تحقیقات منابع آب ایران
Iran-Water Resources Research

سال بیستم، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۳
Volume 20, No. 4, Winter 2024 (IR-WRR)
۱۲۱-۱۱۰

یادداشت فنی

تبیین دیدگاه‌ها و رویکردهای جهانی در سازگاری با تغییراقلیم در بخش آب کشاورزی

نادر حیدری [۱*]

چکیده

راهبردها و رویکردهای حاصل از مطالعات جهانی سازگاری با تغییر اقلیم در بخش آب کشاورزی به صورت زیر طبقه‌بندی می‌شوند: الف) راهبردهایی که به دنبال کاربرد فناوری‌های نوین در مدیریت آب هستند، ب) راهبردهایی که به دنبال تغییر در مدیریت سیستم‌های کشاورزی هستند، پ) راهبردهایی که ارتقاء ابزارهای تصمیم‌سازی و تصمیم‌گیری را دنبال می‌کنند، و ت) راهبردهایی که در آنها تغییرات نهادی مد نظر است. بر اساس این رویکردهای کلی، رویکردهای تخصصی سازمان‌ها و نهادهای جهانی (مانند فائو و غیره) برای سازگاری در بخش آب و خاک عبارتند از :۱) رویکردهای مربوط به مدیریت آب (کاربرد روش‌ها و فناوری‌های نوین آبیاری و حفظ رطوبت خاک)؛ ۲) رویکردهای مربوط به مدیریت خاک و زمین (ارتقاء برگشت‌پذیری و تاب‌آوری، افزایش مواد آلی خاک، کم‌خاک‌ورزی و حفظ پوشش دائمی خاک با کشاورزی حفاظتی، پایش و ارزیابی پوشش زمین، استفاده از روش‌های بومی، و ارتقاء مشارکت جوامع محلی)؛ ۳) حفظ تنوع زیستی کشاورزی در توسعه کشاورزی (استفاده از گیاهان بومی و توسعه و کاربرد ارقام مقاوم به تنش‌های محیطی (شوری و خشکی و غیره)؛ ۴) تغییرات الگوی کشت؛ ۵) پایش و پیش‌آگاهی اقلیمی؛ ۶) توجه خاص به ایجاد انگیزه‌های تولید محصولات کشاورزی با کاهش تعرفه‌ها و مالیات؛ ۷) ارائه یارانه به تولید کنندگان؛ ۸) ایجاد بازارهای محلی آب؛ ۹) گسترش بیمه محصولات کشاورزی؛ و ۱۰) ایجاد مناطق آزاد اقتصادی از لحاظ اقتصادی بودن راهکارها و اقدامات سازگاری. نتیجه‌گیری شده است که اقدامات مدیریتی و نرم‌افزاری نسبت به اقدامات خاص زراعی مانند توسعه و معرّفی ارقام گیاهی متحمل به تغییرات اقلیمی و خشکسالی، نسبت سود به هزینه بالاتری دارند و اقتصادی‌تر هستند. از رویکردهای کلی جهانی سازگاری با تغییر اقلیم در بخش آب کشاورزی، در ایران به رویکرد افزایش بهره‌وری در استفاده از آب و به طور عمده با کاربرد فناوری‌های نوین آبیاری، توجه و تأکید زیادی شده است. در حالیکه به سایر رویکردهای جهانی سازگاری نظیر ایجاد تغییرات در مدیریت سیستم‌های کشاورزی، استفاده از ابزارهای تصمیم‌سازی و تصمیم‌گیری، و ایجاد تغییرات نهادی و بهبود در روابط و هماهنگی‌های سازمانی، توجه کمتر شده و یا اصلا توجه نشده است.

کلمات کلیدی: امنیت غذایی، تغییرات آب و هوایی، عملکرد محصول، کمبود آب، مدل، مدیریت آبیاری.
تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۳/۱۰/۲
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۳/۱۰/۲۶

۱- دانشیار پژوهش مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش، و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.
*- نویسنده مسئول

بحث و مناظره (Discussion) در مورد این مقاله تا پایان بهار ۱۴۰۴ امکان‌پذیر است.

Technical Note

Elaborating Global Views and Approaches in Adapting to Climate Change in the Agricultural Water

N. Heydari [1*]

Abstract

Strategies and approaches resulting from global climate change (CC) adaptation studies in the agricultural water sector are classified as follows: a) strategies that seek to utilize new technologies in water management, b) strategies that aim to change the management of agricultural systems, c) strategies that focus on improving decision-making tools, and d) strategies in which institutional changes are considered. Based on these general approaches, the specialized approaches of global organizations and institutions (such as FAO, etc.) for adaptation in the water and soil sectors are: 1) approaches related to water management (applying new irrigation methods and technologies and maintaining soil moisture); 2) approaches related to soil and land management (enhancing reversibility and resilience, increasing soil organic matter, reducing tillage, and maintaining permanent soil cover through conservation agriculture, monitoring and evaluating land cover, adopting indigenous methods, and promoting the participation of local communities); 3) conservation of agricultural biodiversity in agricultural development (utilizing native plants and developing and adopting cultivars resistant to environmental stresses (salinity, drought, etc.)); 4) modifications in cropping patterns; 5) climate monitoring and forecasting; 6) placing special emphasis on creating incentives for the production of agricultural products by reducing tariffs and taxes; 7) providing subsidies to producers; 8) creating local water markets; 9) expanding agricultural insurance; and 10) establishing free economic zones. From the economic perspective of adaptation measures and actions, it has been concluded that management-based and software-driven measures have higher benefit-to-cost ratios and are more economical than agronomic measures, such as the development and introduction of climate change- and drought-tolerant crop varieties. Among the general global approaches to climate change adaptation in the agricultural water sector, Iran has placed significant emphasis on improving water use efficiency, mainly through the application of new irrigation technologies. Meanwhile, other global adaptation approaches—such as modifying agricultural system management, utilizing decision-making tools, implementing institutional changes, and enhancing organizational relationships and coordination—have received less attention or have been neglected altogether.

Keywords: Crop Yield, Climate Change, Food Security, Irrigation Management, Model, Water Scarcity.
Received: December 22, 2024
Accepted: January 15, 2025

1- Associate Professor, Agricultural Engineering Research Institute (AERI), Agricultural Research, Education, and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran. E-mail: nrheydari@gmail.com
*- Corresponding Author

Doi: 10.22034/IWRR.2025.495313.2815

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

۱- مقدمه

تغییر اقلیم[1] عبارت اســت از تغییر بلندمدت در شــرایط آب و هوایی (تغییر در دما، بارش، باد و دیگر شـاخص‌ها). این پدیده می‌تواند تغییر در میانگین شرایط آب و هوایی و در نوسانات (ازجمله در وقایع حدی) را نیز در برگیرد. در متون هیات بین‌للدول تغییر اقلیم (IPCC)[2] این پدیده می‌تولند به عنوان تغییر در میانگین و یا نوســلنات ویژگی‌های اقلیمی برای یک دوره طولانی (چند دهه و یا بیشـتر) تعریف شـود و علت آن ممکن اســت هر دو ناهنجاری‌های طبیعی و یا فعالیت‌های انسان؛ باشد (Heydari, 2019; Heydari, 2017 a, b, c).

با وجود تعاریف متعدد و متفاوت، کنوانسـیون تغییر اقلیم سـازمان ملل متحد (UNFCCC)[3] این پدیده را مشـتمل بر تغییراتی در اقلیم تلقی می‌کند که به صورت مستقیم و یا غیر مستقیم به واسطه فعالیت‌های انسـانی (مانند احتراق سوخت‌های فسیلی و تغییرات کاربری اراضـی) ایجاد شده است (Water Research Institute, 2016).

کشــاورزی و تولیدات گیاهی از بخش‌هایی اســت که از ابعاد مختلف تحت تأثیر پدیده تغییر اقلیم قرار می‌گیرد، هرچند خود مقوله تولید غذا بخصــوص در بخش فراورده‌های دامی، از لحاظ تولید گازهای گلخانه‌ای ناشــی از تولید دام و غیره (مانند متان) عاملی برای رخداد این پدیده بوده اســت (Heydari, 2019). ســازمان فائو پیش‌بینی می‌کند که تا افق ۲۰۵۰ میلادی جمعیت جهان به ۹/۶ میلیارد نفر خواهد رســید و انســان باید بتواند محصــولات مورد نظر خود را در شــرایط اقلیمی جدید و بدون صــدمه به منابع آب و خاک و محیط زیست، تولید نماید (FAO, 2016). بر اساس اعلام این سازمان در روز جهانی غـذا در ۱۶ اکتبر ســال ۲۰۱۶، هفت حوزه مرتبط با کشـاورزی و تولید غذا وجود دارد که لازم اسـت در آنها سـازگاری با تغییر اقلیم بطور جدی در پیش‌گیری از گرسـنگی در دسـتور کار قرار گیرند. این حوزه‌ها عبارتند از زراعت و باغداری، جنگل، مدیریت تولیدات دامی، تلفات و ضــایعات غذا، منابع طبیعی، شــیلات، و سیستم‌های غذا (Heydari, 2019). همچنین، این سازمان بخشی از تأثیرات تغییر اقلیم بر بخش کشــاورزی را به شــکل موارد زیر اعلام نموده اســت: الف) تأثیر در فیزیولوژی گیاهان (کیفیت و کمیّت)، ب) تغییر در منابع آب، خاک و زمین (کیفیت و کمیّت)، پ) کاهش GDP حاشیه‌ای بخش کشاورزی، ت) نوسانات در قیمت جهانی محصولات کشــاورزی، ث) تغییر در توزیع جغرافیـایی منـاطق تجـاری تولیـد محصولات کشاورزی، ج) افزایش جمعیتِ و افزایش ریسک گرسنگی و ناامنی غذایی، و چ) مهاجرت و ناآرامی‌های جمعیتی (Heydari, 2021).

با ملاحظه موارد فوق ملاحظه می‌شـود که مدیریت بخش کشـاورزی (به خصـوص آب کشاورزی) و مناطق مربوطه که به‌طور عمده شامل مناطق روسـتایی هسـتند، در شـرایط تغییر اقلیم با چالش‌های زیسـت محیطی، اقتصادی و اجتماعی زیادی مواجه می‌شوند که فراتر از بحث مدیریت آب اسـت (Iglesias and Garroteb, 2015). متناسـب با عنوان و موضــوع مقاله حاضــر، این یادداشــت فنی تلاش دارد به جنبه‌هایی از پدیده تغییر اقلیم بپردازد که بیشــتر بر مدیریت آب کشــاورزی و تقاضــای آبی مؤثر هســتند لذا تمرکز این نوشــتار بر رویکردها و راهکارهای بین‌المللی در سازگاری با اثرات تغییر اقلیم در بخش آب کشاورزی است و طی آن مباحث مختلفی چون اثرات تغییر اقلیم بر تولیدات کشاورزی و امنیت غذایی، تعریف و اهمّیت سازگاری با تغییر اقلیم، رویکردها وراهکارهای ســازمان‌ها و نهادهای جهانی برای سازگاری با تغییر اقلیم و اهمیّت و نقش مدل‌سازی اثرات تغییر اقلیم بر منابع آبی و عملکرد محصـولات کشـاورزی، مورد بررسـی و تجزیه و تحلیل قرار گرفته اسـت. همچنین، برای اسـتفاده از نتایج و آموزه‌های حاصــله برای ســازگاری با تغییر اقلیم در شــرایط اقلیمی، کشــاورزی، و آب و خاک ایران، بعضــاً ارتباطات و مثال‌های لازم در بحث‌ها ارائه شده است.

۲- اثرات تغییر اقلیم بر تولیدات کشاورزی و امنیت غذایی

بر حسب تعریف، "امنیت غذایی" وضعیتی است که در آن مردم در تمام اوقات، دسترسی فیزیکی، اجتماعی و اقتصادی به مقدار غذای کافی، سالم و مغذی برای رفع نیازهای خود برای یک زندگی سالم و فعال را دارند (Clay, 2002; FAO, 2003, 2006). بدین ترتیب "دسترسی به مواد غذایی" و "ثبات و پایداری مواد غذایی" دو عنصر مهم در حصول امنیت غذایی محسوب می‌شوند. تغییر اقلیم هردو این معانی را در هر دو جهت مثبت و منفی تحت تأثیر خود قرار می‌دهد. جنبه مثبت شامل ایجاد فرصت‌های گسترش کشاورزی در عرض‌های شمالی کره زمین با توجه به گرمایش و ایجاد طول دوره رشد بیشتر در این مناطق است. جنبه منفی آن نیز شامل افزایش دما و افزایش نیاز آبی گیاهان و تقاضای بیشتر آب در بخش کشاورزی، افت عملکرد محصولات، تغییر در مقدار و الگوی بارش‌ها، و نهایتاً کاهش منابع آبی کشورها است.

عوامل مرتبط در تولید محصولات کشاورزی شامل آب قابل دسترس، خاک حاصلخیز، گیاه مناسب، اقلیم، آفات، بیماری‌ها، علف‌های هرز، تغییرات گاز دی اکســیدکربن CO_2 اتمســفر، دما، بارش، و رطوبت خاک به طور مجزا و یا با همدیگر می‌توانند باعث تغییر در نوع، کمیّت و کیفیت محصـول شـوند. بنابراین تغییر پارامترهای اقلیمی در

آینده بر تولید محصولات زراعی (سالانه یا دائمی) کشورها تأثیرگذار خواهند بود. موارد مطلوب احتمالی از تغییر اقلیم عبارتند از اثرات کودی CO_2 بر خاک، افزایش فصل رشد، و افزایش بارندگی در برخی نقاط محدود. از طرف دیگر وقوع بیشتر خشکسالی‌ها، افزایش آفات و بیماری‌ها، افزایش تنش‌های حرارتی، کاهش فصل رشد در برخی نواحی، و افزایش موارد سیل و توسعه اراضی شور از اثرات نامطلوب احتمالی تغییر اقلیم در بعضی از نقاط جهان از جمله کشور ایران خواهد بود (Khorsandi et al., 2008).

بسیاری از ارقام و گونه‌های گیاهی در اقلیم‌ها، مناطق، و خاک‌های مختلف جهان رشد می‌کنند. مشخصه‌های آب و هوایی و اقلیمی از قبیل درجه حرارت، میزان بارش، میزان CO_2 و موجودیت و دسترسی به آب به طور مستقیم بر رشد و سلامت گیاه و همچنین تولید مزارع تأثیرگذار هستند. همچنین، توزیع گیاهان زراعی در یک منطقه معین بوسیله منابع اقلیمی تعیین می‌شود. لذا در مناطق دچار تغییر اقلیم می‌توان با کشت محصولات کشاورزی و حتی تولیدات دامی سازگار از این تغییرات استفاده زیادی برد (Heydari, 2017b).

اصولاً اثرات تغییر اقلیم بر کشاورزی و تولید محصولات کشاورزی را باید از زاویه واکنش گیاهان زراعی به تولید و باروری نگاه نمود. در این میان واکنش گیاهان به درجه حرارت، فتوسنتز و تولید ماده گیاهی (بیو ماس)[۴] ناشی از تغییرات میزان گاز دی اکسیدکربن هوا، تغییرات نیاز آبی، و در مجموع کارایی مصرف آب و بهره وری آب و تولید است (Hatfield et al., 2008).

تاکنون مطالعات مختلفی در سطح جهان برای بررسی اثرات تغییر اقلیم بر عملکرد محصولات راهبردی کشاورزی و بخصوص گندم صورت پذیرفته است. یکی از این مطالعات با حمایت بخش محیط زیست، غذا و مناطق شهری انگستان[۵] به انجام رسید. این مطالعه تلاش کرد تا تبعات تغییر اقلیم بر تولید تعدادی از محصولات راهبردی غله‌ای در سطح جهان و ارتباط آن با سناریوهای اقلیمی را بررسی کند. برای این بررسی از مدل جهانی HadCM3 تحت سناریوهای مختلف انتشار B1, A1F1, A2 و B2 استفاده شد. نتایج آنها نشان داد که در اکثر کشورها، به دلیل تغییرات اقلیمی هیچ دورنمای امیدوارکننده‌ای برای تولید غلات وجود ندارد. نتایج همچنین شرایط بسیار نامساعدی را برای منطقه ایران به ویژه برای افق اقلیم انسانی (HCH)[۶] ۲۰۵۰ پیش‌بینی نمود (Parry et al., 2004). مطالعه مذکور در ادامه به مقایسه وضعیت کشورهای در حال توسعه و توسعه یافته در این زمینه پرداخته که نتایج آن گویای تفاوت آشکار در وضعیت کشورهای توسعه یافته نسبت به کشورهای در حال توسعه در این زمینه است. هیچ یک از سناریوها وضعیت منفی برای متوسط عملکرد غلات در کشورهای توسعه یافته نشان نمی‌دهد، درحالیکه گروه دوم کاهش تا ۱۱٪ را نیز تجربه خواهند کرد (Heydari, 2017b).

تغییر اقلیم اثرات نامطلوبی بر عملکرد گندم به ویژه گندم دیم در نقاط مختلف جهان از جمله ایران داشته است. به دلیل تغییر پارامترهای محیطی در شرایط تغییر اقلیم، تخمین زده می شود که تغییر پارامترهای محیطی به تنهایی و به طور متوسط منجر به کاهش ۱۴-۱۰ درصدی عملکرد گندم در جهان شود. مهمترین عامل نامطلوب در این زمینه افزایش دما و تنش گرمایی بر روی این گیاه است. تغییر اقلیم می‌تواند دوره رشد محصول را کاهش دهد و اثرات فیزیولوژیکی نامطلوب مانند کاهش دوره کاشت تا گلدهی، کوتاه شدن دوره پر شدن بذر و کاهش گلدهی تا بلوغ و دوره تولید بذر و در نهایت افت محصول را موجب شود (Heydari and Taran, 2025).

نقش افزایش غلظت CO_2 در شرایط تغییر اقلیم بر عملکرد محصولات کشاورزی مقوله دیگری است که از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است و تحقیقات مختلفی در این باره انجام شده و هنوز هم ادامه دارد. بر اساس بررسی‌ها گروه گیاهان موسوم به سه‌کربنه (C3) (شامل گندم، برنج و سویا) پاسخ مثبت‌تری صرفاً به فزایش غلظت CO_2 در شرایط تغییر اقلیم (بدون درنظرگرفتن سایر اثرات نامطلوب افزایش دما، و کاهش بارش‌ها و غیره ناشی از این پدیده) نشان می‌دهند، و این پاسخ در خصوص ذرت به عنوان زیر گروه C_4 کمتر تغییر داشته و حتی در گزارش‌هایی نشان داده شده که واکنش آن منفی (افت عملکرد) بوده است. بدیهی است که اینگونه ارزیابی‌ها بدون دخالت تنش آبی انجام شده است و فرض شده که نیاز آبی گیاه تأمین می‌شود. بهرحال این اثرات مثبت با سایر اثرات منفی و نامطلوب ناشی از تغییر اقلیم خنثی[۷] شده و برآیند آن برای محصولات تولیدی در اکثر کشورهای جهان از جمله کشور ایران، نامطلوب و همراه با کاهش عملکرد است (Parry et al., 2004).

۳- تعریف، اهمیّت، و رویکردهای کلّی سازگاری با تغییر اقلیم در مدیریت آب کشاورزی

برای مواجهه با تغییر اقلیم دو رویکرد توام و اصلی "تسکین"[۸] و "سازگاری"[۹] وجود دارد تسکین تغییر اقلیم به کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای مربوط است در حالی که هدف سازگاری در درجه اول ملایم نمودن اثرات غیر قابل اجتناب ناشی از تغییراقلیم است. به عبارت دیگر سازگاری به تنظیم سیستم‌های طبیعی و یا انسانی در پاسخ به محرّک‌های فعلی و یا مورد انتظار اقلیمی و یا اثرات آنها اشاره دارد، به‌طوریکه آسیب‌ها کمتر شده و در عین حال از فرصت‌های سودمند آن (مانند توسعه کشاورزی در اراضی

عرض‌های شمالی جهان که قبلاً به دلیل سرما قابل کشت نبودند) نیز بهره‌بردار شود. راهبردهای سازگاری شامل طیف گسترده‌ای از اقدامات است که تحمّل خسارت و زیان (به‌دلیل ناتوانایی مالی بعضی از کشورها)، پیشگیری از زیان (مانند حذف عوامل تشدیدکننده تغییر اقلیم)، اشتراک گذاشتن خسارت بهره‌برداران (مانند توسعه بیمه محصولات)، تغییر نوع فعالیت و کاربری، و الگوی کشت (مانند کشت محصولات مقاوم به کم آبی) و تغییر مکان بعضی از فعالیت‌های زراعی (مانند تغییر مکانی برخی کشت‌ها به ارتفاعات) بخشی از آنها هستند (IPCC, 2007; Water Research Institute, 2016; Heydari, 2019).

امروزه اهمیت سازگاری با تغییر اقلیم به دلایلی بیش از پیش مورد توجه قرار دارد که مهمترین آن میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در گذشته و اینرسی سیستم اقلیمی است. بدین‌معنا که حتی به صورت خوش‌بینانه اگر کاهش‌های بلندپروازانه در انتشار آلاینده‌های جوّی صورت گیرد، نمی‌توان انتظار داشت که آنها مانع کامل از بروز پدیده تغییر اقلیم شوند و سازگاری با این پدیده به طور مستمر مورد نیاز خواهد بود. مطالعات مختلفی به نقش و اهمیّت سازگاری با تغییر اقلیم در بخش کشاورزی پرداخته‌اند. در مطالعه‌ای که با حمایت مالی اتحادیه اروپا و بنیاد علوم آمریکا به استناد تعدادی از مطالعات جهانی انجام پذیرفت، نشان داده شده است که منطقه خاورمیانه از جمله مناطقی از جهان است که بخش کشاورزی آن بالنسبه خسارات سنگینی را از بابت تغییر اقلیم متحمل خواهد شد. بر اساس نتایج مطالعه مذکور، در صورت افزایش دمای جهانی به ۲/۵ درجه سانتیگراد، منطقه خاورمیانه می‌تواند تا ٪۴۰ از تولیدات بخش کشاورزی خود را از دست دهد (Tol, 2002). زیرا افزایش درجه حرارت و به دنبال آن افزایش نیاز آبی گیاه از اثرات مستقیم تغییر اقلیم بر کشاورزی است که تأثیرات نامطلوبی بر عملکرد گیاهان زراعی، ناشی از تنش‌های آبی و حرارتی دارد. به عنوان نمونه، افزایش دمای هوا به میزان ۱/۲ درجه سلسیوس موجب افزایش تبخیر و تعرق (ET) گیاه مرجع یونجه به میزان ۱/۸ درصد در فصل تابستان می‌شود (Heydari, 2017b). از طرفی خاورمیانه با سازگاری می‌تواند جهت این مسیر را تغییر داده و حتی در مجموع رشد ۱۰ درصدی در تولیدات کشاورزی هم داشته باشد.

در سازگاری با تغییر اقلیم در بخش کشاورزی، دو رویکرد اصلی "خود سازگاری"[10] و "سازگاری برنامه‌ریزی شده"[11] مطرح هستند. "خود سازگاری" به واکنش‌هایی اطلاق می‌شود که توسط خود کشاورزان و جوامع روستایی، و یا سازمان‌های کشاورزان براساس ادراک آنها از تغییرات در شرایط اقلیمی و منابع آب اعمال می‌شود. اینگونه فعالیت‌ها معمولاً بدون دخالت وتمهیدات دولت‌های محلی، ملی و یا تفاهمات بین‌المللی انجام می‌شود. گزینه‌های خودسازگاری به طور عمده متکی بر دانش و زیر ساخت‌های موجود بین کشاورزان و جوامع محلی است. این نوع سازگاری دارای مزایای رفتارهای پائین به بالا است، ولی می‌تواند نتایج آن در مقیاس مزرعه (مقیاسی که در مالکیت کشاورز است و توسط وی مدیریت می‌شود) مثبت و در مقیاس حوضه آبریز آنچنان موثر نباشد و حتی ضرر هم داشته باشد. نمونه‌هایی از این نوع اقدامات خودسازگاری عبارتند از: الف) تغییر کاربری اراضی، تغییر الگوی کشت و کاشت ارقام/گونه‌های گیاهی با مقاومت بیشتر به تنش‌های حرارتی و کم‌آبی، ب) اصلاح فناورهای آبیاری و بهبود مدیریت آب، پ) حفظ رطوبت خاک (با استفاده از بقایای گیاهی و پلیمرها و سوپرجاذب‌ها)، پ) مدیریت منابع آب از طریق کنترل ورود رسوبات و آب‌های شور به منابع آب آبیاری، ت) اصلاح تقویم زراعی و عملیات کاشت و داشت و برداشت، و ث) استفاده از پیش‌بینی‌های کوتاه و بلند مدت هواشناسی (Bates et al., 2008).

سازگاری برنامه‌ریزی شده شامل تغییر و تدوین سیاست‌های جدید، اقدامات سازمانی و نهادی و ایجاد زیر ساخت‌های مرتبط است که همگی تلاش دارند تا بستر لازم برای کاهش زیان‌های تغییر اقلیم و استفاده حداکثری از منافع آن را برای بخش کشاورزی موجب شوند (IPCC, 2007; Heydari and Dehghanian, 2018). در سازگاری برنامه‌ریزی شده راه‌حل‌های مبتنی بر توسعه زیر ساخت‌ها، سیاست‌ها، و نهادهایی که بتواند در شرایط جدید ضمن بیشینه نمودن منافع حاصل از کاربرد منابع آب و خاک، فعالیت‌های مربوط را تسهیل و هماهنگ نمایند در دستور کار قرار می‌گیرد. این اهداف و فعالیت‌ها به طور کلی می‌توانند از طریق بهبود شرایط حکمرانی، جاری‌سازی تغییر اقلیم در برنامه‌های توسعه، افزایش سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های مورد نیاز، استفاده بیشتر از فناوری‌های با کارایی بالاتر در استفاده از آب، و تقویت عوامل مؤثر اقتصادی بر مدیریت آب و کشاورزی باشند (Bates et al., 2008). بدیهی است که در این شرایط ضروری است که هماهنگی‌های لازم در سیاست‌گذاری دستگاه‌های مختلف وجود داشته باشد، در غیر این صورت نتایج کار منجر به تخریب منابع آب و خاک (عملا ناسازگاری) خواهد شد. یعنی نقطه مقابل سازگاری برنامه‌ریزی شده، ناسازگاری[12] است که شامل اقداماتی است که نهایتاً موجب ناپایداری در بخش کشاورزی، تخریب منابع آب و خاک، و در معرض خطر قرار دادن تنوع زیستی می‌شوند. لذا، در اجرای راهکارها و ارزیابی اقدامات سازگاری، توجه به این موضوع یعنی ناسازگاری، کاملاً ضروری است. البته باید به این نکته نیز باید توجه

داشت که در بحث راهکارهای سازگاری فقط نباید شرایط زمان حاضر را متصوّر شد و بلکه علاوه بر فناوری‌هایی که امروزه در اختیار کشاورزان است، باید گزینه‌های فناوری جدید از طریق تحقیق وتوسعه (R&D)[۱۳] را نیز مدّ نظر داشت.

از دیدگاه برنامه‌ریزی برای سازگاری با تغییر اقلیم، دو رویکرد عمده بالا به پائین و پائین به بالا وجود دارد. در رویکرد "بالا به پایین" چشم‌اندازهای اقلیمی وارد مدل‌های برآورد اثرات شده و سازگاری با تغییر اقلیم تا حد زیادی از دیگر فرآیندهای اجتماعی منفک می‌شود. در مقابل، در رویکرد "پایین به بالا" سازگاری بر کاهش آسیب‌پذیری از نوسانات آب و هوایی گذشته و کنونی تمرکز دارد. در این رویکرد دخالت مؤلفه‌های مختلف اجتماعی، امکان بیشتری خواهد داشت.

در برنامه‌ریزی موفق سازگاری باید تلاش شود تا موارد زیر حتی الامکان محقق شوند: ۱) حفظ اصول توسعه پایدار، ۲) انعطاف‌پذیری، ۳) بهره‌گیری از آخرین تحقیقات، اطلاعات و تجربه‌های عملی، ۴) مشارکت ذینفعان، ۵) مؤثر بودن و نداشتن اثرات نامطلوب، ۶) داشتن کارایی و منافع طولانی مدت در مقابل هزینه‌های آنها، و ۷) رعایت عدالت و درنظر داشتن طبقات و بخش‌های مختلف جامعه و زیست‌بوم. همچنین، در تعیین و انتخاب گزینه‌های سازگاری، این موارد باید مد نظر باشند: ۱) انتخاب اقدامات برتر براساس شاخص‌های مناسب که اهداف چند وجهی برنامه سازگاری را پوشش دهند، ۲) تعامل و توافقات با ذینفعان، ۳) آموزش ذینفعان برای مقبولیّت رویکردها و اقدامات جدید، ۴) شناخت موانع اجرایی و ۵) توجه به پژوهش (Water Research Institute, 2016).

به دلیل ماهیت چند سطحی و چند بخشی تغییراقلیم، سازگاری باید به عنوان یک تلاش مشترک بین ذینفعان به انجام رسد. تسهیل فرآیند مشارکت آنها از طریق ایجاد انگیزه، ترویج، گفتگو، تفاهم و هماهنگی بین بازیگران مختلف ضرورت داشته که آن هم از وظائف مدیران اینگونه برنامه‌ها است. اجرای برنامه‌ریزی سازگاری در جایی که یک نهاد میان‌سازمانی، نظارت و هدایت فعالیّت‌ها را پیگیری می‌کند، موفق‌تر خواهد بود. در نهایت سازگاری با تغییر اقلیم یک فرآیند مداوم است که ارزیابی‌های دوره‌ای و پایش مستمر آن کاملاً ضروری است.

۴- رویکردها و راهکارهای جهانی سازگاری با تغییر اقلیم در بخش آب کشاورزی

راهبردها و رویکردهای جهانی سازگاری با تغییر اقلیم در بخش آب کشاورزی به صورت زیر طبقه‌بندی شده‌اند: الف) راهبردهایی که به دنبال بهبود بهره‌برداری از یک منبع محدود نظیر آب هستند و معمولاً به دنبال کاربرد فناوری‌های نوین هستند، ب) راهبردهایی که به دنبال تغییر در مدیریت سیستم‌های کشاورزی هستند که در آنها معمولاً نیاز به تغییرات در رفتار و تفکر بهره‌برداری و مدیریتی است، پ) راهبردهایی که ارتقاء ابزارهای تصمیم‌سازی و تصمیم‌گیری را دنبال می‌کنند، مانند استفاده از سیستم‌های کاراتر پیش‌بینی‌های اقلیمی، دسترسی به منابع اطلاعاتی و سیستم‌های پشتیبانی از تصمیم‌گیری، و ت) راهبردهای که در آنها تغییرات نهادی را مد نظر قرار می‌دهند، مانند وضع قوانین جدید و بهبود روابط بین‌سازمانی (Tubiello et al., 2008).

با این رویکردها، سازمان‌ها و نهادهای جهانی (مانند فائو و غیره) برنامه‌ریزی گسترده‌ای را برای سازگاری بطور اعم و برای مدیریت آب و خاک بطور خاص، تدوین و اجرا نموده که در ادامه به رویکردهای کلی آنها پرداخته شده است.

۴-۱- رویکردها و راهکارهای سازمان فائو

سازمان فائو برای سازگاری با تغییر اقلیم محورهای مختلفی را توصیه کرده است. این محورها و توصیه‌ها ابعاد مختلفی دارند، اما متناسب با اهداف این یادداشت فنی، دیدگاه‌های این سازمان در موارد مدیریت آب کشاورزی (مدیریت آب، مدیریت خاک و زمین، و تنوع زیستی کشاورزی) مطرح و به شرح زیر ارائه شده‌اند: الف) رویکردهای مربوط به مدیریت آب، شامل: کاربرد روش‌ها و فناوری‌های مختلف برای مدیریت آب در مزرعه و با هدف کاهش ریسک افت محصول و ایجاد حاشیه امن برای تولیدات کشاورزی، انجام اقدامات در جهت حفظ رطوبت خاک (مانند استفاده از مالچ گیاهی، افزایش مواد آلی خاک و غیره)؛ ب) رویکردهای مربوط به مدیریت خاک و زمین، شامل: ارتقاء برگشت‌پذیری و تاب‌آوری[۱۴] سیستم‌های کشاورزی، به خصوص در شرایط وقایع حدی (سیل و خشکسالی) به‌ویژه با استفاده از افزایش مواد آلی خاک برای جذب آب و جلوگیری از فرسایش خاک و بروز سیلاب،؛ (در این باره، عملیات حداقل خاک‌ورزی و حفظ پوشش دائمی خاک از طریق کشاورزی حفاظتی[۱۵] و کشاورزی ارگانیک[۱۶] مورد تأکید فائو واقع شده است، پایش و ارزیابی پوشش زمین برای تامین امنیت غذایی (به عنوان نمونه با ایجاد شبکه جهانی پوشش زمین (GLCN)[۱۷] و سامانه جهانی مشاهده زمینی (GTOS)[۱۸] توسط این سازمان)؛ استفاده از روش‌های بومی، ارتقاء آنها و مشارکت جوامع محلی در فرایند توسعه و ارزیابی اقدامات سازگاری. در این ارتباط این سازمان با همکاری شبکه جهانی وکات (WOCAT)[۱۹] تلاش نموده تا اقداماتی که در سطح دنیا برای مدیریت پایدار زمین به انجام رسیده و با توجه به شرایط بیوفیزیکی و اقتصادی-اجتماعی

خود، کارآیی داشته‌اند را شناسایی و ترویج نماید. در این برنامه، روش‌های مشارکتی برای اولویت‌دهی اقدامات و سرمایه‌گذاری برای آنها در سطح محلی و ملی برای سازگاری با تغییر اقلیم مورد تأکید قرار گرفته است[۲۰]؛ و پ) حفظ تنوع زیستی کشاورزی در توسعه کشاورزی[۲۱] در تمامی مؤلفه‌های آن (مانند ژن، گونه و زیست بوم)، شامل: استفاده از گیاهان بومی منطقه برای کشاورزی و توسعه و کاربرد ارقام مقاوم به تنش‌های محیطی (شوری و خشکی و غیره). بدین منظور و بخصوص برای هدف ظرفیت‌سازی در کشورهای در حال توسعه، این سازمان با همکاری مؤسسه‌های مرتبط، برنامه‌هایی را مانند برنامه ابتکار جهانی در ظرفیت‌سازی اصلاح نبات (GIPB)[۲۲] را توسعه داد. از نمونه فعالیت‌های مرتبط آن می‌توان کار روی ارقام برنج مقاوم به شوری و خشکسالی را نام برد که نوع مقاوم به شوری آن بعد از سونامی سال ۲۰۰۴ در آسیا برای کشت در مناطق خسارت دیده مورد استفاده قرار گرفت.

مهمترین چالش در سازگاری بخش کشاورزی با تغییر اقلیم حفظ اصول توسعه پایدار و تنوع زیستی است. سیستم‌های کشاورزی کوچک مقیاس و سنتی، ظرفیت تأمین امنیت غذایی آینده را ندارند و از طرف دیگر کشاورزی‌های بزرگ مقیاس و تجاری نیز معمولا اصول پایداری را در نظر نمی‌گیرند. در نتیجه افزایش تولیدات آینده، خود می‌توانند عاملی برای تشدید خطر تخریب منابع طبیعی باشند. بدین منظور، ارتقاء نگرش آگرو–اکولوژیکی[۲۳] در این زمینه توصیه شده است. این رویکرد تأکید می‌کند که گزینه‌های فناوری در سازگاری با تغییر اقلیم باید با اتکاء به دانش و تجربیات بومی باشد. به عبارتی دیگر، فناوری‌های ارائه شده برای سازگاری بخش کشاورزی با تغییر اقلیم باید شرایط محلی را مورد توجه قرار دهند، از دانش آنها استفاده کنند و در عین حال ایجاد ظرفیت‌های اجتماعی و نهادی را نیز در دستور کار قرار دهند. از موارد قابل ذکر مرتبط، فعالیتی است که در آفریقا توسط سازمان PAVE[۲۴] انجام شد (Akpan, 2016). آنها تلاش کردند تا دانش قبایل محلی را در سیاست‌گذاری، برنامه‌ریزی سازگاری، و ارتقاء ظرفیت‌های سازگاری با تغییر اقلیم را مورد استفاده قرار دهند.

۴-۲- رویکردها و راهکارهای اتحادیه اروپا

تبعات تغییر اقلیم در اروپا بسیار متنوع است، هرچند نگرانی آنها از سیل و بالا آمدن سطح آب دریاها نسبت به خشکسالی بیشتر است. اما، بر اساس بعضی گزارشات، در منطقه اروپا تا سال ۲۰۸۰ میلادی، درجه حرارت ۲ تا ۴ درجه افزایش یافته و بارش‌ها ۱۰ تا ۵۰ درصد کاهش خواهد یافت. البته این تغییرات در تمام مناطق و یا فصول، توزیع یکسانی ندارد. ضمن اینکه تغییرات در جنوب اروپا، مانند منطقه مدیترانه که افزایش دوره‌های خشکسالی و تبخیر و تعرّق و در نتیجه افزایش تقاضای بیشتر برای آب کشاورزی از آن جمله هستند، شدیدتر و بیشتر خواهد بود. ریسک تغییر اقلیم و تبعات منفی یا بعضاً مثبت آن از جنبه مدیریت آب کشاورزی در بخش‌های مختلف این قاره متفاوت است. این تبعات در مناطق شمالی شامل افزایش سیلاب‌ها، افزایش اراضی قابل کشت برای زراعت، در مناطق مرکزی–قاره‌ای تغییرات در شرایط بهینه برای زراعت و افزایش فرسایش خاک؛ در مناطق کوهستانی از بین رفتن تنوع زیستی؛ و در مناطق حاشیه اقیانوس اطلس افزایش نیاز آبیاری و تغییرات کاربری اراضی خواهد بود. از بین مناطق این قاره، تبعات تغییر اقلیم در حوضه مدیترانه که بیشترین شباهت آب و هوایی را با ایران دارد، شامل افزایش خشکسالی‌ها، کاهش دسترسی به آب، افزایش نیاز به آب آبیاری، کاهش کیفیت منابع آب، و کاهش تنوع زیستی هستند (Iglesias and Garroteb, 2015; Heydari, 2019).

یکی از مهمترین طرح‌های اتحادیه اروپا در خصوص سازگاری با تغییر اقلیم، طرحی با عنوان "راهبردهای پائین به بالا در سازگاری اقلیمی برای اروپای پایدار" (BASE)[۲۵] است. این طرح، مؤلفه‌های مختلفی دارد که شامل کشاورزی و جنگل، منابع آب، مناطق ساحلی، بهداشت، امور زیربنایی، محیط زیست و تنوع زیستی و استقرار انسانی است. همچنین برای هر مؤلفه مناطق مطالعاتی متنوعی تعریف شده است. به عنوان بخشی از اجرای طرح BASE، مطالعه‌ای مروری روی راهبردهای ممکن برای سازگاری مدیریت آب کشاورزی توسط دانشگاه پلی‌تکنیک مادرید اسپانیا به انجام رسید (Iglesias and Garroteb, 2015). این مطالعه تلاش نمود تا به استناد مطالعات پیشین به دو سؤال کلیدی در حوزه مدیریت آب کشاورزی پاسخ دهد: ۱) نیازهای سازگاری از منظر تغییر اقلیم چه هستند؟ و ۲) راهبردهای سازگاری در غلبه بر ریسکِ ناشی از تغییر اقلیم تا چه میزان موفق بوده‌اند؟ همچنین، در ارزیابی راهکارهای سازگاری معیارهای متنوعی مانند مقیاس (سطح مزرعه و یا عمومی)، مقیاس زمانی اثرگذاری (کوتاه تا بلند مدت)، سطح زیر ساخت فنی لازم، نسبت هزینه و سود راهکارها دخالت داده شدند.

در طرح BASE برای انتخاب و ارزیابی گزینه‌ها و راهکارهای سازگاری با تغییر اقلیم، رویکردهای اتخاذ شده برای مدیریت آب کشاورزی به چند دسته زیر تقسیم شدند: ۱) تبیین کلان چارچوب‌های سازگاری در حوزه‌های سازمانی و مدیریتی، ۲) مدیریت آبیاری مانند کم‌آبیاری و استفاده تلفیقی از منابع آب سطحی و زیرزمینی، ۳) بازارهای آب و بیمه محصولات کشاورزی، ۴) استفاده

از فناوری زیستی (بیوتکنولوژی)، ۵) استحصال آب از طریق اجرای فعالیت‌های آبخیزداری و سطوح آبگیر و ۶) تبیین و ارتقاء خلاقیّت‌های سازمانی و اجتماعی در پاسخ به پدیده تغییر اقلیم (Heydari, 2019). در چارچوب این محورها، در طرح مذکور فهرستی از راه‌کارهای سازگاری برای بخش کشاورزی شناسایی و ارزیابی شدند. این راهکارها عبارت بودند از (Iglesias and Garrote, 2015): ۱) ارتقاء تاب‌آوری و ظرفیت سازگاری (شامل: اجرای طرح‌های منقطه‌ای سازگاری و بهبود پایش و پیش‌آگاهی)؛ ۲) واکنش به تغییرات در میزان آب در دسترس (شامل: افزایش کارایی مصرف آب، افزایش ظرفیت نگهداشت رطوبت در خاک، بهبود ظرفیت مخازن آب، استفاده مجدد از آب، بهبود قیمت‌گذاری آب و بازار آب، و تلفیق تقاضاها در سیستم‌های تلفیقی)؛ ۳) واکنش به خشکسالی‌ها (شامل: کشاورزان بعنوان متولیان دشت‌ها، معرفی ارقام گیاهی مقاوم به خشکسالی، بیمه خسارت‌های خشکسالی)؛ و ۴) واکنش به افزایش نیاز آبیاری (شامل: تغییرات در نوع محصول و الگوی کشت وتوسعه گیاهان متحمل به تغییرات اقلیمی). همچنین، ارزیابی راهکارها براساس معیارهای متنوع صورت پذیرفته که عبارتند از: ۱) اینکه سطح اقدام در سطح مزرعه است یا سطح سیاست‌گذاری؟؛ ۲) نوع آن زراعی، مدیریتی، و یا زیربنایی است؟؛ ۳) آیا کوتاه‌مدت، میان‌مدت و یا بلندمدت است؟؛ ۴) مشکلات فنی؛ ۵) هزینه و ۶) منافع آن کم، متوسط و زیاد، چگونه است؟ همچنین، برآورد نسبت سود به تلاشی که در انجام اقدامات سازگاری مختلف حاصل می‌شود، تعیین شده است (Heydari, 2019).

نتیجه‌گیری شده است که اقداماتی مانند "معرفی ارقام گیاهی مقاوم به خشکسالی" و "توسعه گیاهان متحمل به تغییرات اقلیمی" که معمولاً جزء گزینه‌های اول برای سازگاری هستند، نسبت‌های سود به تلاش هزینه کمتر از یک دارند و الزاما اقتصادی نیستند. در مقابل اقدامات مدیریتی و نرم‌افزاری مانند بهبود پایش و پیش آگاهی، افزایش کارایی مصرف آب، استفاده مجدد از آب، تلفیق تقاضاها در سیستم‌های تلفیقی، گسترش بیمه خسارت‌های خشکسالی محصولات، و تغییرات در نوع و الگوی کشت محصولات، ضرائب بالاتر از یک را دارا و اقتصادی‌تر هستند. در نتیجه، اقدامات مدیریتی نسبت به کارهای خاص زراعی از ضریب سودآوری بالاتری در سازگاری با تغییر اقلیم برخوردار هستند (Iglesias and Garrote, 2015).

۴-۳- رویکردها و راهکارهای نهاد UNFCCC

مطالعات نسبتاً جامع مشابهی همانند مطالعات انجام شده در اتحادیه اروپا برای قسمت‌های مختلفی از جهان مانند آفریقا و آسیا توسط UNFCCC[۲۶] انجام شده است (UNFCCC, 2007). از لحاظ تأثیرات تغییر اقلیم بر قاره آسیا، شواهد حاکی از آن هستند که در بعضی از مناطق قاره (نظیر آسیای مرکزی، فلات تبت، و در شمال شرقی و جنوب آسیا)، افزایش درجه حرارت هوا بیش از متوسط جهانی خواهد بود. ولی در آسیای جنوب شرقی مشابه متوسط جهانی خواهد بود. برای کشور ایران که تقریباً در جنوب غرب آسیا قرار گرفته است، احتمالاً افزایش دما ناشی از تغییر اقلیم بیش از متوسط جهانی آن خواهد بود. در خصوص بارش‌ها نیز این پدیده آن را تحت تأثیر قرار خواهد داد و حتی بعضی چشم‌اندازهای اقلیمی افزایش بارندگی در مناطقی از آسیا را نشان می‌دهند. اما برایند تغییرات دما و بارش همراه با رشد جمعیت، کاهش منابع آب شیرین را برای این قاره رقم می‌زند. نتیجه تغییرات فوق موجب کاهش عملکرد محصولات کشاورزی و امنیت غذایی در بسیاری از مناطق قاره آسیا خواهد شد. کاهش رطوبت خاک و افزایش تبخیر و تعرّق می‌تولند منجر به تخریب اراضی و بیابان‌زایی در این قاره شود. البته به دلیل گرم‌تر شدن هوا در بعضی مناطق نظیر مناطق شمالی و سردتر قاره، ممکن است توسعه کشاورزی و یا بهره‌وری بالاتر را سبب شود، اما برای کشورهایی نظیر ایران که بخش‌هایی وسیعی از اراضی آنها به دلیل دمای بالای مناطق و کمبود منابع آب، قابل کشت نبوده و یا از عملکرد مطلوبی برخوردار نیستند، نتیجه برعکس خواهد بود و مزیتی را بدنبال نخواهد داشت.

به دنبال مطالعات مختلف، UNFCCC پیشنهاداتی (به طور عمده اقتصادی) در خصوص راه‌کارهای سازگاری با تغییر اقلیم، نظیر توجه خاص به ایجاد انگیزه‌های تولید محصولات کشاورزی با کاهش تعرفه‌ها و مالیات، ارائه یارانه به تولید کنندگان، ایجاد بازارهای آزاد، ارائه گزینه‌های مختلف بیمه محصولات کشاورزی، و ایجاد مناطق آزاد اقتصادی، را ارائه داده است.

۵- نقش و رویکرد مدل‌سازی در سازگاری با اثرات تغییراقلیم

۵-۱- رویکرد مدل‌سازی اثرات تغییراقلیم بر تغییرات منابع آبی

برای این بحث، نتایج و تجارب یک نمونه از مطالعات جهانی که تلاش کرده است تا با استفاده از مدل‌سازی بطور کمّی به اثرات تغییر اقلیم بر منابع آبی و تقاضای آب بخش کشاورزی بپردازد، ارائه شده است. براساس این اطلاعات و مدل‌سازی‌های مربوط؛ وضعیت تولید رواناب، تقاضای آب و شاخص‌های مربوطه (مانند درصد تقاضای تأمین شده[۲۷] و اطمینان‌پذیری[۲۸]) تعیین شدند. بر اساس نتایج و به عنوان نمونه، اطمینان‌پذیری[۲۹] تأمین آب در کشور چین ۷۲٪ و آمریکا ۶۶٪ است

(Rosenzweig et al., 2004). مطالعه مذکور همچنین برای بهبود وضعیت عملکرد سیستم‌ها، چند راهکار سازگاری با تغییر اقلیم به شرح زیر را مورد بررسی قرار داد: الف) ارتقاء فناوری‌های مختلف آبیاری (برای افزایش راندمان آبیاری) در بهبود عملکرد سیستم‌های کشاورزی در دو سطح ارتقاء راندمان آبیاری تا حد متوسط و زیاد، به عنوان یکی از راه‌کارهای سازگاری با تغییر اقلیم مورد بررسی قرار گرفت. گزینه‌های مورد بررسی شامل ارتقاء راندمان آبیاری از ٪۴۵ در شرایط فعلی در چین به ترتیب به راندمان‌های ٪۵۰ و ٪۵۵ و ارتقاء راندمان آبیاری از ٪۵۰ در شرایط فعلی آمریکا به ترتیب به راندمان‌های ٪۶۰ و ٪۶۵)، بودند. براساس این راه‌کارها و مدل‌سازی‌های مربوطه، بهبود عملکرد سیستم‌های کشاورزی دو کشور نسبت به سال پایه (۱۹۹۵) ارزیابی و نتایج آن در جدول ۱ ارائه شده است.

Table 1- The sensitivity of available water to the use of irrigation technologies for the options of increasing irrigation efficiency to a medium and high level under the climate-development scenario of the 2020 horizon compared to the basic conditions (1995) in China and the United States (Rosenzweig et al., 2004)

جدول ۱- حساسیت آب در دسترس به استفاده از فناوری‌های آبیاری برای گزینه‌های افزایش راندمان آبیاری تا حد متوسط و زیاد تحت سناریوی اقلیمی-توسعه‌ای افق ۲۰۲۰ در مقایسه با شرایط پایه (۱۹۹۵) در کشورهای چین و آمریکا (Rosenzweig et al., 2004) *

Country/Index	Year	Level		Country/Index	Year	Level	
China*	1995	Mid	High	USA**	1995	Mid	High
Irrigation Efficiency (%)	45	50	55	Irrigation Efficiency (%)	50	60	65
Runoff (BCM)	67	67	67	Runoff (BCM)	33	23	23
Water Demand (BCM)	31	27	25	Water Demand (BCM)	31	26	23
Demand met (%)	94	95	95	Demand met (%)	89	93	96
Reliability (%)	72	74	75	Reliability (%)	66	73	82
Demand/runoff (%)	47	41	38	Demand/runoff (%)	133	113	100

* Values are only for the Nenjiang,،Dier Songhuajang, and Songhua Jiang areas of China
** Values are only for the lower Missouri region of the USA

نکته قابل توجه در جدول ۱ نقش فناوری‌های آبیاری در کاهش برداشت‌های آب در چین است. ملاحظه می‌شود که در شرایط این کشور، میزان تقاضای آب برابر ۳۱ میلیارد متر مکعب در شرایط پایه، با فرض افزایش رلندمان آبیاری برابر ۵۵ درصد، به رقم ۲۵ میلیارد متر مکعب تقلیل می‌یابد. اما، شاخص‌های درصد تقاضای تأمین شده و اطمینان‌پذیری تغییر محسوسی نمی‌کنند. این بدان معناست که بهبود راندمان آبیاری و به دنبال آن کاهش تقاضای آب کشاورزی، تأثیر کمی (فقط ٪۴ افزایش) در اعتمادپذیری سیستم آب داشته است. به عبارتی برداشت آب کم می‌شود، ولی مصرف تغییری نمی‌کند. علت این امر نیز نقش جریان‌های برگشتی به صورت نفوذ عمقی به آب‌های زیر زمینی و امکان استفاده مجدد از آنها است. یعنی بخش عمده‌ای از تلفات مجددا به سیستم برمی‌گردد. این شرایط تبادل آب سطحی و زیرزمینی کاملاً در کشور ایران نیز صادق است. لازم به ذکر است چنین محاسباتی تنها با استفاده از این نوع مدل‌سازی که در آن هم مقیاس مزرعه و هم حوضه آبریز را یکجا دربر می‌گیرد، امکان پذیر است. ب) راهکار سازگاری با تغییر ارقام محصولات زراعی و تقویم کشت. در مطالعه مذکورنقش ارقام گیاهی با استفاده از مدل‌های خاصی مانند DSSAT که توانایی شبیه‌سازی آن را دارند، برای کشور آمریکا بررسی شد و در آن دو رقم جدید با رقم مورد استفاده جاری مقایسه شدند. نتایج نشان داد که میزان مصرف آب آبیاری ارقام (مانند رقم شماره ۱۴ ذرت در مقایسه با سایر ارقام) با توجه به زمان مطلوب کاشت آنها می‌تواند تفاوت‌های معنی‌دار در مصرف آب آبیاری داشته باشد. به همین ترتیب عملکرد محصول هر رقم مانند رقم شماره ۱۰ ذرت که عملکرد بهتری را داشته است، می‌تواند واکنش‌های مختلفی را به شرایط تغییر اقلیم داشته باشد. بر اساس نتایج تحقیق مذکور، تولید ارقام گیاهی جدید و تغییر در خصوصیات آن‌ها با لحاظ دو مؤلفه عملکرد و آب مصرفی نقش مهمی در سازگاری بخش کشاورزی به اثرات تغییر اقلیم دارد که باید در برنامه‌ریزی‌ها مد نظر قرار گیرند. این راهکار موضوعی است که در فعالیت‌های مشترک سازمان OECD و FAO نیز مورد توجه است (FAO-OECD, 2012).

۵-۲- رویکرد و نقش مدل‌سازی عملکرد محصولات کشاورزی در سازگاری با تغییر اقلیم

با توجه به نتایج ارائه شده در بخش قبلی، ملاحظه می‌شود که برای بررسی راهکارهای سازگاری با تغییر اقلیم در بخش آب کشاورزی، مدل‌سازی گیاهی از اهمیت بالایی برخوردار است. مدل‌های متفاوتی بدین منظور توسعه یافته‌اند. این مدل‌ها از منظرهای مختلف قابل تفکیک هستند. یعنی دسته‌ای که صرفاً عملکرد محصولات را تحت شرایط مختلف اقلیمی (مانند تغییرات غلظت گاز CO_2، دمایی و رطوبتی) شبیه‌سازی می‌کنند که مدل‌های CERES و Aquacrop را می‌توان از این دسته قلمداد کرد و اساساً مقیاس مزرعه‌ای[۳۰] دارند. و دسته‌ای که با توجه به پیچیدگی‌های مدیریت منابع آب و نیاز به مدیریت توامان مزرعه و حوضه آبریز، مدل‌هایی هستند که در دو مقیاس کار می‌کنند که مدلSWAT[۳۱] از آن جمله است. این مدل که متعلق به وزارت کشاورزی آمریکا است در بسیاری از تحقیقات مشابه برای ارزیابی تأثیر تغییر اقلیم بر بخش کشاورزی و ارزیابی راه‌کارهای سازگاری مورد استفاده قرار گرفته است. نمونه‌ای از کاربرد این مدل برای بحث سازگاری شالیزارهای هند در مواجهه با تغییر اقلیم است (Lakshmanan et al., 2011). در تحقیق مذکور با استفاده از این مدل برای طیف متنوعی از تغییرات ممکن در دما، مؤلفه‌های بیلان حوضه و عمکلرد محصولات شبیه‌سازی شده است. همچنین، راه‌کارهای سازگاری متمرکز بر مدیریت آبیاری شامل: ۱) سیستم سنتی آبیاری غرقابی[۳۲]، ۲) مدیریت آبیاری که در آن پس از آبیاری مزرعه دیگر آبیاری نمی‌شود تا مزرعه خشک شود، بطوریکه حتی سله تشکیل می‌شود، ۳) مدیریت مرسوم آبیاری مورد استفاده برای سایر محصولات که هر ۵ تا ۶ روز یکبار آبیاری صورت می‌گیرد، و مزرعه هم غرقاب نمی‌شود (روش هوازی)[۳۳] و ۴) غرقاب کردن مزرعه و رها کردن آن تا خشکی کامل و بعد از ۲ تا ۳ روز آبیاری کردن آن (روش تر و خشک شدن متناوبی)[۳۴]، شبیه‌سازی و ارزیابی شدند. در نمونه دیگری برای بررسی اثرات تغییر اقلیم و راهکارهای سازگاری با آن درحوضه آبریز طشک-بختگان در منطقه فارس، مدل SWAT اصلاح شده برای شرایط این حوضه به نام SWAT-FARS به کاربرده شد. نتایج نشان داد که علیرغم کاهش ۲۳ درصدی "آب قابل برنامه‌ریزی" حوضه به دلیل کمبود بارش‌ها، نه تنها شدت آبیاری در منطقه کاهش نیافته، بلکه به میزان زیادی (حدود ٪۵۳) نیز افزایش داشته است. بر اساس نتایج همین تحقیق، با تغییر الگوی کشت (به طور عمده با حذف کشت برنج) مصرف آب در حوضه ۸۰ میلیون متر مکعب در سال کاهش خواهد یافت. اما تغییر سیستم‌های آبیاری به آبیاری تحت فشار حتی می‌تواند به افزایش مصرف آب برابر با ۲۵۰ میلیون مترمکعب در سال و بروز پدیده "اثربازگشتی"[۳۵] نیز منجر شود (Delavar et al., 2020).

بدین‌ترتیب ملاحظه می‌شود که با استفاده از مدل‌سازی و کاربرد مدل‌های مختلف، اثرات تغییر اقلیم به خوبی قابل شبیه‌سازی بوده و راه‌کارهای سازگاری برای کاهش اثرات تغییر اقلیم، قابل ارزیابی خواهند بود.

۶- نتیجه‌گیری و پیشنهادها

تغییر اقلیم در اکثر مناطق جهان تأثیرات نامطلوبی بر تولید محصولات کشاورزی از جنبه اثرات نامطلوب بر شرایط رشد و فیزیولوژی گیاه به دلیل شرایط تنش گرمایی وتنش‌های آبی و تغییرات در سایر مؤلفه‌های رشد و تولید محصول دارد. این پدیده در نهایت منجر به افت محصولات کشاورزی و ناامنی غذایی، از جنبه‌های دسترسی به مواد غذایی و ثبات پایداری تولید مواد غذایی، می‌شود. البته این اثرات وارده بر کشورهای توسعه یافته به دلیل استفاده از سرمایه و شرایط مالی مناسب و همچنین استفاده از فناوری‌ها، کمتر بوده ولی بر کشورهای در حال توسعه و فقیر زیاد است. رویکردهای اصلی مواجهه با تغییر اقلیم، تسکین و سازگاری با آن هستند. بر اساس مطالعات و با فرض خیلی خوش‌بینانه، کاهش گازهای گلخانه‌ای برای تسکین تغییر اقلیم، باز در درازمدت برای مواجهه با این پدیده به سازگاری با تغییر اقلیم نیاز خواهد بود. در گزینه سازگاری با تغییر اقلیم، رویکردهای اصلی خودسازگاری و سازگاری برنامه‌ریزی شده مطرح هستند. رویکردهای خودسازگاری به طور عمده دارای مزایای رفتارهای مدیریتی پائین به بالا بوده و بیشتر متأثر از شرایط اجتماعی هستند، ولی نتایج آن عمدتاً در مقیاس مزرعه مثبت است. رویکردهای سازگاری برنامه‌ریزی شده بیشتر با اقدامات مدیریتی سازگار با اثرات تغییر اقلیم در مقیاس مزرعه و حوضه آبریز به دنبال بهبود هستند و عموماً رفتار بالا به پائین دارند. البته در صورت انتخاب و یا اعمال راهکارهای نامناسب و مدیریت و هماهنگی نادرست در هر دو نوع سازگاری (به خصوص در سازگاری برنامه‌ریزی شده) عملاً ناسازگاری به وقوع خواهد پیوست.

از رویکردهای کلی جهانی سازگاری با تغییر اقلیم در بخش آب کشاورزی، در ایران به رویکرد افزایش بهره‌وری در استفاده از آب و به طور عمده با کاربرد فناوری‌های نوین نظیر استفاده از آبیاری‌های تحت فشار، توجه و تأکید زیادی شده است. سایر رویکردهای جهانی سازگاری نظیر ایجاد تغییرات در مدیریت سیستم‌های کشاورزی، رویکردهای مبتنی بر استفاده از ابزارهای تصمیم‌سازی و تصمیم‌گیری، و رویکردهای ایجاد تغییرات نهادی و بهبود در روابط و هماهنگی‌های سازمانی نیز وجود دارندکه متأسفانه به این سه مورد آخر در کشور توجه

کمتر و یا در مواردی مانند تغییرات نهادی و ایجاد هماهنگی‌های سازمانی، اصلاً توجه نشده است.

بر اساس این رویکردهای پایه و اصلی، سازمان‌ها و نهادهای جهانی (نظیر فائو) رویکردهای تخصصی‌تری را اتخاذ نموده‌اند که به طور عمده شامل: مسائل مدیریت آب (با تمرکز بر کاهش تبخیر و حفظ رطوبت خاک)، مدیریت خاک و زمین (با تکیه بر تاب‌آوری سیستم‌های کشاورزی، پوشش زمین، کشاورزی حفاظتی، کشاورزی ارگانیک، استفاده از دانش بومی، و ارتقاء مشارکت جوامع محلی)، حفظ تنوع زیستی کشاورزی، ایجاد بازار آب، گسترش بیمه محصولات کشاورزی، استحصال آب و عملیات آبخیزداری و آبخواندارى، بهبود و اصلاح ارقام مقاوم به تنش‌های محیطی (به خصوص تنش‌های آبی)، تغییرات الگوی کشت، و پایش و پیش‌آگاهی اقلیمی، هستند.

در سازگاری با تغییر اقلیم، مدل‌سازی اثرات کمّی تغییر اقلیم بر منابع آب و عملکرد و تولید محصول کشاورزی، و در نهایت آزمون و ارزیابی راهکارهای مختلف سازگاری، نظیر ارقام گیاهی، کاربرد فناوری‌های کاهش مصرف آب، افزایش عملکرد محصول، تغییرات تقاضای آب کشاورزی، بیلان آب، اثرات تغییرات CO_2 بر تولید گیاهی، و غیره، نقش مهمی دارد.

تاکنون در بحث مدیریت آب رویکردها بالا به پائین بوده است. ولی تجارب حاصل از مطالعات جامع مختلف نشان داده است که رویکردهای تلفیقی و به خصوص رویکردهای پائین به بالا اثرات بیشتری در تسّری راهکارهای سازگاری به ذینفعان دارد. بر اساس نتایج و تجارب جهانی و صرفاً از لحاظ نسبت سود به هزینه، راهکارها و اقدامات سازگاری با تغییر اقلیم در حوزه مدیریتی در کوتاه مدت کم هزینه‌تر و اثر گذارتر از راهکارهای سازه‌ای و حتی زراعی هستند.

مدیریت بخش کشاورزی و مدیریت آب در برنامه‌ریزی برای سازگاری با تغییر اقلیم درهم تنیده است. هرگونه راه‌کار سازگاری در بخش آب ناگزیر است تا مدیریت زراعی و آب را از مزرعه تا حوضه توامان مدنظر قرار دهد. تنها با نگاه به این دو مقیاس است که راه‌کارهای سازگاری از طریق بهبود بهره‌وری آب و ارتقاء پایداری و تاب‌آوری سیستم‌ها می‌توانند معنای واقعی خود را داشته و مؤثر باشند.

۷- تقدیر و تشکر

این مقاله برگرفته بخشی از نتایج زیر پروژه کشاورزی طرح پژوهشی ملی با عنوان "تدوین راهبردها و برنامه ملی سازگاری با تغییر اقلیم در بخش آب کشور (گزارش مطالعات بخش اول: مفاهیم، تجارب و رویکردهای سازگاری با تغییر اقلیم–مروری بر اثرات تغییر اقلیم بر کشاورزی جهان و ایران به استناد گزارش‌های بین‌المللی و رویکردهای روش‌شناسی) است، که طی توافقنامه‌ای بین پژوهشکده آب وزارت نیرو و مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی وزارت جهاد کشاورزی و با همکاری پژوهشکده مهندسی آب دانشگاه تربیت مدرس، به اجرا درآمد. لذا از کلیه مسئولین و دست‌اندرکاران این طرح ملی، به خصوص آقای دکتر سعید مرید استاد دانشگاه تربیت مدرس و مدیر طرح که مشورت‌های فنی لازم را در جریان تهیه گزارش مذکور ارائه نمودند، تشکر و قدردانی می‌شود.

پی‌نوشت‌ها

1- Climate Change
2- Intergovernmental Panel on Climate Change
3- United Nations Framework Convention on Climate Change
4- Biomass
5- UK Department of Environment, Food and Rural Areas
6- Human Climate Horizon
7- Off Set
8- Mitigation
9- Adaptation
10- Autonomous Adaptation
11- Planned Adaptation
12- Maladaptation
13- Research and Development
14- Resilience
15- Conservation Agriculture
16- Organic Agriculture
17- Global Land Cover Network
18- Global Terrestrial Observing System
19- World Overview of Conservation Approaches and Techniques
۲۰- اطلاعات و دانش جمع‌آوری شده WOCAT در آدرس پایگاه آن: https://www.wocat.net/en/about-wocat.html قابل دسترسی است.
21- Agro-Biodiversity
22- Global Initiative on Plant Breeding Capacity Build
23- Agro-Ecological
24- Pan African Vision for the Environment
25- Bottom-Up Climate Adaptation Strategies Towards a Sustainable Europe
26- United Nations Framework Convention on Climate Change
27- Demand Met
28- Reliability
۲۹- درصد ایامی که تقاضای سیستم تأمین شده است.
30- Field Scale
31- Soil and Water Assessment Model
32- Flooded
33- Aerobic
34- Alternate Wetting and Drying
35 Rebound Effect

۸- مراجع

Akpan EB and Aye JC (2016) Climate change impacts and adaptations: Does agricultural extension play a role in Jos-South Plateau State Nigeria? International Journal of Research in IT, Management and Engineering, 6(12):5-15

Bates B, Kundzewicz ZW, Wu S, and Palutikof J (2008) Climate change and water. Technical paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC Technical paper VI, IPCC Secretariat, Geneva, 210 p.

Clay E (2002) Food security: Concepts and measurement. Trade reforms and food security: Conceptualizing the linkages: 25-34

Delavar M, Morid S, Morid R, Farokhnia A, Babaeiana F, Srinivasanc R, and Karimid P (2020) Basin-wide water accounting based on modified SWAT model and WA+ framework for better policy making. Journal of Hydrology 585:124762

FAO (2003) Trade Reforms and Food Security: Conceptualizing the Linkages.

FAO (2006) Policy Brief: Food security.

FAO (2016) Climate is changing: Food and agriculture must too. Food and Agriculture Organization of the Unite Nations Activity Work, on the Occasion of the World Food Day, 16 October, 2016

FAO-OECD (2012) Building resilience for adaptation to climate change in the agriculture sector. Proceedings of a Joint FAO/OECD Workshop. 23–24 April 2012

Hatfield JL, Boote KJ, Kimball BA, Wolfe DW, Ort DR, Izaurralde RC, Thomson AM, Morgan JA, Polley HW, Fay PA, Mader TL, Hahn GL (2008) The U.S. Climate Change Science Program. The effects of climate change on agriculture, land resources, water resources, and biodiversity in the United States. U.S. Climate Change Science Program Synthesis and Assessment Product 4.3, Chapter 2: Agriculture, USDA ARS, May 2008

Heydari N (2017a) Adaptation to climate change in agriculture (points, measures, and expert opinions). Journal of Barzegar (Attachment of Water and Irrigation) 47:13-16 (In Persian)

Heydari N (2017b) Climate change and its adaptation measures for agriculture. Water Management in Agriculture 4 (2):13-26 (In Persian)

Heydari N (2019) Visions and approaches for adapting to climate change, from agricultural water management and food security aspects. Water Management in Agriculture 5(1):23-36 (In Persian)

Heydari N (2021) Lessons and measures for adapting to climate change in the Iran's agriculture. Journal of the Bests of Water and Irrigation 1(1):17-21 (In Persian)

Heydari N and Dehghanian SE (2018) Investigation of climate change impacts on agricultural sector of Iran from water resources management perspective. Research report no. 54743, Dec.30, 2018, Agricultural Engineering Research Institute (AERI), 145 p. (In Persian)

Heydari N and Taran F (2025) Effect of climate change on wheat yield and water productivity in Iran and the world. Iranica Journal of Energy & Environment 16(2):353-369

Iglesias A and Garroteb L (2015) Adaptation strategies for agricultural water management under climate change in Europe. Agricultural Water Management 155:113–124

IPCC (2007) Summary for Policy-Makers, in: Parry, M.L., Canziani, O.F., Palutikof, J.P., van der Linden, P.J., Hansen, C.E. (Eds.), Climate change 2007: Impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of Working Group II to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge Univ. Press, Cambridge [et al.], pp. 7-22.

Khorsandi F, Pourang N, Shahifar R, Azizi Zohan AA, and Saraiyan L (2008) Assessing the vulnerability and adaptability of the agriculture, animal husbandry and fisheries sectors to climate change in Iran. A report submitted to the working group on the vulnerability of the agriculture, animal husbandry and fisheries sectors, Environmental Protection Organization, September 2008. (In Persian)

Lakshmanan A, Geethalakshmi V, Srinivasan R, Nagothu US, and Annamalai H (2008) Climate change adaptation strategies in Bhavani Basin using SWAT model. Applied Engineering in Agriculture 27(6):887-893

Parry MA, Rosenzweig C, Iglesias A, Livermore M, and Fischer G (2004) Effects of climate change on global food production under SRES emissions and socio-economic scenarios. Global Environmental Change 14(1):53-67

Rosenzweig C, Strzepek KM, Major DC, Iglesias A, Yates DN, McCluskey A, and Hillel D (2004) Water resources for agriculture in a changing climate: International case studies. Global Environmental Change 14(4):345–360

Tol RSJ (2002) Estimates of the damage costs of climate change: Part 1: Benchmark Estimates.

Environmental and Resource Economics 21(1):47–73

Tubiello F, Schmidhuber J, Howden M, Neofotis PG, Park S, Fernandes E, and Thapa D (2008) Climate change response strategies for agriculture: Challenges and opportunities for the 21st century. Agriculture and Rural Development Discussion Paper 42, The World Bank

UNFCCC (2007) Climate change: impacts, vulnerabilities and adaptation in developing countries. United Nations Framework Convention on Climate Change

Water Research Institute (2016) Development of strategies and national plan for adapting to climate change in the water sector. Study report of the first part: Concepts, experiences and approaches to adaptation to climate change. Water Research Institute, Research Institute of Water Resources Studies and Research, September 2016, 297 p. (In Persian)