



ارزیابی مدیریت و ریسک خشکسالی

یک چهارچوب مفهومی

تهیه شده توسط:

مرکز تحقیقات مشترک، کمیسون اروپا

مترجمین: ناصر دهقانیان، سید علی یزدانی

ویراستار فنی: رضا روزبهانی

ارزیابی مدیریت و ریسک خشکسالی

مترجمین: ناصر دهقانیان، سید علی یزدانی، ویراستار فنی: رضا روزبهانی

۲۰۱۸



Drought Risk Assessment and Management

A Conceptual Framework

Joint Research Centre, European Commission

Translated by:

Naser Dehghanian, Seyed Ali Yazdani

Edited by:

Reza Rouzbahani



ISBN: 978-600-94092-7-3



به نام خدا

عنوان و نام پدیدآور	: ارزیابی مدیریت و ریسک خشکسالی؛ یک چهارچوب مفهومی/تهیه شده توسط مرکز تحقیقات مشترک کمیسیون اروپا (۲۰۱۸)؛ مترجم ناصر دهقانیان، سیدعلی یزدانی.
مشخصات نشر	: تهران: مرکز منطقه ای مدیریت آب شهری - تهران: انتشارات شفاف، ۱۴۰۲.
مشخصات ظاهری	: ۱۱۲ ص.: جدول، نقشه (رنگی).
شابک	: ۹۷۸-۶۰۰-۹۴۰۹۲-۷-۳
وضعیت فهرست نویسی	: فیپا
یادداشت	: عنوان اصلی: a : Drought risk assessment and management : conceptual framework, ۲۰۱۸.
یادداشت	: واژه نامه.
یادداشت	: کتابنامه.
موضوع	: خشکسالی -- مدیریت Droughts -- Management مدیریت ریسک Risk management
شناسه افزوده	: فوگت، یورگن فاو.
شناسه افزوده	: Vogt, Jürgen V.
شناسه افزوده	: دهقانیان، ناصر، ۱۳۶۷-، مترجم
شناسه افزوده	: یزدانی، سیدعلی، ۱۳۷۲-، مترجم
شناسه افزوده	: روزبهانی، رضا، ویراستار فنی
شناسه افزوده	: مرکز منطقه ای مدیریت آب شهری - تهران
شناسه افزوده	: Regional Centre on Urban Water Management - Tehran
رده بندی کنگره	: ۲۴/QC۹۲۹
رده بندی دیویی	: ۱۸/۳۳۸
شماره کتابشناسی ملی	: ۹۳۱۵۶۳۲
اطلاعات رکورد کتابشناسی: فیپا	
قیمت	: ۲۳۰.۰۰۰ ریال

تصویر روی جلد: کاهش شدید جریان در رودخانه فرامرزی راین (ماه اوت سال ۲۰۱۸)



ارزیابی مدیریت و ریسک خشکسالی یک چهارچوب مفهومی

تهیه شده توسط:

مرکز تحقیقات مشترک کمیسیون اروپا (۲۰۱۸)

Joint Research Centre (JRC),
the European Commission's science and knowledge service

مترجمین:

ناصر دهقانیان، سید علی یزدانی

ویراستار فنی:

رضا روزبهانی



سازمان آموزشی،
علمی و تربیتی
ملل متحد



مرکز منطقه‌ای
مدیریت آب شهری-تهران
(تحت پوشش یونسکو)

ارزیابی مدیریت و ریسک خشکسالی
یک چهارچوب مفهومی
تهیه شده توسط مرکز تحقیقات مشترک کمیسیون اروپا (۲۰۱۸)

مترجمین: دکتر ناصر دهقانیان، مهندس سید علی یزدانی
ویراستار فنی: دکتر رضا روزبهانی

ناشر: مرکز منطقه‌ای مدیریت آب شهری (تحت پوشش یونسکو)

ناشر همکار: شفاف

نوبت چاپ: اول، پاییز ۱۴۰۲

شمارگان: ۱۰۰۰ نسخه

قیمت: ۲۳۰,۰۰۰ تومان

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۹۴۰۹۲-۷-۳

ISBN : 978-600-94092-7-3



9 786009 409273

©. / تمام حقوق برای مرکز منطقه‌ای مدیریت آب شهری (تحت پوشش یونسکو) محفوظ است. /.

مرکز منطقه‌ای مدیریت آب شهری (تحت پوشش یونسکو)

تهران . خیابان شیخ بهایی جنوبی . بلوار جانبازان . خیابان بیست و ششم . شماره ۳۴ طبقه دوم

تلفن: ۰۲۱ - ۸۸۲۲۹۱۵۶

نمابر: ۰۲۱ - ۸۸۲۲۹۴۰۴



سازمان آموزشی،
علمی و تربیتی
ملل متحد



مرکز منطقه‌ای
مدیریت آب شهری-تهران
(تحت پوشش یونسکو)

مقدمه

خشکسالی ها مکررا اتفاق می افتند و می توانند از چند ماه تا چند سال طول بکشند و مناطق وسیعی را به همراه جمعیت خیلی زیادی در مناطق مختلف جهان تحت تاثیر قرار دهند. خشکسالی حتی تحت یک اقلیم در حال تغییر در قرن ۲۱ می تواند در مناطق مختلف جهان با فراوانی و شدت بیشتر اتفاق بیافتد. تبعات و پیامدهای خشکسالی به آرامی توسعه پیدا می کنند و می توانند تا مدتها حتی بعد از اتمام دوره خشکسالی باقی بمانند. بنابراین به منظور کاهش تبعات و پیامدهای خشکسالی، مدیریت ریسک خشکسالی پیشگیرانه شامل ارزیابی ریسک خشکسالی می بایست اجرا شود تا از سیاست گذاران و مدیران بخش آب در راهبردهای سازگاری با خشکسالی و نیز برنامه های مدیریت خشکسالی، حمایت شود.

به دلیل گستره وسیع تبعات و پیامدهای مستقیم و غیرمستقیم و یا حتی پیامدهای پی در پی ناشی از خشکسالی، ارزیابی ریسک خشکسالی باید شامل اطلاعات مناسب بخش های خاص و نیز در راستای نیاز کاربرهای ویژه باشد. در این کتاب، پهنه بندی ریسک خشکسالی در مقیاس جهانی به عنوان تابعی از مولفه های خطر، در معرض قرارگیری (مواجهه) و آسیب پذیری ارائه می شود. سپس مطالعات موردی صورت گرفته در آرژانتین، آفریقای جنوبی، سوریه و ایالات متحده با تکیه بر تهیه فهرست تبعات و پیامدهای مورد انتظار در بخش های مختلف اقتصادی و محیط زیستی مرور می شود. سرانجام، جنبه های کلیدی مدیریت ریسک خشکسالی شامل چالش ها و فرصت های پیش رو نیز ارائه می شود.

مرکز منطقه ای مدیریت آب شهری به عنوان یکی از مراکز تحت پوشش یونسکو با حوزه فعالیت در مناطق غرب و جنوب آسیا و آسیای میانه و شمال آفریقا، تنها نهاد بین المللی متولی موضوعات آب در منطقه است که فعالیت های آن در توسط شورای حکام در بالاترین سطح متشکل از وزرای آب و یا مقامات هم تراز از کشورهای عضو برنامه ریزی و جلسات آن به ریاست وزیر نیروی جمهوری اسلامی ایران تشکیل و راهبری می شود. در راستای ظرفیت سازی در حوزه مدیریت ریسک خشکسالی در منطقه ذیل برنامه ابتکار بین المللی خشکسالی (IDI) که مرکز از سال ۲۰۱۰ میزبان این برنامه در سطح کشورهای منطقه بوده و با توجه به فقدان دستورالعمل یا راهنمای مطالعات ارزیابی ریسک

خشکسالی در کشور (تا زمان انتشار این اثر)، این مرکز اقدام به ترجمه یکی از گزارشات فنی مرکز تحقیقات مشترک کمیسیون اروپا^۱ در حوزه مدیریت ریسک خشکسالی به زبان فارسی نمود. همچنین به منظور مدیریت دانش و پیگیری مستمر برنامه IDI، دبیرخانه علمی این برنامه در موسسه تحقیقات آب وزارت نیرو قرار داده شد؛ به امید آنکه با هم افزایی ظرفیت های موسسه تحقیقات و برنامه IDI، جریان سازی علمی و اجرایی مدیریت خشکسالی در کشور و منطقه با توان بیشتری پیگیری شده و همین امر توجه بیشتر دستگاه های متولی و سیاست گذار در حوزه آب به مدیریت خشکسالی را موجب گردد.

بر خود لازم میدانم از زحمات دبیر کمیته تالیف، ترجمه و انتشارات مرکز و برنامه IDI آقای دکتر ناصر دهقانپان و آقای مهندس سید علی یزدانی که این گزارش را ترجمه کردند و همچنین جناب آقای دکتر رضا روزبهانی ویراستار فنی این گزارش و از جناب آقای مهندس کیانی مدیر عامل شرکت مهندسی مشاور دزآب که حمایت در چاپ و انتشار این گزارش نمودند، تشکر نمایم. در خاتمه از حمایت های جناب آقای مهندس محرابیان وزیر محترم نیرو و رییس شورای حکام مرکز صمیمانه قدردانی می نمایم.

محمد حاج رسولیها

مشاور وزیر نیرو و مدیر مرکز منطقه ای مدیریت آب شهری

(تحت پوشش یونسکو)

پاییز ۱۴۰۲

^۱ Vogt, J. V., Naumann, G., Masante, D., Spinoni, J., Cammalleri, C., Erian, W., ... & Barbosa, P. (2018). Drought risk assessment and management: A conceptual framework.

چکیده

خشکسالی ها در شرایط گرمایش جهانی به طور فزاینده ای در حال تهدید جوامع هستند. آنها گاهی ماه ها و یا حتی سال ها طول می کشند و مناطق وسیع و جمعیت قابل ملاحظه ای را تحت تاثیر قرار می دهند. گاهی اوقات فقط یک رخداد خشکسالی می تواند خسارات اقتصادی به اندازه میلیاردها یورو را تحمیل کند. در کنار خسارات اقتصادی، خشکسالی ها می توانند اکوسیستم ها را به چالش بکشند و امنیت غذایی را در بسیاری از کشورهای آسیب پذیر، تهدید کنند.

به منظور کاهش تبعات و پیامدهای خشکسالی، ارزیابی ریسک خشکسالی می بایست اجرا شود تا از سیاست گذاران و مدیران بخش آب در راهبردهای سازگاری با خشکسالی و نیز برنامه های مدیریت خشکسالی در حال تدوین، حمایت شود. به دلیل گستره وسیع تبعات و پیامدهای مستقیم و غیرمستقیم و یا حتی پیامدهای پی در پی ناشی از خشکسالی، ارزیابی ریسک خشکسالی باید شامل اطلاعاتی مناسب بخشهای خاص و نیز در راستای نیاز کاربرهای ویژه باشد.

ریسک خشکسالی در این کتاب عبارتست از احتمال تحمیل خسارات اقتصادی در حین و بعد از وقوع خشکسالی که به اثرات سه بُعد کلیدی ذیل بر یکدیگر بستگی دارد:

(۱) شدت و احتمال وقوع یک رخداد خشکسالی مشخص

(۲) دارایی ها و/یا مردم در معرض رخداد

(۳) آسیب پذیری ذاتی آنها و یا ظرفیت مقابله با خطر

تعیین مشخصات این ابعاد و ارایه ارتباطات آنها با بخش های مختلف اجتماعی-اقتصادی چالش های متعددی را مطرح می کند. این چالش ها در این کتاب مورد بحث و بررسی قرار گرفته و یک چهارچوب نظری برای ارزیابی ریسک خشکسالی در مقیاس جهانی به منظور آماده سازی اطلاعات مرتبط با سیاست گذاری ارایه شده است. بر اساس رویکرد مفهومی که توضیح داده می شود، مرکز

تحقیقات مشترک (JRC)^۱ ابزار مشاهداتی خشکسالی جهانی^۲ را به عنوان اولین ابزار پایش عملیاتی و پویای ریسک خشکسالی برای کل جهان توسعه داده است.

کتاب به طریق زیر سازماندهی شده است:

در فصل های اول و دوم، دلایل و ویژگی های رخداد های خشکسالی و نیز ارتباط آنها با تغییرات آب و هوایی و تغییر اقلیم بحث شده است.

در ادامه و در فصل سوم مفهوم ریسک خشکسالی شامل نخستین رویکرد برای پهنه بندی ریسک خشکسالی در مقیاس جهانی به عنوان تابعی از خطر، در معرض قرارگیری (مواجهه) و آسیب پذیری مطرح می شود. سپس ارتباط این چهارچوب با پیامدهای مورد انتظار در بخش های مختلف اقتصادی و محیط زیستی شامل مطالعات موردی در کشورهای آرژانتین، آفریقای جنوبی، سوریه و ایالات متحده در فصل چهارم ارائه می شود. در نهایت، مقدمه ای بر جنبه های کلیدی مدیریت ریسک خشکسالی و چشم اندازی در مورد چالش ها و فرصت های آینده در فصل های پنجم و ششم مطرح می شود.

^۱ Joint Research Center (JRC)

^۲ Global Drought Observatory (GDO)

فهرست مطالب

۷	چکیده
۹	فهرست مطالب
۱۱	فصل اول / مقدمه
۱۲	۱-۱- خشکسالی چیست؟
۱۵	۲-۱- شاخص‌های خشکسالی
۲۱	فصل دوم / تغییرات آب و هوایی، تغییر اقلیم و خطر خشکسالی
۲۱	۱-۲- خشکسالی‌های گذشته
۲۴	۲-۲- تغییرات زیر فصلی تا فصلی و ENSO
۲۶	۳-۲- تغییر اقلیم و خشکسالی‌های آینده
۳۵	فصل سوم / ارزیابی ریسک خشکسالی جهانی
۳۵	۱-۳- مفهوم
۳۸	۲-۳- ارزیابی ریسک برای کشاورزی و سایر بخش‌های اصلی
۳۸	۱-۲-۳- ارزیابی خطر
۳۸	۲-۲-۳- ارزیابی در معرض قرارگیری (مواجهه)
۴۱	۳-۲-۳- ارزیابی آسیب‌پذیری
۴۲	۴-۲-۳- ارزیابی ریسک خشکسالی
۴۶	۳-۳- ملاحظات برای سایر بخش‌ها
۵۶	۴.۳ ملاحظات مقیاس
۵۹	فصل چهارم / تبعات و پیامدهای خشکسالی

۵۹	..... ۱-۴- مقدمه
۶۶	..... ۲-۴- مطالعات موردی
۶۶	..... ۱-۲-۴- آرژانتین (پیامدها بر کشاورزی بازار محور)
۶۹	..... ۲-۲-۴- آفریقای جنوبی (پیامدها بر بخش تامین آب)
۷۲	..... ۳-۲-۴- سوریه (پیامدها بر بخش کشاورزی، تخریب اراضی و مناقشات داخلی)
۷۶	..... ۴-۲-۴- کالیفرنیا (پیامدها بر روی منابع آب زیرزمینی و اکوسیستم)
۷۹	..... فصل پنجم / مدیریت ریسک خشکسالی
۷۹	..... ۱-۵- رویکردها برای مدیریت ریسک خشکسالی
۸۵	..... ۲-۵- مولفه های مدیریت ریسک خشکسالی پیشگیرانه
۹۱	..... ۳-۵- مزایای اقدام در مقابل هزینه های عدم اقدام (انفعال)
۹۲	..... ۴-۵- سازگاری و تقویت تاب آوری
۹۵	..... فصل ششم / مسیر پیش رو
۹۹	..... منابع و مراجع
۱۱۱	..... واژه‌شناسی

فصل اول / مقدمه

در بین بلایای طبیعی مربوط به آب و هوا، خشکسالی به دلیل طبیعت ذاتی و پیامدهای گسترده و آبخاری نسبت به سایر بلایای طبیعی، پیچیده ترین و شدیدترین بلا محسوب می‌شود که بر محصولات کشاورزی، تامین آب، تولید انرژی، حمل و نقل، صنعت گردشگری، سلامتی انسان، تنوع جانوری و اکوسیستم های طبیعی اثر می گذارد. خشکسالی ها مکررا اتفاق می افتند و می توانند از چند ماه تا چند سال طول بکشند و مناطق وسیعی را به همراه جمعیت خیلی زیادی در مناطق مختلف جهان تحت تاثیر قرار دهند. تبعات و پیامدهای خشکسالی به آرامی توسعه پیدا می کنند، غیر سازه ای و اغلب غیرمستقیم هستند و می توانند تا مدت ها حتی بعد از اتمام دوره خشکسالی باقی بمانند. در حالی که چنین تبعات و پیامدهایی باعث زیان های شدید اقتصادی، تخریب محیط زیست و رنجش خاطر انسان ها می شوند، لیکن در مقایسه با پیامدها و آسیب های سایر بلایای طبیعی (نظیر سیل ها و طوفان ها) که باعث به وجود آمدن آسیب های فوری و اغلب سازه ای می شوند و به طور واضح خطر مشخصی را نشان می دهند و قابل اندازه گیری از لحاظ اقتصادی نیز هستند، کمتر ملموس می باشند (UNISDR, 2011). ریسک خشکسالی اغلب دسته پایین تخمین زده می‌شود. در حالی که نیاز به مدیریت ریسک خشکسالی کنش گرا (پیشگیرانه و فعال)^۱ به طور مناسبی شناخته شده، اجرای آن هنوز مورد توجه جدی قرار نگرفته است.

مرگ و میر ناشی از خشکسالی به طور عمده در اقتصادهای ضعیف بیشتر وجود دارد، مخصوصا مناطقی که درگیر ناامنی های اجتماعی و مناقشات نظامی هستند. اما، در کشورهای ثروتمند نیز مردم متحمل آثار غیرمستقیم خشکسالی نظیر تنش های گرمایی و یا گرد و غبار می شوند که خود باعث انواعی از مشکلات مربوط به سلامت و بهداشت می‌شود (e.g. van Lanen et al., 2017; WMO and GWP, 2014). پیامدهای اقتصادی و اجتماعی خشکسالی می توانند فراتر از مناطقی باشند که زودتر درگیر خشکسالی شده اند. این پیامدها می توانند به عنوان مثال شامل بیکاری

^۱ Pro-active drought risk management

دائمی، مهاجرت و بی ثباتی اجتماعی به دلیل اختلال در تامین آب و نیز عدم امنیت غذایی باشد (WWAP, 2016).

تحت یک اقلیم در حال تغییر، خشکسالی در قرن ۲۱ می تواند در مناطق مختلف جهان با فراوانی و شدت بیشتر اتفاق بیافتد (Spinoni et al., 2018a & 2018b; IPCC, 2014). شناخت بهتر از پدیده خشکسالی، مخصوصاً فرآیندهای فیزیکی که منجر به خشکسالی می شود، گسترش آن در چرخه هیدرولوژیکی و آسیب پذیری اجتماعی و محیط زیستی نسبت به خشکسالی و پیامدهای گسترده آن بیش از گذشته مهم شده اند. چالش کلیدی در این زمینه عبارتست از حرکت از جامعه عکس‌العملی و واکنش‌گرا^۱ که در حال مبارزه با تبعات و پیامدهای خشکسالی است به جامعه کنش‌گرا که تاب آور و سازگار در برابر با ریسک خشکسالی است؛ به عنوان مثال، اتخاذ راهبردهای مدیریت ریسک پیشگیرانه (WMO and GWP, 2014; Wilhite et al., 2014). مدیریت ریسک پیشگیرانه شامل تحلیل خطر خشکسالی در حال گسترش و تبعات و پیامدهای مربوطه (روند گذشته و پیش بینی وقایع آینده)، به همراه تحلیل مولفه های در معرض قرارگیری (مواجهه)^۲ و آسیب‌پذیری^۳ اجتماعی و محیط زیستی است. همه این موارد با هم تعیین کننده ریسک خشکسالی هستند که از طریق توسعه سیاست ها و برنامه های مدیریت خشکسالی که سازگار با شرایط منطقه ای، ملی و محلی هستند، قابل مدیریت می باشد (WMO and GWP, 2014; GWP CEE, 2015).

هدف از این کتاب عبارت از بحث و بررسی پیرامون جنبه های مختلفی که خصوصیات خشکسالی را تعیین می کنند (فصل اول)؛ برجسته نمودن تاثیر تغییرات آب و هوایی و تغییر اقلیم (فصل دوم)؛ ارائه مفهوم ریسک خشکسالی که شامل رویکردی جدید در زمینه پهنه بندی ریسک خشکسالی در مقیاس جهانی است (فصل سوم)؛ تهیه فهرست تبعات و پیامدهای مورد انتظار در بخش های مختلف اقتصادی و محیط زیستی شامل ارائه چند مطالعه موردی (فصل چهارم)؛ ارائه یک مقدمه کوتاه در زمینه جنبه های کلیدی مدیریت ریسک خشکسالی (فصل پنجم)؛ و سرانجام، ارائه چشم انداز در خصوص چالش ها و فرصت های آینده (فصل ششم) است.

۱-۱- خشکسالی چیست؟

واژه خشکسالی به طور گسترده ای مورد استفاده قرار می گیرد لیکن تعریف واحدی در بین رشته های مختلف درباره آن وجود ندارد که پیامد آن دشواری درک ویژگی های خشکسالی در طول زمان

^۱ Re-active

^۲ Exposure

^۳ Vulnerability

و مکان است. به طور عمومی، پنل بین‌الدولی تغییر اقلیم (IPCC^۱) در سال ۲۰۱۲ خشکسالی را به این صورت تعریف کرده است: "یک دوره آب و هوای خشک غیرنرمال که به اندازه کافی طولانی است که بتواند عدم تعادل شدید هیدرولوژیکی را ایجاد نماید". خشکسالی در نتیجه کمبود بارش در طول مدت زمان معین و یا ناشی از بیلان منفی آب به وقوع می‌پیوندد. این رخداد به دلیل افزایش تقاضای آب در جو (افزایش جذب آب توسط جو از سطح زمین با تبخیر و تعرق) که همراه با دماهای زیاد و بادهای قوی است، روی می‌دهد. این وضعیت می‌تواند با توجه به شرایط پیشین رطوبت خاک، مخازن و آبخوان‌ها تشدید شود؛ به عنوان مثال، می‌تواند از چند ماه تا چند سال ادامه یابد. خشکسالی‌های فوق‌العاده شدید و فراگیر^۲ می‌توانند تا دهه‌ها باقی بمانند، این در حالی است که خشکسالی‌های سریع و ناگهانی^۳ دارای مدت زمان کوتاه (کمتر از ۳ ماه) با منشا دماهای بالا می‌باشد که منجر به تخلیه سریع رطوبت خاک می‌شود که می‌تواند باعث تبعات و پیامدهای جدی شود (Mo and Lettenmaier, 2016).

در واقع خشکسالی‌ها یکی از ویژگی‌های پر تکرار تمام اقلیم‌ها است و براساس متوسط بلندمدت مشخصه‌های اقلیمی یک منطقه تعریف می‌شود (e.g., Heim Jr., 2002; Dai, 2013). خشکسالی از مفاهیمی نظیر خشکی، اقلیم خشک فصلی یا دائمی و کم‌آبی^۴ متمایز می‌شود و به وضعیتی اشاره دارد که در آن منابع آب در دسترس از منظر اقلیم‌شناسی برای تامین متوسط بلندمدت نیازهای آبی کافی نیست (van Lanen et al. 2017; Tallaksen and van Lanen, 2004).

خشکسالی‌های هواشناسی، رطوبت خاک و هیدرولوژیکی (آب زیرزمینی، جریان رودخانه‌ها، مخازن) بر اساس آثار غالب آنها بر روی سامانه‌های هیدرولوژیکی و پیامدهای متعاقب آن بر روی جامعه و محیط زیست، از یکدیگر متمایز می‌شوند (کادر ۱). بنابراین، تعریف خشکسالی و ارزیابی ریسک آن، به بخش مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته و فرایندها و تأثیرات مرتبط با آن بستگی دارد (به عبارتی دیگر و به عنوان مثال؛ اگر کاهش بارش و اثرات آن مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرد، منظور خشکسالی هواشناسی است)

^۱ Intergovernmental Panel on Climate Change

^۲ Megadroughts

^۳ Flash Droughts

^۴ Water scarcity

کادر ۱: انواع خشکسالی

با توجه به اثرات بر چرخه آب و پیامدهای ایجاد شده بر جامعه و محیط زیست، انواع مختلف خشکسالی به صورت ذیل تعریف می شوند:

(۱) **خشکسالی هواشناسی** دوره ای از ماهها تا سالها با کسری در بارش یا بیلان آب اقلیمی (بارش منهای تبخیر و تعرق پتانسیل) در یک منطقه معین است. کمبود نسبت به اقلیم بلندمدت منطقه تعریف می شود. خشکسالی هواشناسی معمولاً با دماهای بالاتر از حد نرمال همراه می شود و متعاقباً باعث ایجاد سایر انواع خشکسالی می شود. خشکسالی هواشناسی توسط ناهنجاری های دائمی در الگوهای گردش جوی در مقیاس بزرگ که معمولاً در اثر ناهنجاری در دمای سطح دریای مناطق گرمسیری (SSTs)^۱ و یا سایر شرایط از راه دور آغاز می شوند، ایجاد می شود. بازخوردهای محلی مانند کاهش تبخیر و رطوبت خاک های خشک و دماهای بالا اغلب باعث افزایش ناهنجاری های جوی می شوند (Trenberth, 1988).

(۲) **خشکسالی رطوبت خاک (کشاورزی)** دوره ای است که در آن رطوبت خاک کاهش می یابد که ناشی از بارش کمتر از میانگین بلندمدت، فراوانی کمتر وقایع بارشی، یا تبخیر بیش از مقدار نرمال است.

(۳) **خشکسالی هیدرولوژیکی** زمانی اتفاق می افتد که دبی رودخانه ها و ذخیره آب در آبخوان ها، دریاچه ها و یا مخازن کمتر از مقدار میانگین بلند مدت شود. خشکسالی هیدرولوژیکی معمولاً به آرامی توسعه پیدا می کند زیرا بر ذخایر آب تاثیر گذار هستند (ذخایر آب تخلیه می گردند لیکن مجدداً پر نمی شوند). سری زمانی این متغیرها به منظور تحلیل وقوع، مدت زمان یا تداوم^۲ و شدت/سختی^۳ (مجموع کمبودهای) خشکسالی های هیدرولوژیکی مورد استفاده قرار می گیرند.

تنوع زیاد تبعات و پیامدهای خشکسالی به عواملی نظیر بارش پایین تر از حد میانگین، کاهش رطوبت خاک و پایین آمدن تراز آب اشاره دارد که آنها را به بلایایی در جوامع و اقتصادهای آسیب پذیر تبدیل می کند (UNISDR, 2011). بنابراین، ریسک خشکسالی نه تنها به مشخصات فیزیکی خطر

^۱ Sea Surface Temperatures (SSTs)

^۲ Duration

^۳ Severity

خشکسالی (شدت، مدت زمان، مجموع کمبودها)، بلکه به دارایی های در معرض خطر (مانند محصولات کشاورزی، مردم، صنایع آب بر و اکوسیستم های طبیعی) و آسیب پذیری جامعه و اکوسیستم های متاثر نیز وابسته است. به عنوان مثال، کمبود بارش در فصل رشد گیاهان منجر به کاهش رطوبت خاک می شود و بر تولید محصولات کشاورزی نیز تاثیر می گذارد یا به طور عمومی ساختار اکوسیستم را دچار تغییر می کند (خشکسالی رطوبت خاک یا خشکسالی کشاورزی). کمبود بارش فصول جاری شدن رواناب و یا نفوذ آب در خاک، در درجه اول منابع آب را تحت تاثیر قرار می دهد (خشکسالی هیدرولوژیکی).

در حالی که به طور معمول کمبود بارندگی آغازگر خشکسالی است، دیگر عوامل، از جمله بارش شدید با فراوانی وقوع کمتر، سوءمدیریت آب و فرسایش خاک می توانند باعث شکل گیری و یا تشدید این نوع خشکسالی شوند. برای مثال، چرای بیش از حد در دهه ۱۹۳۰ در دشت های وسیع آمریکای شمالی باعث شکل گیری فرسایش زیاد و وقوع طوفان های گرد و غبار شد که منجر به تشدید خشکسالی موسوم به کاسه غبار^۱ گردید (Cook et al. 2009).

۱-۲- شاخص های خشکسالی

خشکسالی ها بر اساس شاخص های خشکسالی مربوط به هر بخش، پایش و کمی سازی می شوند. این شاخص ها معمولاً شامل متغیرهای آب و هوایی نظیر بارندگی، بیلان آبی اقلیمی، رطوبت خاک، جریان رودخانه و آب زیرزمینی می باشند. به علاوه، پیامدهای خشکسالی مانند کاهش سرسبزی توان پوشش گیاهی می تواند از جمله این شاخص ها باشند.

به طور معمول، شاخص های خشکسالی در قالب شاخص های استاندارد معرفی می شوند و به منظور تحلیل خشکسالی در بخش های مختلف چرخه آب مورد استفاده قرار می گیرند. شاخص های خشکسالی به طور معمول طوری طراحی می شوند که از آنها در پایش خشکسالی، افزایش آگاهی و یا در مدیریت آب استفاده می شود (Beguería et al., 2014). اما، از این شاخص ها می توان در پایش بینی خشکسالی (Dutra et al., 2014; Sheffield et al., 2014) مطالعات تغییر اقلیم (Trenberth et al., 2014; Dai et al., 2018) و به عنوان داده های ورودی برای مدل سازی تبعات و پیامدهای خشکسالی (Zampieri et al., 2017) و همچنین ارزیابی ریسک خشکسالی استفاده نمود (Svoboda, 2015).

^۱ Dust Bowl

انواع مختلف خشکسالی نیازمند شاخص‌های مختلفی هستند تا بتوان خصوصیات آنها را شناسایی نمود. برای مثال، دو شاخص معروف یعنی شاخص بارش استاندارد (SPI, McKee et al., 1993) و شاخص استاندارد تبخیر و تعرق از بارش (SPEI, Vicente-Serrano et al., 2010) برای تحلیل خشکسالی هواشناسی به کار می‌روند. شاخص‌هایی که بر اساس رطوبت خاک توسعه یافته اند مانند شاخص شدت خشکسالی بر اساس رطوبت خاک (Cammalleri et al., 2016) و یا شاخص شدت خشکسالی پالمر (Palmer, 1965) به منظور تعیین تبعات و پیامدهای خشکسالی بر اساس تنش آبی گیاهان استفاده می‌شوند. شاخص‌های هیدرولوژیکی، مانند سدک‌های جریان^۳ به منظور کمی‌سازی حجم کمبود آب در رودخانه‌ها و مخازن مورد استفاده قرار می‌گیرند (Hisdal et al., 2004; Cammalleri et al., 2017) در نهایت، شاخص‌هایی بر مبنای سنجش از راه دور مانند شاخص تفاضل پوشش گیاهی نرمال شده (NDVI^۴) یا کسری از تابش فعال فتوسنتزی جذب شده (fAPAR^۵) توسعه یافته اند تا تبعات و پیامدهای خشکسالی بر روی پوشش گیاهی را پایش کنند.

اخیراً، شاخص‌های ترکیبی توسعه یافته اند که در آنها چند شاخص فیزیکی با یکدیگر ادغام شده و سرانجام یک شاخص منفرد تولید شده است. به عنوان مثال، پیشگر خشکسالی اروپا از یک شاخص خشکسالی ترکیبی (CDI^۶) (CDI, Sepulcre-Canto et al., 2012) برای پایش تبعات و پیامدهای خشکسالی بر بخش‌های کشاورزی و اکوسیستم‌های طبیعی استفاده می‌کند. سازمان جهانی هواشناسی (WMO^۷) و مشارکت جهانی آب (GWP^۸) (WMO and GWP, 2016) خلاصه گزارشی را شامل شاخص‌های خشکسالی که به طور گسترده استفاده می‌شوند در سال ۲۰۱۶ به چاپ رساندند.^۹

برای به دست آوردن خلاصه‌ای از پیامدهای بالقوه خشکسالی، به مجموعه‌ای از متغیرها برای آرایه جنبه‌های مختلف مربوط به کمبود آب نیاز است. از جمله متغیرهای اصلی خشکسالی فراوانی وقوع،

^۱ Standardized Precipitation Index (SPI)

^۲ Standardized Precipitation-Evapotranspiration Index (SPEI)

^۳ Flow percentiles

^۴ Normalized-Difference Vegetation Index

^۵ fraction of Absorbed Photosynthetically Active Radiation

^۶ Combined Drought Indicator

^۷ World Meteorological Organisation (WMO)

^۸ Global Water Partnership (GWP)

^۹ WMO and GWP, 2016. Handbook of Drought Indicators and Indices (M. Svoboda and B.A. Fuchs). Integrated Drought Management Programme (IDMP), Integrated Drought Management Tools and Guidelines, Series 2, Geneva.

شدت/سختی^۱ (در برخی مواقع، بزرگی^۲ نیز اتلاق می‌شود)، شدت^۳ و مدت زمان (جدول ۱) هستند. "شدت/سختی" بیانگر مجموع کمبودها در کل مدت زمان یک رخداد است، درحالی که "شدت" بیانگر مقدار میانگین کمبود بارش، رطوبت خاک، یا ذخیره آب در طول مدت زمان خشکسالی است. برای محاسبه هر دو متغیر، ممکن است اثرات مرتبط، در نظر گرفته شود.

همان طور که در جدول ۱ نشان داده شده است، مدت زمان و محدوده متاثر از خشکسالی با نحوه گسترش کمبود آب در طی زمان و مکان ارتباط دارد. رخدادهای طولانی تر و گسترده تر می توانند آغازگر آثار آبخاری باشند که بزرگی هر کدام به طور مستقیم به کمبود آب بستگی دارد. زمان بندی شروع، توقف و پایان یک رخداد خشکسالی به طور ویژه اطلاعات مرتبطی با فصل رشد گیاهان و محصولات کشاورزی محسوب می شوند. باید اشاره کرد که پیامدهای یک خشکسالی ممکن است بعد از اتمام خشکسالی هنوز باقی بماند که از طریق شاخص‌های مرجع قابل اندازه‌گیری است.

^۱ Severity

^۲ Magnitude

^۳ Intensity

جدول ۱. متغیر های اصلی برای تعیین خصوصیات رخداد های خشکسالی

متغیر	تشریح	ارتباط
فراوانی وقوع	تعداد رخداد های خشکسالی در بازه زمانی مشخص	رخداد های خشکسالی پرتکرار می توانند باعث پیامدهای بلند مدت بر روی اکوسیستم متاثر شوند
سختی / شدت (بزرگی)	مربوط به کمبود آب است. صورت مجموع قدر مطلق تفاوت بین مقادیر شاخص خشکسالی (DI ^۱) و آستانه استفاده شده برای تعریف سطح خشکی محاسبه می شود. $S_i = \sum |DI_i| < \text{آستانه}$	کمبود آب مرتبط با آب مورد نیاز برای مصارف خاص (آبیاری، مصرف آب شهری، تولید انرژی و غیره).
شدت	مقدار شدت / سختی تقسیم بر طول دوره (مدت یا تداوم رخداد)	پتانسیل کلی پیامد ها را مشخص می کند
مدت زمان / تداوم	تعداد روزها، ماه ها و یا گام های زمانی رخداد	خشکسالی های طولانی تر که در چرخه هیدرولوژیکی بیشتر طول می کشند از پتانسیل بالاتری برای ایجاد آثار آبخاری ^۲ و ثانویه برخوردار هستند
نقطه (آغاز) ^۳	روز، ماه و یا گام زمانی اول که مقدار شاخص در آن کمتر از حد آستانه تعیین شده باشد.	مرتبط با شرایطی که خشکسالی در یک دوره زمانی حساس همراه با نیاز آبی زیاد مانند زمان بذر دهی و گل دهی آغاز شود. همچنین مرتبط با مدیریت خشکسالی و اعلان هشدار برای موارد بحرانی در بخش کشاورزی

^۱ Drought Indicator^۲ Cascading effects^۳ Onset

متغیر	تشریح	ارتباط
نقطه توقف ^۱	در صورتی که شاخص‌های هواشناسی به مقادیر نرمال خود برگردند، رطوبت خاک در حال احیا شدن باشد، رویش مراتع و جنگل‌ها دوباره آغاز شود و مخازن و دریاچه‌ها مجدداً پر شوند.	مرتبط با مباحث مدیریتی
نقطه خاتمه/پایان ^۲	در صورتی که بهره‌وری کشاورزی و اکوسیستم‌های طبیعی به مقدار میانگین پیش از خشکسالی و همچنین تراز آب دریاچه‌ها و مخازن به مقدار میانگین پیش از خشکسالی برگشته باشد. شرایط اقتصادی-اجتماعی به شرایط نرمال نیز بازگشته است.	مرتبط با مباحث مدیریتی
ماه اوج ^۳	روز یا ماهی که در آن مقدار شاخص خشکسالی کمترین است.	مدت زمانی که شدیدترین پیامدهای بالقوه را دارد
محدوده متاثر ^۴	مساحت یا درصدی از یک منطقه (با کشور) با مقادیر شاخص خشکسالی کمتر از آستانه مشخص.	هر چقدر محدوده گسترده‌تر باشد، دارایی‌های بیشتری تحت تاثیر قرار می‌گیرند

^۱ Cessation^۲ End-point^۳ Peak month^۴ Area affected

فصل دوم / تغییرات آب و هوایی، تغییر اقلیم و خطر خشکسالی

۲-۱- خشکسالی های گذشته

خشکسالی یک بخش معمولی از تغییرات اقلیمی است. بررسی داده های حلقه درختی^۱ (سرویس جهانی داده برای پالئوکلیماتولوژی، بانک بین المللی داده حلقه درختی^۲ (ITRDB) که بزرگترین آرشیو عمومی داده های حلقه درختی در جهان است را مدیریت می کند. ITRDB شامل پهنای حلقه خام درخت، چگالی چوب، لندازه گیری ایزوتوپ و سایر اطلاعات از بیش از ۵۰۰۰ منطقه در شش قاره است. پارامترهای آب و هوایی بازسازی شده نیز برای برخی مناطق در دسترس است) و سایر داده های نماینده در کنار داده های اندازه گیری شده، نشان داده که خشکسالی های بزرگ مقیاس به دفعات زیاد در طول هزاره گذشته در مناطق مختلف جهان اتفاق افتاده است (Dai, 2011a; Glaser, 2001).

بررسی اطلاعات و سوابق نشان می دهند که جوامع ماقبل تاریخ و اوایل آن به شدت نسبت به تغییرات اقلیمی آسیب پذیر بوده اند. بسیاری از شواهد نشانگر این هستند که فشار ایجاد شده از طرف اقلیم به عنوان عامل اولیه برخی فروپاشی های متعدد اجتماعی مطرح می باشد (Weiss and Bradley, 2001). به عنوان مثال در سواحل شمالی پرو، تمدن موچه^۳ در اواخر قرن ششم میلادی متحمل یک خشکسالی به مدت تقریباً ۳۰ سال همراه با سیلاب های شدید شد. پایتخت پرو در آن زمان نابود شد، اراضی کشاورزی اطراف آن و سامانه های آبیاری از بین رفتند و قحطی های گسترده به وجود آمد. متعاقباً پایتخت به سمت شمال منتقل شد و فناوری های معماری و کشاورزی سازگار اجرا شدند (Shimada et al. 1991). چهارصد سال بعد، تمدن تیواناکو^۴ که بر اساس کشاورزی در آندس^۵ مرکزی (یک منطقه در کلمبیا) شکل گرفته بود به دلیل وقوع خشکسالی طولانی مدت از هم فروپاشید که در درون

^۱ Tree-ring

^۲ International Tree-Ring Data Bank (ITRDB)

^۳ Moche

^۴ Tiwanaku

^۵ Andes

یخ و هسته های رسوبی دریاچه ثبت و مستند شده بود (Kolata et al., 2000). در مزوآمریکا (آمریکای میانه)^۱ هسته های رسوبی دریاچه نشان داد که فروپاشی مایا^۲ (به اصطلاح عصر کلاسیک) در قرن نهم بعد از میلاد با شدید ترین و طولانی ترین خشکسالی آن هزاره مصادف شد (Brenner et al., 2001). در آمریکای شمالی، کشاورزی تمدن آنازازی^۳ نتوانست سه دهه خشکسالی غیرعادی و کاهش دما در قرن سیزدهم بعد از میلاد را تحمل نماید که منجر به تخلیه اجباری آن منطقه شد (Dean et al. 1993). Dai (2011a) and Cook et al. (2015). طی تحقیقاتی در سال های ۲۰۱۱ و ۲۰۱۵ مشخص شد که خشکسالی های بزرگ مقیاس در آمریکای شمالی و اروپا در نیمه اول هزاره دوم اتفاق افتاده است. خشکسالی های آمریکای شمالی در دهه ۱۹۳۰ و ۱۹۵۰ شامل خشکسالی معروف کاسه غبار، از شدت مشابه ولی مدت زمان کوتاه تری برخوردار بودند. در بین دلایل محتمل چنین خشکسالی های شدید و مستمر می توان به الگوهای دمای سطح دریا مربوط به پدیده نوسان ال نینو-جنوبی، انسو (ENSO)^۴ در مناطق گرمسیری اقیانوس آرام و بازخوردهای سطح زمین به عنوان مثال به دلیل تخریب زمین، اشاره کرد (Cook et al. 2009).

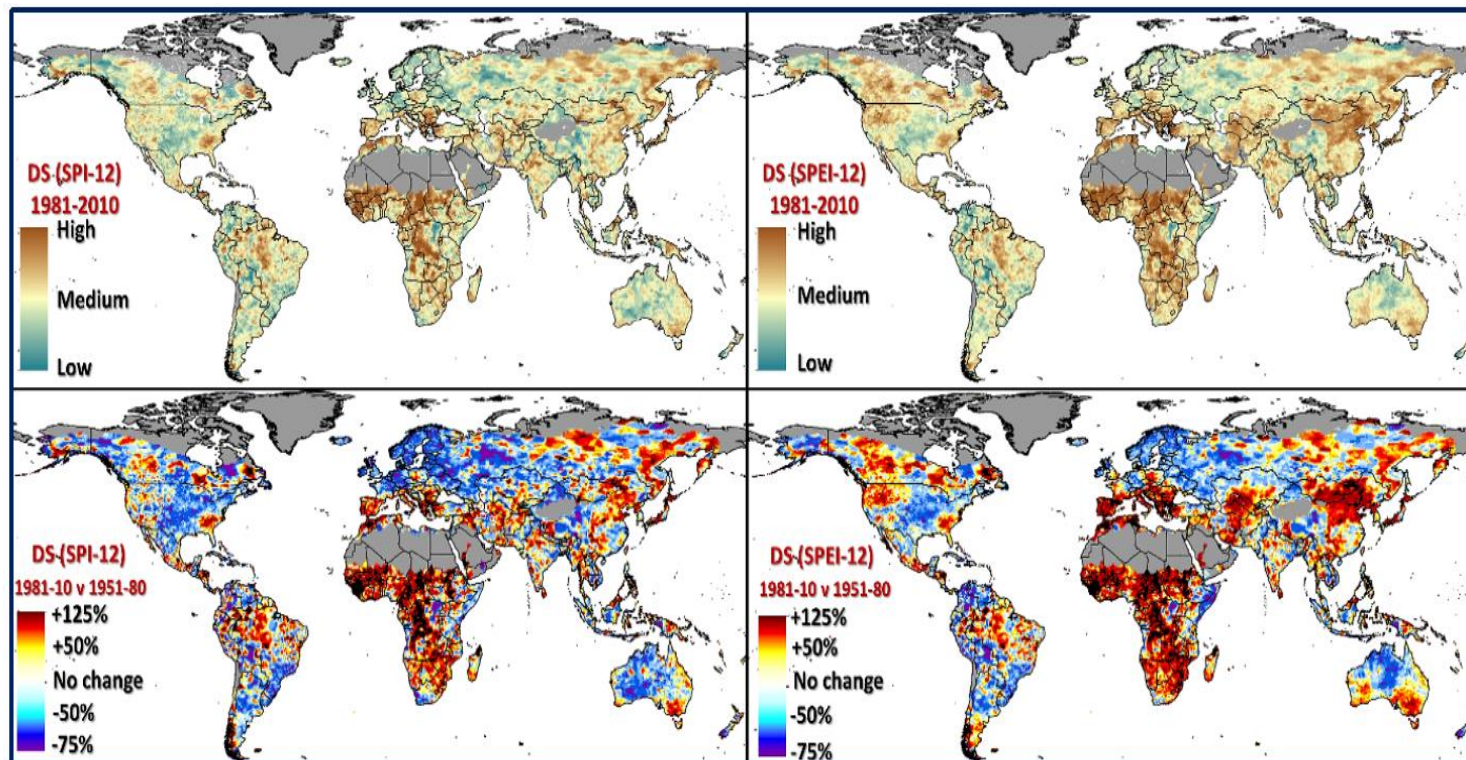
امروزه و در مقیاس جهانی، گرمایش در جو پایین، عمدتاً به دلیل اینکه هوای گرم تر می تواند بخار آب بیشتری را نگهداری کند، چرخه آبی را تقویت می کند (Coumo and Rahmstorf, 2012; Trenberth, 2010). این امر باعث می شود که مناطق خشک، خشک تر و مناطق مرطوب، مرطوب تر شوند و این موضوع توسط مدل های اقلیمی نیز پیش بینی می شود (Trenberth, 2010). گرمایش باعث تبخیر و تعرق بیشتر می شود که منجر به افزایش خشکی سطوح شده و بدین ترتیب شدت و مدت زمان خشکسالی ها نیز افزایش می یابد (Trenberth, 2010). میزان افزایش خشکی از دهه های ۱۹۵۰ و ۱۹۷۰ بین ۰.۵ تا ۱.۷۴ درصد در هر دهه تخمین زده شده است؛ چرخه های طبیعی نیز نقشی در این زمینه ایفا کرده اند (Cherlet et al., 2018; Dai, 2011a; Dai 2011b). طی تحقیقات Dai در سال ۲۰۱۳ نشان داده شد که گرمایشی که باعث خشکی می شود مساحت مناطق متاثر از خشکسالی را حدود ۸ درصد از دهه ۱۹۸۰ به بعد افزایش داده است.

^۱ Mesoamerica

^۲ Maya

^۳ Anasazi

^۴ El Niño-Southern Oscillation (ENSO)



شکل ۱. شدت خشکسالی بر اساس شاخص $SPI-12$ (چپ) و شاخص $SPEI-12$ (راست). شکل های فوقانی، شدت تجمعی بین سال های ۱۹۸۱-۲۰۱۰ و شکل های پایینی میزان تفاوت را بین دوره های زمانی ۱۹۵۱-۱۹۸۰ و ۱۹۸۱-۲۰۱۰ را نشان می دهند. مناطق خاکستری نشان دهنده مناطق سرد و بیابانی هستند.

شکل ۱ نتایج تحلیل تغییرات جهانی در زمینه شدت خشکسالی هواشناسی را بین دوره های ۱۹۵۱-۱۹۸۰ و ۲۰۱۰-۱۹۸۱ با استفاده از شاخص بارش استاندارد (SPI; McKee et al., ۱۹۹۹) و شاخص استاندارد تبخیر و تعرق از بارش (SPEI, Vicente- (SPEI, Guttman, ۱۹۹۳) و Serrano et al., 2010; Begueria et al., 2014) نشان می دهد. خشکسالی هواشناسی می تواند در اثر کمبود بارندگی طولانی مدت اتفاق بیافتد (Mishra and Singh, 2010) که در شاخص SPI لحاظ شده و یا در اثر ترکیب کمبود بارندگی و تقاضای تبخیر بالا رخ دهد (Dai et al., 2018) که در شاخص SPEI لحاظ شده است.

دو نقشه فوقانی در شکل ۱ شدت تجمعی تمام رخداد های خشکسالی در دوره زمانی ۱۹۸۱ تا ۲۰۱۰ را نشان می دهد. محاسبات بر اساس داده های مشاهداتی دریافتی از پایگاه داده مرکز اقلیم شناسی بارندگی جهانی^۱ (GPCCv7; Becker et al., 2013) و نیز داده های واحد تحقیقات اقلیمی دانشگاه شرق آنجلیا^۲ (CRUTSV4.01; Harris et al., 2014) با وضوح مکانی متوسط به بالا (۰.۵°) انجام شده است. دو نقشه پایینی نیز میزان تفاوت در شدت خشکسالی را بین سال های ۱۹۸۱ تا ۲۰۱۰ و ۱۹۵۱ تا ۱۹۸۰ را نشان می دهد. مناطق سرد و بیلانی به دلیل عدم قرلنت معنایی خشکسالی در این مناطق، با رنگ خاکستری مشخص شده اند.

اگرچه مقادیر (و تفاوت های بین دوره های زمانی) بر مبنای شاخص SPEI-۱۲ بزرگ تر هستند که شامل آثار افزایش دما می شود، بین هر دو شاخص (SPEI و SPI) در مورد مناطق حساس و بحرانی^۳ خشکسالی هواشناسی، طی دهه های اخیر همخوانی وجود دارد. برخی از این مناطق عبارتند از: جنگل آمازون، منطقه مدیترانه، بخش اعظم قاره آفریقا، شمال شرقی چین و جنوب شرقی استرالیا. همچنین محدوده های مرزی بین شمال غربی ایالات متحده و جنوب غربی کانادا براساس شاخص SPEI-۱۲ یک منطقه بحرانی خشکسالی را نشان می دهند.

۲-۲- تغییرات زیر فصلی تا فصلی و ENSO

خشکسالی ها به وسیله تغییرات مستمر الگوهای گردش جوی ایجاد می شوند که معمولاً به شرایط مرزی و متغیر جو (به عبارت بهتر، تغییر دمای سطح آزاد دریاها، پوشش یخی دریاها و اندرکنش خشکی-جو) مرتبط می باشند. در کنار سایر منابع با فراوانی وقوع کم (نظیر نوسان مادن-جولیان^۴ و نوسان آتلانتیک شمالی^۵)، این موضوع ثابت شده است که پدیده انسو (ENSO) یکی از عوامل اصلی

^۱ Global Precipitation Climatology Centre

^۲ University of Anglia's Climate Research Unit

^۳ Drought hotspots

^۴ Madden Julian Oscillation

^۵ North Atlantic Oscillation

وقوع خشکسالی های دوره ای در مناطق مختلف دنیا است (Trenberth et al., 2014; Davey et al. 2014). چرخه های طبیعی اندرکنش اقیانوسی-جوی منجر به ایجاد نوسانات مکرر بین وضعیت دمای سطح دریای گرم (El Nino) و سرد (La Nina) در اقیانوس آرام در محدوده خط استوا می شود. اگرچه محققان به ارتباط قوی بین پدیده انسو و وقوع خشکسالی های شدید در استرالیا، هند، اندونزی، فیلیپین، برزیل، قسمت هایی از شرق و جنوب آفریقا و جزایر واقع در غرب اقیانوس آرام (شامل هاوایی)، آمریکای مرکزی و بخش های مختلفی از ایالات متحده پی برده اند، طی وقوع یک رخداد انسو، خشکسالی می تواند در هر منطقه ای از جهان اتفاق بیافتد. خشکسالی در مناطق فوق الذکر در زمان ها و فصول مختلف طی یک رخداد گرم و یا سرد با درجه بزرگی متغیر اتفاق می افتد. به عنوان مثال، زمان آغاز پدیده مونسون در مناطق گرمسیری استرالیا معمولا ۲ الی ۶ هفته در سالهای وقوع پدیده ال نینو نسبت به سال های وقوع پدیده لانینا دیرتر رخ می دهد.

یک ملاحظه نوظهور در تحلیل خشکسالی عبارتست از وقوع رخدادهای خشکسالی زیر فصلی^۱ (با مدت زمانی کمتر از سه ماه) که می تواند باعث تشدید و یا تمديد خشکسالی های بلند مدت و یا طول دوره خشکی گردد. این خشکسالی های ناگهانی^۲ به دوره های نسبتا کوتاه دمای سطح گرم و کاهش غیرطبیعی و سریع رطوبت خاک اشاره دارند. بر اساس سازوکارهای فیزیکی مرتبط با خشکسالی های ناگهانی، این رخدادها به دو دسته طبقه بندی می شوند: موج گرمایی و کمبود بارش (Otkin et al., 2017).

در سال ۲۰۱۲، گستره منطقه ای خشکسالی در ایالات متحده از ۳۰ درصد به ۶۰ درصد در طول سه ماهه بین ماه می تا ژولای افزایش یافت. ترکیب کمبودهای شدید بارش با دماهای بالا و تابش شدید خورشید باعث شکل گیری خشکسالی خیلی سریع در کل محدوده مرکزی ایالات متحده شد. به بیان دیگر، مکانهایی که به طور کلی در پایان ماه می معمولا شرایطی نزدیک به وضعیت نرمال داشتند در طی فقط دو الی سه ماه بعدی دچار شرایط خشکسالی خیلی شدید شدند. پیامد قابل توجه این خشکسالی ناگهانی، وارد آمدن خسارتی بالغ بر ۳۰ میلیارد دلار در کل کشور ایالات متحده بود. به طور مشابه، در سال ۲۰۱۶، خشکسالی خیلی شدیدی به سرعت بخش بزرگی از جنوب شرقی ایالات متحده را در فصل پاییز فرا گرفت که در آن محدوده وسیعی در طی مدت سه ماه، خشکسالی با شدت چهار برابر را تجربه کرد. آب و هوای استثنایی گرم و خشک در طول فصل بهار و اوایل تابستان سال ۲۰۱۷ در سرتاسر دشت های شمالی ایالات متحده منجر به افزایش چهار برابری شدت خشکسالی در طول دو ماه در منطقه مذکور گردید.

^۱ Subseasonal

^۲ Flash droughts

پایش و پیش بینی خشکسالی در حال تغییر الگو (پارادایم شیفت) با توجه به رفتار تبخیر-تعرق (ET)، تقاضای تبخیر (E_t) و تبعات دما بر شرایط خشکسالی در یک اقلیم در حال تغییر است. داده های تبخیر-تعرق واقعی حاصل از سنجش از راه دور به عنوان یک مکمل برای شاخص های خشکسالی مبتنی بر تبخیر-تعرق پتانسیل مانند شاخص خشکسالی تقاضای تبخیر (Hobbins et al., 2016; Roderick et al., 2015) محسوب می شود که بیانگر میزان خشکی شرایط جوی در مقیاس محلی است. تقاضای تبخیر بالا می تواند یک شاخص تاثیرگذار برای آغاز خشکسالی سریع باشد، اگرچه این شاخص همیشه در عمل منجر به ایجاد تبعات و پیامدهای خشکسالی واقعی مثلا به دلیل بهبود شرایط توسط منابع رطوبتی فرعی، نمی شود. پیش بینی مقادیر E_t در گام های زمانی روزانه تا فصلی مورد توجه و رضایت ذی نفعان و ذی مدخلان و مدیران در برخی بخش ها شامل کشاورزی، مدیریت منابع آب و مدیریت آتش سوزی اراضی بایر قرار گرفته است که عمدتا حاصل پیشرفت های اخیر است که در آن نقش و ارزش مقدار E_t در پایش خشکسالی برجسته شده است. هر چند، در حال حاضر ابزارهای کمی برای پیش بینی مقادیر E_t موجود است.

علاوه بر آن، ارزیابی روندهای چند ساله و چند دهه اخیر بدون لحاظ نمودن دوره های زمانی پایه که به اندازه کافی طولانی بوده و نشان دهنده تغییرات طبیعی آب و هوایی باشد، غیر قابل اتکا است. عدم قطعیت های مهمی که درباره درجه پدیده انسو، نوسانات ده ساله اقیانوس آرام و نوسانات بین دهه ای اقیانوس آرام وجود دارد، تحت تاثیر تغییر اقلیم بوده و آنها موثر بر میزان تبخیر-تعرق بلند مدت است (Wood et al., 2015).

درک مکانیسم های پشت و ویژگی های آب و هوایی با فراوانی پایین مانند ENSO برای بهبود قابلیت های بشر برای پیش بینی به موقع فصلی رخداد خشکسالی کلیدی است. حتی اگر تحقق این موضوع در مراحل اولیه خود باشد، پیش بینی فصلی قابل اعتماد همراه با یک شبکه پایش قابل اعتماد و یک ارزیابی ریسک مناسب می تواند امکان توسعه سامانه های هشدار زودهنگام و اجرای به موقع طرح های مقابله با خشکسالی را فراهم آورد (Dutra et al., 2014; Naumann et al., 2014).

۲-۳- تغییر اقلیم و خشکسالی های آینده

پیشرفت های علمی موجب ارتقاء نتایج گزارش ارزیابی چهارم (AR^۴)^۱ پنل بین الدولی تغییر اقلیم (IPCC^۳)، به ویژه در شرایط افزایش ریسک تغییرات سریع، غیرمنتظره و غیرقابل بازگشت سطوح بالای گرمایش شده است. این ریسک ها شامل افزایش میزان خشکی، خشکسالی و دماهای شدید در

^۱ Evaporative demand drought index (EDDI)

^۲ Fourth Assessment Report (AR4)

^۳ Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)

بسیاری از مناطق جهان می باشد (World Bank Group, 2012). علیرغم وجود عدم قطعیت در پیش بینی های اقلیمی، بسیاری از مناطق جهان احتمالاً با خشکسالی های مکرر و/یا شدید در قرن ۲۱م مواجه هستند که در میان این مناطق می توان به مدیترانه، جنوب آفریقا و آمریکای مرکزی اشاره نمود (Orlowsky and Seneviratne, 2013).

کاهش میزان بارندگی و یا تغییر الگوهای بارندگی به همراه تقاضای تبخیر بیشتر که با دماهای بالاتر ارتباط دارد، فرایندهای بنیادی هستند که خشکسالی های مکرر و شدید را ایجاد می کنند. سه درجه سانتی گراد افزایش دمای جهان موجب می شود خشکسالی های با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله کنونی (یعنی خشکسالی شدیدی که در شرایط دمایی فعلی در هر ۱۰۰ سال یکبار رخ می دهد) به دوره بازگشت ۱۰ ساله در ۳۰ درصد مناطق تحت تاثیر (اراضی که اکنون درگیر خشکسالی با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله هستند) منجر شود (Naumann et al., 2018a).

این سناریوها توصیه می کنند که ریسک خشکسالی برای بسیاری از بخش های اقتصادی و مناطق آسیب پذیر افزایش خواهد یافت؛ مگر اینکه اقدامات مناسبی در زمینه کاهش و سازگاری با تغییر اقلیم اتخاذ شوند. بسیاری از مناطق دنیا با تراکم جمعیتی زیاد و نیز جوامع آسیب پذیر که به تولیدات کشاورزی محلی وابسته هستند ممکن است متحمل خسارات قابل توجهی ناشی از خشکسالی شوند. این مناطق دارای اولویت بیشتری برای پایش و کمی سازی تبعات و پیامدهای هدفمند ناشی از خشکسالی به عنوان مبنایی برای مدیریت و سازگاری با خشکسالی هستند. تغییرات اقلیم اخیر که مشخصه اش به طور ویژه افزایش دمای جهانی است، تبعات و پیامدهای بسیاری دارد که یکی از مهمترین آنها افزایش فراوانی وقایع حدی آب و هوایی^۱ است (IPCC, 2014). خشکسالی از این مورد مستثنا نیست و در دهه های اخیر، گرایش عمومی به سمت خشکسالی های با فراوانی وقوع و شدت زیاد در متون علمی مورد بحث و بررسی قرار گرفته است (Sheffield et al., 2012; Dai, 2013).

مطالعات انجام شده قبل از گزارش ارزیابی چهارم IPCC اشاره می کردند که اطمینان متوسطی راجع به پیش بینی افزایش مدت زمان و شدت خشکسالی ها در قسمت های جنوبی اروپا، منطقه مدیترانه، اروپای مرکزی، مناطق مرکزی آمریکای شمالی، آمریکای مرکزی و مکزیک، شمال شرق برزیل و مناطق جنوبی آفریقا وجود دارد. برای سایر مناطق نیز اطمینان پایینی راجع به پیش بینی مدت و شدت خشکسالی وجود دارد که دلیل آن عدم اجماع در زمینه پیش بینی های تغییرات خشکسالی است که به مدل و شاخص خشکی وابسته هستند (Seneviratne et al., 2012). درحالی که میانگین بارندگی در جهان گرم تر افزایش خواهد یافت، بارندگی در عرض های جغرافیایی نیمه

^۱ Weather-related extreme events

گرمسیری به ویژه محدوده مدیترانه کاهش خواهد یافت. تغییرات بارندگی عموماً تنها زمانی از نظر آماری معنی دار می شوند که دما حداقل ۱.۴ درجه سانتی گراد افزایش یابد و در مناطق زیادی از دنیا تغییرات پیش بینی شده در قرن ۲۱م در محدوده تغییرات طبیعی اواخر قرن ۲۰م قرار دارد (Mahlstein et al., 2012). یعنی میزان بارندگی به شکل برف و پوشش برفی از مقدار، وسعت و تداوم کمتری (با اطمینان بالا) برخوردار خواهد بود و میزان خشکی مناطق و فصول نیز (با اطمینان بالا) بیشتر خواهد شد. نکته مهم قابل توجه این است که نتایج مدل‌های پیش بینی رخداد خشکسالی (بارش)، خیلی واگرا هستند؛ بنابراین در بهترین حالت، اطمینان متوسطی درباره پیش بینی‌ها وجود دارد (Seneviratne et al., 2012).

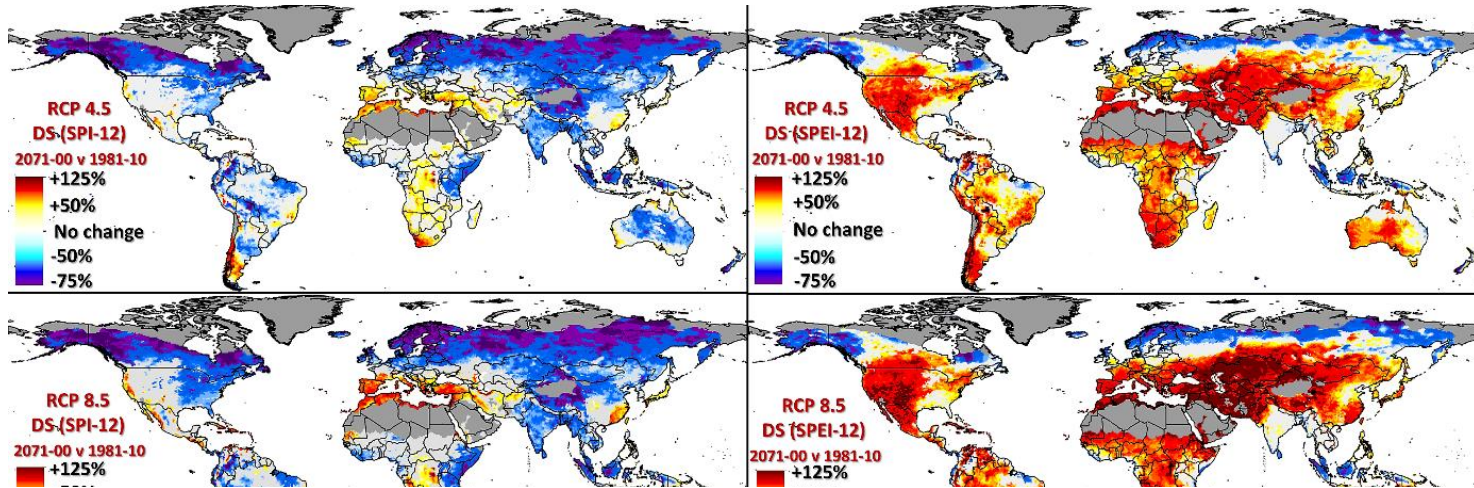
تغییر در میزان تبخیر دارای الگوهای مکانی مشابه تغییرات بارندگی است که به احتمال زیاد در آب و هوای گرمتر افزایش نیز خواهد یابد. در نتیجه چرخه هیدرولوژیکی را شتاب خواهد بخشید. کاهش رطوبت خاک در بسیاری از مناطق به ویژه در اروپای مرکزی و جنوبی و جنوب آفریقا (اعتماد متوسط به بالا) محتمل است. برای تعدادی از سناریوها، بین اواسط قرن بیستم تا پایان قرن بیست و یکم، خشکسالی‌های رطوبت خاک (کشاورزی) که ۴ تا ۶ ماه به طول می انجامد در وسعت و فراوانی وقوع دو برابر می شوند، و خشکسالی‌های طولانی‌تر از ۱۲ ماه سه برابر بیشتر اتفاق می افتند (Sheffield and Wood, 2008). در عین حال، کاهش رطوبت خاک می‌تواند ریسک روزهای به شدت گرم و امواج گرمایی را افزایش دهد. (Seneviratne et al., 2006).

از آنجایی که پیش بینی‌های آینده با عدم قطعیت‌های فراوانی مواجه هستند (Dai and Zhao, ۲۰۱۷; Zhao and Dai, ۲۰۱۷; Moon et al., ۲۰۱۸, Naumann et al., ۲۰۱۸a) ادامه‌ارایه می شوند (شکل ۲) بر اساس نتایج طیف وسیعی از شبیه‌سازی‌ها، (به عنوان مثال داده‌های بارش و دما حاصل ۱۰۹ شبیه‌سازی مدل CORDEX^۱) تهیه شده‌اند. در این شکل‌ها نتایج دو سناریوی متفاوت آب و هوایی، سناریوی انتشار متوسط RCP۴.۵^۲ (Thomson et al., 2011) و سناریوی شدیدتر RCP۸.۵ (Riahi et al., 2011) نشان داده شده است. در مقایسه با تحلیل روندهای گذشته (شکل ۱)، اثر دما در پیش‌بینی‌های خشکسالی مشهودتر می‌شود (شکل ۲). بر اساس شاخص SPI-۱۲ و تحت هر دو سناریوی اقلیمی فوق‌الذکر شدت خشکسالی تا پایان قرن ۲۱م در مناطق محدودی نظیر شیلی و آرژانتین، منطقه مدیترانه و بخش‌های بزرگی از جنوب آفریقا احتمالاً افزایش می‌یابد. مناطق پراکنده در جنوب شرقی چین و جنوب استرالیا احتمالاً تحت سناریوی اقلیمی شدیدتر RCP۸.۵ افزایشی را در میزان شدت خشکسالی تجربه کنند. نکته جالب توجه، کاهش

^۱ Coordinated Regional Downscaling Experiment (CORDEX; <http://www.cordex.org/>)

^۲ Representative Concentration Pathways (RCP)

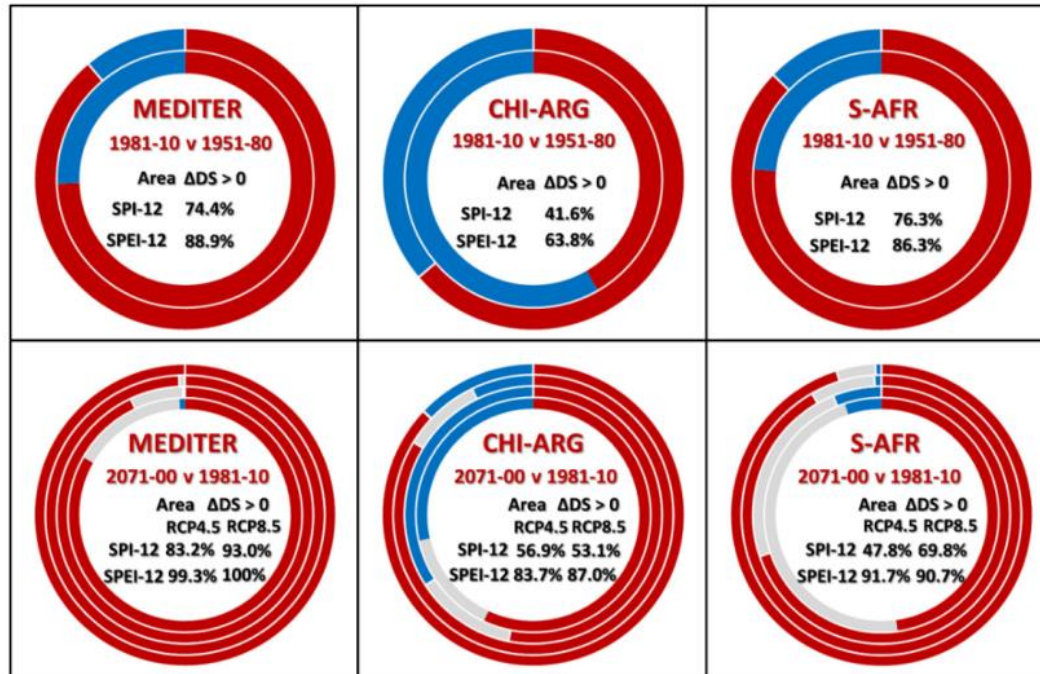
گسترده شدت خشکسالی در عرض های جغرافیایی بالاتر از $45^{\circ}N$ همزمان با سپری شدن قرن ۲۱م است. در عوض، طبق شاخص SPEI-۱۲ احتمالاً مناطق بیشتری دچار خشکسالی هایی با فراوانی وقوع و شدت بیشتر می شوند؛ همانطور که انتظار می رود در کل دنیا به جز آلاسکا، عرض های جغرافیایی واقع در شمال منطقه اوراسیا و مناطق اقیانوسی جنوب شرق آسیا تمایلی را در جهت افزایش شدت خشکسالی نشان می دهند که این میزان تمایل به خشکسالی بر اساس سناریوی اقلیمی RCP۸,۵ قوی تر نیز می باشد.



شکل ۲. شدت خشکسالی بر اساس شاخص $SPI-12$ (چپ) و شاخص $SPEI-12$ (راست). تمام شکل‌ها میزان تفاوت را بر حسب درصد بین سال‌های ۲۰۱۰-۱۹۸۱ و ۲۰۷۱-۲۱۰۰ تحت سناریوهای $RCP4,5$ (بالا) و $RCP8,5$ (پایین) نشان می‌دهند. مناطق با رنگ خاکستری روشن بیانگر مناطقی است که در آنها کمتر از دو سوم شبیه‌سازی‌ها با علامت تغییر تطابق دارند. مناطق با رنگ خاکستری تیره مناطق سرد و بیابانی می‌باشند.

با ترکیب اطلاعات حاصل از شکل های ۱ و ۲ پیش بینی می شود که اکثر مناطق حساس و بحرانی خشکسالی که در دهه های گذشته دچار خشکسالی شدند شاهد افزایش شدت خشکسالی در آینده نیز باشند. بنابراین این مناطق دارای بیشترین ریسک مواجهه با تبعات یا پیامدهای خشکسالی و یا حتی فرآیند های تخریب غیرقابل بازگشت زمین هستند. بر اساس هر دو شاخص و تحت هر دو سناریوی پیش بینی آینده، شیلی و آرژانتین، منطقه مدیترانه و بخش اعظمی از جنوب آفریقا با افزایش مستمر در شدت خشکسالی در دوره زمانی ۱۹۵۱ تا ۲۱۰۰ مواجه هستند. در مناطق مذکور، اثر دما احتمال دارد که خشکسالی ها را تشدید کند، اما روند خشک شدن به عنوان مهمترین عامل اقلیمی برای خشکسالی های هواشناسی در این مناطق محسوب می شود. از طرف دیگر، دماهای در حال افزایش در آمریکای شمالی، جنگل های آمازون، جنوب صحرای آفریقا، آسیای مرکزی و استرالیا احتمالاً نقش کلیدی را در روند خشکسالی هواشناسی ایفا کنند.

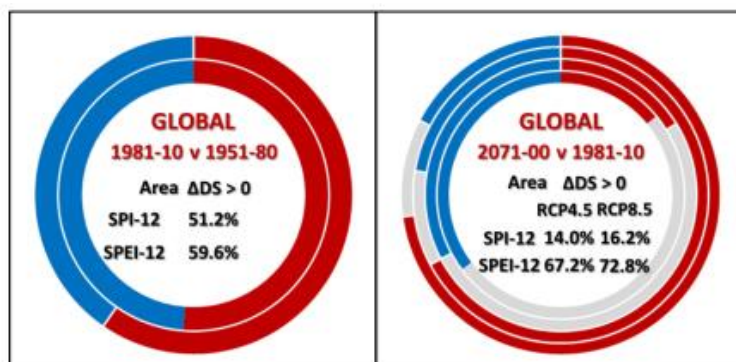
با توجه به شکل ۳ در سه منطقه حساس و بحرانی اشاره شده، پیش بینی می شود که شدت خشکسالی در اکثر این مناطق به ویژه تحت سناریو RCP۸٫۵ افزایش یابد. به طور خاص، تحت این سناریو و بر اساس هر دو شاخص SPI-۱۲ و SPEI-۱۲ تقریباً ۱۰۰ درصد مدیترانه احتمالاً با افزایش شدت خشکسالی رو به رو می شود؛ هرچند که تغییر به سمت اقلیم های خشک تر و گرم تر می تواند پیامدهای چشمگیری در جنوب اروپا داشته باشد. وضعیت مشابهی برای عرض های جغرافیایی زیر ۱۰° جنوبی در آفریقا پیش بینی می شود. در سومین منطقه حساس و بحرانی خشکسالی یعنی شیلی و آرژانتین، روند خشک شدن به شیلی و اکثر مناطق جنوبی آرژانتین محدود می شود؛ در حالی که روند مرطوب شدن در دشت های واقع در مرکز آرژانتین حاکی از پیش بینی خشکسالی نه چندان شدید همزمان با سپری شدن قرن ۲۱م است.



شکل ۳. درصد مناطقی که در آنها شدت خشکسالی از سال های ۱۹۸۰-۱۹۵۱ تا سال های ۲۰۱۰-۱۹۸۱ (بالا) و از سال های ۲۰۱۰-۱۹۸۱ تا سال های ۲۰۷۱-۲۱۰۰ (پایین) در سه منطقه حساس و بحرانی خشکسالی شامل مدیترانه (MEDITER)، جنوب شیلی و آرژانتین (CHI-ARG) و جنوب آفریقا (S-AFR) افزایش یافته است. رنگ قرمز نشانگر افزایش در شدت خشکسالی است، رنگ آبی نشانگر کاهش و رنگ خاکستری نشانگر تغییرات پیش بینی شده نامشخص است. در شکل های بالایی، دایره داخلی مربوط به شاخص SPI-۱۲ و دایره خارجی مربوط به شاخص SPEI-۱۲ می باشد. در شکل های پایینی، دایره های داخلی به خارجی عبارتند از: SPI-۱۲، RCP۴،۵، RCP۸،۵، SPI-۱۲ RCP۴،۵، SPEI-۱۲ RCP۸،۵ و SPEI-۱۲ RCP۸،۵.

در مقیاس جهانی (شکل ۴)، بر اساس هر دو شاخص SPI و SPEI (اندکی بیشتر)، شدت خشکسالی از سال های ۱۹۸۰-۱۹۵۱ تا سال های ۲۰۱۰-۱۹۸۱ در بیش از نیمی از خشکی کره زمین (به غیر از قطب جنوب و مناطق سرد و بیابانی) افزایش یافته است. با اتمام قرن، بر اساس شاخص SPI-۱۲ و طبق سناریوهای RCP۴,۵ و RCP۸,۵ شدت خشکسالی بترتیب در حدود ۱۴ درصد و ۱۶ درصد از مناطق خشکی کره زمین افزایش می یابد. زمانی که اثر افزایش تقاضای جوی لحاظ می شود (از طریق تحلیل شاخص SPEI-۱۲) این مقادیر تا حدود ۶۷ درصد (طبق سناریوی RCP۴,۵) و ۷۳ درصد (طبق سناریوی RCP۸,۵) افزایش می یابد.

برعکس، براساس شاخص SPI-۱۲ و بر اساس سناریوی RCP، بین ۳۳ تا ۳۵ درصد مناطق خشکی کره زمین با کاهش شدت خشکسالی مواجه هستند. همچنین با در نظر گرفتن شاخص SPEI-۱۲، حدود ۱۷ تا ۲۲ درصد از مناطق مذکور با کاهش شدت خشکسالی مواجه خواهند بود. به عنوان جمع بندی، پیش بینی های وضعیت خشکسالی در اکثر مناطق دنیا به دلیل عدم قطعیت های بالای مدل های شبیه سازی های اقلیمی، با اطمینان پایینی مواجه هستند.



شکل ۴. درصد مناطقی که در آنها شدت خشکسالی از سال های ۱۹۵۱-۱۹۸۰ تا سال های ۲۰۱۰-۱۹۸۱ افزایش یافته است (چپ). پیش بینی می شود که شدت خشکسالی از سال های ۲۰۱۰-۱۹۸۱ تا سال های ۲۱۰۰ تا ۲۰۷۱ افزایش یابد (راست).

در شکل ۴، رنگ خاکستری روشن مناطقی را نشان می دهد که در آنها تغییرات پیش بینی شده توسط بیش از یک سوم شبیه سازی ها با یکدیگر تطابق ندارند. این مناطق بر اساس شاخص ها و سناریوهای مختلف تغییر می کنند. به طور کلی، بر اساس شاخص های SPI-۱۲ و SPEI-۱۲ و هر دو سناریوی RCP، این نوع مناطق بترتیب حدود ۵۱ درصد و ۱۰ درصد می باشند. آمار اشاره شده

نشان می دهد نتایج شبیه سازی های اقلیمی در زمینه پیش بینی خشکسالی (به دلیل ساختار مدل ها) در صورت لحاظ نمودن تغییرات دمایی؛ تطابق بالاتری با یکدیگر را نشان می دهند (Taylor et al., 2012). از طرف دیگر، پیش بینی خشکسالی هواشناسی که تنها بر اساس مقدار بارش صورت می گیرد غالباً با عدم قطعیت زیادی مواجه است، لذا دقت این پیش بینی ها ممکن است با استفاده از مدل های اقلیمی نسل جدید ارتقا یابد (Eyring et al., 2016).

فصل سوم / ارزیابی ریسک خشکسالی جهانی

۳-۱- مفهوم

واژه "ریسک" و واژگان مرتبط با آن یعنی "خطر"، "در معرض قرارگیری (مواجهه)" و "آسیب‌پذیری" در جوامع علمی به دفعات استفاده شده و به طرق مختلف تعریف شده اند که حاکی از تفاوت‌های قابل توجه بین جوامع فعال در زمینه کاهش ریسک بلایابلا یا^۱ (DRR) و سازگاری با تغییر اقلیم^۲ (CCA) است (Brooks, 2003). آنها تحلیل خود را بر پایه دو چهارچوب نظری بنا می‌کنند که معمولاً تحت عنوان رویکرد نتیجه یا پیامد^۳ (توسط جامعه CCA) و رویکرد زمینه‌گرا یا عاملی^۴ (توسط جامعه DRR) اتلاق می‌شوند (Tánago et al. ۲۰۱۶, Naumann et al. ۲۰۱۸b).

رویکرد نتیجه یا پیامد براساس ارتباطات بین عامل تنش‌زا و عکس‌العمل تعریف می‌شود. در اینجا آسیب‌پذیری، نقطه انتهایی تحلیل است (هر میزان یک جامعه متحمل خسارت بیشتری شود، آسیب‌پذیری بیشتر خواهد بود). این رویکرد به استفاده از آمارهای تاریخی کمی به عنوان نماینده‌ای برای برآورد آسیب‌پذیری متکی است (Brooks et al., ۲۰۰۵, Peduzzi, ۲۰۰۹). با این حال، وابستگی به تبعات و پیامدهای تاریخی محدودیت‌های بسیاری دارد، چون داده‌های مربوط به پیامدها معمولاً در دسترس نیست و یا برای مقیاس‌های زمانی کوتاه مدت در دسترس می‌باشند که همین امر مانع تهیه نقشه‌های همگن ریسک در مقیاس جهانی است. به علاوه، جمعیتی که تحت تاثیر پیامدها قرار گرفته‌اند و نیز انواع پیامدها منطقه به منطقه متفاوت می‌باشند که مانع از انجام تحلیل‌های گسترده و مستمر می‌شود.

^۱ Disaster Risk Reduction (DRR)

^۲ Climate Change Adaptation (CCA)

^۳ Outcome or Impact Approach

^۴ Contextual or Factor Approach

رویکرد زمینه‌گرا یا عاملی بر اساس عوامل ذاتی اجتماعی و اقتصادی پایه‌گذاری شده است که بیانگر آسیب‌پذیری هستند. اینجا آسیب‌پذیری نقطه‌آغازین است که امکان شناسایی جمعیت و دارایی‌های در معرض قرار گرفته و مستعد آثار مخرب یک رخداد خشکسالی را فراهم می‌کند. این رویکرد به طور کلی به شاخص‌های ترکیبی وابسته است؛ در واقع ترکیب ریاضی یک سری از عوامل ریسک که هیچ واحد (بعد) مشترکی ندارند (OECD-JRC, 2008). مقادیر حاصله، مقدار مطلق از تلفات یا خسارات اقتصادی وارده به جامعه و یا محیط زیست نیست، بلکه مقادیر آماری نسبی است که رتبه‌بندی منطقه‌ای را برای پیامدهای بالقوه‌ارایه می‌کند و می‌تواند در اولویت‌بندی اقدامات با هدف تقویت مدیریت بلایا و برنامه‌های سازگاری ایفای نقش نمایند.

هر دو رویکرد، روش‌های جایگزین اما تکمیلی را به منظور تخمین ریسک خشکسالی در مقیاس‌ها و سطوح هماهنگی مختلف‌ارایه می‌کنند. از آنجا که تبعات و پیامدهای خشکسالی دارای زمینه خاصی هستند و به صورت جغرافیایی تغییر می‌کنند، مدل‌های رگرسیون (رویکرد نتیجه) برای تدوین برنامه‌های آمادگی و اقدامات کاهش ریسک در مقیاس محلی تا ملی مهم هستند، در حالی که شاخص‌های ترکیبی (رویکرد زمینه‌گرا) می‌توانند نقاط اهرم (اثرگذار) عمومی را برای کاهش پیامدها از مقیاس محلی تا مقیاس جهانی شناسایی نمایند.

برای ارزیابی جهانی‌ارایه شده، رویکرد زمینه‌گرا استفاده می‌شود و ریسک به صورت تابعی از خطر طبیعی، دارایی‌های در معرض و آسیب‌پذیری ذاتی سامانه اجتماعی یا طبیعی در معرض به صورت ذیل تعریف می‌شود:

$$Risk = f(Hazard, Exposure, Vulnerability)$$

که در آن آسیب‌پذیری به عنوان یک ویژگی ذاتی یک سامانه که مستقل از خطر خارجی وجود دارد، تعریف شده است (Brooks, 2003, p.4).

بر اساس این تعریف، ریسکی که باعث وارد آمدن آسیب‌ها و خسارات اقتصادی ناشی از یک خشکسالی می‌شود به ترکیبی از شدت و احتمال وقوع یک رخداد معین، دارایی‌ها و/یا مردم در معرض و آسیب‌پذیری ذاتی و یا ظرفیت مقابله با خطر بستگی دارد. در جدول ۲ به طور خلاصه، ویژگی‌های اصلی سه مولفه ریسک خشکسالی و داده‌های مرتبط و مورد نیاز برای نمایش هر یک از آنها‌ارایه شده است.

جدول ۲. مولفه های تحلیل ریسک خشکسالی (van Lanen et al., 2017)

مولفه	ویژگی	داده ها
خطر	بزرگی یا مقدار یک کمبود آب و هواشناسی	شاخص های هواشناسی، هیدرولوژیکی و/یا بیوفیزیکی
در معرض قرارگیری (مواجهه)	مقدار عناصر و دارایی های در معرض یک خطر خشکسالی است	کمیت و موقعیت جمعیت انسانی، زیرساخت ها، فعالیت های اقتصادی و/یا اکوسیستم ها
آسیب پذیری	حساسیت عناصر در معرض آثار مخرب خشکسالی	شاخص های ترکیبی شامل مولفه های اجتماعی، اقتصادی، محیط زیستی و/یا زیرساختی
ریسک کلی	خسارات و تلفات بالقوه ناشی از خشکسالی ها به یک دارایی خاص	در یک مقیاس احتمالاتی به صورت ترکیبی از بزرگی یا شدت خشکسالی، سطح در معرض قرارگیری (مواجهه) و آسیب پذیری محاسبه می شود. سرانجام، ریسک کلی به سیاست های مداخله ای و برنامه های مدیریتی مرتبط می شود.

کاربران نهایی، مدیران و سیاست گذاران حوزه آب به منظور محافظت از مردم در برابر شوک ها و نیز تدوین برنامه های مدیریتی با هدف کاهش تبعات و پیامدهای خشکسالی به ارزیابی های ریسک خشکسالی وابسته هستند. بنابراین، ارزیابی های ریسک خشکسالی باید شامل اطلاعات مربوط به نیازهای کاربران خاص باشند. این اطلاعات باید بتواند به سوال هایی نظیر اینکه کجا و چه نهادها یا بخش هایی احتمال دارد که تحت تاثیر خشکسالی قرار بگیرند و چرا این نهادها و بخش ها به وقایع خشکسالی حساس هستند، پاسخ دهند. از آنجا که مولفه های در معرض قرارگیری (مواجهه) و آسیب پذیری بین بخش های مختلف اقتصادی (مانند کشاورزی، تامین آب، تولید انرژی، انتقال آب بین حوضه ای، گردشگری، سلامت عمومی) و اکوسیستم های مختلف تغییر می کنند، ارزیابی های ریسک خشکسالی باید متناسب با همان بخش خاص باشد.

۳-۲- ارزیابی ریسک برای کشاورزی و سایر بخش های اصلی

در این بخش، یک مثال از ارزیابی ریسک جهانی خشکسالی با تاکید بر پیامدهای ایجاد شده در بخش کشاورزی و سایر بخش های اصلی که در مقیاس جهانی مهم شمرده می شوند، ارائه شده است.

این ارزیابی براساس رویکرد مفهومی توسط برنامه عمران سازمان ملل (UNDP) (UNDP/BCPR, 2004) ارائه گردیده و توسط Carrão et al. (2016) در سال ۲۰۱۶ اجرا شده است. در این راستا، ارزیابی خطر، در معرض قرارگیری و آسیب پذیری اجتماعی به منظور دستیابی به ارزیابی ریسک پیامدهای عمده ناشی از خشکسالی با یکدیگر ادغام می شوند. گام ها و مراحل این ارزیابی به تفکیک در ادامه توضیح داده شده اند.

۳-۲-۱- ارزیابی خطر

بارندگی می تواند به عنوان یک شاخص معرف از میزان آب موجود در یک سامانه جفت شده انسان-محیط زیست در نظر گرفته شود (Svoboda et al., 2002). فراوانی و شدت کمبودهای غیر نرمال بارندگی می تواند بیانگر خطر خشکسالی برای یک منطقه باشد.

در ارزیابی کنونی، خطر خشکسالی به صورت احتمال تجاوز از میانه کمبودهای شدید بارندگی جهانی برای یک دوره تاریخی مرجع (۱۹۰۱ تا ۲۰۱۰) (شکل ۶، شکل بالا سمت چپ) تخمین زده می شود. شدت کمبود بارندگی توسط شاخص آنومالی وزن دار بارندگی استاندارد (WASP)^۱ محاسبه می شود. (Lyon and Barnston, 2005) شاخص WASP به این دلیل انتخاب شد که در زمان و مکان استاندارد شده است؛ یعنی اثر آنومالی های استاندارد بزرگ را که نتیجه ای از مقادیر کم بارندگی در طی فصول خشک هستند را محدود می کند. این شاخص بر آنومالی ها در فصول پر بارش تاکید دارد که در آن محصولات به نوسانات آب بیشتر حساسیت نشان می دهند.

۳-۲-۲- ارزیابی در معرض قرارگیری (مواجهه)

اطلاعات معنادار درباره مولفه "در معرض قرارگیری (مواجهه)" به نهادها، دارایی ها، زیر ساخت ها و مردم واقع در یک منطقه مستعد خشکسالی مرتبط است. مدل در معرض خشکسالی قرار گرفتن که در اینجا به کار گرفته شده بر اساس لایه های جغرافیایی مکانی، محاسبه و اعتبارسنجی می شود. بر اساس Carrão et al. (2016) می توان ادعا نمود این رویکرد در معرض خشکسالی بودن جامع است و توزیع مکانی بسیاری از امان های فیزیکی (شاخص های نماینده) را که ویژگی های مربوط به کشاورزی و فعالیت های بخش های اصلی را مشخص می کنند، در نظر می گیرد. برای مثال، مناطق

^۱ Weighted Anomaly of Standardized Precipitation (WASP)

زراعی (خشکسالی کشاورزی)، دام (خشکسالی کشاورزی)، تنش آبی در بخش صنعت/شرب (خشکسالی هیدرولوژیکی) و جمعیت انسانی (خشکسالی اجتماعی-اقتصادی) (کادر ۲).

کادر ۲: لایه های در معرض قرارگیری (مواجهه)

داده های توزیعی جمعیت که از لایه سکونت انسانی در مقیاس جهانی (GHSL)^۱ با تفکیک مکانی یک کیلومتری دریافت و بازیابی شده اند، برای توزیع مکانی جمعیت در معرض خشکسالی مورد استفاده قرار گرفتند. جمعیت حاصل از GHSL تخمینی از جمعیت مناطق مسکونی در سال (EC, 2015) ۲۰۱۵ است. جمعیت به صورت مستمر از اطلاعات حاصل از سرشماری ها یا واحدهای اداری به سلول های شبکه تبدیل می شود که به وسیله توزیع و چگالی محدوده های مسکونی در قالب نقشه ای در لایه جهانی GHSL اطلاع رسانی می شود.

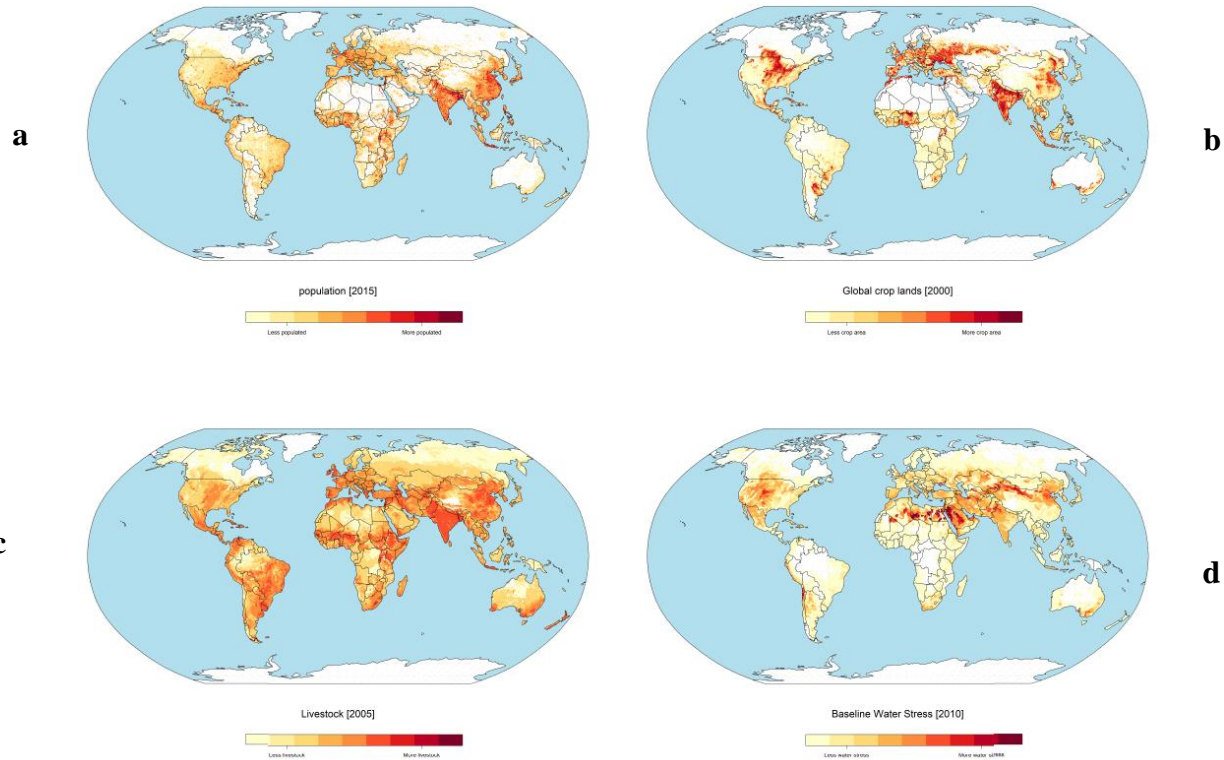
اراضی کشاورزی بر اساس مجموعه داده های اراضی جهانی کشاورزی مربوط به سال ۲۰۰۰ می باشد. این مجموعه داده، نسبت مساحت اراضی استفاده شده به کشاورزی در سال ۲۰۰۰ را ارایه می کند. داده های ماهواره ای حاصل از سنجنده های MODIS و SPOT-VEGETATION با داده های کشاورزی ترکیب شدند تا این محصول را با تفکیک مکانی ۵ دقیقه (طول جغرافیایی) در ۵ دقیقه (عرض جغرافیایی) تولید نماید. این شاخص نشانگر وسعت و شدت کاربری اراضی کشاورزی در سطح کره زمین است (Ramankutty et al., 2008).

شبکه جهانی دام: این لایه چگالی دام مدل سازی شده را در مقیاس جهانی ارایه می کند. این لایه به گونه ای تنظیم شده است که با مقادیر تخمین زده شده رسمی در مقیاس ملی مربوط به سال مرجع ۲۰۰۵ با تفکیک پذیری مکانی ۳ دقیقه (طول جغرافیایی) در ۳ دقیقه (عرض جغرافیایی) تطابق داشته باشد (Robinson et al., 2014).

تنش آبی پایه (BWS)^۲: این یک شاخص در زمینه تقاضای نسبی آب است که به صورت نسبت برداشت محلی آب به منابع آب در دسترس برای سال پایه ۲۰۱۰ محاسبه شده است (Gassert et al., 2014). میزان منابع و مصارف آب در مقیاس حوضه آبریز تخمین زده شده اند.

^۱ Global Human Settlement Layer

^۲ Baseline water stress



شکل ۵. (a) تخمین جمعیت برای سال ۲۰۱۵ توسط GHS. توزیع و چگالی جمعیت به صورت تعداد نفر در هر سلول شبکه، (b) اراضی کشاورزی جهانی، به صورت درصد اراضی زراعی در هر سلول شبکه، (c) توزیع جهانی دام به صورت تعداد در هر سلول شبکه و (d) تنش آبی پایه: کل آب برداشتی سالانه (شهری، صنعتی و کشاورزی) به صورت درصدی از کل جریان در دسترس سالانه.

رویکرد مفهومی از یک مدل غیر جبرانی برای ترکیب شاخص‌های معرف مختلف مربوط به مولفه در معرض قرارگیری (مواجهه) استفاده می‌کند. با استفاده از این روش، برتری یک شاخص نمی‌تواند با نقایص و کمبودهای یک شاخص دیگر جبران شود. بنابراین، زمانی یک منطقه به شدت در معرض خشکسالی قرار می‌گیرد که حداقل یک نوع خاصی از دارایی‌ها در آنجا فراوان باشد. به عنوان مثال، یک منطقه کشاورزی که به طور کامل با محصولات دیم پوشیده شده است به طور کامل و مستقل از وجود سایر المان‌های تحت ریسک، در معرض خشکسالی قرار دارد. جزئیات هر عامل در معرض در کادر ۲ قابل ملاحظه است و نقشه‌های توزیع مکانی آنها در شکل ۵ نشان داده شده است.

۳-۲-۳- ارزیابی آسیب‌پذیری

ارزیابی آسیب‌پذیری یک مولفه کلیدی در تخمین ریسک خشکسالی محسوب می‌شود، زیرا از تدوین برنامه‌های آمادگی در میان-مدت و بلند-مدت و نیز از برنامه‌ریزی منابع آب برای بخش‌های هدف و جوامع حساس‌تر حمایت می‌کند. به طور خاص، مداخلات و اقدامات با هدف کاهش تبعات و پیامدهای خشکسالی باید به سمت کاهش آسیب‌پذیری سامانه‌های انسانی و طبیعی سوق داده شود.

در چهارچوب حاضر، آسیب‌پذیری در برابر خشکسالی به وسیله یک مدل چند بعدی، شامل عوامل اجتماعی، اقتصادی و زیرساختی نشان داده شده است. آسیب‌پذیری اجتماعی به وضعیت رفاه افراد، گروه‌های مردم و جامعه مربوط می‌شود؛ آسیب‌پذیری اقتصادی تا حد زیادی به وضعیت اقتصادی افراد، گروه‌های مردم و جوامع وابسته است؛ در حالی که آسیب‌پذیری زیرساختی شامل زیرساخت‌های بنیادی مورد نیاز برای حمایت از تولید کالاها و پایداری معیشت می‌باشد. این تعریف از آسیب‌پذیری در راستای چهارچوب توصیه شده توسط راهبرد بین‌المللی کاهش بحران سازمان ملل (UNISDR^۱) در سال ۲۰۰۴ می‌باشد که آسیب‌پذیری را به صورت بازتاب وضعیت عوامل فردی، اجتماعی، اقتصادی و زیرساختی یک منطقه خاص تعریف می‌کند. این عوامل می‌توانند به عنوان پایه و اساس تدوین برنامه‌های محلی برای کاهش آسیب‌پذیری و تسهیل اقدامات سازگاری در نظر گرفته شوند (Naumann et al., 2014).

بر اساس این چهارچوب نظری، هر عامل توسط معرف‌های عمومی که سطح کیفی اجزای اصلی تشکیل‌دهنده یک جامعه مدنی و اقتصاد آن را منعکس می‌کند، مشخص می‌شود (Naumann et al., 2018b). در واقع چهارچوب مذکور به دنبال این مفهوم است که افراد و جوامع نیازمند یک سری عوامل و یا ظرفیت‌های مستقلی هستند تا بتوانند تاب‌آوری مثبتی در مقابل پیامدها یا تبعات داشته

^۱ UN International Strategy for Disaster Reduction (UNISDR)

باشند و هیچ عامل منفردی به تنهایی برای دستیابی به انواع پیامدهای متعدد معیشتی که جوامع برای مقابله با بلایا نیاز دارند، کافی نیست.

همانطور که در شکل ۶ (پنل پایین) نشان داده شده، آسیب پذیرترین مناطق نسبت به خشکسالی در آمریکای مرکزی، شمال غربی قاره آمریکای جنوبی، آسیای مرکزی و جنوب آسیا و تقریباً کل قاره آفریقا به جز برخی مناطق در جنوب آفریقا قرار گرفته اند. این نتایج با نتایج سایر محققان (e.g. Brooks et al. 2005) که آنها تمام کشورهای جنوب صحرای آفریقا را در دسته آسیب پذیرترین نسبت به بلایا اقلیمی قرار داده اند، مطابقت دارد.

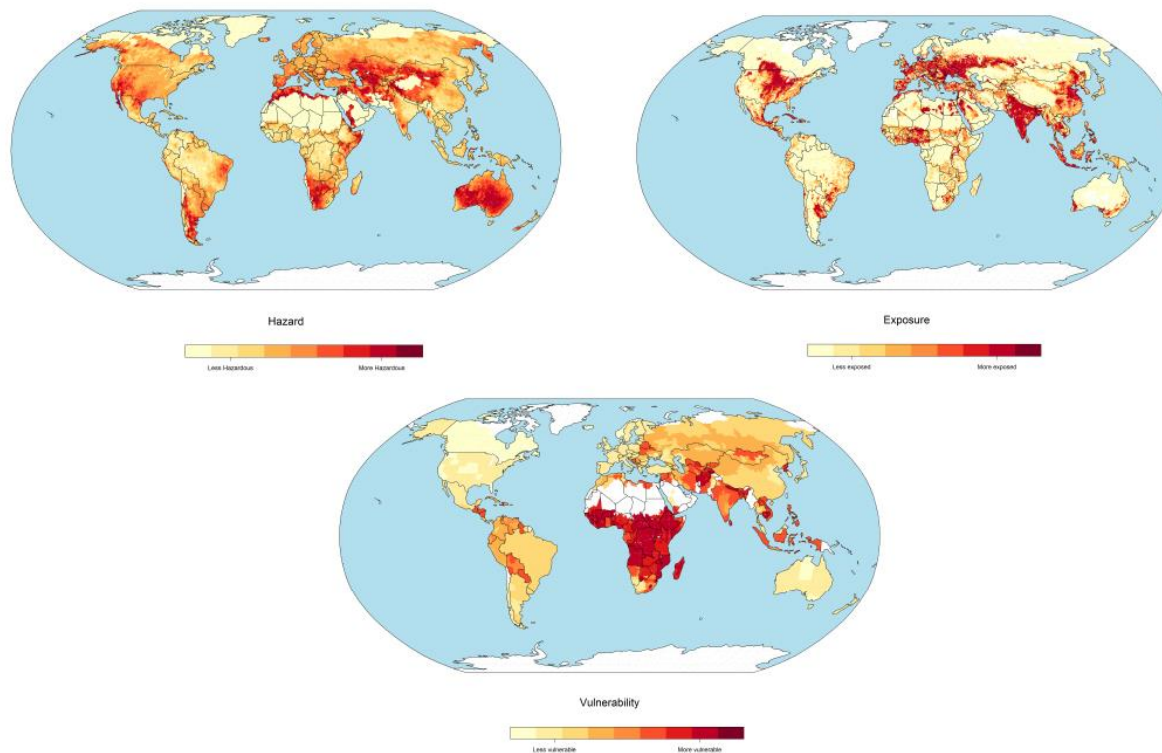
۳-۲-۴- ارزیابی ریسک خشکسالی

شکل ۶ بیانگر سه مولفه ریسک خشکسالی است و شکل ۷ نیز نقشه ریسک خشکسالی جهانی را نشان می دهد. همانطور که در Carrão et al. (2016) آورده شده است سه مولفه تشکیل دهنده ریسک بر اساس الگوریتم برنامه نویسی چندمتغیره غیرپارامتری خطی (تحلیل پوششی داده ها^۱) ادغام شده اند. مقادیر هر یک از مولفه ها بر مبنای مقادیر مطلق نیستند بلکه یک آمار نسبی از رتبه بندی منطقه ای پیامدهای محتمل (مناطق حساس و بحرانی) را ارائه می کند که براساس این مناطق، می توان اقدامات مرتبط را برای برنامه های سازگاری و فعالیت های کاهش و پیشگیری اولویت بندی نمود. شکل ۷ نشان می دهد که ریسک خشکسالی در مقیاس جهانی به طور عمومی برای مناطقی که زیاد در معرض مواجهه قرار دارند، - عمدتاً مناطق پرجمعیت و مناطقی که در آنها فعالیت های کشاورزی به طور گسترده انجام می شود مانند جنوب آسیا و آسیای مرکزی، شمال شرقی چین، دشت های جنوب شرقی قاره آمریکای جنوبی و نیز بخش های جنوبی، مرکزی و شرقی اروپا و ایالت های غرب میانه آمریکا بالا است.

عوامل متعدد عدم قطعیت باید در چنین تحلیلی در نظر گرفته شوند، زیرا معیارهای مورد استفاده تا حدی ذهنی بوده و مشروط به در دسترس بودن داده ها در مقیاس جهانی هستند. در واقع، همانطور که در مثال بالا ذکر شد، خشکسالی کشاورزی می تواند با یک سری از شاخص های متفاوت که هر کدام از آنها می توانند تخمین های معتبری از مولفه های متفاوت ریسک خشکسالی را ارائه کنند، کمی سازی شود. به عنوان مثال، شکل ۸ نقشه خطر خشکسالی را بر اساس شاخص شدت خشکسالی سالانه^۲ بر مبنای رطوبت خاک ارائه می کند که در آن وقوع همزمان کمبود آب خاک و شرایط خشکی بسیار نادر کمی سازی شده است (Cammalleri et al., 2016). این شاخص می تواند جایگزین شاخص WASP - که در پنل بالا سمت چپ شکل ۶ نشان داده شد - یا با آن ترکیب شود.

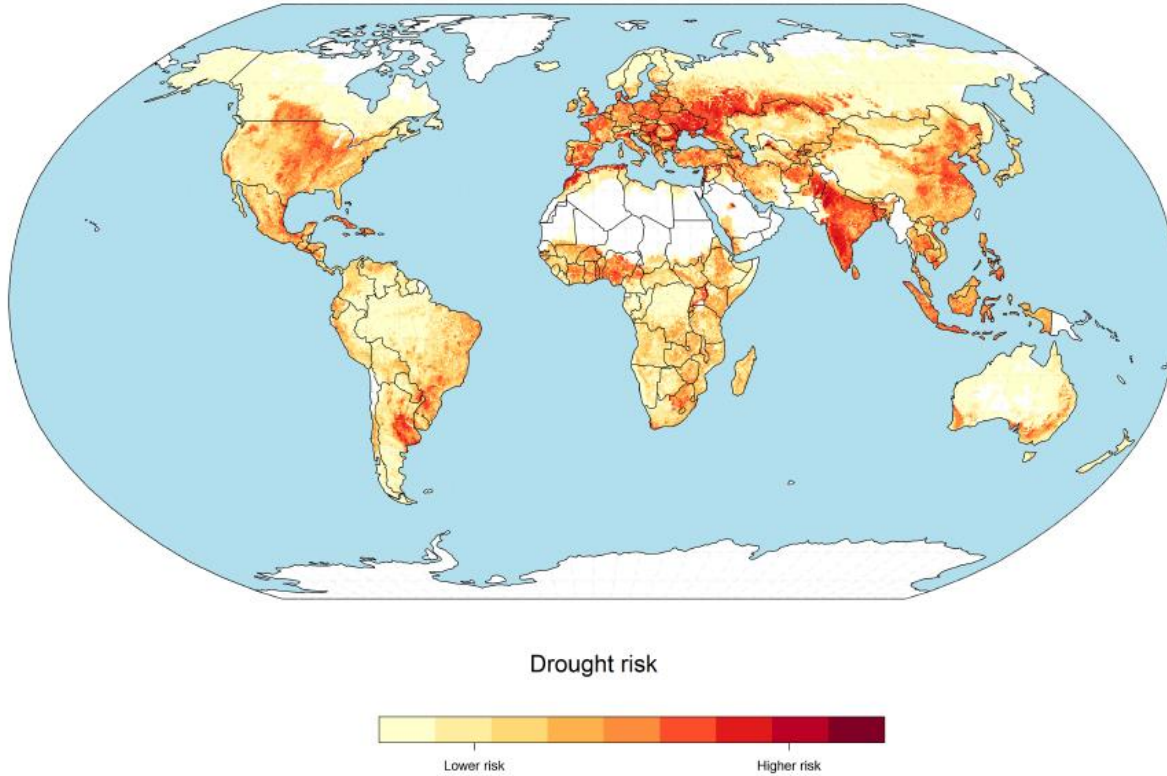
^۱ Data Envelopment Analysis

^۲ Yearly Drought Severity Index (YDSI)

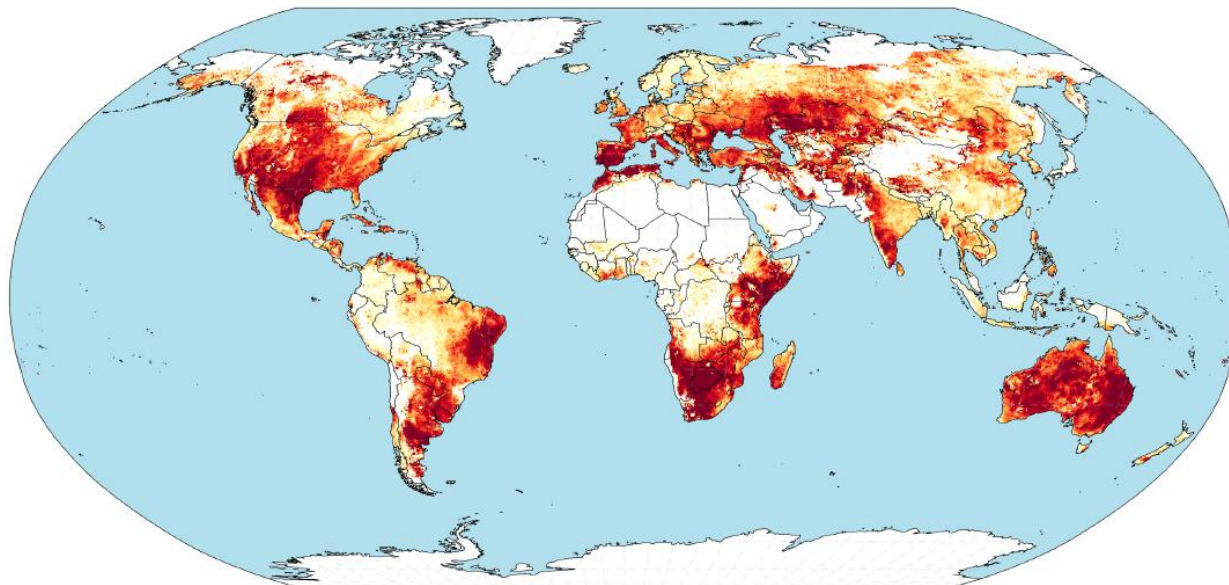


شکل ۶. نقشه خطر خشکسالی جهانی بر اساس شاخص آنومالی بارش وزن دار استاندارد^۱ (بالا چپ)، مولفه در معرض قرارگیری (بالا راست) و آسیب پذیری (پایین)

^۱ Weighted Anomaly of Standardized Precipitation (WASP)



شکل ۷. نقشه ریسک خشکسالی جهانی بر اساس مولفه های ریسک نشان داده شده در شکل ۶



YDSI



شکل ٨. خطر خشکسالی بر اساس شاخص YDSI

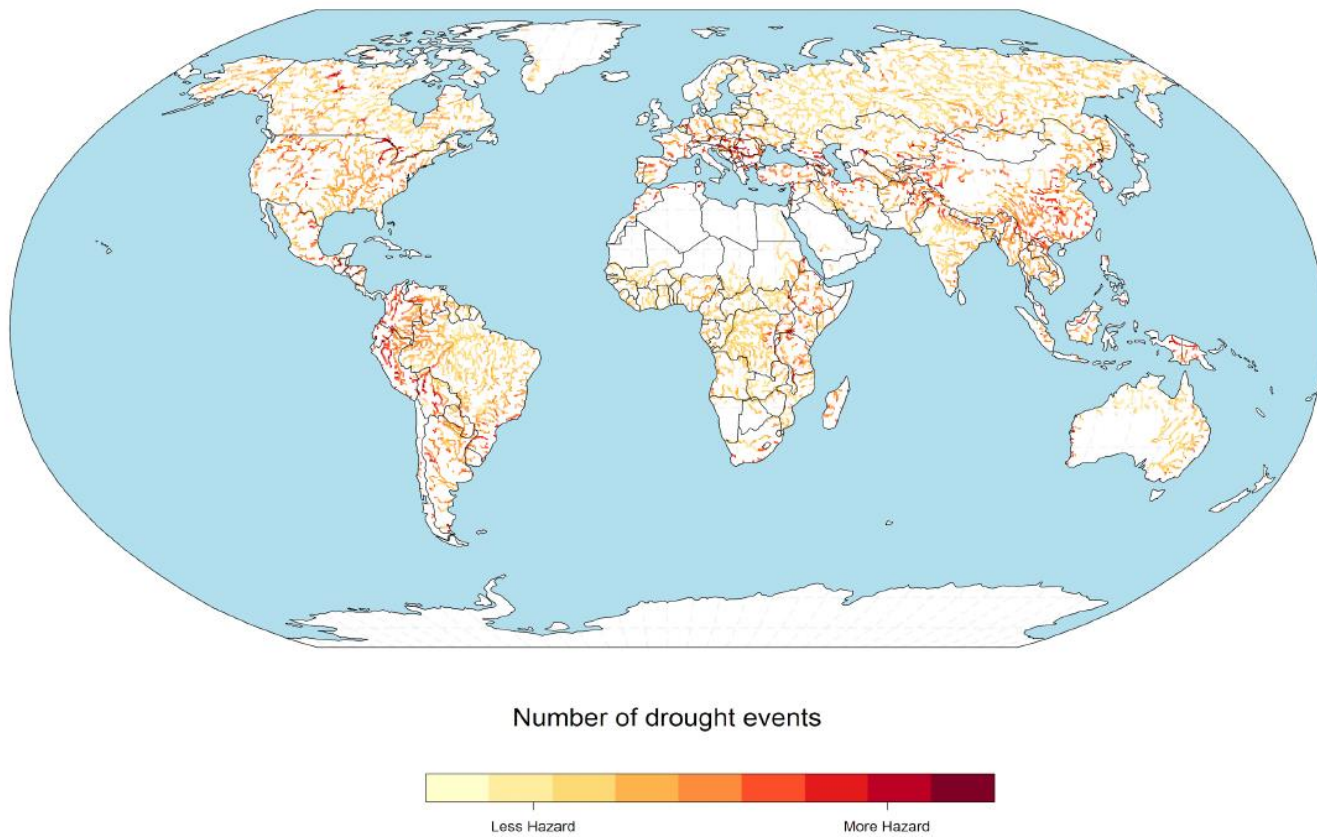
حتی اگر امکان مشاهده شباهت ها در الگوهای کلی بین نقشه خطر خشکسالی در شکل ۶ (پنل بالا - چپ) و نقشه شکل ۸ وجود داشته باشد، مشهود است که با استفاده از یک شاخص به جای یک شاخص دیگر، می توان نتایج متفاوتی در مقیاس محلی به دست آورد.

۳-۳- ملاحظات برای سایر بخش ها

ارزیابی که پیشتر ارائه شد بخش کشاورزی و دیگر فعالیت های اصلی را هدف قرار داده است. با این حال، روش شناسی مذکور می تواند به منظور تحلیل ریسک در سایر بخش ها مانند تولید انرژی (تولید برقابی، خنک سازی نیروگاه های حرارتی و اتمی)، ناوبری و حمل و نقل (در مجراهای آبی)، تامین آب شرب یا اهداف تفریحی که باید جزئی از هر برنامه مدیریت جامع ریسک خشکسالی باشند، اجرا شده و دوباره واسنجی شود.

در مورد سایر بخش ها و انواع خشکسالی های مربوطه مانند خشکسالی هیدرولوژیکی، زمانی که یک شاخص مناسب تر مورد بررسی قرار می گیرد واگرایی در الگوهای مکانی خطر می تواند حتی بزرگتر باشد. در واقع، شاخص های مربوط به جریان و دبی رودخانه ها نسبت به رطوبت خاک و بارندگی، خطر خشکسالی را به شکل بهتری برای اهداف تولید انرژی و ناوبری ثبت می نمایند. یک مثال از چنین شاخصی در شکل ۹ نشان داده شده است، که در آن خطر توسط تعدادی از وقایع خشکسالی هیدرولوژیکی مشاهداتی در بازه زمانی مشخص (۱۹۸۰-۲۰۱۳) براساس شاخص جریان کم^۱ نشان داده شده است. این شاخص توالی های بدون شکست دبی رودخانه را کمتر از آستانه جریان کم روزانه را شناسایی می کند. واضح است تعداد وقایع تنها یکی از آماره های ممکن است که می تواند به منظور کمی سازی "متوسط" خطر خشکسالی هیدرولوژیکی در یک منطقه استفاده شود.

^۱ Low-flow index, Cammalleri et al. (2017)



شکل ۹. خطر خشکسالی با توجه به تعداد وقایع تشخیص داده شده توسط شاخص جریان کم Low-Flow

همچنین در این مورد، حتی اگر برخی شباهت‌ها در الگوهای ارایه شده بین شکل ۹ و شکل های ۶ و ۸ قابل تشخیص باشد، لیکن برخی نقاط حساس و بحرانی در شکل های ۶ و ۸ قابل مشاهده نیستند. چندین نقشه مشابه شامل خطر و شدت خشکسالی را می‌توان در مرور مقالات علمی یافت که به عنوان مثال می‌توان نقشه بر پایه شاخص SPEI^۱ در (Spinoni et al., 2014) و یا در Sheffield and Wood (2007) یا نقشه مربوط به اطلس ریسک آبی AQUEDUCT^۲ را نام برد.

در خلاصه بحث فوق‌الذکر مشخص شد که چگونه نقشه‌های گزارش شده در شکل های ۶، ۸ و ۹ فقط تعداد کمی از تصاویر محتمل خطر خشکسالی را ارایه می‌کند که در آنها کمی سازی به شدت توسط هدف نهایی مطالعه ریسک و همچنین بخش مورد نظر اقتصادی-اجتماعی تکمیل می‌شود. این کار پیچیدگی در ارایه یک معیار کمی برای خطر خشکسالی را برجسته می‌کند. بحث مشابهی در خصوص سایر مولفه‌های ریسک خشکسالی یعنی آسیب‌پذیری و در معرض قرارگیری می‌تواند مطرح شود که تعیین مشخصات این موارد حتی اغلب به طور اساسی به عوامل مورد نظر و مرتبط با نوع تحلیل مربوط می‌شود. عواملی که برای ارزیابی در معرض قرارگیری و آسیب‌پذیری خشکسالی کشاورزی مناسب هستند ممکن است برای بخش تولید انرژی مناسب نباشند و برعکس.

حتی با در نظر گرفتن یک بخش اقتصادی خاص، گزینه‌های ارایه و کمی سازی ریسک و مولفه‌های آن چند-وجهی هستند. به عنوان مثال، موردی برای تولید برق مورد تحلیل قرار می‌گیرد. نیروگاه‌ها ممکن است به طور مستقیم (نیروگاه‌های برقی) و غیر مستقیم (سامانه خنک‌کننده ژنراتورها) به آب وابسته باشند. در هر دو مورد، مقدار ناکافی آب منجر به کاهش و یا توقف تولید انرژی می‌شود. نیروگاه‌ها معمولاً از آب‌های سطحی استفاده می‌کنند (DOE, 2014)، بنابراین آنها تحت تاثیر خشکسالی هیدرولوژیکی و متعاقباً جریان‌های سطحی کم قرار می‌گیرند.

خطر به صورت احتمال از دست دادن و یا کاهش آب ورودی در محل نصب یا استقرار سازه تعریف می‌شود. لازم به ذکر است دماهای بالای آب در ورودی یا خروجی و حداقل/حداکثر الزامات از لحاظ قانونی اغلب موضوعی برای بهره‌برداری از نیروگاه‌ها محسوب می‌شوند. اما، این موارد ضرورتاً مستلزم جریان کم نیستند، و بر عکس ممکن است به عنوان موضوعی جدا از خشکسالی پیگیری شوند. شاخصی مانند شاخص جریان کم (Low-Flow) که در شکل ۹ نشان داده شد، می‌تواند به عنوان یک شاخص مناسب برای توصیف خطر خشکسالی در بخش تولید انرژی قلمداد شود. در حالیکه استفاده از شاخص‌های خشکسالی هواشناسی نظیر شاخص SPI، برای دامنه‌های جغرافیایی محدود

^۱ Spinoni et al. (2014)

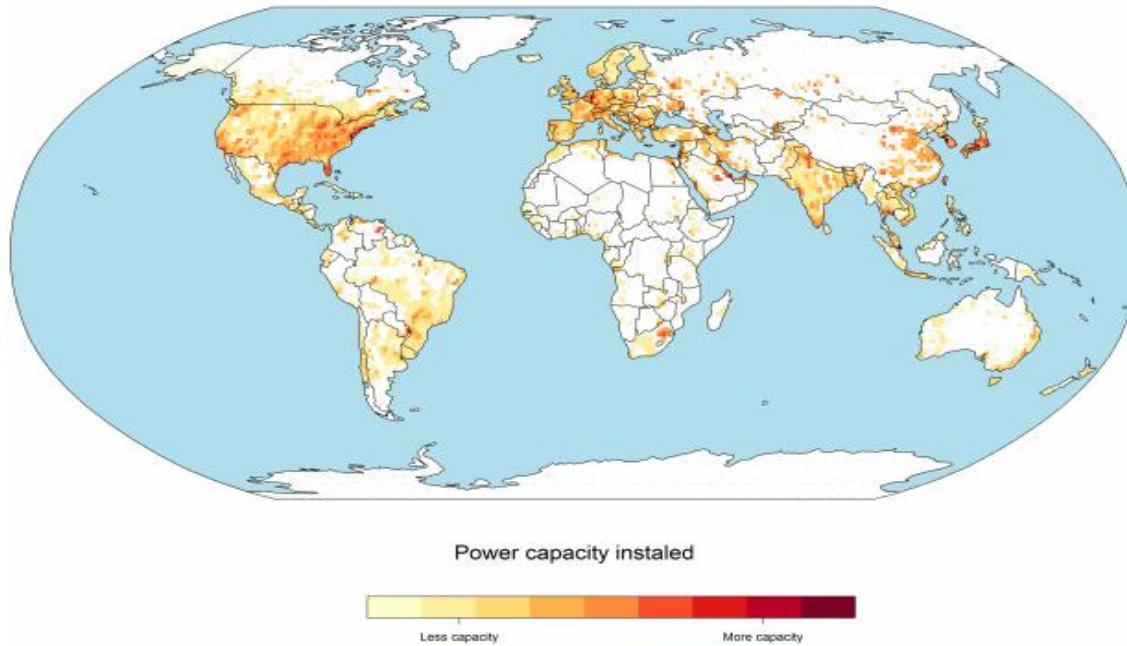
^۲ <http://www.wri.org/applications/maps/aqueduct-atlas>

مورد آزمایش قرار گرفته اند (e.g. Barker, 2016; Bayissa et al., 2018). لذا نمی توانند مبین وجود یک همبستگی عمومی با خشکسالی هیدرولوژیکی در مقیاس جهانی باشند.

در خصوص مولفه در معرض قرارگیری (مواجهه)، از آنجا که برق می تواند تا مسافت های طولانی و دور از منبع و از مرزهای کشورهای عبور نماید، شناسایی مردم و دارایی های بالقوه آنها که ممکن است تحت تاثیر کاهش در خروجی نیروگاه ها قرار بگیرند، امری دشوار است. با این وجود، ظرفیت نصب شده نیروگاه ها خود به عنوان یک معرف (نماینده) برای مولفه در معرض قرارگیری محسوب می شود (شکل ۱۰). هرچقدر ظرفیت بالاتر برود، به همان اندازه در معرض قرارگیری نیز افزایش می یابد، همانطور که احتمالا تقاضای بیشتر برق به آن وابسته است.

درواقع، این ایده در تحلیل پیامده که در سال ۲۰۱۶ اجرا شد و بر این فرض استوار است که حتی اگر از حداکثر ظرفیت نیروگاه ها به طور دائم بهره برداری نشود؛ زمانی که تقاضای انرژی بالا باشد، حداکثر ظرفیت آنها مهم شمرده می شود، مخصوصا زمانی که این اتفاق در فصول گرم و خشک اتفاق بیفتد. مزیت استفاده از ظرفیت نصب شده نیروگاه ها این است که داده های کامل برای موارد منفرد نصب شده در سطح جهانی موجود می باشد (e.g. GEO et al., 2018; UDI, 2015).

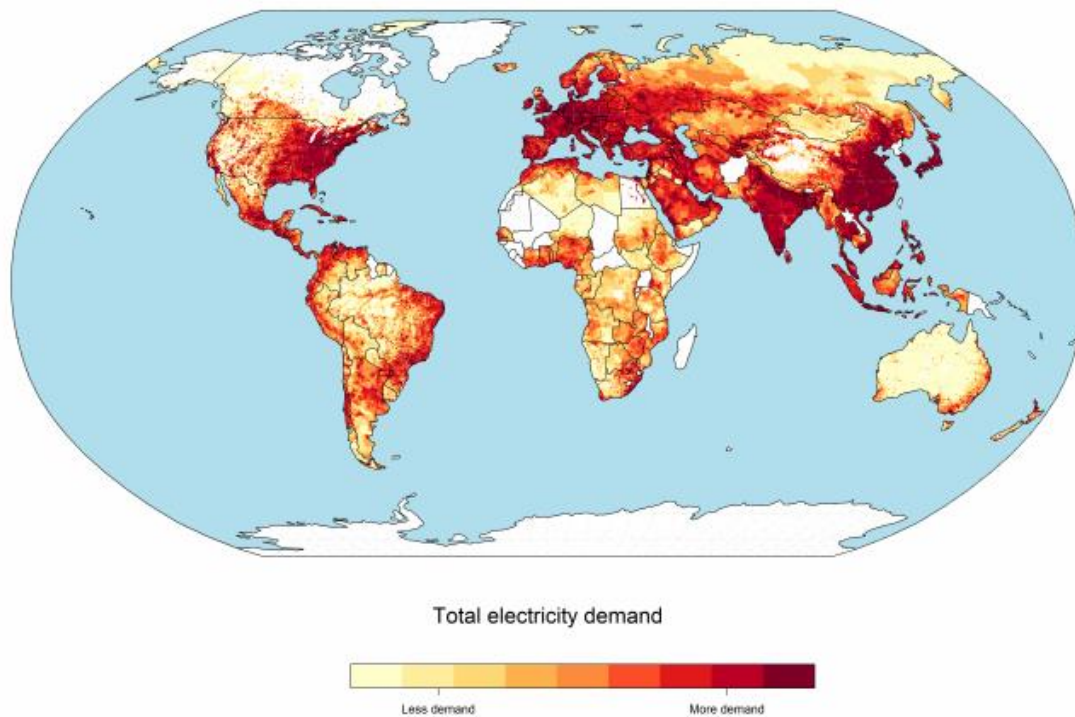
از طرف دیگر، تقاضای واقعی انرژی در یک دوره زمانی مشخص ممکن است برآوردهای مولفه در معرض قرارگیری را به طور کمتر محافظه کارانه اما دقیق تر ارایه نماید. چنین اطلاعات ویژه ای فقط برای تعداد کمی از نیروگاه ها در جهان موجود است، در حالی که تنها داده موجود در مقیاس کشوری به عنوان مثال مصرف برق سالانه به ازای هر نفر می باشد. این داده ها با لحاظ برخی توجهات می توانند توسط داده های جمعیتی ریز مقیاس شوند (شکل ۱۱). اولاً، سرانه مصرف به ازای هر نفر به مصرف کل اشاره دارد، بدون توجه به نوع مصرف. واحدهای صنعتی در محدوده هایی که از جمعیت پراکنده برخوردار هستند، مصرف سرانه را در واحد پهنه بندی مربوطه به شدت تحت تاثیر قرار خواهد داد. ثانیاً، فرض می شود که مصرف و تولید برق از لحاظ مکانی نزدیک به هم هستند، بنابراین خشکسالی اتفاق افتاده در حوالی یک نیروگاه مهم اما دوردست مهم نخواهد بود. ثالثاً، میزان تقاضا برابر با میزان مصرف در نظر گرفته می شود به عبارت دیگر، تمام تقاضا تامین می شود.



شکل ۱۰. نقشه ظرفیت نصب شده نیروگاهی (گیگاوات)، که تاسیسات آن به طور مستقیم (نیروگاه های برقابی) یا غیر مستقیم (خنک کننده های ژنراتور ها) به آب وابسته است. منابع داده ها: بخش هسته ای سازمان بین المللی انرژی اتمی^۱ (IAEA-PRIS)، پایگاه داده GRAND (بخش آب Hydro) و مشاهدات انرژی جهانی^۲ (بخش other thermal)

^۱ International Atomic Energy Agency (IAEA)

^۲ Global Energy Observatory



شکل ۱۱. نقشه کل تقاضای برق توسط جمعیت براساس سرانه مصرف برق سالانه در سطح ملی به ازای هر نفر با در نظر گرفتن جمعیت سال ۲۰۱۵. تمام مصارف غیرخانگی نیز لحاظ شده اند. منبع داده ها: بانک جهانی و مرکز شبکه بین المللی اطلاعات علوم زمین (CIESIN)^۱

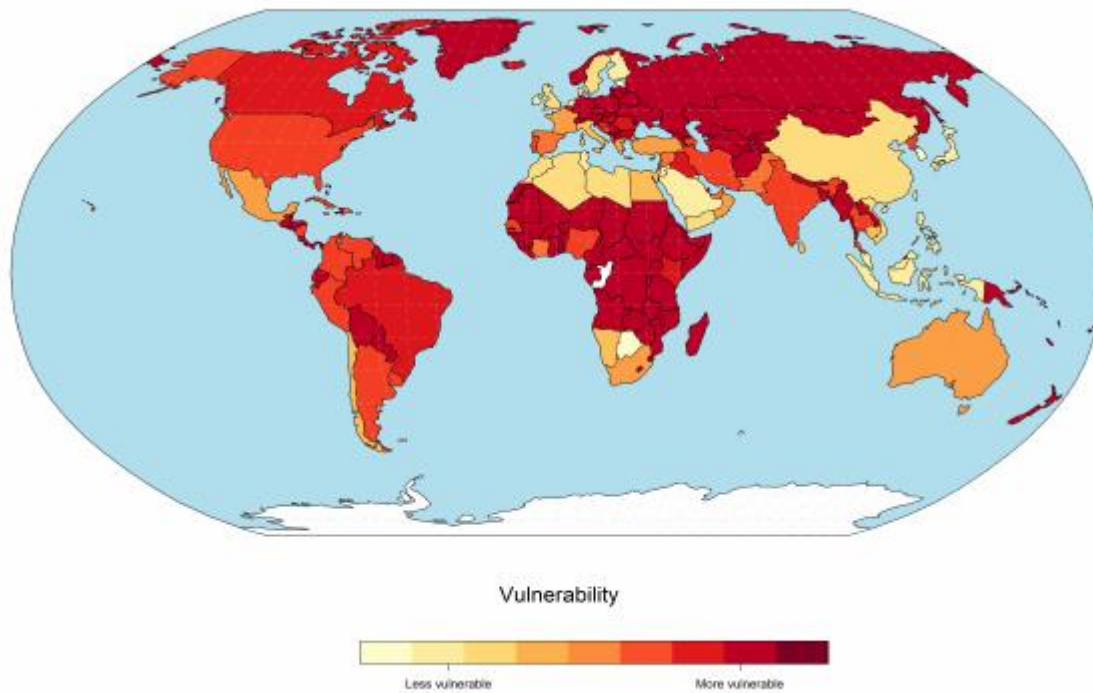
^۱ Center for International Earth Science Information Network (CIESIN)

سرانجام، آسیب‌پذیری در برابر خشکسالی بر ابزارهای در دسترس برای کاهش کمبود آب اشاره دارد. از لحاظ مفهومی، این مولفه می‌تواند با توجه به زمینه و مقیاس تحلیل تعاریف متعددی داشته باشد. در مقیاس نیروگاهی ضرورتاً به مقدار آب مورد نیاز برای تولید یک واحد انرژی مربوط می‌شود. این امر به ویژگی‌های فناوریانه بسیاری بستگی دارد، اما عمدتاً به فناوری خنک‌کننده (برای نیروگاه‌های حرارتی)^۱ یا ارتفاع (برای نیروگاه‌هایی که اختلاف ارتفاع بین جریان آب ورودی و خروجی وجود دارد)، به علاوه حجم آب ذخیره شده در دسترس نسبت به اندازه نیروگاه نصب شده وابسته است.

با در نظر گرفتن چشم‌اندازی گسترده‌تر، آمار کشورها در مورد بخش انرژی می‌تواند محدوده وسیعی از شاخص‌هایی که برای شناسایی و مدل‌سازی آسیب‌پذیری کلی نسبت به خشکسالی مفید هستند را فراهم آورد. نمونه این شاخص‌ها عبارتند از نسبت بین منابع انرژی وابسته و غیروابسته به آب شیرین (شکل ۱۲)، تنوع انواع سوخت (که معمولاً مستلزم عوامل ظرفیتی مختلف است)، درصد واردات برق از کل مصرف، میزان منابع آب شیرین به ازای هر نفر، نسبت مصرف آب برای تولید انرژی در برابر کل مصرف آب، روند تغییرات هزینه برق و غیره. هر یک از این توصیف‌کننده‌ها را می‌توان به منظور نشان دادن جنبه مخصوصی از آسیب‌پذیری در مقیاس کشوری ترکیب نمود. در جدول ۳ خلاصه‌ای از مولفه‌های ریسک محتمل در سطوح مکانی مختلف ارائه شده است.

به طور ایده‌آل، با داشتن اطلاعات خاص در مورد ویژگی‌های نیروگاه‌ها، این امکان وجود دارد تا آسیب‌پذیری را از نیروگاه‌های منفرد به مقیاس جهانی درشت مقیاس کرده و ارائه نمود. با این حال، داده‌های بخش برق هنوز به طور پراکنده، غیریکنواخت و در برخی مواقع غیرقابل دسترس هستند؛ اما منابع داده‌ها به طور هماهنگ در حال تکامل و ارتقا هستند (e.g. GEO et al., 2018; UDI, 2015). به عنوان مثالی از ارزیابی پویای ریسک در سطح نیروگاهی، شکل ۱۳ وضعیت اروپا در طی تابستان ۲۰۰۳ که به طور غیر معمول گرم و خشک بود را نشان می‌دهد. در تابستان ۲۰۰۳ بسیاری از نیروگاه‌ها مجبور شدند خروجی خود را کاهش دهند زیرا نتوانستند جریان کافی آب را برای فرایند خنک‌سازی چه به صورت فیزیکی و چه به صورت قانونی از رودخانه‌ها دریافت کنند (Fink et al., 2004). نقشه شکل ۱۳، رودخانه‌هایی را نشان می‌دهد که در کل اروپا و در انتهای ماه آگوست تحت تأثیر جریان کم قرار گرفته‌اند (توسط شاخص جریان کم (Low-Flow) (Cammalleri et al., 2017) و نیروگاه‌های هسته‌ای واقع در پایین دست تحت ریسک کاهش برق هستند. در واقع، بسیاری از این نیروگاه‌ها مجبور شدند به دلیل برداشت آب کم و/یا دمای بالا آب بهره‌برداری خود را کاهش دهند.

^۱ Macnick et al., 2012



شکل ۱۲. مثالی از نقشه آسیب‌پذیری بر اساس نسبت بین منابع برق وابسته و غیروابسته به منابع آب شیرین. زئراتورهای برقی که برای خنک‌سازی به آب نیاز ندارند و یا از آب دریا استفاده می‌کنند نسبت به خشکسالی هیچ‌گونه آسیب‌پذیری ندارند.

جدول ۳. شاخص‌های محتمل مولفه‌های ریسک برای تولید برق در سه مقیاس مکانی و مفهومی

مقیاس	در معرض قرارگیری	آسیب‌پذیری	خطر
نیروگاه	ظرفیت نیروگاه (MW)؛ تولید انرژی (MWh)	برداشت آب (m^3 / MWh) و ظرفیت ذخیره آب نسبت به ظرفیت برق	جریان کم در محل برداشت نیروگاه
حوضه آبریز	مجموع ظرفیت نیروگاه ها (MW)؛ مجموع تولید انرژی (MWh)؛	میانگین/حداکثر آسیب‌پذیری نیروگاه‌ها در حوضه آبریز	جریان کم در خروجی حوضه آبریز؛ خشکسالی هواشناسی بلندمدت (SPI)
کشوری	مجموع ظرفیت نیروگاه ها (MW)؛ مجموع تولید انرژی (MWh)؛ مصرف انرژی (MWh)	نسبت منابع برق وابسته و غیروابسته به آب؛ متنوع سازی منابع؛ درصد انرژی وارداتی؛ فاکتور ظرفیت نصب شده	تاریخچه فراوانی وقوع خشکسالی؛ میانگین وزنی خشکسالی‌های بلند مدت هواشناسی (SPI) در حوضه آبریز



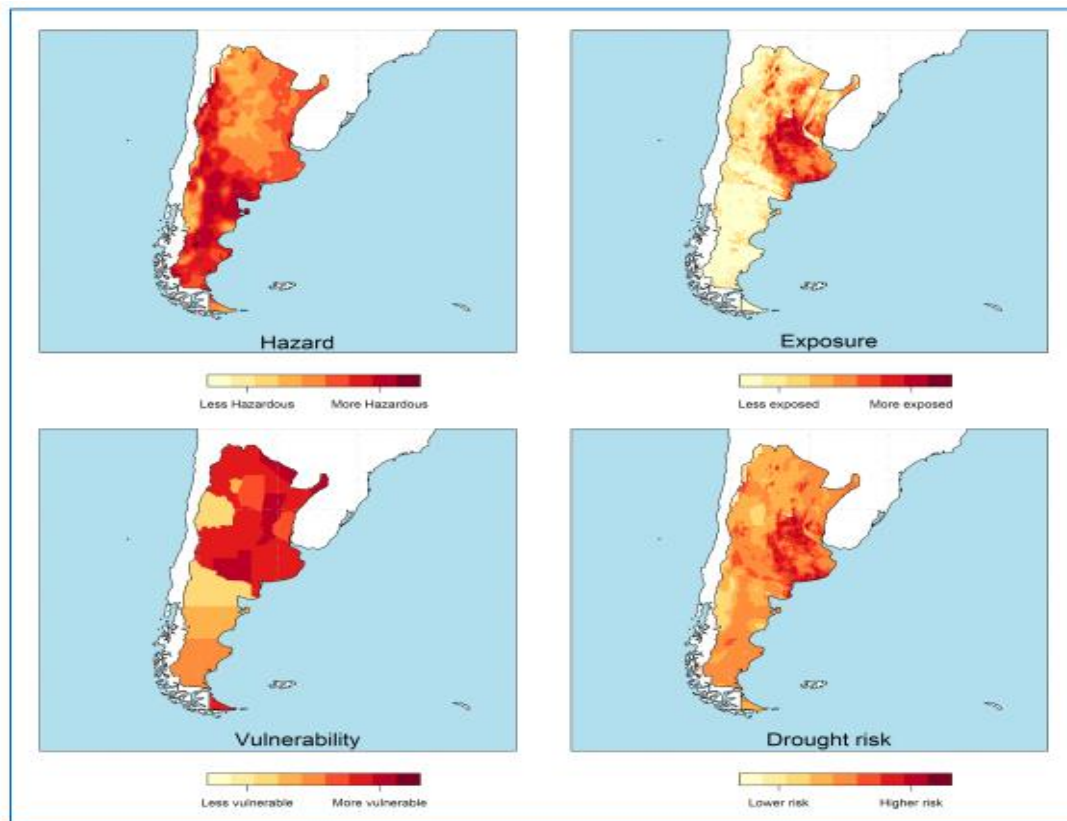
شکل ۱۳. در انتهای آگوست ۲۰۰۳، به دلیل وقوع خشکسالی مستمر، چندین نیروگاه ها در اروپا در معرض شرایط جریان کم قرار گرفتند. سه مولفه ریسک برای تولید برق به ترتیب عبارتند از: اندازه دایره ها به عنوان معرفی از مولفه در معرض قرارگیری متناسب است با ظرفیت نصب شده ناخالص هر ایستگاه (دایره ها از کوچک به بزرگ متناظر حدودا ۵۰۰ تا ۴۰۰۰ مگاوات می باشند)؛ خط توسط آنومالی های جریان کم در رودخانه های متاثر (آبراهه های زرد، نارنجی و قرمز) و برداشت از رودخانه (رنگ دایره در چهار رنگ) نشان داده شده است؛ میزان شفافیت دایره ها به سطح آسیب پذیری سامانه های خنک کننده مرتبط است، یعنی دایره های پررنگ تر آسیب پذیری بیشتری را نشان می دهند (به عبارت دیگر، مقدار آب بیشتری برای تولید واحد انرژی مورد نیاز است).

۴.۳ ملاحظات مقیاس

در کنار تفاوت های برجسته بین مولفه های خطر، در معرض قرارگیری و آسیب پذیری در بخش های مختلف، ارزیابی ریسک به مقیاس تحلیل نیز بستگی دارد. این امر بدین دلیل است که داده های ورودی در حین انتقال به محدوده های مکانی کوچکتر جزئیات بیشتری پیدا می کنند. همین طور روش شناسی ارایه شده امکان بازمقیاس شدن تحلیل را بر روی محدوده های مکانی متفاوت فراهم می آورد و بنابراین می توان نتایج مفیدی از مقیاس های متفاوت تحلیل به دست آورد. این نتایج می توانند از مقیاس مزرعه تا سطح قاره و حتی جهانی باشد که امکان تحلیل توزیع مکانی ریسک خشکسالی را برای یک منطقه مورد نظر (به عنوان مثال، مزرعه، کشور، منطقه، قاره و جهان) فراهم کند.

از آنجا که این چهارچوب داده محور است، به داده های اقتصادی-اجتماعی بیشتری در سطح محلی نیاز است تا برآوردهای مطمئنی حاصل شود. در واقع، هر جایی که این اطلاعات موجود است این امکان را می دهد تا فرآیند تحلیل طراحی شده و راهبردهای سازگاری با الزامات محلی و بخش های ویژه که احتمالاً تحت تاثیر تبعات منفی خشکسالی قرار گرفته اند، هماهنگ شود.

شکل ۱۴ بیانگر تحلیل مشابه شکل های ۶ و ۷ در مقیاس جهانی و بر اساس داده های یکسان جهانی است که برای محدوده آرژانتین باز مقیاس شده اند. چنین تحلیلی در مقیاس کشوری نشان می دهد که آسیب پذیری در مناطق شمالی کشور آرژانتین به دلیل فقدان زیرساخت ها و پیشرفت اجتماعی، بیشتر است. تفاوت ها بین ارزیابی های جهانی و کشوری به طور عمده به تغییرات محلی در آسیب پذیری مربوط می شود که خود توسط نابرابری های منطقه ای ایجاد می شوند. در تحقیق دیگری که در سال ۲۰۰۹ انجام شد بر الگوی مشابهی از آسیب پذیری اجتماعی که از طریق عقب ماندگی تاریخی در مناطق شمال غربی و شمال شرقی آرژانتین شناسایی شده اند، تاکید شد.



شکل ۱۴. خطر (بالا-چپ)، در معرض قرارگیری (بالا-راست)، آسیب پذیری (پایین-چپ) و ریسک کلی خشکسالی (پایین-راست) برای کشور آرژانتین

ترکیب آسیب‌پذیری با خطر و در معرض قرارگیری نشان می‌دهد که ریسک خشکسالی در مناطق دورافتاده آرژانتین کمتر و در مناطق پرجمعیت و مناطقی که برای برداشت محصولات کشاورزی و دامداری شدیداً مورد بهره‌برداری قرار گرفته‌اند نظیر استان‌های بوینس آیرس، کوردوبا و سانتافه که در بخش‌های مرکزی آرژانتین قرار گرفته‌اند، بیشتر می‌باشد. از طرف دیگر، مناطقی که در آنها مولفه در معرض قرارگیری کم و یا صفر شناسایی شده‌اند، ریسک خشکسالی پایینی داشتند. از آنجا که مناطق باقی مانده هنوز متاثر از وقایع خشکسالی شدید قرار دارند، ریسک آنها به صورت تابعی از کل دارایی‌های در معرض (عمدتاً اراضی کشاورزی) و ظرفیت مقابله محلی آنها افزایش می‌یابد.

نقشه جهانی ریسک خشکسالی (شکل ۷) الگوی کلی مشابهی را برای کشور آرژانتین نشان می‌دهد؛ گرچه تغییرات تدریجی کمتر در داخل کشور مشاهده می‌شود که علت آن به بازمقیاس کردن نسبی متغیرهای ورودی برمی‌گردد. استفاده از داده‌های کشوری با جزئیات بیشتر به احتمال زیاد منجر به تفاوت‌های مکانی خواهد شد. با این حال، الگوی بزرگ مقیاس تا زمانی که سری داده‌های جهانی تفاوت‌های کلی داخل کشورها را به طور صحیحی نشان دهند، تغییری نخواهد کرد.

فصل چهارم / تبعات و پیامدهای خشکسالی

۴-۱- مقدمه

تبعات و پیامدهای خشکسالی تقریباً تمام بخش های محیط زیست و جامعه را تحت تاثیر قرار می دهد. برخلاف سایر بلا یا طبیعی مانند سیل، زلزله یا طوفان های شدید که منجر به شدیدترین آثار و سریع ترین خسارات ملموس و اکثراً سازه ای می شوند، خشکسالی ها به آرامی توسعه پیدا می کنند. مکرراً اتفاق افتاده که به شرایط خشکسالی تا زمانی که کمبودهای آبی تشدید یابند و پیامدهای نامطلوب و مشهودی بر محیط زیست و جامعه به همراه داشته باشد، توجهی نشده است. تبعات و پیامدهای خشکسالی ممکن است توسط راهکارهای سازگاری (مانند ذخیره آب و خرید نهادهای دامی) تحت تاثیر قرار بگیرند و یا می توانند بعد از رسیدن مقدار بارندگی به میزان نرمال (به دلیل کمبود منابع آب زیرزمینی یا کسری ذخیره آب در مخازن) ادامه دار باشند. طبیعت توسعه آرام و تداوم بلندمدت خشکسالی، همراه با انواع گسترده پیامدها علاوه بر تلفات قابل توجه در بخش کشاورزی، معمولاً کمی سازی تبعات و پیامدهای خشکسالی را مشکل ساخته است (Wilhite, 2005).

تبعات و پیامدهای خشکسالی را می توان به دو دسته مستقیم و غیرمستقیم تقسیم بندی کرد (Tallaksen and Van Lanen, 2004; Meyer et al., 2013, Spinoni et al., 2016). در جدول ۴ بخش های مختلفی که ممکن است تحت تاثیر تبعات نامطلوب خشکسالی قرار بگیرند ارائه شده است. پیامدهای مستقیم به عنوان نمونه عبارتند از محدودیت منابع آب، تلفات محصولات زراعی، آسیب به ساختمان ها در اثر فرونشست زمین و کاهش تولید انرژی. به دلیل وابستگی معیشت و اقتصاد به آب، بیشتر تبعات و پیامدهای خشکسالی غیرمستقیم هستند. این آثار غیر مستقیم می توانند از طریق سامانه اقتصادی به سرعت گسترش یابند و مناطق دور از محل وقوع خشکسالی را تحت تاثیر قرار دهند. پیامدهای غیرمستقیم مربوط به عواقب ثانویه بر منابع طبیعی و اقتصادی هستند. این پیامدها می توانند بر اکوسیستم ها و تنوع زیستی، سلامت انسان، حمل و نقل تجاری و جنگل داری

نیز اثرگذار باشند. در موارد شدید، خشکسالی می تواند باعث بیکاری موقت یا دائمی شود و یا حتی باعث ایجاد وقفه در کسب و کار و نیز منجر به سوء تغذیه و بیماری در کشورهای آسیب پذیرتر گردد. آسیب های مربوط به خشکسالی می توانند به دو دسته ملموس (وابسته به بازار) و ناملموس (وابسته به غیر بازار) طبقه بندی شوند. دسته دوم به سختی کمی سازی می شود که به عنوان مثال شامل تخریب اکوسیستم و یا هزینه اقدامات سازگاری بلندمدت می شود.

آثار فیزیکی خشکسالی بر جوامع انسانی به خوبی در تعداد زیادی از مطالعات موردی و برخی تحلیل ها در مقیاس جهانی، مستند سازی شده اند (Carrão et al., 2016; Bachmair et al., 2017; Naumann et al., 2015; Rowland et al., 2015). با این وجود، به دلیل فعل و انفعالات پیچیده بین بخش های مختلف اقتصادی، آثار آبخاری و پیامدهای غیرمستقیم خشکسالی، کمی سازی تبعات کلی خشکسالی، مشکل است. عوامل جمعیتی و اقتصادی-اجتماعی، آسیب پذیری ذاتی نسبت به تبعات و پیامدهای خشکسالی را بدتر کرده اند.

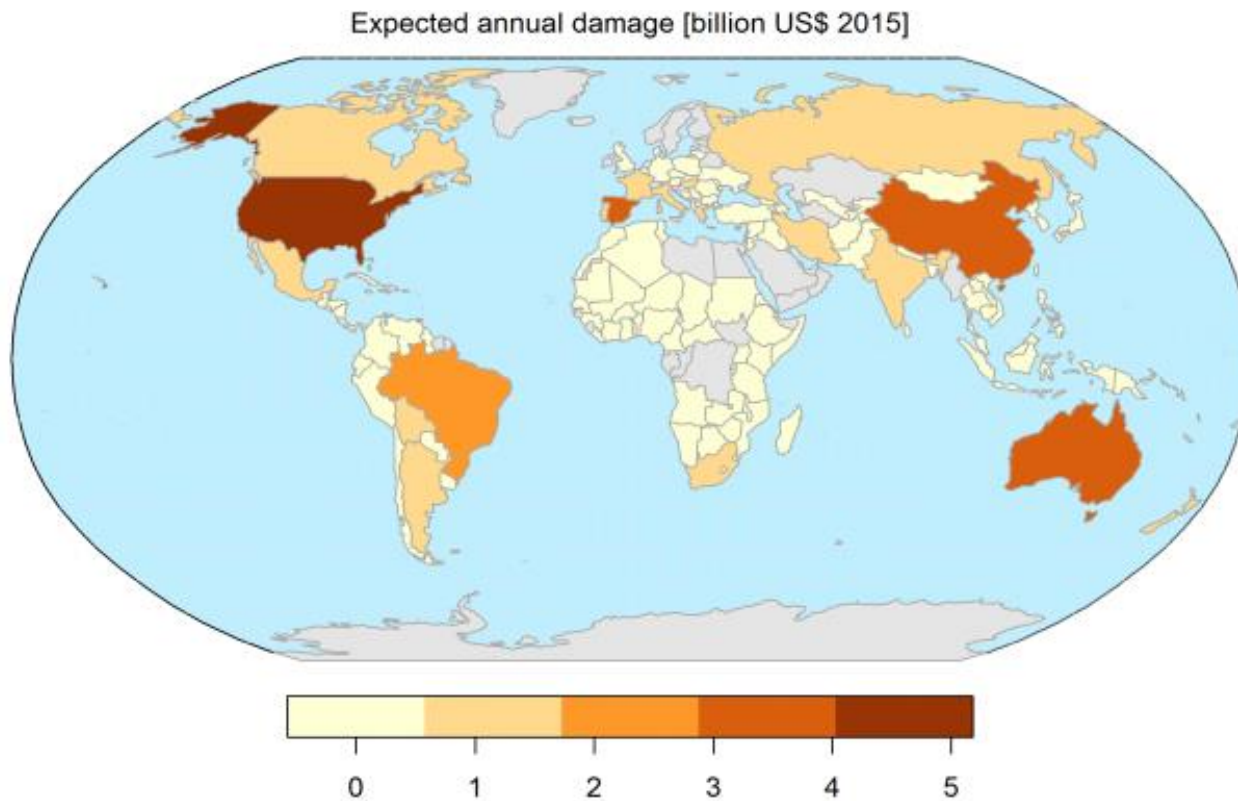
گزارشات مربوط به تبعات و پیامدهای خشکسالی در گزارشات رسانه ها، دولت ها و یا سایر گزارشات رسمی، و/یا مقالات علمی موجود می باشند. با این وجود، حقیقت این است که تنها بخشی از آسیب های خشکسالی به صورت مستقیم یا ملموس است که اغلب با تداوم طولانی مدت خشکسالی و تاخیر در زمان وقوع و/یا جابجایی مکانی نامنظم آثار آبخاری وقوع خشکسالی ترکیب شده و باعث می شود که برآورد صحیح از تلفات مکانی و مالی ناشی از خشکسالی دشوار شود. در تعداد کمی از پایگاه داده های بلايا که به صورت عمومی موجود هستند، به مخاطره خشکسالی پرداخته شده است (Svoboda et al., 2002). به عنوان مثال، بر اساس Gall et al. (2009) از سال ۱۹۶۰ خشکسالی ها ۷ درصد از کل تلفات بلايا طبیعی را شامل می شوند. با در نظر گرفتن ملاحظات فوق، چنین مقادیری باید به دقت تفسیر شوند زیرا تاکنون شکاف قابل توجهی بین پیامدهای گزارش شده و واقعی خشکسالی وجود دارد (پیامدها، کم برآورد شده است) که مانع کمی سازی نظام مند خشکسالی ها می شود.

شکل ۱۵ میزان خسارات سالانه مورد انتظار ناشی از خشکسالی ها را بر اساس پایگاه داده های مختلف (پیامدهای رخدادهای مختلف را ثبت کرده اند) نشان می دهد. اقتصادهای توسعه یافته و بزرگ مانند ایالات متحده، استرالیا، چین یا برزیل بیشتر متحمل عواقب اقتصادی خشکسالی قرار می گیرند. اما، کشورهای کمتر توسعه یافته با آثار مستقیم و غیر مستقیم وارده بر جمعیت رو به رو می شوند.

جدول ۴. تشریح بخش های مهمی که تحت تاثیر خشکسالی قرار گرفته اند.

بخش	توضیح
پیامدهای اقتصادی	کمبود آب ناشی از خشکسالی بر تولید، فروش و کسب و کار در بخش های گوناگون تاثیر می گذارد.
پیامدهای اجتماعی- اقتصادی	تغییر سطح رفاه باید در اقدامات مربوط به پیامدهای اجتماعی-اقتصادی در نظر گرفته شوند. پیامدهای اجتماعی خشکسالی می تواند بر سلامتی و امنیت مردم اثر بگذارد و باعث ایجاد مناقشه بین مردم شود؛ به ویژه زمانی که ایجاد محدودیت آبی مورد نیاز باشد و نیز ممکن است منجر به تغییر در سبک زندگی شود.
پیامدهای محیط زیستی، جنگل داری، آتش سوزی و تنوع زیستی	خشکسالی از طرق مختلف بر محیط زیست اثر می گذارد. حیات گیاهان و جانوران وابسته به آب است. لذا تحت شرایط خشکسالی منابع غذایی آنها می تواند کاهش یابد و زیستگاه آنها آسیب ببیند. گاهی اوقات آسیب به صورت موقت بوده و زیستگاه و منابع غذایی آنها با اتمام خشکسالی به وضعیت نرمال باز می گردد. اما گاهی اوقات تبعات و پیامدهای خشکسالی می تواند مدت زمان طولانی باقی بماند یا ممکن است منجر به تخریب دائمی اراضی و اکوسیستم شود.
پیامدهای بخش کشاورزی و دامداری	اگر خشکسالی به محصولات زراعی آسیب برساند اقتصاد و معیشت کشاورزان ممکن است به طور نامطلوبی تحت تاثیر قرار بگیرد. ممکن است آنها به دلیل هزینه های روزافزون آبیاری، حفر چاه های جدیدی یا تامین آب و غذا برای حیوانات نیازمند به صرف هزینه بیشتری باشند. صنایع مرتبط با فعالیت های کشاورزی مانند کارخانجات تولید ماشین آلات (تراکتور) و غذا ممکن است زمانی که خشکسالی به محصولات زراعی و دام آسیب می رساند، کسب و کار خود را از دست بدهند.
پیامدها بر بخش تامین آب	شرایط خشکسالی از طریق کاهش منابع آبی و افزایش تقاضا برای مصارف مختلف آبی (صنعتی، کشاورزی و شرب) بر روی منابع آب اثر می گذارد.

توضیح	بخش
پیامدهای مستقیم بر آب های سطحی شامل کاهش جریان رودخانه ها و تراز آب مخازن است. کاهش قابل توجه در تراز آبخوان ها به عنوان نمونه قابل توجهی از تبعات و پیامدهای خشکسالی بر منابع آب زیرزمینی به شمار می رود.	پیامدها بر آب سطحی و آب زیرزمینی
تولید برقایی مرتبط با مقدار آب ذخیره شده در مخازن است؛ به عبارتی میزان تولید در حین خشکسالی می تواند کمتر شود. اوج تقاضای برق باید در چنین مواردی توسط سایر منابع در دسترس در کوتاه مدت (مانند توربین های گازی) تامین شود. میزان خسارات، به زیرساخت های برقایی و شدت خشکسالی بستگی دارد. کاهش دسترسی به میزان آب خنک کننده می تواند بالاجبار باعث کاهش تولید برق شود و حتی منجر به خاموش شدن نیروگاه های حرارتی و هسته ای در حین خشکسالی شود.	پیامدها بر تولید برق: برقایی، حرارتی و هسته ای
در شرایط جریان کم، قایق ها و کشتی ها ممکن است به دلیل پایین بودن تراز آب در مجاری آبی و رودخانه ها و کانال ها با مشکل رو به رو شوند که این امر بر کسب و کارهایی که وابسته به حمل و نقل آبی برای بارگیری و ارسال کالاها و مواد می باشند، اثر می گذارد. در نتیجه ممکن است مردم برای خرید غذا و سوخت هزینه بیشتری پرداخت کنند.	پیامدها بر بخش کشتیرانی تجاری
از آنجا که بسیاری از فعالیت ها در بخش گردشگری به آب مربوط است، خشکسالی ها می توانند خسارات جدی وارد نمایند. در مجموع، خشکسالی ها بر روی فعالیت های تفریحی و گردشگری تابستانی و زمستانی تاثیر می گذارند.	پیامدها بر بخش گردشگری و تفریحات



شکل ۱۵. خسارات سالانه مورد انتظار خشکسالی بر حسب میلیارد دلار در سال ۲۰۱۵
منابع داده ها: NatCatSERVICE، EM-DAT و DesInventar

خسارات اقتصادی ناشی از خشکسالی می تواند مصیبت بار باشد، به طوری که یک رخداد خشکسالی می تواند خسارتی در حد میلیاردها دلار وارد کند. در خصوص تلفات، شدیدترین وقایع می توانند منجر به تلفات قابل توجهی شود و بر روی اقتصاد یک منطقه و یا کشور تاثیر بگذارد. به عنوان مثال، با توجه به داده‌های ارائه شده در پایگاه داده‌های جهانی خسارات بلایا طبیعی NatCatService^۱، خشکسالی شدید کالیفرنیا در سال ۲۰۰۶ باعث ایجاد خساراتی بالغ بر ۴.۴ میلیارد دلار شد. همچنین طبق گزارشات منتشر شده طی سال های ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۵ خشکسالی در ایالت های واقع در غرب میانه آمریکا خسارتی بالغ بر ۳.۶ میلیارد دلار وارد کرد. خشکسالی سال های ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۵ که بخش های شرقی و مرکزی برزیل را تحت تاثیر قرار داد (عمدتا سائو پائولو، میناس گرایس و ریو دو ژانیرو) خسارتی در حدود ۵ میلیارد دلار بر جای گذاشت. در خصوص خشکسالی سال های ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۱ در شاخ آفریقا حدود ۲۵۰.۰۰۰ نفر تلفات انسانی تخمین زده شد و باعث شد که بیش از ۱۳ میلیون نفر از مردم منطقه به کمک های بشردوستانه نیاز پیدا کنند. در عین حال، ۱.۳ میلیارد دلار برای اقدامات کاهش اثرات خشکسالی هزینه شد (UNOCHA, 2011).

در بین تمامی فعالیت های اقتصادی در کشورهای در حال توسعه، کشاورزی بخشی است که بیشترین تاثیر را از خشکسالی ها گرفته است. برای شناسایی روند تبعات اقتصادی بلایا بر محصولات زراعی، دام، شیلات و جنگل داری، سازمان خواروبار و کشاورزی ملل متحد (FAO^۲) در سال ۲۰۱۵ به مرور ۷۸ مورد ارزیابی نیازهای پس از بلایا (PDNA^۳) پرداخت که شامل تبعات و عواقب بلایا متوسط تا بزرگ مقیاس در ۴۸ کشور در حال توسعه واقع در قاره های آفریقا، آسیا و آمریکای لاتین در دوره زمانی ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۳ بود. بر اساس این گزارش، کشاورزی به طور میانگین ۸۴ درصد از کل تبعات اقتصادی در این کشورها را به خود اختصاص داده است. دامداری دومین بخشی است که بیشترین تاثیر را بعد از محصولات زراعی دریافت می کند و تقریبا ۱۱ میلیارد دلار یا ۳۶ درصد از کل خسارات و تلفات گزارش شده را شامل می شود که تقریبا ۸۶ درصد از این خسارات و تلفات توسط وقایع خشکسالی به وجود آمده است.

شرایط محیط زیستی بر گیاهان و بهره وری آنها در دوران رشد و توسعه اثر می گذارد. این شرایط شامل در دسترس بودن آب، تابش خورشید، دما و نیز خصوصیات خاک مانند اسیدیته و غیره است. مطالعات نشان می دهد که تولید زیست توده محصول جو در واکنش به وقوع خشکسالی با زمان و تداوم مختلف کاهش یافته است (Jamieson et al. 1995). به بیان دیگر، تنش رطوبتی در تمام مراحل رشد به صورت قابل توجهی میزان عملکرد و تولید دانه را کاهش داده است (Singh et al.

^۱ <https://natcatservice.munichre.com/>

^۲ Food and Agriculture Organization (FAO)

^۳ Post-Disaster Needs Assessments (PDNA)

(۱۹۹۱). Hlavinka et al. (2009) یافته است که خشکسالی های شدید به کاهش قابل توجه در عملکرد غلات و اکثر محصولات زراعی در سرتاسر مناطق مستعد خشکسالی منجر می شوند. به عنوان مثال، همبستگی قابل توجهی بین شاخص های خشکسالی محاسبه شده در طول زمان رشد هر یک از محصولات زراعی و میزان تولید آنها پیدا شد.

تغییر اقلیم احتمال دارد که فراوانی و شدت خشکسالی های هواشناسی و کشاورزی را در مناطقی که در حال حاضر خشک هستند تا پایان قرن ۲۱م افزایش دهد. به طور ویژه، کشورهای واقع در مناطق خشک و نیمه خشک آسیب پذیرتر هستند یعنی جایی که تنش آبی به دلیل برداشت بی رویه و تخریب اراضی تحت شرایط کنونی ملموس و رو به افزایش است (IPCC 2014). به عنوان یکی از عواقب، بسیاری از بخش های اقتصادی و اکوسیستم ها احتمالاً تحت تاثیر تبعات نامطلوب تغییر اقلیم قرار خواهند گرفت. به عنوان مثال، حیات موجودات زنده ای که وابسته به آب شیرین هستند نه تنها متحمل تغییرات در رژیم جریان خواهند بود بلکه گرفتار افزایش دمای رودخانه که ناشی از خشکسالی و مربوط به کاهش دبی است، خواهند شد (Van Vliet et al., 2011). کاهش در رطوبت خاک و افزایش ریسک خشکسالی کشاورزی در اراضی خشک فعلی محتمل هستند و پیش بینی می شود ریسک کشاورزی با اطمینان متوسطی تا انتهای قرن ۲۱ افزایش یابد (IPCC 2014). این مورد می تواند به افزایش ریسک عدم امنیت غذایی و اختلال در تامین امنیت غذایی به ویژه برای جوامع فقیرتر در مناطق شهری و روستایی منجر شود. در بسیاری از کشورها، انتظار می رود که افزایش ریسک آتش سوزی، دوره آتش سوزی طولانی تر، آتش سوزی های وسیع، شدید و مکرر در نتیجه ترکیب افزایش امواج گرمایی و خشکسالی به وجود آید (Duguay et al., 2013).

سلامتی جوامع انسانی به تغییرات الگوهای آب و هوایی و سایر جنبه های تغییر اقلیم حساس است. این آثار به دلیل تغییر دما و بارندگی و در پی وقوع امواج گرمایی و خشکسالی به طور مستقیم اتفاق می افتند. سلامت انسان ممکن است به دلایل مختلفی به طور غیرمستقیم تحت تاثیر قرار بگیرد از جمله اختلالات اکولوژیکی مربوط به تغییر اقلیم مانند خرابی محصولات زراعی و یا جابجایی الگوهای انتقال بیماری یا واکنش های اجتماعی نسبت به تغییر اقلیم مانند جابجایی جمعیت به دنبال وقوع خشکسالی های طولانی و نیز مواجهه افراد مسن با آسیب های نامتناسب فیزیکی و سرانجام مرگ و میر در اثر تنش گرمایی و خشکسالی (IPCC 2014, Van Lanen et al., 2017).

۴-۲- مطالعات موردی

۴-۲-۱- آرژانتین (پیامدها بر کشاورزی بازار محور)

کشاورزی با سهم حدوداً ۸ درصد از کل تولید ناخالص ملی به عنوان یکی از ارکان مهم اقتصاد آرژانتین محسوب می‌شود. در مناطق مرکزی و شمال شرقی این کشور، دشت‌ها و اراضی غالباً پست و خاک‌های حاصلخیز به کشاورزی بزرگ مقیاس اختصاص داده شده‌اند. به طور ویژه، آرژانتین سومین تولیدکننده سویا و ذرت در دنیا می‌باشد که هر دو محصول با هم ۳۸ درصد از کل صادرات این کشور را در سال ۲۰۱۶ تشکیل دادند. از لحاظ تولید گاو در زمان مذکور، این کشور با داشتن ۵۲ میلیون راس گاو ششمین کشور و چهارمین کشور در تولید گوشت گاو دنیا (۲.۶ میلیون تن) می‌باشد. در نتیجه، اقتصاد آرژانتین به طور ویژه ای نسبت به آثار وقایع حدی آب و هوایی بر بخش کشاورزی آسیب پذیر می‌باشد. بارندگی سالیانه در سراسر این کشور فراوان است و نوسان سالانه کمی دارد. بنابراین، کاشت محصولات زراعی به طور کلی انجام می‌شود تا از مزیت باران‌های تابستانی در دسامبر و ژانویه استفاده شود. برداشت محصولات نیز بین ژانویه و آوریل (برای ذرت) و بین مارس و می (برای سویا) انجام می‌گیرد. اکثر تولیدات کشاورزی در آرژانتین متکی به کشاورزی گسترده دیم است و فقط ۵ درصد از اراضی تحت کشت، آبیاری می‌شود.

در اواخر سال ۲۰۱۷، یک خشکسالی شدید شمال شرقی آرژانتین شامل بیشتر اراضی کشاورزی را فرا گرفت و خسارات جدی به محصولات اصلی به ویژه ذرت و سویا وارد کرد. استان‌های بوینس آیرس، کوردوبا، سانتافه، اینتره ریوس و لاپامپا که شامل محدوده‌ای به وسعت یک میلیون کیلومتر مربع بود، در معرض خشکسالی قرار گرفت. خشکسالی مذکور، ناگهانی و بسیار شدید بود به طوری که فقط چند ماه به طول انجامید و با مرحله رشد محصولات همزمان گردید. این واقعه توسط مشاهدات جهانی خشکسالی وابسته به مرکز تحقیقات مشترک کمیسیون اروپا^۱ مورد پایش قرار گرفت که وظیفه این سامانه به روزرسانی ریسک تبعات و پیامدهای خشکسالی بر بخش کشاورزی (RDRI-Agri^۲) به صورت لحظه‌ای می‌باشد. شاخص RDRI-Agri بر اساس ترکیب عوامل آسیب‌پذیری و در معرض قرارگیری است که در قسمت‌های قبل ارائه شد و نیز روند تغییرات لحظه‌ای خطر خشکسالی که از داده‌های هواشناسی، رطوبت خاک و سبزی‌نگی پوشش گیاهی استخراج می‌شود.

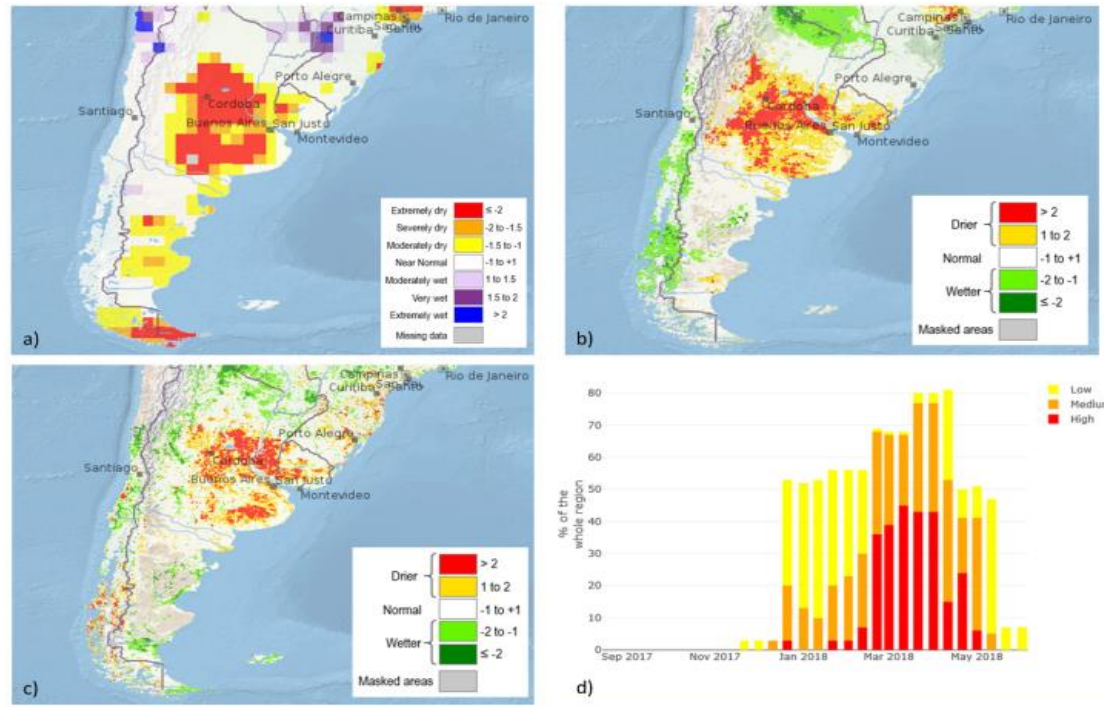
شاخص‌های خشکسالی، وقایع خشکسالی را طی مراحل مختلف فصل رشد محصولات به خوبی ثبت می‌کنند (شکل ۱۶). در ابتدای سال ۲۰۱۷، ناهنجاری‌های بارندگی (SPI) به شدت منجر به ایجاد یک خشکسالی شدید با مدت زمان دو ماه با نقطه اوج در ماه مارس شد، در حالی که آثار آن بر روی

^۱ JRC's Global Drought Observatory (GDO), <http://edo.jrc.ec.europa.eu/gdo>,

^۲ Risk of Drought Impacts for Agriculture (RDRI-Agri)

رطوبت خاک و سبزی‌نگی پوشش گیاهی از این ماه به بعد و در طی ماه‌های آتی ادامه دار بود. شاخص ریسک (RDri-Agri، شکل ۵۱۶) روند ریسک تبعات خشکسالی بر بخش کشاورزی را نشان می‌دهد. این شاخص با نسبت بزرگی از مناطق تحت ریسک متوسط تا زیاد در طی ماه‌های مارس تا می به مقدار اوج خود رسید.

در نتیجه خشکسالی مذکور حدود ۶.۱ میلیون تن سویا از دست رفت که برابر با حدود ۳۰ درصد از کل تولید محصول مورد انتظار در فصل برداشت بود. در خصوص ذرت، این مقدار حدودا ۲۵ درصد است. خسارات اقتصادی تقریبا ۶ میلیارد دلار آمریکا تخمین زده شد؛ تقریبا ۰.۸ درصد از تولید ناخالص ملی آرژانتین که پیامدهایی قابل مقایسه نسبت به خشکسالی بزرگ سال ۲۰۰۹ به دنبال داشت. با در نظر گرفتن سهم محصولات کشاورزی آرژانتین در منابع جهانی می‌توان انتظار داشت که خسارات محصولات در این کشور می‌تواند قیمت غلات را در بازارهای جهانی افزایش دهد.



شکل ۱۶. الف) شاخص $SPI-3$: ناهنجاری بارندگی تجمعی برای دوره سه ماهه از ژانویه تا مارس ۲۰۱۸، ب) ناهنجاری رطوبت خاک برای مارس ۲۰۱۸ و ج) ناهنجاری در فعالیت فتوسنتزی پوشش گیاهی (توان پوشش گیاهی) برای بازه زمانی ۲۰۱۸-۰۴-۰۱ تا ۲۰۱۸-۰۴-۱۰ و د) سری زمانی شاخص ریسک تبعات و پیامدهای خشکسالی در بخش خشکسالی (RDRI-Agri) برای استان بوینس آیرس بر حسب درصد از کل محدوده. مناطق همجوار که تحت تاثیر قرار گرفته اند الگوهای مشابهی را نشان می دهند که در برخی اوقات به ۱۰۰ درصد همخوانی می رسیدند (منبع: GDO).

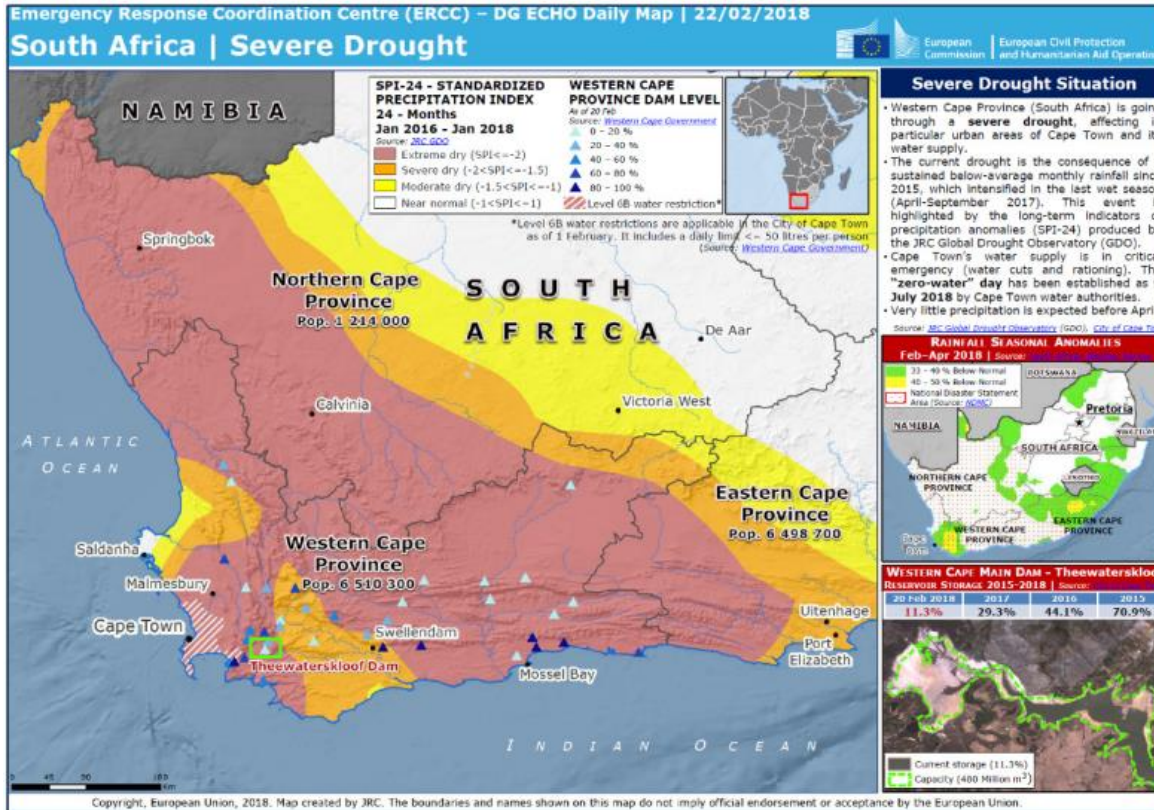
۴-۲-۲- آفریقای جنوبی (پیامدها بر بخش تامین آب)

از سال ۲۰۱۵، استان کیپ غربی واقع در آفریقای جنوبی، دوره های مستمر با میزان بارش خیلی کم و کمتر از حد میانگین را تجربه کرد که منجر به ایجاد خشکسالی هواشناسی شد. این واقعه بین آوریل تا سپتامبر ۲۰۱۷ شدیدتر شد و شرایط را بیش از حد معمول، خشک تر کرد. کمبود بارندگی به تدریج افزایش یافت تا اینکه در ابتدای ۲۰۱۸ به بدترین خشکسالی ثبت شده طی قرن اخیر و یک وضعیت بحرانی برای شهر کیپ‌تاون تبدیل شد. این شهر یکی از بزرگترین محدوده های شهری کشور آفریقای جنوبی می باشد، اما اغلب شهرداری ها در منطقه کیپ غربی شاهد افزایش تراز هشدار نیز شدند که جمعیتی بالغ بر ۴ میلیون نفر را در معرض خشکسالی قرار داد.

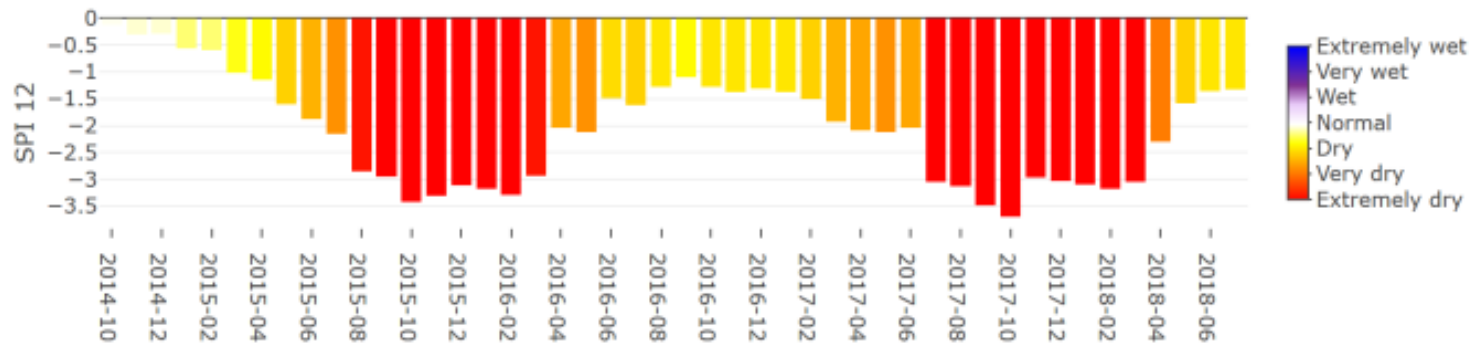
در طی این خشکسالی چندساله، کمبود آب در چرخه هیدرولوژیکی گسترش یافت و مخازن آبی که آب شرب شهر کیپ تاون را تامین می کردند به شدت تحت تاثیر قرار گرفتند.

شاخص‌های هواشناسی کوتاه مدت (مانند SPI-۳) شرایط سخت را در اوج وقوع خشکسالی تشخیص دادند، زیرا بارندگی در سال های گذشته به طور یکنواخت نزدیک به میزان نرمال خود بوده و حداکثر یک خشکسالی خفیف را ایجاد کرده است. با این وجود، دوره های تجمعی و طولانی تر بارش (مانند SPI-۲۴، شکل ۱۷) کمبود بارندگی جدی را در طول مدت دو سال قبل از وقوع خشکسالی نشان داد؛ همراه با مقادیر SPI که از آستانه استثنایی منفی ۳ مربوط به سطح خشکسالی حدنهایی عبور کردند. این شرایط حداقل از ابتدای سال ۲۰۱۵ منجر به کمبود تامین دائمی آب برای مخازن شد که خود دلیلی بر بحران تامین آب در منطقه بود.

سری ۱۲ ماهه شاخص SPI در شکل ۱۸، کمبود شدید بارندگی در زمستان سال های ۲۰۱۵ تا ۲۰۱۶ و ۲۰۱۷ تا ۲۰۱۸ را نشان می دهند که دلیل خشکسالی شدید هیدرولوژیکی تجربه شده هستند.



شکل ۱۷. نقشه شرایط خشکسالی شدید در استان کیپ غربی، ژانویه تا فوریه ۲۰۱۸ (منبع: مرکز هماهنگی واکنش به بحران DG ECHO و DG JRC).



شکل ۱۸. سری زمانی شاخص SPI با دوره تجمعی ۱۲ ماهه (SPI-۱۲) که منجر به مقادیر حدنهایی بسیار پایین برای ماه های زیادی شده و خشکسالی هیدرولوژیک شدید و طولانی را نشان می دهد.

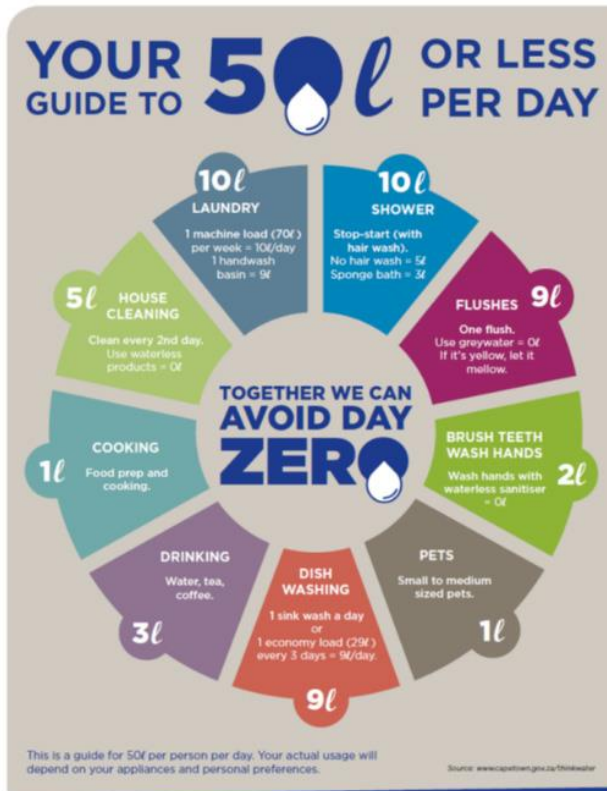
در حین این واقعه، مقامات کیپ‌تاون مقدار مصرف مجاز آب لوله کشی را تا ۵۰ لیتر به ازای هر نفر در هر روز محدود کردند؛ آستانه‌ای که تامین آب لوله کشی بیشتر از آن، امکان توقف کامل تامین آب عمومی در روزی که "روز صفر" خوانده می‌شد، طی هفته‌ها را موجب می‌شد، و آب شرب تنها در تعداد محدودی از نقاط توزیع، تامین شد.

به دلیل آب و هوای نسبتاً خشک منطقه، تعدادی مخزن برای ذخیره آب منطقه کیپ غربی در نظر گرفته شد تا مشکل کمبود دوره‌ای بارندگی مرتفع شود؛ اما شرایط غیر معمول و بحرانی تراز پایین آب، زنجیره تامین آب را با سختی جدی مواجه کرد. سد تیواتراسکلوف^۱ بزرگترین سد تامین آب کیپ غربی است که ظرفیت ذخیره ۴۱ درصد آب در دسترس برای شهر کیپ‌تاون را دارد، به عنوان مثال در اوایل سال ۲۰۱۸ شاهد تراز بحرانی پایینی شد (در حدود ۱۱ درصد از کل ظرفیت ۴۸۰ میلیون متر مکعبی، شکل ۱۷)، علاوه بر آن به دلیل رشد سریع جمعیت در سال‌های اخیر، سرعت توسعه زیرساخت‌های آبی به سختی با افزایش تقاضا هماهنگ شد. با اتخاذ مجموعه‌ای اقدامات مانند جیره‌بندی و صرفه‌جویی آب که توسط دولت شد (شکل ۱۹)، همراه با وقوع برخی بارندگی‌ها، "روز صفر" در سال ۲۰۱۸ تجربه نشد. با این وجود، احیا و رهایی کامل از بحران آب به پر شدن مجدد مخازن و دسترسی عملیاتی به سایر منابع جایگزین بستگی دارد. در واقع، سرمایه‌گذاری‌های بزرگی برای احداث تاسیسات آب شیرین‌کن در حال انجام است.

۴-۲-۳- سوریه (پیامدها بر بخش کشاورزی، تخریب اراضی و مناقشات داخلی)

مناقشات داخلی در سوریه (از سال ۲۰۱۱) به فهم بهتری از ارتباط بین تنش‌های محیط زیستی پیش‌رو به دلیل تخریب اراضی و تغییر اقلیم (تنش اقلیمی بیوفیزیکی) و تنش‌های اجتماعی (وضعیت اجتماعی-اقتصادی) در آن منطقه نیاز دارد و نحوه اینکه پیامدهای این تنش‌ها چگونه به عنوان بستری برای ایجاد تنش گسترده بین مناطق روستایی سوریه عمل می‌کند. اخیراً، رسانه‌ها و تحلیلگران پیشنهاد کردند که تغییر اقلیم نقش غیرمستقیمی در بهار عربی و شورش سوریه (Friedman, 2013) داشته که پیش‌تر در سالهای ۲۰۱۰ و ۲۰۱۱ توسط Erian et al. (2010) و Erian (2011) توضیح داده شده‌اند که چگونه تبعات و پیامدهای خشکسالی به عنوان یک عامل ناپایداری در سوریه ایفای نقش نموده است.

^۱ Thewaterskloof Dam



شکل ۱۹. راهنمایی برای مواجهه با مصرف محدود روزانه آب به میزان ۵۰ لیتر و یا کمتر در شهر کیپ‌تاون (منبع: www.capetown.gov.za/thinkwater)

امروزه سوریه نه تنها با خشکسالی بلکه با بحرانی سخت رو به رو است که توانایی ارتقای تاب‌آوری در مقابل ریسک‌های خشکسالی را کاهش می‌دهد. در حقیقت، هیچ راه حلی پس از مناقشه به صورت دائمی پایدار نخواهد ماند مگر اینکه اقداماتی برای توسعه ظرفیت‌های مقابله با خشکسالی و تاب‌آوری در مناطق روستایی سوریه لحاظ شده باشد.

سوریه بخشی از منطقه تاریخی مشهور به نام «منطقه هلال حاصلخیز»^۱ می‌باشد. این منطقه متحمل خشکسالی‌های مکرر و طولانی بوده است. حدود ۲۲۰۰ سال قبل از میلاد، تغییرات اقلیمی موقت باعث ایجاد یک دوره ۳۰۰ ساله همراه با کاهش بارندگی و دماهای سردتر گردید که باعث شد مردم

^۱ Fertile Crescent Area

بالاجبار اراضی دیم خود را در شمال شرقی سوریه رها کرده و به جنوب کشور مهاجرت کنند و یا اینکه معیشت خود را تغییر داده و از راه دامداری امرار معاش کنند (Weiss and Bradley 2001). امروزه بارندگی در سوریه حدود ۶۸.۵ درصد از منابع آب موجود در این کشور را تشکیل می‌دهد. مطالعات اخیر که شاخص‌های مختلف مربوط به خشکسالی مانند رطوبت خاک را تحلیل می‌کنند، افزایش سطح مناطق متأثر از خشکسالی را نشان می‌دهند (Burke and Brown, 2007). همچنین، شبیه‌سازی اقلیمی منطقه ای بیانگر این نکته است که منطقه مدیترانه شاهد خشکسالی‌های شدیدتر خواهد بود که با پیش‌بینی‌های موجود در مقیاس جهانی مطابقت دارد (Giorgi, 2006 and Mariotti et al., 2008). به عنوان مثال، شاخص تمرکز بارش (PCI)^۱ برای دوره (۲۰۰۶-۱۹۶۰) در منطقه الجزیره (منطقه ای شامل سه استانداری در شمال شرقی سوریه) مورد مطالعه قرار گرفته است. نتایج نشان دهنده یک کاهش شدید در بارندگی سالیانه می‌باشد، حدوداً ۲۷.۷ درصد در کمیشلی^۲، ۱۹.۲ درصد در تل ابیض^۳ و ۲۶ درصد در حسکه^۴. این تغییرات اغلب به دلیل کاهش بارندگی طی فصول زمستان و بهار می‌باشد. حساسیت سنجی دبی جریان رودخانه‌های فرات، دجله شمالی و رودخانه بزرگ زاب نسبت به تغییرات اقلیمی که از یک مدل استخراج شده، نشان می‌دهد افزایش یا کاهش بارندگی به میزان ۲۵ درصد، موجب افزایش یا کاهش دبی رودخانه‌ها بدون تغییر در توزیع دبی آنها می‌شود (به عبارت دیگر دبی رودخانه‌ها حساس به بارندگی می‌باشند).

علاوه بر آن، شبیه‌سازی‌های اقلیمی در مقیاس منطقه‌ای، کاهش بارندگی به میزان ۴۰ تا ۵۰ میلیمتر را در اواسط قرن ۲۱م پیش‌بینی می‌کند که در محدوده بالادست حوضه آبریز فرات و دجله می‌باشد و تقریباً ۷ تا ۱۴ درصد از میانگین بارندگی را شامل می‌شود. در نتیجه کاهش تقریباً ۱۱ درصدی دبی رودخانه فرات مورد انتظار است. همچنین در اوایل قرن ۲۱ طی مطالعاتی^۵ تخمین زده شد که کاهش تقریباً ۱۰ تا ۲۵ درصدی رواناب در محدوده بالادست حوضه آبریز فرات و دجله در سال ۲۰۷۰ نسبت به سال ۲۰۰۰ رخ خواهد داد که بحث فوق‌الذکر را تایید می‌کند. در سال ۲۰۰۸ نتایج بدبینانه‌تری از پیش‌بینی‌های بارندگی و دبی جریان در منطقه هلال حاصلخیز خاورمیانه ارایه شد. نتیجه اغلب مطالعات، کاهش دبی سالانه برای رودخانه فرات به میزان قابل توجهی (۷۳-۲۹ درصد) و نیز کاهش دبی برای رودخانه اردن را نشان می‌داد. منطقه مدیترانه که در سال‌های ۲۰۳۱ تا ۲۰۶۰ خشک‌تر خواهد شد، منجر به اضافه شدن حدوداً یک هفته خشک بر روزهای خشک سال

^۱ Precipitation Concentration Index (PCI)

^۲ Kamishli

^۳ Tel-Abiad

^۴ Hassakah

^۵ Lehner et al. (2001) and EEA (2004)

در محدوده مناطق ساحلی و در حوضه آبریز جنوب شرقی که در حال حاضر خشک است، می شود و نیز در اراضی شمالی تا حدود ۳ هفته روزهای خشک، بیشتر خواهد شد.

این منطقه در معرض خشکسالی های مکرر کشاورزی (رطوبت خاک) قرار دارد و محصولات دیم به شدت تحت تاثیر نوسانات بارندگی قرار می گیرند. به طور ویژه، مناطقی که بارش سالیانه آنها بین ۱۵۰-۱۲۰/۴۰۰ میلی متر است از سطح آسیب پذیری متوسط تا شدید نسبت به خشکسالی در نظر گرفته می شوند (Erian et al., 2006).

در سال ۲۰۱۴ مطالعات توسط Erian et al. (2014) بر روی خشکسالی هواشناسی بلندمدت با شاخص استاندارد تبخیر و تعرق از بارش (SPEI) نشان داد که خشکسالی ها بین چرخه های نسبتا کوتاه خشکسالی و دوره های نسبتا مرطوب تا نرمال بین سال های ۱۹۶۱ تا ۱۹۸۰ نوسان داشته اند. اما در دهه ۱۹۸۱ تا ۱۹۹۰، فراوانی خشکسالی به تدریج افزایش یافت به طوری که سال ۱۹۸۴ به عنوان یک نقطه عطف ثبت گردید^۱.

در گذشته، خشکسالی های مکرر باعث شد تا مردم اراضی دیم را رها کنند. اخیرا، دو چرخه خشکسالی شدید در سوریه شناخته شد. اولین مورد از فصل کشاورزی زمستانه ۱۹۹۷/۱۹۹۸ شروع شد و تا فصل کشاورزی ۲۰۰۰/۲۰۰۱ ادامه یافت و دومین مورد از فصل کشاورزی زمستانه ۲۰۰۵/۲۰۰۶ آغاز شد و تا ۵ سال ادامه یافت. طی سال ۲۰۰۸، تقریبا ۱.۳ میلیون نفر از مردم (۲۰۶.۰۰۰ خانواده) از جمعیت ۲۲ میلیونی، تقریبا ۶ درصد از کل جمعیت به شدت تحت تاثیر خشکسالی قرار گرفتند و بالغ بر ۸۰۰.۰۰۰ نفر تقریبا تمامی معیشت خود را از دست دادند و با سختی شدیدی رو به رو شدند. این خشکسالی، وضعیت کشاورزی را در شرق و شمال شرق سوریه فلج کرد. از آنجا که معیشت کشاورزانی که فقط یک محصول تولید می کردند تحت ریسک قرار داشت و از آنجا که محصول و معیشت دیگری نداشتند که بتواند از آنها حمایت نماید در برخی موارد آنها را مجبور به مهاجرت اجباری به خارج از اراضی متاثر از خشکسالی کرد (Erian et al., 2011, Kattana, 2011 and UNISDR, 2011).

تخمین زده شده که بین ۴۰۰۰۰ تا ۶۰۰۰۰ خانواده به سمت شهرهایی مانند حلب و دمشق و دیرالزور یا به لبنان در جستجوی کار و یا منابع جدید درآمدی مهاجرت کردند (Nashawatii, 2011 and Erian, 2010).

FAO در سال ۲۰۱۴ چالش های اصلی وارد بر کشاورزی سوریه و امنیت غذایی را ارایه کرد. نتیجه عبارت بود از آسیب پذیری بالای ۶.۳ میلیون نفر نسبت به عدم تامین امنیت غذایی و نیاز بحرانی به غذا و کشاورزی. تولیدات کشاورزی به دلیل پایین آمدن سطح اراضی تحت کشت، شرایط اقلیمی

^۱ Erian et al. (2014)

نامطلوب و سرمایه گذاری اندک برای حفظ و حمایت از احیای بخش کشاورزی، کاهش یافت. این عوامل - در کنار کاهش ظرفیت جمعیت کشاورز روستایی برای تولید درآمد و دسترسی به غذا در مناطقی که به شدت تحت تاثیر قرار گرفتند - به طور فزاینده ای امنیت غذایی را به چالش کشید. کاهش قابل توجه در تولید غذا در سوریه و اختلال در کسب و کارهای وابسته نیز بر دسترسی به غذا در کشورهای همسایه تاثیر منفی گذاشت و به شدت تولیدکنندگان کوچک مقیاس و کارگران را در زنجیره تامین اکثر کالاهاى کشاورزی تحت تاثیر قرار داد. افزایش قیمت غذا و حذف یارانه های دولتی، درآمد واقعی و قدرت خرید خانوارهای ضعیف را کاهش داد که این امر باعث ایجاد تغییر در رژیم غذایی و افزایش سوء تغذیه در جوامع میزبان شد.

در ادامه موضوع فوق، لازم به ذکر است که خشکسالی باید به عنوان یک مشکل بسیار جدی در نظر گرفته شود. خشکسالی یک تهدید فزاینده برای تمامی کشورهای است که در حال حاضر از مناقشات، مهاجرت اجباری و ناپایداری در کنار شکنندگی تدریجی خدمات اکوسیستم شامل روند تخریب اراضی، تخلیه خاک و کاهش امنیت آبی رنج می برند. مناطق با حساسیت بالای پوشش گیاهی و محصولات زراعی نسبت به تغییرات آب و هوایی و تغییر اقلیم تحت ریسک ایجاد شده توسط ناپایداری سیاسی به دلیل پیچیدگی شوک هایی که ممکن است بر آنها وارد شود، قرار دارند. علاوه بر سوریه، نمونه های دیگری نیز وجود دارند مثل دارفور (منطقه ای واقع در غرب کشور سودان) که به طور شفاف ارتباط بین نیروهای فزاینده طبیعی مانند خشکسالی و تخریب اراضی و فشارهای فزاینده سیاسی، اجتماعی و اقتصادی مانند فقر، جابجایی، آسیب پذیری اجتماعی، خشونت و مناقشات را توضیح می دهد. این موارد نشان می دهند که چگونه افزایش خطرات محیط زیستی می تواند بی ثباتی و ناپایداری را شتاب دهد. به منظور غلبه بر این آثار لازم است فعل و انفعالات بین علوم طبیعی و اجتماعی به منظور عبور از مدیریت بحران به سمت مدیریت ریسک اقلیم تشدید شود.

۴-۲-۴- کالیفرنیا (پیامدها بر روی منابع آب زیرزمینی و اکوسیستم)

از سال ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۵ کالیفرنیا خشک ترین دوره زمانی چهار ساله متوالی زمستانی خود را در دوره آماری ثبت شده (از سال ۱۸۹۵) تجربه کرد که با کمبود رطوبت تجمعی تقریباً برابر با کل بارندگی یک سال همراه شد. همچنین در زمستان سال های ۲۰۱۴ و ۲۰۱۵ دمایی حدوداً ۲ تا ۳ درجه سانتی گراد بالای مقدار میانگین ثبت شد. کمبود بارندگی و دماهای بالا منجر به انباشت کمتر برف و جریان کم رودخانه ها و آبراهه های ایالت مذکور شد. تغییرپذیری سالانه بارندگی کالیفرنیا از شدیدترین طوفان های این ایالت نشأت می گیرد. در جنوب کالیفرنیا حدوداً ۹۰ درصد تغییرات بارندگی سالانه به دلیل نوسانات درون سالی در مرطوبترین روزهای سال می باشد. این بدین معنی است که سال های تر و خشک در کالیفرنیا دو روی یک سکه هستند. به عبارت دیگر، خشکسالی در کالیفرنیا در سال هایی اتفاق می افتد که تعدادی از طوفان های بزرگ به وقوع نمی پیوندند و سال های تر زمانی

اتفاق می افتند که طوفان های بزرگ مقیاس به وقوع می پیوندند. از لحاظ تاریخی، زمستان های خشک کالیفرنیا به طور معمول با یک خط الراس در سواحل غربی مرتبط بوده است، قسمتی از دنباله موج جوی در عرض جغرافیایی میانه که هیچ گونه فشار ناشی از دمای سطح دریا (SST)^۱ به صورت آشکار در آن مشاهده نمی شود. زمستان های تر نیز به طور معمول با گذر از سواحل غربی و یک واقعه ال نینو مرتبط بوده اند. با توجه به مدل ها، حداکثر تا یک سوم تغییرات بارندگی در زمستان در کالیفرنیا را می توان با فشار ناشی از دمای سطح دریا (SST) مرتبط دانست که اکثرا با تغییرات داخلی جو ارتباط دارد. با این وجود، فشار ناشی از SST عامل کلیدی در پایدارسازی یک سامانه با فشار بالا در طول ساحل غربی طی هر یک از سه زمستان قبلی و احتمالا یک سوم کمبود بارندگی کالیفرنیا در طول خشکسالی اخیر را تشریح می کند. در سال های ۲۰۱۱/۱۲ مولفه فشاری به عنوان یک عکس العمل نسبت به پدیده لانینا بود؛ در حالی که در سال های ۲۰۱۲/۱۳ و ۲۰۱۳/۱۴ این مورد مربوط به یک ناهنجاری SST گرمسیری واقع در غرب اقیانوس آرام بود. آبیاری محصولات زراعی دائمی از طریق منابع آب زیرزمینی یا آب فراهم شده از بازار به طور گسترده ای جلوی گران شدن محصولات زراعی با ارزش بالا و محصولات زراعی دائمی را خواهد گرفت. برخی از نتایج مهم این واقعه عبارتند از: تامین بخش زیادی از کمبود آب سطحی که تقریبا ۱۰.۷ میلیون متر مکعب است از طریق افزایش پمپاژ آب زیرزمینی که حدود ۷.۴ میلیون متر مکعب است.. آب زیرزمینی تقریبا ۷۰ درصد از کمبود آب ناشی از خشکسالی را جبران می کند. تراز آب در بیش از ۴۰ درصد چاه های جنوب کالیفرنیا در پاسخ به افزایش تنش ها بر منابع آب زیرزمینی در سطح منطقه تقریبا ۱۰۰ سانتی متر کاهش یافت.

در کالیفرنیا، زیرساخت های آبی گسترده ای ساخته شده تا خدمات چندمنظوره ای را که غالبا بین اولویت ها مناقشه ایجاد می کند شامل تحویل آب به استفاده کنندگان در بخش های کشاورزی و شهری یا نگهداری از ارزش های اکولوژیکی ارایه دهد. در اواخر تابستان و اوایل پاییز سال های ۲۰۱۴ و ۲۰۱۵ کمبود جریان های سطحی منجر به افزایش ناگهانی و غیر قابل پیش بینی دما در رودخانه ساکرامنتو^۲ شد و باعث مرگ و میر تقریبا ۹۵ درصد جمعیت سالمون چینوک^۳ زمستانه (بزرگترین و با ارزش ترین گونه ماهی قزل آلا در آمریکای شمالی) شد که نهایتا باعث افزایش ریسک انقراض این گونه بارزش گردید (Broder, 2015). این تغییر ناگهانی اکولوژیکی در اثر تغییر در شرایط آب و هواشناسی زمانی که از یک آستانه دمایی عبور کرده و نیز به دلیل عدم موفقیت مدل های هیدرولوژیکی و مدیران آبی در پیش بینی مقدار آستانه و یا انجام اقداماتی برای جلوگیری از آن ایجاد

^۱ Sea Surface Temperature (SST)

^۲ The Sacramento River

^۳ Chinook salmon

شد. تخمین پیامدها بر بخش کشاورزی بالغ بر ۴۰ میلیارد دلار آمریکا بود (Howitt et al. 2015). مانند سایر مناطق، چنین تخمین هایی شامل پیامدهای زنجیره‌ای خشکسالی و کم آبی در سایر بخش ها یا پیامدها بر روی کارگران مهاجر نمی باشد. خشکسالی سال های ۲۰۱۵-۲۰۱۱ منجر به نخستین قانون در زمینه مدیریت آب زیرزمینی در کالیفرنیا گردید.

توصیه های اضافی برای بهبود شرایط خشکسالی های آینده عبارت بودند از: اعمال نفوذ مسئولین فدرال برای حل مناقشات آبی و تطبیق اقدامات و اولویت های نهادها؛ تغییر برنامه های حمایت از بخش کشاورزی برای ایجاد مزایا در مقیاس حوضه آبریز؛ ارتقای مدیریت آب در سرشاخه ها به منظور حفاظت از منابع آب و کاهش پیامدهای فاجعه بار ناشی از آتش سوزی ها و مدرن سازی اطلاعات هواشناسی و آب و اقلیم برای کمک به کلیه مراحل برنامه ریزی و عملیاتی.

فصل پنجم / مدیریت ریسک خشکسالی

۵-۱- رویکردها برای مدیریت ریسک خشکسالی

در حالی که کنترل وقوع خشکسالی غیر ممکن است، نتایج و تبعات پیش آمده حاصل از آن را می توان تا حد مشخصی کاهش داد، به عنوان مثال از طریق اتخاذ راهبردهای پایش و مدیریتی که با آنها به طور کنش گرایانه و پیشگیرانه موافقت شده و در برنامه مدیریت خشکسالی گنجانده شده است.

تهیه برنامه های مدیریت خشکسالی باید با یک چهارچوب مفهومی مورد تایید در زمینه مدیریت خشکسالی و بر اساس تعاریف شفاف خشکسالی ارتباط داشته باشد. نقطه آغازین این فرآیند دستورالعمل سیاست ملی مدیریت خشکسالی^۱ می باشد که توسط برنامه مدیریت یکپارچه خشکسالی (IDMP^۲) در سال ۲۰۱۴ منتشر شد و در سال ۲۰۱۵ نیز با شرایط منطقه ای اروپای مرکزی و شرقی توسط مشارکت جهانی آب (GWP^۳) تطبیق یافت. همانطور که در گزارش برنامه مدیریت خشکسالی کمیسیون اروپا^۴ در سال ۲۰۰۷ ارایه شده، در حال حاضر دو رویکرد بنیادی برای مدیریت ریسک خشکسالی اجرا می شود.

رویکرد اول: رویکرد عکس العملی و واکنش گرا^۵ که بر اساس مدیریت بحران می باشد. این رویکرد شامل انجام اقدامات بعد از آغاز و درک خشکسالی است. این رویکرد در شرایط اضطراری و بحرانی اتخاذ می شود و اغلب منجر به راه حل های فنی و اقتصادی ناکارآمد می گردد، زیرا اقدامات برای ارزیابی بهترین گزینه ها در مدت زمان کمی انجام می شوند و مشارکت ذی نفعان و ذی مدخلان نیز

^۱ National Drought Management Policy Guidelines

^۲ Integrated Drought Management Programme (IDMP)

^۳ Global Water Partnership (GWP)

^۴ European Commission (EC), 2007

^۵ Reactive approach

بسیار محدود می باشد. این رویکرد غالباً ناهماهنگ و نابهنگام است (Wilhite and Pulwarty, ۲۰۰۵). به علاوه، مدیریت بحران ذیل این رویکرد توجه کمتری نسبت به تلاش برای کاهش تبعات و پیامدهای خشکسالی های آینده دارد.

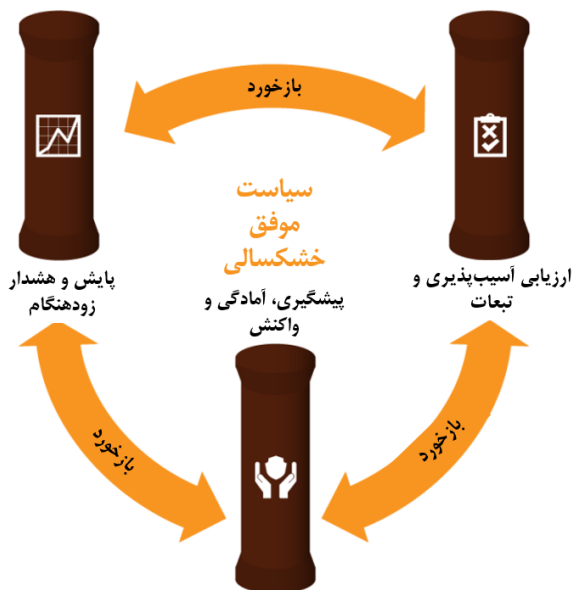
رویکرد دوم: رویکرد پیشگیرانه، کنش گرا و فعال^۱ که بر اساس مدیریت ریسک خشکسالی انجام می شود. این رویکرد شامل اقدامات مناسبی است که از قبل طراحی شده اند و با ابزارهای برنامه ریزی مربوطه و مشارکت ذی نفعان و ذی مدخلان همراه می شوند. رویکرد پیشگیرانه بر اساس هر دو اقدامات کوتاه مدت و بلند مدت در نظر گرفته شده و شامل سامانه های پایش برای هشدار به موقع شرایط خشکسالی، شناسایی آسیب پذیرترین بخش جمعیتی و اقدامات متناسب با کاهش ریسک خشکسالی و افزایش آمادگی می باشد. رویکرد پیشگیرانه مستلزم برنامه ریزی اقدامات ضروری برای جلوگیری و یا کمینه سازی تبعات و پیامدهای خشکسالی قبل از وقوع خشکسالی می باشد. این رویکرد همچنین به عنوان سه رکن مدیریت یکپارچه خشکسالی (شکل ۲۰) نامگذاری شده که توسط سازمان جهانی هواشناسی (WMO) و GWP در سال ۲۰۱۴ توسعه یافت و شامل: (۱) سامانه های پایش و هشدار زودهنگام خشکسالی؛ (۲) ارزیابی آسیب پذیری و تبعات؛ و (۳) پیشگیری، آمادگی در برابر خشکسالی و واکنش می باشد. این رویکرد نشانگر مسیر متداول برای پیشبرد اقدامات و رویکرد یکپارچه برای مدیریت خشکسالی است.

سامانه پایش و هشدار زودهنگام خشکسالی (رکن ۱) به عنوان پایه و اساس سیاست های پیشگیرانه موثر در برابر خشکسالی، برای اعلام هشدار شرایط خشکسالی محسوب می شود. این سامانه، روند شرایط اقلیمی و منابع آبی را شناسایی می کند و فوریت و احتمال وقوع و شدت محتمل خشکسالی و پیامدهای آن را تشخیص می دهد. اطلاعات مطمئن باید از طریق کانال های ارتباطاتی مناسب در قالب یک برنامه منظم و به موقع در اختیار مدیران آب و اراضی، سیاست گذاران و عموم مردم قرار گیرد تا بتوان اقدامات برنامه مدیریت خشکسالی را اجرا کرد. این اطلاعات اگر به طور موثری استفاده شود می تواند پایه و اساسی برای کاهش آسیب پذیری و ارتقای اقدامات پیشگیرانه و افزایش ظرفیت عکس العملی مردم و سامانه های تحت ریسک باشد.

ارزیابی آسیب پذیری و تبعات (رکن ۲) با هدف ارزیابی تبعات و پیامدهای تاریخی، کنونی و آینده ناشی از خشکسالی و نیز تعیین آسیب پذیری حاصل از این خشکسالی ها صورت می گیرد. هدف از ارزیابی آسیب پذیری و تبعات خشکسالی ارتقای ادراک هر دو فرآیند طبیعی و انسانی مرتبط با خشکسالی و تبعات حاصل از آن می باشد. خروجی ارزیابی آسیب پذیری و تبعات عبارتست از اینکه چه کسی و چه چیزی تحت خطر است و چرا.

^۱ Proactive approach

فعالیت های مربوط به پیشگیری، آمادگی و واکنش (رکن ۳) اقدامات پیشگیری و واکنشی مناسب را برای کاهش ریسک تعیین می کند، محرک های مناسب برای آغاز یا خاتمه اقدامات تسکینی را شناسایی می کند، به طور خاص اقدامات کوتاه مدت طی شروع تا خاتمه خشکسالی را تعیین می کند، و در نهایت نهادها یا وزارتخانه ها یا سازمان ها برای تدوین و اجرای اقدامات کاهش ریسک خشکسالی را شناسایی می کند. محرک ها به عنوان مقادیر مخصوصی از یک نشانگر یا شاخص تعریف می شوند که آغازگر و/یا خاتمه دهنده واکنش ها یا اقدامات مدیریتی توسط تصمیم گیران بر اساس دستورالعمل های موجود یا برنامه های آمادگی می باشند (WMO and GWP, 2016). محرک ها باید شاخص ها یا نشانگرها را به پیامدهایی که در حال وقوع هستند، متصل نمایند.



شکل ۲۰. سه رکن مدیریت یکپارچه خشکسالی

برای حرکت از رویکرد واکنشی به سمت رویکرد پیشگیرانه، شرایط محلی یا منطقه ای باید در نظر گرفته شوند که شامل چهارچوب های قانون گذاری و اجرایی به همراه شرایط طبیعی می باشد. یک برنامه موثر در زمینه مدیریت خشکسالی باید یک چهارچوب پویا را برای مجموعه ای از اقدامات پیش رو در مورد آمادگی و واکنش موثر در برابر خشکسالی شامل بازبینی های دوره ای از دستاوردها و اولویت ها؛ تنظیم مجدد اهداف، ابزارها و منابع و نیز تقویت ترتیبات نهادی، برنامه ریزی، و سازوکارهای سیاست گذاری برای پیشگیری (کاهش آثار منفی) خشکسالی ارائه کند (برای مثال، همانطور که در (EC, 2007) آورده شده است).

به منظور پیشگیری از بحران، یک ابزار اصلی پشتیبان از تصمیم در مفهوم سامانه های اطلاع رسانی هشدار زودهنگام تعبیه شده است. تلاش ها پیرامون هشدار زودهنگام خشکسالی در کشورهایی مانند برزیل، چین، مجارستان، هند، نیجریه، آفریقای جنوبی و ایالات متحده (Pulwarty and Vogt et al. 2018) ادامه دارد. فعالیتهای منطقه ای پایش خشکسالی در شرق و جنوب آفریقا وجود دارد و یا در حال توسعه است و همچنین اقداماتی در غرب آسیا و شمال آفریقا نیز در حال انجام است. نمونه ای از یک سامانه هشدار زودهنگام جهانی خشکسالی در کادر ۴ ارائه شده است. تحقیقات و تجربیات در چندین حوضه آبریز نشان می دهد که تناقضات زیاد در مدیریت آب چند ایالتی و حکمرانی آب درون مرزی می تواند مشکلات زیادی را در مقابل ارزیابی دقیق پیامدهای اقتصادی-اجتماعی خشکسالی و استفاده موثر از اطلاعات علمی برای کاهش آسیب پذیری های بلندمدت مشکل ایجاد نماید. این درس آموخته ها شامل استفاده گسترده از مشوق ها برای ارتقای همکاری، بهره وری مصرف آب، مدیریت تقاضا و توسعه خدمات اقلیمی به منظور اطلاع رسانی مدیریت مربوط به آب زمانی که تهدیدات جدید بروز می کند، می باشد. موارد بسیاری نشان می دهند که تغییر در مدیریت ریسک های اقلیمی (در این مورد "خشکسالی") به راحتی ایجاد می شوند زمانی که: (۱) یک واقعه مورد توجه (اقلیمی، قانونی یا اجتماعی) اتفاق بیافتد که باعث ایجاد آگاهی عمومی گسترده و فرصت هایی برای اقدام شود؛ (۲) مسئولین و عموم مردم و هر آنچه "کارآفرینان سیاسی"^۱ نامیده می شود، درگیر شوند؛ و (۳) پایه گذاری برای یکپارچه سازی تحقیقات و مدیریت ایجاد شود (Pulwarty and Maia 2014; Wilhite and Pulwarty, 2017; Gleick, 2018). جنبه آخر بر ساختاری برای توسعه ظرفیت به کارگیری دانش و نیز ارزیابی پیامدهای اقدامات بین اعضاء تاکید می کند تا هم قابلیت اطمینان و اعتبار تغییرات پیش بینی شده را تضمین نماید و هم تجدیدنظرهای قابل قبولی را در اقدامات مدیریتی در پرتوی اطلاعات جدید ممکن سازد. نمونه هایی از سامانه های اطلاعاتی پایان به پایان^۲ وجود دارند که در آنها پایش و پیش بینی، ارزیابی ریسک و مشارکت جوامع و بخش های مختلف، با آب و هوا-اقلیم در کنار هم قرار می گیرند که نمونه آن توسط سامانه یکپارچه اطلاعات خشکسالی ملی (NIDIS)^۳ و شبکه سامانه هشدار زودهنگام قحطی (FEWSNet)^۴ اجرایی شده اند که به کمک آنها بین داده های متنوع منطقه ای، ملی و محلی هماهنگی صورت گرفته و اطلاعات مورد نیاز برای پشتیبانی از برنامه ریزی و آمادگی فراهم می شود (Pulwarty and Verdin 2013). به عنوان نتیجه ای از

^۱ Policy entrepreneurs

^۲ End-to-end information systems

^۳ National Integrated Drought Information System (NIDIS)

^۴ Famine Early Warning System Network (FEWSNet)

FEWSNet و اقدامات صورت گرفته، می توان به موارد موفق مداخلات ریسک به منظور جلوگیری از بحران های انسانی شامل خشکسالی سخت در اتیوپی در سال های ۲۰۱۶-۲۰۱۵ اشاره کرد.

با این حال، بر اساس اظهار نظر UNISDR در سال ۲۰۱۱ خشکسالی به عنوان یک "ریسک پنهان" کماکان باقی است. اقدامات کوچک مقیاس شامل خانوارها، جوامع و کسب و کارهای انفرادی اغلب نادیده گرفته شده اند اما به عنوان مهمترین المان های کاهش ریسک خشکسالی قابل بحث هستند. WMO و GWP در سال ۲۰۱۷ خلاصه ای از این نوع اقدامات را به شرح ذیل تهیه کرده اند:

- در بنگلادش، مالکیت امن تر اراضی و دسترسی بهتر به برق و گسترش کشاورزی، اتخاذ اقدامات کاهش ریسک خشکسالی را در بین خانواده های کشاورز تسریع کرده است. به طور مشابه، در مراکش دسترسی به اراضی امن، بازارها و اعتبارات نقش اصلی را در کمک به کشاورزان برای مقابله با خشکسالی ایفا می کند.
- در اتیوپی، دسترسی پایدار به اعتبار به خانواده های کشاورز برای مقابله بهتر با تبعات و پیامدهای خشکسالی کمک کرده است زیرا آنها دیگر نیازی به واگذاری دارایی های تولیدی خود ندارند. علاوه بر آن، از آنجا که بسیاری از خانواده های روستایی در اتیوپی علاقه دارند دارایی های ذخیره شده خودشان را به سمت دامداری سوق دهند که حتی ممکن است در حین خشکسالی آنها را از دست بدهند، توسعه دسترسی به خدمات مالی و سازوکارهای جایگزین برای ذخیره سازی دارایی ها و درآمدها می تواند در کاهش ریسک خشکسالی موثر واقع شود.
- تغییر کاربری اراضی و تغییر در الگوی کشت به عنوان اهرمی برای ایجاد تاب آوری در مقابل خشکسالی به وفور اشاره شده است.
- ایجاد تنوع در معیشت از طریق فراهم نمودن فعالیت های دور از مزرعه و واگذاری دارایی های دامداری (عدم دامپروری)
- در کنیا و اوگاندا از جمله ویژگی های اصلی خانواده های تاب آور در برابر خشکسالی می توان به پایگاه دارایی قوی و گزینه های متنوع در زمینه مدیریت ریسک اشاره کرد. این جنبه ها عمدتاً به دلیل بر خورداری خانواده ها از آموزش بهتر و دانش بیشتر در زمینه نحوه مقابله با خطرات مختلف بود. این امر باعث شد که این قشر از مردم راه های کسب درآمد خود را متنوع سازند.

اگرچه بیمه خشکسالی یک اقدام موثر و پیشگیرانه است، توسعه سازوکارهای بیمه رسمی خشکسالی در بسیاری از کشورهای در حال توسعه توسط موانعی نظیر هزینه های تراکنش بالا، اطلاعات ناقص و انتخاب نامطلوب جلوگیری می شود (OECD 2016).

تجربیات JRC, IDMP, NIDIS, FEWSnet و سایر سامانه های اطلاعات و مدیریت ریسک نشان می دهد که هشدار زودهنگام نشان دهنده یک فرآیند اجتماعی پیشگیرانه است که به وسیله آن شبکه های سازمان ها، تحلیل های مشارکتی را انجام می دهند (Pulwarty and Verdin, 2013). در این زمینه، شاخص ها، به تشخیص زمان و مکان انجام مداخلات قانونی و تحلیل های تاریخی و نهادی، به شناسایی فرآیندها و نقاط ورودی برای کاهش آسیب پذیری کمک می کنند. در نظر گرفتن دانش و اقدامات محلی منجر به ارتقای اعتماد متقابل، مقبولیت، فهم مشترک و حس مالکیت جامعه و اعتماد به نفس می شود (Dekens, 2007). به همان اندازه که این شاخص ها برای چنین سامانه هایی حائز اهمیت هستند، موضوع حکمرانی که بحث سامانه های هشدار زودهنگام (EWSs)^۱ را در درون خود دارد، نیز نیاز به توجه بیشتری دارد، زیرا به طور خاص برای راهبردهای مردم محور که "آخرین مایل"^۲ اطلاق می شود ترکیبی از فعالیت های متمرکز و غیر متمرکز مورد نیاز است.

در قسمت های بعدی توصیه هایی برای اتصال موثر رویکردهای ارزیابی ریسک با راهبردهای تاب آوری که قابل پیاده سازی بوده و برای تصمیم گیران در شرایط تغییر اقلیم در دسترس هستند، ارائه می شوند.

از آنجا که بزرگی وقایع خشکسالی در گذشته، سیاست گذاران را نسبت به انجام اقدامات مناسب، ترغیب نکرده است، وقایع خشکسالی در قرن بیست و یکم تا حدی بر ضرورت برنامه های ابتکار عمل ملی و ایالتی با محوریت پایش و آمادگی در برابر خشکسالی تاکید می کنند. در سال های اخیر خشکسالی های گسترده، شدید و چند ساله در کشورها یا مناطق (نظیر استرالیا، ایالات متحده آمریکا، برزیل، کشورهای محدوده شاخ آفریقا و مکزیک) به عنوان ابزاری در حرکت رو به جلوی مباحث پیرامون ارتقای پایش و آمادگی در برابر خشکسالی مطرح شده اند. اما تجربه به دست آمده پیشنهاد می کند که این تنها یکی از عوامل مشارکت کننده در افزایش توجه به مدیریت ریسک خشکسالی در بسیاری از کشورهای مستعد خشکسالی است.

سامانه های هشدار زودهنگام بیش از ابزارهای علمی و فنی برای پیش بینی خطرات و صدور هشدارها عمل می کنند. آنها باید به عنوان منابع علمی معتبر و توانا شناخته شوند زیرا دانش آنها در دسترس است و اطلاعات مناطق تحت ریسک در آنها ادغام می شود که منجر به تسریع در روند تصمیم گیری (رسمی و غیررسمی) می گردد به نحوی که بخش های آسیب پذیر و گروه های اجتماعی را توانمند می سازد تا بتوان تلفات و آسیب های احتمالی ناشی از وقایع قریب الوقوع را کاهش داد

(Maskrey 2007, et al. 2015).

^۱ Early Warning System (EWSs)

^۲ Last Mile

۵-۲- مولفه های مدیریت ریسک خشکسالی پیشگیرانه

سازمان جهانی هواشناسی (WMO) و مشارکت جهانی آب (GWP) با بهره گیری از تجربیات کشورهای مختلف در سال ۲۰۱۴ مجموعه ای از دستورالعمل ها را برای اجرای سیاست های مدیریت خشکسالی در سطح ملی توسعه و ارائه دادند. هدف از این دستورالعمل ها فراهم آوردن الگویی از ۱۰ مرحله غیرتجویزی و غیردستوری^۱ است که تحت عنوان دستورالعمل تدوین برنامه های مدیریت خشکسالی عمل می کند (کادر ۳).

کادر ۳: فرایند ده مرحله ای سیاست و آمادگی در برابر خشکسالی	
مرحله ۱:	یک کمیسیون ملی در زمینه سیاست مدیریت خشکسالی تعیین کنید.
مرحله ۲:	اهداف و مقاصد سیاست مدیریت خشکسالی مبتنی بر ریسک در سطح ملی را تعیین یا تعریف نمایید.
مرحله ۳:	به دنبال مشارکت ذی نفعان باشید؛ مناقشات فی مابین بخش های مختلف مصرف کننده آب را شناسایی کرده و حل و فصل نمایید. مفاهیم فرامرزی در نظر گرفته شود.
مرحله ۴:	فهرست برداری از داده ها و منابع مالی در دسترس و شناسایی گروه های تحت ریسک
مرحله ۵:	اصول کلیدی سیاست مدیریت خشکسالی و برنامه های آمادگی در سطح ملی را که شامل المان های ذیل است آماده کنید/بنویسید: پایش، هشدار زودهنگام و پیش بینی؛ ارزیابی ریسک و تبعات؛ و پیشگیری (کاهش) و واکنش.
مرحله ۶:	نیازهای تحقیقاتی را مشخص و خلأهای نهادی را پر نمایید.
مرحله ۷:	جنبه های سیاستی و علمی مدیریت خشکسالی را با یکدیگر ادغام نمایید.
مرحله ۸:	سیاست مدیریت خشکسالی و برنامه های آمادگی در سطح ملی را اطلاع رسانی کنید و آگاهی و اجماع عمومی را بالا ببرید.
مرحله ۹:	برای تمامی گروه های سنی و ذی نفعان و ذی مدخلان، برنامه های آموزشی تدارک ببینید.
مرحله ۱۰:	سیاست ملی مدیریت خشکسالی را ارزیابی و اصلاح نمایید و برنامه های آمادگی را پشتیبانی نمایید.

منبع: WMO and GWP, ۲۰۱۴

این فرآیند ده مرحله ای باید طبق نیازها و تجربیات محلی تغییر و تطبیق یابد. در مقیاس بزرگ، برای مثال دستورالعمل تهیه برنامه های مدیریت خشکسالی ارائه شده برای کشورهای اروپای مرکزی

^۱ Non-prescriptive steps

و شرقی^۱، فرآیند هفت مرحله ای ذیل برای اجرای موثر سیاست های مدیریت خشکسالی در مقیاس ملی پیشنهاد شده است:

- (۱) یک سیاست خشکسالی را تدوین و یک کمیته خشکسالی تاسیس نمایید.
- (۲) اهداف مدیریت خشکسالی مبتنی بر ریسک را تعیین نمایید.
- (۳) فهرستی از داده های مورد نیاز و داده های در دسترس برای تدوین یک برنامه مدیریت خشکسالی تهیه نمایید.
- (۴) برنامه مدیریت خشکسالی را تهیه/به روزرسانی نمایید.
- (۵) به منظور مشارکت مردم با برنامه مدیریت خشکسالی آن را چاپ نمایید.
- (۶) برنامه های علمی و تحقیقاتی را توسعه دهید.
- (۷) برنامه های آموزشی را توسعه دهید.

به عنوان نمونه ای از نحوه پیاده سازی و به روزرسانی یک برنامه مدیریت خشکسالی همانطور که در مرحله ۴ در بالا ذکر شد، هفت مرحله (سازگار که به صورت شماتیک در شکل ۲۱ نشان داده شده) از لحاظ آمادگی عملی، اجرا و پیگیری برنامه مدیریت خشکسالی در مقیاس محلی (حوضه آبریز، بخش اداری، شهر) به شرح ذیل ارائه می شود (GWP-CEE, 2015):

- (۱) ویژگی های خشکسالی های منطقه ای را بر اساس ارزیابی وقایع تاریخی خشکسالی تعیین نمایید. از شاخص های خشکسالی مناسب که متناسب با شرایط آب و هواشناسی محل مورد نظر است، استفاده نمایید.
- (۲) شاخص ها و حدود آستانه ها را برای طبقه بندی مراحل مختلف خشکسالی (آغاز^۲، اوج^۳، بهبودی^۴ و پایان^۵) تعیین کنید. متغیرهای مرتبط برای تعیین تبعات و پیامدهای خشکسالی باید برای هر فصل و منطقه تنظیم شود که خود به بخش های اصلی اقتصادی متاثر و خصوصیات ذاتی حوضه های آبریز رودخانه ها بستگی دارد.
- (۳) سامانه هشدار زود هنگام خشکسالی را پیاده سازی کنید. پیاده سازی این سامانه به توسعه، آزمایش و تولید اطلاعات پایش و پیش بینی و نیز ایجاد یک سیستم که به صورت منظم و به موقع، اطلاعات مناسب و مرتبط را در اختیار ذی نفعان و ذی مدخلان کلیدی قرار می دهد، نیاز دارد (Werner et al. 2015). زیرا تصمیم گیران نیازمند اطلاعات هشدار دقیق

^۱ GWP-CEE (2015, p.19)

^۲ Onset

^۳ Peak

^۴ Amelioration

^۵ End

و زودهنگام هستند تا بتوانند سیاست های موثر خشکسالی و برنامه های واکنش و بازسازی را اجرا کنند. این مولفه برای مدیریت ریسک خشکسالی ضروری است و نشان دهنده یک ارتباط قوی بین ریسک و مدیریت بحران است (Wilhite and Buchanan-Smith, ۲۰۰۵).

(۴) برنامه اقدامات مربوط به پیشگیری از خشکسالی را توسعه دهید. یک لیست با جزئیات کامل از اقدامات بالقوه برای اجرا باید برای ذی نفعان و ذی مدخلان اصلی در دسترس باشد (به عنوان مثال: کاربردی بودن خدمات بیمه، سامانه های هشدار زودهنگام، بهبود شرایط مخازن). تاکید بر برنامه ریزی خشکسالی به عنوان پایه و اساسی برای مدیریت ریسک خشکسالی در هر سطحی از تصمیم گیری محسوب می شود. گنجاندن برنامه ریزی خشکسالی در مدیریت ریسک خشکسالی به تصمیم گیران کمک خواهد کرد تا در برابر خطرات چندگانه شامل خشکسالی و تغییر اقلیم آماده شوند که این امر منجر به امنیت بیشتر اقتصادی و اجتماعی در همه سطوح می شود.

(۵) برنامه مدیریت خشکسالی را به روز رسانی و پیگیری نمایید. دارایی هایی در معرض و ویژگی های خشکسالی ها با زمان تغییر می کنند. برای مثال، افزایش جمعیت و یا جابجایی جمعیت، افزایش سطح زیر کشت محصولات زراعی به طور عمده در مناطق مرزی و یا حتی آثار محلی تغییر اقلیم می تواند ریسک خشکسالی را در عرض چند سال تغییر دهد.

(۶) یک برنامه تامین آب را توسعه دهید که در آن اطلاعات خاص در زمینه زیرساخت های تامین آب و منابع آب زیر زمینی موجود ارائه شده باشد.

(۷) پیامدهای خشکسالی های طولانی مدت را ارزیابی نمایید. خشکسالی های طولانی منجر به آسیب های بی سابقه ای، به ذخایر آب سطحی و منابع آب زیرزمینی (تخلیه زیاد از آنها) می شود. محدودیت های خاص در مصرف آب ممکن است بر تخصیص آب به بخش های آبیاری و یا حتی مصارف خانگی اعمال شود.



شکل ۲۱. المان‌های یک برنامه مدیریت خشکسالی

(برگرفته از دستورالعمل تهیه برنامه‌های مدیریت خشکسالی کشورهای اروپای مرکزی و شرقی، GWP- (CEE, ۲۰۱۵)

نیاز به یک چهارچوب به فرم سیاست، با ادغام رویکردهای مختلف به عنوان کلیدی برای حرکت از مدیریت بحران به مدیریت ریسک پیشگیرانه، کنش‌گرا و فعال، منجر به راه‌اندازی برنامه مدیریت یکپارچه خشکسالی (IDMP^۱) توسط WMO و GWP در سال ۲۰۱۳ شد. هدف IDMP حمایت از ذی‌نفعان و ذی‌مدخلان در تمامی سطوح از طریق ارائه دستورالعمل‌های سیاستی و مدیریتی و نیز به اشتراک‌گذاری اطلاعات علمی، دانش و بهترین اقدامات در زمینه رویکرد یکپارچه مدیریت خشکسالی است.

قدرت IDMP بهره‌مندی حداکثری از فعالیت‌های شرکای متعدد خود برای تعیین وضعیت و نیازهای کشورها و حرکت رو به جلوی جمعی در راستای برطرف نمودن این نیازها است. IDMP همچنین از شبکه خدمات ملی هواشناسی و آب‌شناسی (NMHSs)^۲ و موسسات مرتبط و وابسته به WMO و مشارکت‌های آبی GWP در مقیاس منطقه‌ای و کشوری به عنوان یک بستر دارای چندین ذی‌نفع و ذی‌مدخل استفاده می‌کند تا بتواند بازیگران دولتی، جامعه مدنی، بخش خصوصی و دانشگاهی که در زمینه مدیریت منابع آب، کشاورزی و انرژی فعالیت می‌کنند را کنار یکدیگر جمع کند.

^۱ www.droughtmanagement.info

^۲ National Meteorological and Hydrological Services (NMHSs)

کادر ۴: پایگاه مشاهدات جهانی خشکسالی (GDO)^۱

نظارت هماهنگ و پیش بینی شاخص های خشکسالی کاربر محور و تبادل اطلاعات بین بخشی برای مدیریت ریسک خشکسالی بسیار مهم است. سامانه های هشدار زودهنگام بین بخشی^۲ یکی از ارکان اصلی مدیریت ریسک پیشگیرانه و کنش گرا محسوب می شود.

یکی از چالش های اصلی این سامانه ها در مورد ارتباط بین شدت خشکسالی با پیامدهای ناشی از آن در بخش های متنوع اقتصادی، اجتماعی و محیط زیستی است. پایگاه مشاهدات جهانی خشکسالی (GDO)، که توسط کمیته تحقیقات مشترک (JRC) کمیسیون اروپا برای مرکز هماهنگی واکنش به بحران اتحادیه اروپا (ERCC)^۳ توسعه یافت شامل اطلاعات در معرض قرارگیری و آسیب پذیری مربوط به هر بخش برای ارزیابی ریسک پیامدهای خشکسالی (RDrI)^۴ در بخش های مختلف می باشد. صفحه اصلی پایگاه GDO نمایانگر نقشه جهانی RDrI برای بخش کشاورزی است (RDrI-Agri) که با فهرست تمامی کشورهای تحت تاثیر و قابل رویت روی نقشه مشاهده می شود. ابزارها و لایه های اطلاعاتی متعدد امکان تحلیل عمیق وضعیت واحدهای اداری در مقیاس کوچکتر از ملی و نیز تولید گزارشات تحلیلی نیمه خودکار را فراهم کرده اند. پایگاه GDO از ژانویه ۲۰۱۸ بخشی از خدمات مدیریت اضطراری کوپرنیک^۵ می باشد.

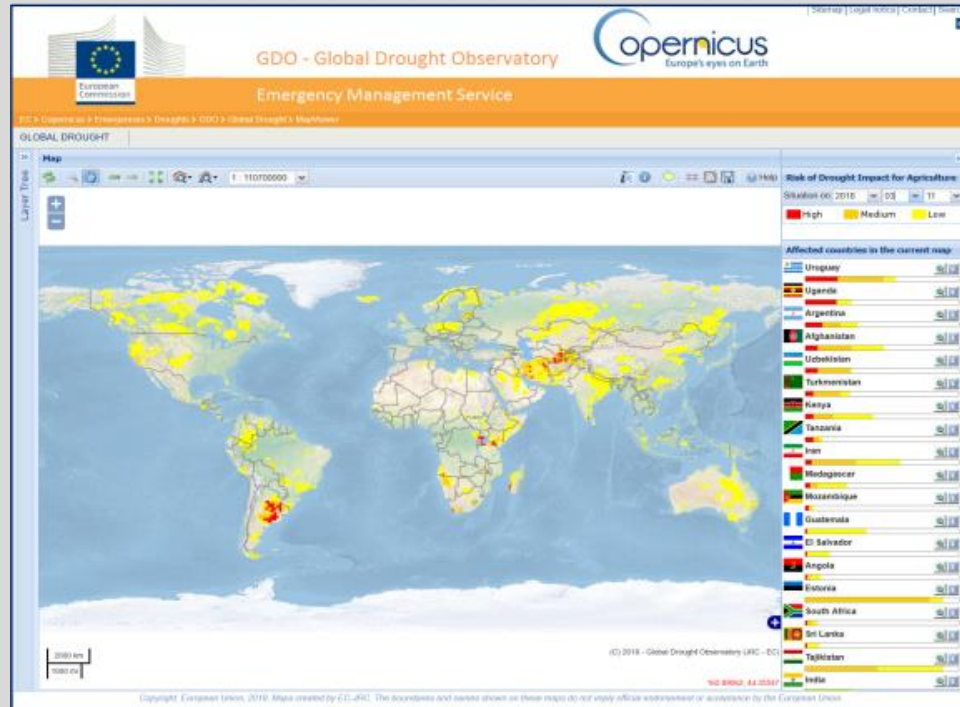
^۱ The Global Drought Observatory (GDO)

^۲ Cross-border Early Warning Systems (EWS)

^۳ European Union Emergency Response Coordination Centre (ERCC)

^۴ Risk of Drought Impact (RDrI)

^۵ Copernicus Emergency Management Service (EMS)



پایگاه مشاهدات جهانی خشکسالی (GDO)

مثالی از شاخص ریسک پیامد خشکسالی در بخش کشاورزی برای کشور آرژانتین (RDri-Agri) برای دوره زمانی ۱۱ تا ۲۰ مارس ۲۰۱۸. (منبع: (۲۰۱۸) GDO به نشانی <http://edo.jrc.ec.europa.eu/gdo>)

۵-۳- مزایای اقدام در مقابل هزینه های عدم اقدام (انفعال)

در حال حاضر تعداد محدودی از راهبردهای آزمایش شده به منظور شناسایی راهبردهای مناسب کاهش ریسک خشکسالی در دسترس هستند. نمایش رویکردهای پیشگیری و برنامه های آمادگی موثر به همراه درس آموخته‌های موفق برای تایید و حمایت از اقدامات مشابه توسط سیاست گذاران، دانشمندان، رسانه ها و عموم مردم ضروری هستند (UNISDR, 2006).

هزینه های مدیریت پیشگیرانه خشکسالی معمولا از هزینه های عدم اقدام (انفعال) کمتر می باشد و می توانند مزایای اقتصادی قابل توجهی ایجاد نمایند. به عنوان مثال، شورای پیشگیری خطرات چندگانه^۱ در سال ۲۰۰۵ در ایالات متحده تخمین زده است که در ازای هر دلاری که توسط سازمان مدیریت بحران فدرال (FEMA^۲) برای تسکین (کاهش آثار منفی) بلایای طبیعی صرف می‌شود تقریبا ۴ دلار در آینده منفعت خواهد برد، در حالی که به طور ویژه برای خشکسالی ها در ازای هر ۱ دلاری که برای کاهش ریسک خشکسالی صرف شده حداقل ۲ دلار در هزینه (خسارت) بلایای آینده منفعت حاصل می‌شود (Logar and van den Bergh, 2013). اقدامات مرتبط برای کاهش تبعات و پیامدهای خشکسالی شامل تصدی و مالکیت امن تر اراضی، دسترسی بهتر به برق، دسترسی پایدار به اعتبارات، تغییر کاربری اراضی و اصلاح الگوی کشت، استفاده بهتر از منابع آب زیرزمینی و انجام فعالیت های دور از مزرعه (اشتغال غیرکشاورزی) برای متنوع سازی معیشت می باشد (WMO and GWP, 2017).

مدیریت ریسک خشکسالی می تواند مزایای مشترک قابل توجه اقتصادی-اجتماعی داشته باشد، زیرا برخی از اقدامات مربوط به آن نه تنها در مقابل خشکسالی، بلکه در مقابل برخی شوک های اقتصادی-اجتماعی و محیط زیستی نیز تاب آوری ایجاد می نماید. برای مثال، دسترسی بهتر به برق، گسترش کشاورزی، فعالیت های دور از مزرعه و آموزش های بیشتر که تاب آوری قوی تر در مقابل شوک های خشکسالی را ایجاد می کنند به عنوان عواملی شناخته شده اند که برای حل مشکلاتی نظیر تخریب اراضی، کمک به کاهش فقر و ارتقای امنیت غذایی خانواده ها نیز موثر می باشند (WMO and GWP, 2017).

به طور کلی و در سطح بین المللی، اقتصاد مدیریت ریسک خشکسالی شامل طیف گسترده ای از اقدامات هدفمند به شرح ذیل می باشد:

^۱ Multihazard Mitigation Council

^۲ Federal Emergency Management Agency (FEMA)

- ۱) توسعه راه حل های نوآورانه بیمه مبتنی بر بازار که از طریق همکاری با دولت ها در سطح ملی ارتقا می یابد.
- ۲) ارتقا و حمایت از سرمایه گذاری در زیرساخت های تاب آور در برابر خشکسالی
- ۳) ارتقای انتقال دانش و ظرفیت سازی
- ۴) توسعه برنامه های ابتکاری برای ادغام ملاحظات مدیریت ریسک خشکسالی با سامانه مالی بین المللی
- ۵) ادغام مفاهیم مدیریت ریسک خشکسالی با قوانین و مقررات بین المللی.

۵-۴- سازگاری و تقویت تاب آوری

با در نظر گرفتن افزایش قابل انتظار در فراوانی وقوع و شدت خشکسالی تحت شرایط تغییر اقلیم، سازگاری با این تغییرات در افزایش تاب آوری جوامع متأثر از خشکسالی مهم است. کشورهایی که از افزایش شدت، فراوانی و مدت زمان خشکسالی رنج می برند احتمالا متحمل سایر پیامدهای مرتبط با خشکسالی نیز خواهند شد نظیر ایجاد خسارت در محصولات کشاورزی و معیشت روستایی، افزایش مهاجرت، کاهش منابع آب عمومی در دسترس، ایجاد خسارت در سایر بخش های اقتصادی و نیز تخریب اکوسیستم. بر اساس *Erian et al. (2014)* این کشورها به موارد ذیل نیازمندند:

- ۱) تقویت تعهدات برای کاهش جامع ریسک بحران از طریق پیاده سازی راهبردهای سازگاری با تغییر اقلیم (CCA)^۱ و راهبردهای کاهش ریسک بلایا (DRR)^۲ در سیاست های ملی، چهارچوب های قانونی و برنامه ها و اقدامات توسعه ای. از طریق:
 - توسعه منابع غیرمتمرکز و مشارکت جامعه
 - توسعه ظرفیت به منظور شناسایی، ارزیابی و نظارت بر ریسک های خشکسالی در میان ارزیابی ریسک و آسیب پذیری چند-خطر^۳ ملی/محلی
 - ایجاد ظرفیت /سامانه هایی برای نظارت، ذخیره سازی و انتشار داده ها
- ۲) توسعه سامانه ها و شبکه های هشدار زود هنگام منطقه ای. ایجاد تاب آوری از طریق دانش، حمایت، تحقیق و آموزش با ایجاد دسترسی به اطلاعات در زمینه ریسک خشکسالی برای کلیه ذی نفعان و ذی مدخلان؛ از طریق مواد آموزشی، برنامه های درسی و آگاهی عمومی و نیز از طریق درگیر نمودن شهروندان و تغییر الگوهای رفتاری.
- ۳) ادغام کاهش ریسک بلایا با واکنش اضطراری، آمادگی و بازسازی از طریق:

^۱ Climate Change Adaptation (CCA)

^۲ Disaster Risk Reduction (DRR)

^۳ Multi-hazard risk

- ایجاد برنامه های آمادگی و مبتنی بر احتمال
 - تقویت فعالیت های بازیابی و بازسازی شامل تمامی گروه های جامعه و در تمامی سطوح اداری
 - تخصیص بودجه به صورت محلی برای کلیه بحران ها
 - تقویت همکاری و هماهنگی بین نهادهای ملی و محلی برای تبادل به موقع اطلاعات حین وقایع خطرناک و بحران ها
- (۴) یکپارچه سازی فعالیت ها در قالب راهبرد ملی برای سازگاری با تغییر اقلیم (CCA) و کاهش ریسک بلايا (DRR) شامل بیمه خسارت ریسک خشکسالی، افزایش بهره وری استفاده از آب، کاهش نشت آب از شبکه های توزیع، استفاده از آب احیا شده (مانند پساب تصفیه شده)، استفاده از آب نمک زدایی شده دریا حاصل از انرژی های تجدیدپذیر، سازگاری و استفاده از تکنولوژیهای مانند استحصال و ذخیره آب باران^۱، استفاده مشترک از منابع آب سطحی و زیرزمینی، ارتقای روش های آبیاری در سطح مزرعه و در بخش تحویل آب، توسعه محصولات زراعی مقاوم به شوری و تنش گرمایی، تغییر الگوی کشت، تغییر زمان بندی یا محل فعالیت های زراعی، متنوع سازی سامانه های تولید با ارزش بالاتر و شامل گزینه های مصرف آب با بهره وری بیشتر و سرانجام ظرفیت سازی برای ذی نفعان و ذی مدخلان مرتبط.
- (۵) به منظور آماده سازی برای خشکسالی های آینده، برنامه های کاری باید شامل فعالیت های متعدد مهمی باشند از جمله:
- ✓ پهنه بندی و پایش ریسک (خطرپذیری) خشکسالی
 - ✓ پهنه بندی و مدل سازی تبعات بلندمدت تخریب اراضی
 - ✓ توسعه برنامه های سازگاری و اقدام خشکسالی در مقیاس محلی (برای مثال، شهرداری ها)
 - ✓ شناسایی نقاط بحرانی و حساس^۲ و آسیب پذیری اجتماعی-اقتصادی در بخش های مختلف
 - ✓ تهیه گزارشات جهانی و منطقه ای که تبعات خشکسالی را بر پیوند آب، غذا و آسیب پذیری اجتماعی مورد ارزیابی قرار می دهد.
 - ✓ اجرای فعالیت های موردی و پایلوت برای مدیریت ریسک

^۱ Water Harvesting Technologies

^۲ Hot spots

فصل ششم / مسیر پیش رو

اطلاعات و دانش قابل اعتماد زیادی در مورد رویکردهای واکنشی و پیش بینی کننده خطرات و بحران های خشکسالی در طول یکصد سال گذشته به دست آمده است. با این وجود، در دنیایی که به طور فزاینده ای به هم پیوسته و به سرعت در حال تغییر است، چندین حوزه مورد توجه برای مدیریت ریسک خشکسالی در حال پیدایش است. در این راستا، زمینه های نگرانی و فرصت به شرح ذیل مورد توجه هستند:

۱. ارزیابی ریسک (بخشی و چند خطره)

ارزیابی ریسک تبعات و پیامدهای خشکسالی بر جامعه و محیط زیست یک وظیفه دشوار است که با طبیعت خرنده این پدیده پیچیده تر نیز می شود. اغلب گستره مکانی و تداوم آن منجر به زنجیره ای از تبعات و پیامدها می شود که می تواند مناطق بسیار دورتر از موقعیت وقوع خشکسالی را تحت تاثیر قرار دهد و همچنین می تواند تا مدت زمان بسیار طولانی تر از زمان خاتمه خشکسالی ادامه یابد. پیچیدگی بعدی عبارت از داده های گمشده استاندارد در خصوص پیامدهای قبلی (خسارات و تلفات) است. در نهایت، ارتباط در هم تنیده با سایر خطرات نظیر آتش سوزی های جنگلی، امواج گرمایی و یا حتی سیلاب ها و بروز ریسک های ترکیب شده که از طرف سایر خطرات ایجاد می شوند، باید مورد بررسی قرار گیرند. لازم است این ارزیابی ریسک مخصوص هر بخش باشد که نیازمند مجموعه کافی از داده های محیط زیستی، اجتماعی-اقتصادی مربوط به هر بخش است.

۲. عدم قطعیت مرتبط با تغییر اقلیم و بروز آن در سطوح منطقه ای و محلی

یک نیاز جدی در مورد نزدیک شدن به خروجی مدل های اقلیمی، بسیار بیشتر از شرایط فعلی، به ویژه برای ارزیابی تبعات و پیامدها با هدف حمایت از سازگاری در سطح محلی وجود دارد. بسیاری از نقاط بحرانی و حساس که در مواجهه با تغییر اقلیم از خود شکنندگی نشان می دهند،

کاهش رطوبت و کیفیت خاک همراه با کاهش ظرفیت سازگاری را نیز نمایش می دهند. برنامه‌ریزی سناریو محور (بر اساس وقایع گذشته، حال و پیش بینی شده آینده) ممکن است درک بهتری از نحوه استفاده بهینه از داده های احتمالاتی گذشته و ریسک های جمعی در مقیاس های زمانی اقلیمی ارائه کند. محور تمام موارد فوق‌الذکر عبارتست از یک شبکه پایدار از سامانه های پایش با کیفیت بالا.

۳. مسیرهای به طور فزاینده پیچیده ای که از طریق آن خشکسالی فیلتر می شود: پیوند آب-انرژی-غذا

FAO در سال ۲۰۱۴ پیوند آب-انرژی-غذا را به این صورت تعریف می کند: "آب، انرژی و غذا به طور جدا ناپذیری به یکدیگر متصل هستند. آب به عنوان ورودی برای تولید محصولات کشاورزی در مزارع و در کل زنجیره تامین کشاورزی-غذا محسوب می شود." در حال حاضر، کشاورزی بزرگ ترین مصرف کننده آب در جهان است که حدود ۷۰ درصد از کل برداشت ها را شامل می شود. در عین حال، زنجیره تولید و تامین غذا حدوداً ۳۰ درصد از کل مصرف انرژی دنیا را به خود اختصاص داده است. انرژی نیز برای تولید و توزیع آب و غذا، پمپاژ آب از منابع آب زیرزمینی و سطحی، راه اندازی سامانه های آبیاری و برای فرآوری، ذخیره و انتقال کالاهای کشاورزی مورد نیاز است. تخمین زده شده که تقاضای جهانی انرژی تا سال ۲۰۵۰ تا ۴۰۰ درصد افزایش خواهد یافت. در مناطقی که انرژی برقایی، نقش مهمی در تامین انرژی در مقیاس ملی دارد، مانند کشورهای برزیل و زامبیا، قطعی برق و جهش هزینه انرژی در طی دوره های طولانی مدت خشکسالی اتفاق افتاده است. به طور مشابه، در سال ۲۰۱۴ به علت جریان کم آب، سد گلن کانیون^۱ (بر روی رودخانه کلرادو)، مجموعه تولید کننده برقایی مجبور به خرید اجباری انرژی از نیروگاه حرارتی به ارزش ۶۰ میلیون دلار شد تا تقاضای بازار در جنوب غربی ایالات متحده - منطقه ای با سریع ترین رشد در آمریکا - را تامین نماید. از دهه ۱۹۹۰، میانگین افزایش در تولید ذرت، برنج و گندم در مقیاس جهانی حدود ۱ درصد در سال کاهش یافته است (FAO, 2017). هم افزایی و مبادلات بسیاری بین آب، مصرف انرژی و تولید غذا وجود دارد. افزایش آبیاری ممکن است تولید غذا یا مصرف سوخت زیستی را افزایش دهد، اما می تواند جریان آب رودخانه ها و پتانسیل برقایی را از طریق افزایش برداشت آب کاهش دهد و بنابراین امنیت غذایی را به خطر بیندازد. در اکثر موارد، هر یک از مولفه های پیوند آب-غذا-انرژی به صورت انفرادی بدون در نظر گرفتن مبادلات بین آنها، تشابهات و تفاوت های فرهنگی، اندرکنش ها و مکمل

^۱ The Glen Canyon Dam

یکدیگر بودن برای تضمین مشترک امنیت آبی، انرژی و غذایی مورد مطالعه قرار گرفته و مدیریت شده است.

۴. هزینه های تبعات و پیامدهای خشکسالی و مزایای اقدام و هزینه های عدم اقدام (انفعال)

فرض اصلی در پشت زمینه اقدام پیشگیرانه در مورد خشکسالی این است که اقدامات و سرمایه گذاری های کنونی یا پیش از موعد می توانند مزایای قابل توجهی را در آینده به وجود آورند. هیچ مطالعه جامع و همه جانبه ای برای خشکسالی وجود ندارد. WMO و GWP در سال ۲۰۱۷ برخی از پیشرفت های به دست آمده را در مورد ارزیابی مزایای اقدام و هزینه های عدم اقدام مشخص کرده اند. در زمینه خشکسالی و سایر خطرات، کار بسیار بیشتری مورد نیاز است تا بتوان فهمید که منظور از "سود سه گانه تاب آوری"^۱ چیست. (Tanner et al. 2015). این مزایا عبارتند از:

الف) اجتناب از تلفات در حین وقوع بلایا یا بحران ها

ب) تحریک و گسترش فعالیت های اقتصادی به دلیل کاهش ریسک بلایا

ج) توسعه مزایای مشترک یا استفاده هایی که از سرمایه گذاری در زمینه مدیریت ریسک بحران های خاص می شود

۵. نقش فناوری، بهره وری و سیاست

از سال ۱۹۸۰، مصرف آب در ایالات متحده به میزان مصرف سال ۱۹۷۰ برگشته است. در طی مدت مذکور، جمعیت ایالات متحده ۳۳ درصد افزایش یافت. این میزان تغییر، اثربخشی تجمعی را در زمینه تغییرات رفتاری و بهره وری نشان می دهد. با این حال، عوامل محرک اصلی همان سیاست های ملی می باشد که متوسط تقاضای سالانه و میزان برداشت از منابع آب شیرین را در ایالات متحده کاهش داد که ارزش توانمندسازی امر قانون گذاری و وضع مقررات را در زمینه اقدامات حفظ و نگهداری نشان می دهد. این موارد شامل قانون آب پاک^۲ (۱۹۷۲)، قانون سیاست ملی محیط زیست^۳ (۱۹۷۰)، قانون گونه های در معرض خطر^۴ (۱۹۷۳) و قانون آب آشامیدنی سالم^۵ (۱۹۷۴) می باشد. طبق Stakhiv et al. (2016) اقدامات مذکور باعث تقویت و تضمین

^۱ Triple dividend of resilience

^۲ Clean Water Act

^۳ National Environmental Policy Act

^۴ Endangered Species Act

^۵ Safe Drinking Water Act

یک چهارچوب نهادی توانمند پایین به بالا شد که بر تنظیم، نظارت و اجرای مجموعه ای از قوانین کیفیت آب و محیط زیست - که در دهه ۱۹۷۰ تصویب شدند- تمرکز داشت.

۶. ارتباط با امنیت انسانی و مناقشات: موضوعی برای مطالعات آینده

تغییرات آب و اقلیم می تواند از طریق تبعات بر اقتصاد و معیشت، تهدید مهمی به امنیت انسان وارد نماید که مستقل از مسیر مناقشه است (Kallis and Zografos, 2014). یک توافق فزاینده ای در تحقیقات وجود دارد که به ارتباطات بین اقلیم و مناقشه اشاره می کند. اما این ارتباط پیچیده است. درحالی که نشان داده شده که کم آبی و عدم امنیت غذایی در جابجایی و شرایط ناپایدار نقش ایفا می کنند، دانش کمی در زمینه قدرت و شدت این ارتباطات وجود دارد (Erian et al. 2010). محققان و متخصصین هنوز در تلاش هستند تا چگونه عوامل خاصی را تعیین کنند که آگاهی دهنده اقدام آرام و خزنده باشد (مانند تبعات آرام خشکسالی). موضوعات مهمی که در این کتاب ارایه شده شامل چند موضوع حساس به خشکسالی است مانند موارد ذیل:

- اثر معکوس بر قیمت و دسترسی به غذا
- افزایش ریسک در مورد سلامتی انسان
- پیامدهای منفی بر سرمایه گذاری ها و رقابت پذیری اقتصادی

نیاز به تایید و پذیرش صریح ارزش های اجتماعی متفاوت به منظور تقویت سازوکارهای نهادی برای توسعه همکاری و برای جمع آوری داده های استاندارد در مورد تبعات و پیامدهای خشکسالی به عنوان پایه و اساس کاهش آسیب پذیری و ارتقای تاب آوری وجود دارد. اینکه چطور خشکسالی و تغییر اقلیم ممکن است در شکست وضعیت در آینده نقش ایفا کنند می تواند به عنوان یک موضوع تحقیقاتی و از لحاظ امنیتی مورد توجه باشد.

منايع و مراجع

- Bachmair, S., Svensson, C., Prosdocimi, I., Hannaford, J. and Stahl, K., 2017. Developing drought impact functions for drought risk management. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 17(11), 1947.
- Barker, L. J., 2016. From meteorological to hydrological drought using standardised indicators. *Hydrology and Earth System Sciences*, 20(6), 2483.
- Bayissa, Y., Maskey, S., Tadesse, T., van Andel, S. J., Moges, S., van Griensven, A., and Solomatine, D., 2018. Comparison of the Performance of Six Drought Indices in Characterizing Historical Drought for the Upper Blue Nile Basin, Ethiopia. *Geosciences*, 8(3), 81.
- Becker, A., Finger, P., Meyer-Christoffer, A., Rudolf, B., Schamm, K., Schneider, U., and Ziese, M., 2013. A description of the global land-surface precipitation data products of the Global Precipitation Climatology Centre with sample applications including centennial (trend) analysis from 1901-present. *Earth System Science Data*, 5(1), 71.
- Begueraía, S., Vicente-Serrano, S.M., Reig, F. and Latorre, B., 2014. Standardized precipitation evapotranspiration index (SPEI) revisited: parameter fitting, evapotranspiration models, tools, datasets and drought monitoring. *International Journal of Climatology*, 34(10), 3001-3023.
- Brenner, M., Hodell, D.A., Rosenmeier, M.F., Curtis, J.H., Binford, M.W. and Abbott, M.B., 2001. Abrupt climate change and pre-Columbian cultural collapse. In *Interhemispheric climate linkages* (pp. 87-103).
- Broder, K., 2015. Dismal Chinook Salmon Run Brings State Extinction Closer. November 3, 2015, 668 <http://www.allgov.com/usa/ca/news/controversies/dismal-chinook-salmonrun-brings-state669-extinction-closer-151103?news=857767>.
- Brooks, N., 2003. *Vulnerability, Risk and Adaptation: A Conceptual Framework*. Working Paper 38, Tyndall Centre for Climate Change Research, University of East Anglia, Norwich.
- Brooks, N., Adger, W.N. and Kelly, P.M., 2005. The determinants of vulnerability and adaptive capacity at the national level and the implications for adaptation. *Global Environmental Change* 15, 151–163.
- Burke, E.J., and Brown, S.J., 2008. Evaluating uncertainties in the projection of future drought. *Journal of Hydrometeorology*, 9(2), 292-299.
- Cammalleri, C., Micale, F. and Vogt, J.V., 2016. A novel soil moisture-based drought index (DSI) combining water deficit magnitude and frequency. *Hydrol. Process.* 30(2), 289-301.
- Cammalleri, C., Vogt, J. and Salamon, P., 2017. Development of an operational low-flow index for hydrological drought monitoring over Europe. *Hydrol. Sci. J.* 62(3), 346-358.
- Carrão H., Naumann, G. and Barbosa, P., 2016: Mapping global patterns of drought risk: an empirical framework based on sub-national estimates of hazard, exposure and vulnerability. *Global and Environmental Change*, 39, 108-124.

- Cherlet, M. C. Hutchinson, J. Reynolds, J. Hill, S. Sommer, G. von Maltitz (Eds) 2018: World Atlas of Desertification, 3rd Ed., Publication Office of the European Union, Luxembourg.
- Cook B.I., Miller R.L., Seager R. 2009. Amplification of the North American “Dust Bowl” drought through human-induced land degradation. *Proc Natl Acad Sci*, 106:4997–5001.
- Cook, E.R., Seager, R., Kushnir, Y., Briffa, K.R., Büntgen, U., Frank, D., Krusic, P.J., Tegel, W., van der Schrier, G., Andreu-Hayles, L. and Baillie, M., 2015. Old World megadroughts and pluvials during the Common Era. *Science Advances*, 1(10), doi: 10.1126/sciadv.1500561.
- Coumou, D. and Rahmstorf, S., 2012. A decade of weather extremes. *Nature Climate Change*, 2, 491–496.
- Dai, A., 2011a. Drought under global warming: a review. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 2(1), pp.45-65.
- Dai, A., 2011b. Characteristics and trends in various forms of the Palmer Drought Severity Index during 1900–2008. *J. Geoph.Res.*, 116(D12115.), doi: 10.1029/2010JD015541.
- Dai, A., 2013. Increasing drought under global warming in observations and models. *Nature Climate Change*, 3(1), 52.
- Dai, A. and Zhao, T., 2017. Uncertainties in historical changes and future projections of drought. Part I: estimates of historical drought changes. *Climatic Change*, 144(3), 519-533.
- Dai, A., Zhao, T., and Chen, J., 2018. Climate Change and Drought: a Precipitation and Evaporation Perspective. *Current Climate Change Reports*, 1-12.
- Davey, M.K., Brookshaw, A. and Ineson, S., 2014. The probability of the impact of ENSO on precipitation and near-surface temperature. *Climate Risk Management*, 1, pp.5-24.
- Dean J.S. et al. 1993, in *Themes in Southwest Prehistory*, G. Gumerman, ed. *Schl. Amer. Res.*, Santa Fe.
- Dekens, J., 2007. Local knowledge for disaster preparedness: a literature review. ICIMOD, 97pp ISBN/ISSN9789291150427
- DOE, Department of Energy, 2014. The water-Energy Nexus: Challenges and Opportunities (Chapter 3). Diana Bauer. Office of Energy Policy and Systems Analysis. NRC.
- Duguy, B., Paula, S., Pausas, J.G., Alloza, J.A., Gimeno, T. and Vallejo, R.V., 2013. Effects of climate and extreme events on wildfire regime and their ecological impacts. In: *Regional Assessment of Climate Change in the Mediterranean, Volume 3: Case Studies* [Navarra, A. and L. Tubiana (eds)]. *Advances in Global Change Research Series: Vol. 52*, Springer, Dordrecht, Netherlands, pp. 101-134.
- Dutra, E., Pozzi, W., Wetterhall, F., Di Giuseppe, F., Magnusson, L., Naumann, G., Barbosa, P., Vogt, J.V. and Pappenberger, F., 2014. Global meteorological drought: Part II - Seasonal forecasts. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 18, 2669-2678, doi:10.5194/hess-18-2669-2014.
- EEA, European Environment Agency, 2004. Impact of climate change, EEA Report No 2/2004. Available at http://reports.eea.eu.int/climate_report_2_2004/en
- Erian, W.F., F.S. Fares, T. Udelhoven and B. Katlan, 2006. Coupling Long-term NDVI for

Monitoring Drought in Syrian Rangelands, *The Arab Journal for Arid Environments*, volume (1), pp 77-87, Published by ACSAD.

Erian, W., Katlan, B. and Babah, O. 2010. Drought vulnerability in the Arab region: Special case study: Syria. Background paper prepared for the 2011 Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction. Geneva, Switzerland: UNISDR.

Erian W., 2011. Living with Drought: Challenges and Solutions, Conference Disaster Risk: Integrating Science & Practice, organized by the Integrated Research on Disaster Risk (IRDR) in Beijing, China. 31 October to 2 November.

Erian, W., Bassem, K., Naji, A. and Sanaa, I., 2014. Effects of Drought and Land Degradation on Crop Losses in Africa and the Arab Region with Special Case Study on:

drought and conflict in Syria. Background Paper prepared for the 2015 Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction. Geneva, Switzerland: UNISDR.

EC, European Commission, 2007. Drought Management Plan Report, Including Agricultural, Drought Indicators and Climate Change Aspects. Technical Report 2008-023, Water Scarcity and Droughts Expert Network, DG Environment.

EC, European Commission, Joint Research Centre (JRC); Columbia University, Center for International Earth Science Information Network – CIESIN, 2015. GHS population grid, derived from GPW4, multitemporal (1975, 1990, 2000, 2015). European Commission, Joint Research Centre (JRC) [Dataset] PID: http://data.europa.eu/89h/jrc-ghslghs_pop_gpw4_globe_r2015a

Eyring, V., Bony, S., Meehl, G.A., Senior, C.A., Stevens, B., Stouffer, R. J., and Taylor, K.E., 2016. Overview of the Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) experimental design and organization. *Geoscientific Model Development*, 9(5), 1937-1958.

FAO, Food and Agriculture Organization, 2014a. Executive Brief Syria Crisis, http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/emergencies/do3/Syria-Crisis-Executive-Brief-03-04-14.pdf

FAO, Food and Agriculture Organization, 2014b. *The Water-Energy-Food Nexus: A New Approach in Support of Food Security and Sustainable Agriculture*. FAO, Rome. FAO, Food and Agriculture Organization, 2015. *The Impact of Natural Hazards and Disasters on Agriculture and Food Security and Nutrition: A Call For Action To Build Resilient Livelihoods*, Rome

FAO, Food and Agriculture Organization, 2017. *The Future of Food and Agriculture: Trends and Challenges*. FAO, Rome.

Fink, A.H., Brücher, T., Krüger, A., Leckebusch, G. C., Pinto, J. G., and Ulbrich, U., 2004. The 2003 European summer heatwaves and drought—synoptic diagnosis and impacts. *Weather*, 59(8), 209-216.

Friedman T., 'The Scary Hidden Stressor', *The New York Times*, 2 March 2013; C.E. Werrel and F. Femia (eds.), *The Arab Spring and Climate Change*, Center for American Progress, Stimson, The Center for Climate and Security (2013); F. Femia and C.E. Werrel, 'Climate Change Before and After the Arab Awakening: The Cases of Syria and Libya', in Werrel and

Femia, The Arab Spring and Climate Change, pp.23–38; S. Mohtadi, ‘Climate Change and the Syrian Uprising’, Bulletin of the Atomic Scientists, 16 Aug. 2012.

Gall, M., Borden, K. A., and Cutter, S. L., 2009. When do losses count? Six fallacies of natural hazards loss data. Bulletin of the American Meteorological Society, 90(6), 799-809.

Gassert, F., Landis, M., Luck, M., Reig, P. and Shiao, T., 2014. Aqueduct global maps 2.1. Working Paper. Available online at <http://www.wri.org/publication/aqueduct-metadataglobal>.

GDO, Global Drought Observatory, 2018. <http://edo.jrc.ec.europa.eu/gdo> [accessed 04 July, 2018]

GEO, Global Energy Observatory, Google, KTH Royal Institute of Technology in Stockholm,

Enipedia, World Resources Institute. 2018. Global Power Plant Database. Published on Resource Watch and Google Earth Engine; <http://resourcewatch.org/> <https://earthengine.google.com/>

Giorgi, F. 2006. Climate change hot-spots. Geophysical Research Letters, 33(L08707).

Glaser, R., 2001. Klimageschichte Mitteleuropas. Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt.

Gleick, P.H. 2018. Transitions to freshwater sustainability. Proceedings of the National Academy of Sciences, 115(36), 8863-8871.

González, L.M., 2009. Vulnerabilidad Social Y Dinámica Demográfica En Argentina, 2001-07. Cuadernos Geográficos, núm. 45, 2009, pp. 209-229.

Guttman, N.B., 1999. Accepting the standardized precipitation index: a calculation algorithm. JAWRA Journal of the American Water Resources Association, 35(2), 311-322.

GSA, Geological Society of America, 2007. Managing drought: a roadmap for change in the United States. A conference report from Managing Drought and Water Scarcity in Vulnerable Environments—Creating a Roadmap for Change in the United States, Longmont, CO.

GWP-CEE, Global Water Partnership Central and Eastern Europe, 2015. Guidelines for the preparation of drought management plans. Development and implementation in the context of the EU Water Framework Directive. GWP, Stockholm, Sweden.

Harris, I. P. D. J., Jones, P. D., Osborn, T. J., and Lister, D. H., 2014. Updated high-resolution grids of monthly climatic observations—the CRU TS3. 10 Dataset. International Journal of Climatology, 34(3), 623-642. Revision of this paper, published in 2016, can be found at: https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/hrg/Revised_Appendix_3_CLD.pdf. Last accessed June 9, 2018.

Heim Jr., 2002. A Review of Twentieth Century Drought Indices Used in the United States. Bulletin of the American Meteorological Society, 83(8), 1149-1165.

Hisdal, H., Tallaksen, L.M., Clausen, B., Peters, E. and Gustard, G., 2004. Hydrological Drought characteristics. In: Tallaksen, L.M., Van Lanen, H.A.J. (eds.), 2004. Hydrological Drought. Processes and Estimation Methods for Streamflow and Groundwater. Development in Water Science, 48, Elsevier Science B.V., 139-198.

Hlavinkaa, P., Trnkaa, M., Semerádová, D., Dubrovská, M., Žaluda, Z., Možný, M. 2009. Effect of drought on yield variability of key crops in Czech Republic, Volume 149, Issues 3–4, 431–442.

Hobbins, M.T., Wood, A., McEvoy, D.J., Huntington, J.L., Morton, C., Anderson, M. and Hain, C., 2016. The evaporative demand drought index. Part I: Linking drought evolution to variations in evaporative demand. *Journal of Hydrometeorology*, 17(6), pp.1745-1761.

Howitt, R., MacEwan, D., Medellín-Azuara, J., Lund, J. and, Sumner, D., 2015. “Economic Analysis of the 2015 Drought for California Agriculture”. Center for Watershed Sciences, University of California – Davis, Davis, CA, 16 pp.

IPCC, 2012. “Special Report on Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation (SREX).” A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change, edited by C. B. Field, V. Barros, T. F. Stocker, and Q. Dahe, Cambridge University Press: Cambridge, UK.

IPCC, 2014. Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.

Jamieson P.D., Martin, R.J., Francis, G.S. and Wilson, D.R., 1995. “Drought effects on biomass production and radiation-use efficiency in barley”, Volume 43, Issues 2–3, Pages 77–86

Kallis, G. and Zografos, C., 2014. Hydro-climatic change, conflict and security. *Climate Change* 123:69–82.

Kattana, H., 2011. Agriculture Production Indicators in North Eastern Part of Syria. WB, MAAR and A3AD Workshop on: Reducing Vulnerability to climate change in Agricultural Systems in Syria, March 23-24, El-Hassakeh governorate, Syria.

Kitoh, A., Yatagai, A. and Alpert, P. 2008 First super-high resolution model projection that the ancient ‘Fertile Crescent’ will disappear in this century. *Hydrol. Res. Lett.* 2, 1–4.

Kolata, A.L., Binford, M.W., Brenner, M., Janusek, J.W. and Ortloff, C., 2000. Environmental thresholds and the empirical reality of state collapse: A response to Erickson (1999). *Antiquity*, 74(284), pp.424-426.

Lehner, B. Henrichs, T, Döll, P., and Alcamo, J., 2001. EuroWasser Model- based assessment of European water resources and hydrology in the face of global change. *World Water Series 5*, Center for Environmental Systems Research, University of Kassel.

Logar, I. and 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(6): 1707–1720.

Lyon, B., Barnston, A.G., 2005. ENSO and the spatial extent of interannual precipitation extremes in tropical land areas. *J. Clim.* 18, 5095–5109.

- Macknick, J., Newmark, R., Heath, G., and Hallett, K.C., 2012. Operational water consumption and withdrawal factors for electricity generating technologies: a review of existing literature. *Environmental Research Letters*, 7(4), 045802.
- Mahlstein, I., Portmann, R.W., Daniel, J.S., Solomon, S., and Knutti, R., 2012: Perceptible changes in regional precipitation in a future climate. *Geophysical Research Letters*, 39, L05701, doi:10.1029/2011GL050738.
- Mariotti, A., Zeng, N., Yoon, J.H., Artale, V., Navarra, A., Alpert, P., and Li, L.Z.X., 2008. Mediterranean water cycle changes: transition to drier 21st century conditions in observations and CMIP3 simulations. *Environmental Research Letters*, 3(4).
- Maskrey, A., Buescher, G., Peduzzi, P., and Schaerpf, C. 2007. *Disaster Risk Reduction: 2007 Global Review. Consultation Edition*. Prepared for the Global Platform for Disaster Risk Reduction First Session, Geneva, Switzerland, 5-7.
- McKee, T.B., Doesken, N.J., and Kleist, J., 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales. In *Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology* (Vol. 17, No. 22, pp. 179-183). Boston, MA: American Meteorological Society.
- Meyer, V., Becker, N., Markantonis, V., Schwarze, R., van den Bergh, J. C. J. M., Bouwer, L. M., Bubeck, P., Ciavola, P., Genovese, E., Green, C., Hallegatte, S., Kreibich, H., Lequeux, Q., Logar, I., Papyrakis, E., Pfuerscheller, C., Poussin, J., Przymuski, V., Thielen, A. H., and Viavattene, C., 2013. Assessing the costs of natural hazards – state of the art and knowledge gaps. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 13(5), 1351-1373.
- Mishra, A.K., and Singh, V.P., 2010. A review of drought concepts. *Journal of hydrology*, 391(1-2), 202-216.
- Mo, K.C., Lettenmaier, D.P., 2016. Precipitation deficit flash droughts over the United States. *Journal of Hydrometeorology*, 17(4), 1169-1184.
- Moon, H., Gudmundsson, L., and Seneviratne, S.I., 2018. Drought persistence errors in global climate models. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 123(7), 3483-3496.
- Multihazard Mitigation Council, 2005. *Natural Hazard Mitigation Saves: An Independent Study to Assess the Future Savings from Mitigation Activities*. National Institute of Building Sciences, Washington, DC.
- Naumann G., Barbosa, P., Garrote, L., Iglesias, A., and Vogt J.V., 2014. Exploring drought vulnerability in Africa: an indicator based analysis to be used in early warning systems, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 18, 1591-1604, doi:10.5194/hess-18-1591-2014
- Naumann G., Spinoni J., Vogt, J.V. and Barbosa, P., 2015. Assessment of drought damages and their uncertainties in Europe. *Environmental Research Letters*, 10 124013. doi:10.1088/1748-9326/10/12/124013
- Naumann, G., Alfieri, L., Wyser, K., Mentaschi, L., Betts, R. A., Carrão, H., Spinoni J., Vogt J., and Feyen, L., 2018a. Global changes in drought conditions under different levels of warming. *Geophysical Research Letters*.

Naumann G., Carrão H., and Barbosa P., 2018b. Indicators of social vulnerability to drought. Chapter 6 In *Drought: Science and Policy, Part II: Vulnerability, risk and policy*, 111-125, Wiley-Blackwell.

Nashawatii, H. 2011 *Climate Change: impacts and adaptation in Syria, during WB, MAAR and A3AD workshop: Reducing Vulnerability to Climate Change in Agricultural Systems: Building Response Strategies*, 23-24., Hassakeh Governorate, Syria.

OECD-JRC, 2008. *Handbook on Constructing Composite Indicators. Methodology and User Guide. Social Policies and Data Series.* OECD Publisher, Paris.

OECD, 2016. *Mitigating Droughts and Floods in Agriculture: Policy Lessons and Approaches*, OECD Studies on Water, OECD Publishing, Paris. <http://dx.doi.org/10.1787/9789264246744-en>

Otkin, J., Svoboda, M., Hunt, E. Ford, T., Anderson, M., Hain, C. and Basara, J., 2018. A review and assessment of the challenges imposed by rapid-onset drought in the US.

Orlowsky B. and S. I. Seneviratne, 2013. Elusive drought: uncertainty in observed trends and short- and long-term CMIP5 projections, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 17, 1765–1781.

Palmer, W. C., 1965. *Meteorological drought*. Department of Commerce, Washington, D.C. Research Paper 45, 58.

Peduzzi, P., Dao, H., Herold, C. and Mouton, F., 2009. Assessing global exposure and vulnerability towards natural hazards: the Disaster Risk Index. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 9, 1149-1159.

Pischke F. and Stefanski, R, 2018. *Integrated Drought Management Initiatives*, Chapter 3 in D. Wilhite and R. Pulwarty *Drought and Water Crises: Integrating Science, Management and Policy*, Second Edition; CRC Press, Taylor & Francis Group.

Pulwarty, R. and Verdin, J., 2013. *Crafting early warning systems: the case of drought*. In Birkmann, J. (eds) *Measuring Vulnerability to Natural Hazards: Towards Disaster Resilient Societies* United Nations University Press Tokyo.

Pulwarty, R. and Maia, R., 2015. *Adaptation challenges in complex rivers around the world: The Guadiana and the Colorado Basins*. *Water Resources Management* 29, 273-293.

Pulwarty, R. and Sivakumar, M., 2014. *Information systems in a changing climate: Early warnings and drought risk management*. *Weather and Climate Extremes* 3, 14-21

Ramankutty, N., Evan, A.T., Monfreda, C., and Foley, J.A., 2008. *Farming the planet: 1. Geographic distribution of global agricultural lands in the year 2000*. *Glob. Biogeochem. Cycles* 22

Riahi, K., Rao, S., Krey, V., Cho, C., Chirkov, V., Fischer, G., Kindermann, G., Nakicenovic, and N. Rafaj, P., 2011. RCP 8.5 — A scenario of comparatively high greenhouse gas emissions. *Climatic Change*, 109(1-2), 33.

- Robinson, T.P., Wint, G.R.W., Conchedda, G., Van Boeckel, T.P., Ercoli, V., Palamara, E., Cinardi, G., D'Aiotti, L., Hay, S.I., and Gilbert, M., 2014. Mapping the global distribution of livestock. *PLOS ONE* 9, e96084.
- Roderick, M. L., Greve, P. and Farquhar, G. D., 2015. On the assessment of aridity with changes in atmospheric CO₂. *Water Resources Research* 51:5450–5463. doi:10.1002/2015WR017031.
- Rowland, L. 2015. Death from drought in tropical forests is triggered by hydraulics not carbon starvation. *Nature*, 528(7580), 119.
- Seager, R, Hoerling, M., Schubert, S., Wang, H., Lyon, B., Kumar, A., Nakamura, J., and Henderson N., 2015. Causes and predictability of the 2011-2014 California drought. NOAA NIDIS Special Report available at www.drought.gov, 41 pp.
- Seneviratne, S.I., Lüthi, D., Litschi, M. and Schär, C., 2006. Land–atmosphere coupling and climate change in Europe. *Nature*, 443(7108), p.205.
- Seneviratne, S.I., Nicholls, D. Easterling, C.M. Goodess, S. Kanae, J. Kossin, Y. Luo, J. Marengo, K. McInnes, M. Rahimi, M. Reichstein, A. Sorteberg, C. Vera, and X. Zhang, 2012. Changes in climate extremes and their impacts on the natural physical environment. In: *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D.
- Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, pp. 109-230.
- Sepulcre-Canto, G., Horion, S., Singleton, A., Carrão, H., and Vogt, J.V., 2012. Development of a Combined Drought Indicator to detect agricultural drought in Europe. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 12, 3519-3531.
- Sheffield, J. and Wood, E. F., 2007. Characteristics of global and regional drought, 1950-2000: Analysis of soil moisture data from off-line simulation of the terrestrial hydrological cycle. *J. Geophys. Res.* 112, D17115.
- Sheffield J., and Wood, E.F., 2008. Global Trends and Variability in Soil Moisture and Drought Characteristics, 1950–2000, from Observation-Driven Simulations of the Terrestrial Hydrologic Cycle Justin, *Journal of Climate*, 21, 432 – 458.
- Sheffield, J., Wood, E.F., & Roderick, M. L., 2012. Little change in global drought over the past 60 years. *Nature*, 491(7424), 435.
- Sheffield, J., Wood, E.F., Chaney, N., Guan, K., Sadri, S., Yuan, X., Olang, L., Amani, A., Ali, A., Demuth, S. and Ogallo, L., 2014. A drought monitoring and forecasting system for sub-Saharan African water resources and food security. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 95(6), pp.861-882.
- Shimada, I., Schaaf, C.B., Thompson, L.G. and Mosley-Thompson, E., 1991. Cultural impacts of severe droughts in the prehistoric Andes: Application of a 1,500-year ice core precipitation record. *World Archaeology*, 22(3), pp.247-270.

Singh, P.K., Mishra, A.K. and Imtiyaz, M., 1991. Moisture stress and the water use efficiency of mustard. *Agricultural Water Management*, 20(3), 245-253.

Smith, R.B., Foster, J., Koucoukos, N., Gluhosky, P.A., Young, R. and De Pauw, E., 2000. Spatial analysis of climate, landscape, and hydrology in the Middle East: modeling and remote sensing. Center for Earth Observation Report No.2., Yale University, New haven, USA.

Skaff, M. and Masbate, Sh., 2010. Precipitation Change, and Its Potential Effects on Vegetation and Crop Productivity in Syrian Al Jazerah Region. *The Arab Journal for Arid Environments* 3 (2):71 – 78

Spinoni, J., Naumann, G., Carrão, H., Barbosa, P., and Vogt, J.V., 2014. World drought frequency, duration, and severity for 1951–2010. *International Journal of Climatology*, 34(8), 2792-2804.

Spinoni, J., Naumann, G., Vogt, J.V., Barbosa, P., 2016. Meteorological droughts in Europe. Events and impacts, past trends and future projections. Publications Office of the European Union, Luxembourg, EUR 27748 EN.

Spinoni, J., Vogt, J.V., Naumann, G., Barbosa, P., and Dosio, A., 2018a. Will drought events become more frequent and severe in Europe? *International Journal of Climatology*, 38(4), 1718-1736.

Spinoni, J., Vogt, J.V., Barbosa, P., McCormick, N., Naumann, G., and Dosio, A., 2018b. World drought projections based on CORDEX data. *Geophysical Research Abstracts*. Vol. 20, EGU 2018-9515, EGU General Assembly 2018.

Stakhiv E., W. Werick, and P. Brumbaugh. 2016. Evolution of drought management policies and practices in the United States. *Water Policy* 1–31. <https://doi.org/10.2166/wp.2016.017>.

Svoboda, M., LeComte, D., Hayes, M., Heim, R., Gleason, K., Angel, J., Rippey, B., Tinker, R., Palecki, M., Stooksbury, D., Miskus, D. and Stephens, S., 2002. The Drought Monitor. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 83(8):1181-1190.

Svoboda, M.D., Fuchs, B.A., Poulsen, C.C. and Nothwehr, J.R., 2015. The drought risk atlas: enhancing decision support for drought risk management in the United States. *Journal of Hydrology*, 526, 274-286.

Tallaksen, L., M. and Van Lanen, H. A. J., 2004. Hydrological Drought. Processes and Estimation Methods for Streamflow and Groundwater, *Developments in Water Science*. Elsevier Science B.V., Amsterdam.

Tánago, I.G., Urquijo, J., Blauhut, V., Villarroya, F. and De Stefano, L., 2016. Learning from experience: a systematic review of assessments of vulnerability to drought. *Natural Hazards*, 80(2), pp.951-973.

Tanner, T.M., Surminski, S., Wilkinson, E., Reid, R., Rentschler, J.E. and Rajput, S., 2015. The Triple Dividend of Resilience: Realizing Development Goals through the Multiple Benefits of Disaster Risk Management. *Global Facility for Disaster Reduction and Recovery*

(GFDRR) at the World Bank and Overseas Development Institute (ODI), London. www.odi.org/tripledividend (accessed June, 2017).

Taylor, K.E., Stouffer, R.J., and Meehl, G.A., 2012. An overview of CMIP5 and the experiment design. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 93(4), 485-498.

Thomson, A.M., Calvin, K.V., Smith, S.J., Kyle, G.P., Volke, A., Patel, P., Delgado-Arias, S., Bond-Lamberty, B., Wise, M.A., Clarke, L.E. and Edmonds, J.A., 2011. RCP4.5: a pathway for stabilization of radiative forcing by 2100. *Climatic change*, 109(1-2), 77.

Trenberth K.E., Branstator G.W., and Arkin, P., 1988. Origins of the 1988 North-American drought. *Science* 1988, 242:1640–1645.

Trenberth, K.E., 2010. Changes in precipitation with climate change. *Climate Research*, 47, 123–138.

Trenberth, K.E., Dai, A., Van Der Schrier, G., Jones, P.D., Barichivich, J., Briffa, K.R. and Sheffield, J., 2014. Global warming and changes in drought. *Nature Climate Change*, 4(1), 17.

UDI (Utility Data Institute), Platts World Electric Power Plants Database, 2015. Available at <http://www.platts.com/>

UNISDR, United Nations International Strategy for Disaster Reduction, 2004. *Living with Risk: A Global Review of Disaster Reduction Initiatives. Review Volume 1*, Geneva, Switzerland.

UNISDR, United Nations International Strategy for Disaster Reduction, 2006. *Global Survey of Early Warning Systems*, Geneva.

UNISDR, United Nations International Strategy for Disaster Reduction, 2011. *Drought Risks. Chapter 3 in “Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction. Revealing Risk, Redefining Development, GAR 2011”*, pp. 54-69.

UNDP/BCPR, United Nations Development Programme/Bureau for Crisis Prevention and Recovery, 2004. *Reducing disaster risk. A challenge for development*. New York. UNDP/BCPR. Available at: <http://www.undp.org/bcpr/disred/rdr.htm>.

UNOCHA, United Nations Office for the Coordination of Humanitarian Affairs, 2011. *Horn of Africa Drought Crisis - Situation Report No. 9*, 11 August 2011, UNOCHA.

Van Lanen, H., Vogt, J.V, Andreu, J., Carrao, H., De Stefano, L., Dutra, E., Feyen, L., Forzieri, G., Hayes, M., Iglesias, A., Lavaysse, C., Naumann, G., Pulwarty, R., Spinoni, J., Stahl, K., Stefanski, R., Stilianakis, N., Svoboda, M., Tallaksen, L., 2017. Climatological risk: droughts. In: Poljanšek, K., Marín Ferrer, M., De Groeve, T., Clark, I. (Eds.). *Science for disaster risk management 2017: knowing better and losing less*. EUR 28034 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, Chapter 3.9.

Van Vliet, M.T.H., Ludwig, F., Zwolsman, J.J.G., Weedon, G.P. and Kabat, P., 2011. Global river temperatures and sensitivity to atmospheric warming and changes in river flow. *Water Resources Research*, 47(2), W02544, doi:10.1029/2010WR009198.

Van Vliet, M.T., Sheffield, J., Wiberg, D., Wood, E.F., 2016. Impacts of recent drought and warm years on water resources and electricity supply worldwide. *Environmental Research Letters*, 11(12), 124021.

Vicente-Serrano, S.M., Beguería, S., and López-Moreno, J. I., 2010. A multiscale drought index sensitive to global warming: the standardized precipitation evapotranspiration index. *Journal of climate*, 23(7), 1696-1718.

Vogt, J.V., Barbosa, P., Cammalleri, C., Carrão, H., Lavaysse, C., 2018. Drought Risk Management: Needs and Experiences in Europe. In: Wilhite, D.A. & Pulwarty, R.S.: *Drought and Water Crises. Integrating Science, Management, and Policy*. 2nd ed., CRC Press (Taylor & Francis), Boca Raton, pp. 385-407.

Weiss, H., Bradley, R.S., 2001. What drives societal collapse? *Science* 291, 609–610. WMO (World Meteorological Organization). 2005. *Climate and Land Degradation*. WMO n°. 989., Geneva, Switzerland.

Werner M., Vermooten, S., Iglesias, A., Maia, R., Vogt, J.V. and Naumann, G., 2015. Developing a framework for drought forecasting and warning: results of the DEWFORA project. *Drought: Research and Science-Policy Interfacing*, 01/2015: chapter 41: pages 279-285; CRC Press, Taylor and Francis Group.

Wilhite D.A. (Ed.), 2005. *Drought and Water Crises: Science, Technology, and Management Issues*. Taylor and Francis, Boca Raton, 406, CRC Press 2005.

Wilhite, D.A. and Buchanan-Smith, M., 2005. Drought as hazard: understanding the natural and social. In: Wilhite, D. (Ed.), *Drought and water crises: science, technology, and management issues*, CRC Press, 3-29

Wilhite, D.A. and Pulwarty, R.S., 2005. *Drought and Water Crises: Lessons Learned and the Road Ahead*. In: Wilhite, D. (Ed.), 2005. *Drought and Water Crises: Science, technology, and management issues*, CRC Press, 389-398.

Wilhite, D.A., Sivakumar, M.V.K., Pulwarty, R., 2014. Managing drought risk in a changing climate: The role of national drought policy. *Weather and Climate Extremes* 3, 4-13.

Wilhite, D., and Pulwarty, R.S., 2017. Drought and water crises: Lessons drawn, some lessons learned, and the road ahead. Chapter 24 in Wilhite D. and R. Pulwarty (Eds.) *Drought and Water Crises: Integrating Science, Management and Policy* 2nd Edition CRC Press Taylor and Francis pp. 513-525

Wood, E. Schubert, S., Wood, A., Peters-Lidard, C., Mo, K., Mariotti, A. and Pulwarty, R.S., 2015. Prospects for advancing drought understanding, monitoring, and prediction. *J. Hydrometeor*, 16, 1636–1657

World Bank Group, 2012. *Turn Down the Heat: Why a 4°C Warmer World Must Be Avoided*.

Washington: World Bank.

WMO and GWP, World Meteorological Organization and Global Water Partnership, 2014. *National Drought Policy Guidelines: A template for action* (D.A. Wilhite). Integrated

Drought Management Programme (IDMP) Tools and Guidelines Series 1. WMO, Geneva, Switzerland and GWP, Stockholm, Sweden.

WMO and GWP, World Meteorological Organization and Global Water Partnership, 2016. Handbook of Drought Indicators and Indices (M. Svoboda and B.A. Fuchs). Integrated Drought Management Programme (IDMP), Integrated Drought Management Tools and Guidelines, Series 2, Geneva.

WMO and GWP, World Meteorological Organization and Global Water Partnership, 2017. Benefits of action and costs of inaction: Drought mitigation and preparedness – a literature review (N. Gerber and A. Mirzabaev). Integrated Drought Management Programme (IDMP) Working Paper 1. WMO, Geneva, Switzerland and GWP, Stockholm, Sweden.

WWAP, United Nations World Water Assessment Programme, 2016. Water and Jobs. United Nations World Water Development Report 2016, Paris, UNESCO, 148 p. <http://www.unesco.org/water/wwap>.

Zampieri, M., Ceglar, A., Dentener, F. and Toreti, A., 2017. Wheat yield loss attributable to heat waves, drought and water excess at the global, national and subnational scales. Environmental Research Letters, 12(6), p.064008.

Zhao, T. and Dai, A., 2017. Uncertainties in historical changes and future projections of drought. Part II: model-simulated historical and future drought changes. Climatic Change, 144(3), pp. 535-548

واژه‌شناسی

Adaptation	سازگاری
Cascading effects	آثار آبشاری (متوالی، زنجیره‌ای)
Cessation	توقف و پایان رخداد/واقعه
Climate change	تغییر اقلیم
Climate Change Adaptation (CCA)	سازگاری با تغییر اقلیم
Climate variability	تغییرات اقلیمی
Conflict	مناقشه
Contextual or factor approach	رویکرد عامل یا محتوایی
Cross-border Early Warning Systems (EWS)	سامانه‌های هشدار زودهنگام بین بخشی
Drought	خشکسالی
Drought event	رخداد (واقعه) خشکسالی
Drought impacts	تبعات و پیامدهای خشکسالی
Drought intensity	شدت خشکسالی
Drought risk	ریسک (خطرپذیری) خشکسالی
Drought risk mapping	پهنه بندی ریسک (خطرپذیری) خشکسالی
Drought-relief measures	اقدامات کاهش اثرات خشکسالی
Drought Severity	شدت خشکسالی (مجموع کمبودها)
Disaster Risk Reduction (DRR)	کاهش ریسک بلایا
Duration	طول دوره (مدت یا تداوم رخداد)
Downscaling	ریزمقیاس بندی
End-Point	پایان رخداد/واقعه
ENSO	نوسانات جنوبی ال نینو
Exposed assets	دارایی‌های در معرض
Exposure	در معرض قرارگیری (مواجهه)
Frequency	فراوانی
Gridded population data	داده‌های توزیعی جمعیت

Gridded livestock of the world	توزیع جهانی دامداری
Hazard	خطر
Hot spot	نقاط حساس و بحرانی
Hydrological drought	خشکسالی هیدرولوژیکی
Market oriented agriculture	کشاورزی بازار محور
Meteorological drought	خشکسالی هواشناسی
Mitigation	تسکین (کاهش آثار منفی)
Monitor	پایش، نظارت
Natural disasters	بلاای طبیعی
Onset	آغاز/آستانه رخداد
Policy entrepreneurs	کارآفرینان سیاسی
Pro-Active Risk Management	مدیریت ریسک پیشگیرانه، کنش گرا و فعال
Re-Active Risk Management	مدیریت ریسک عکس‌العملی و واکنش گرا
Resilience	تاب‌آوری
Soil moisture (agriculture) drought	خشکسالی رطوبت خاک (کشاورزی)
Standardized Precipitation-Evapotranspiration Index (SPEI)	شاخص استاندارد تبخیر و تعرق از بارش
Standardized Precipitation Index (SPI)	شاخص بارش استاندارد
Tangible damages	خسارات ملموس
Vulnerability	آسیب‌پذیری
Weather-related extreme events	وقایع حدی آب و هوایی
Uncertainty	عدم قطعیت