (2017). Observed Changes of Temperature Extremes in Serbia over the Period 1961-2010. Atmospheric Research, 183, 26-41. https://daneshyari.com/article/preview/4449545.pdf

Sensoy, S., Turkoglu, N., Akcakaya, A., Ekikici, M., Ulupinar, Y., Atay, H., Tuvan, A., & Demirbas, H. (2013). Trends in Turkey Climate indices from 1960 to 2010, 6th Atmospheric Science Symposium-ATMOS 2013, Istanbul. https://www.mgm.gov.tr/FILES/iklim/trendsin-turkey.pdf

Sillmann, J., & Roeckner, E. (2008). Indices for extreme events in projections of anthropogenic climate change, Climatic Change, 86, 83–104. https://link.springer.com/article/10.1007/s10584-007-9308-6

Vincent, L.A., Peterson, T.C., Barros, V.R., et al. (2005). Observed trends in indices of daily temperature extremes in South America 1960-2000. Journal of Climate, 18(23), 5011-5023. https://journals.ametsoc.org/view/journals/clim/18/23/jcli3589.1.xml

Walsh, R.P.D., & Lawler, D.M. (1981). Rainfall seasonality: Description, spatial patterns and changes through time, Weather, 36(7), 201-208. https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/1981Wthr...36..201W/abstract

Wilby, R.L., Dawson, C.W., & Barrow, E.M. (2002). SDSM A decision support tool for the assessment of regional climate change impacts, Environmental Modelling & Software, 17(2), 145-57. http://www.start.org/Projects/AIACC_Project/resources/ele_lib_docs/SDSM_manual.pdf

Zhang, X., Alexander, L., Hegerl, G.C., Jones, P., Klein Tank, A., Peterson, T.C., Trewin, B., Zwiers, F.W., 2011. Indices for monitoring changes in extremes based on daily temperature and precipitation data. WIREs Climate Change, 2:851–870. http://dx.doi.org/10.1002/wcc.147.