

نوع مقاله: پژوهشی

توسعه چارچوب آینده‌پژوهی سامانه‌های غذایی مقاوم در برابر تغییر اقلیم

داود صباحی بیدگلی

دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه MBA، دانشکده مدیریت و فناوری های نرم، دانشگاه مالک اشتر، تهران

تاریخ ارسال: ۱۴۰۴/۱۰/۰۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۰/۳۱

چکیده

تغییر اقلیم به‌عنوان یکی از عمیق‌ترین چالش‌های قرن بیست‌ویکم، بنیان‌های زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی سامانه‌های غذایی جهان را به‌طور فزاینده‌ای تضعیف کرده است. افزایش دما، تشدید رخدادهای حدی اقلیمی، کاهش منابع آب و ناپایداری تولید کشاورزی، امنیت غذایی میلیون‌ها نفر را در معرض خطر قرار داده و ناکارآمدی رویکردهای سنتی برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری را آشکار ساخته است. در چنین بستری، آینده‌پژوهی به‌عنوان رویکردی نظام‌مند برای مواجهه با عدم قطعیت‌های عمیق، امکان تحلیل آینده‌های ممکن و طراحی مسیرهای گذار به سامانه‌های غذایی مقاوم و پایدار را فراهم می‌کند. هدف این پژوهش، توسعه یک چارچوب آینده‌پژوهی جامع برای تقویت تاب‌آوری سامانه‌های غذایی در برابر تغییر اقلیم تا افق ۲۰۵۰ است. در این پژوهش، با تلفیق تحلیل روندهای جهانی، شناسایی نیروهای پیشران کلیدی، سناریونویسی اکتشافی و ارزیابی سیاستی، مسیرهای متفاوت آینده سامانه‌های غذایی بررسی می‌شوند. چارچوب پیشنهادی سه بعد اصلی آینده‌پژوهی، تاب‌آوری اقلیمی و حکمرانی تطبیقی را به‌صورت یکپارچه در بر می‌گیرد و امکان ارزیابی اثرهای متقابل اقلیم، انرژی، فناوری و سیاست را فراهم می‌سازد. یافته‌ها نشان می‌دهد که ادامه روندهای فعلی منجر به تشدید ناامنی غذایی، افزایش وابستگی به واردات و کاهش پایداری زیست‌محیطی خواهد شد، در حالی که گذار هدفمند مبتنی بر سیاست‌های انطباقی، نوآوری فناورانه و مدیریت یکپارچه منابع می‌تواند ظرفیت تاب‌آوری سامانه‌های غذایی را به‌طور معناداری افزایش دهد.

واژه‌های کلیدی: آینده‌پژوهی، سامانه‌های غذایی، تغییر اقلیم، تاب‌آوری، سناریونویسی، سیاست‌گذاری غذایی

مقدمه

دسترسی به غذا به چالش کشیده‌شوند (Al-Amin et al.,

2025; Habib, Singh, Jan, Jan, & Bashir, 2025; Said,

Vigneshwaran, Shaik, Rauf, & Ahmad, 2025) بر

اساس گزارش‌های اخیر، دمای متوسط جهانی نسبت به دوره

پیشاصنعتی بیش از ۱/۱ درجه سانتی‌گراد افزایش یافته است

و انتظار می‌رود این مقدار تا میانه قرن به بیش از ۱/۵ تا ۲

درجه برسد، حتی در خوش‌بینانه‌ترین سناریوهای کاهش

انتشار، پیامدهای این تغییر شامل کاهش عملکرد محصولات

سامانه‌های غذایی جهانی در دهه‌های اخیر تحت فشار

هم‌زمان مجموعه‌ای از تنش‌های ساختاری و شوک‌های بیرونی قرار گرفته‌اند که مقیاس و شدت آن‌ها بی‌سابقه است.

تغییر اقلیم، رشد جمعیت، شهرنشینی سریع، تغییر الگوهای

مصرف، تخریب منابع طبیعی و بی‌ثباتی‌های ژئوپلیتیکی، در

تعامل با یکدیگر موجب شده‌اند پایداری تولید، توزیع و

رویکردهای غالب برنامه‌ریزی در بخش کشاورزی و غذا عمدتاً بر پیش‌بینی‌های خطی، تحلیل روندهای گذشته و سیاست‌های کوتاه‌مدت استوار بوده‌اند. این رویکردها در مواجهه با عدم قطعیت‌های عمیق، شوک‌های غیرمنتظره و پویایی‌های غیرخطی سامانه‌های پیچیده، کارایی محدودی دارند. تجربه بحران‌های اخیر، از پاندمی کووید-۱۹ تا اختلالات زنجیره تأمین ناشی از منازعات ژئوپلیتیکی، نشان داده است که پیش‌بینی‌های کمی به‌تنهایی قادر به هدایت سیاست‌گذاری مؤثر در شرایط عدم قطعیت نیستند (Long & Jingchai, 2025; Taheri, Pishvaei, Jahani, & Zakeri, 2024).

کشاورزی، افزایش خشکسالی‌ها و سیلاب‌ها، تغییر الگوهای بارش و گسترش آفات و بیماری‌ها عواملی هستند که مستقیماً امنیت غذایی را تهدید می‌کنند (Intergovernmental Panel on Climate, 2022; Santos, Ferreira, & Pedersen, 2022; Venmans & Carr, 2024). سامانه‌های غذایی که حدود ۳۰ درصد از انتشار گازهای گلخانه‌ای جهانی را به خود اختصاص می‌دهند، نه تنها قربانی تغییر اقلیم بلکه یکی از محرک‌های اصلی آن نیز محسوب می‌شوند. این چرخه بازخورد منفی ضرورت بازاندیشی اساسی در نحوه طراحی، حکمرانی و تحول سامانه‌های غذایی را برجسته می‌سازد (Crippa et al., 2021; Michel et al., 2024).



شکل ۱: امنیت غذایی جهانی و کشاورزی

Figure 1. Agriculture and Global Food Security

در حوزه سامانه‌های غذایی، آینده پژوهی به‌طور فزاینده‌ای به‌عنوان ابزاری برای پیوند دانش علمی، سیاست عمومی و مشارکت ذی‌نفعان به‌کار رفته است (Brooks & Place, 2019; Grassi et al., 2025; Lazurko, Pinter, & Schweizer, 2024; Wiebe et al., 2018).

آینده‌پژوهی مجموعه‌ای از روش‌ها و رویکردهای نظام‌مند است که با شناسایی روندها، عدم قطعیت‌های کلیدی و نیروهای پیشران به طراحی سناریوهای جایگزین و پشتیبانی از تصمیم‌گیری در شرایط پیچیده کمک می‌کند.

مواد و روش‌ها

۱. محدودیت‌های رویکرد بخشی کشاورزی و ضرورت

تحلیل سامانه غذایی

نقطه قوت این پژوهش نقد صریح رویکردهای تقلیل‌گرایانه‌ای است که تغییر اقلیم و امنیت غذایی را صرفاً در سطح تولید کشاورزی تحلیل می‌کنند. شواهد تجربی دو دهه اخیر نشان داده است که کاهش یا نوسان تولید تنها یکی از مسیرهای اثرگذاری اقلیم بر امنیت غذایی است و در بسیاری از موارد اختلال در زنجیره تأمین، بازار، سیاست‌های تجاری یا الگوهای مصرف، نقش تعیین‌کننده‌تری دارد. بر این مبنا، تحلیل به‌جای تمرکز بر زیربخش‌های منفرد، سامانه غذایی را به‌عنوان یک کل یکپارچه با برهم‌کنش‌های ساختاری و بازخوردهای چندسطحی مورد توجه قرار داد. سامانه غذایی در این چارچوب به‌عنوان سامانه‌ای پیچیده تطبیقی در نظر گرفته می‌شود که در آن اجزای اجتماعی، زیست‌محیطی و فناورانه به‌طور هم‌زمان و از طریق حلقه‌های بازخورد چندگانه با یکدیگر تعامل دارند. تولید کشاورزی در این سامانه نه نقطه آغاز است و نه نقطه پایان، بلکه تنها یکی از گره‌های شبکه‌ای است که فرآوری، لجستیک، بازار، مصرف و حکمرانی نیز به همان اندازه در آن تعیین‌کننده‌اند. این چارچوب نشان می‌دهد که افزایش تولید به‌تنهایی تضمین‌کننده امنیت غذایی نیست و اثرهای اقلیمی اغلب از مسیر سیاست‌های تجاری و انرژی تشدید می‌شوند.

سامانه‌های غذایی به توانایی آنها در جذب شوک‌ها، سازگاری با تغییرات و تحول در پاسخ به تنش‌های بلندمدت اطلاق می‌شود. برخلاف رویکردهای صرفاً بهره‌وری‌محور، تاب‌آوری بر تنوع، انعطاف‌پذیری، یادگیری و حکمرانی چندسطحی تأکید دارد (Huang *et al.*, 2025; Zurek *et al.*, 2022a). مطالعات اخیر نشان می‌دهد که سامانه‌های غذایی با تنوع بالاتر تولید، پیوندهای محلی قوی‌تر و حکمرانی مشارکتی در برابر شوک‌های اقلیمی و اقتصادی مقاوم‌تر هستند. با این حال، عملیاتی‌سازی مفهوم تاب‌آوری در سیاست‌گذاری همچنان با چالش‌های مفهومی و روش‌شناختی مواجه است (Rocha & Pires, 2025; Roosevelt, Raile, & Anderson, 2023; Zurek *et al.*, 2022b). با وجود گسترش ادبیات آینده‌پژوهی و تاب‌آوری غذایی، هنوز چارچوبی جامع که آینده‌پژوهی، تغییر اقلیم و سیاست‌گذاری غذایی را به‌ویژه برای کشورهای آسیب‌پذیر اقلیمی به‌صورت یکپارچه و کاربردی تلفیق کند، توسعه نیافته است. بسیاری از مطالعات موجود یا بر مدل‌های کمی کلان تمرکز دارند یا فاقد پیوند روشن با فرآیند تصمیم‌سازی هستند (Allipour Birgani, Takian, Kianirad, Pouraram, & Djazayery, 2025; Borman *et al.*, 2022; Persson, Andersson, & Forsberg, 2025).

از این‌رو، پژوهش حاضر در پی پاسخ به این پرسش اساسی است که چگونه می‌توان با بهره‌گیری از آینده‌پژوهی، مسیرهای سیاستی مؤثری برای توسعه سامانه‌های غذایی مقاوم در برابر تغییر اقلیم تا افق ۲۰۵۰ طراحی کرد؟



شکل ۲: چرخه کشاورزی پایدار و هوشمند برای تغییر اقلیم

Figure 2. The Climate Smart and Sustainable Agriculture Cycle

۲. تعریف مرزهای سامانه و پیامدهای تحلیلی آن

تعریف مرزهای سامانه غذایی یکی از حساس‌ترین تصمیم‌های روش‌شناختی در این پژوهش بوده است، زیرا تعیین می‌کند چه پدیده‌هایی درون سامانه و چه عواملی برون‌زا تلقی شوند. در این مطالعه، مرز سامانه به گونه‌ای رسم شد که جریان‌های اصلی ماده، انرژی، اطلاعات و قدرت نهادی را پوشش دهد. به طور مشخص، سامانه شامل پنج قلمرو به هم پیوسته است: تولید، زنجیره تأمین و فرآوری، بازار و توزیع، مصرف، و حکمرانی. اهمیت این تعریف در آن است که اجازه می‌دهد اثرهای غیرمستقیم تغییر اقلیم، برای مثال افزایش قیمت انرژی یا محدودیت‌های تجاری، به عنوان بخشی از دینامیک درونی سامانه تحلیل شوند نه شوک‌های خارجی تصادفی. این تصمیم تحلیلی به طور مستقیم بر نتایج سناریویی اثر می‌گذارد، زیرا نشان می‌دهد چرا در برخی آینده‌ها، حتی با کاهش نسبتاً محدود عملکرد محصولات،

سامانه غذایی دچار فروپاشی می‌شود در حالی که سامانه در آینده‌های دیگر توان جذب شوک‌های شدیدتر را دارد.

۳. روش‌شناسی آینده‌پژوهی داده‌محور

یکی از کاستی‌های رایج در پژوهش‌های مرتبط با آینده سامانه‌های غذایی اتکای غالب به روایت‌های ثانویه و چارچوب‌های تفسیری غیرمبتنی بر داده است. برای پرهیز از این محدودیت، مطالعه حاضر به صورت نظام‌مند از داده‌های کمی اقلیمی و غذایی بهره گرفته است. داده‌های حاصل از گزارش‌های IPCC برای تبیین دامنه و شدت فشارهای اقلیمی به کار رفتند، در حالی که داده‌های FAO، بانک جهانی و OECD برای بازنمایی عملکرد واقعی سامانه غذایی در دو دهه گذشته استفاده شدند. منطبق به کارگیری این مجموعه داده‌ها، ایجاد پیوندی تحلیلی میان روندهای مشاهده‌شده گذشته و طیف آینده‌های محتمل است. سناریوهای توسعه‌یافته در این پژوهش مبتنی بر

سیاست‌گذاری می‌تواند آثار منفی تنش‌های اقلیمی را تعدیل یا بازتوزیع کند، و در مقابل شرایطی را آشکار می‌سازد که حتی پیشرفته‌ترین گزینه‌های فناوریانه، در غیاب حکمرانی مؤثر، قادر به جلوگیری از زوال.

۵. تاب‌آوری به‌عنوان فرایند چندسطحی تحلیل شده

تاب‌آوری در این پژوهش نه به‌عنوان وضعیتی ایستا یا مقدار عددی منفرد، بلکه به‌مثابه فرایندی پویا و چندسطحی تحلیل شده است. تمرکز اصلی تحلیل بر نحوه عملکرد سامانه غذایی در مواجهه با تنش‌ها و شوک‌هاست؛ اینکه سامانه تا چه حد قادر است اختلالات اقلیمی را بدون از دست دادن کارکردهای اساسی جذب کند؟ چگونه خود را با شرایط جدید بازتنظیم می‌کند؟ و در چه مقاطعی ناگزیر از تحول ساختاری فراتر از سازگاری‌های تدریجی می‌شود؟ این نگاه فرایندی امکان تفکیک میان سازگاری سطحی و تاب‌آوری ساختاری را فراهم می‌کند. در همین چارچوب، شاخص ترکیبی تاب‌آوری نه به‌عنوان خروجی نهایی پژوهش بلکه به‌عنوان ابزاری تحلیلی برای مقایسه مسیرهای تحول سامانه غذایی در سناریوهای مختلف به‌کار گرفته شد. آنچه در تحلیل اهمیت داشت، تفاوت الگوهای تحول بود، نه صرفاً تفاوت مقادیر عددی شاخص‌ها. مقایسه سناریوها نشان می‌دهد برخی مسیرهای آینده به‌واسطه حکمرانی منسجم و ظرفیت یادگیری نهادی به سمت سازگاری تدریجی و انباشت توان تاب‌آوری حرکت می‌کنند، در حالی که مسیرهای دیگر، در نتیجه ضعف نهادی و ناهماهنگی سیاستی، مستعد بروز فروپاشی‌های ناگهانی و عبور از نقاط واژگونی هستند. این تمایز مبنای اصلی تحلیل پیامدهای سیاستی پژوهش را شکل می‌دهد.

برون‌یابی‌های مقید به داده هستند؛ بدین معنا که هیچ مسیر آینده‌ای بدون سازگاری مفهومی و تجربی با روندهای تاریخی یا سناریوهای مرجع جهانی در نظر گرفته نشده است. این رویکرد شکاف میان آینده‌پژوهی و تحلیل تجربی را کاهش می‌دهد و به ارتقای اتکاپذیری تحلیلی نتایج منجر می‌شود.

۴. بازآرایی پاسخ سامانه غذایی به تنش‌های اقلیمی

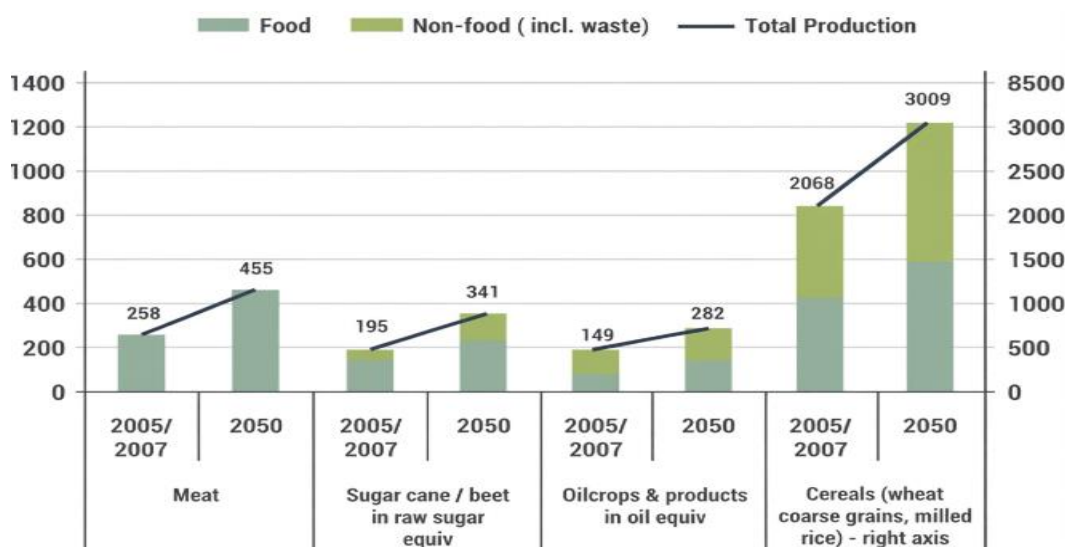
نتایج تحلیل نیروهای پشران نشان می‌دهد تغییر اقلیم اصلی‌ترین منبع فشار ساختاری بر سامانه‌های غذایی در افق بلندمدت است، اما سطح و نحوه بروز پیامدهای آن به‌طور مستقیم به کیفیت سازوکارهای حکمرانی و سیاست‌گذاری وابسته است. تغییرات اقلیمی دامنه محدودیت‌های زیست‌محیطی را تعیین می‌کند، اما این حکمرانی است که مشخص می‌سازد سامانه غذایی چگونه درون این محدودیت‌ها بازآرایی شود، چه ظرفیت‌هایی را فعال کند و کدام آسیب‌پذیری‌ها را شدت بخشد. از این منظر، اقلیم متغیری نسبتاً برون‌زا با دامنه مداخله سیاستی محدود در بازارمحور متمایز می‌سازد و آن را مستقیماً به مسائل واقعی تصمیم‌گیری عمومی پیوند می‌دهد. کوتاه‌مدت است در حالی که حکمرانی واجد بیشترین درجه عدم قطعیت و هم‌زمان بیشترین ظرفیت مداخله آگاهانه انسانی است. بر مبنای این تحلیل، منطق سناریوسازی پژوهش حاضر بر کیفیت حکمرانی سامانه غذایی استوار شد، نه بر مسیرهای فناوریانه یا پویایی‌های بازار به‌تنهایی. این انتخاب روش، پیامد تحلیلی مهمی دارد: تمرکز سناریوها از آنچه ممکن است از نظر فنی رخ دهد منتقل می‌شود به آنچه در چارچوب‌های نهادی و سیاستی قابل تحقق است. بدین ترتیب، سناریوها امکان بررسی شرایطی را فراهم می‌کنند که در آن

بحث و نتایج

۱. ناهمخوانی رشد تولید و کارکرد تغذیه‌ای سامانه غذایی

سمت رژیم‌های گیاهی گرایش پیدا می‌کنند؛ در نتیجه مصرف گوشت کاهش یافته و غذاهای گیاهی و دریایی اهمیت بیشتری می‌یابند، هرچند این گذار به سمت گیاهخواری به صورت کامل و قطعی نخواهد بود و احتمالاً ترکیبی از هر دو سبک غذایی را شاهد خواهیم بود، که هر دو رویکرد به دنبال کاهش ردپای زیست‌محیطی و بهبود سلامت هستند. با این حال، سهم قابل توجهی از این افزایش به مصرف‌های غیرخوراکی، از جمله خوراک دام، سوخت‌های زیستی و ضایعات، اختصاص می‌یابد. این الگو نشان می‌دهد که افزایش تولید به‌تنهایی شاخص مناسبی برای ارزیابی امنیت غذایی نیست.

تحلیل داده‌های تولید جهانی نشان می‌دهد که رشد کمی تولید غذا الزاماً به تقویت کارکرد تغذیه‌ای سامانه غذایی منجر نمی‌شود، شکل (۳). بر اساس برآوردهای مقایسه‌ای ۲۰۰۷-۲۰۵۰ و افق ۲۰۵۰، تولید کل غلات (شامل گندم، غلات دانه‌درشت و برنج سفیدشده) بیش از سه برابر افزایش می‌یابد (از حدود ۹۰۰ میلیون تن معادل به بیش از ۳۰۰۰ میلیون تن). این سناریو به تغییرات الگوی غذایی اشاره دارد که در آن دسترسی به غذا بهبود می‌یابد و مردم بیشتر به



شکل ۳: تولید و مصرف جهانی محصولات عمده (میلیون تن)

Figure 3. Global Production and Consumption of Major Agricultural Products (Million Tonnes)

سامانه غذایی آینده، حتی در شرایط وفور کالری، می‌تواند با کمبودهای کیفی و ریزمغذی مواجه شود. از منظر تاب‌آوری، این وضعیت سامانه را در برابر شوک‌های قیمتی و اختلالات تجاری آسیب‌پذیرتر می‌کند.

۲. فناوری‌های زیستی: پذیرش اجتماعی بالا، اثرگذاری سیستمی محدود بدون حکمرانی

در مقابل، محصولاتی با نقش تغذیه‌ای حساس‌تر، نظیر دانه‌های روغنی و محصولات پروتئینی، رشد ملایم‌تری را تجربه می‌کنند. به‌عنوان نمونه، تولید معادل روغن‌های گیاهی تا ۲۰۵۰ کمتر از دو برابر می‌شود، در حالی که تقاضای جهانی برای انرژی و خوراک دام با نرخ بالاتر افزایش می‌یابد. این عدم‌تقارن کمی، بیانگر آن است که

به ربات‌های با ظرفیت بار متوسط و بالاست که در فرآوری، بسته‌بندی و لجستیک غذایی به کار گرفته می‌شوند. این روند بیانگر شتاب بالای اتوماسیون در بخش‌های پسین زنجیره غذایی است. با این حال، نتایج پژوهش نشان می‌دهد که رشد سرمایه‌گذاری فناورانه لزوماً به افزایش تاب‌آوری سامانه غذایی منجر نمی‌شود. در سناریوهایی که حکمرانی بازار کار، سیاست‌های انرژی و دسترسی عادلانه به فناوری نادیده گرفته می‌شود، اتوماسیون می‌تواند به حذف نیروی کار، افزایش وابستگی به انرژی و تمرکز ریسک در گلوگاه‌های فناورانه منجر شود.

در سناریوهای جایگزین، که رباتیک در چارچوب سیاست‌های گذار انرژی، آموزش نیروی کار و تنوع‌بخشی زنجیره تأمین پیاده‌سازی می‌شود، همان سطح از نفوذ فناوری به افزایش پایداری عملیاتی و کاهش حساسیت به شوک‌های اقلیمی منجر می‌گردد. این تضاد، بار دیگر نقش تعیین‌کننده حکمرانی را برجسته می‌کند.

نتیجه‌گیری

برآیند تحلیل‌های داده‌محور این پژوهش نشان می‌دهد که چالش اصلی پیش روی سامانه‌های غذایی جهانی در افق ۲۰۵۰ نه محدودیت فناورانه و نه ناتوانی در افزایش ظرفیت تولید، بلکه ناترازی ساختاری در جهت‌دهی مسیر تحول سامانه‌ای است. شواهد تجربی حاکی از آن است که افزایش تولید می‌تواند هم‌زمان با تداوم ناامنی غذایی، تشدید نابرابری‌های تغذیه‌ای و افزایش آسیب‌پذیری سامانه در برابر شوک‌های اقلیمی و ژئوپلیتیکی رخ دهد. همان‌گونه که گسترش فناوری‌های زیستی و رباتیک حتی در شرایط پذیرش اجتماعی بالا در غیاب چارچوب‌های نهادی منسجم و سیاست‌گذاری هماهنگ الزاماً به تقویت تاب‌آوری سامانه غذایی منجر نمی‌شود و در برخی سناریوها خود به منبعی

داده‌های مرتبط با پذیرش فناوری‌های زیستی نشان می‌دهد که در بسیاری از کاربردها، میزان پذیرش اجتماعی بالاست. بیش از ۹۰ درصد پذیرش برای کاربردهای پزشکی زیست‌فناوری (مانند تولید آنتی‌بیوتیک‌ها)، و بیش از ۸۵ درصد برای محصولات تراریخته با کارکردهای تغذیه‌ای یا زیست‌محیطی (مانند برنج طلایی یا کاهش مصرف سموم) گزارش شده است. این ارقام نشان می‌دهد که مانع اصلی توسعه این فناوری‌ها، لزوماً مقاومت اجتماعی نیست. با این حال، تحلیل سناریویی پژوهش نشان می‌دهد که حتی در شرایط پذیرش اجتماعی بالا، اثرگذاری این فناوری‌ها بر تاب‌آوری سامانه غذایی به‌شدت وابسته به چارچوب‌های حکمرانی است. در سناریوهای با سیاست‌گذاری ناهماهنگ، فناوری‌های زیستی عمدتاً به افزایش بهره‌وری در واحدهای بزرگ و تجاری منجر می‌شوند، در حالی که شکاف بهره‌وری میان تولیدکنندگان تشدید می‌شود. این امر می‌تواند به تمرکز بیشتر تولید و کاهش تنوع ساختاری سامانه غذایی منجر شود؛ عاملی که تاب‌آوری بلندمدت را تضعیف می‌کند. در مقابل، در سناریوهای حکمرانی تطبیقی، همان فناوری‌ها به‌عنوان ابزار کاهش ریسک اقلیمی، بهبود کیفیت تغذیه و کاهش فشار بر منابع طبیعی عمل می‌کنند. این تمایز نشان می‌دهد که فناوری به‌خودی‌خود نه نجات‌بخش است و نه تهدید، بلکه اثر آن تابع نحوه ادغام نهادی و سیاستی در سامانه غذایی است.

۳. رباتیک و اتوماسیون: رشد بازار در برابر شکاف تاب‌آوری

تحلیل داده‌های بازار رباتیک غذایی نشان می‌دهد که اندازه این بازار از حدود ۳ میلیارد دلار در سال ۲۰۲۳ به نزدیک ۹ میلیارد دلار در سال ۲۰۳۳ خواهد رسید، با میزان رشد مرکب سالانه حدود ۱۱/۵ درصد بیشترین رشد مربوط

برای تمرکز ریسک و تولید آسیب‌پذیری‌های نوظهور بدل می‌گردد. نتیجه‌گیری محوری این مطالعه آن است که تاب‌آوری سامانه غذایی در مواجهه با تغییر اقلیم بیش از آنکه تابع شدت فشارهای اقلیمی یا شتاب نوآوری‌های فناورانه باشد به کیفیت حکمرانی، انسجام تصمیم‌گیری نهادی و توان سیاست‌گذاری در هدایت آگاهانه تحول سامانه‌ای وابسته است. سناریوهای توسعه‌یافته نشان می‌دهند که آینده‌های مطلوب تنها زمانی قابل تحقق‌اند که حکمرانی سامانه غذایی بتواند میان اهداف تولید، تغذیه، پایداری زیست‌محیطی و عدالت اجتماعی تعادل برقرار کند و از منطق‌های بخشی، واکنشی و کوتاه‌مدت فراتر رود؛ در این چارچوب، آینده نه به‌مثابه وضعیتی ازپیش‌تعیین‌شده، بلکه به‌عنوان فضایی از مسیرهای مشروط به انتخاب‌های نهادی فهم می‌شود. از

فشارهای اقلیمی، پویایی‌های فناورانه و سازوکارهای حکمرانی صورت‌بندی می‌کند و نشان می‌دهد که دستیابی به سامانه‌های غذایی مقاوم در برابر تغییر اقلیم تا افق ۲۰۵۰ مستلزم گذار از رویکردهای مبتنی بر بیشینه‌سازی تولید و فناوری‌محوری صرف به‌سوی حکمرانی تطبیقی، داده‌محور و حساس به بازخوردهای سامانه‌ای است؛ گذاری که نه تنها شرط لازم افزایش تاب‌آوری، بلکه پیش‌نیاز تحقق هم‌زمان امنیت غذایی، پایداری محیط‌زیستی و تاب‌آوری نهادی در دهه‌های آینده به‌شمار می‌رود و در نهایت روشن می‌سازد که سرنوشت سامانه‌های غذایی بیش از هر چیز در کیفیت تصمیم‌های نهادی امروز رقم می‌خورد، تصمیم‌هایی که مرز میان تاب‌آوری و فروپاشی غذایی در افق ۲۰۵۰ را تعیین خواهند کرد.

تعارض منافع

نویسندگان تعارض منافع نداشته‌اند.

منظر آینده‌پژوهی، سهم اصلی این مقاله در ارائه چارچوبی تحلیلی است که آینده سامانه غذایی را نه از دریچه پیش‌بینی‌های خطی، بلکه از رهگذر تحلیل برهم‌کنش میان

مراجع

- Al-Amin, M., Mondol, J., Jabir, A., Ahmed, R., Rafay, A., Saddiqua, A., Khan, A. (2025). Citation: Haya: The Saudi Journal of Life Sciences Global Food Systems Under Climate Stress: Strategies for Nutritional Security and Sustainable Human Diets.
- Allipour Birgani, R., Takian, A., Kianirad, A., Pouraram, H., & Djazayeri, A. (2025). Climate Change and Food Security: A Framework for Agenda Setting and Policy Analysis in Iran. *International journal of public health*, 70, 1608116. doi:10.3389/ijph.2025.1608116
- Borman, G. D., de Boef, W. S., Dirks, F., Gonzalez, Y. S., Subedi, A., Thijssen, M. H., . . . van Berkum, S. (2022). Putting food systems thinking into practice: Integrating agricultural sectors into a multi-level analytical framework. *Global Food Security*, 32, 100591. doi:<https://doi.org/10.1016/j.gfs.2021.100591>
- Brooks, K., & Place, F. (2019). Global food systems: Can foresight learn from hindsight? *Global Food Security*, 20, 66-71. doi:<https://doi.org/10.1016/j.gfs.2018.12.004>
- Crippa, M., Solazzo, E., Guizzardi, D., Monforti, F., Tubiello, F., & Leip, A. (2021). Food systems are responsible for a third of global anthropogenic GHG emissions. *Nature Food*, 2, 1-12. doi:10.1038/s43016-021-00225-9
- Grassi, G., Zennaro, F., Ferraro, G., Beunen, R., Douguet, J.-M., & Furlan, E. (2025). Strategic foresight analysis for the management of land-sea interface in a climate change context: A comprehensive literature review. *Environmental Science & Policy*, 171, 104111. doi:<https://doi.org/10.1016/j.envsci.2025.104111>
- Habib, M., Singh, S., Jan, S., Jan, K., & Bashir, K. (2025). The future of the future foods: understandings from the past towards SDG-2. *npj Science of Food*, 9(1), 138. doi:10.1038/s41538-025-00484-x
- Huang, I. Y., Forero, O. A., Wagner-Medina, E. V., Florez Diaz, H., Tremma, O., Fargetton, X., & Lowenberg-DeBoer, J. (2025). Resilience of food supply systems to sudden shocks: A global review

- and narrative synthesis. *Global Food Security*, 44, 100842. doi:<https://doi.org/10.1016/j.gfs.2025.100842>
- Intergovernmental Panel on Climate, C. (2022). *Global Warming of 1.5°C: IPCC Special Report on Impacts of Global Warming of 1.5°C above Pre-industrial Levels in Context of Strengthening Response to Climate Change, Sustainable Development, and Efforts to Eradicate Poverty*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Lazurko, A., Pinter, L., & Schweizer, V. (2024). Future directions for scenario and foresight practice amid 21st century complexity and ambiguity. In.
- Long, L., & Jingchai, C. (2025). Analysis of agricultural production efficiency improvement and economic sustainability based on multi-source remote sensing data. *Frontiers in Environmental Science*, 13. doi:10.3389/fenvs.2025.1546643
- Michel, M., Eldridge, A. L., Hartmann, C., Klassen, P., Ingram, J., & Meijer, G. W. (2024). Benefits and challenges of food processing in the context of food systems, value chains and sustainable development goals. *Trends in Food Science & Technology*, 153, 104703. doi:<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2024.104703>
- Persson, B. M., Andersson, J., & Forsberg, P. B. (2025). Exploring Pathways for Change: A Practice-Oriented Integration of Foresight and Sustainability Transitions. *FUTURES & FORESIGHT SCIENCE*, 7(1), e209. doi:<https://doi.org/10.1002/ffo2.209>
- Rocha, F., & Pires, S. M. (2025). Innovating in food systems: challenges and opportunities in urban governance for sustainable transition. *Urban Governance*, 5(4), 466-481. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ugj.2025.10.004>
- Roosevelt, M., Raile, E. D., & Anderson, J. R. (2023). Resilience in Food Systems: Concepts and Measurement Options in an Expanding Research Agenda. *Agronomy*, 13(2), 444. Retrieved from doi:10.3390/agronomy13020444
- Said, Z., Vigneshwaran, P., Shaik, S., Rauf, A., & Ahmad, Z. (2025). Climate and carbon policy pathways for sustainable food systems. *Environmental and Sustainability Indicators*, 27, 100730. doi:<https://doi.org/10.1016/j.indic.2025.100730>
- Santos, F. D., Ferreira, P. L., & Pedersen, J. S. T. (2022). The Climate Change Challenge: A Review of the Barriers and Solutions to Deliver a Paris Solution. *Climate*, 10(5), 75.
- Taheri, N., Pishvaei, M. S., Jahani, H., & Zakeri, D. (2024). Towards sustainable resource allocation in agriculture: A systematic review on cropping pattern optimization approaches. *Applied Soft Computing*, 167, 112360. doi:<https://doi.org/10.1016/j.asoc.2024.112360>
- Venmans, F., & Carr, B. (2024). Literature-informed likelihoods of future emissions and temperatures. *Climate Risk Management*, 44, 100605. doi:<https://doi.org/10.1016/j.crm.2024.100605>
- Wiebe, K., Zurek, M., Lord, S., Brzezina, N., Gabrielyan, G., Libertini, J., Westhoek, H. (2018). Scenario Development and Foresight Analysis: Exploring Options to Inform Choices. *Annual Review of Environment and Resources*, 43. doi:10.1146/annurev-environ-102017-030109
- Zurek, M., Ingram, J., Sanderson Bellamy, A., Goold, C., Lyon, C., Alexander, P., Withers, P. (2022a). Food System Resilience: Concepts, Issues, and Challenges. *Annual Review of Environment and Resources*, 47. doi:10.1146/annurev-environ-112320-050744
- Zurek, M., Ingram, J., Sanderson Bellamy, A., Goold, C., Lyon, C., Alexander, P., Withers, P. (2022b). Food System Resilience: Concepts, Issues, and Challenges. *Annual Review of Environment and Resources*, 47, 22.21-22.24. doi:10.1146/annurev-environ-112320

Original Research

Developing a Foresight Framework for Climate Resilient Food Systems

Davoud Sabahi Bidgoli

***Corresponding Author:** Postgraduate, MBA Department, Faculty of Management and Soft Technologies, Malek Ashtar University, Tehran

Email: dsabahib@gmail.com

Received: 27 December 2025 **Accepted:** 21 June 2026

http://doi: 10.22092/fooder.2026.371900.1446

Abstract

Climate change, as one of the most profound challenges of the twenty-first century, has increasingly undermined the environmental, economic, and social foundations of global food systems. Rising temperatures, the intensification of extreme climatic events, growing water scarcity, and instability in agricultural production have placed the food security of millions at risk, while simultaneously exposing the limitations of conventional planning and policy-making approaches. In this context, foresight emerges as a systematic approach for addressing deep uncertainty, enabling the exploration of plausible futures and the design of transition pathways toward resilient and sustainable food systems. The objective of this study is to develop a comprehensive foresight framework to enhance the resilience of food systems to climate change through to the 2050 horizon. By integrating global trend analysis, identification of key driving forces, exploratory scenario development, and policy assessment, the research examines alternative future trajectories of food systems. The proposed framework coherently combines three core dimensions foresight, climate resilience, and adaptive governance allowing for the assessment of interactions among climate, energy, technology, and policy domains. The findings indicate that a continuation of current trajectories is likely to exacerbate food insecurity, increase dependence on imports, and erode environmental sustainability, whereas a deliberate transition grounded in adaptive policies, technological innovation, and integrated resource management can substantially strengthen the resilience capacity of food systems.

Keywords: Foresight, Food Systems, Climate Change, Resilience, Scenario Development, Food Policy