

راهبردهای پایداری برای زنجیره تولید چای ایران در شرایط تغییرپذیری‌های اقلیمی: یک رویکرد مدل‌سازی

حامد دستمردی، رویا اشراقی سامانی، بیتا رحیمی بدر، محمدنبی ایلکائی دهنو^۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۱/۲۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۶/۱۵

چکیده

صنعت چای به‌عنوان یکی از بخش‌های مهم کشاورزی ایران، تحت تأثیر عامل‌های مختلفی از جمله تغییرپذیری‌های اقلیمی، نوسان‌های اقتصادی، استانداردهای کیفی و مسئله‌های مدیریتی قرار دارد. هدف این پژوهش ارزیابی و بهبود عملکرد زنجیره تولید چای در استان گیلان با تأکید بر شرایط تغییرپذیری‌های اقلیمی است. برای این منظور، از مدل فرایند تحلیل شبکه‌ای (ANP) به‌منظور شناسایی و اولویت‌بندی معیارها و زیرمعیارهای مؤثر بر زنجیره تولید چای استفاده شده است. داده‌های مورد نیاز از طریق نظرخواهی از خبرگان و توزیع و تکمیل پرسشنامه مقایسه‌های زوجی گردآوری گردید. جامعه آماری شامل کشاورزان چای‌کار و کارخانه‌های فرآوری چای در استان گیلان بوده و حجم نمونه با استفاده از روش نمونه‌گیری طبقه‌ای ۲۵۳ نفر تعیین شد. نتایج نشان داد که معیارهای اقلیمی با وزن ۰/۰۶۷، بیشترین تأثیر را بر تاب‌آوری زنجیره تولید چای دارند، به‌ویژه تغییرپذیری‌ها و نوسان بارندگی که نقش کلیدی در تولید و کیفیت برگ سبز چای ایفا می‌کند. در بین معیارهای اقتصادی، هزینه‌های تولید به‌عنوان مهم‌ترین عامل شناسایی شد که به دلیل نوسان‌های قیمت نهاده‌ها و هزینه‌های برداشت، بر تاب‌آوری کشاورزان و کارخانه‌های فرآوری چای تأثیر می‌گذارد. همچنین، در معیار کیفیت برگ چای برداشت‌شده بیشترین اهمیت را داشتند. در نهایت، از میان معیارهای مدیریتی، آموزش و آگاهی‌بخشی به کشاورزان و کارکنان به‌عنوان تأثیرگذارترین زیرمعیار شناخته شد که نقش مهمی در پایداری زنجیره تولید چای دارد. بنا بر یافته‌های این پژوهش، تدوین راهبردهای مدیریت خطرپذیری اقلیمی و به‌کارگیری فناوری‌های نوین کشاورزی و فرآوری می‌تواند به بهبود عملکرد زنجیره تولید چای کمک کند و زمینه را برای توسعه پایدار این صنعت فراهم سازد.

طبقه‌بندی JEL: Q54، Q12، O21

واژه‌های کلیدی: زنجیره تولید چای، مدل ANP، تغییرپذیری‌های اقلیمی، بارندگی، استان گیلان

^۱ به ترتیب دانشجوی دکتری، دانشیار (نویسنده مسئول)، استادیار گروه اقتصاد کشاورزی، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران. دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران

Email: Roya.eshraghi@iaua.ac.ir

مقدمه

کشاورزی به عنوان یکی از پایه های اصلی اقتصاد بسیاری از کشورها، نقش حیاتی در تأمین امنیت غذایی، ایجاد اشتغال و پایداری اقتصادی دارد. این بخش به ویژه در کشورهای در حال توسعه مانند ایران، با داشتن تنوع محصول های کشاورزی، منبع اصلی درآمد برای بسیاری از خانوارهای روستایی است. با این حال، کشاورزی به شدت تحت تأثیر عامل های محیطی قرار دارد و تغییرپذیری های اقلیمی به عنوان یک چالش جدی، پایداری این بخش را به خطر می اندازد (Haji-Rahimi et al., 2024). بنابر گزارش های بین المللی^۱ IPCC، تغییرپذیری های اقلیمی به طور مستقیم امنیت غذایی را در سطح جهانی تهدید می کند و کشورهای در حال توسعه با بیشترین اثرگذاری های منفی روبرو هستند (Mbow et al. 2019). این تغییرپذیری ها می توانند کاهش بازده محصول های کشاورزی، افزایش هدررفت برداشت و کاهش بهره وری در نظام های کشاورزی کوچک مقیاس را به همراه داشته باشند (Beltrán-Tolosa et al. 2020). چالش های ناشی از تغییرپذیری های اقلیمی نه تنها بر تولید مواد غذایی اثرگذار هستند، بلکه تأثیرگذاری های گسترده ای بر معیشت و اقتصاد خانوارهای وابسته به کشاورزی نیز دارند (Tohidimoghadam et al., 2023; et al., 2024).

چای، به عنوان یک محصول با ارزش اقتصادی و راهبردی کشاورزی ایران، نقشی مهم در زندگی اقتصادی و اجتماعی منطقه های شمالی ایفا می کند (Majdsalimi, K., Falakrou, 2021). تولید چای در ایران به ویژه در استان گیلان، یکی از نقطه های قوت اقتصادی این منطقه است که به دلیل شرایط جغرافیایی مناسب و اقلیم مساعد، از دیرباز به عنوان مرکز تولید این محصول شناخته شده است. این زنجیره شامل فرآیندهای مختلفی از کاشت، داشت و برداشت برگ های چای در چایکاری های کوچک گرفته تا فرآوری و بسته بندی چای در کارخانه های محلی و در نهایت عرضه به بازارهای داخلی و خارجی است. در این میان، پدیده ادغام عمودی نیز در ساختار این زنجیره نقش شایان توجهی ایفا می کند؛ به طوری که برخی از کارخانه های فرآوری افزون بر خرید برگ سبز از کشاورزان، خود نیز دارای چایکاری های اختصاصی هستند و این امر موجب ارتباط تنگاتنگ تر میان مرحله های تولید و فرآوری می شود. چنین ساختاری اگرچه می تواند به بهبود کیفیت و کاهش هزینه ها کمک کند، اما در عین حال وابستگی و آسیب پذیری کل زنجیره را در

¹ Intergovernmental Panel on Climate Change

راهبردهای پایداری برای... ۵۵

برابر تغییرپذیری‌های محیطی و اقلیمی افزایش می‌دهد و بر حساسیت آن نسبت به اختلال‌های بیرونی می‌افزاید.

تغییرپذیری‌های اقلیمی به‌عنوان یکی از چالش‌های بزرگ سده بیست‌ویکم، تأثیرگذاری‌های گسترده‌ای بر کشاورزی و محصول‌های وابسته به آن داشته است. افزایش دما، نوسان‌های بارش، خشکسالی‌های شدید و رویدادهای غیرمنتظره مانند سیلاب‌ها، تولید چای در استان گیلان را تحت تأثیر قرار داده‌اند. این تغییرپذیری‌ها نه تنها بر عملکرد چایکاری‌ها، بلکه بر کیفیت و کمیت محصول برداشت‌شده تأثیر می‌گذارند (Afrakhteh, 2005). اثرگذاری تغییرپذیری‌های اقلیمی بر زنجیره تأمین چای تنها محدود به بخش تولید نیست. این تغییرپذیری‌ها بر کیفیت برگ‌های چای، فرآیندهای کارخانه‌ای و حتی توزیع و فروش محصول نهایی نیز اثرگذار هستند (Benti et al., 2023; Rwigema, 2021). به‌عنوان مثال، خشکسالی می‌تواند منجر به کاهش تولید شود و بارش‌های شدید می‌توانند فرسایش خاک و کاهش کیفیت برگ‌ها را به همراه داشته باشند (Bett, 2018).

استان گیلان با تولید بخش عمده‌ای از چای کشور، نقش کلیدی در تأمین این محصول برای مصرف داخلی دارد (Cheraghi & Gholi Pour, 2008). با توجه به تأثیر مستقیم و غیرمستقیم تغییرپذیری‌های اقلیمی بر چایکاری‌ها و کارخانه‌های فرآوری، بررسی دقیق عامل‌های مؤثر بر تولید و توزیع چای در این منطقه ضروری به نظر می‌رسد. چایکاری‌ها در گیلان با شرایط متغیر دما و بارش، اغلب با کاهش کیفیت محصول و افزایش هزینه‌های تولید روبرو هستند. این امر بر پایداری زنجیره تأمین چای در بلندمدت تأثیر می‌گذارد و برنامه‌ریزی دقیق برای مدیریت منابع و کاهش آسیب‌پذیری در برابر تغییرپذیری‌های اقلیمی را پرهیزناپذیر می‌سازد. افزون بر تأثیرگذاری‌های اقلیمی، نقش سیاست‌های مدیریتی و حمایتی نیز در بهبود عملکرد زنجیره تولید چای شایان توجه است. سیاست‌های مناسب می‌توانند به کاهش هزینه‌های تولید، افزایش کیفیت محصول و بهبود زیرساخت‌های توزیع کمک کنند (Mila et al., 2024). ایجاد برنامه‌های حمایتی برای کشاورزان و تولیدکنندگان چای، همراه با استفاده از فناوری‌های نوین، می‌تواند تأثیرگذاری‌های منفی تغییرپذیری‌های اقلیمی را کاهش داده و بهره‌وری این زنجیره را بهبود بخشد.

تأثیر تغییرپذیری‌های اقلیمی بر صنعت چای از جنبه‌های مختلفی در پژوهش‌های کاربردی علمی مورد بررسی قرار گرفته است. (Chen et al., 2022) با هدف ارزیابی تناسب کاشت چای در

یکی از منطقه‌های چین و پشتیبانی از برنامه‌ریزی دولت، بررسی و ارزیابی‌هایی انجام دادند. این پژوهش با استفاده از داده‌های سنجش از دور و تحلیل‌های سلسله مراتبی، ۱۴ عامل اقلیمی، خاکی، ناهمواری یا عوارض به کارگیری نیروی انسانی را برای ارزیابی تناسب کشت چای مورد بررسی قرار داد. نتایج نشان داد که دما، بارندگی، شیب و ارتفاع به عنوان مهم‌ترین عامل‌های مؤثر بر تناسب کشت شناخته شدند. افزون بر این، منطقه‌های بسیار مناسب با نسبت ۱۶/۹۱ درصد از کل منطقه توزیع بهینه‌ای برای کاشت چای ارائه دادند، در حالی که تأثیر عامل نیروی انسانی در مقایسه با عامل‌های طبیعی ناچیز گزارش شد. (Mallik and Ghosh (2022) تأثیر متغیرهای اقلیمی بر تولید چای را در منطقه دوز ایالت بنگال غربی هند بررسی کردند. نتایج این پژوهش نشان داد که دمای بالا در فصل تابستان تولید چای را کاهش می‌دهد، در حالی که دمای بالاتر در زمستان و بارش‌های دو فصل تابستان و زمستان اثر مثبتی بر تولید دارند. همچنین، بارش‌های پراکنده و شرایط گرم و مرطوب در فصل موسمی تأثیری منفی بر عملکرد چای داشتند. پیش‌بینی‌های اقلیمی در پیش‌فرض‌های انتشار کربن نیز کاهش تولید چای در فصل موسمی را نشان می‌دهند.

Muench et al. (2021) رفتار سازگاری کشاورزان خرده‌مالک چای در نپال را با تغییرپذیری‌های اقلیمی بررسی کردند. این پژوهش با استفاده از مدل‌های رگرسیونی نشان داد که منابع اطلاعاتی (مانند اینترنت و آموزش) و عامل‌های نهادی (دسترسی به اعتبار و عضویت در تعاونی‌ها) تأثیر مثبتی بر سازگاری کشاورزان داشتند. یافته‌ها بر لزوم تعامل بیشتر دولت نپال با ذینفعان زنجیره ارزش چای داخلی برای بهبود ظرفیت سازگاری و ارتقای موفقیت اقتصادی تأکید داشتند. Fu et al. (2020) در پژوهش و ارزیابی خود با ارائه یک سیستم ارزیابی کمی برای چای، به بهبود سازوکارهای کنونی ارزیابی چای پرداختند. این سامانه با ادغام تحلیل سلسله مراتبی فازی و متغیرهای زبانی، سه بعد اصلی شامل مدیریت چایکاری (وزن ۵۳۳/۰)، فرآیند تولید (وزن ۳۲۹/۰) و ارزیابی حسی (وزن ۱۳۸/۰) را مورد تحلیل قرار داد. نتایج نشان داد که مدیریت چایکاری بیشترین اهمیت را دارد و ارزیابی حسی، به‌رغم توجه ویژه در گذشته، اهمیت کمتری نسبت به دیگر ابعاد دارد. (Layomi Jayasinghe et al. (2019) در پژوهش و ارزیابی خود به ارزیابی تناسب زمین برای کشت چای در سریلانکا پرداختند. در این پژوهش، عامل‌های اقلیمی، ناهمواری یا عوارض و ساختار کمی و کیفی خاک با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و مدل DEMATEL نیز مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که بیشترین بخش

راهبردهای پایداری برای... ۵۷

زمین‌های سریلانکا در طبقه تناسب پایین (۴۲/۱ درصد) و ۲۸/۵ درصد در طبقه نامناسب قرار داشتند. همچنین، ۱۲/۴ درصد زمین‌های به نسبت مناسب، ۱۳/۹ درصد بسیار مناسب و ۲/۵ درصد در طبقه بسیار مناسب برای کشت چای طبقه‌بندی شدند. منطقه Nuwara Eliya با ۲۹/۵ درصد از طبقه بسیار مناسب، دارای بهترین شرایط برای کشت چای است.

Kahneh et al., (2018) تأثیر تغییرپذیری‌های اقلیمی بر رشد بوته چای در استان گیلان را بررسی کردند. نتایج نشان داد که میانگین بارندگی در فصل‌های برداشت محصول اغلب کمتر از ۱۰۰ میلی‌متر بوده و برای رشد چای دیم کافی نیست. میانگین دمای ماهیانه در فصل‌ها و مرحله‌های رشد چای طی سال‌های اخیر ۱/۶ درجه افزایش داشته و شمار روزهای با دمای بالای ۳۵ درجه سلسیوس، که به رشد چای آسیب می‌رساند، به طور چشمگیری افزایش یافته است. Cheraghi & Gholi Pour (2009) نیز در بررسی‌های خود به تحلیل سیاست‌های بازار چای پرداختند و نشان دادند که به رغم افزایش تولید داخلی، مصرف چای خارجی افزایش یافته است. کاهش مصرف چای داخلی در خانوارها و چالش‌های مرتبط با بازار چای از جمله علت‌های این روند بوده و نیازمند بازنگری سیاست‌های کارآمد و اجرایی تنظیم بازار است.

پژوهش‌های پیشین در زمینه صنعت و زنجیره تولید چای، ابعاد مختلفی مانند تناسب زمین برای کاشت، تأثیرگذاری تغییرپذیری‌های اقلیمی، رفتارهای سازگاری کشاورزان و سیاست‌های بازار را بررسی کرده‌اند. نتایج نشان داده است که عامل‌هایی همچون دما، بارندگی و شیب زمین از مهم‌ترین متغیرهای طبیعی مؤثر بر تولید و عملکرد چای هستند. همچنین، بررسی‌های انجام‌شده گویای آن است که شرایط اقلیمی مانند دمای بالا در تابستان یا بارش‌های نامنظم می‌توانند به کاهش تولید منجر شوند. در برخی پژوهش‌ها، نقش منابع اطلاعاتی و دسترسی به اعتبارات مالی در تقویت ظرفیت سازگاری کشاورزان و بهبود زنجیره ارزش چای نیز برجسته شده است. افزون بر این، اهمیت مدیریت چایکاری و استفاده از مدل‌های تحلیل چندمعیاره برای شناسایی منطقه‌های مناسب کاشت یا ارزیابی عملکرد زنجیره تولید در کشورهای مانند سریلانکا و نپال مورد تأکید قرار گرفته است. بررسی‌ها در ایران نیز بر تأثیر مستقیم تغییرپذیری‌های اقلیمی بر رشد و کیفیت چای تمرکز داشته‌اند. افزایش دمای ماهیانه، کاهش بارندگی در فصل‌های رشد و گسترش روزهای با دمای بالا از جمله عامل‌هایی بوده‌اند که به کاهش عملکرد و اختلال در زنجیره تولید چای منجر شده‌اند.

این پژوهش با رویکردی جامع به ارزیابی و تحلیل عملکرد زنجیره تولید چای ایران در شرایط تغییرپذیری‌های اقلیمی می‌پردازد. برخلاف پژوهش‌های پیشین که بیشتر بر جنبه‌های خاصی مانند تناسب زمین یا تولید تمرکز داشته‌اند، این پژوهش حلقه‌های مختلف زنجیره، از جمله تولید و فرآوری را در بر می‌گیرد. استفاده از مدل ANP^۱ در این پژوهش امکان بررسی دقیق معیارهای اقلیمی، اقتصادی و مدیریتی را فراهم کرده و با تحلیل جامع تعامل‌های میان این معیارها، زمینه ارائه راهکارهایی برای ارتقای کارایی و پایداری زنجیره تولید چای را فراهم می‌سازد. با وجود انجام پژوهش‌های چندی در زمینه تأثیر تغییرپذیری‌های اقلیمی بر کشاورزی، بررسی جامع زنجیره تولید چای ایران با بهره‌گیری از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره همچنان کمتر مورد توجه قرار گرفته است. از این‌رو، این پژوهش می‌تواند شکاف موجود در ادبیات را پوشش داده و در جهت ارائه راهکارهای عملی برای مدیریت تأثیرگذاری‌های تغییرپذیری‌های اقلیمی بر این صنعت راهگشا باشد.

روش تحقیق

این پژوهش با هدف ارزیابی و اولویت‌بندی عامل‌های مؤثر بر عملکرد زنجیره تولید چای در استان گیلان با تاکید بر تغییرپذیری‌های آب‌وهوایی، از رویکرد تحلیل شبکه‌ای (ANP) بهره می‌گیرد. این پژوهش بر مبنای هدف، کاربردی و از لحاظ روش گردآوری داده‌ها، پیمایشی-تحلیلی است. جامعه آماری این پژوهش شامل کشاورزان فعال در حوزه کشت چای و کارخانه‌های فرآوری چای در استان گیلان بوده است. برای گردآوری داده‌ها، پرسشنامه‌ای مبتنی بر روش مقایسه زوجی طراحی و تدوین شد. حجم نمونه مورد بررسی در این پژوهش با استفاده از رابطه کوکران و در سطح اطمینان ۹۵ درصد برابر با ۲۵۳ نفر تعیین شد. در این محاسبه، نسبت صفت مورد بررسی برابر با ۰/۵ و خطای مجاز ۰/۰۵ در نظر گرفته شد تا بیشترین دقت و کمترین خطا حاصل شود. با توجه به اینکه جامعه آماری تحقیق شامل دو گروه ناهمگون کشاورزان چای‌کار و کارخانه‌های فرآوری چای در استان گیلان بوده است، روش نمونه‌گیری طبقه‌ای متناسب انتخاب شد تا سهم هر گروه از جامعه به‌طور دقیق در نمونه‌گیری لحاظ شود. این رویکرد امکان پوشش جامع‌تر و نماینده‌تر از وضعیت واقعی زنجیره تولید چای در منطقه‌های مختلف استان را فراهم آورد. شایان یادآوری است، برای تحلیل مدل از نرم‌افزارهای Super Decisions و Excel استفاده شده است.

1 Analytic Network Process

راهبردهای پایداری برای... ۵۹

تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM^۱) به فرآیند انتخاب یا اولویت‌بندی گزینه‌ها از میان مجموعه‌ای از گزینه‌های موجود بر مبنای معیارهای چندی اشاره دارد. دو روش رایج در این زمینه، فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP^۲) و فرآیند شبکه تحلیلی (ANP) هستند که برای حل مسئله‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره به کار می‌روند (Kyavars, Velmurugan et al., 2011; and Subramanian, 2017). در هر دو روش، ساختار سلسله‌مراتبی یا شبکه‌ای به منظور تجزیه و تحلیل دشواری‌ها و تقسیم آن به لایه‌های مختلف ایجاد می‌شود. در روش ANP، مانند AHP، اولویت‌های محلی با استفاده از مقایسه‌های زوجی و داوری‌ها ارزیابی می‌شوند. ANP در واقع تعمیم‌یافته‌ای از AHP است که توسط ساتی^۳ ارائه شده و یکی از پیشرفته‌ترین ابزارهای پشتیبانی تصمیم‌گیری به شمار می‌رود (Saaty, 1996). برخلاف AHP، روش ANP می‌تواند وابستگی‌ها و بازخوردهای داخلی و خارجی میان عناصر را در یک شبکه منعکس کند. این انعطاف‌پذیری باعث می‌شود که ANP به‌طور خاص در مسئله‌های پیچیده‌تر و در شرایطی که تعامل‌ها میان معیارها وجود دارد، کارآمدتر باشد (Salehi et al., 2020). به همین دلیل، اولویت‌بندی‌ها در ANP نیز با استفاده از داوری‌های مقایسه زوجی به‌دست می‌آیند و ساختار شبکه‌ای آن امکان بررسی رابطه‌های متقابل میان معیارها و گزینه‌ها را فراهم می‌کند. مرحله‌های اجرای ANP در این پژوهش به شرح زیر است (Asaadi et al., 2024):

شناسایی معیارها و زیرمعیارها: در فرایند شناسایی معیارها و زیرمعیارهای مرتبط با زنجیره تولید چای، در آغاز از روش و فن دلفی برای گردآوری و تحلیل نظرخواهی از کارشناسان و متخصصان بهره گرفته شد. معیارها به چهار دسته اصلی شامل معیارهای اقلیمی، اقتصادی، کیفیت و مدیریتی خوشه‌بندی شدند. افزون بر بهره‌گیری از نظرخواهی‌های متخصصان، منابع علمی شامل مقاله‌های و پایان‌نامه‌های مرتبط نیز مورد بررسی قرار گرفت. همچنین، پژوهش‌های انجام‌شده توسط Fu et al., 2020; Chen et al., 2022; Layomi Jayasinghe et al. (2019); Chinh et al., 2020 به عنوان منبع‌ها و مرجع‌های کلیدی در شناسایی این زیرمعیارها مورد استفاده قرار گرفتند. این فرایند منجر به شناسایی ۴ معیار اصلی و ۲۳ شاخص عملکردی شده که جزئیات این شاخص‌ها در شکل (۱) ارائه شده‌است. چنین چارچوبی، امکان تحلیل دقیق‌تر و ارائه راهکارهای موثر برای بهبود تاب‌آوری زنجیره تولید چای را فراهم می‌کند.

1 Multi-Criteria Decision Analysis

2 Analytic Hierarchy Process

3 Saaty Scale



شکل (۱) ساختار ANP برای عملکرد زنجیره تولید چای
Figure (1) ANP structure for tea supply chain performance

اگرچه معیارهای شناسایی شده در زمینه مرور مرجع های کتابخانه ای ماهیتی کلی دارند و می توانند در پروژه های همانند دیگر نیز مورد استفاده قرار گیرند، اما برای تطبیق با شرایط خاص زنجیره تولید چای استان گیلان تحت تأثیر تغییرپذیری های اقلیمی، این معیارها توسط کارشناسان مورد تجزیه و تحلیل دقیق قرار گرفتند. هدف از این تحلیل، شناسایی و اولویت بندی معیارهایی است که بیشترین ارتباط را با عملکرد زنجیره تولید در شرایط اقلیمی خاص منطقه دارند.

تشکیل ماتریس مقایسه زوجی و محاسبه وزن ها: پس از شناسایی معیارها، مقایسه زوجی آن ها بر مبنای اهمیت نسبی انجام می شود. برای این منظور، از مقیاس ۹ درجه ای ساتی (جدول ۱) استفاده شد.

جدول (۱) مقایسه اهمیت ANP برای مقاسه زوجی (Asaadi & Najafi Alamdarlo, 2019)

Table (1) ANP significance measure for pairwise comparison

امتیاز Score	تعریف Definition	توضیحات Explanation
1	اهمیت مساوی Equal importance	اهمیت دو معیار مساوی است. Two activities contribute equally to the objective
3	اهمیت اندکی بیشتر Moderate importance	اهمیت i اندکی بیشتر از j است. The importance of i is slightly greater than that of j .
5	اهمیت بیشتر Strong importance	اهمیت i بیشتر از j است. The importance of i is greater than that of j .
7	اهمیت خیلی بیشتر Very strong importance	اهمیت i خیلی بیشتر از j است. The importance of i is significantly greater than that of j .
9	اهمیت مطلق Absolute importance	اهمیت خیلی بیشتر i نسبت به j به طور قطعی به پایداری رسیده است. The much greater importance of i over j has been definitively established.
2, 4, 6, 8	امتیازهای میانی نشان‌دهنده حالت‌های میانی هر یک از حالت‌های مقایسه‌ای فوق است. Intermediate scores represent the relative degrees between the comparison levels mentioned above.	

Source: Research findings

منبع: یافته‌های تحقیق

در این مرحله با استفاده از نظرخواهی‌های باغداران چای کار و کارخانه‌ها، ماتریس نظرخواهی‌های گروهی آنان از طریق ماتریس هندسی به دست می‌آید (رابطه ۱):

$$x_{ij} = \sqrt[k]{\prod_{l=1}^k x_{ijl}}, i, j = 1, 2, \dots, n \text{ و } i \neq j, l = 1, 2, \dots, k \quad (1)$$

پس از تکمیل ماتریس مقایسه‌های زوجی برای معیارها و زیرمعیارها، نرخ سازگاری (CR^1) با استفاده از رابطه ۴ محاسبه می‌شود تا اطمینان حاصل شود که داوری‌ها دارای اعتبار و قابل اعتماد هستند. برای اطمینان از قابل اعتماد بودن داوری‌ها، نرخ سازگاری باید کمتر از ۰٫۱ باشد.

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (2)$$

$$W' = AW = \begin{bmatrix} w'_1 \\ w'_2 \\ \vdots \\ w'_n \end{bmatrix}, \quad \text{and} \quad \lambda_{\max} = \frac{1}{n} \left(\frac{w'_1}{w_1} + \frac{w'_2}{w_2} + \dots + \frac{w'_n}{w_n} \right) \quad (3)$$

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (4)$$

¹ Compatibility Rate

در رابطه (۲)، شاخص پایداری یا CI^1 میزان سازگاری داوری‌ها را نشان می‌دهد که در آن λ_{max} بزرگ‌ترین مقدار ویژه ماتریس مقایسه‌های زوجی و n شمار معیارها بوده‌است. هرچه مقدار λ_{max} به n نزدیک‌تر باشد، نشان‌دهنده انسجام بیشتر داوری‌ها خواهد بود. در ادامه، برای سنجش میزان این سازگاری از رابطه (۴) استفاده می‌شود که در آن RI یا شاخص تصادفی بر مبنای مقادیر استاندارد و متناسب با شمار معیارها تعیین می‌شود.

تشکیل ماتریس سوپرماتریس: با توجه به وابستگی‌ها و رابطه‌های بین معیارها، ماتریس سوپرماتریس اولیه، موزون و حدی تشکیل می‌شود که رابطه‌های بین معیارها و زیرمعیارها را نشان می‌دهند.

وزن‌دهی نهایی و اولویت‌بندی: بر مبنای سوپرماتریس حدی، وزن نهایی معیارها و زیرمعیارها محاسبه و اولویت هر یک مشخص می‌شود. این نتایج مبنای ارائه راهکارهای بهبود عملکرد زنجیره تولید قرار خواهد گرفت.

نتایج و بحث

جدول (۲) نتایج مقایسه‌های زوجی معیارهای اصلی پژوهش را ارائه می‌دهد که به‌منظور ارزیابی و بهبود زنجیره تولید چای در شرایط تغییرپذیری‌های اقلیمی استان گیلان طراحی شده‌است. در این فرآیند، از مقیاس ۹ درجه‌ای ساتی بهره گرفته شده تا با دقت و جزئیات، میزان اهمیت نسبی هر معیار از دیدگاه کارشناسان و کشاورزان چای‌کار تعیین شود. بر مبنای وزن‌های محاسبه‌شده، معیار اقلیمی با وزن ۲/۱۲ جایگاه نخست را از نظر اهمیت به خود اختصاص داده‌است. این یافته بر نقش محوری تغییرپذیری‌های اقلیمی، از جمله دما، بارش و خشکسالی، در تولید چای تأکید دارد و اهمیت آن را در تدوین راهبردهای بهینه‌سازی و مقاوم‌سازی زنجیره تولید چای بیش از پیش روشن می‌سازد. معیار اقتصادی نیز با وزن ۱/۳۴ در رتبه دوم است، زیرا عامل‌های اقتصادی مانند هزینه‌های تولید و تغییرپذیری‌های قیمت بر پایداری زنجیره تولید نقش کلیدی دارند. معیار کیفیت به دلیل تأثیر آن بر پذیرش بازار و ارزش افزوده محصول، جایگاه قابل توجهی دارد. در نهایت، معیار مدیریتی با وزن ۰/۴۹ اهمیت کمتری در مقایسه‌ها دارد، اما نقش کلیدی در تنظیم و کاهش اثرگذاری دیگر معیارها ایفا می‌کند. این تحلیل با بررسی نرخ

راهبردهای پایداری برای... ۶۳

سازگاری که کمتر از ۰/۱ است، دقت و صحت داوری‌های خبرگان را تأیید می‌کند و نشان‌دهنده سازگاری مناسب مقایسه‌های انجام‌شده است.

جدول (۲) ماتریس مقایسه‌های زوجی بر مبنای معیارها
Table (2) Pairwise comparison matrix based on criteria

وزن Weight	مدیریتی Management	کیفیت Quality	اقتصادی Economic	اقلیمی Climatic	معیارها Criteria
2.12	2.9	2.4	3.6	1	اقلیمی Climatic
1.13	2.3	3.2	1	0.27	اقتصادی Economic
0.59	1.5	1	0.31	0.41	کیفیت Quality
0.49	1	0.66	0.44	0.34	مدیریتی Management

Source: Research findings

منبع: یافته‌های تحقیق

پس از بررسی ماتریس مقایسه‌های زوجی معیارها، نتایج اولویت‌بندی زیرمعیارها بر مبنای سوپرماتریس حدی در جدول (۳) ارائه شده است. بر مبنای مقدارهای وزنی محاسبه‌شده، زیرمعیار بارش با وزن ۰/۷۳۲ به‌عنوان مهم‌ترین عامل اقلیمی شناخته شده است. بارش به‌عنوان یکی از اصلی‌ترین منابع تأمین آب در زنجیره تأمین چای، نقش بنیادینی ایفا می‌کند. الگوهای بارندگی در منطقه تولید چای مستقیم بر رشد، کیفیت و تولید برگ‌های چای تأثیرگذار هستند. تغییرپذیری‌های اقلیمی که منجر به کاهش بارش یا تغییر زمان‌بندی آن می‌شوند، می‌توانند مسئله‌هایی مانند خشکسالی، شستشوی خاک و کاهش مواد مغذی را به دنبال داشته باشند. این تغییرپذیری‌ها، کیفیت و کمیت محصول را تهدید کرده و بر پایداری تولید تأثیر منفی می‌گذارند. از سوی دیگر، دما به‌عنوان دومین زیرشاخص اقلیمی، تأثیری عمیق بر فرآیندهای زیستی گیاه دارد. نوسان‌های دمایی می‌توانند رشد و تولید چای را کاهش دهند و حتی تغییرپذیری‌هایی در ترکیب شیمیایی برگ‌ها و فراآوری آن‌ها ایجاد کنند که بر کیفیت محصول نهایی و بازارپذیری آن اثرگذار است. تأثیر ترکیبی بارش و دما، اهمیت نظارت و پایش این عوامل را برای حفظ زنجیره تولید چای نشان می‌دهد.

در معیار اقتصادی، نتایج نشان می‌دهد که هزینه‌های تولید با بیشترین وزن به‌عنوان اولویت اول شناسایی شده است. هزینه‌های تولید شامل نیروی کار، نهاده‌ها و تجهیزات به‌طور مستقیم بر سودآوری تولیدکنندگان اثر می‌گذارد. کاهش این هزینه‌ها از طریق بهره‌وری بهتر و مدیریت منابع می‌تواند به تقویت توان رقابتی تولیدکنندگان کمک کند. در ادامه، درآمد به‌دست آمده از

فروش محصول‌های فراوری‌شده، با رتبه دوم (۰/۰۴۸۵)، به‌عنوان زیرمعیاری تأثیرگذار بر سرمایه‌گذاری دوباره کشاورزان شناخته شده است. افزایش درآمد می‌تواند زمینه‌ساز افزایش تاب‌آوری اقتصادی و ایجاد انگیزه برای به‌کارگیری فناوری‌های پیشرفته‌تر در فرآیند تولید شود. این دو زیرمعیار نشان‌دهنده وابستگی مستقیم پایداری زنجیره تولید به عامل‌های اقتصادی است که نیازمند برنامه‌ریزی دقیق و سیاست‌گذاری‌های حمایتی هستند.

در معیار کیفیت، کیفیت برگ چای برداشت‌شده با وزن ۰/۰۵۷۹، بالاترین اهمیت را دارد. کیفیت برگ چای به‌طور مستقیم با ارزش بازار محصول و رضایت مصرف‌کنندگان ارتباط دارد. شرایط اقلیمی مناسب، روش و فناوری‌های برداشت و فراوری علمی برگ‌ها تأثیری مستقیم بر حفظ کیفیت نهایی محصول دارند. از سوی دیگر، چای فراوری‌شده با وزن ۰/۰۴۱۸، به‌عنوان دومین زیرمعیار مهم، نشان‌دهنده اهمیت فراوری در تولید محصولی با ارزش افزوده بالا است. فراوری مناسب می‌تواند ضمن حفظ خواص برگ چای، جذابیت بیشتری در بازارهای داخلی و خارجی ایجاد کند.

در نهایت، در معیار مدیریتی، آموزش کشاورزان و کارکنان کارخانه‌ها با بالاترین وزن ۰/۰۵۷۵، به‌عنوان مهم‌ترین زیرمعیار شناخته شده است. آموزش‌های پیوسته و هدفمند می‌توانند توانمندی کشاورزان را برای مدیریت بهتر منابع، افزایش بهره‌وری و رویارویی با چالش‌های ناشی از تغییرپذیری‌های اقلیمی افزایش دهند. استفاده از فناوری‌های سازگار با اقلیم نیز با رتبه دوم اهمیت، نقش کلیدی در کاهش اثرگذاری‌های تغییرپذیری‌های اقلیمی و بهبود بهره‌وری تولید دارد. این فناوری‌ها شامل نظام‌های آبیاری هوشمند و گونه‌های مقاوم به خشکی هستند که می‌توانند به تاب‌آوری بیشتر زنجیره تولید کمک کنند. به‌طور کلی، نتایج نشان‌دهنده اهمیت ترکیبی عامل‌های مدیریتی، اقلیمی، اقتصادی و کیفی در حفظ و بهبود زنجیره تولید چای است.

جدول (۳) اولویت‌بندی زیرمعیارها بر مبنای سوپر ماتریس حدی

Table (3) Prioritization of sub-criteria based on the limit supermatrix

رتبه نهایی Final rank	رتبه محلی Local rank	وزن حددار Limited Weight	زیرمعیارها Sub-criteria	معیارها Criteria
1	1	0.0732	Precipitation بارش	اقلیمی Climate
5	2	0.0534	Temperature دما	
6	3	0.0486	Drought خشکسالی	
8	4	0.0427	Sunshine hours ساعت‌های آفتابی	
16	5	0.0248	Seasonal changes تغییرپذیری‌های فصلی	
22	6	0.0074	Frequency of extreme weather events یسامد رخداد وقوع پدیده‌های جوی شدید	
4	1	0.0579	Production costs هزینه‌های تولید	اقتصادی Economic
7	2	0.0485	Sales revenue درآمد حاصل از فروش	
12	3	0.0317	Energy costs هزینه‌های انرژی	
15	4	0.0274	Climate change-related costs هزینه‌های مرتبط با تغییرپذیری‌های اقلیمی	
18	5	0.0213	Transportation costs هزینه‌های حمل‌ونقل	
19	6	0.0132	Sales price changes تغییرپذیری‌های قیمت فروش	
2	1	0.0597	Harvested tea leaves برگ چای برداشت‌شده	کیفیت Quality
10	2	0.0418	Processed tea چای فرآوری‌شده	
11	3	0.0335	Waste rates in production and processing stages نرخ ضایعات و پسماند در مرحله‌های تولید و فرآوری	
13	4	0.0296	Durableness of processed product ماندگاری محصول فرآوری‌شده	
17	5	0.0234	Aroma and flavor of tea leaves عطر و طعم برگ چای	
9	2	0.0423	Use of climate-friendly technologies استفاده از فناوری‌های سازگار با اقلیم	
3	1	0.0581	Training and awareness-raising for farmers and employees آموزش و آگاهی‌بخشی به کشاورزان و کارکنان	مدیریتی Management
21	5	0.0112	Water and energy resource management مدیریت منابع آبی و انرژی	
14	3	0.0294	Adaptation policies سیاست‌های سازگاری	
20	4	0.0129	Extent of use of climate forecasting systems میزان استفاده از سامانه‌های پیش‌بینی اقلیمی	
23	6	0.0072	Flexibility in production planning انعطاف‌پذیری در برنامه‌ریزی تولید	

Source: Research findings

منبع: یافته‌های تحقیق

بنابر دیگر نتایج جدول (۳)، چهار زیرمعیار برتر که با توجه به وزن نهایی شناسایی شده‌اند، هر یک نقش بنیادین در تحقق هدف‌ها مدل ارزیابی و ارتقای عملکرد زنجیره تولید چای در روبه‌روشدن با تغییرپذیری‌های اقلیمی ایفا می‌کنند. بارندگی، به عنوان اولویت اول، نقش بی‌بدیلی

در تأمین منابع آبی و پایداری تولید چای دارد. بارندگی به طور مستقیم بر رشد گیاه چای تأثیر می‌گذارد و افزون بر تأمین آب، در تنظیم دمای خاک و محیط ریشه نقش دارد. تغییرپذیری‌های اقلیمی می‌توانند با ایجاد بی‌نظمی در الگوهای بارش، اثرگذاری‌های منفی شدیدی بر زنجیره چای داشته باشند. کاهش بارش منجر به خشکسالی و کاهش تولید چای می‌شود، در حالی که بارش شدید و غیرقابل پیش‌بینی نیز می‌تواند به فرسایش خاک و شسته‌شدن مواد مغذی ضروری منجر شود. بنابراین، مدیریت منابع آبی متناسب با الگوهای بارش، از الزام‌های حیاتی برای پایداری زنجیره تأمین چای است.

در جایگاه دوم، کیفیت برگ چای برداشت‌شده به عنوان محصول اصلی زنجیره تولید چای، اهمیت بسیاری دارد. کیفیت برگ چای نه تنها تحت تأثیر شرایط اقلیمی مانند دما و بارش است، بلکه روش‌های برداشت و فراوری نیز تأثیر بسزایی بر آن دارد. برگ‌هایی که با دقت و در شرایط مناسب برداشت شوند، از نظر اقتصادی ارزش بالاتری دارند و کیفیت محصول نهایی را تضمین می‌کنند. این موضوع برای حفظ جایگاه بازار و تأمین رضایت مصرف‌کنندگان حیاتی است. همچنین، کیفیت برگ چای بر توانایی تولیدکنندگان برای حضور در بازارهای رقابتی تأثیر مستقیم دارد و می‌تواند به افزایش درآمد و پایداری اقتصادی آن‌ها کمک کند. آموزش و آگاهی بخشی به کشاورزان و کارکنان به عنوان سومین اولویت، نشان‌دهنده اهمیت نیروی انسانی در مدیریت اثرگذاری‌های تغییرپذیری‌های اقلیمی و افزایش بهره‌وری تولید است. تغییرپذیری‌های سریع اقلیمی و فناورانه، نیازمند آموزش‌های پیوسته و کاربردی است تا کشاورزان بتوانند با استفاده از فناوری‌های جدید و روش‌های مدیریت نوین، تولید خود را پایدار سازند. برای نمونه، آموزش کشاورزان درباره استفاده از روش و سامانه آبیاری قطره‌ای و گونه‌های مقاوم به خشکی می‌تواند وابستگی به بارندگی را کاهش داده و پایداری تولید را افزایش دهد. همچنین آموزش در زمینه بهره‌گیری از سامانه‌های پیش‌بینی اقلیمی و اتخاذ تصمیم‌گیری‌های بهینه در زمان بحران، نقش مؤثری در کاهش ریسک‌ها و افزایش انعطاف‌پذیری زنجیره تولید دارد. از سوی دیگر، ارتقای آگاهی و مهارت کارکنان کارخانه‌های فراوری در زمینه بهبود روش‌های فراوری و انبارداری چای نیز می‌تواند کیفیت محصول نهایی را ارتقا بخشد و جایگاه آن را در بازار تقویت کند.

در نهایت، هزینه‌های تولید به عنوان چهارمین اولویت زیرمعیارها، تأثیر مستقیم و انکارناپذیر بر عملکرد زنجیره تولید دارد. هزینه‌های بالای تولید، از جمله هزینه‌های نیروی کار و نهاده‌های

راهنماهای پایداری برای... ۶۷

کشاورزی، می‌تواند فشار زیادی بر تولیدکنندگان وارد کند و توانایی آنان برای رقابت در بازار را کاهش دهد. مدیریت بهینه هزینه‌ها، با تمرکز بر بهره‌وری و کاهش هدررفت منابع، امکان افزایش سودآوری و سرمایه‌گذاری دوباره در زنجیره تولید را فراهم می‌کند. همچنین، کاهش هزینه‌ها می‌تواند به حفظ تاب‌آوری اقتصادی کشاورزان و افزایش انگیزه برای ادامه فعالیت در این صنعت منجر شود. این چهار زیرمعیار برتر آشکارا نشان‌دهنده اهمیت جنبه‌های مختلف اقلیمی، اقتصادی، کیفیت و مدیریتی در پایداری و بهبود زنجیره تولید چای در شرایط تغییرپذیری‌های اقلیمی هستند و نشان می‌دهند که تعامل مناسب بین این عامل‌های می‌تواند دستیابی به هدف‌های مدل را آسان‌تری کند.

جدول (۴) اولویت‌بندی معیارها بر مبنای سوپرماتریس حدی (وزن معیارها)

Table (4) Prioritization of criteria based on the limit supermatrix (criteria weights)

مدیریتی Quality	کیفیت Management	اقتصادی Economic	اقلیمی Climate	وزن حددار Limited Weight
0.032	0.041	0.058	0.067	

Source: Research findings

منبع: یافته‌های تحقیق

نتایج اولویت‌بندی معیارهای ارزیابی زنجیره تولید چای در جدول (۴) ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد که معیار اقلیمی با وزن ۰/۰۶۷ بالاترین اولویت را دارد، که اهمیت این معیار را در تأثیرگذاری بر زنجیره تأمین چای، به‌ویژه در رویارویی با تغییرپذیری‌های اقلیمی، تأیید می‌کند. معیار اقتصادی با وزن ۰/۰۵۸ در رتبه دوم قرار گرفته است، که نشان‌دهنده نقش حیاتی مسئله‌های مالی و هزینه‌ها در پایداری زنجیره تولید است. معیار کیفیت نیز در رتبه سوم، بر ضرورت تضمین کیفیت محصول و فرآیندهای مرتبط تأکید دارد. در نهایت، معیار مدیریتی کمترین وزن را به خود اختصاص داده است، که هرچند نسبت به دیگر معیارها دارای اهمیت کمتری است، اما همچنان در بهبود عملکرد کلی زنجیره تولید نقش مؤثری ایفا می‌کند. این نتایج نشان می‌دهد که تغییرپذیری‌های اقلیمی و مسئله‌های اقتصادی بیشترین تأثیر را بر پایداری و کارایی زنجیره چای دارند و نیازمند توجه بیشتری در طراحی راهنماهای مدیریتی و اجرایی هستند.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

صنعت چای به‌عنوان یکی از بخش‌های راهبردی کشاورزی در ایران است و نقش کارآمد و مهمی در تأمین معیشت هزاران کشاورز و توسعه اقتصادی منطقه‌های شمالی کشور دارد. عملکرد این صنعت تحت تأثیر عامل‌های چندی قرار دارد که هر یک در پایداری زنجیره تولید این محصول نقشی کلیدی ایفا می‌کنند. در این پژوهش، با استفاده از مدل فرآیند تحلیل شبکه‌ای (ANP)، ارزیابی عملکرد زنجیره تولید چای ایران در شرایط تغییرپذیری‌های اقلیمی مورد بررسی قرار گرفت. بر مبنای نتایج این پژوهش، معیارهای اقلیمی مهم‌ترین تأثیر را بر عملکرد زنجیره تولید چای داشته‌اند، به‌ویژه متغیرهای مربوط به نوسان‌های بارندگی، دمای هوا و مخاطره‌های طبیعی. تغییرپذیری‌های اقلیمی منجر به کاهش میزان بارش و افزایش دما شده که این عامل‌ها، افزون بر کاهش عملکرد چایکاری‌ها، بر کیفیت محصول نهایی و هزینه‌های فرآوری اثرگذار بوده‌اند. معیار اقتصادی نیز به‌عنوان یکی از عامل‌های تعیین‌کننده در پایداری زنجیره تولید چای شناسایی شد، به‌طوری‌که هزینه‌های تولید، نوسان‌های قیمت و دسترسی به بازارهای فروش در تاب‌آوری تولیدکنندگان تأثیر بسزایی داشته است. همچنین، معیار کیفیت محصول که شامل ویژگی‌هایی مانند استانداردهای فرآوری، میزان آلودگی‌های محیطی و فناوری‌های به‌کار برده‌شده در تولید چای است، نقش مهمی در توسعه پایدار این صنعت ایفا می‌کند. افزون بر این، مدیریت زنجیره تولید نیز در بهبود کارایی و کاهش هزینه‌های اضافی در بخش تولید و توزیع اهمیت ویژه‌ای داشته است. نتایج نشان می‌دهد که ترکیب آموزش و آگاهی‌بخشی به کشاورزان و استفاده از فناوری‌های سازگار با اقلیم (به‌عنوان مهم‌ترین زیرمعیارهای مدیریتی)، همراه با کاهش هزینه‌های تولید و ایجاد پایداری نسبی در درآمد کشاورزان (زیرمعیارهای اقتصادی با بالاترین وزن)، در کنار مدیریت منابع آبی متناسب با تغییر بارندگی و نوسان‌های دما (به‌عنوان مهم‌ترین زیرمعیارهای اقلیمی)، می‌تواند به‌طور عملی تاب‌آوری صنعت چای را افزایش دهد. این راهبردها از یک‌سو با ارتقای توانمندی کشاورزان در همخوانی با تغییر محیطی و کاهش ریسک تولید و از سوی دیگر با بهبود بهره‌وری نهاده‌ها و کاهش هزینه‌های اضافی، موجب می‌شوند زنجیره تولید چای توان رویارویی بیشتری در برابر بحران‌های ناشی از تغییر اقلیم داشته باشد.

بنابر یافته‌های این پژوهش و با توجه به وزن نهایی زیرمعیارها، پیشنهاد و تأکید می‌شود که سیاست‌گذاری‌ها به‌طور هدفمند بر مهم‌ترین عامل‌های تأثیرگذار متمرکز شوند. نتایج نشان داد که میزان بارش و تغییرپذیری‌های آن مهم‌ترین عامل اقلیمی است؛ بنابراین توصیه و تأکید

راهبردهای پایداری برای... ۶۹

می‌شود گسترش روش‌های آبیاری کارآمد و مدیریت بهینه منابع آبی در چایکاری‌های استان گیلان در اولویت برنامه‌های حمایتی قرار گیرد. همچنین، کیفیت برگ چای برداشت‌شده به‌عنوان اصلی‌ترین عامل کیفیتی شناسایی شد؛ از این رو بهبود روش‌های برداشت و آموزش کشاورزان در زمینه زمان و شیوه مناسب برداشت می‌تواند مستقیم بر ارتقای کیفیت محصول اثرگذار باشد. در بعد مدیریتی، آموزش و آگاهی‌بخشی به کشاورزان و کارکنان کارخانه‌ها با بیشترین وزن قرار گرفت؛ لذا لازم است برنامه‌های آموزشی پیوسته و کارگاه‌های تخصصی در حوزه سازگاری با تغییرپذیری‌های اقلیمی و به‌کارگیری فناوری‌های نوین ترویج یابد. در حوزه اقتصادی نیز، کاهش هزینه‌های تولید به‌عنوان مهم‌ترین زیرمعیار شناخته شد؛ بنابراین ارائه آسانگری مالی و حمایت‌های یارانه‌ای برای کاهش هزینه نهاده‌ها و انرژی می‌تواند نقش کلیدی در تاب‌آوری تولیدکنندگان ایفا کند. لازم به یادآوری است که داده‌های اقلیمی این پژوهش بیشتر بر مبنای مشاهده‌های گذشته و نظرخواهی از کارشناسان خبره گردآوری شده‌اند و از مدل‌های پیش‌بینی آینده کمتر استفاده شده است. بنابراین، پیشنهاد و تاکید می‌شود پژوهش و ارزیابی‌های آتی با بهره‌گیری از داده‌های پیش‌بینی اقلیمی و پیش‌فرض‌های آینده‌نگر، دقت و اعتبار نتایج را افزایش دهند.

منبع‌ها

- Afrakhteh, H. (2005). An analysis on the Existing Problems in the Area of Tea Cultivation and industry in Iran. *Territory*, 2(7): 58-70 (In Farsi).
- Asaadi, M. A., Najafi Alamdarlo, H., Mosavi, S. H., Ehsani, A., and Zamani, O. (2024). Productivity of Arian Broiler Industry in Kurdistan Province: Integrating ANP and DAMATEL Methods. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 259-272.
- Asaadi, M.A., and Najafi Alamdarlo, H. (2019). Investigating the Effects of Water Reduction Policies on Sustainable Development of Agricultural Sector in Ghorveh Plain of Kurdistan Province. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 13(2): 540-551 (In Farsi).
- Beltrán-Tolosa, L. M., Navarro-Racines, C., Pradhan, P., Cruz-Garcia, G. S., Solis, R., and Quintero, M. (2020). Action needed for staple crops in the Andean-Amazon foothills because of climate change. *Mitigation and adaptation strategies for global change*, 25(6), 1103-1127.
- Benti, T., Debela, A., Bekele, Y., and Suleman, S. (2023). Effect of seasonal variation on yield and leaf quality of tea clone (*Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze) in South West Ethiopia. *Heliyon*, 9(3).

- Bett, G. K. (2018). An Assessment of the Effects of Climate Variability on Tea Production in Kericho County: A Case Study of James Finlay's (Kenya) Limited Tea Estates, Kericho, Kenya (Doctoral dissertation, University of Nairobi).
- Chen, P., Li, C., Chen, S., Li, Z., Zhang, H., and Zhao, C. (2022). Tea cultivation suitability evaluation and driving force analysis based on AHP and geodetector results: A case study of Yingde in Guangdong, China. *Remote Sensing*, 14(10), 2412.
- Chen, P., Li, C., Chen, S., Li, Z., Zhang, H., and Zhao, C. (2022). Tea cultivation suitability evaluation and driving force analysis based on AHP and geodetector results: A case study of Yingde in Guangdong, China. *Remote Sensing*, 14(10), 2412.
- Cheraghi, D., and Gholi Pour, S. (2009). Studying the effect of economic policies on regulating the tea market in Iran. *Business Studies*, 7(37): 27-42 (In Farsi).
- Chinh, T. T. Q., Cuong, T., and Chen, J. (2020). Factors Affecting to Tea-Growing Household's Financial Efficiency: A Case Study from Thai Nguyen Province. *Open Access Library Journal*, 7(12), 1-12.
- Fu, H. H., Chen, Y. Y., and Wang, G. J. (2020). Using a fuzzy analytic hierarchy process to formulate an effectual tea assessment system. *Sustainability*, 12(15), 6131.
- Fu, H. H., Chen, Y. Y., and Wang, G. J. (2020). Using a fuzzy analytic hierarchy process to formulate an effectual tea assessment system. *Sustainability*, 12(15), 6131.
- Haji-Rahimi, M., Asaadi, M. A., and Sharaifi, F. (2024). The Impact of Climate Change on Cereal Production and Food Security in Iran. *Climate Change Research*, 5(20), 65-78 (In Farsi).
- Kahneh, E., Alinaghipour, B., and Zohdqodsi, M. J. (2018). Investigating the relationship between climate change and tea production in Gilan province. *Herbal Teas and Teas*, 1(2), 1-12 (In Farsi).
- Kyavars, V., and Subramanian, S. (2017). Multi criteria decision making to select the suitable method for the preparation of nanocrystals using an analytic hierarchy process. *Indian Journal of Pharmaceutical Education and Research*, 51(2), 249-259.
- Layomi Jayasinghe, S., Kumar, L., and Sandamali, J. (2019). Assessment of potential land suitability for tea (*Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze) in Sri Lanka using a GIS-based multi-criteria approach. *Agriculture*, 9(7), 148.
- Majdsalimi, K., and Falakrou, K. (2021). Climate change adaptation strategy in tea growing areas. Technical publication, Tea Research Institute, 36 p (In Farsi).
- Mallik, P., and Ghosh, T. (2022). Impact of climate on tea production: a study of the Dooars region in India. *Theoretical and Applied Climatology*, 147(1), 559-573.
- Mbow, C., Rosenzweig, C., Barioni, L.G., Benton, T.G., Herrero, M., Krishnapillai M., Liwenga, E., Pradhan, P., Rivera-Ferre, M.G., Sapkota, T.B., and Tubiello, F.N., (2019). Food security. *Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land*

management, food security and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems. IPCC.

Mila, F. A., Uddin, M. N., Moon, M. P., Amin, M. R., and Shahjada, M. K. H. (2024). Exploring the Impact of Climate Change on Tea Production in Bangladesh: Analyzing Short-and Long-Run Asymmetrical Effects. *Environment, Development and Sustainability*, 1-27.

Muench, S., Bavorova, M., and Pradhan, P. (2021). Climate change adaptation by smallholder tea farmers: a case study of Nepal. *Environmental science & policy*, 116, 136-146.

Rwigema, P. (2021). Combating climate change impacts in tea and coffee farming in East Africa: Theoretical perspective. *The Strategic Journal of Business & Change Management*, 8(2), 521-553.

Saaty, T.L. (1996) Decision Making with Dependence and Feedback: The Analytic Network Process. RWS Publications. Pittsburgh.

Salehi, R., Asaadi, M. A., Rahimi, M. H., and Mehrab, A. (2020). The information technology barriers in supply chain of sugarcane in Khuzestan province. Iran: A combined ANP-DEMATEL approach, *Information Processing in Agriculture*.

Tohidimoghadam, A., Poursaeed, A., Bijani, M., and Eshraghi Samani, R. (2024). Explanation a Gardeners' Sustainable Livelihood Resilience Model to Climate Change in Hamadan Province. *Iranian Journal of Agricultural Economics and Development Research*, 55(3), 447-466 (In Farsi).

Tohidimoghadam, A., PourSaeed, A., Bijani, M., and Samani, R. E. (2023). Towards farmers' livelihood resilience to climate change in Iran: A systematic review. *Environmental and Sustainability Indicators*, 19, 100266.

Velmurugan, R., Selvamuthukumar, S., and Manavalan, R. (2011). Multi criteria decision making to select the suitable method for the preparation of nanoparticles using an analytical hierarchy process. *Die Pharmazie-An International Journal of Pharmaceutical Sciences*, 66(11), 836-842.



Sustainability Strategies for Iran's Tea Production Chain Under Climate Change Conditions: A Modeling Approach

Hamed Dastmardi, Roya Eshraghi Samani¹, Bita Rahimibadr,

Mohammad Nabi Ilkaee Dehno¹

Received: 10 April.2025

Accepted:6 Sept.2025

Extended Abstract

Introduction

Tea is one of Iran's most strategic perennial crops and plays a vital role in supporting rural livelihoods, employment generation, and regional economic development, particularly in Gilan Province where the majority of domestic tea production is concentrated. However, the sustainability of the tea production chain has become increasingly threatened by climate variability, including fluctuations in precipitation, rising temperatures, prolonged droughts, and the increasing frequency of extreme weather events. These climatic disturbances affect not only tea cultivation and leaf yield but also raw material quality, processing efficiency, production costs, market competitiveness, and the overall resilience of the supply chain. At the same time, economic pressures, quality requirements, and managerial inefficiencies further intensify the vulnerability of tea producers and processing industries. Consequently, developing an integrated understanding of the factors affecting the tea production chain has become essential for designing effective adaptation strategies and ensuring long-term sustainability.

Previous studies have mainly focused on isolated aspects of tea production, including land suitability assessment, climate impacts on yield, adaptation behavior of farmers, or market policies. Although these investigations have contributed valuable insights, they have generally overlooked the complex interrelationships among climatic, economic, managerial, and quality-related dimensions that collectively determine the performance of the tea production chain. Addressing this research gap requires a comprehensive multi-criteria decision-making framework capable of simultaneously evaluating these interconnected factors. Therefore, this study employs the Analytic Network Process (ANP) to prioritize the critical determinants affecting the sustainability of Iran's tea production chain under climate variability. The principal innovation of this research lies in integrating climatic, economic, quality, and managerial criteria within a network-based analytical framework that explicitly considers interdependencies among decision variables, thereby providing a more realistic basis for strategic planning and policy formulation.

¹ Department of Agricultural Economics, Ka. C, Islamic Azad University, Karaj, Iran.
Department of Agronomy and Plant Breeding, Ka. C, Islamic Azad University, Karaj, Iran.
Email: Roya.eshraghi@iau.ac.ir

Materials and Methods

This study was conducted as an applied research using a descriptive-survey and analytical approach to evaluate the sustainability of Iran's tea production chain under climate variability conditions. The study area comprised Gilan Province, the primary tea-producing region of Iran, where tea cultivation, processing industries, and associated supply chain activities are geographically concentrated. The statistical population consisted of tea growers and tea processing factories actively engaged in tea production. A stratified sampling technique was adopted to ensure appropriate representation of different stakeholder groups within the production chain. Based on Cochran's sampling formula with a 95% confidence level and a 5% margin of error, a total sample of 253 respondents was selected.

The analytical framework was developed using the Analytic Network Process (ANP), which enables simultaneous consideration of complex interactions and feedback relationships among multiple decision criteria. Initially, relevant evaluation criteria and sub-criteria were identified through an extensive review of the scientific literature and consultation with experts using the Delphi technique. Four principal criteria were established, namely climatic, economic, quality, and managerial dimensions, encompassing twenty-three operational sub-criteria reflecting different aspects of tea production sustainability. Pairwise comparison questionnaires based on Saaty's nine-point scale were then designed and completed by respondents to assess the relative importance of each criterion. Consistency ratios were evaluated to ensure the reliability of expert judgments before constructing the initial, weighted, and limit supermatrices. Final priority weights for all criteria and sub-criteria were calculated using Super Decisions software, while Microsoft Excel was employed for data organization and supplementary analyses.

Results and Discussion

The findings demonstrate that climatic factors constitute the most influential dimension affecting the sustainability of Iran's tea production chain, confirming that climate variability has become the dominant source of uncertainty for tea production systems. Among the four principal criteria, the climatic dimension achieved the highest priority weight, followed respectively by economic, quality, and managerial criteria. This ranking indicates that although economic performance and management practices remain important, the long-term viability of tea production is fundamentally conditioned by climatic stability and the capacity of producers to adapt to changing environmental conditions.

At the sub-criteria level, precipitation emerged as the highest-ranked factor, highlighting the strong dependence of tea cultivation on reliable rainfall patterns. Variability in precipitation directly influences plant growth, leaf development, nutrient availability, and soil moisture, ultimately determining both yield quantity and leaf quality. Temperature ranked as the second most influential climatic component, reflecting its significant effects on physiological growth, harvesting periods, and processing characteristics. Production costs represented the most

important economic determinant, indicating that increasing input prices, labor costs, and energy expenditures substantially influence farmers' profitability and resilience. Within the quality dimension, harvested tea leaf quality received the highest priority because it directly affects processing efficiency, market acceptance, and product competitiveness. Among managerial variables, farmer training and awareness programs were identified as the most influential factor, emphasizing the importance of knowledge transfer, technical extension services, and climate adaptation capacity for strengthening supply chain resilience.

The interaction among these criteria reveals that sustainable development of the tea sector cannot rely solely on technological improvements or financial support. Instead, effective adaptation requires simultaneous enhancement of climate resilience, production efficiency, product quality, and institutional capacity. The superiority of precipitation and production cost over other variables further indicates that environmental risks and economic vulnerability are closely interconnected within the tea production system. These findings are generally consistent with previous international studies reporting that rainfall variability, temperature fluctuations, and production management significantly influence tea productivity. However, unlike earlier research that examined individual components separately, the present study demonstrates how multiple dimensions collectively shape supply chain sustainability through interconnected relationships.

Suggestions

Based on the findings, policymakers should prioritize climate adaptation measures by improving water resource management, promoting efficient irrigation systems, and strengthening climate monitoring and early warning services in tea-growing regions. Extension programs should focus on continuous training for farmers and processing personnel regarding climate-smart agricultural practices, sustainable production technologies, and quality management techniques. Financial support mechanisms aimed at reducing production costs and facilitating access to modern technologies can further enhance producers' resilience under climate variability.

JEL Classification: Q54, Q12, O21

Keywords: Tea Production Chain, ANP Model, Climate Change, Rainfall, Gilan Province