



وزارت جهاد کشاورزی
سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی



گزارش تحلیلی

نقش کشاورزی هوشمند-اقلیم در امنیت غذایی

بهاره جمشیدی، بابک ناخدا، وحید کاظم علیلو





وزارت جهاد کشاورزی
سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی

گزارش علمی-تحلیلی

نقش کشاورزی هوشمند-اقلیم در امنیت غذایی

شماره ثبت: ۶۷۴۲۵

تاریخ: ۱۴۰۴/۳/۴



وزارت جهاد کشاورزی
سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی

گزارش علمی-تحلیلی:

نقش کشاورزی هوشمند-اقلیم در امنیت غذایی

نگارش:

بهاره جمشیدی

بابک ناخدا

وحید کاظم‌علیلو

شماره ثبت: ۶۷۴۲۵

وزارت جهاد کشاورزی

سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی

مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی

عنوان گزارش: نقش کشاورزی هوشمند-اقلیم در امنیت غذایی

نگارندگان: بهاره جمشیدی، بابک ناخدا، وحید کاظم علیلو

محل اجراء: ستاد مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی

تاریخ شروع: ۱۴۰۲/۸/۱

مدت اجراء: یک سال و شش ماه

ناشر: مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی

تاریخ انتشار: ۱۴۰۴

فهرست مطالب

عنوان	شماره صفحه
چکیده.....	۱
مقدمه.....	۲
امنیت غذایی و وضعیت آن در جهان و ایران.....	۴
تغییر اقلیم و وضعیت آن در جهان و ایران.....	۶
تاثیر تغییر اقلیم بر امنیت غذایی.....	۱۱
تاثیر بر عملکرد محصول.....	۱۱
تاثیر بر قیمت‌ها، تولید و مصرف.....	۱۲
تاثیر بر مصرف سرانه کالری و سوءتغذیه کودکان.....	۱۳
اهمیت تضمین امنیت غذایی در شرایط تغییر اقلیم از منظر اسناد بالادستی.....	۱۴
کشاورزی هوشمند-اقلیم.....	۱۴
ارکان اصلی کشاورزی هوشمند-اقلیم.....	۱۶
نقش کشاورزی هوشمند-اقلیم در امنیت غذایی.....	۱۸
ارتقای بهره‌وری و فراهمی غذا.....	۱۹
پایداری و سلامت محیط زیست.....	۲۰
تاب‌آوری در برابر شوک‌های اقلیمی.....	۲۲
عدالت اجتماعی-اقتصادی و دسترسی به غذا.....	۲۳
الزامات، چالش‌ها و ملاحظات.....	۲۵
جمع‌بندی.....	۲۶
منابع.....	۲۸
چکیده انگلیسی.....	۳۲

چکیده

در چند دهه اخیر، تولید محصولات کشاورزی به دلیل طیف گسترده‌ای از چالش‌ها که مهم‌ترین آن‌ها تغییرات اقلیمی بوده با مشکلاتی مواجه شده است. چالش اساسی در رویارویی با تغییر اقلیم، تامین نیاز تغذیه‌ای برای تمام انسان‌ها به ویژه فقرا و تضمین امنیت غذایی است. بنابراین، کشاورزان باید با شرایط تغییر اقلیم سازگار شوند و این مستلزم تغییرات عمیق در رویکردهای جاری است. این گزارش، ابتدا به بررسی وضعیت امنیت غذایی و تغییر اقلیم در جهان و ایران، و همچنین تاثیر تغییر اقلیم بر امنیت غذایی می‌پردازد. در ادامه، کشاورزی هوشمند-اقلیم به عنوان راه‌کاری برای دستیابی به امنیت غذایی در مواجهه با تغییر اقلیم معرفی و نقش آن در امنیت غذایی با بیان برخی نمونه‌های موثر بررسی و تحلیل می‌شود. در پایان، الزامات، چالش‌ها و ملاحظات لازم برای توسعه کشاورزی هوشمند-اقلیم تبیین شده است.

واژه‌های کلیدی: امنیت غذایی، تغییر اقلیم، کشاورزان کوچک-مقیاس، کشاورزی هوشمند-اقلیم

مقدمه

پیش‌بینی شده است که جمعیت جهان تا سال ۲۰۵۰ میلادی به ۹٫۷ میلیارد نفر برسد (United Nations, 2019). از این رو، تولید جهانی غذا باید دست‌کم ۷۰ درصد افزایش یابد تا جوابگوی نیاز تغذیه‌ای جمعیت باشد. این در حالی است که تنها بخش کوچکی از سطح کره زمین به دلیل محدودیت‌های مختلف از قبیل دما، منابع آب، شرایط آب و هوایی و اقلیم، کیفیت خاک، و فناوری برای کاربردهای کشاورزی وجود دارد و سطح کل زمین‌های کشاورزی یا مزارع که برای تولید غذا استفاده می‌شوند، از چند دهه اخیر رو به کاهش است (جمشیدی، ۱۴۰۳؛ Zhang et al. 2018). از سوی دیگر، ۸۴ درصد از مزارع جهان را زمین‌های کوچک-مقیاس^۱ که کم‌تر از دو هکتار وسعت دارند، تشکیل می‌دهند (Ritchie, 2021). بخش عمده درآمد خانواده‌های مالکین زمین‌های کوچک-مقیاس^۲ یا کشاورزان کوچک-مقیاس^۳ (SSFs) از طریق کشاورزی است (جمشیدی و همکاران، ۱۴۰۲). کشاورزان کوچک-مقیاس یک سوم غذای جهان را تولید می‌کنند (Ritchie, 2021) و نقش مهمی در پایداری کشاورزی و امنیت غذایی^۴ دارند. این در حالی است که تولیدات کشاورزی به دلیل طیف گسترده‌ای از چالش‌ها که کشاورزان در چند دهه اخیر برای تولید محصولات کشاورزی و دامی با آن‌ها مواجه هستند، با مشکلاتی روبه‌رو شده است. کلیدی‌ترین چالش، تغییرات شدید اقلیمی و آب و هوایی است. این تغییرات، تأثیرات سوء تنش‌های زیستی (علف‌های هرز، آفات و بیماری‌ها) و غیر زیستی (خشکی، گرما، شوری و قلیائیت، فرسایش و تخریب خاک) را بر تولیدات کشاورزی تشدید کرده و ضمن کاهش تولید، مانع رشد کشاورزی شده است (Nhamo and Chikoye, 2017).

چالش بزرگ جهانی در مواجهه با تغییر اقلیم^۵، تامین نیاز تغذیه‌ای برای تمام انسان‌ها به ویژه فقرا و تضمین امنیت غذایی است. ۸۳/۷ درصد از فقرای جهان در مناطق روستایی زندگی می‌کنند. در تمام مناطق جهان، مردم مناطق روستایی فقیرتر از مردم مناطق شهری هستند. ۲۸ درصد از جمعیت روستایی جهان در مقایسه با ۶/۶ درصد از جمعیت شهری، فقیر هستند (OPHI and UNDP, 2024). فقرای روستایی نه‌تنها بیش‌تر در معرض شوک‌های محیطی قرار دارند، بلکه در

1- Small-scale
2- Smallholders
3- Small-scale Farmers
4-Food Security
5-Climate Change

مقابل شوک‌های معیشتی نیز از تاب‌آوری^۱ کم‌تری برخوردارند (باقری فهرجی و همکاران، ۱۳۹۷). مهم‌ترین منبع درآمد مردم مناطق روستایی، کشاورزی است و اغلب آن‌ها را کشاورزان کوچک-مقیاس تشکیل می‌دهند. این در حالی است که بسیاری از کشاورزان کوچک-مقیاس از فقیرترین مردم جهان به شمار می‌روند (Ritchie, 2021). مطالعات مختلف نشان داده است که آن دسته از خانوارهایی که دارای اقتصاد متکی بر کشاورزی هستند و همچنین خانوارهای فقیر، بیش‌تر با ناامنی غذایی^۲ مواجه هستند. همچنین، مطالعات نشان داده است که رابطه مثبت و معنی‌داری بین ابعاد تاب‌آوری در برابر تغییر اقلیم با سطح امنیت غذایی وجود دارد (باقری فهرجی و همکاران، ۱۳۹۷). بنابراین برای کاهش فقر و دستیابی به امنیت غذایی، کشاورزان (به‌ویژه کشاورزان کوچک-مقیاس) در سراسر جهان باید با شرایط تغییر اقلیم سازگار شوند و این مستلزم تغییرات عمیق در رویکردهای جاری است. در این راستا، کشاورزی هوشمند-اقلیم^۳ (CSA) به عنوان یک راه‌کار معرفی شده و در دستور کار توسعه جهانی قرار گرفته است (Rival, 2018).

در کشور ایران، جمعیت فعلی حدود ۸۸ میلیون نفر بوده و پیش‌بینی شده است که تا سال ۱۴۳۰ خورشیدی و بر اساس سناریوی محتمل بعد از همه‌گیری کووید ۱۹ (Covid19)، جمعیت به بیش از ۹۳ میلیون نفر برسد (مرکز آمار ایران، ۱۴۰۰). بنابراین، ارتقای تولید محصولات کشاورزی برای تضمین امنیت غذایی در کشور ضرورت دارد. این در حالی است که مساحت زمین‌های قابل کشاورزی در شش دهه گذشته کاهش قابل توجهی داشته است و بیش‌تر آن‌ها نیز با مشکلاتی از قبیل شوری، تراکم، وجود سنگ‌ریزه و یا فقر مواد آلی مواجه هستند و بهره‌وری آن‌ها کم است. در ایران، میزان فرسایش خاک از نرخ فرسایش خاک و استاندارد جهانی نیز به مراتب بیش‌تر است. همچنین، ایران به دلیل موقعیت جغرافیایی و اقلیمی خاص، سهم اندکی از بارش‌ها دارد و منابع آب شیرین آن برای کاربردهای کشاورزی محدود است (جمشیدی، ۱۴۰۳). از سوی دیگر، بر اساس مطالعات تغییر اقلیم، پیش‌بینی شده است که استان‌های کشور با افزایش دمایی بین ۳ تا ۳/۶ درجه سلسیوس تا دهه ۲۱۰۰ میلادی مواجه شوند (عباسی و همکاران، ۱۳۹۱) که می‌تواند تضمین امنیت غذایی را به‌ویژه برای روستاییان و کشاورزان کوچک-مقیاس با مشکل جدی مواجه کند. به عنوان مثال، نتایج مطالعه‌ای در استان یزد نشانگر وضعیت نامناسب امنیت غذایی و تاب‌آوری خانوارهای روستایی در برابر تغییر اقلیم بود. به‌گونه‌ای که، از میان خانوارهای روستایی شهرستان یزد تنها ۲۳/۱ درصد از آن‌ها دارای امنیت غذایی، ۳۳/۷۹ درصد ناامنی غذایی بدون

1-Resilience

2-Food Insecurity

3-Climate Smart Agriculture

گرسنگی، ۲۹/۳۱ درصد ناامنی غذایی متوسط با گرسنگی متوسط، و ۱۳/۸ درصد نیز دارای ناامنی غذایی با گرسنگی شدید بودند. بنابراین، ۷۶/۹ درصد در طیف ناامنی غذایی قرار داشتند که می‌تواند به دلیل تاب‌آوری کم خانوارهای مورد مطالعه باشد؛ چون ۷۶/۲ درصد از روستاییان مورد مطالعه سطح تاب‌آوری متوسط و پایینی داشتند (باقری فهرجی و همکاران، ۱۳۹۷). بنابراین، توجه به کشاورزی هوشمند-اقلیم به عنوان راه‌کاری برای تاب‌آوری در شرایط تغییر اقلیم و تضمین امنیت غذایی در کشور به یک ضرورت تبدیل شده است.

هدف از این گزارش، بررسی نقش کشاورزی هوشمند-اقلیم در دستیابی به امنیت غذایی در شرایط تغییر اقلیم است. برای این منظور، ابتدا مفاهیم امنیت غذایی و تغییر اقلیم به همراه وضعیت آن‌ها در جهان و ایران تبیین می‌شود. سپس، اثرات تغییر اقلیم بر امنیت غذایی بررسی و اهمیت تضمین امنیت غذایی در شرایط تغییر اقلیم از منظر اسناد بالادستی کشور مطرح می‌شود. در ادامه، مفهوم کشاورزی هوشمند-اقلیم به عنوان راه‌کاری برای تضمین امنیت غذایی در شرایط تغییر اقلیم به همراه ارکان اصلی آن ارائه می‌شود. همچنین، نقش کشاورزی هوشمند-اقلیم و شیوه‌های آن در امنیت غذایی با بیان نمونه‌هایی معرفی و در پایان الزامات، چالش‌ها و ملاحظات لازم برای توسعه کشاورزی هوشمند-اقلیم ارائه می‌شود.

امید است این گزارش به تصمیم‌گیری مدیران و سیاست‌گذاران بخش کشاورزی برای توسعه اصولی و دانش‌بنیان کشاورزی هوشمند-اقلیم در کشور با حمایت ویژه از کشاورزان کوچک-مقیاس که نقش مهمی در امنیت غذایی کشور دارند برای پذیرش شیوه‌های آن و تاب‌آوری در برابر تغییر اقلیم کمک کند.

امنیت غذایی و وضعیت آن در جهان و ایران

طبق تعریف سازمان خوار و بار جهانی (فائو) و اجلاس جهانی غذایی، امنیت غذایی زمانی وجود دارد که همه مردم در هر زمان به غذای کافی، سالم و مغذی دسترسی فیزیکی، اجتماعی و اقتصادی داشته باشند؛ به‌طوری‌که این دسترسی، نیازها و ترجیحات غذایی آن‌ها را برای یک زندگی فعال و سالم برآورده کند (World Food Summit, 1996). بنابراین، زمانی که افراد دسترسی فیزیکی، اجتماعی یا اقتصادی کافی به مواد غذایی طبق تعریف بالا نداشته باشند، ناامنی غذایی وجود دارد.

امنیت غذایی زیربنای امنیت اقتصادی، اجتماعی، فرهنگی و سیاسی هر کشور بوده و دارای چهار رکن اصلی شامل: «فراهمی غذا»، «دسترسی به غذا»، «سلامت و مصرف غذا»، و «تاب‌آوری (ثبات و پایداری)» است (دبیرخانه شورای عالی انقلاب فرهنگی، ۱۴۰۲؛ FAO, 2006):

فراهمی غذا: فراهمی غذا به معنی در دسترس بودن مقادیر کافی غذا با کیفیت مناسب است که از طریق تولید داخلی یا واردات تامین می‌شود. به عبارت دیگر، مفهوم فراهمی غذا به تامین کمی و کیفی غذای مورد نیاز آحاد جامعه با بهره‌گیری از تولید داخل، خالص تجارت، ذخایر و کشت فراسرزمینی برمی‌گردد.

دسترسی به غذا: دسترسی به غذا به معنی دسترسی افراد به منابع (حقوق) کافی برای به‌دست آوردن غذاهای مناسب برای یک رژیم غذایی مغذی است. در موضوع دسترسی به غذا، دسترسی اقتصادی و دسترسی فیزیکی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. دسترسی اقتصادی به غذا به معنی داشتن قدرت خرید اقلام سبد غذایی مطلوب برای آحاد مردم، و دسترسی فیزیکی به غذا به مفهوم عرضه کافی و توزیع مناسب و قابل دسترس اقلام سبد غذایی مطلوب است.

مصرف و سلامت غذا: مصرف غذا باید از طریق رژیم غذایی کافی، آب تمیز، و مراقبت‌های بهداشتی برای رسیدن به وضعیتی از سلامت تغذیه‌ای که در آن تمام نیازهای فیزیولوژیکی برآورده شود، باشد. این موضوع، اهمیت نهادهای غیرغذایی را در امنیت غذایی نشان می‌دهد. به عبارت دیگر، رکن سوم امنیت غذایی به الگوی مصرف و ویژگی‌های این الگو وابسته است. مفهوم الگوی مصرف غذا به فرایند بررسی، خرید و مصرف مواد غذایی برای رفع نیازها یا برآوردن خواسته‌های غذایی متناسب با بوم، مزاج و نیازهای انسان برمی‌گردد. از دیگر عوامل اثرگذار بر رکن سوم امنیت غذایی می‌توان به سلامت غذا و سوءتغذیه اشاره کرد. سلامت غذا به معنی اصول و اقدامات لازم برای تولید، فرآوری، نگهداری، انبارداری، حمل‌ونقل، تبادل و مصرف مواد غذایی برای حفظ سلامت آن است. سلامت غذا در دو رکن فراهمی غذا و دسترسی به غذا نیز بسیار بااهمیت است. سوءتغذیه به مفهوم عدم تعادل در دریافت کمی یا کیفیت مطلوب غذا، اختلال در سلامت و ایمنی غذا و یا برهم خوردن موازنه سبد غذایی مطلوب است که شامل هر دو حالت کمبود و زیاده‌بود کمی غذا و یا گروه‌های اصلی مواد غذایی می‌شود.

تاب‌آوری (ثبات و پایداری): برای امنیت غذایی، یک جمعیت، خانواده یا فرد باید همیشه به غذای کافی دسترسی داشته باشد. آن‌ها نباید در نتیجه شوک‌های ناگهانی (مانند بحران اقتصادی یا آب و هوایی) یا رویدادهای چرخه‌ای (مانند

ناامنی فصلی غذایی) خطر از دست دادن دسترسی به غذا را داشته باشند. بنابراین، رکن چهارم امنیت غذایی و مفهوم تاب‌آوری (ثبات و پایداری) در سه رکن فراهمی غذا، دسترسی به غذا و مصرف و سلامت غذا است. در این راستا، پایداری منابع به معنی حفظ و بهبود کمیت و کیفیت منابع یک زیست‌بوم در طول زمان است و مفهوم تاب‌آوری منابع به توانایی برگشت‌پذیری کمیت و کیفیت منابع یک زیست‌بوم پس از وارد آمدن شوک یا نوسان ناشی از عوامل داخلی یا خارجی برمی‌گردد.

بر اساس گزارش فائو در خصوص وضعیت امنیت غذایی و تغذیه در جهان، حدود ۲۸/۹ درصد از جمعیت جهان (۲/۳۳ میلیارد نفر) در سال ۲۰۲۳ میلادی از ناامنی غذایی متوسط یا شدید برخوردار بودند، به این معنی که آن‌ها به‌طور منظم به غذای کافی دسترسی نداشتند. این تخمین‌ها شامل ۱۰/۷ درصد از جمعیت (۸۶۴ میلیون نفر) می‌شود که در سطوح شدید ناامنی غذایی بودند که خطرات جدی برای سلامت و رفاه آن‌ها به همراه داشت. بر اساس این گزارش، ناامنی غذایی زنان را بیش از مردان تحت تاثیر قرار می‌دهد و در سطح جهانی و در همه مناطق به جز آمریکای شمالی و اروپا، شیوع ناامنی غذایی در مناطق روستایی به طور مداوم بیش از مناطق شهری است (FAO et al. 2024).

به این ترتیب، امنیت غذایی به عنوان عامل محوری برای توسعه پایدار جوامع محسوب می‌شود و تمرکز بر آن در مناطق روستایی (به‌طور ویژه در کشورهای در حال توسعه) از اهمیت زیادی برخوردار است. بررسی وضعیت امنیت غذایی در مناطق روستایی ایران نشان داده است که ۸۰ درصد روستاییان از ناامنی غذایی رنج می‌برند. به‌گونه‌ای که، ۲۵ درصد از روستاییان در وضعیت ناامنی غذایی پایین، ۴۲ درصد در وضعیت ناامنی غذایی متوسط و ۱۳ درصد در وضعیت ناامنی غذایی شدید به سر می‌برند (Ahmadi Dehrashid et al. 2021).

تغییر اقلیم و وضعیت آن در جهان و ایران

مفهوم تغییر اقلیم به تغییرات طولانی‌مدت دما و الگوهای آب و هوایی برمی‌گردد. به عبارت دیگر، به تغییر وضعیت اقلیم معمول یک منطقه که می‌تواند برحسب تغییر متغیرهای آب و هوایی (دما، بارش، غلظت دی‌اکسید کربن) و یا نوسانات ویژگی‌های آب و هوایی که پیش‌تر (در بازه طولانی‌مدت چنددهه‌ساله و بیش‌تر) از ثبات برخوردار بوده‌اند، تغییر اقلیم گفته می‌شود (Lipper et al. 2014). این تغییرات اگر به دلیل تغییر در فعالیت خورشید یا فوران‌های آتشفشانی بزرگ باشد، طبیعی است ولی از دهه ۱۸۰۰ میلادی، فعالیت‌های انسانی محرک اصلی تغییرات اقلیمی بوده که عمدتاً به

دلیل سوزاندن سوخت‌های فسیلی مانند زغال سنگ، نفت و گاز بوده است. سوزاندن سوخت‌های فسیلی باعث انتشار گازهای گلخانه‌ای^۱ (GHG) می‌شود که مانند پتویی پیچیده به دور کره زمین عمل می‌کنند، گرمای خورشید را به دام می‌اندازند و دمای سطح زمین را افزایش می‌دهند که به این پدیده "گرمایش جهانی"^۲ گفته می‌شود. گازهای گلخانه‌ای اصلی که باعث تغییرات آب و هوایی می‌شوند عبارتند از دی‌اکسید کربن و متان. این گازها به عنوان مثال از مصرف بنزین برای رانندگی خودرو یا زغال سنگ برای گرم کردن ساختمان ناشی می‌شوند. تخریب جنگل‌ها نیز می‌تواند دی‌اکسید کربن را آزاد کند. انرژی، صنعت، حمل‌ونقل، ساختمان‌ها، کشاورزی و کاربری اراضی از جمله بخش‌های اصلی تولید گازهای گلخانه‌ای هستند (United Nations, 2025).

از آغاز قرن بیست و یکم، انتشار جهانی گازهای گلخانه‌ای روندی افزایشی را دنبال کرده که عمدتاً به دلیل افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای از کشور چین و سایر اقتصادهای نوظهور بوده است. در نتیجه، غلظت گازهای گلخانه‌ای در جو به طور قابل توجهی افزایش یافته و اثر گلخانه‌ای طبیعی را افزایش داده که ممکن است بر زندگی روی زمین تأثیر منفی بگذارد. طبق آخرین داده‌ها، انتشار جهانی گازهای گلخانه‌ای در سال ۲۰۲۳ میلادی به ۵۳ گیگاتن معادل دی‌اکسید کربن (بدون بخش کاربری اراضی، تغییر کاربری اراضی و جنگل‌داری) رسیده است. داده‌های سال ۲۰۲۳ میلادی نشان‌دهنده بالاترین سطح ثبت‌شده انتشار و افزایش ۱/۹ درصدی در مقایسه با سطوح سال ۲۰۲۲ میلادی است. انتشار گاز دی‌اکسید کربن فسیلی که بخش عمده گازهای گلخانه‌ای است، برخلاف توافق‌نامه‌ها در خصوص کاهش تغییر اقلیم^۳، همچنان در سطح جهانی در حال افزایش بوده و انتشار جهانی گازهای گلخانه‌ای از بخش کشاورزی در سال ۲۰۲۳ میلادی نسبت به سال ۱۹۹۰ میلادی، ۲۰ درصد افزایش داشته است (European Commission et al. 2024).

ایران در بین بزرگ‌ترین منتشرکنندگان گازهای گلخانه‌ای در جهان قرار دارد. بر اساس آخرین داده‌های ارائه‌شده توسط اتحادیه اروپا در پایگاه داده انتشارات برای تحقیقات جوی جهانی^۴ (EDGAR)، انتشار گازهای گلخانه‌ای (بدون بخش کاربری اراضی، تغییر کاربری اراضی و جنگل‌داری) در ایران در سال ۲۰۲۳ میلادی حدود سه برابر این انتشارات در سال ۱۹۹۰ میلادی بوده و تقریباً ۱/۹ درصد از کل انتشارات جهانی را تشکیل داده است. همچنین، انتشار گازهای

1- Greenhouse Gas

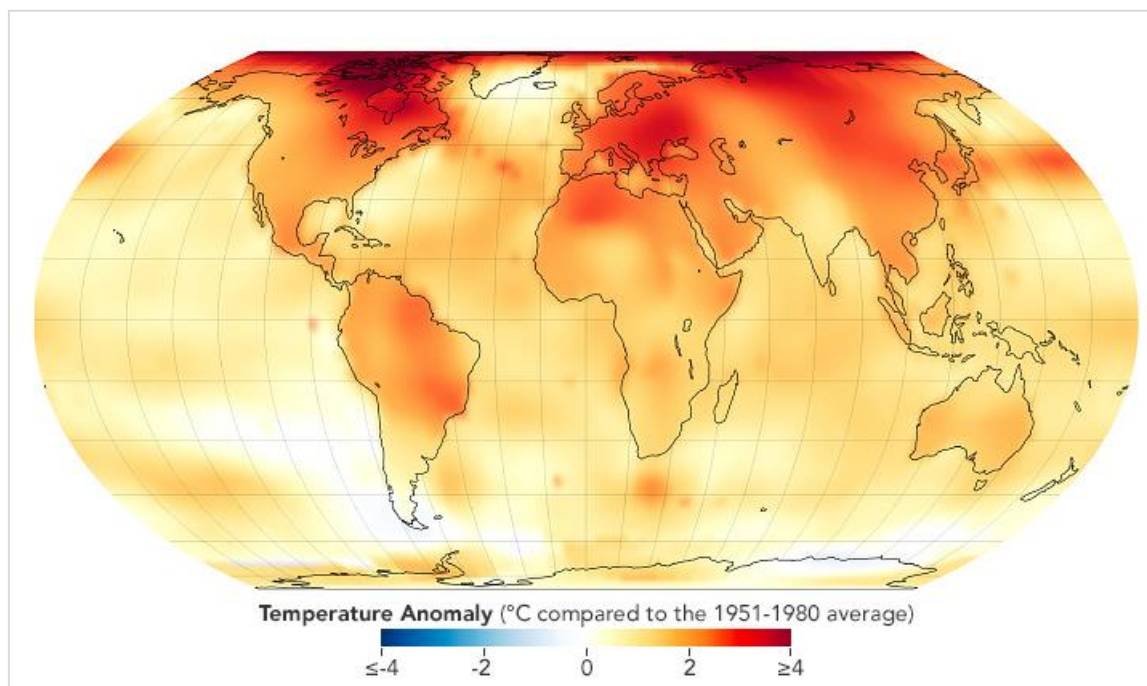
2- Global Warming

3- Climate Change Mitigation

4- Emissions Database for Global Atmospheric Research

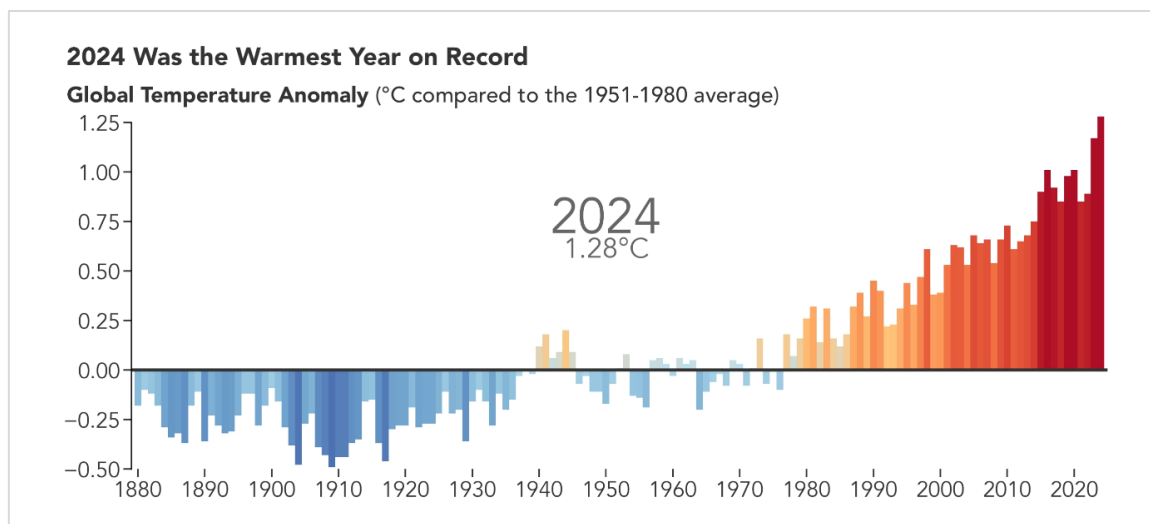
گلخانه‌ای از بخش کشاورزی ایران در سال ۲۰۲۳ میلادی نسبت به سال ۱۹۹۰ میلادی، ۱۳ درصد افزایش داشته است (European Commission et al. 2024).

بر اساس تجزیه و تحلیل انجام‌شده توسط دانشمندان ناسا، میانگین دمای سطح زمین در سال ۲۰۲۴ میلادی بیش‌ترین میانگین دمای ثبت‌شده و سال ۲۰۲۴ میلادی گرم‌ترین سال از زمان شروع ثبت دما در سال ۱۸۸۰ میلادی بوده است. دمای جهانی در سال ۲۰۲۴ میلادی، ۱٫۲۸ درجه سلسیوس بیش از سطح پایه آژانس در قرن بیستم (۱۹۵۱-۱۹۸۰ میلادی) بوده است. دانشمندان ناسا هم‌چنین تخمین زده‌اند که زمین در سال ۲۰۲۴ میلادی حدود ۱٫۴۷ درجه سلسیوس گرم‌تر از میانگین دمای سال‌های ۱۸۵۰ تا ۱۹۰۰ میلادی بوده است. بیش از نیمی از سال ۲۰۲۴ میلادی، میانگین دما بیش از ۱٫۵ درجه سلسیوس بیش از سطح پایه بوده و میانگین سالانه، با عدم قطعیت‌های ریاضی، ممکن است برای اولین بار از این سطح فراتر رفته باشد (NASA Earth Observatory, 2025). شکل ۱ نقشه ناهنجاری دمای جهانی در سال ۲۰۲۴ میلادی را نشان می‌دهد. این نقشه دمای مطلق را نشان نمی‌دهد بلکه نشان می‌دهد که هر منطقه از زمین در مقایسه با میانگین سال‌های ۱۹۵۱ تا ۱۹۸۰ میلادی چقدر گرم‌تر یا خنک‌تر بوده است. در این نقشه، افزایش شدید دمای کشور ایران در سال ۲۰۲۴ میلادی و در مقایسه با سال‌های ۱۹۵۱ تا ۱۹۸۰ میلادی به خوبی قابل مشاهده است.



شکل ۱- میانگین دمای سطح زمین در سال ۲۰۲۴ میلادی (NASA Earth Observatory, 2025)

شکل ۲ نمودار میله‌ای ناهنجاری دما را از سال ۱۸۸۰ تا ۲۰۲۴ میلادی نشان می‌دهد که در آن، مقادیر نشان‌دهنده میانگین دمای سطح در کل کره زمین برای هر سال بوده و روند افزایشی دمای سطح کره زمین طی این سال‌ها کاملاً مشهود است.

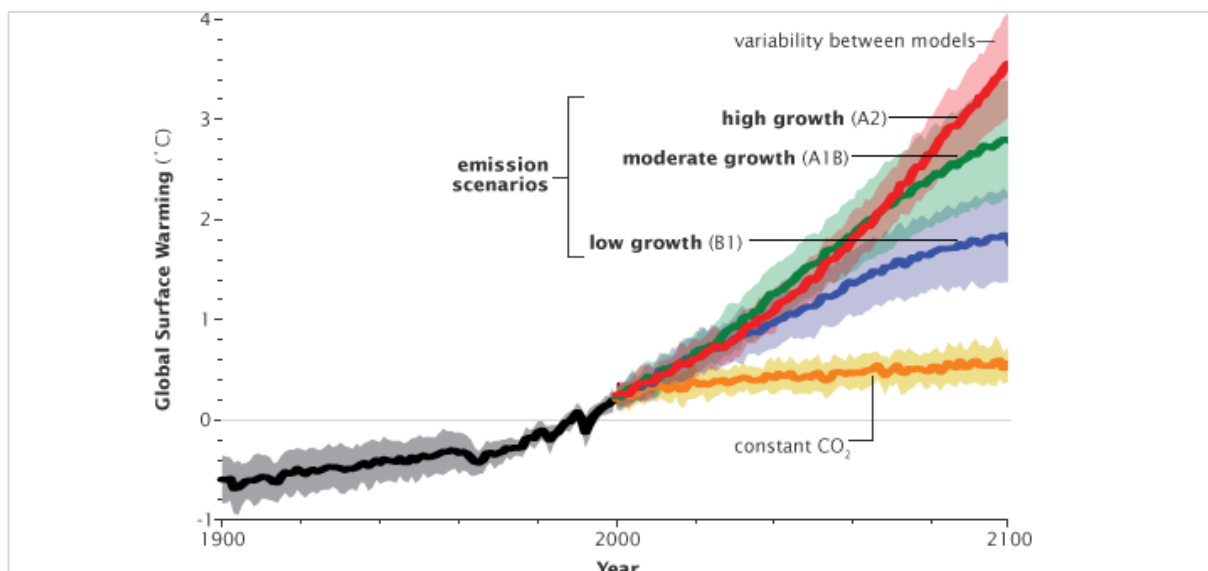


شکل ۲- روند تغییرات دمای جهانی از شروع ثبت دما تا سال ۲۰۲۴ میلادی (NASA Earth Observatory, 2025)

همان‌گونه که پیش‌تر گفته شد، افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای به گرمایش بیش‌تر زمین منجر می‌شود. به‌منظور بررسی بهتر علل و اثرات گرمایش جهانی و پیش‌بینی روند گرم‌شدن زمین در آینده، دانشمندان مدل‌های آب و هوایی (شبیه‌سازی‌های رایانه‌ای سیستم آب و هوا) را توسعه می‌دهند که به درک بهتر آب و هوای فعلی زمین و پیش‌بینی آب و هوای آینده کمک می‌کند.

بر اساس شبیه‌سازی‌های مدل توسط هیات بین دولتی تغییر اقلیم^۱ (IPCC)، پیش‌بینی شده است که با مصرف سوخت‌های فسیلی در جهان، غلظت گازهای گلخانه‌ای همچنان افزایش و میانگین دمای سطح زمین نیز همراه با آن افزایش یابد. بر اساس طیف وسیعی از سناریوهای انتشار قابل قبول (بسته به سرعت رشد انتشار دی‌اکسید کربن)، دمای متوسط سطح زمین ممکن است تا پایان قرن بیست و یکم بین ۲ تا ۶ درجه سلسیوس افزایش یابد (شکل ۳). سناریوهایی که فرض می‌کنند مردم بیش‌تر و بیش‌تر سوخت‌های فسیلی می‌سوزانند، تخمین‌ها را در انتهای بالای محدوده دما ارائه می‌کنند، در حالی که سناریوهایی که فرض می‌کنند انتشار گازهای گلخانه‌ای به آرامی رشد خواهند کرد، پیش‌بینی دمای

پایین‌تری را ارائه می‌کنند. خط نارنجی در شکل ۳، تخمینی از دمای جهانی را با فرض این که گازهای گلخانه‌ای در سطح سال ۲۰۰۰ میلادی باقی بمانند، ارائه می‌دهد (NASA Earth Observatory, 2010).



شکل ۳- پیش‌بینی گرمایش جهانی تا پایان قرن بیست و یکم (NASA Earth Observatory, 2010)

با توجه به نیاز به رشد کشاورزی برای امنیت غذایی، پیش‌بینی می‌شود که انتشار گازهای گلخانه‌ای از بخش کشاورزی نیز هم‌چنان افزایش یابد. در سال ۲۰۱۶ میلادی، ۳۱ درصد از انتشار جهانی گازهای گلخانه‌ای ناشی از فعالیت‌های انسانی از سیستم‌های کشاورزی و غذا شامل تخریب جنگل‌ها، دامپروری، مدیریت خاک و تغذیه گیاهان، و از تلفات و ضایعات مواد غذایی گزارش شد (FAO, 2025).

همان‌گونه که پیش‌تر نیز گفته شد، پیش‌بینی شده است که تا پایان قرن بیست و یکم استان‌های کشور با افزایش دمایی بین ۳ تا ۳/۶ درجه سلسیوس مواجه شوند (عباسی و همکاران، ۱۳۹۱). افزون بر گرمایش جهانی، اثرات جانبی آن و تغییرات اقلیمی نیز تا پایان قرن بیست و یکم می‌شود. بنابراین انتظار می‌رود که توالی و شدت حوادثی مانند خشک‌سالی، بارندگی‌های شدید، سیل و دماهای بیشینه زیاد در بسیاری از مناطق جهان از آن‌چه در حال حاضر رخ می‌دهد، بیش‌تر شود. هم‌چنین، پیش‌بینی می‌شود که افزایش میانگین و دماهای بیشینه فصلی با میانگین بارندگی بیش‌تر، ادامه یابد. با این حال، این اثرات به طور مساوی توزیع نمی‌شوند. کمبود آب و خشک‌سالی نیز در مناطق خشک به احتمال زیاد تا پایان قرن افزایش می‌یابد (Lipper et al. 2014).

در رویارویی با پدیده تغییر اقلیم، دو رویکرد در دستور کار IPCC قرار دارد که شامل سازگاری با تغییر اقلیم^۱ و کاهش تغییر اقلیم است. بر اساس تعریف IPCC، سازگاری شامل مجموعه‌ای از اقدامات برای تعدیل آسیب یا بهره‌برداری از فرصت‌های مفید در پاسخ به تغییر اقلیم است (Antle, 2010) و کاهش تغییر اقلیم به کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای اشاره دارد. فائو به عنوان بخشی جدایی‌ناپذیر از دستور کار ۲۰۳۰ میلادی و اهداف توسعه پایدار، از کشورها برای کاهش و سازگاری با اثرات منفی تغییر اقلیم از طریق طیف گسترده‌ای از برنامه‌ها و پروژه‌های عملی و مبتنی بر پژوهش حمایت می‌کند.

تاثیر تغییر اقلیم بر امنیت غذایی

اثرات تغییر اقلیم بر کشاورزی و رفاه انسان‌ها از سه جنبه می‌تواند بررسی شود: (۱) تاثیر بر عملکرد محصول؛ (۲) تاثیر بر پیامدها شامل قیمت‌ها، تولید و مصرف؛ و (۳) تاثیر بر مصرف سرانه کالری و سوءتغذیه کودکان.

تاثیر بر عملکرد محصول

تغییر اقلیم به دلیل تغییر الگوهای بارندگی و دماهای غیر قابل پیش‌بینی بر چرخه رشد محصول، فراوانی رویدادهای شدید آب و هوایی و بلایایی مانند خشک‌سالی، سیل، شیوع آفات و بیماری‌ها، و اسیدی شدن اقیانوس‌ها تاثیر دارد. بنابراین، تولیدات کشاورزی در برابر تغییر اقلیم آسیب‌پذیر است. افزایش دما و تغییرات در الگوهای بارندگی اثرات مستقیمی بر عملکرد و کیفیت محصولات و همچنین اثرات غیرمستقیمی از طریق تغییر در دسترسی به آب آبیاری دارد که می‌تواند مانع رشد کشاورزی شود (Nelson et al. 2009; Yuan et al. 2024).

بر اساس گزارش IPCC، تغییر اقلیم بر تولید محصولات کشاورزی در چندین منطقه جهان تأثیر می‌گذارد که اثرات منفی آن رایج‌تر از اثرات مثبت است و کشورهای در حال توسعه به شدت و بیش‌تر در برابر اثرات منفی آسیب‌پذیر هستند (Lipper et al. 2014).

تاکنون گزارش‌هایی مبنی بر این‌که تغییر اقلیم در جهان عملکرد محصولاتی مانند ذرت و گندم را به ترتیب ۳/۸ و ۵/۵ درصد کاهش داده، ارائه شده است. همچنین، پژوهشگران هشدار داده‌اند که اگر دما از آستانه‌های فیزیولوژیک بحرانی فراتر رود، بهره‌وری محصول به شدت کاهش می‌یابد (Lipper et al. 2014). بررسی واکنش‌های عملکرد غلات اصلی

مهم جهانی (گندم، ذرت، ارزن، سورگوم و برنج) به دماهای گرم‌تر، افزایش دی‌اکسید کربن و تغییرات در دسترس بودن آب نشان داده که تحت شدیدترین سناریوی تغییر اقلیم و بدون سازگاری، کاهش عملکرد محصول شبیه‌سازی شده بین ۷ تا ۲۳ درصد است (Rezaei et al. 2023).

نتایج مطالعات پژوهشگران در موسسه بین‌المللی تحقیقات برنج (IRRI) در فیلیپین و موسسه بین‌المللی تحقیقات ذرت و گندم (CIMMYT) در مکزیک نشان داده است که به ازای هر یک درجه افزایش دما در شب، تولید محصول غلات مانند برنج و گندم ۱۰ درصد کاهش می‌یابد (Peng et al. 2004). این موضوع عمدتاً به دلیل افزایش تنفس نوری در شب و مصرف مواد فتوسنتزی اتفاق می‌افتد.

نتایج یک مطالعه موردی کیفی روی تولیدکنندگان توت‌فرنگی و کارشناسان کشاورزی در استان کردستان نشان داده که تغییر اقلیم باعث کاهش عملکرد توت‌فرنگی و افزایش فسادپذیری میوه‌ها شده است (Memarbashi et al. 2022).

تأثیر بر قیمت‌ها، تولید و مصرف

اثرات بیوفیزیک تغییر اقلیم بر کشاورزی سبب تغییراتی در قیمت‌ها و تولید هم‌چنین تقاضای غذا، مصرف غذا و تجارت می‌شود. پیش‌بینی شده است که بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۵۰ میلادی حتی در سناریوی بدون تغییر اقلیم به دلیل رشد جمعیت و درآمد و تقاضای سوخت‌های زیستی، قیمت‌های جهانی برای محصولات مهم کشاورزی شامل برنج، گندم، ذرت و سویا افزایش می‌یابد (۶۲ درصد افزایش قیمت برنج، ۶۳ درصد افزایش قیمت ذرت، ۷۲ درصد افزایش قیمت سویا، و ۳۹ درصد افزایش قیمت گندم). این در حالی است که تغییر اقلیم منجر به افزایش بیش‌تر قیمت این محصولات خواهد شد (۳۲ تا ۳۷ درصد افزایش قیمت برای برنج، ۵۲ تا ۵۵ درصد افزایش قیمت برای ذرت، ۱۱ تا ۱۴ درصد افزایش قیمت برای سویا، و ۹۴ تا ۱۱۱ درصد افزایش قیمت برای گندم). از سوی دیگر، به دلیل افزایش قیمت خوراک دام ناشی از تغییر اقلیم، قیمت گوشت نیز بیش‌تر می‌شود. به عنوان مثال، قیمت گوشت گاو تا سال ۲۰۵۰ میلادی و بدون تغییر اقلیم ۶۰ درصد افزایش خواهد داشت که تغییر اقلیم باعث می‌شود این قیمت تا ۳۳ درصد بیش‌تر شود. با توجه به این که کشاورزان به تغییر قیمت‌ها با تغییر در ترکیب محصول و استفاده از نهاده‌ها واکنش نشان می‌دهند، اثرات تغییر اقلیم بر قیمت محصولات کشاورزی می‌تواند بر تولید نیز اثرات منفی بگذارد که این اثرات به‌ویژه در جنوب صحرای آفریقا و جنوب آسیا مشهود خواهد بود و از نظر میانگین تغییرات تولید، کشورهای در حال توسعه نسبت به کشورهای توسعه‌یافته وضعیت

بدتری خواهند داشت. از سوی دیگر، با تغییر در قیمت‌ها و تولید، تقاضا و مصرف محصولات نیز تحت تاثیر قرار می‌گیرد. بر اساس نتایج مدل‌های پیش‌بینی، تغییر اقلیم مصرف گوشت را تا سال ۲۰۵۰ میلادی اندکی کاهش خواهد داد ولی باعث کاهش چشم‌گیر در مصرف غلات خواهد شد (Nelson et al. 2009).

تاثیر بر مصرف سرانه کالری و سوءتغذیه کودکان

اثرات تغییر اقلیم بر مصرف محصولات کشاورزی که پیش‌تر به آن اشاره شد، روی مصرف سرانه کالری نیز تاثیر خواهد گذاشت. به‌طوری‌که، کاهش مصرف غلات تا سال ۲۰۵۰ میلادی به کاهش قابل توجهی در دسترسی به کالری در سراسر جهان منجر می‌شود. در شرایط تغییر اقلیم در سال ۲۰۵۰ میلادی، در دسترس بودن کالری نه تنها کمتر از شرایط بدون تغییر اقلیم در سال ۲۰۵۰ میلادی است، بلکه نسبت به سطح آن در سال ۲۰۰۰ میلادی نیز در سراسر جهان کاهش خواهد یافت. این کاهش برای یک مصرف‌کننده سطح متوسط در یک کشور در حال توسعه تا ۱۰ درصد نسبت به سال ۲۰۰۰ میلادی پیش‌بینی شده است. افزایش تعداد کودکان زیر ۵ سال مبتلا به سوءتغذیه از دیگر تاثیرات تغییر اقلیم در سال ۲۰۵۰ میلادی نسبت به سناریوی بدون تغییر اقلیم است (Nelson et al. 2009).

به طور کلی در خصوص تاثیر تغییر اقلیم بر امنیت غذایی می‌توان گفت که افزایش تغییرات آب و هوایی، ریسک‌های تولید را تشدید می‌کند و توانایی رویارویی کشاورزان با این پدیده را به چالش می‌کشد. تغییرات اقلیمی با کاهش تولید و درآمد کشاورزی، همچنین افزایش ریسک و اختلال در بازار، دسترسی به غذا را برای جمعیت‌های روستایی و شهری و به تبع آن امنیت غذایی را تهدید می‌کند. در این راستا، کشاورزان کوچک-مقیاس و تولیدکنندگان فقیر به‌ویژه گروه‌های قومی فاقد زمین و حاشیه‌نشین آسیب‌پذیرتر هستند. تاثیر رویدادهای شدید آب و هوایی می‌تواند طولانی‌مدت باشد، زیرا قرار گرفتن در معرض خطر و افزایش عدم اطمینان بر انگیزه‌های سرمایه‌گذاری تاثیر می‌گذارد و احتمال به‌کارگیری نوآوری‌های موثر در مزرعه را کاهش می‌دهد، در حالی که فعالیت‌های کم‌خطر و کم‌بازده را افزایش می‌دهد (Lipper et al. 2014). بنابراین، تغییر اقلیم توانایی تضمین امنیت غذایی جهانی، ریشه‌کن کردن فقر و دستیابی به توسعه پایدار را تهدید می‌کند.

اهمیت تضمین امنیت غذایی در شرایط تغییر اقلیم از منظر اسناد بالادستی

مطابق سند ملی دانش‌بنیان امنیت غذایی کشور، توجه به موضوع امنیت غذایی در شرایط پرتنش دهه‌های اخیر که کشور با چالش‌هایی مانند تغییر اقلیم و گرمایش جهانی، کاهش تنوع زیستی، محدودیت‌های کمی و کیفی منابع آب و خاک و لزوم حصول اطمینان از امنیت آبی، همه‌گیری بیماری‌ها و تضادهای سیاسی بین کشورها، و افزایش جهانی قیمت غذا مواجه است، ضروری و گریزناپذیر بوده (دبیرخانه شورای عالی انقلاب فرهنگی، ۱۴۰۲) و نیازمند یک رویکرد جامع‌نگر و دانش‌بنیان برای تامین امنیت غذایی کشور به ویژه در جوامع روستایی است.

از سوی دیگر، امنیت غذایی و ارتقای تولید محصولات کشاورزی در فصل هفت از قانون برنامه پنج‌ساله هفتم پیشرفت کشور مورد تاکید قرار گرفته و به افزایش ۵۰ درصدی بهره‌وری در واحد سطح (به عنوان یکی از سنج‌های عملکردی) تا پایان برنامه اشاره شده است (قانون برنامه پنج‌ساله هفتم پیشرفت جمهوری اسلامی ایران، ۱۴۰۳).

این در حالی است که تغییر اقلیم یکی از عوامل مهم بی‌ثباتی و ناپایداری در رکن فراهمی غذا در کشور است که می‌تواند امنیت غذایی کشور را با مشکل مواجه کند. بنابراین، "سازگاری با پدیده تغییر اقلیم و کاهش آثار آن و مدیریت حوادث غیرمترقبه و شرایط اضطرار" به عنوان یکی از راهبردهای ملی مرتبط با رکن «تاب‌آوری (ثبات و پایداری)» در ماده پنج سند ملی دانش‌بنیان امنیت غذایی کشور و برای تضمین امنیت غذایی معرفی شده است. در این راستا، "ارائه گزارش‌های دوره‌ای به‌منظور پیش‌بینی موارد آسیب‌پذیری بخش کشاورزی و غذا از تغییر اقلیم و اتخاذ راهکارهای فناورانه و نوآورانه سازگاری و مقابله با تغییر اقلیم و نوسانات آب و هوایی در بخش کشاورزی و غذا"، هم‌چنین "تعیین میزان وابستگی تولید محصولات کشاورزی به اقلیم و برنامه‌ریزی به‌منظور کاهش اثرات و سازگاری با تغییر اقلیم با همکاری سایر کشورها، سازمان‌ها و مراکز علمی بین‌المللی" به عنوان دو اقدام مهم مطرح شده است. این اقدام‌ها در گرو توجه به کشاورزی هوشمند-اقلیم با هدف سازگاری کشاورزان (به‌ویژه کشاورزان کوچک-مقیاس) با شرایط تغییر اقلیم است که نقش مهمی در دستیابی به امنیت غذایی کشور دارند.

کشاورزی هوشمند-اقلیم

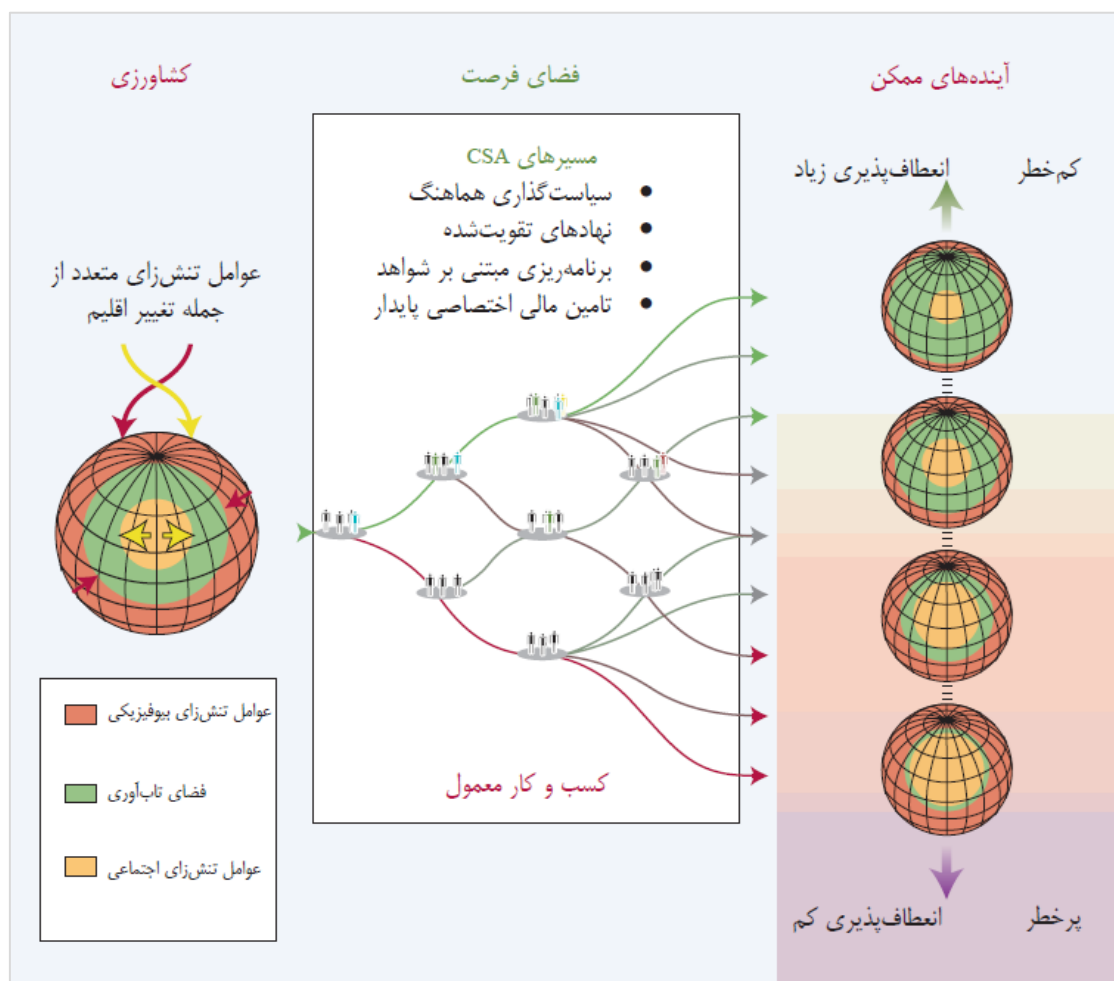
کشاورزی هوشمند-اقلیم در سال ۲۰۱۰ میلادی توسط فائو در کنفرانس لاهه در زمینه کشاورزی، امنیت غذایی و تغییرات اقلیمی معرفی و ارائه شد. در این کنفرانس تصریح شد که اگر رویکرد حاضر در مورد برنامه‌ریزی‌ها و

سیاست‌گذاری‌ها، در خصوص رشد و توسعه کشاورزی تغییر داده نشود، به ناچار منجر به افزایش مخاطرات انسانی و مالی می‌شود و به یک سیستم ناتوان در حمایت از امنیت غذایی تبدیل خواهد شد (کاظم‌علیلو و جمشیدی، ۱۴۰۱) که خود به افزایش تغییرات اقلیمی کمک می‌کند.

کشاورزی هوشمند-اقلیم می‌تواند با ادغام تغییرات اقلیمی در برنامه‌ریزی و اجرای استراتژی‌های کشاورزی پایدار، از این نتیجه «باخت-باخت» جلوگیری کند. کشاورزی هوشمند-اقلیم هم‌افزایی و مبادله بین امنیت غذایی، سازگاری با تغییر اقلیم و کاهش تغییر اقلیم را شناسایی می‌کند و هدف کلی آن حمایت از تلاش‌ها از سطح محلی تا جهانی برای استفاده پایدار از سیستم‌های کشاورزی به‌منظور دستیابی به امنیت غذایی و تغذیه برای همه مردم در همه زمان‌ها، در ادغام با سازگاری به تغییرات اقلیمی و کاهش اثرات آن است. پیش‌بینی‌های IPCC نشان می‌دهد که بدون چنین تلاش‌هایی، سیستم‌های کشاورزی و غذا انعطاف‌پذیری کم‌تری خواهند داشت و امنیت غذایی بیش‌تر در معرض خطر قرار خواهد گرفت (Lipper et al. 2014).

مفهوم کشاورزی هوشمند-اقلیم در شکل ۴ با استفاده از نمودار آینده‌پژوهی IPCC و مسیرهای تحول تاب‌آوری به اقلیم که برای مورد خاص کشاورزی تطبیق یافته، نشان داده است. کشاورزی با مجموعه‌ای از عوامل تنش‌زای بیوفیزیک و اجتماعی-اقتصادی از جمله تغییر اقلیم مواجه است. اقدامات انجام‌شده در نقاط مختلف تصمیم‌گیری در فضای فرصت تعیین می‌کند که کدام مسیر دنبال می‌شود: مسیرهای کشاورزی هوشمند-اقلیم یا مسیر کسب‌وکار معمول. مسیرهای کشاورزی هوشمند-اقلیم منجر به انعطاف‌پذیری بیش‌تر و خطرات کم‌تر برای امنیت غذایی می‌شود، در حالی که مسیر معمول منجر به خطرات بیش‌تر امنیت غذایی و انعطاف‌پذیری کم‌تر سیستم‌های کشاورزی و غذا می‌شود (Lipper et al. 2014).

بنابراین، مفهوم کشاورزی هوشمند-اقلیم بر اصل اطمینان از پاسخ‌گو بودن تولید به نیاز کشاورزان در عین کاهش تغییرات اقلیمی و سازگاری با آن استوار است. به عبارت دیگر، کشاورزی هوشمند-اقلیم به نوعی سیستم‌های کشاورزی اطلاق می‌شود که امنیت غذایی و تاب‌آوری کشاورزان را در رویارویی با تغییرات اقلیمی افزایش و در صورت امکان تغییرات اقلیمی را کاهش می‌دهند (Rival, 2018) و به این ترتیب سبب کاهش خطر ناامنی غذایی در حال و آینده می‌شوند.



شکل ۴- مسیرهای تحول تاب‌آوری در برابر تغییر اقلیم برای کشاورزی (Lipper et al. 2014)

ارکان اصلی کشاورزی هوشمند-اقلیم

ارکان اصلی کشاورزی هوشمند-اقلیم در شرایط تغییر اقلیم به شرح زیر است (Lipper et al. 2014; Nhamo and

Chikoye, 2017):

رکن اول- بهبود پایدار تولید و درآمد کشاورزی: این رکن شامل طیف گسترده‌ای از اقدامات است که ورودی مهمی در تحول کشاورزی هستند و به ارتقای پایدار بهره‌وری کشاورزی برای حمایت از افزایش عادلانه در درآمد، امنیت غذایی و توسعه منجر می‌شود. در اینجا فناوری‌هایی که منجر به افزایش محصول می‌شوند به عنوان فناوری‌های هوشمند شناخته می‌شوند. بنابراین، فناوری‌های هوشمند سبکی از فناوری‌ها و مداخلات کشاورزی بهبودیافته و دارای ویژگی‌ها و قابلیت‌های زیر هستند:

- افزایش بهره‌وری آب باران، حفظ آب، کاهش تبخیر و تعرق سطحی، و افزایش راندمان مصرف آب
- افزایش ظرفیت سیستم‌های تولیدی برای مقاومت در برابر تغییرات شدید دمایی (سرما و گرما)، امکان استفاده از تعدیل دمای ذاتی در سطح سلول‌های حیوانی/گیاهی و افزایش ذخیره انرژی در گونه‌های فردی و در سراسر سیستم‌ها
- افزایش جذب و استفاده از دی‌اکسید کربن برای محصولات فتوسنتزی (بیش‌تر اقدامات زراعی سیستم در این دسته قرار می‌گیرند. به عنوان مثال می‌توان به مدیریت تلفیقی حاصل‌خیزی خاک، اصلاح نباتات برای بهبود صفات، و کشاورزی حفاظتی اشاره کرد).

رکن دوم- سازگاری و افزایش تاب‌آوری سیستم‌ها: این رکن شامل اقداماتی است که محرک‌های تولید را در سطحی بالاتر از خود فناوری‌ها مورد توجه قرار می‌دهد و منجر به سازگاری و ایجاد انعطاف‌پذیری در برابر تغییرات اقلیمی از مزرعه تا سطوح ملی می‌شود. برخی از فناوری‌های اشاره‌شده در رکن اول، افزون بر افزایش سریع عملکرد، به تاب‌آوری سیستم‌ها نیز کمک می‌کنند. به عنوان مثال، مدیریت تلفیقی حاصل‌خیزی خاک باعث افزایش عملکرد می‌شود و ساختار خاک را از طریق ورود مواد آلی بهبود می‌بخشد. استفاده از فناوری‌های بهبودیافته مدیریت علف‌های هرز، افزایش کارایی در استفاده از تثبیت زیستی نیتروژن و بهره‌گیری از هم‌زیستی میکوریزا را می‌توان به عنوان نمونه‌هایی از اجزای این رکن در نظر گرفت.

رکن سوم- کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای: این رکن شامل شیوه‌هایی است که از فرایندهای طبیعی برای به حداقل رساندن تولید گازهای متان، دی‌اکسید کربن، مونوکسید نیتروژن و دی‌اکسید نیتروژن (که آزاد شدن آن‌ها سبب تخریب لایه ازن می‌شود) استفاده می‌کنند. به عبارت دیگر، فرصت‌هایی برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای از کشاورزی در مقایسه با روندهای گذشته ایجاد و در عین حال به رکن اول در افزایش تولید کمک می‌کند. از جمله فناوری‌هایی که به کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای کمک می‌کنند می‌توان به استفاده از تثبیت زیستی نیتروژن و هم‌زیستی میکوریزایی برای کاهش اتکاء به کودهای معدنی اشاره کرد.

این رکن همچنین شامل شیوه‌هایی است که از انواع فرایندها طبیعی و صنعتی سازگار با محیط زیست برای به حداکثر رساندن جذب و ترسیب گازهای گلخانه‌ای به ویژه دی‌اکسید کربن استفاده می‌کند. از آن جمله می‌توان به فناوری‌های مرتبط با گسترش جنگل و چراگاه‌های طبیعی، مدیریت انواع ضایعات و پسماند کشاورزی و دامپروری و حتی زباله‌های شهری و غیره برای تولید انرژی (بیوگاز، بیودیزل، اتانول زیستی و غیره) و بیوکمپوست و سایر مواد با ارزش افزوده بالا اشاره کرد. بسیاری از این فناوری‌ها در زمره فناوری‌های "کربن صفر"^۱ و یا حتی "کربن منفی"^۲ دسته‌بندی شده‌اند و قادر به دریافت "اعتبار کربن"^۳ از صنایع آلاینده‌ای مانند نیروگاه‌های برق متکی بر مازوت و زغال سنگ و سایر صنایع آلاینده متکی به سوخت‌های فسیلی هستند.

افزون بر این، فناوری‌های هوشمند در کشاورزی هوشمند-اقلیم شامل رویکردهایی برای بهبود سازمانی، سازماندهی بازیگران زنجیره ارزش (پلتفرم‌های نوآوری برای کالاها)، استفاده از روش‌های پیشرفته ترویج، سیاست‌های حمایتی، لابی‌گری برای مشارکت، و افزایش مشارکت و توجه به جوانان و زنان و استفاده از فناوری‌ها هستند (Nhamo and Chikoye, 2017).

نظر به این که کشاورزی هوشمند-اقلیم روشی جدید برای ارائه اطلاعات دقیق، به‌موقع و کارآمد در کشاورزی برای تصمیم‌سازی است، می‌توان آن را پلتفرمی برای توسعه سامانه‌های تصمیم‌ساز و تصمیم‌یار در کشاورزی دانست. چنین سامانه‌هایی طی یک فرایند یادگیری و مبتنی بر هوش مصنوعی^۴ قادر به ارائه راه‌کارهای موثر به‌منظور استفاده بهینه از منابع خواهند بود (کاظم‌علیلو و جمشیدی، ۱۴۰۱؛ Tumwesigye et al. 2019).

نقش کشاورزی هوشمند-اقلیم در امنیت غذایی

همان‌گونه که پیش‌تر گفته شد، کشاورزی هوشمند-اقلیم استراتژی‌هایی برای سازگاری با تغییر اقلیم و در صورت امکان کاهش آن ارائه می‌کند. در ادامه، نقش‌های مهم کشاورزی هوشمند-اقلیم در تضمین امنیت غذایی با معرفی نمونه‌هایی از استراتژی‌های موثر در هر نقش تشریح شده است:

-
- 1- Zero Carbon
 - 2- Carbon Negative
 - 3- Carbon Credit
 - 4- Artificial Intelligence

ارتقای بهره‌وری و فراهمی غذا

شیوه‌های تطبیقی و نوآوری‌های فناورانه کشاورزی هوشمند-اقلیم می‌تواند به حفظ یا ارتقای بهره‌وری کمک کند که بخشی از فراهمی غذا به عنوان یکی از ارکان اصلی امنیت غذایی است.

شیوه‌های تطبیقی: کشاورزی هوشمند-اقلیم محصولات مقاوم به آب و هوا، روش‌های بهبودیافته آبیاری، و زراعت جنگلی را برای حفظ محصول تحت عوامل تنش‌زای اقلیمی معرفی می‌کند و از تولید غذای پایدار اطمینان می‌دهد. معرفی گیاهان علوفه‌ای جایگزین کم‌آبر و کشت آن‌ها از دیگر شیوه‌های کشاورزی هوشمند-اقلیم است که می‌تواند ضمن کاهش مصرف آب و کاهش انتشار کربن به تامین علوفه و خوراک دام و حتی ترسیب کربن^۱ در شرایط تغییر اقلیم کمک کند.

نوآوری فناورانه: استراتژی‌های کشاورزی هوشمند-اقلیم باید مبتنی بر فناوری و نوآوری و در عین حال، مقرون به صرفه و قابل استفاده توسط کشاورزان کوچک-مقیاس باشد. خدمات اطلاعات هواشناسی (به عنوان مثال: استفاده از سیستم‌های آبیاری هوشمند که با ترکیب داده‌های هواشناسی و ماهواره‌ای کار می‌کنند و با اعلام هشدارها و خطاها به صورت برخط، به کشاورزان در مدیریت منابع آب یاری می‌رسانند)، بهره‌گیری از راه حل‌ها و فناوری‌های کشاورزی هوشمند^۲ (مانند استفاده از سامانه‌های هوشمند پیش‌آگاهی آفات و بیماری‌ها) و کشاورزی دقیق^۳، بذره‌های مقاوم به تغییرات آب و هوایی، و ابزارهای دیجیتالی (به عنوان مثال: پایش ماهواره‌ای و تلفن‌های همراه هوشمند و برنامه‌های کاربردی نصب شده روی آن‌ها) برای استفاده بهینه و مدیریت بهتر منابع از جمله فناوری‌ها و نوآوری‌هایی هستند که می‌توانند کارایی و بهره‌وری را افزایش دهند و به کشاورزان کمک کنند تا با شرایط تغییر اقلیم سازگار شوند.

به عنوان یک نمونه موفق اجرای طرح کشاورزی هوشمند-اقلیم می‌توان به طرحی که در سال ۲۰۱۲ میلادی در روستای ایالت هاریانا هندوستان به صورت پایلوت توسط گروه مشاوره تحقیقات بین‌المللی کشاورزی^۴ اجرا شد، اشاره کرد. استراتژی این طرح، به‌کارگیری ماشین‌های تسطیح لیزری زمین به عنوان یک فناوری در کشاورزی دقیق با هدف حفظ

1- Carbon Sequestration

2- Smart Agriculture

3- Precision Agriculture

4- CGIAR: Consultative Group for International Agricultural Research

منابع آبی بود که نتایج موفقیت‌آمیزی داشت و توانست مصرف آب را در زمین‌های بزرگ کاهش دهد (CCAFS and CIMMYT, 2014).

در طرح دیگری در جنوب صحرای آفریقا که در آن استراتژی کشاورزی هوشمند-اقلیم به‌کارگیری فناوری‌های کشاورزی دقیق بود، پذیرش شیوه‌های کشاورزی هوشمند-اقلیم در میان خانوارهای کشاورز در غنا و نقش مشارکت آن‌ها در برنامه‌های آموزشی بررسی شد. این مطالعه نشان داد که مشارکت در آموزش ظرفیت‌سازی، کار خانوادگی و بیمه کشاورزی به طور قابل توجهی بر شدت پذیرش استراتژی‌های کشاورزی هوشمند-اقلیم توسط کشاورزان تاثیر می‌گذارد. بر این اساس توصیه می‌شود که در پروژه‌های کشاورزی و تغییر اقلیم برای اثربخش بودن اقدامات، آموزش کشاورزان به طور جدی مورد توجه قرار گیرد (Zakaria et al. 2020).

مورد دیگر استفاده از فناوری‌های تولید مواد آلی و بیوکمپوست حاصل از ضایعات و پسماندهای کشاورزی و دامپروری برای استفاده در اراضی کشاورزی برای افزایش مواد آلی خاک به‌منظور ترسیب کربن و افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک و بهبود خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک است. تولید و بهره‌برداری از انواع مالچ و سوپر جاذب‌های طبیعی و سنتتیک (مصنوعی) نیز می‌تواند با افزایش بهره‌وری نهاده‌ها به ویژه آب در زیست‌بوم‌های زراعی کمک کند.

پایداری و سلامت محیط زیست

به‌کارگیری و ترویج شیوه‌های پایدار کشاورزی که محیط زیست را تخریب نمی‌کنند و به کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای از بخش کشاورزی و به تبع آن کاهش تغییر اقلیم منجر می‌شوند، می‌تواند از جنبه ثبات و پایداری، امنیت غذایی را تضمین کند.

حفاظت از خاک و آب: کشاورزی هوشمند-اقلیم شیوه‌های پایدار کشاورزی مانند خاک‌ورزی حفاظتی، کاشت گیاهان پوششی، کاشت گیاهان علوفه‌ای کم‌آب‌بر یک‌ساله و چندساله، کشاورزی ارگانیک، زراعت جنگلی، و مدیریت تلفیقی آفات را ترویج می‌کند و هم‌چنین به حفظ و افزایش تنوع زیستی کمک می‌کند. به این ترتیب، سلامت و حاصل‌خیزی خاک و منابع آب را حفظ و بهره‌وری طولانی‌مدت را تضمین می‌کند. بنابراین، در تضمین امنیت غذایی نسل‌های آتی نیز نقش دارد. این شیوه کشاورزی، اصطلاحاً کشاورزی بازساختی^۱ نامیده می‌شود.

در یک طرح کشاورزی هوشمند-اقلیم با استراتژی حفاظت خاک در آفریقای جنوبی، بررسی اثر پذیرش شیوه‌های کشاورزی هوشمند-اقلیم بر درآمد کلی کشاورزان کوچک-مقیاس نشان داد که به‌کارگیری شیوه‌های کشاورزی هوشمند-اقلیم برای حفاظت خاک افزون بر نقش موثر در پایداری و سلامت محیط زیست، تاثیر قابل توجهی بر درآمد کلی کشاورزان کوچک-مقیاس و بهبود معیشت آن‌ها در منطقه مورد مطالعه نیز دارد (Ighodaro et al. 2020) که از نظر اجتماعی و اقتصادی می‌تواند به تضمین امنیت غذایی کمک کند.

کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای: کشاورزی هوشمند-اقلیم با جذب گاز متان، کاهش استفاده از کودهای مصنوعی، و به‌کارگیری شیوه‌های آگرواکولوژیک^۱ (که اصول اکولوژیک را در کشاورزی ادغام می‌کنند) می‌تواند به میزان قابل توجهی کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای حاصل از کشاورزی به‌ویژه انتشارات از دام، شالیزارهای برنج و استفاده از کودهای مصنوعی را منجر و سبب کاهش رد پای کربن^۲ کشاورزی شود و به این ترتیب از تخریب بیش‌تر اقلیم جلوگیری کند. به عنوان مثال کشاورزی هوشمند-اقلیم می‌تواند شامل شیوه‌هایی به منظور مدیریت مناسب فضولات دامی و مدیریت مناسب آب در شالیزارها، هم‌چنین هوشمندسازی کشاورزی و به‌کارگیری راه حل‌های هوشمند و دقیق برای بهینه‌سازی مصرف کودهای شیمیایی باشد که به جذب گاز متان و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و هزینه‌های کشاورزان کمک می‌کند. شیوه‌هایی از کشاورزی هوشمند-اقلیم مانند مدیریت مناسب بقایا و استفاده از روش‌های کشاورزی و خاک‌ورزی حفاظتی هم‌چنین استفاده از روش‌های بهینه آبیاری (مانند آبیاری تناوبی در کشت برنج) می‌تواند به ترسیب کربن در خاک و به تبع آن کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای منجر شود که از اثرات منفی بیش‌تر تغییر اقلیم بر تولید مواد غذایی و جوامع روستایی جلوگیری می‌کند.

در یک طرح کشاورزی هوشمند-اقلیم که در تانزانیا و برای تولید ذرت اجرا شد از استراتژی‌های کشاورزی حفاظتی شامل روش‌های کم‌خاک‌ورزی و استفاده از پوشش‌های گیاهی و کوددهی نیتروژن با هدف حفظ محیط زیست، افزایش بهره‌وری، تاب‌آوری و سازگاری با تغییر اقلیم هم‌چنین کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای استفاده شد. نتایج اجرای این طرح نشان داد که به‌کارگیری این شیوه‌ها می‌تواند مزایایی مطابق با اهداف کشاورزی هوشمند-اقلیم برای کشاورزان منطقه

به ارمغان آورد، به‌ویژه زمانی که محدودیت نیتروژن خاک کاهش می‌یابد و سایر محدودیت‌ها برای پذیرش کشاورزی هوشمند-اقلیم حذف می‌شوند (Kimaro et al. 2016).

تاب‌آوری در برابر شوک‌های اقلیمی

استراتژی‌های کشاورزی هوشمند-اقلیم مانند تنوع‌بخشیدن به محصولات/دام، استفاده از ابزارها و سامانه‌های هوشمند پیش‌بینی آب و هوا و پیش‌آگاهی آفات و بیماری‌های گیاهی، یا طرح‌های بیمه محصولات کشاورزی می‌توانند سیستم‌های کشاورزی را در برابر تغییرات ناگهانی و شوک‌های اقلیمی انعطاف‌پذیرتر و کشاورزان را در برابر بلایای مرتبط با آب و هوا تاب‌آور کنند تا تولید غذا پایدارتر شود. به این ترتیب، کشاورزی هوشمند-اقلیم می‌تواند به دسترسی به غذا، حفظ امنیت تغذیه‌ای و ثبات عرضه کمک کند.

تنوع‌بخشی به محصولات: تنوع محصول/دام و سامانه‌های یکپارچه می‌تواند آسیب‌پذیری را در برابر تغییرات شدید آب و هوایی و شوک‌های اقلیمی کاهش دهد.

در یک طرح کشاورزی هوشمند-اقلیم که در مزارع کوچک-مقیاس تانزانیا اجرا شد، پذیرش پنج فناوری شامل تنوع محصول، تنوع دام، آبیاری، استفاده از کودهای شیمیایی و زراعت جنگلی بررسی شد. نتایج این مطالعه نشان داد که کشاورزان نسبتاً کاربرد کودهای شیمیایی را پذیرفته‌اند (۳۴ درصد از کشاورزان)، در حالی که شیوه‌های آبیاری کم‌ترین پذیرش را در بین آن‌ها داشت (۲۶ درصد). برخی از فناوری‌ها از جمله تنوع محصول و آبیاری و همچنین کاربرد کودهای شیمیایی، و ترکیب کشاورزی و جنگل‌داری، مکمل یک‌دیگر بودند. از سوی دیگر، کنترل زنان بر منابع مزرعه، مکان مزرعه، و منابع خانوار تعیین‌کننده اصلی پذیرش فناوری‌ها بودند. بر این اساس، اجرای راهبردها و استراتژی‌هایی که می‌توانند منابع خانوار را تقویت کنند، توصیه شد (Kurgat et al. 2020).

در همین ارتباط معرفی و توسعه گیاهان جایگزین اقلیم سازگار با درجه تحمل بالاتر به شرایط سخت محیطی با امکان استقرار زنجیره کامل ارزش برای آن‌ها، ضمن تامین امنیت غذایی و افزایش پایداری و تاب‌آوری جوامع روستایی در شرایط تغییر اقلیم، به ایجاد اشتغال مولد در مناطق روستایی و بهبود معیشت خانوارهای روستایی کمک می‌کند و باعث ثبات و پایداری تولید و تولید پایدار در مناطق بحرانی متأثر از تغییرات اقلیمی می‌شود. تجربیات بسیار موفقی از این دست در هندوستان و آفریقا از جمله کنیا و تانزانیا وجود دارد. معرفی و توسعه کشت گونه‌های پرمحصول و متحمل انواع ارزن و

سورگوم از جمله ارزن انگستی در کنیا توسط موسسه بین‌المللی تحقیقات گیاهی در مناطق نیمه‌خشک گرمسیری (ICRISAT) منجر به تحولی بزرگ در جوامع روستایی کنیا و بهبود درآمد روستاییان شده است. محصولات و فرآورده‌های حاصل از این گیاهان که با مشارکت زنان و جوامع محلی تولید می‌شوند، ضمن ایجاد درآمد پایدار برای آن‌ها، به بهبود وضعیت تغذیه‌ای خانوارها و به‌ویژه کودکان روستایی هم‌چنین کاهش سوء تغذیه و بهبود سلامت و تامین امنیت تغذیه‌ای جوامع روستایی کمک می‌کند. از این رو، به این محصولات اصطلاحاً "غذاهای هوشمند"^۱ گفته می‌شود، چون هم به‌واسطه مواد و ترکیبات سودمند مانند فیبر و پروتئین و کلسیم و مواد ریزمغذی مانند آهن و روی و اسید فولیک برای سلامت مصرف‌کنندگان مفید هستند، و هم به‌واسطه مصرف آب و نهاده‌های کشاورزی، ردپای اکولوژیک کمی دارند و برای محیط زیست مفید هستند. از سوی دیگر، به دلیل امکان تولید در شرایط سخت محیطی و تولید اقتصادی نسبت به سایر محصولات و امکان استقرار زنجیره کامل ارزش و تولید انواع فرآورده‌ها و ایجاد درآمد بیشتر، برای کشاورزان مفید هستند.

مدیریت ریسک: طرح‌های بیمه‌ای مبتنی بر شاخص آب و هوا، و سامانه‌های هوشمند هشدار اولیه مانند سامانه‌هایی که آفات و بیماری‌های گیاهی را پیش‌آگاهی می‌کنند، به کشاورزان کمک می‌کنند تا از بلایا نجات یابند و زنجیره تامین مواد غذایی را تثبیت کنند.

در این راستا، مدیریت هوشمند-اقلیم آفات^۲ (CSPM) یک رویکرد فرابخشی است که هدف آن کاهش تلفات محصول ناشی از آفات، بهبود خدمات اکوسیستم، کاهش شدت انتشار گازهای گلخانه‌ای در واحد غذای تولیدشده و تقویت تاب‌آوری سیستم‌های کشاورزی در رویارویی با تغییر اقلیم است. شیوه‌های مدیریت هوشمند-اقلیم آفات با ایجاد تاب‌آوری مزارع و مراتع در برابر تهدیدهای در حال تغییر آفات سبب می‌شود که تولید محصول، پژوهش، ترویج و سیاست‌گذاری در جهت سیستم‌های تولید مواد غذایی کارآمدتر و انعطاف‌پذیرتر به صورت هماهنگ عمل کنند (Heeb et al. 2019).

عدالت اجتماعی-اقتصادی و دسترسی به غذا

همان‌گونه که پیش‌تر گفته شد، عوامل اجتماعی و اقتصادی نیز بخشی از امنیت غذایی است. کشاورزی هوشمند-اقلیم می‌تواند درآمد کشاورزان را از طریق افزایش کارایی یا محصولات با ارزش افزوده بهبود بخشد. بنابراین، کشاورزان

1- Smart Foods

2- Climate Smart Pest Management

رفاه بیش‌تری خواهند داشت و می‌توانند در مزارع خود سرمایه‌گذاری کنند و خودشان به غذا دسترسی بهتری داشته باشند. کشاورزی هوشمند-اقلیم هم‌چنین می‌تواند شامل رویکردهای جامعه‌محور باشد به طوری که گروه‌های آسیب‌پذیر را شامل شود. بنابراین، می‌تواند از دسترسی عادلانه به غذا پشتیبانی کند.

بهبود معیشت: کشاورزی هوشمند-اقلیم می‌تواند درآمد کشاورزان را از طریق شیوه‌های صرفه‌جویی در هزینه (مانند سم‌پاشی و کوددهی هوشمند و دقیق) و محصولات با ارزش افزوده افزایش دهد و آن‌ها را از نظر اقتصادی توانمند کند. **رویکردهای فراگیر:** ابتکارات جامعه‌محور و برنامه‌های حساس به جنسیت در کشاورزی هوشمند-اقلیم تضمین می‌کند که گروه‌های به حاشیه رانده‌شده نیز به منابع دسترسی داشته باشند و توزیع عادلانه غذا را ترویج می‌کند.

در یک طرح کشاورزی هوشمند-اقلیم که در مزارع کوچک-مقیاس در جنوب آفریقا اجرا شد، روش‌هایی برای ترکیب کاربرد شیوه‌های کشاورزی هوشمند-اقلیم با تجزیه و تحلیل در سطح مزرعه بررسی شد. هدف اصلی از این طرح، بررسی چگونگی درک کشاورزان از سازگاری اجتماعی، فنی، اقتصادی و زیست‌محیطی این شیوه‌ها بود. نتایج ارزیابی سازگاری اجتماعی در این طرح نشان داد که کشاورزان از کاشت محصولات پوششی، زراعت جنگلی و بهبود رژیم غذایی حیوانات استقبال زیادی می‌کنند. از منظر ارزیابی سازگاری فنی، استفاده از کود آلی و به دنبال آن تناوب زراعی، مالچ‌پاشی و کاشت محصولات پوششی بسیار مورد پذیرش قرار گرفت. ارزیابی سازگاری اقتصادی در این طرح نیز نشان داد که کشاورزان مالچ‌پاشی، کود آلی و تناوب زراعی را به شدت ترجیح می‌دهند و استفاده از کود آلی بر اساس ارزیابی سازگاری با محیط زیست بسیار مورد استقبال قرار گرفت (Abegunde et al. 2020).

در طرح دیگری با هدف بررسی اثر تفاوت‌های جنسیتی بر پذیرش شیوه‌های کشاورزی هوشمند-اقلیم، میزان توانمندسازی زنان ارزیابی و به‌طور تجربی تاثیر آن بر پذیرش پنج شیوه کشاورزی هوشمند-اقلیم در سطح مورد مطالعه در نیجریه بررسی شد. نتایج نشان داد که مردان نسبت به زنان توانمندتر هستند و تمایل بیش‌تری به استفاده از تناوب زراعی دارند. با این حال، احتمال پذیرش استفاده از کود سبز و زراعت جنگلی توسط زنان بیش‌تر است، در حالی که تفاوت جنسیتی قابل توجهی در پذیرش کود آلی و کم‌خاک‌ورزی یا بی‌خاک‌ورزی یافت نشد. نتایج این مطالعه از منظر پیامدهای اجتماعی نشان داد که از بین‌بردن شکاف توانمندسازی بین زنان و همسرانشان بر پذیرش زراعت جنگلی تاثیر مثبت می‌گذارد (Oyawole et al. 2020).

با توجه به مطالب پیش گفته و ترسیم نقش کشاورزی هوشمند-اقلیم در تضمین امنیت غذایی در شرایط تغییر اقلیم تاکید می‌شود که کشاورزی هوشمند-اقلیم می‌تواند سکویی برای توسعه سامانه‌های تصمیم‌ساز و تصمیم‌یار بر پایه داده‌ها و اطلاعات دقیق، به‌موقع و کارآمد در کشاورزی باشد. برای این منظور، دسترسی به حجم وسیعی از داده‌های آب و هوایی، اقلیمی و غیره (کلان داده‌ها)^۱ و توسعه الگوریتم‌های هوش مصنوعی برای تحلیل دقیق وضعیت فعلی، پیش‌بینی آینده و ارائه راه حل‌های مناسب، ضروری است. به عنوان یک نمونه موفق از این ابزارها که مبتنی بر هوش مصنوعی و در راستای پیاده‌سازی اهداف تعریف‌شده در کشاورزی هوشمند-اقلیم طراحی شده است، می‌توان به AgBiz اشاره کرد. هدف این ابزار، اجرای کشاورزی هوشمند-اقلیم به‌منظور افزایش سود کشاورز و افزایش بهره‌وری با در نظر گرفتن متغیرهای آب و هوایی و محیطی است. AgBiz در واقع مجموعه‌ای از ابزارهای تصمیم‌ساز مبتنی بر هوش مصنوعی برای حوزه کشاورزی است. با توجه به این که در این سامانه، تغییر شرایط آب و هوایی، تغییر در سیاست‌های آینده، قیمت‌ها و هزینه‌ها لحاظ شده است، می‌تواند اطلاعات بهتری در مورد تأثیرات نسبی سازگاری با تغییر اقلیم به کشاورزان ارائه دهد. همچنین، پژوهشگران می‌توانند از این سامانه برای درک بهتر این که چگونه تصمیم‌های تولیدشده توسط سامانه بر وضعیت نهایی کشت تأثیر می‌گذارد، استفاده کنند (کاظم‌علیلو و جمشیدی، ۱۴۰۱). توسعه و کاربرد چنین سامانه‌هایی می‌تواند به کشاورزان در تصمیم‌گیری درست و به‌موقع، همچنین استفاده از شیوه‌های موثر کشاورزی هوشمند-اقلیم کمک و آن‌ها را در برابر تغییر اقلیم تاب‌آور کند.

الزامات، چالش‌ها و ملاحظات

با وجود مزایا و نقش مهم کشاورزی هوشمند-اقلیم در امنیت غذایی، پذیرش شیوه‌های آن توسط کشاورزان با چالش‌هایی مواجه است. برخی از موانع پذیرش کشاورزی هوشمند-اقلیم عبارتند از: هزینه‌های اولیه زیاد در خصوص به‌کارگیری برخی فناوری‌ها و نوآوری‌ها، کمبود یا شکاف دانش برای به‌کارگیری برخی روش‌ها و فناوری‌ها، و مقاومت فرهنگی در برابر تغییر و به‌کارگیری شیوه‌های جدید. بنابراین، اثربخشی استراتژی‌های کشاورزی هوشمند-اقلیم به غلبه بر این موانع بستگی دارد و نیازمند سرمایه‌گذاری هدفمند، آموزش و طراحی مشارکتی مداخلات کشاورزی هوشمند-اقلیم است. به اشتراک‌گذاری دانش از طریق ایجاد مدارس مزرعه کشاورز و ارائه خدمات ترویجی، می‌تواند شکاف‌ها در دانش

فنی را پر و ظرفیت‌های محلی را تقویت کند. در این راستا، سیاست‌گذاری درست و حمایت‌های دولتی در خصوص ارائه یارانه، آموزش، و ایجاد یا تقویت زیرساخت‌ها (مانند استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر به‌منظور آبیاری) برای حمایت از شیوه‌های کشاورزی هوشمند-اقلیم و توسعه آن‌ها ضروری است. به‌طوری‌که، بدون پشتوانه دولتی، اتخاذ این روش‌ها برای کشاورزان، به ویژه کشاورزان کوچک-مقیاس، دشوار است.

تاکید می‌شود که به‌منظور تضمین اثربخشی کشاورزی هوشمند-اقلیم باید راه‌حل‌های خاص شامل تطبیق شیوه‌ها با اقلیم منطقه‌ای و شرایط اجتماعی-اقتصادی را مورد توجه قرار داد.

به عنوان نمونه نتایج یک مطالعه موردی در کشور (استان کردستان) روی تولیدکنندگان توت‌فرنگی و کارشناسان کشاورزی نشان داد که استراتژی‌های سازگاری مورد استفاده کشاورزان به روش‌های فنی-کشاورزی، حفاظت از آب، هوشمندسازی مزرعه و شیوه‌های سازگاری نهادی دسته‌بندی می‌شوند. اما فقر، کمبود صنایع تبدیلی توت‌فرنگی، حمایت مالی ناکافی، حضور واسطه‌ها و دلالان، کشت سنتی، مشکل در حمل و نقل محصول توت‌فرنگی برای ارسال به بازار، کمبود انبار و تجهیزات و پایانه صادراتی، و بی‌اعتمادی تولیدکنندگان توت‌فرنگی به سازمان جهاد کشاورزی مانع توسعه کشاورزی هوشمند-اقلیم در منطقه مورد مطالعه شده است. بر اساس نتایج این مطالعه از بین عوامل مختلفی که می‌توانند به توسعه کشاورزی هوشمند-اقلیم در تولید توت‌فرنگی در استان کردستان کمک کنند (شامل حمایت‌های مالی و نهادی، سیاست‌گذاری، بازاریابی، مدیریت مزرعه، دانش و تخصص، عوامل زیرساختی و نگرش و عوامل فرهنگ سازمانی)، اعطای اعتبار به باغداران توت‌فرنگی از سوی دولت، افزایش درآمد توت‌فرنگی‌کاران از طریق توسعه گردشگری روستایی و افزایش همکاری مالی در زمینه تولید توت‌فرنگی و یا افزایش همکاری‌های مالی بین سازمان‌ها از مهم‌ترین محرک‌ها هستند (Memarbashi et al. 2022).

جمع‌بندی

تغییر اقلیم تولیدات کشاورزی و سیستم‌های غذایی را تحت تاثیر قرار می‌دهد و در نتیجه رویکرد تغییر سیستم‌های کشاورزی برای حمایت از امنیت غذایی جهانی و کاهش فقر را تغییر می‌دهد. یک رویکرد یکپارچه، تحول‌آفرین و مبتنی بر شواهد برای پرداختن به امنیت غذایی و اقلیم در همه سطوح، نیازمند اقدامات هماهنگ از سطح جهانی تا محلی، از

پژوهش‌ها گرفته تا سیاست‌ها و سرمایه‌گذاری‌ها، و در بخش‌های خصوصی، عمومی و جامعه مدنی برای دستیابی به مقیاس و میزان تغییرات مورد نیاز است.

شیوه‌های کشاورزی پایدار و مبتنی بر حفاظت از منابع، یک رویکرد هوشمند-اقلیم برای حفظ معیشت مردم فقیر، کشاورزان کوچک-مقیاس و نسل‌های آینده و همچنین حفاظت از محیط زیست است. این امر یک روش بالقوه واقع‌بینانه برای رویارویی با تغییر اقلیم است. کشاورزی هوشمند-اقلیم شامل شیوه‌ها و استراتژی‌هایی برای تولید غذا از منابع محدود و کاهش اثرات زیست‌محیطی است که به‌طور پایدار سبب افزایش بهره‌وری و تاب‌آوری (سازگاری)، کاهش/حذف انتشار گازهای گلخانه‌ای و کمک به دستیابی به امنیت غذایی برای کشاورزان می‌شود.

کشاورزی هوشمند-اقلیم با پرداختن به چالش‌های به‌هم پیوسته تغییرات اقلیمی، مدیریت منابع و افزایش پایدار بهره‌وری کشاورزی، سازگاری و ایجاد انعطاف‌پذیری اجتماعی-اقتصادی در برابر تغییر اقلیم، دسترسی عادلانه به منابع و بهبود معیشت، کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و اثرات زیست‌محیطی، و در نتیجه تضمین منابع غذایی پایدار و در دسترس در حال حاضر و آینده نقشی اساسی در تضمین امنیت غذایی دارد.

بخش کشاورزی می‌تواند با اتخاذ شیوه‌ها، سیاست‌ها و سرمایه‌گذاری‌های صحیح در مسیرهای کشاورزی هوشمند-اقلیم حرکت کند که این امر منجر به کاهش ناامنی غذایی و فقر در کوتاه‌مدت می‌شود و در عین حال در بلندمدت به کاهش تغییر اقلیم که تهدیدی برای امنیت غذایی است، کمک می‌کند. در این راستا، موفقیت کشاورزی هوشمند-اقلیم و اثربخشی شیوه‌های آن به تلاش‌های مشترک میان کشاورزان، سیاست‌گذاران و ذی‌نفعان برای غلبه بر موانع اجرایی و مقیاس‌پذیری شیوه‌های تحول‌گر بستگی دارد. همچنین، توسعه کشاورزی هوشمند-اقلیم نیازمند همکاری‌های بین بخشی، سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌ها، آموزش و ارتقای آگاهی کشاورزان، و تدوین قوانین و مقررات حمایتی است.

منابع

- باقری فهرجی، ر.، قرهچایی، ح.ر. و سواری، م. ۱۳۹۷. نقش تاب‌آوری در برابر تغییر اقلیم بر سطح امنیت غذایی در خانوارهای روستایی تحت پروژه منارید در استان یزد. مجله تحقیقات اقتصاد و توسعه کشاورزی ایران. دوره ۲-۴۹، شماره ۲. صفحات ۳۴۷-۳۵۹.
- جمشیدی، ب. ۱۴۰۳. طراحی و پیاده‌سازی سامانه هوشمند مانیتورینگ و مدیریت باغ سیب بر پایه اینترنت اشیاء مبتنی بر شبکه حسگر بی‌سیم. گزارش نهایی پروژه پژوهشی. شماره ثبت: ۶۵۶۸۱. موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی. ۸۳ صفحه
- جمشیدی، ب.، دهقانی‌سانج، ح. و کاظم‌علیلو، و. ۱۴۰۲. فناوری‌های مقرون‌به‌صرفه کشاورزی هوشمند برای کشاورزان کوچک-مقیاس. علوم و فناوری اطلاعات کشاورزی. دوره ۶، شماره ۲. صفحات ۵۴-۴۵.
- دبیرخانه شورای عالی انقلاب فرهنگی. ۱۴۰۲. سند ملی دانش‌بنیان امنیت غذایی. ۶۶ صفحه.
- عباسی، ف.، بابائیان، ا.، ملبوسی، ش.، اثمري، م. و مختاری، ل.گ. ۱۳۹۱. ارزیابی تغییر اقلیم ایران در دهه‌های آینده (۲۰۲۵ تا ۲۱۰۰ میلادی) با استفاده از ریزمقیاس‌نمایی داده‌های مدل گردش عمومی جو. تحقیقات جغرافیایی. سال ۲۷، شماره ۱. صفحات ۲۳۰-۲۰۵.
- کاظم‌علیلو، و. و جمشیدی، ب. ۱۴۰۱. کاربرد هوش مصنوعی در کشاورزی هوشمند اقلیم. علوم و فناوری اطلاعات کشاورزی. دوره ۵، شماره ۲. صفحات ۶۰-۵۱.
- مرکز آمار ایران. ۱۴۰۰. بازنگری نتایج پیش‌بینی جمعیت ایران تا افق ۱۴۳۰ شمسی. قابل دسترسی در: <https://www.amar.org.ir/news>
- مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی. ۱۴۰۳. قانون برنامه پنج‌ساله هفتم پیشرفت جمهوری اسلامی ایران (۱۴۰۳-۱۴۰۷). قابل دسترسی در: <https://qavanin.ir/Law/TreeText/?IDS=15033449572675229448>
- Abegunde, V., Sibanda, M. and Obi, A. 2020. Mainstreaming climate-smart agriculture in small scale farming systems a holistic nonparametric applicability assessment in South Africa. Agriculture. 10, 52. <https://doi.org/10.3390/agriculture10030052>

Ahmadi Dehrashid, A., Bijani, M., Valizadeh, N. et al. 2021. Food security assessment in rural areas: Evidence from Iran. *Agriculture and Food Security*. 10: 17. <https://doi.org/10.1186/s40066-021-00291-z>

Antle, J.M. 2010. Adaptation of Agriculture and the Food System to Climate Change: Policy Issues. Resources for the Future. <https://media.rff.org/documents/RFF-IB-10-03.pdf> (Accessed March 26, 2025).

CCAFS and CIMMYT. 2014. Climate-Smart Villages in Haryana, India. Copenhagen, Denmark: CGIAR Research Program on Climate Change, Agriculture and Food Security (CCAFS)

European Commission, Joint Research Centre, Crippa, M., Guizzardi, D., Pagani, F., Banja, M., Muntean, M., Schaaf, E., Monforti-Ferrario, F., Becker, W.E., Quadrelli, R., Risquez Martin, A., Taghavi-Moharamli, P., Köykkä, J., Grassi, G., Rossi, S., Melo, J., Oom, D., Branco, A., San-Miguel, J., Manca, G., Pisoni, E., Vignati, E. and Pekar, F. 2024. GHG emissions of all world countries, Publications Office of the European Union, Luxembourg, doi:10.2760/4002897, JRC138862

FAO, 2006. Food Security. Policy Brief, Issue 2.

FAO, IFAD, UNICEF, WFP and WHO. 2024. The State of Food Security and Nutrition in the World 2024 – Financing to end hunger, food insecurity and malnutrition in all its forms. Rome. Available on: <https://doi.org/10.4060/cd1254en>

Heeb, L., Jenner, E. and Cock, M.J.W. 2019. Climate-smart pest management: building resilience of farms and landscapes to changing pest threats. *Journal of Pest Science*, 92, 951–969. <https://doi.org/10.1007/s10340-019-01083-y>

Ighodaro, I., Mushunje, A., Lewu, B. and Oomoruyi, B. 2020. Climate-smart agriculture and smallholder farmers income the case of soil conservation practice adoption at Qamata irrigation scheme South Africa. *Journal of Human Ecology*. 69, 81–94. <https://doi.org/10.31901/24566608.2020/69.1-3.3207>

Kimaro, A., Mpanda, M., Rioux, J., Aynekulu, E., Shaba, S., Thiongo, M., Mutuo, P., Abwanda, S., Shepherd, K., Neufeldt, H., et al. 2016. Is conservation agriculture climate-smart for maize farmers in the highlands of Tanzania? *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 105, 217–228. <https://doi.org/10.1007/s10705-015-9711-8>

Kurgat, B., Lamanna, C., Kimaro, N., Manda, L. and Rosenstock, T. 2020. Adoption of climate-smart agriculture technologies in Tanzania. *Frontiers in Sustainable Food Systems* 4, 55. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.00055>

Lipper, L., Thornton, P., Campbell, B. et al. 2014. Climate-smart agriculture for food security. *Nature Climate Change*. 4: 1068–1072. <https://doi.org/10.1038/nclimate2437>

Memarbashi, P., Mojarradi, G. and Keshavarz, M. 2022. Climate-smart agriculture in Iran: Strategies, constraints and drivers. *Sustainability*. 14, 15573. <https://doi.org/10.3390/su142315573>

NASA Earth Observatory. 2010, June 3. How Much More Will Earth Warm? Accessed March 31, 2025.

NASA Earth Observatory. 2025, January 11. 2024 was the warmest year on record. Accessed January 14, 2025.

Nelson, G.C., Rosegrant, M.W., Koo, J., Robertson, R., Sulser, T., Zhu, T., Ringler, C., Msangi, S., Palazzo, A., Batka, M., Magalhaes, M., Valmonte-Santos, R., Ewing, M. and Lee, D. 2009. Climate Change: Impact on agriculture and costs of adaptation. International Food Policy Research Institute, Washington, D.C., doi:10.2499/0896295354

Nhamo, N. and Chikoye, D. 2017. Smart Agriculture: Scope, Relevance, and Important Milestones to Date. In: Nhamo, N., Chikoye, D. and Gondwe, T. (Eds.). *Smart Technologies for Sustainable Smallholder Agriculture: Upscaling in Developing Countries*. First Edition. Academic Press. 1–20. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-810521-4.00001-3>

OPHI and UNDP. 2024. Global Multidimensional Poverty Index 2024: Poverty amid conflict. United Nations Development Programme (UNDP) and Oxford Poverty and Human Development Initiative (OPHI), University of Oxford.

Oyawole, F., Shittu, A., Kehinde, G. and Akinjobi, L. 2020. Women empowerment and adoption of climate-smart agricultural practices in Nigeria. *African Journal of Economic and Management Studies*. 12, 105–119. <https://doi.org/10.1108/AJEMS-04-2020-0137>

Peng, S., Huang, J., Sheehy, J.E., Laza, R.C., Visperas, R.M, Zhong, X., Centeno, G.S., Khush, G.S. and Cassman, K.G. 2004. Rice yields decline with higher night temperature from

global warming. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 101(27), 9971–5. <https://doi.org/10.1073/pnas.0403720101>

Rezaei, E.E., Webber, H., Asseng, S. et al. 2023. Climate change impacts on crop yields. *Nature Reviews Earth and Environment*. 4, 831–846. <https://doi.org/10.1038/s43017-023-00491-0>

Ritchie, H. 2021. Smallholders produce one-third of the world's food, less than half of what many headlines claim. Published online at [OurWorldinData.org](https://www.ourworldindata.org). Retrieved from: '<https://ourworldindata.org/smallholder-food-production>' [Online Resource]

Rival, A. 2018. COP 21 and the global horticulturist: the way to climate smart horticulture. *Acta Horticulture*. 1205: 203–208.

Tumwesigye, W., Aschalew, A., Wilber, W., Atwongyire, D., Mary Nagawa, G. et al. 2019. Climate smart agriculture for improving crop production and biodiversity conservation: Opportunities and challenges in the 21 century - A narrative review. *Journal of Water Resources and Ocean Science*. 8(5): 56. doi: 10.11648/j.wros.20190805.11

United Nations, 2025. What Is Climate Change? Accessed March 24, 2025. Available on: <https://www.un.org/en/climatechange/what-is-climate-change>

United Nations. 2019. World Population Prospects 2019. Available on: <https://population.un.org/wpp/Download/Standard/Population>

Yuan, X., Li, S., Chen, J. et al. 2024. Impacts of global climate change on agricultural production: A comprehensive review. *Agronomy*. 14(7), 1360. <https://doi.org/10.3390/agronomy14071360>

Zakaria, A., Azumah, S., Appiah-Twumasi, M. and Dagunga, G. 2020. Adoption of climate smart agricultural practices among farm households in Ghana: The role of farmer participation in training programmes. *Technology in Society*. 63, 101338. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2020.101338>

Zhang, L., Dabipi, I.K. and Brown Jr., W.L. 2018. Internet of Things Applications for Agriculture. In: Hassan, Q.F. (Ed.). *Internet of Things A to Z: Technologies and Applications*. First Edition. The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. John Wiley & Sons, Inc. 507–528.

The role of climate smart agriculture in food security

Abstract:

In the last few decades, agricultural production has faced difficulties due to a wide range of challenges, the most important of which is climate changes. The fundamental challenge in facing climate change is to meet the nutritional needs of all people, especially the poor, and to ensure food security. Therefore, farmers must adapt to climate change conditions, and this requires profound changes in current approaches. This report first examines the status of food security and climate change in the world and Iran, as well as the impact of climate change on food security. In the following, climate smart agriculture is introduced as a solution to achieve food security in the face of climate change, and its role in food security is examined and analyzed by presenting some effective examples. Finally, the requirements, challenges, and considerations necessary for the development of climate smart agriculture are explained.

Keywords: Climate Change, Climate Smart Agriculture, Food Security, Small-scale Farmers

MINISTRY OF AGRICULTURE - JAHAD

Agricultural Research, Education and Extension Organization

Agricultural Engineering Research Institute

Report title: The role of climate smart agriculture in food security

Written by: B. Jamshidi, B. Nakhoda, V. Kazem-Alilou

Location: Agricultural Engineering Research Institute

Start date: 2023

Duration: 1 Year and 6 months

Publisher: Agricultural Engineering Research Institute

Date of issue: 2025



ISLAMIC REPUBLIC OF IRAN

MINISTRY OF AGRICULTURE - JAHAD

Agricultural Research, Education and Extension Organization

Agricultural Engineering Research Institute

Scientific-Analytical Report:

The role of climate smart agriculture in food security

Written by:

B. Jamshidi

B. Nakhoda

V. Kazem-Alilou

No. 67425



ISLAMIC REPUBLIC OF IRAN

MINISTRY OF AGRICULTURE - JAHAD

Agricultural Research, Education and Extension Organization

Agricultural Engineering Research Institute

Scientific-Analytical Report

The role of climate smart agriculture in food security

No: 67425



آدرس: کرج، بلوار شهید فهمیده، کدپستی: ۳۱۳۵۹۱۳۵۳۳، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی
تلفن: ۳۲۷۰۵۳۲۰، ۳۲۷۰۵۲۴۲ و ۳۶۱۵۰۰۰۰ (۰۲۶)
دورنگار: ۳۲۷۰۶۲۷۷ (۰۲۶)، آدرس دسترسی: www.aeri.ir (بخش گزارش‌های تحلیلی)