

Article Type

Review Article

مروری

نوع مقاله

The Necessity of Creating a Comprehensive Framework for Drought Risk Management

ضرورت ایجاد یک چارچوب جامع به منظور مدیریت ریسک خشکسالی

S. Attaran^{1*}, M. Abdollahpour^{2*}

سارا عطاران^{۱*}، مسعود عبدالله پور^{۲*}

1-Researcher, Water and Environment Research Institute, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

۱- پژوهشگر پژوهشکده آب و محیط زیست، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

Corresponding Author Email: sara.attaran95@gmail.com

رایانامه نویسنده مسئول: sara.attaran95@gmail.com

Received ➤ 07-08-2024
Revised ➤ 08-10-2024
Accepted ➤ 02-11-2024
Available Online ➤ 21-06-2025

تاریخ دریافت ➤ ۱۴۰۳/۰۵/۱۷
تاریخ بازنگری ➤ ۱۴۰۳/۰۷/۱۷
تاریخ پذیرش ➤ ۱۴۰۳/۰۸/۱۲
تاریخ انتشار ➤ ۱۴۰۴/۰۳/۳۱

Abstract

چکیده

Drought has been one of the most damaging natural phenomena in the past decades. On the other hand, due to the complex and creeping nature of drought, it is almost impossible to determine a specific start and end time for it. Dry and wet periods are visible and expected in all climates and in all seasons of the year, but sometimes a dry period leads to a drought and it affects humans (in various aspects), therefore, while every dry period cannot mark the onset of drought, it is important to note that not every wet period signifies the end of a drought period. In this study, the concept of drought and dry spell has been clearly expressed and the effect of these phenomena on humans has been discussed. To address the complexities of drought, a ten-step framework for risk management has been developed. This guideline addresses the complexities of this phenomenon and its various aspects, and provides a methodology for drought planning and management.

Keywords: Drought, Dry Spell, Drought Risk Management, 10-Step Framework.

خشکسالی یکی از خسارت‌بارترین پدیده‌های طبیعی در دهه‌های گذشته بوده است. از طرفی با توجه به ماهیت پیچیده و خزنده خشکسالی تعیین زمان آغاز و پایان مشخص برای آن تقریباً غیر ممکن است. دوره‌های خشک و تر در تمام اقلیم‌ها و در تمام فصول سال قابل مشاهده و مورد انتظار هستند؛ اما تنها گاهی یک دوره خشک منجر به خشکسالی می‌شود و انسان را (از جنبه‌های گوناگون) تحت تأثیر قرار می‌دهد، بنابراین نه تنها نمی‌توان گفت که هر دوره خشکی آغاز خشکسالی است بلکه هر دوره تر نیز پایان یک خشکسالی نیست. در این مطالعه سعی شده تا مفهوم خشکسالی (Drought) و خشک‌دوره (Dry Spell) به روشنی بیان شود و تأثیر آن‌ها بر انسان مورد بحث قرار گیرد. از طرفی باتوجه به پیچیدگی‌های این پدیده طبیعی یک چارچوب ۱۰ مرحله‌ای برای مدیریت ریسک خشکسالی تبیین شده است. این دستورالعمل پیچیدگی‌های این پدیده و جنبه‌های مختلف آن را مورد توجه قرار می‌دهد و یک روش برای برنامه‌ریزی و مدیریت خشکسالی ارائه می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: خشکسالی، خشک‌دوره، مدیریت ریسک خشکسالی، چارچوب ۱۰ مرحله‌ای.

HomePage: <https://jwsd.um.ac.ir>

How to cite this article: Attaran, S. & Abdollahpour, M. (2025). The Necessity of Creating a Comprehensive Framework for Drought Risk Management. Journal of Water and Sustainable Development, 12(1), 94-107. <https://dx.doi.org/10.22067/jwsd.v12i1.2408-1352>

به‌طور کلی خشکسالی^۱ به دوره خاصی گفته می‌شود که در آن سطوح متغیرهای هیدرولوژیکی از جمله رواناب، رطوبت خاک و بارندگی کمتر از میانگین سطوح آن متغیرها در یک منطقه باشد، اما این پدیده فاقد یک تعریف مورد توافق جهانی در میان دانشمندان است (Xu و همکاران، ۲۰۱۵؛ Logar و Van den Bergh، ۲۰۱۳). بیش از ۱۰ میلیون نفر به دلیل خشکسالی‌های بزرگ در قرن گذشته جان خود را از دست دادند که باعث صدها میلیارد دلار خسارت اقتصادی در سراسر جهان شد و این تعداد در حال افزایش است. در طول قرن گذشته، قاره آسیا بیشترین تعداد جمعیت انسانی را در معرض تأثیرات مخرب خشکسالی‌های شدید قرار داده است، به‌طوری‌که از نظر آماری بیش از نیمی از قربانیان جهانی این پدیده طبیعی در این منطقه سکونت داشته‌اند. خشکسالی عامل اصلی نوسانات عملکرد و کاهش محصول است که می‌تواند منجر به خسارات مالی قابل توجهی شود (Bucheli و همکاران، ۲۰۲۱). درصد گیاهان تحت تأثیر خشکسالی در ۴۰ سال گذشته بیش از دو برابر شده است، به‌طوری‌که سالانه حدود ۱۲ میلیون هکتار زمین به دلیل خشکسالی در سراسر جهان از دست می‌رود (Agency، ۲۰۱۷). میزان فتوسنتز در اروپا در طول خشکسالی تابستان ۲۰۰۳، ۳۰ درصد کاهش یافت که منجر به انتشار ۰/۵ گیگاتن کربن خالص شد (Schuldt و همکاران، ۲۰۲۰). همچنین انتظار می‌رود تغییرات آب و هوایی خطر خشکسالی را در بسیاری از مناطق آسیب‌پذیر جهان، به‌ویژه مناطقی که رشد سریع جمعیت را تجربه می‌کنند، جمعیت‌های آسیب‌پذیر دارند و با چالش‌های امنیت غذایی مواجه هستند، افزایش دهد. اگر افزایش گرمایش زمین تا سال ۲۱۰۰ به ۳ درجه سانتیگراد برسد، تلفات خشکسالی می‌تواند پنج برابر بیشتر از امروز باشد (Cammalleri و همکاران، ۲۰۲۰). بنابراین انتظار می‌رود در چند دهه آینده، شدت و فراوانی خشکسالی در مقیاس جهانی به دلایل متعددی از جمله تغییرات اقلیمی ناشی از فعالیت‌های انسانی، مدیریت ناپایدار منابع آب و تشدید پدیده‌های طبیعی مانند النینو به طور چشمگیری افزایش یابد. بر اساس گزارش هیئت بین‌الدولی تغییرات اقلیمی (IPCC، ۲۰۲۲) افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای منجر به گرمایش جهانی و تغییر الگوهای بارش شده که احتمال وقوع خشکسالی‌های شدید و طولانی‌مدت را در بسیاری از مناطق جهان، به ویژه خاورمیانه، جنوب آسیا و جنوب غربی آمریکا، افزایش داده است.

Smirnov و همکاران (۲۰۱۶) بیان کردند ۱۲۹ کشور به دلیل

تغییرات آب و هوایی، ۲۳ کشور عمدتاً به دلیل رشد جمعیت و ۳۸ کشور عمدتاً به دلیل تغییر اقلیم و رشد جمعیت، افزایش چالش‌های مواجهه با خشکسالی را تجربه می‌کنند. باتوجه به این آمار، خشکسالی پس از سیل دومین فاجعه خسارت ساز اعلام شده است. بانک جهانی تخمین می‌زند که تا سال ۲۰۵۰، در سراسر جهان ۲۱۶ میلیون نفر، عمدتاً به دلیل خشکسالی، همراه با عوامل دیگری مانند کمبود آب، کاهش بهره‌وری محصولات کشاورزی، افزایش سطح آب دریا و افزایش جمعیت، مجبور به مهاجرت خواهند شد (Tsegai و همکاران، ۲۰۲۲). اثرات مخرب خشکسالی بسیار فراتر از مناطق خشک زمین است. تعداد خشکسالی در تمام قاره‌ها افزایش می‌یابد و هر رخداد شدیدتر می‌شود و نشانه آن دنیایی است که در آن آب شیرین و خاک حاصلخیز به‌طور فزاینده‌ای کمیاب می‌شود. در موارد شدید، خشکسالی باعث قحطی، مهاجرت اجباری و حتی جنگ می‌شود. مرگ و میر مربوط به خشکسالی حدود ۶۰ درصد از کل مرگ و میر ناشی از حوادث شدید آب و هوایی است، درحالی‌که خشکسالی تنها ۱۵ درصد از بلایای طبیعی را تشکیل می‌دهد. تعداد وقایع خشکسالی در منابع مختلف، در سراسر جهان، اعداد متفاوتی اعلام شده است. ۵۲ خشکسالی عظیم در سال‌های ۱۹۵۱-۲۰۱۶ رخ داد که آمازون، جنوب آمریکای جنوبی، منطقه مدیترانه، بیشتر آفریقا و بخش‌هایی از آسیا بیشترین شدت آن را تجربه کردند. همچنین پژوهش‌های زیادی اعلام کرده‌اند که وقایع خشکسالی در ایران شدت یافته است (لطفی نسب اصل و همکاران، ۱۴۰۲). Safarianzengir و همکاران (۲۰۲۲) بیان کردند شدت و فراوانی خشکسالی در ایران در سال‌های اخیر افزایش یافته است و بیشترین شدت خشکسالی ماهانه با ۵/۶۵ درصد در اردیبهشت ماه سال ۱۳۷۹ بوده است.

خشکسالی در ابتدا بر اساس جنبه‌های فیزیکی آن دسته‌بندی شد، مانند خشکسالی هواشناسی که در منابع، عمدتاً به صورت کمبود طولانی مدت بارش بیان شده است (Trenberth، ۲۰۰۵)، خشکسالی کشاورزی برای متخصصان کشاورزی، زمانی است که رطوبت خاک برای گیاهان به سطحی کاهش می‌یابد که بر عملکرد محصول و سودآوری کشاورزی تأثیر منفی می‌گذارد (Mannocchi و همکاران، ۲۰۰۴). خشکسالی هیدرولوژیکی که اغلب توسط هیدرولوژیست‌ها بیان می‌شود، بر اساس تعریف Van Loon (۲۰۱۵) خشکسالی هیدرولوژیکی به کاهش منابع آب در رودخانه‌ها، دریاچه‌ها و سفره‌های زیرزمینی گفته می‌شود که عواملی مانند شرایط اقلیمی، ویژگی‌های طبیعی زمین و محدودیت‌های ذخیره‌سازی آب در لایه‌های زمین سبب

آن می‌شوند. Blauhut (۲۰۲۰) مفهوم خشکسالی اجتماعی-اقتصادی را معرفی کردند و بیان کردند گذشت زمان منجر به شناخت انواع خشکسالی شد که منعکس کننده پیچیدگی این پدیده است. خشکسالی فقط نبود باران نیست، خشکسالی با کمبود بارندگی و اغلب درجه حرارت‌های بالا آغاز می‌شود که به خشک شدن بیشتر کمک می‌کند و این موضوع احتمال بروز و شدت خشکسالی را افزایش می‌دهد که در بسیاری از نقاط جهان مشاهده شده است (Dai و همکاران، ۲۰۰۴). از طرفی تخریب زمین و بحران آب و هوا نیز به این موضوع دامن می‌زند. خشکسالی‌ها گسترده و خزنده هستند و طی ماه‌ها یا سال‌ها توسعه می‌یابند. به همین دلیل خسارات خشکسالی بسیار بالا است و اغلب منجر به آتش‌سوزی‌های ویرانگر و امواج گرما می‌شود. بارندگی از سالی به سال دیگر و طی دهه‌ها متفاوت است و تغییرات در مقدار، شدت، فراوانی و نوع آن (مثلاً برف در مقابل باران) بر محیط و جامعه تأثیر می‌گذارد. بنابراین ویژگی‌های بارندگی به اندازه مقدار آن از نظر تأثیر بر رطوبت خاک و جریان‌های هیدرولوژیکی حیاتی هستند. ماهیت تغییرات بارندگی محلی و منطقه‌ای به شدت تحت تأثیر تغییر در الگوهای گردش جوی است. تغییر در مسیر گردش‌های جو باعث می‌شود مناطق خاصی مرطوب‌تر شوند در حالی که مناطق دیگر، اغلب مناطق همسایه، خشک‌تر می‌شوند. این موضوع باعث ایجاد الگوهای بسیار پیچیده در مطالعه خشکسالی می‌شود (Trenberth، ۲۰۰۵).

شاخص‌های خشکسالی

چندین شاخص بر اساس بارش، تبخیر و تعرق پتانسیل، رطوبت خاک و سایر معیارها برای ارزیابی خشکسالی استفاده شده است. McKee و همکاران (۱۹۹۳) و McKee و Edwards (۱۹۹۷) شاخص بارش استاندارد شده (SPI) را برای شناسایی طبقات خشکسالی بر اساس بارش نرمال درازمدت به کار بردند. Palmer (۱۹۶۵) از چندین داده از جمله مکان، بارش، دما و ظرفیت آب^۳ برای به دست آوردن شاخص خشکسالی استفاده کرد. Shukla و Wood (۲۰۰۸) از شاخص رواناب استاندارد (SRI)^۴ بر اساس مجموعه داده‌های رواناب برای تعیین خشکسالی استفاده کردند. علاوه بر این در یک مطالعه جدیدتر، Um و همکاران (۲۰۱۷) از SPEI^۵ با تأثیر ۱۲ ماهه برای ارزیابی خشکسالی با بررسی ویژگی‌های تاریخی خشکسالی استفاده کردند. Wang و همکاران (۲۰۱۱) از شاخص استاندارد آب-خاک^۶ با استفاده از مجموعه داده‌های آب-خاک برای تعریف شدت، مدت و فراوانی خشکسالی استفاده کردند. He

Zhang و (۲۰۱۶) عملکرد تبخیر و تعرق پتانسیل و میزان بارش مورد نیاز برای به دست آوردن سطح نرمال رطوبت خاک را با هدف پایش پدیده خشکسالی در مناطق خشک و نیمه‌خشک بررسی کردند. Karavitis (۱۹۹۹) طبقه‌بندی خشکسالی را بر اساس تأثیرات آن بر ابعاد هیدرولوژیکی، محیط زیستی و اجتماعی-اقتصادی پیشنهاد کرد.

"خشکسالی" پدیده پیچیده‌ای است که به دلیل گستردگی، شدت و تداوم، تعداد قابل توجهی از انسان‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهد (انصاری و داوری، ۱۳۸۶). پدیده‌های طبیعی اغلب نشانه‌های واضحی دارند که زمان شروع و پایان آن‌ها را به خوبی مشخص می‌کند، مانند سیل، زلزله و ...، اما نمی‌توان زمان دقیق شروع و خاتمه یک رویداد خشکسالی را به طور دقیق مشخص کرد و به همین دلیل است که از آن به عنوان یک پدیده خزنده یاد می‌شود. دوره‌های خشک ردپایی از تخریب به جا می‌گذارد که در برخی موارد زندگی انسان‌ها را از جنبه‌های گوناگون به خطر می‌اندازد به همین دلیل در مطالعات خشکسالی باید به جایگاه انسان توجه ویژه داشت. چیزی که در ابتدا یک دوره خشک^۷ بی‌ضرر به نظر می‌رسد، ممکن است با بررسی دقیق‌تر و با بهره‌گیری از آینده‌نگری، به عنوان آغاز خزنده یک مشکل بسیار بزرگ‌تر باشد و مدت زمانی که یک خشک‌دوره ادامه پیدا می‌کند ممکن است در نهایت به خشکسالی منجر شود. بنابراین خشکسالی زمانی معنا پیدا می‌کند که مؤلفه‌های آن (مانند کمبود بارش، افزایش دما و...) انسان را تحت تأثیر قرار دهد.

از یک خشک‌دوره تحت عنوان "Dry Spell" یاد می‌شود. مقالات مختلف تعاریف متفاوتی از این واژه ارائه کرده‌اند (Mahmoudi و همکاران، ۲۰۲۱؛ Breinl و همکاران، ۲۰۲۰). دوره‌های خشک توالی روزهای خشک هستند و ممکن است اثرات قابل توجهی بر کشاورزی، تامین آب و اکوسیستم داشته باشد و در این شرایط است که "خشکسالی" نامیده می‌شود. بنابراین "خشکسالی" می‌تواند دوره‌ای کمتر یا بیشتر از یک سال باشد. توالی روزهای مرطوب یا خشک یکی از عوامل مهم در تعیین شرایط رطوبت خاک و اتمسفر است و این دوره‌های خشک و تر در شرایط اقلیمی و در فصول مختلف با طول دوره‌های متفاوت رخ می‌دهند. در شرایطی که به دلایل مختلف الگوی بارش در یک سال خاص به گونه‌ای باشد که تنش آبی^۸ در دوره‌های حساس رشد گیاه رخ دهد، محصول آن سال تحت تأثیر قرار گرفته و حتی ممکن است به کلی از بین برود، در این شرایط با وجود اینکه مقدار بارش مساوی یا بیشتر از میانگین بلند مدت است، اما وقوع یک دوره خشک،

تأمین غذا و در نتیجه زندگی انسان را تحت تاثیر قرار داده، از این رو یک واقعه خشکسالی رخ داده است. به همین جهت وجود واژه "سال" در واژه مرکب "خشکسالی" تحت تاثیر قرار گرفتن غذا را در طول "یک سال" نشان می‌دهد، هرچند که ممکن است خشک دوره فقط در یک بازه زمانی کوتاه اما حساس رشد محصول اتفاق افتاده باشد. بنابراین حتی در شرایطی که در یک سال آبی^۱ مقدار بارش در یک منطقه مساوی یا بیشتر از میانگین بلند مدت آن منطقه باشد نیز ممکن است "خشکسالی" رخ دهد. همچنین دوره‌های خشک طولانی مدت منجر به کمبود آب قابل توجهی می‌شود که بر عملکرد کشاورزی و تولید محصول، توسعه چراگاه‌ها، رشد جنگل‌ها، وسعت پهنه‌های آبی، کشتیرانی، گردشگری، تولید برق و... تأثیر می‌گذارد و موجب رخ دادن خشکسالی می‌شوند. از آنجایی که خطر خشکسالی به دلیل تغییرات آب و هوایی در حال افزایش است، یک رویکرد مدون مورد نیاز است تا ماهیت خشکسالی را به عنوان یک "پدیده خزنده" مورد توجه قرار دهد و باتوجه به پویایی آن برنامه‌ها و سیاست‌گذاری‌هایی را ارائه دهد. هدف این مطالعه ارائه چارچوب جدیدی است که به جنبه‌های مختلف ریسک خشکسالی بپردازد و تا حد امکان عوامل تأثیرگذار بر آن را مورد بررسی قرار دهد، تا در نهایت سیاست‌گذاری‌ها و برنامه‌های مدیریتی به گونه‌ای تنظیم شوند که جامعه بتواند از دوره‌های خشکسالی با کمترین خسارت عبور کند. باید توجه داشت که تمامی چارچوب‌های ارائه شده برای مدیریت خشکسالی باید بومی‌سازی شوند و باتوجه به ویژگی‌های جغرافیایی، سیاسی و فرهنگی هر منطقه مورد استفاده قرار گیرند.

بسیاری از مطالعاتی که در زمینه خشکسالی در ایران انجام شده‌است به بررسی شدت و نوع خشکسالی در نقاط مختلف ایران پرداخته‌اند؛ برای مثال Safarianzengir و همکاران (۲۰۲۲) از یک رویکرد سنجش از دور، با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای TERRA و حسگر MODIS برای نظارت بر شرایط خشکسالی استفاده کردند. آن‌ها برای ارزیابی شدت خشکسالی از شاخص‌های پوشش گیاهی مانند شاخص تفاوت نرمال شده گیاهی (NDVI) و شاخص شدت خشکسالی پالم (PDSI) استفاده کردند. زندگی‌فر و همکاران (۱۴۰۱) روند بلندمدت سطح آب زیرزمینی ماهیدشت استان کرمانشاه را طی یک دوره ۳۵ ساله منتهی به سال ۱۳۹۵ مورد بررسی قرار دادند. در مجموع، سطح آب زیرزمینی دشت ماهیدشت با افت ۲۴/۷۸ متری در طول دوره مورد مطالعه روند کاهشی را نشان داد. آن‌ها بیان کردند که همبستگی کم بین شاخص‌های

خشکسالی اقلیمی، شرایط آب‌های سطحی و سطح آب‌های زیرزمینی نشان می‌دهد که علت اصلی کاهش سطح آب‌های زیرزمینی سوءمدیریت و شیوه‌های استخراج ناپایدار است. Ghazi و همکاران (۲۰۲۳) در مطالعه با استفاده از مدل‌های اقلیمی به بررسی الگوهای بارش آبی و وقوع خشکسالی هواشناسی در حوضه آبریز دریاچه ارومیه پرداختند. هدف این پژوهش ارزیابی تغییرات بارندگی و فراوانی خشکسالی، شناسایی تغییرات مکانی و زمانی، و ارائه بینشی برای استراتژی‌های کاهش خشکسالی بود. نویسندگان بیان کردند که نتایج این مطالعه به تصمیم‌گیری برای پیشگیری و کاهش خشکسالی در منطقه کمک می‌کند.

همچنین برخی از مطالعات به استراتژی‌های مدیریت خشکسالی در ایران پرداخته‌اند. Almasi و Tavakkoli (۲۰۱۹) از روش‌های آماری برای تجزیه و تحلیل داده‌های خشکسالی در غرب ایران (کرمانشاه) استفاده کردند و نتایج این مطالعه نشان داد کشاورزان در استان کرمانشاه استراتژی‌های مدیریت خشکسالی را ترجیح می‌دهند که مقرون به صرفه باشد. کسانی که دام بیشتر، یا مزارع بزرگ‌تر دارند، احتمالاً از استراتژی‌های گران‌قیمت استفاده می‌کنند و برعکس. این یافته‌ها نشان می‌دهد که سیاست‌گذاران باید برنامه‌های مدیریت خشکسالی را متناسب با نیازهای مزارع کوچک و مردم فقیر، به ویژه در کشورهای در حال توسعه، ایجاد کنند. Savari و Shokati Amghani (۲۰۲۱) مطالعه‌ای را برای بررسی عوامل موثر بر انتخاب راهبردهای سازگاری کشاورزان ایرانی در پاسخ به خشکسالی انجام دادند. هدف آن‌ها درک عوامل تعیین‌کننده‌ای بود که تصمیمات کشاورزان را شکل می‌دهد و راه‌حلی برای کاهش خطرات در فعالیت‌های کشاورزی پیشنهاد کردند.

جنبه‌های مدیریت ریسک خشکسالی

طرح مدیریت خشکسالی یک ابزار برنامه‌ریزی است که می‌تواند در مقیاس حوضه یا مقیاس‌های دیگر اعمال شود. هدف آن تعریف سازوکارها و روش‌شناسی برای تشخیص و پیش‌بینی خشکسالی، تعیین آستانه برای مراحل مختلف خشکسالی با تشدید و کاهش آن، تعریف اقداماتی برای دستیابی به اهداف خاص در هر مرحله خشکسالی، تضمین شفافیت و مشارکت عمومی در توسعه استراتژی‌های خشکسالی است. هدف اصلی برنامه‌های مدیریت خشکسالی به حداقل رساندن اثرات نامطلوب بر اقتصاد، زندگی اجتماعی و محیط زیست در هنگام بروز خشکسالی است. در مقایسه

با سیل، خشکسالی به اندازه کافی در تحقیقات کاوش نشده است (Kreibich و همکاران، ۲۰۱۹). اگرچه خشکسالی به عنوان یک "خطر" به خوبی مورد مطالعه قرار گرفته است، اما یک ارتباط واضح بین خطر خشکسالی و اثرات آن هنوز وجود ندارد (Hagenlocher و همکاران، ۲۰۱۹). Blauhut (۲۰۲۰) به پیچیدگی سه گانه تحلیل ریسک خشکسالی اشاره کردند. آن‌ها بیان کردند که در مدیریت ریسک خشکسالی باید به سه جنبه مخاطره، آسیب‌پذیری و اثرات خشکسالی توجه کرد. برای درک بهتر ریسک خشکسالی تعاریف جامعی از مفاهیم دخیل در آن نیاز است. بنابراین برای تبیین یک طرح مدیریت خشکسالی جامع باید جنبه‌های مختلف آن در نظر گرفته شود. از طرفی برخی از مطالعات "در معرض بودن" را نیز در مدیریت ریسک خشکسالی بررسی کرده‌اند. در مطالعات خشکسالی، "در معرض بودن" به درجه‌ای اطلاق می‌شود که یک منطقه خاص در معرض خطر خشکسالی است. این شامل ارزیابی فراوانی، شدت و مدت وقایع خشکسالی است که یک مکان ممکن است در طول زمان تجربه کند. قرار گرفتن در معرض خطر خشکسالی را می‌توان با تجزیه و تحلیل محصولات آبی و غیرآبی مورد مطالعه قرار داد و آسیب‌پذیری را می‌توان از طریق شاخص‌های اجتماعی-اکولوژیکی سیستم ارزیابی کرد (Meza و همکاران، ۲۰۲۰).

۱. مخاطره به عنوان مؤلفه‌ای از ریسک خشکسالی

داده‌های هواشناسی موثق، صحیح و کامل، پایه و اساس تحلیل‌های ریسک خشکسالی را تشکیل می‌دهد. برآورد عوامل مختلف شکل دهنده خشکسالی با نمایش دقیق آن‌ها به کمک پیش‌بینی کننده‌های مناسب ممکن است. شدت مخاطره خشکسالی معمولاً با استفاده از شاخص‌های مفرد^{۱۲} یا شاخص‌های ترکیبی^{۱۳} مختلفی سنجش می‌شود. شاخص‌های ترکیبی، شاخص‌هایی هستند که از چندین نشانگر^{۱۴} به دست می‌آیند که با استفاده از یک فرمول یا الگوریتم ریاضی مشخصی ترکیب می‌شوند. شاخص‌های خشکسالی رایج شامل شاخص شدت خشکسالی پالمر (PDSI)^{۱۵}، شاخص استاندارد شده بارش (SPI)، شاخص استاندارد شده تبخیر-ترقرق-بارش (SPEI) و شاخص وضعیت گیاهی^{۱۶} (VCI) است. نشانگرها، متغیرهای خاصی هستند که شواهد یا اطلاعاتی در مورد شدت وقوع یا اثرات خشکسالی ارائه می‌دهند (نمونه‌هایی از متغیرها شامل سطوح بارندگی، رطوبت خاک، دبی رودخانه‌ها و چشمه‌ها، پوشش گیاهی، و سطح آب‌های زیرزمینی است که در خشکسالی‌ها مسبب کاهش عملکرد کشاورزی، زیان‌های اقتصادی و آسیب‌پذیری

اجتماعی می‌شوند). Bachmair و همکاران (۲۰۱۴) به منظور ایجاد بینش مناسب در مورد رابطه بین شاخص‌های آب و هواشناسی و اثرات خشکسالی از دو شاخص ترکیبی اقلیمی خشکسالی (SPEI و SPI) و جریان و تراز آب زیرزمینی به عنوان نشانگر این شاخص‌ها استفاده کردند. این مطالعه ارتباط نزدیک نشانگرهای انتخابی را با اثرات خشکسالی برجسته می‌کند.

خطرات خشکسالی بسته به عوامل اقلیمی و جغرافیایی به طور قابل توجهی متفاوت است. به عنوان مثال در مناطق خشک و نیمه‌خشک خشکسالی باعث کمبود آب، بیابان زایی (تخریب زمین و کاهش حاصلخیزی خاک) و بروز طوفان‌های گرد و غبار می‌شود (Emadodin و همکاران، ۲۰۱۹؛ Haghighi و همکاران، ۲۰۱۸). مطالعات مختلف در مناطق مرطوب پیامدهای متفاوتی مانند از بین رفتن محصولات دیم، آتش‌سوزی جنگل‌ها و مسائل مربوط به کیفیت آب در اثر خشکسالی را گزارش کرده‌اند (Schlesinger و همکاران، ۲۰۱۶؛ Venkatappa و همکاران، ۲۰۲۱). از طرفی در مناطق ساحلی پدیده خشکسالی باعث نفوذ آب شور به سفره‌های آب شیرین شود و تولید و تکثیر شیلات را در آن مناطق تحت تأثیر قرار دهد (Conrads و Darby، ۲۰۱۷؛ Mickle و همکاران، ۲۰۱۸). بسیاری از مطالعات در مورد ارزیابی‌های ریسک خشکسالی، شرایط پوشش گیاهی را عاملی برای ارزیابی مخاطره می‌دانند (Li و همکاران، ۲۰۲۰)، اما در مورد تکیه بر شرایط پوشش گیاهی تردید وجود دارد زیرا این موضوع می‌تواند تحت تأثیر عوامل دیگری مانند سیل نیز باشد. علاوه بر این، تأثیر خشکسالی بر پوشش گیاهی می‌تواند بسته به عواملی مانند فصل، نوع پوشش زمین، ویژگی‌های خاک و آب و هوای منطقه تغییر کند (Vicente-Serrano و همکاران، ۲۰۱۲). بررسی‌ها نشان می‌دهد در بیش از ۶۰ درصد از مطالعات در مورد خشکسالی، نوع خشکسالی (هیدرولوژیکی، کشاورزی یا هواشناسی) به وضوح تعیین نشده است (Hagenlocher و همکاران، ۲۰۱۹).

در معرض بودن / مواجهه به عنوان مؤلفه ریسک خشکسالی

یکی از مؤلفه‌های ریسک خشکسالی، قرار گرفتن در معرض آن است. ریسک خشکسالی نتیجه قرار گرفتن منطقه در معرض بلایای طبیعی و کمبود آب طولانی مدت است. بنابراین مناطق آسیب‌پذیر، باید ویژگی‌های توزیع خطر خشکسالی را بهتر درک کنند تا خسارات ناشی از خشکسالی را به حداقل برسانند. با شناسایی مناطق و جمعیت‌های آسیب‌پذیر در برابر خشکسالی، سیاست‌گذاران می‌توانند مداخلات

هدفمندی را برای کاهش تأثیرات اجرا کنند. مطالعات مختلف عوامل متفاوتی را برای ارزیابی مواجهه با ریسک خشکسالی در نظر گرفته‌اند. به عنوان مثال عواملی مانند جمعیت دائمی یک منطقه یا رشد جمعیت، تغییرات اقلیم، میزان مصرف آب توسط انسان، مساحت زمین‌های زیرکشت و ارزش تولید ناخالص کشاورزی، جنگل‌داری و شیلات می‌توانند به عنوان پارامترهایی برای مطالعه مواجهه مورد استفاده قرار گیرند (Smirnov و همکاران، ۲۰۱۶؛ Chou و همکاران، ۲۰۱۹). همچنین ممکن است میزان مخاطره و مواجهه همیشه یکسان یا مشابه نباشد. در برخی مطالعات دیده می‌شود با اینکه میزان مخاطره خشکسالی در یک منطقه کم است اما به دلیل زیاد بودن مؤلفه "در معرض بودن"، ریسک خشکسالی نیز در آن منطقه بالا است.

۲. عامل آسیب‌پذیری به عنوان مؤلفه ریسک خشکسالی

ارزیابی آسیب‌پذیری شامل ارزیابی شرایط اجتماعی-اقتصادی و اکولوژیکی غالب است که بر حساسیت و انعطاف‌پذیری سیستم‌ها در برابر خشکسالی تأثیر می‌گذارد. این مؤلفه به دانش عمیقی از عوامل آسیب‌پذیر نیاز دارد که ممکن است بر اساس قضاوت متخصص و ورودی ذی‌نفعان متفاوت باشد. بررسی آسیب‌پذیری کمک می‌کند تا عواملی را که افراد و مکان‌ها را در معرض خطر قرار می‌دهند و توانایی آن‌ها را برای مقابله با تهدیدات محیطی کاهش می‌دهند، درک شود. آسیب‌پذیری به ویژگی‌های ذاتی و متغیر عناصر در معرض خطر اشاره دارد که میزان خسارت مورد انتظار ناشی از رویدادهای خطرناک را تعیین می‌کند و در طول زمان به دلیل عوامل فیزیکی، اجتماعی، اقتصادی و محیطی تغییر می‌کند. به‌طور کلی مطالعات مختلف عوامل متعددی را برای مطالعه آسیب‌پذیری در برابر خشکسالی در نظر گرفته‌اند که مهم‌ترین آن‌ها کاربری اراضی، تراکم جمعیت و مساحت زمین‌های آبیاری شده بوده است (Blauhut، ۲۰۲۰). کمی‌سازی و توصیف آسیب‌پذیری خشکسالی شامل شناسایی عوامل مرتبط مؤثر بر آن از نقطه نظر قرار گرفتن در معرض^{۱۶}، حساسیت^{۱۷} و ظرفیت سازگاری^{۱۸} است. هدف نهایی ارزیابی آسیب‌پذیری خشکسالی، شناسایی منابع اساسی متأثر از خشکسالی است.

۳. اطلاعات مربوط به اثرات/ پیامدها به عنوان مؤلفه‌ای از ریسک خشکسالی

اثرات/پیامدهای خشکسالی به‌عنوان نشانه‌های آسیب‌پذیری در برابر خشکسالی شناخته می‌شوند. اگر سیستمی "تحت تاثیر" قرار گرفته باشد، "آسیب‌پذیر" بوده‌است. وقوع

خشکسالی می‌تواند تأثیرات منفی و گاهی مثبت ایجاد کند، اما مطالعات معمولاً بر روی جنبه منفی خشکسالی بر شرایط محیطی، اقتصادی یا اجتماعی تمرکز می‌کنند (Stahl و همکاران، ۲۰۱۶؛ Blauhut، ۲۰۲۰). در حال حاضر، بیشتر داده‌های مربوط به اثرات خشکسالی در درجه اول میزان خسارات را به صورت سالانه تعیین می‌کنند و جنبه‌های مختلفی مانند جان انسان‌ها، عملکرد محصول و زیان‌های اقتصادی را پوشش می‌دهند، اما عموماً در این مطالعات طبقه‌بندی خاصی که به طور مشخص نشان دهد این زیان‌های اقتصادی تنها به دلیل خشکسالی بوده است وجود ندارد (Blauhut، ۲۰۲۰).

کمی‌سازی اثرات خشکسالی^{۱۹}

اثرات خشکسالی نتیجه تعامل بین عوامل مخاطره، در معرض بودن و آسیب‌پذیری است. کمی کردن این تأثیرات بینشی در مورد پیامدهای منفی رویدادهای خشکسالی ارائه می‌دهد و به نظارت عملیاتی ریسک خشکسالی و برنامه‌ریزی بلندمدت کمک می‌کند. هر یک از این مؤلفه‌ها پویا هستند و در طول زمان تغییر می‌کنند، بنابر این حسابداری برای تغییرپذیری زمانی این مؤلفه‌ها در تحلیل ریسک خشکسالی اهمیت زیادی دارد. باید در نظر داشت که رویکردهای مبتنی بر اثرات/پیامدها^{۲۰}، دارای شفافیت و استحکام آماری است، در حالی که مدل‌های مفهومی مبتنی بر عامل^{۲۱}، مجموعه وسیع‌تری از اطلاعات را برای مشخص کردن آسیب‌پذیری استفاده می‌کنند، اما معیارهای انتخاب برای عوامل آسیب‌پذیر در مدل‌های مفهومی اغلب فاقد اعتبار آماری هستند (Rufat و همکاران، ۲۰۱۹؛ Razmgir و همکاران، ۲۰۲۱).

سازمان‌های بین‌المللی چارچوب‌های مختلفی را برای تجزیه و تحلیل ریسک خشکسالی ارائه می‌کنند. FAO^{۲۲} (۲۰۲۱) ارزیابی ریسک خشکسالی را با ترکیبی از توصیف "مخاطره" و "در معرض بودن" پیشنهاد می‌کند. Birkmann و همکاران (۲۰۱۳) ریسک را ناشی از مخاطره، آسیب‌پذیری (شامل قرار گرفتن در معرض، حساسیت، شکنندگی^{۲۳} و عدم تاب‌آوری) و سازگاری می‌دانند. IPCC^{۲۴} (۲۰۱۴) ریسک را به‌عنوان ترکیبی از مخاطره، قرار گرفتن در معرض و آسیب‌پذیری تعریف می‌کند که منجر به اثرات بالقوه می‌شود. UNISDR^{۲۵} (۲۰۰۹) راهنمایی در مورد ارزیابی ریسک خشکسالی (DRA)^{۲۶}، شامل بررسی ویژگی‌های فنی، تجزیه و تحلیل قرار گرفتن در معرض و آسیب‌پذیری، و ارزیابی ظرفیت‌های مقابله‌ای ارائه می‌دهد. با این حال، ارزیابی "اثرات"، اگر چه در شناسایی ریسک خشکسالی بسیار مهم

چارچوب ۱۰ مرحله مدیریت ریسک خشکسالی

مدیریت خشکسالی باید چارچوبی برای تغییر پارادایم از یک الگو که به طور سنتی بر مدیریت بحران واکنشی متمرکز است به رویکردی مبتنی بر ریسک فعال ارائه دهد (این خط مشی باید به جوامع کمک کند تا شیوه تفکر و عمل خود را از حالت واکنشی به پیشگیرانه تغییر دهند). به این ترتیب دولت می‌تواند بهتر و سریع‌تر خشکسالی‌ها را مدیریت کرده



شکل ۱- چارچوب ۱۰ مرحله مدیریت ریسک خشکسالی
(Wilhite و همکاران، ۲۰۱۴)

است، به طور مداوم در فرمول آن گنجانده نشده است. به طور مشابه، UNDRR^{۲۷} (۲۰۱۹) ترکیب مخاطره، قرار گرفتن در معرض و آسیب‌پذیری را به‌عنوان ریسک خشکسالی بیان می‌کند، اما اطلاعات اثرات خشکسالی را در تجزیه و تحلیل ریسک نادیده می‌گیرد.

مدیریت خشکسالی یک تلاش چندوجهی است که ذی‌نفعان و رویکردهای مختلف را در بر می‌گیرد. انسجام مدیریتی در سازماندهی تلاش‌های مدیریت خشکسالی، به‌ویژه در تقویت ظرفیت تأمین آب بسیار مهم است (Stakhiv و همکاران، ۲۰۱۶). در یک برنامه مؤثر کاهش ریسک خشکسالی تعیین نقش‌ها و مسئولیت‌های روشن در سطوح محلی، منطقه‌ای و ملی ضرورت دارد. در مجموع سیاست‌های ملی و منطقه‌ای در مدیریت خشکسالی نقش محوری دارند، اما مدیریت مؤثر محلی نیز ضروری است.

مدیریت محلی وقتی مطرح می‌شود که فقط محدوده کوچکی تحت تأثیر خشکسالی قرار گیرد در این سطح درک بافت محلی توسط مدیران و برنامه‌ریزان بسیار مهم است. همچنین استفاده از دانش محلی می‌تواند در این کنترل و کاهش خسارات در سطح محلی ارزشمند باشد. همچنین مداخله دادن کشاورزان و ذی‌نفعان آب در برآورد شاخص‌های خشکسالی می‌تواند به همکاری آن‌ها در کاهش استفاده از آب در زمان خشکسالی کمک کند (Sarker و همکاران، ۲۰۲۰؛ Grainger و همکاران، ۲۰۲۱). خشکسالی‌های منطقه‌ای، که با تغییرات آب و هوایی تشدید می‌شوند، نیازمند یک رویکرد جامع برای مدیریت خشکسالی است که فراتر از مدیریت محلی است (Krishna Prabhakar، ۲۰۲۲).

خشکسالی‌های شدید و طولانی مدت نیازمند یک رویکرد مدیریت ملی هستند که بر کاهش ریسک تمرکز دارد (Wilhite و همکاران، ۲۰۱۴). مدیریت ملی خشکسالی باید سازگار و عادلانه باشد. شیوه‌های فعلی مدیریت خشکسالی اغلب واکنشی هستند، اما نیاز است تا با تمرکز بر مدیریت بحران به‌جای مدیریت ریسک به بازنگری ملی طرح‌ها و برنامه‌های مدیریت خشکسالی پرداخته شود. برای رسیدن به این هدف لازم است تحقیقاتی در زمینه آب و هوا (مانند تغییر الگوهای بارش، تغییر اقلیم و...) انجام شود، همچنین نیاز است تا مطالعات گسترده برای تعیین میزان مصرف (Consumption) آب محصولات مختلف (محصولات کشاورزی، صنعتی و...) به عمل آید و با بررسی‌های اقتصادی دقیق طرح‌های توسعه، به شیوه‌ای آینده‌نگرانه تدوین شوند (Neal و Moran، ۲۰۰۹؛ Fu و همکاران، ۲۰۱۳).

و همچنین جوامع راحت‌تر و قوی‌تر خود را با آن تطبیق دهند و به شرایط قبل برگردند.

WMO^{۲۸} و GWP^{۲۹} یک دستورالعمل به منظور ایجاد سیاست و برنامه برای مدیریت ریسک خشکسالی ارائه کردند. اکثر ایالت‌های آمریکا از این روش برای تهیه یا بهبود برنامه‌های خشکسالی خود استفاده کرده‌اند. سایر کشورها نیز از این روش برای تهیه برنامه‌های ملی خشکسالی خود الگو برداری کرده‌اند. این روش برای اولین بار در اوایل دهه ۱۹۹۰ ساخته شد و بارها به روز شده است و بیشتر بر نحوه جلوگیری یا کاهش خسارات ناشی از خشکسالی تمرکز دارد. این روش مجدداً تغییر کرده است تا بر چگونگی ایجاد یک سیاست ملی خشکسالی و چگونگی برنامه‌ریزی محلی که از سیاست ملی حمایت می‌کند تمرکز کند. باید توجه داشت که این طرح یک چارچوب کلی است و نیاز به بومی‌سازی برای هر منطقه دارد. شکل (۱) ۱۰ مرحله دستورالعمل مدیریت ریسک خشکسالی را به طور خلاصه نشان می‌دهد:

در ادامه هر یک از مراحل ارائه شده در شکل (۱) و نحوه پیاده‌سازی مؤثر آن‌ها پرداخته خواهد شد.

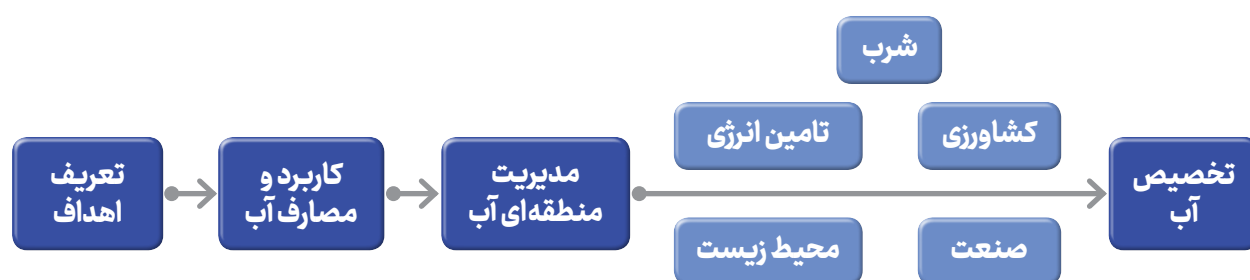
۱. تعیین کمیسیون برای مدیریت خشکسالی: فرآیند ایجاد سیاست ملی مدیریت خشکسالی با ایجاد یک کمیسیون ملی مسئول نظارت و تسهیل سیاست توسعه آغاز می‌شود. این کمیسیون هماهنگی و یکپارچگی را در بین سازمان‌های مختلف دولتی، بخش خصوصی و جامعه مدنی تضمین می‌کند تا تمام جنبه‌های نظارت بر خشکسالی، هشدار اولیه، ارزیابی اثرات، واکنش، کاهش و برنامه‌ریزی را به طور مؤثر مدیریت کند. کمیسیون دو نقش اصلی دارد: نظارت و هماهنگی توسعه و اجرای سیاست.

۲. تعریف اهداف و چشم‌اندازها: خشکسالی بخشی طبیعی از چرخه آب و هوا است، اما به دلیل تغییرات آب و هوایی ناشی از فعالیت‌های انسان به طور فزاینده‌ای تشدید می‌شود. اولین وظیفه کمیسیون، تعیین اهداف و جدول زمانی مشخص برای اجرای سیاست‌های مربوط به خشکسالی است. اصول

هدایت‌گذار از مدیریت بحران به کاهش ریسک خشکسالی شامل حصول اطمینان از اقدامات کمکی برای ارتقای تاب‌آوری و حفاظت از منابع طبیعی است. فهرست‌بندی برنامه‌های واکنش‌های اضطراری موجود و ارزیابی اثر بخشی آن‌ها ضروری است، علاوه‌براین، باید در هنگام سیاست‌گذاری، حوزه‌های کلیدی که نیاز به تخصیص آب دارند (مانند، شرب، محیط زیست، صنعت، کشاورزی، تامین انرژی و...) مشخص شود و اهمیت آن‌ها با توجه به ویژگی‌های اقتصادی، اجتماعی و ملاحظات سیاسی تعیین شود. همچنین باید برنامه‌ریزی‌هایی در جهت شیوه و مقدار آب تخصیص یافته، انجام شود (شکل ۲).

۳. مشارکت ذی‌نفعان: باید یک نماینده متخصص در علوم اجتماعی، ارتباط عمومی و همچنین علم مدیریت منابع آب تعیین شود تا رابطی بین بخش‌های دولتی، سیاست‌گذاران و مدیران با ذی‌نفعان و آب‌بران باشد. این نماینده ممکن است یک فرد یا گروهی از افراد با تخصص‌های متفاوت باشند تا بتوانند ارتباطات پیچیده بین بخش‌های مختلف مانند جامعه، اقتصاد و محیط‌زیست که همگی به منابع آب متکی هستند را حفظ کنند. این متخصصان نقش مهمی در توسعه سیاست‌های خشکسالی ایفا می‌کند. در زمان وقوع خشکسالی که رقابت برای آب تشدید می‌شود، اغلب درگیری‌هایی به وجود می‌آیند. مشارکت دادن گروه‌های ذی‌نفع منابع آب، به‌طور مستمر، توسعه سیاست مؤثر در سطوح ملی و زیرملی را تضمین می‌کند. تعهدات بین‌المللی در مورد رودخانه‌های فرامرزی نیز باید در نظر گرفته شود. برای تسهیل مشارکت، ایجاد یک شورای مشورتی شهروندان در ساختار کمیسیون سودمند است.

۴. شناسایی داده‌ها و منابع مالی / شناسایی گروه‌های در معرض خطر: کمیسیون باید محدودیت‌هایی که می‌تواند مانع از سیاست‌های توسعه شود شناسایی کند. ارزیابی آسیب‌پذیری منابع موجود در برابر کمبود آب ناشی از خشکسالی بسیار مهم است. شناسایی محدودیت‌های توسعه و اجرای سیاست نیز ضروری است. ارزیابی ریسک، قرار گرفتن در معرض



شکل ۲- پروسه تعریف اهداف کمیسیون خشکسالی

خطرات خشکسالی و آسیب‌پذیری را تحت تأثیر عوامل اجتماعی مانند رشد جمعیت و تغییرات کاربری زمین در نظر می‌گیرد.

برداشت و تخصیص آب در هر منطقه باید باتوجه به ویژگی‌های جغرافیایی، شرایط اقتصادی و مؤلفه‌های فرهنگی آن منطقه انجام شود. در این مرحله پس از شناسایی گروه‌های در معرض خطر، با گردآوری داده‌های مورد نیاز، یک دیدگاه تخصیص کل به جزء نیاز است. به این معنا که تخصیص ابتدا در سطح کلان (به طور مثال در سطح کشور)، سپس در سطح منطقه (مثلاً استان‌ها یا شهرها) و پس از آن در سطح محلی (مناطق مختلف یک شهر) انجام می‌شود. بنابراین سیستم محلی توزیع شامل شبکه‌های آب‌رسانی (مانند شبکه آب و فاضلاب)، منابع تامین آب، و همچنین تخصیص آب به گروه‌هایی است که به صورت محلی بیشتر در معرض خشکسالی قرار دارند. شکل (۳) مراحل شناسایی و جمع‌آوری داده‌های مورد نیاز برای مدیریت موثر خشکسالی را نشان می‌دهد.

۵. تعیین اصول کلیدی مدیریت خشکسالی و برنامه‌های آمادگی:

برنامه‌های آمادگی اجزای حیاتی سیاست‌های ملی خشکسالی هستند که هدف آن‌ها کاهش خطرات مرتبط با خشکسالی است. این طرح‌ها باید با اصول کاهش ریسک همسو باشند و می‌توانند به دو شکل برنامه‌ریزی واکنشی و برنامه‌ریزی کاهشی در مورد ریسک خشکسالی باشند. برنامه‌ریزی واکنشی در طول رویدادهای خشکسالی برای رسیدگی به اثرات خاص فعال می‌شود. از سوی دیگر، برنامه‌ریزی کاهشی، آسیب‌پذیری‌ها را شناسایی می‌کند و بر اقدامات پیشگیرانه برای کاهش خطرات مرتبط با خشکسالی تمرکز می‌کند.

برنامه‌ریزی کاهشی شامل اهداف مختلفی از جمله جمع‌آوری و تجزیه و تحلیل اطلاعات مربوط به خشکسالی، ایجاد معیارهایی برای اعلام شرایط اضطراری خشکسالی، تعریف مسئولیت‌های سازمان‌ها، شناسایی مناطق و بخش‌های آسیب‌پذیر و اطلاع‌رسانی به موقع به مردم است.

۶. شناسایی نیازهای تحقیقاتی و پر کردن شکاف‌های سازمانی:

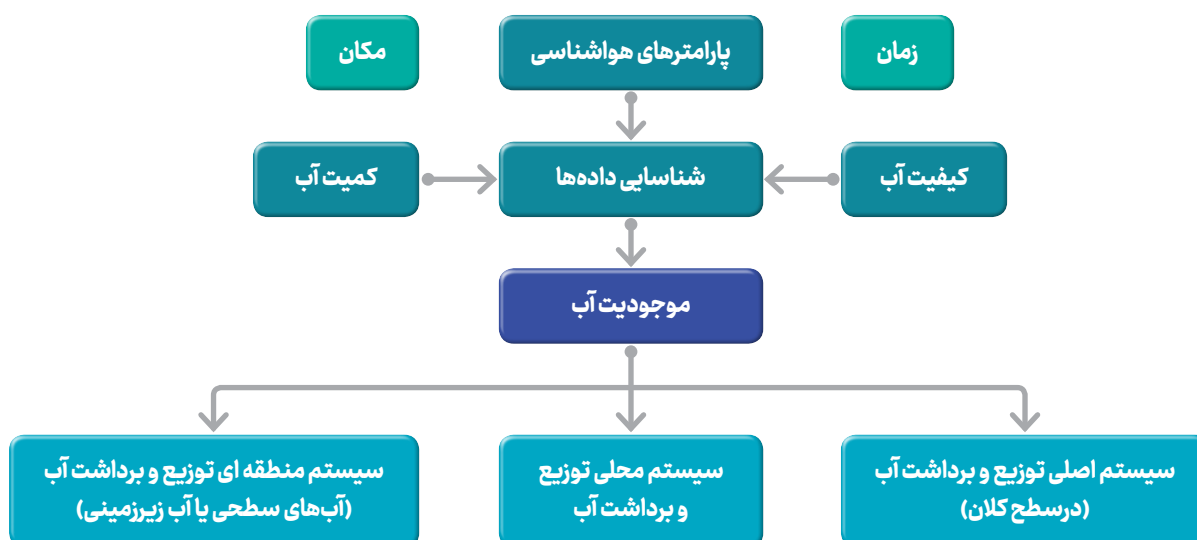
کمیسیون سیاست ملی خشکسالی باید نیازهای تحقیقاتی را برای درک بهتر خشکسالی، اثرات آن و گزینه‌های کاهش خطر شناسایی کند. کمیسیون این نیازها را در اولویت‌های اقدامات و بودجه آینده جمع‌آوری خواهد کرد. شناسایی شکاف‌های نهادی، مانند عدم وجود شبکه‌های نظارتی (که بر فعالیت‌های هر بخش یا ارگان نظارت دارند و در صورت تخلف آن‌ها را مورد بازخواست قرار می‌دهند)، برای سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی مؤثر نیز ضروری است.

۷. ادغام جنبه‌های علمی و سیاسی مدیریت خشکسالی: فرآیند

سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی برای مدیریت خشکسالی مستلزم ادغام جنبه‌های علم و سیاست است، زیرا سیاست‌گذاران اغلب درک درستی از مسائل علمی ندارند و دانشمندان ممکن است محدودیت‌های سیاست را درک نکنند. بهبود ارتباطات بین این جوامع برای برنامه‌ریزی موفق بسیار مهم است.

۸. اطلاع‌رسانی عمومی برنامه مدیریت خشکسالی: ارتباط موثر با

مردم در طول ایجاد یک سیاست و برنامه خشکسالی و آگاهی رسانی از اهداف پروژه احتمال موفقیت آن را افزایش می‌دهد. استفاده از رسانه‌های محلی و ملی در طول فرآیند توسعه سیاست برای انتشار اطلاعات بسیار مهم است. آبخاری که باید برجسته شوند شامل: تغییرات رفتاری لازم برای کاهش



شکل ۳- شناسایی و جمع‌آوری داده‌ها

اثرات خشکسالی و برنامه‌های آمادگی دولت و سیاست‌های جدید مدیریت آب باشد. همچنین در طول فصول حساس به خشکسالی، انتشار اخبار دوره‌ای می‌تواند مردم را در مورد وضعیت تأمین آب و پیش‌بینی‌های موجود به روز کند.

۹. توسعه برنامه‌های آموزشی: یک برنامه آموزشی جامع با هدف قرار دادن تمام گروه‌های سنی برای افزایش آگاهی از استراتژی جدید مدیریت خشکسالی، اهمیت آمادگی و مسائل تأمین آب ضروری است.

۱۰. ارزیابی و بازنگری برنامه مدیریت خشکسالی: سیاست ملی خشکسالی به ارزیابی و به روز رسانی منظم برای ادغام فناوری‌های جدید، درس‌هایی از خشکسالی‌های اخیر و تغییرات ویژگی‌های آسیب‌پذیری نیاز دارند. مرحله نهایی در این فرآیند شامل ایجاد رویه‌های دقیق برای ارزیابی کامل موفقیت‌ها و کاستی‌های سیاست و برنامه‌ها در همه سطوح است.

در بسیاری از مناطق، از جمله ایران، تضاد منافع بین ذی‌نفعان مختلف می‌تواند مانع تلاش‌های مدیریت خشکسالی شود. مقالات متعددی عدم وجود یک راهکار مناسب برای حل چالش‌های مربوط به تضاد منافع در ارگان‌های مختلف پرداخته‌اند، به عنوان مثال Foltz (۲۰۰۲) بیان کرد با وجود اینکه بحران آب ایران تا حدی به دلیل خشکسالی است اما سوء مدیریت منابع آب در این کشور در سازمان‌های مختلف بحران آب را تشدید می‌کند. همچنین در پژوهشی که توسط Hayati و Bijani (۲۰۱۸) انجام شد، مشخص شد رضایت کشاورزان از مدیریت آب «کم» است و دلایل اصلی وجود تعارض در تخصیص آب کشاورزی، کم‌آبی، خشکسالی و نوع مدیریت آب است. برای پرداختن به این چالش، چارچوب پیشنهادی ما بر اهمیت موارد زیر تأکید دارد:

- **اصلاحات نهادی:** ایجاد نقش‌ها و مسئولیت‌های روشن برای نهادهای مختلف درگیر در مدیریت آب. این موضوع شامل افزایش شفافیت، پاسخگویی و هماهنگی میان سازمان‌های دولتی، سازمان‌های جامعه مدنی و بخش خصوصی است.
- **تصمیم‌گیری مشارکتی:** تشویق مشارکت عمومی در تصمیم‌گیری‌های مدیریت آب.
- **سازوکارهای حل تعارض:** توسعه سازوکارهای موثر برای حل تعارض بین سهام‌داران مختلف. این اقدامات ممکن است شامل میانجی‌گری، داوری یا فرآیندهای مذاکره باشد.

باتوجه به نقش مدیریت مشارکتی و بازار آب، این رویکردها

می‌توانند نقش موثری در رفع چالش‌های مدیریت خشکسالی داشته باشند. همچنین با توانمندسازی جوامع محلی برای مدیریت منابع آب به صورت جمعی، مدیریت مشارکتی می‌تواند به پرورش احساس مالکیت و مسئولیت در بین ذی‌نفعان کمک کند. این همچنین می‌تواند کارایی و اثربخشی استفاده از آب را بهبود بخشد. از طرفی بازارهای آب با طراحی خوب می‌توانند مشوق‌هایی را برای استفاده و تخصیص کارآمد آب ایجاد کنند. اگر آب برای تجارت آزاد در بازارهای آب وارد شود، آنگاه می‌توان تاحدودی اطمینان حاصل کرد که تخصیص آب به بالاترین اولویت‌ها با بیشترین سود اختصاص یابد.

نمونه‌های جهانی

خشکسالی به عنوان یکی از پیچیده‌ترین و مخرب‌ترین بلایای طبیعی، نیازمند رویکردی نظام‌مند و جامع برای مدیریت اثربخش است. در بخش‌های پیشین، چارچوبی برای مدیریت یکپارچه خشکسالی ارائه شد. این چارچوب با تأکید بر رویکردهای پیش‌گیرانه، نظارتی و انطباقی طراحی شده است. اما پرسش کلیدی اینجاست که چگونه کشورهای مختلف این الگو را در بستر واقعی اجرا کرده‌اند؟ تجربه‌های بین‌المللی نشان می‌دهد که موفقیت در مدیریت خشکسالی مستلزم بومی‌سازی چارچوب‌های کلی باتوجه به سه عامل حیاتی است: شرایط اقلیمی و هیدروژئولوژیکی، ساختارهای حکمرانی آب، توانمندی‌های اقتصادی-اجتماعی، بااین حال کشورهای زیادی در دنیا از این چارچوب برای مدیریت خشکسالی با تغییرات جزئی در آن و مطابقت دادن این برنامه با سیاست‌ها و توانمندی‌هایشان استفاده کرده‌اند. در ادامه به نمونه‌هایی از تجربه‌های جهانی بومی‌سازی شده این چارچوب پرداخته خواهد شد.

● **مدیریت خشکسالی در آمریکا:** ایالات متحده از لحاظ تاریخی در درجه اول با رویکرد واکنشی و مدیریت بحران، با تمرکز بر واکنش اضطراری و برنامه‌های امدادی، به خشکسالی پاسخ داده است. بااین حال، با گذشت زمان این پاسخ‌ها ناکافی و نابه‌هنگام توصیف شده‌اند و در کاهش آسیب‌پذیری ناکارآمد عمل کرده‌اند. بنابراین مدیریت خشکسالی در ایالات متحده به سمت استراتژی‌های آمادگی پیشگیرانه و کاهش بر اساس اصول مدیریت حرکت کرده‌است. هدف از این تغییر، افزایش تاب‌آوری و کاهش اثرات خشکسالی بر جامعه بوده است. برنامه‌های خشکسالی ایالتی در اکثر ایالت‌های آمریکا از اوایل دهه ۱۹۸۰ به منظور رسیدگی به اثرات خشکسالی و

۲. اجرای فعالیتهای درآمدزا و ایجاد اشتغال (نگهداری راههای روستایی و زیرساختهای آبیاری)
۳. حفظ جنگلها و منابع طبیعی.

مراکش در ظرفیتهای نهادی و فنی ملی در زمینههایی مانند مدل سازی آب و هوا، سنجش از دور و پیش بینی محصول سرمایه گذاری کرده است. استراتژی مراکش بر کاهش آسیب پذیری نسبت به خشکسالی در سطوح ملی و بخشی، به ویژه در کشاورزی و اقتصاد روستایی متمرکز است (Wilhite و همکاران، ۲۰۱۴).

نتیجه گیری

این مطالعه بر اهمیت حیاتی مدیریت جامع ریسک خشکسالی در پرداختن به چالشهای چند وجهی ناشی از آن تمرکز دارد. با اندیشیدن در تعریف خشکسالی و بررسی روشهای مختلف مورد استفاده پژوهشگران برای تخمین آن، زمینه برای درک عمیق تر این پدیده پیچیده فراهم می شود. در این پژوهش با توضیح چهار جنبه کلیدی مدیریت ریسک خشکسالی -مخاطره، قرار گرفتن در معرض، آسیب پذیری و اثرات- نیاز به یک رویکرد کل نگر را که به طور جامع به هر بعد می پردازد برجسته شد.

رویکردهای پیشگیرانه و تطبیقی برای مدیریت ریسک خشکسالی در مواجهه با شرایط محیطی در حال تحول و پویاییهای اجتماعی ضروری هستند. این امر بر نیاز به بازنگری مستمر و انطباق راهبردها برای اطمینان از ارتباط و اثربخشی آنها در کاهش اثرات خشکسالی تأکید دارد. مشارکت عمومی با ارتقای آگاهی، آموزش و همکاری، انسجام اجتماعی و ظرفیت سازگاری را تقویت می کند. همچنین بهره گیری از خرد جمعی و منابع ذی نفعان مختلف، مدیریت فراگیرتر و مؤثرتر خطر خشکسالی را امکان پذیر می کند.

یک چارچوب جدید متشکل از ۱۰ مرحله ضروری برای مدیریت ریسک خشکسالی معرفی شد. این چارچوب باید متناسب با ویژگیهای منحصر به فرد جغرافیایی، اجتماعی، فرهنگی و اقتصادی جوامع بازبینی شود و سپس در دستور کار دولت ها قرار گیرد. این مراحل یک نقشه راه سیستماتیک و قابل انطباق برای مدیریت مؤثر ریسک خشکسالی در سطوح محلی، منطقه ای و ملی ارائه می کنند. با ادغام این چارچوب در رویه های موجود، سیاست گذاران و ذی نفعان می توانند ظرفیت خود را برای پیش بینی، کاهش ریسک و واکنش به رویدادهای خشکسالی با کارایی و اثربخشی بیشتر افزایش دهند.

افزایش آمادگی در برابر آن تهیه شده اند. بسیاری از ایالت های آمریکا از فرآیند برنامه ریزی ۱۰ مرحله ای خشکسالی به عنوان راهنمایی برای توسعه برنامه های خشکسالی خود استفاده کرده اند (Wilhite و همکاران، ۲۰۱۴).

● **مدیریت خشکسالی در مکزیک:** سیاست گذاران این کشور ضرورت یک استراتژی کارآمد در زمینه مدیریت خشکسالی را ضروری اعلام کرده اند و بیان کردند که برنامه مدیریت خشکسالی شامل اجرای اقدامات کاهش خطر قبل از شروع رویدادهای خشکسالی بعدی است (Wilhite، ۲۰۱۹). در پاسخ به خشکسالی های مکرر از سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۳، مکزیک برنامه ملی مقابله با خشکسالی با عنوان "PRONACOSE" را در ژانویه ۲۰۱۳ راه اندازی کرد. این برنامه توسط کمیسیون ملی آب با پشتیبانی فنی از مدیریت یکپارچه خشکسالی ۱۰ مرحله ای WMO/GWP هماهنگ شد. هدف این برنامه ملی، توسعه ابزارهای پیشگیرانه برای مدیریت یکپارچه خشکسالی در سطح حوضه است. این برنامه بر آموزش، افزایش آگاهی، اقدامات پیشگیرانه، هماهنگی بین سازمانی، مشارکت کارشناسان، استراتژی های ارتباطی و سازوکارهای ارزیابی تمرکز دارد (Wilhite و همکاران، ۲۰۱۴). فعالیتهای PRONACOSE در سه مسیر اصلی ساختار یافته است:

۱. تدوین و اجرای اقدامات پیشگیری و کاهش خشکسالی از جمله پایش و هشدار سریع.
۲. ایجاد چارچوب قانونی برای تضمین تأمین مداوم آب آشامیدنی در زمان خشکسالی.
۳. هماهنگی واکنش های سازمان های مختلف برای اقدامات کاهش ریسک خشکسالی.

● **مدیریت خشکسالی در مراکش:** مراکش سابقه تجربه خشکسالی های مکرر را با بیش از ۸۹ رویداد خشکسالی بین سال های ۱۰۰۰ تا ۱۹۸۴ دارد و خشکسالی به یک پدیده مزمن در این کشور تبدیل شده است، به طوری که بین سال های ۱۹۷۵ تا ۲۰۰۴ این کشور یکی از طولانی ترین خشکسالی ها را تجربه کرده است (Fnuigire و همکاران، ۲۰۱۷) و قرن بیستم به عنوان یکی از خشک ترین دوره ها در نه قرن اخیر در مراکش شناخته شده است. در طول سالیان، مراکش این سیستم مدیریت یکپارچه خشکسالی را توسعه داده است که ۳ هدف اساسی داشته است:

۱. تأمین آب آشامیدنی سالم برای جمعیت روستایی و حفظ دامها از طریق توزیع خوراک.

پی‌نوشت‌ها

- Agency, E. E. (2017). Climate change adaptation and disaster risk reduction in Europe: enhancing coherence of the knowledge base, policies and practices. Copenhagen K, Denmark. <https://doi.org/10.2800/938195>
 - Almasi, H., & Tavakkoli, J. (2019). The effectiveness of drought risk management strategies in western Iran. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 40, 101159. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2019.101159>
 - Anderson, J. R. (2006). Drought: Economic Consequences and Policies for Mitigation Global Overview. International Association of Agricultural Economists (IAAE), 2006 Annual Meeting, Queensland, Australia. <https://doi.org/10.22004/ag.econ.25347>
 - Bachmair, S., Kohn, I., & Stahl, K. (2014). Exploring the link between drought indicators and impacts. *Nat Hazards Earth System Science Discuss*, 2(12), 7583-7620. <https://doi.org/10.5194/nhess-15-1381-2015>
 - Bijani, M., & Hayati, D. (2018). Farmers' Perceptions toward Agricultural Water Conflict: The Case of Doroodzan Dam Irrigation Network, Iran. *Agricultural Water Conflict*, 17, 561-575. <http://hdl.handle.net/123456789/4206>
 - Birkmann, J., Cardona, O. D., Carreño, M. L., Barbat, A. H., Pelling, M., Schneiderbauer, S., Kienberger, S., Keiler, M., Alexander, D., & Zeil, P. (2013). Framing vulnerability, risk and societal responses: the MOVE framework. *Natural hazards*, 67, 193-211. <https://doi.org/10.1007/s11069-013-0558-5>
 - Blauhut, V. (2020). The triple complexity of drought risk analysis and its visualisation via mapping: a review across scales and sectors. *Earth-Science Reviews*, 210, 103345. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2020.103345>
 - Breinl, K., Di Baldassarre, G., Mazzoleni, M., Lun, D., & Vico, G. (2020). Extreme dry and wet spells face changes in their duration and timing. *Environmental Research Letters*, 15(7), 074040. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab7d05>
 - Bucheli, J., Dalhaus, T., & Finger, R. (2021). The optimal drought index for designing weather index insurance. *European Review of Agricultural Economics*, 48(3), 573-597. <https://doi.org/10.1093/erae/jbaa014>
 - Cammalleri, C., Naumann, G., Mentaschi, L., Formetta, G., Forzieri, G., Gosling, S., Bisselink, B., De Roo, A., & Feyen, L. (2020). Global Warming and Drought Impacts in the EU. Publications Office of the European Union. Luxembourg. JRC PESETA IV project: Task 7, ISBN 978-92-76-12947-9. <https://doi.org/10.2760/597045>
 - Chou, J., Xian, T., Zhao, R., Xu, Y., Yang, F., & Sun, M. (2019). Drought risk assessment and estimation in vulnerable eco-regions of China: under the background of climate change. *Sustainability*, 11(16), 4463. <https://doi.org/10.3390/su11164463>
 - Conrads, P. A., & Darby, L. S. (2017). Development of a coastal drought index using salinity data. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 98(4), 753-766. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-15-00171.1>
 - Dai, A., Trenberth, K. E., & Qian, T. (2004). A global dataset of Palmer Drought Severity Index for 1870-2002:
1. Drought
 2. Standardized Precipitation Index
 3. Water Capacity
 4. Standardized Runoff Index
 5. Standardized Precipitation Evapotranspiration Index
 6. The Standard Water-Soil Index, is a measure used to quantify soil moisture conditions.
 7. Dry Spell
 8. Water Scarcity
 9. Water Year
 10. Hazard
 11. Individual Index
 12. Combined Index
 13. Indicator
 14. Palmer Drought Severity Index
 15. Vegetation Condition Index
 16. Exposure
 17. Sensitivity
 18. Adaptive Capacity
 19. Quantification of Drought Impacts
 20. Impact-based Approaches
 21. Factor-based Conceptual
 22. Food and Agriculture Organization
 23. Fragility
 24. Intergovernmental Panel on Climate Change
 25. UN-International Strategy for Disaster Reduction
 26. Drought Risk Assessment
 27. United Nations Office for Disaster Risk Reduction
 28. - World Meteorological Organization
 29. - Global Warming Potential

منابع

- انصاری، حسین، و داوری، کامران. (۱۳۸۶). پهنه بندی دوره خشک با استفاده از شاخص بارندگی استاندارد شده در محیط GIS «مطالعه موردی: استان خراسان». پژوهش‌های جغرافیایی، ۳۹(۶۰)، ۹۷-۱۰۸. <https://sid.ir/paper/5493/fa>
- زندی‌فر، سمیرا، جلیلی، عادل، سعیدی‌فر، زهرا، و نعیمی، مریم. (۱۴۰۱). ارزیابی خشکسالی و مداخلات انسانی در کاهش ذخایر آب زیرزمینی. تحقیقات حمایت و حفاظت جنگل‌ها و مراتع ایران، ۲۰(۱)، ۱۹۹-۲۰۱۸. <https://doi.org/10.22092/ijfrpr.2022.356091.1513>
- لطفی نسب اصل، سکینه، درگاهیان، فاطمه، گوهردوست، آزاده، حاتم بهاروند، اسد، و رضوی زاده، سمانه. (۱۴۰۲). تحلیل وضعیت خشکسالی و ارتباط آن با رخداد تغییر اقلیم مطالعه موردی: سایت‌های زوال بلوط سرابله، استان ایلام. مجله تحقیقات مرتع و بیابان ایران، ۳۰(۲)، ۳۳۵-۳۵۴.

- Relationship with soil moisture and effects of surface warming. *Journal of Hydrometeorology*, 5(6), 1117-1130. <https://doi.org/10.1175/JHM-386.1>
- Edwards, D. C., & McKee, T. B. (1997). Characteristics of 20th century drought in the United States at multiple time scales. Vol. 97. Department of Atmospheric Science, Colorado State University, publisher. Colorado, 152-155. <http://hdl.handle.net/10217/170176>
 - Emadodin, I., Reinsch, T., & Taube, F. (2019). Drought and desertification in Iran. *Hydrology*, 6(3), 66. <https://doi.org/10.3390/hydrology6030066>
 - Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2021). Drought in numbers 2021: Restoration for readiness. FAO. <https://www.fao.org/3/cb9010en/cb9010en.pdf>
 - Fniguire, F., Laftouhi, N.-E., Saidi, M. E., Zamrane, Z., El Himer, H., & Khalil, N. (2017). Spatial and temporal analysis of the drought vulnerability and risks over eight decades in a semi-arid region (Tensift basin: Morocco). *Theoretical and Applied Climatology*, 130, 321-330. <https://link.springer.com/article/10.1007/s00704-016-1873-z>
 - Foltz, R. C. (2002). Iran's water crisis: cultural, political, and ethical dimensions. *Journal of agricultural and environmental ethics*, 15, 357-380. <https://link.springer.com/article/10.1023/A:1021268621490>
 - Fu, X., Svoboda, M., Tang, Z., Dai, Z., & Wu, J. (2013). An overview of US state drought plans: crisis or risk management? *Natural hazards*, 69, 1607-1627. <https://doi.org/10.1007/s11069-013-0766-z>
 - Ghazi, B., Dutt, S., & Torabi Haghighi, A. (2023). Projection of future meteorological droughts in lake Urmia Basin, Iran. *Water*, 15(8), 1558. <https://doi.org/10.3390/w15081558>
 - Grainger, S., Murphy, C., & Vicente-Serrano, S. M. (2021). Barriers and opportunities for actionable knowledge production in drought risk management: embracing the frontiers of co-production. *Frontiers in Environmental Science*, 9, 602128. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2021.602128>
 - Hagenlocher, M., Meza, I., Anderson, C. C., Min, A., Renaud, F. G., Walz, Y., Siebert, S., & Sebesvari, Z. (2019). Drought vulnerability and risk assessments: state of the art, persistent gaps, and research agenda. *Environmental Research Letters*, 14(8), 083002. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab225d>
 - Haghighi, S., Akhbari, D., Attaeian, B., & Bashir Gonbad, M. (2018). The effect of drought in the source area of dust storms on vegetation change (case study: western parts of Iran). *Environmental Resources Research*, 6(2), 195-200.
 - Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2022). Climate change 2022: Impacts, adaptation, and vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem (Eds.)]. Cambridge University. Cambridge, United Kingdom. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/>
 - IPCC, F. C. (2014). Climate change 2014: impacts, adaptation, and vulnerability. Part A: global and sectoral aspects. of Working Group II Contribution to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
 - Karavitis, C. A. (1999). Decision support systems for drought management strategies in metropolitan Athens. *Water International*, 24(1), 10-21. doi: [10.1080/02508069908692129](https://doi.org/10.1080/02508069908692129)
 - Kreibich, H., Blauhut, V., Aerts, J. C., Bouwer, L. M., Van Lanen, H. A., Mejia, A., Mens, M., & Van Loon, A. F. (2019). How to improve attribution of changes in drought and flood impacts. *Hydrological sciences journal*, 64(1), 1-18. <https://doi.org/10.1080/02626667.2018.1558367>
 - Krishna Prabhakar, S. V. R. (2022). Implications of regional droughts and transboundary drought risks on drought monitoring and early warning: a review. *Climate*, 10(9), 124. <https://doi.org/10.3390/cli10090124>
 - Li, K., Tong, Z., Liu, X., Zhang, J., & Tong, S. (2020). Quantitative assessment and driving force analysis of vegetation drought risk to climate change: Methodology and application in North-east China. *Agricultural and Forest Meteorology*, 282, 107865.
 - Logar, I., & van den Bergh, J. C. (2013). Methods to assess costs of drought damages and policies for drought mitigation and adaptation: review and recommendations. *Water resources management*, 27, 1707-1720. <https://doi.org/10.1007/s11269-012-0119-9>
 - Mahmoudi, P., Amir Jahanshahi, S. M., Daneshmand, N., & Rezaei, J. (2021). Spatial and temporal analysis of mean and frequency variations of dry spells in Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, 14, 1-22. <https://link.springer.com/article/10.1007/s12517-021-06861-6>
 - Mannocchi, F., Todisco, F., & Vergni, L. (2004). Agricultural drought: Indices, definition and analysis. *IAHS (International Association of Hydrological Sciences) PUBLICATION*, 286, 246-254.
 - McKee, T. B., Doesken, N. J., & Kleist, J. (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales. *Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology*. Anaheim, California, USA.
 - Meza, I., Siebert, S., Döll, P., Kusche, J., Herbert, C., Eyshi Rezaei, E., Nouri, H., Gerdener, H., Popat, E., & Frischen, J. (2020). Global-scale drought risk assessment for agricultural systems. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 20(2), 695-712. <https://doi.org/10.5194/nhess-20-695-2020-supplement>
 - Mickle, P. F., Herbig, J. L., Somerset, C. R., Chudzik, B. T., Lucas, K. L., & Fleming, M. E. (2018). Effects of annual droughts on fish communities in Mississippi Sound estuaries. *Estuaries and Coasts*, 41, 1475-1485. <https://doi.org/10.1007/s12237-017-0364-5>
 - Neal, B., & Moran, R. (2009). Droughts and drought mitigation in water resources planning. *Australasian Journal of Water Resources*, 13(2), 145-152. <https://doi.org/10.1080/13241583.2009.11465369>

- Palmer, W. C. (1965). Meteorological drought (Vol. 30). US Department of Commerce, Weather Bureau. Washington, D.C, USA.
- Razmgir, M., Panahi, S., Ghalichi, L., Mousavi, S. A. J., & Sedghi, S. (2021). Exploring research impact models: a systematic scoping review. *Research Evaluation*, 30(4), 443-457. <https://doi.org/10.1093/reseval/rvab009>
- Rufat, S., Tate, E., Emrich, C. T., & Antolini, F. (2019). How valid are social vulnerability models? *Annals of the American Association of Geographers*, 109(4), 1131-1153. <https://doi.org/10.1080/24694452.2018.1535887>
- Safarianzengir, V., Fatahi, A., Sobhani, B., & Doumari, S. A. (2022). Temporal and spatial analysis and monitoring of drought (meteorology) and its impacts on environment changes in Iran. *Atmospheric Science Letters*, 23(6), e1080. <https://doi.org/10.1002/asl.1080>
- Sarker, M. H., Ahmed, S., Alam, M. S., Begum, D., Kabir, T. N., Jahan, R., Haq, M. M.-U., & Kabir, S. T. D. (2020). Development and forecasting drought indices using SPI (standardized precipitation index) for local level agricultural water management. *Atmospheric and Climate Sciences*, 11(01), 32-52. <https://doi.org/10.4236/acs.2021.111003>
- Savari, M., & Shokati Amghani, M. (2021). Factors influencing farmers' adaptation strategies in confronting the drought in Iran. *Environment, Development and Sustainability*, 23, 4949-4972. <https://doi.org/10.1007/s10668-020-00798-8>
- Schlesinger, W. H., Dietze, M. C., Jackson, R. B., Phillips, R. P., Rhoades, C. C., Rustad, L. E., & Vose, J. M. (2016). Forest biogeochemistry in response to drought. *Global change biology*, 22(7), 2318-2328. <https://doi.org/10.1111/gcb.13105>
- Schuldt, B., Buras, A., Arend, M., Vitasse, Y., Beierkuhnlein, C., Damm, A., Gharun, M., Grams, T. E., Hauck, M., & Hajek, P. (2020). A first assessment of the impact of the extreme 2018 summer drought on Central European forests. *Basic and Applied Ecology*, 45, 86-103. <https://doi.org/10.1016/j.baae.2020.04.003>
- Shukla, S., & Wood, A. W. (2008). Use of a standardized runoff index for characterizing hydrologic drought. *Geophysical research letters*, 35(2), 1-7. <https://doi.org/10.1029/2007GL032487>
- Smirnov, O., Zhang, M., Xiao, T., Orbell, J., Lobben, A., & Gordon, J. (2016). The relative importance of climate change and population growth for exposure to future extreme droughts. *Climatic Change*, 138, 41-53. <https://doi.org/10.1007/s10584-016-1716-z>
- Stahl, K., Kohn, I., Blauhut, V., Urquijo, J., De Stefano, L., Acácio, V., Dias, S., Stagge, J. H., Tallaksen, L. M., & Kampragou, E. (2016). Impacts of European drought events: insights from an international database of text-based reports. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 16(3), 801-819. <https://doi.org/10.5194/nhess-16-801-2016>
- Stakhiv, E. Z., Werick, W., & Brumbaugh, R. W. (2016). Evolution of drought management policies and practices in the United States. *Water Policy*, 18(S2), 122-152. <https://doi.org/10.2166/wp.2016.017>
- Trenberth, K. E. (2005). The impact of climate change and variability on heavy precipitation, floods, and droughts. *Encyclopedia of hydrological sciences*, 17, 1-11. <https://doi.org/10.1002/0470848944.hsa211>
- Tsegai, D., Medel, M., Augenstein, P., & Huang, Z. (2022). Drought in numbers 2022: restoration for readiness and resilience. United Nations Convention to Combat Desertification. Abidjan, Côte d'Ivoire <https://www.unccd.int/resources/publications/drought-numbers>
- Um, M.-J., Kim, Y., Park, D., & Kim, J. (2017). Effects of different reference periods on drought index (SPEI) estimations from 1901 to 2014. *Hydrology and Earth System Sciences*, 21(10), 4989-5007.
- United Nations International Strategy for Disaster Reduction. (2009). Drought risk reduction framework and practices: Contributing to the implementation of the Hyogo Framework for Action. UNISDR. Geneva, Switzerland. https://www.unisdr.org/files/11541_DroughtRiskReduction2009library.pdf
- United Nations Office for Disaster Risk Reduction. (2019). Global assessment report on disaster risk reduction 2019. UNDRR. <https://www.undrr.org/publication/global-assessment-report-disaster-risk-reduction-2019>
- Van Loon, A. F. (2015). Hydrological drought explained. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, 2(4), 359-392. <https://doi.org/10.1002/wat2.1085>
- Venkatappa, M., Sasaki, N., Han, P., & Abe, I. (2021). Impacts of droughts and floods on croplands and crop production in Southeast Asia-An application of Google Earth Engine. *Science of the Total Environment*, 795, 148829. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148829>
- Vicente-Serrano, S. M., Beguería, S., Lorenzo-Lacruz, J., Camarero, J. J., López-Moreno, J. I., Azorín-Molina, C., Revuelto, J., Morán-Tejeda, E., & Sanchez-Lorenzo, A. (2012). Performance of Drought Indices for Ecological, Agricultural, and Hydrological Applications. *Earth Interactions*, 16(10), 1-27. <https://doi.org/10.1175/2012EI000434.1>
- Wang, D., Hejazi, M., Cai, X., & Valocchi, A. J. (2011). Climate change impact on meteorological, agricultural, and hydrological drought in central Illinois. *Water Resources Research*, 47, W09527, 1-13. <https://doi.org/10.1029/2010WR009845>
- Wilhite, D. A. (2019). Integrated Drought Management: Moving from Managing Disasters to Managing Risk in the Mediterranean region. *Euro-Mediterranean Journal for Environmental Integration*, 4, 42. <https://doi.org/10.1007/s41207-019-0131-z>
- Wilhite, D. A., Sivakumar, M. V., & Pulwarty, R. (2014). Managing drought risk in a changing climate: The role of national drought policy. *Weather and climate extremes*, 3, 4-13. <https://doi.org/10.1016/j.wace.2014.01.002>
- Zhang, B., & He, C. (2016). A modified water demand estimation method for drought identification over arid and semiarid regions. *Agricultural and Forest Meteorology*, 230, 58-66. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2015.11.015>