

تحلیل جامع پایداری زنجیره تأمین محصول گردو:

رویکرد تلفیقی تحلیل مضمون و دیمتل فازی

مهسا پیشدار، ثریا بیرامی، علیرضا پایور، سیدعلی درافشان^۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۹/۱۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۲/۱۸

چکیده

زنجیره تأمین پایدار محصول گردو به عنوان یکی از ارکان مبنایی در حفاظت از محیط زیست و ارتقای معیشت کشاورزان، نیازمند توجه ویژه به ابعاد اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی است. از این رو، هدف اصلی این تحقیق شناسایی معیارهای کلیدی برای ارتقاء عملکرد زنجیره تأمین گردو و دستیابی به توسعه پایدار در این زمینه می باشد. در این راستا در آغاز، اطلاعات از طریق مطالعات کتابخانه ای گردآوری و معیارهای مرتبط با پایداری شناسایی شد. سپس با استفاده از تحلیل مضمون، نظرسنجی از ۱۵ کارشناس حوزه کشاورزی از طریق مصاحبه های نیمه ساختارمند بررسی و در نهایت ۱۲ معیار اصلی انتخاب شدند. بدین ترتیب، مدل زنجیره تأمین پایدار محصول گردو طی انجام مصاحبه با خبرگان و روش کدگذاری باز با استفاده از نرم افزار MAXQDA 2022 طراحی شد. در نهایت پس از تایید عامل های پایداری با روش دلفی فازی در سه دور رفت و برگشت، رابطه های علی-معلولی بین معیارها با استفاده از روش دیمتل فازی ارزیابی شد. بررسی و ارزیابی در بازه تابستان تا پاییز ۱۴۰۳ انجام شده و یافته ها نشان می دهند که عامل های چون بازده اقتصادی، کیفیت محصول، هزینه های بازاریابی و تأثیرگذاری های اجتماعی بر جامعه های محلی، به عنوان عامل ها کلیدی در بهبود عملکرد زنجیره تأمین عمل می کنند. بهینه سازی این عامل ها می تواند به افزایش کارایی، تقویت توان بالقوه صادرات و تحقق توسعه پایدار منجر شود. افزون بر این، برای تضمین روایی و پایایی مدل، از روش دلفی فازی استفاده شد که امکان ارزیابی دقیق نظرسنجی از خبرگان را فراهم آورد. این پژوهش در نهایت به ارائه یک مدل جامع ارزیابی عملکرد زنجیره تأمین پایدار در صنعت گردو پرداخته و بر اهمیت توجه به ابعاد اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی تأکید می کند.

طبقه بندی JEL: Q01، Q19، Q56، C00

واژه های کلیدی: زنجیره تأمین پایدار، تحلیل مضمون، دیمتل فازی، محصول گردو

^۱ به ترتیب: استادیار و دانشجویان مقطع دکتری گروه مدیریت صنعتی دانشکده گان فارابی قم، دانشگاه تهران.

مقدمه

پایداری به معنای توسعه‌ای است که افزون بر تأمین نیازهای کنونی، سودمندی‌های و ظرفیت‌های لازم برای نسل‌های آینده را حفظ کرده و از تخریب زیست‌محیطی و کاهش منابع طبیعی جلوگیری می‌کند. این مفهوم بر توازن بین رشد اقتصادی، حفاظت از محیط زیست و عدالت اجتماعی تأکید دارد (Florez, 2024). در چارچوب زنجیره تأمین پایدار، توجه به کاهش اثرگذاری‌های منفی زیست‌محیطی و اجتماعی در کنار حفظ سودآوری اقتصادی اهمیت ویژه‌ای دارد (Kara & Işık, 2020; Khani & Samani, 2023; Ahmed et al, 2024).

زنجیره تأمین محصول‌های کشاورزی، به‌ویژه محصولاتی با ارزش افزوده بالا مانند گردو، نقشی حیاتی در تأمین امنیت غذایی و توسعه اقتصادی دارد. گردو در مقایسه با دیگر گونه‌های میوه‌ای دارای کاربردهای گسترده‌تری است و همچنین سود و برتری‌های گوناگونی برای انسان دارد که در بخش‌های صنعتی مختلف مانند غذا، مبلمان، داروسازی نیز استفاده می‌شود (Aşkan, 2021). گردو، به دلیل خواص تغذیه‌ای فراوان و کاربردهای گسترده‌اش در صنایع غذایی و دارویی، به عنوان یک محصول راهبردی در بسیاری از کشورها شناخته می‌شود (Shigaeva & Darr, 2020; Chandio et al., 2024; Urugo et al., 2024). کشورهای مهم تولیدکننده گردو در جهان تا سال ۲۰۱۹: چین با نرخ ۵۰/۲۸٪ (۱۹۲۵۴۰۳ تن) در رتبه اول، ایالات متحده با نرخ ۱۴/۹۲٪ (۵۷۱۵۲۶ تن) در رتبه دوم، ایران با نرخ ۹/۱۲٪ (۳۴۹۱۹۲ تن) در رتبه سوم و ترکیه با نرخ ۵/۴۸٪ (۲۱۰۰۰۰ تن) در رتبه چهارم قرار دارد (FAO, 2019). به گزارش ایرنا از وزارت جهاد کشاورزی، میزان تولید سالیانه بیش از ۲۹۰ هزار تن گردو با پوست خشک از سطح ۱۶۵ هزار هکتار باغات گردوی کشور به دست می‌آید (IRNA, 2024). از این رو، پایداری زنجیره تأمین گردو مستلزم مدیریت کارآمد منابع طبیعی و توجه به چالش‌های زیست‌محیطی است. بهبود بهره‌وری و کاهش اثرگذاری‌های منفی بر محیط زیست، از اولویت‌های کلیدی در این حوزه محسوب می‌شود (Shigaeva & Darr, 2020).

رویکرد پایداری با تمرکز بر بهبود عملکرد کل زنجیره تأمین، به کاهش اثرگذاری‌های زیست‌محیطی، افزایش عدالت اجتماعی و بهره‌وری اقتصادی کمک می‌کند (Lin et al., 2018; Kara & Işık, 2020; Salehi-Amiri et al., 2021; Sharma & Gunasekaran, 2021; Pishdar et al., 2022; Ahmed et al, 2024). پژوهش‌های اخیر تأکید دارند که توجه به این سه بعد می‌تواند به پایداری کلی زنجیره تأمین در صنایع کشاورزی و غذایی منجر شود (Sharma, & Gunasekaran, 2021; Khani & Samani, 2023; Oyedijo et al., 2024;).

Chandio et al., 2024). بررسی‌های اخیر نشان می‌دهد که زنجیره‌های تأمین در صنایع کشاورزی، به‌ویژه در تولید مواد غذایی، به‌دلیل ارتباط نزدیک با تأمین مواد غذایی، ارتقای کیفیت زندگی و توسعه اقتصادی، توجه ویژه‌ای از سوی محققان را به خود جلب کرده است (Sharma, & Gunasekaran, 2021; Liu et al., 2021; Calloway et al., 2023; khani, N., & samani, 2023; Chandio et al., 2024). با تجزیه و تحلیل ۴۳ مقاله منتشرشده در مجله‌های معتبر بین‌المللی در پایگاه اسکوپوس^۱ از سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۴، بسیار مشخص است که توجه به موضوع پایداری زنجیره‌تأمین در بخش کشاورزی برای محققان اهمیت زیادی داشته است. Qammer & Baba (2017) در بررسی مازاد تولید و کارایی زنجیره‌تأمین گردو دریافتند این محصول سهم عمده‌ای از سطح زیر کشت منطقه را به خود اختصاص داده و بخش زیادی از محصول به‌صورت مغز گردو فرآوری و به بازار عرضه می‌شود. همچنین، نتایج برای این بررسی مشخص می‌کند حضور واسطه‌ها کارایی بازاریابی را کاهش می‌دهد. Qammer & Baba (2017) در تأکید این موضوع بیان داشتند اتصال تولید گردو به بازار از طریق افزایش ارزش افزوده و کاهش واسطه‌ها، می‌تواند به بهبود کارایی زنجیره‌تأمین و افزایش سودآوری تولیدکنندگان منجر شود.

Lutsiak et al (2021) در بررسی سودآوری مدل‌های مختلف کسب‌وکار در زنجیره ارزش کشاورزی-غذایی و تأثیر آن بر توسعه بازار گردو نشان دادند ترکیب تولید و فرآوری گردو می‌تواند سودآوری ۳۲ تا ۴۶٪ را در سال بیستم پروژه به همراه داشته باشد. Liu et al (2021) در بررسی فرآیندهای پردازش اولیه گردو در چین به اهمیت هر مرحله از پردازش، از جمله حذف پوست سبز، خشک‌کردن، دسته‌بندی، شکستن پوسته، جداسازی مغز و پوست مغز گردو، پرداختند. نویسندگان در تأکید لزوم فرآوری عمیق گردو، به تحلیل تجهیزات فناوری مورد نیاز برای بهبود کیفیت فرآورده‌های گردو و نقطه‌های ضعف موجود در فرآیندهای پردازش اولیه پرداخته‌اند. در مقاله Aşkan (2021) قیمت‌های تولیدکننده و مصرف‌کننده گردو و ساختار بازاریابی آن برای کشور ترکیه بررسی شده است. نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد کشش عرضه برای محصول گردو در ترکیه برابر ۰/۳۵۰ و کشش تقاضا ۰/۰۹۷ بوده است که نشان‌دهنده حساسیت بیشتر تولیدکنندگان به تغییرپذیری‌های قیمت گردو می‌باشد.

¹ Scopus

در بین پژوهش‌های داخلی (khani & samani (2023) در تحقیق خود به شناسایی عامل‌های تأثیرگذار بر زنجیره تأمین پایدار مواد غذایی کشاورزی پرداخته‌اند. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد پنج عامل کارایی، انعطاف‌پذیری، پاسخگویی، کیفیت محصول و قابلیت اطمینان، در طراحی و پیاده‌سازی مدیریت زنجیره تأمین پایدار مواد غذایی و کشاورزی موثر می‌باشند. Salehi-Amiri et al. (2021). با توسعه یک مدل برنامه‌ریزی مختلط عدد صحیح (MILP)^۱ روی کاهش هزینه‌های صنعت گردو متمرکز شده‌اند و جریان‌های پیشرو و معکوس را برای تأمین تقاضا و آماده‌سازی محصول‌های برگشتی در نظر گرفتند.

نتایج پژوهش‌های پیشین نشان می‌دهند که در زمینه پایداری زنجیره تأمین گردو، بررسی‌های کافی صورت نگرفته و موفقیت‌چندانی در ایجاد یک مدل جامع برای شاخص‌های پایداری این زنجیره حاصل نشده است. منابع‌های علمی محدود در داخل نیز این موضوع را اثبات می‌کند. همچنین، پیشینه تحقیق گویای نیاز به یک چارچوب جامع برای ارزیابی و مدیریت پایداری زنجیره تأمین گردو است. بنابراین، این پژوهش افزون بر شناسایی و تعیین رابطه‌های علی معیارهای پایداری به منظور بهبود عملکرد زنجیره تأمین گردو، سعی دارد مدل زنجیره تأمین پایدار را برای محصول گردو با بهره‌گیری از رویکرد تحلیل مضمون به همراه دیمتل ارائه کند. بررسی و ارزیابی‌های پیشین (مانند Lin et al., 2018; Saroha et al., 2022; Vuppalapati et al., 2023) نشان می‌دهند که تکنیک دیمتل^۲ فازی به عنوان یکی از روش‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه، ابزاری مؤثر در شناسایی و ارزیابی عامل‌ها کلیدی تأثیرگذار بر پایداری این زنجیره هستند. این روش با تحلیل رابطه‌های پیچیده و متقابل میان عامل‌ها مختلف در شرایط عدم قطعیت، می‌تواند به بهبود تصمیم‌گیری‌های مدیریتی و ارتقای عملکرد زنجیره تأمین کمک کند (Lin et al., 2018; Kara & Işık, 2020; Sathyan et al., 2023).

این پژوهش با ارائه چارچوبی جامع و عملی برای ارزیابی پایداری زنجیره تأمین گردو در ایران، سعی دارد به تصمیم‌گیرندگان و مدیران زنجیره تأمین محصول‌های کشاورزی کمک کند تا با اتخاذ تصمیم‌های مبتنی بر داده‌های علمی، به بهبود پایداری این زنجیره و کاهش اثرگذاری‌های منفی آن بر محیط‌زیست و جامعه بپردازد. بر این مبنای، پرسش‌های اصلی تحقیق به شرح زیر ارائه می‌شود:

^۱ Mixed-integer linear programming (MILP)

^۲ DEMATEL: Decision-Making Trial and Evaluation Laboratory

۱. عامل‌های کلیدی تأثیرگذار بر پایداری زنجیره تأمین گردو کدامند؟
۲. رابطه‌های علی بین عامل‌ها پایداری زنجیره تأمین محصول گردو به چه صورت می‌باشد؟

روش تحقیق

این پژوهش با هدف شناسایی و رتبه‌بندی عامل‌های مؤثر بر پایداری زنجیره تأمین محصول گردو از یک روش ترکیبی (کیفی-کمی) استفاده می‌کند. مرحله‌های انجام تحقیق به صورت زیر انجام گرفته است.

در مرحله نخست، با بررسی و تحلیل منابع علمی معتبر، عامل‌های مرتبط با ابعاد اقتصادی پایداری زنجیره تأمین محصول گردو شناسایی شدند. فرآیند بررسی منابع علمی با جستجوی عنوان‌ها و چکیده‌های اسناد در پایگاه داده ساینس دایرکت^۱، وب‌آو ساینس^۲، گوگل اسکالر^۳، نورمگز^۴، SID، پرتال جامع علوم انسانی با استفاده از کلیدواژه‌های "پایداری، زنجیره تأمین پایدار، زنجیره تأمین کشاورزی، زنجیره تأمین گردو، تحلیل مضمون، روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره (MADM)/(MCDM)، دیمتل فازی" آغاز شد. برای محدود کردن شمار اسناد به موارد مرتبط و تمرکز این پژوهش، از مقالات منتشر شده به روز در با کیفیت‌ترین مجله‌های علمی داوری شده خارجی و داخلی، به عنوان معیارهای ورود استفاده شد. مقالات کنفرانسی، کتاب‌ها و فصل‌های کتاب، منابعی که به زبان انگلیسی نوشته نشده‌اند و اسنادی که در حوزه‌های موضوعی به جز تجارت، مدیریت و حسابداری و علوم تصمیم‌گیری طبقه‌بندی شده‌اند، مستثنی شدند. پس از این، با در نظرگیری شرایط بالا، روی منابع‌های مرتبط با سال‌های ۲۰۲۴-۲۰۱۷ تمرکز شد. تنها مقاله‌هایی (با بیشترین استناد) که دست کم دو بعد از پایداری را پوشش می‌دادند و زنجیره تأمین گردو را اندازه‌گیری می‌کردند، برای قرار گرفتن در نمونه نهایی انتخاب شدند. پس از بررسی و پایش مقاله‌ها، سرانجام ۳۰ مقاله از بین آنها انتخاب شده و ۲۶ عامل پایداری با کمک آن‌ها معین شد.

این عامل‌ها به طور جامع ابعاد مختلف پایداری شامل؛ بعد اقتصادی، بعد اجتماعی و بعد زیست محیطی را در زنجیره تأمین محصول‌های کشاورزی پوشش می‌دهند. پس از شناسایی این عامل‌ها از طریق بررسی ادبیات، فرآیند غربالگری به منظور ارزیابی و اعتبارسنجی آن‌ها با همکاری

¹ ScienceDirect

² Web of Science

³ Google Scholar

⁴ Noor Mags

خبرگان انجام شد. در این مرحله، شماری از شاخص‌ها نیز اصلاح شدند تا بهترین همخوانی با شرایط خاص زنجیره تأمین محصول گردو را پیدا کنند. در نهایت، بر مبنای نظرسنجی از خبرگان و تحلیل‌های انجام‌شده، ۱۲ شاخص به‌عنوان مهم‌ترین و تأثیرگذارترین مؤلفه‌ها در زنجیره تأمین پایدار محصول گردو شناسایی شده و در جدول شماره ۴ به‌عنوان معیارهای اصلی ارزیابی پایداری این زنجیره معرفی شدند.

در مرحله دوم، مدل زنجیره تأمین پایدار محصول گردو با مصاحبه با خبرگان طراحی شد. خبرگان منتخب شامل ۱۵ نفر از استادان دانشگاه و کارشناسان صنایع غذایی و کشاورزی بود که هر یک دست‌کم ۱۰ سال پیشینه فعالیت در این زمینه را داشتند (جدول ۱). نمونه‌گیری به‌شیوه هدفمند انجام شد و تا مرحله اشباع نظری ادامه یافت. داده‌های لازم از مصاحبه‌های نیمه‌ساختارمند با پرسش‌های کلیدی پیرامون شاخص‌های پایداری زنجیره تأمین گردو گردآوری شد. تحلیل داده‌ها با بهره‌گیری از روش کدگذاری باز و دسته‌بندی مضمون‌ها معنادار در نرم‌افزار MAXQDA 2022 انجام شد تا عامل‌ها مؤثر بر پایداری زنجیره تأمین محصول گردو به‌طور دقیق شناسایی و طبقه‌بندی شوند.

جدول (۱) ویژگی‌های خبرگان مصاحبه‌شونده

Table (1) Characteristics of the Interviewed Experts

متغیرهای جمعیتی-شناختی Demographic Variables	مؤلفه Component	فراوانی Frequency	درصد فراوانی Percentage of Frequency
جنسیت	مرد	12	80
	زن	3	20
مدرک تحصیلی	دکتری تخصصی	2	14
	کارشناسی ارشد	6	40
	کارشناسی	7	46
پیشینه کاری	۱۰-۵	2	14
	۱۵-۱۰	5	33
	بیش از ۱۵ سال	8	53
	۳۵-۴۰	3	20
سن	۴۰-۴۵	7	46
	۴۵-۵۰	2	20
	۵۰ به بالا	2	14

Source Research findings

منبع: یافته‌های تحقیق

جدول (۲) معیارهای مرتبط با پایداری در زنجیره تامین گردو

Table (2) Criteria Related to Sustainability in the Agricultural Supply Chain

ابعاد (معیار) Criterion	عوامل های پایداری Sustainability Factors	منابع Sources
اقتصادی	کارایی بازاریابی	Qammer & Baba (2017); Moazzam et al (2018); Khani & Samani (2023); Marzban et al (2023); Inobatov (2024); Oyedijo et al (2024); Sarani et al (2024)
	بازده اقتصادی	
	توان بالقوه صادرات	
	بسته بندی	
	کیفیت محصول	
	هزینه های بازاریابی و فروش	
	نوآوری در محصول های	
	تأمین مالی	
	دسترسی به بازارهای جدید	
اجتماعی	بهره وری منابع ها	Moazzam et al (2018); Khani & Samani (2023); Marzban et al (2023); Oyedijo et al (2024); Sarani et al (2024)
	اثرگذاری های اجتماعی بر جامعه ها محلی	
	ایجاد شغل و توسعه مهارت ها	
	مشارکت اجتماعی	
	ارتقاء کیفیت زندگی	
	هم افزایی با نهادهای دولتی و خصوصی	
	آموزش و آگاهی بخشی	
زیست محیطی	کاهش نابرابری اجتماعی	Moazzam et al (2018); Sharma, & Gunasekaran (2021); Masoodi et al (2022); Khani & Samani (2023); Marzban et al (2023); Oyedijo et al (2024); Sarani et al (2024)
	اثرگذاری های زیست محیطی تولید و	
	فرآوری	
	فناوری نوین	
	زنجیره تأمین یکپارچه	
	کاهش انتشار گازهای گلخانه ای	
	استفاده از منابع تجدیدپذیر	
	بهینه سازی مصرف انرژی	
	کاهش مصرف آب	
	بازیافت و مدیریت پسماند	
	اثرگذاری های زیست محیطی تولید و	
	فرآوری	

Source Research findings

منبع: یافته های تحقیق

در مرحله سوم، با استفاده از پرسشنامه‌های مقایسه‌های زوجی مبتنی بر روش دلفی فازی عامل‌ها/شاخص‌های پایداری زنجیره تأمین محصول گردو، غربالگری و مورد تایید خبرگان این زنجیره قرار گرفتند. این عامل‌ها به دو طریق شناسایی و استخراج شدند. ۱- مرور ادبیات؛ ۲- مصاحبه با خبرگان زنجیره تأمین محصول گردو (جدول ۴).

تایید و غربالگری عامل‌ها/معیارها به روش دلفی فازی از طریق مقایسه مقدار ارزش اکتسابی هر شاخص با مقدار آستانه $\bar{g}$ صورت می‌پذیرد. مقدار آستانه با استنباط ذهنی تصمیم‌گیرنده معین می‌شود و مستقیم بر روی شمار عامل‌هایی که غربال می‌شوند تأثیر خواهد داشت هیچ راه ساده و قانونی برای تعیین مقدار آستانه وجود ندارد. در این پژوهش مقدار $0/7$ به عنوان مقدار آستانه در نظر گرفته شده است. برای این کار در آغاز باید مقدارهای فازی مثلثی نظرهای خبرگان محاسبه شده سپس برای محاسبه میانگین نظرها π پاسخ‌دهنده، میانگین فازی آن‌ها محاسبه شود. محاسبه عدد فازی τ برای هر یک از شاخص‌ها با استفاده از رابطه‌های (۱ تا ۴) زیر صورت می‌گیرد.

$$\tilde{\tau}_{ij} = (a_{ij}, b_{ij}, c_{ij}), \quad i = 1, 2, \dots, n \quad j = 1, 2, \dots, m \quad (1)$$

$$a_j = \sum \frac{a_{ij}}{n} \quad (2)$$

$$b_j = \sum \frac{b_{ij}}{n} \quad (3)$$

$$c_j = \sum \frac{c_{ij}}{n} \quad (4)$$

در رابطه‌های بالا شمایه i به فرد خبره و شمایه j به شاخص تصمیم‌گیری اشاره دارد. همچنین مقدار فازی‌زدایی شده میانگین عدد فازی از رابطه (۵) به دست می‌آید.

$$Crisp = \frac{a + b + c}{3} \quad (5)$$

در مرحله چهارم، با به کارگیری رویکرد دیمتل فازی، رابطه‌های علی-معلولی بین معیارها ارزیابی شد. در نهایت، با تلفیق نتایج به دست آمده از مرحله‌های کیفی و کمی، یک مدل مفهومی نهایی برای زنجیره تأمین پایدار محصول گردو ارائه شد.

رویکرد دیمتل فازی، به عنوان یکی از ابزار اصلی در تصمیم‌گیری چندمعیاره، برای درک بهتر ساختار پیچیده و شناسایی عامل‌های کلیدی در یک سامانه، استفاده شد. این روش با در نظر

تحلیل جامع پایداری... ۱۶۷

گرفتن عدم قطعیت‌ها و ابهام‌های موجود، مدل‌سازی دقیق‌تری از سامانه پیچیده زنجیره تأمین ارائه می‌دهد (Kara et al., 2020). بنابراین، تمرکز این پژوهش استفاده از رویکرد دیمتل فازی در شرایط عدم قطعیت بوده است. همان‌طور که Sathyan et al. (2023) نیز اشاره داشتند در زمینه زنجیره تأمین پایدار محصول گردو، فرایند دیمتل فازی می‌تواند به شناسایی و تحلیل عامل‌های کلیدی اقتصادی و دیگر ابعاد پایداری کمک نماید.

در این پژوهش حاضر، از تکنیک دیمتل فازی که توسط Lin & Wu در سال ۲۰۰۴ ارائه شده است، استفاده شده است. مراحل کلی این تکنیک به شرح زیر است:

در گام اول، پس از تعیین معیارهای مورد ارزیابی (که در مرحله قبل تایید شد)، با هدف تعیین رابطه‌ها علت و معلولی بین این معیارها از پرسشنامه مقایسه زوجی ۵ تایی با اعداد زبانی و اعداد فازی مثلثی معادل آن‌ها استفاده شده است (جدول ۳).

در گام دوم این روش، برای اندازه‌گیری رابطه بین معیارها باید آن‌ها را در یک ماتریس مربعی قرار داده و از خبرگان درخواست شود آن‌ها را به صورت زوجی و بر مبنای میزان تاثیرشان (تاثیر معیار i بر معیار j) بر یکدیگر با هم مقایسه کنند. در این نظرسنجی، خبرگان نظرهای خود را بر مبنای جدول ۳ بیان خواهند کرد. با فرض وجود n معیار و p خبره؛ p ماتریس فازی شکل خواهد گرفت که هر یک متناظر با نظرهای یک خبره همراه با اعداد فازی مثلثی به عنوان عنصرهای آن خواهند بود. بنابراین این گام منجر به یک تشکیل ماتریس فازی ارتباط مستقیم اولیه می‌شود که به صورت رابطه (۶) محاسبه می‌شود.

$$\tilde{z} = \frac{\tilde{x}^1 \oplus \tilde{x}^2 \oplus \tilde{x}^3 \oplus \dots \oplus \tilde{x}^p}{p} \quad (6)$$

در این رابطه p تعداد خبرگان و $\tilde{x}^1, \tilde{x}^2, \dots, \tilde{x}^p$ به ترتیب ماتریس مقایسه زوجی خبره ۱، خبره ۲ و خبره p می‌باشد و $\tilde{z}$ عدد فازی مثلثی به صورت $\tilde{z}_{ij} = (l'_{ij}, m'_{ij}, u'_{ij})$ است. در گام سوم، نرمال‌سازی ماتریس فازی ارتباط مستقیم از طریق رابطه (۷) شکل می‌گیرد. بدین منظور، از تبدیل مقیاس خطی به عنوان فرمول نرمال‌سازی برای تبدیل مقیاس‌های معیارها به معیارهای قابل مقایسه استفاده می‌شود.

$$\tilde{H}_{ij} = \frac{\tilde{z}_{ij}}{r} = \left(\frac{l'_{ij}}{r}, \frac{m'_{ij}}{r}, \frac{u'_{ij}}{r} \right) = (l''_{ij}, m''_{ij}, u''_{ij}) \quad (7)$$

که r از رابطه (۷) به صورت زیر به دست می‌آید:

$$r = \max_{1 \leq i \leq n} \left(\sum_{j=1}^n u'_{ij} \right) \quad (۸)$$

گام چهارم مربوط به محاسبه ماتریس فازی ارتباط کل (T) است. در این گام در آغاز معکوس ماتریس نرمال را محاسبه کرده و آنگاه آن را از ماتریس I کم کرده و در انتها ماتریس نرمال در ماتریس حاصل ضرب می‌شود (رابطه ۹).

$$T = \lim_{k \rightarrow +\infty} (\tilde{H}^1 \oplus \tilde{H}^2 \oplus \dots \oplus \tilde{H}^k) \quad (۹)$$

که هر درایه عدد فازی آن به صورت $\tilde{t}_{ij} = (l_{ij}^t, m_{ij}^t, u_{ij}^t)$ است و به صورت رابطه‌های ۱۰ تا ۱۳ محاسبه می‌شود:

$$[l_{ij}^t] = H_l \times (I - H_l)^{-1} \quad (۱۰)$$

$$[m_{ij}^t] = H_m \times (I - H_m)^{-1} \quad (۱۱)$$

$$[u_{ij}^t] = H_u \times (I - H_u)^{-1} \quad (۱۲)$$

در این رابطه‌ها I ماتریس یکه و H_l ، H_m و H_u هر کدام ماتریس $n \times n$ هستند که درایه‌های آن را به ترتیب عدد پایین، عدد میانی و عدد بالایی اعداد فازی مثلثی ماتریس H تشکیل می‌دهد. گام پنجم که بیانگر آخرین مرحله رویکرد دیمتل فازی است، به ترسیم نمودار علی بین معیارها پرداخته می‌شود. برای ترسیم و تحلیل نمودار نیاز به ۲ شاخص شدت اثرگذاری و اثرپذیری و جهت تأثیر می‌باشد که با استفاده از ri و cj به دست می‌آیند:

$$\tilde{D} = (\tilde{D}_i)_{n \times 1} = \left[\sum_{j=1}^n \tilde{T}_{ij} \right]_{n \times 1} \quad (۱۳)$$

$$\tilde{R} = (\tilde{R}_i)_{1 \times n} = \left[\sum_{j=1}^n \tilde{T}_{ij} \right]_{1 \times n} \quad (۱۴)$$

$\tilde{D}$ و $\tilde{R}$ به ترتیب ماتریس $n \times 1$ و $1 \times n$ هستند. بدین منظور، در آغاز جمع عنصرهای هر سطر ($\tilde{D}_i$) و جمع عنصرهای هر ستون ($\tilde{R}_i$) از ماتریس فازی ارتباطات کامل (T) محاسبه می‌شود. سپس مقدارهای $(\tilde{D}_i + \tilde{R}_i)$ و $(\tilde{D}_i - \tilde{R}_i)$ به دست خواهند آمد. برای ترسیم نمودار علی باید مانند روش دیمتل قطعی، این دو مقدار غیر فازی شوند. بنابراین بردار افقی $(D+R)$ میزان تأثیر و تأثر عامل مورد نظر در سامانه است. به عبارت دیگر هرچه مقدار $D+R$ عاملی بیشتر باشد، آن عامل تعامل بیشتری با دیگر عامل‌های سامانه دارد. بردار عمودی $(D-R)$ قدرت تأثیرگذاری هر عامل را نشان می‌دهد. به طور کلی اگر $D-R$

مثبت باشد، متغیر یک متغیر علی به‌شمار می‌آید و اگر منفی باشد، متغیر از نوع معلول خواهد بود. بعد از فازی‌زدایی اعداد، یک دستگاه مختصات دکارتی ترسیم می‌شود. در این دستگاه، محور طولی مقدارهای $D+R$ و $D-R$ محور عرضی می‌باشد. به‌طوری‌که، بردار افقی در دستگاه مختصات، میزان تاثیر و تاثیر عامل مورد نظر در سامانه است. به‌عبارت دیگر، هر چه این مقدار برای یک عامل بیشتر باشد، آن عامل تعامل بیشتری با دیگر عامل‌های سامانه دارد. بردار عمودی دستگاه مختصات، قدرت تاثیرگذاری هر عامل را نشان می‌دهد، به‌طوری‌که اگر این مقدار برای یک عامل مثبت باشد، یک متغیر علی به‌شمار آمده و اگر منفی باشد، یک متغیر معلول به‌شمار می‌آید (Lin & Wu, 2004).

جدول (۳) عبارتهای زبانی و اعداد دلفی فازی (Lin & Wu, 2004)
Table (3) Linguistic Expressions and Fuzzy Delphi Numbers

اعداد فازی مثلثی Triangular Fuzzy Numbers	عبارتهای زبانی Linguistic Expressions
(0/000, 0/000, 0/25)	خیلی کم
(0/000, 0/25, 0/50)	کم
(025, 0/50, 0/75)	متوسط
(0/50, 0/75, 1)	زیاد
(0/75, 1, 1)	خیلی زیاد

Source Research findings

منبع: یافته‌های تحقیق

روش و فن دلفی فازی

در این بخش، بر مبنای نتایج به‌دست‌آمده از تحلیل دلفی فازی، ۱۲ شاخص و معیار اصلی برای ارزیابی پایداری زنجیره‌تأمین محصول گردو تأیید شدند (جدول شماره ۴). در نتایج این بخش طی سه مرحله با نظرسنجی از خبرگان نهایی شدند.

برابر نتایج جدول ۴، برای هر زیرمعیار، امتیازهای فازی و غیرفازی محاسبه و به‌طور دقیق مشخص شده است. در این جدول، میانگین هندسی مقدار معنادار همگرایی و امتیازهای هر معیار ذکر شده که نشان‌دهنده تأیید یا عدم تأیید هر زیرمعیار است. بر مبنای تحلیل‌های انجام‌شده، معیارهایی که دارای بالاترین امتیاز فازی و غیرفازی بوده‌اند، به‌عنوان عامل‌های کلیدی در بهبود پایداری زنجیره‌تأمین محصول گردو در نظر گرفته شده و تأثیر مستقیم آن‌ها بر ارزیابی عملکرد زنجیره‌تأمین تأیید شده است. بنابر نتایج معیارهای توانمندی‌های فناوری و اثرگذاری‌های رقابتی فناوری به‌دلیل نداشتن تاثیر معنادار بر پایداری زنجیره‌تأمین محصول گردو حذف شدند.

با توجه به ماهیت تکنیک دیمتل، نیاز است تا حد امکان شمار معیارها کاهش یابد. به همین دلیل، تنها معیارهای تاثیرگذار بر پایداری از نظر خبرگان به عنوان معیارهای ورود به مرحله بعد یعنی تحلیل رابطه‌های علی بین معیارها با کمک رویکرد دیمتل فازی انتخاب شدند.

جدول (۴) نتایج دلفی فازی

Table (4) Fuzzy Delphi Results

وضعیت Status	رتبه برحسب امتیاز Rank Based on Score	امتیاز غیرفازی Non-Fuzzy Score	امتیاز فازی Fuzzy Score	کد زیرمعیار Sub-Criterion Code	زیر معیار Sub-Criterion	معیار اصلی Main Criterion
تأیید	10	0/73	(0/50, 0/75, 0/93)	A1	کارایی بازاریابی	اقتصادی
تأیید	7	0/76	(0/53, 0/78, 0/95)	A2	بازده اقتصادی	
تأیید	4	0/77	(0/55, 0/81, 0/95)	A3	توان بالقوه صادرات	
تأیید	6	0/76	(0/55, 0/82, 0/93)	A4	بسته‌بندی	
تأیید	9	0/73	(0/52, 0/77, 0/94)	A5	کیفیت محصول	
تأیید	8	0/74	(0/52, 0/77, 0/92)	A6	هزینه‌های بازاریابی و فروش	
تأیید	5	0/77	(0/61, 0/80, 0/91)	B1	اثرگذاری‌های اجتماعی بر جامعه‌های محلی	اجتماعی
تأیید	3	0/74	(0/65, 0/75, 0/85)	B2	ایجاد شغل و توسعه مهارت‌ها	
تأیید	11	0/68	(0/55, 0/71, 0/81)	B3	مشارکت اجتماعی	
تأیید	1	0/85	(0/71, 0/85, 0/95)	C1	اثرگذاری‌های زیست‌محیطی تولید و فرآوری	زیست محیطی
تأیید	2	0/78	(0/61, 0/75, 0/85)	C2	فناوری نوین	
تأیید	12	0/66	(0/51, 0/71, 0/80)	C3	زنجیره تأمین یکپارچه	

Source Research findings

منبع: یافته‌های تحقیق

مدل زنجیره تأمین پایدار محصول گردو

در ادامه، با استفاده از اطلاعات موجود در جدول شماره ۵، نقشه‌های سازمان‌دهنده تهیه و رابطه‌های بین مضمون‌ها به‌طور منظم مرتب و نشان داده شد. مدل‌ها به‌منظور بیان مفهوم‌های اصلی و کلیدی نظریه و نحوه ارتباط میان آن‌ها طراحی می‌شوند، به‌گونه‌ای که مسئله اصلی در مرکز مدل قرار دارد. در ادامه، با استفاده از اطلاعات موجود در جدول شماره ۵، نقشه‌های سازمان‌دهنده تهیه و رابطه‌های بین مضمون‌ها به‌طور منظم مرتب و نشان داده شد.

جدول (۵) توزیع درصدی ابعاد و مضمون‌های سازمان‌دهنده

Table (5) Percentage Distribution of Dimensions and Themes of the Organizing Time

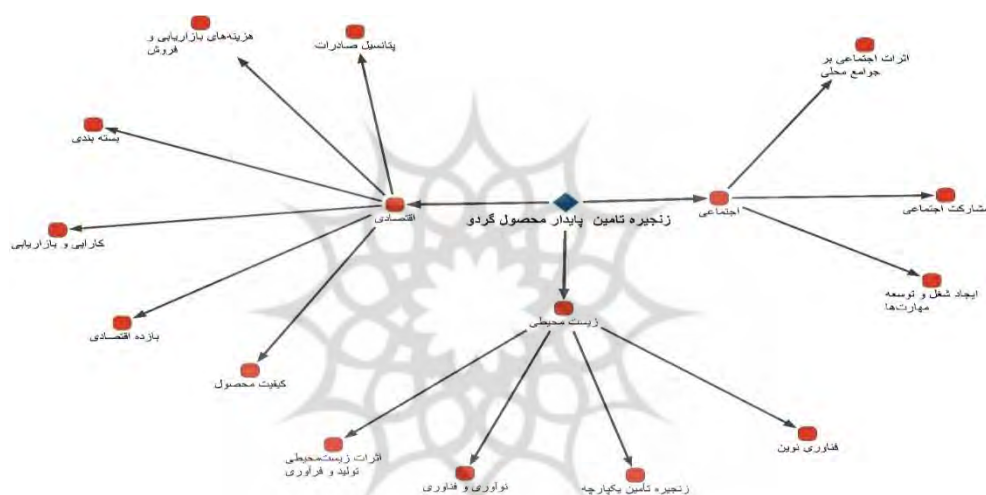
درصد از کل Percentage of Total	مضمون‌های سازمان‌دهنده (مؤلفه) Organizing Themes (Components)	ابعاد (معیار) پایداری Dimensions (Criteria) of Sustainability
16/08	کارایی بازاریابی	اقتصادی
5/88	بازده اقتصادی	
3/73	توان بالقوه صادرات	
8/24	بسته‌بندی	
3/73	کیفیت محصول	
15/49	هزینه‌های بازاریابی و فروش	اجتماعی
10	اثرگذاری‌های اجتماعی بر جوامع محلی	
7/5	ایجاد شغل و توسعه مهارت‌ها	
5	مشارکت اجتماعی	
12/5	اثرگذاری‌های زیست‌محیطی تولید و فرآوری	زیست‌محیطی
7/5	فناوری نوین	
5	زنجیره تأمین یکپارچه	
100	جمع کل	

Source Research findings

منبع: یافته‌های تحقیق

برابر شکل ۱ برای مدل زنجیره تأمین پایدار محصول گردو، عامل‌های تأثیرگذار بر پایداری زنجیره تأمین محصول گردو شامل ابعاد اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی شناسایی شدند. در مرحله کدگذاری باز، این عامل‌ها به‌صورت جمله‌ها و مفهوم‌های استخراج‌شده از گفتگوها و متن مصاحبه‌ها مشخص شد. در مرحله بعد، با استفاده از نرم‌افزار MAXQDA 2022، طی کدگذاری

محوری، نشانه‌هایی که رابطه نزدیکی با یکدیگر داشتند، در یک مقوله جمع‌آوری شدند. نتایج به‌دست‌آمده از تحلیل‌های نرم‌افزاری نشان می‌دهد که اصلی‌ترین مقوله‌های عامل‌های اقتصادی مؤثر بر پایداری زنجیره تأمین محصول گردو شامل کارایی بازاریابی، بازده اقتصادی، توان بالقوه صادرات، بسته‌بندی، کیفیت محصول و هزینه‌های بازاریابی و فروش هستند. افزون بر این، ابعاد اجتماعی و زیست‌محیطی نیز به‌عنوان مقوله‌های مهم شناسایی شده‌اند که شامل اثرگذاری‌های اجتماعی بر جوامع محلی، ایجاد شغل و توسعه مهارت‌ها، مشارکت اجتماعی، آثار زیست‌محیطی تولید و فرآوری، فناوری نوین و زنجیره تأمین یکپارچه می‌باشند.



شکل (۱) مدل نهایی پیشنهادی زنجیره تأمین پایدار محصول گردو

Figure (1) Proposed Final Model for a Sustainable Walnut Supply Chain

روش و فن دیمتل فازی

مرحله اول: طراحی ماتریس تصمیم‌گیری

برای ارزیابی ارتباط‌های و اثرگذاری‌های متقابل بین معیارهای مورد بررسی، در آغاز یک ماتریس تصمیم‌گیری طراحی می‌شود که شامل معیارهای مرتبط با زنجیره تأمین پایدار است. در این مرحله، هدف بررسی میزان تأثیر هر معیار بر دیگر معیارهاست. برای این منظور، یک پرسشنامه مقایسه‌های زوجی (مبتنی بر جدول ۳) تهیه شده است که بر مبنای آن، کارشناسان به بررسی و مقایسه میزان تأثیر معیارها می‌پردازند.

تحلیل جامع پایداری... ۱۷۳

مرحله دوم: محاسبه ماتریس فازی ارتباط‌های مستقیم

پس از گردآوری نظرهای خبرگان درباره میزان تأثیرگذاری معیارها بر یکدیگر، ماتریس ارتباط-های مستقیم فازی استخراج شد (جدول ۶).

این ماتریس که به صورت $N \times N$ طراحی شده است، رابطه‌های تأثیرگذاری مستقیم هر معیار بر دیگر معیارها را نشان می‌دهد. به منظور ادغام و جمع‌آوری این نظرها، از میانگین هندسی استفاده می‌شود تا همه‌ی دیدگاه‌های خبرگان به صورت یکپارچه در قالب یک ماتریس نهایی گردآوری شوند. در این مرحله، از رابطه مشخصی برای محاسبه میانگین نظرهای خبرگان بهره‌برداری می‌شود تا ماتریس نهایی ارتباط‌های مستقیم فازی به دست آید. این ماتریس مبنای اصلی برای تحلیل‌های بعدی در تکنیک دیمتل فازی است و ارتباط‌های مستقیم بین معیارها را به صورت اعداد فازی مثلثی نشان می‌دهد.

جدول (۶) ماتریس ارتباط مستقیم معیارها (M)

Table (6) Direct Relationships Matrix of Criteria (M)

معیار	A1	A2	A3	A4	A5	A6	B1	B2	B3	C1	C2	C3
A1	0/0492	0/1738	0/1869	0/1869	0/1279	0/1311	0/1568	0/1654	0/1723	0/1468	0/1512	0/1457
A2	0/1967	0/0492	0/1967	0/1803	0/1803	0/1967	0/1694	0/1757	0/1689	0/1535	0/1598	0/1453
A3	0/1967	0/1672	0/0492	0/1934	0/1049	0/177	0/1789	0/1512	0/1423	0/1577	0/1635	0/1499
A4	0/1967	0/177	0/1967	0/0492	0/1508	0/177	0/1635	0/1691	0/1479	0/1581	0/1654	0/151
A5	0/1639	0/1869	0/1967	0/1967	0/0492	0/1705	0/1557	0/1426	0/1488	0/1668	0/1599	0/1457
A6	0/0984	0/1967	0/1967	0/1934	0/1443	0/0492	0/1521	0/1643	0/1477	0/151	0/1439	0/1599
B1	0/1346	0/1458	0/1654	0/1757	0/1388	0/1459	0/0492	0/1624	0/1489	0/1598	0/1453	0/1525
B2	0/1679	0/1588	0/1765	0/1823	0/1457	0/1346	0/1399	0/0492	0/1527	0/1457	0/1554	0/1601
B3	0/1568	0/1654	0/1723	0/1487	0/1346	0/1488	0/1468	0/1523	0/0492	0/1588	0/1457	0/1599
C1	0/1789	0/1543	0/1457	0/1654	0/1426	0/1488	0/1535	0/1699	0/1589	0/0492	0/1568	0/1623
C2	0/1468	0/1754	0/1657	0/1568	0/1488	0/1543	0/1584	0/1654	0/1757	0/1457	0/0492	0/1599
C3	0/1623	0/1746	0/1589	0/1612	0/1446	0/1479	0/1488	0/1557	0/1623	0/1746	0/1689	0/0492

Source Research findings

منبع: یافته‌های تحقیق

مرحله سوم: نرمالایز کردن ماتریس ارتباط‌های مستقیم فازی

خروجی‌های حاصل از محاسبه ماتریس ارتباط مستقیم نرمال ($N = K * M$) که یکی از مرحله-های اصلی و اساسی در فرآیند اجرای روش و فن دیمتل فازی محسوب می‌شود، در جدول شماره ۷ ارائه شده است. این ماتریس از ضرب ماتریس ارتباطات مستقیم (M) در یک عامل نرمال‌سازی (K) به دست می‌آید که برای استاندارد کردن مقدارهای استفاده می‌شود. در آغاز، جمع تمامی سطرها و ستون‌ها محاسبه و بزرگ‌ترین عدد حاصل شناسایی می‌شود. در این تحقیق، این عدد

برابر با ۲۰ است که معکوس آن، عامل نرمال سازی (K) را تشکیل می‌دهد. سپس، همه‌ی مقدارهای جدول بر معکوس این عدد ضرب می‌شوند تا ماتریس نرمال به‌دست آید. این فرآیند موجب تحلیل دقیق‌تر و تصمیم‌گیری‌های بهتر در راستای پایداری زنجیره‌تأمین خواهد شد (Sarooha et al., 2023).

$$\frac{1}{\max \sum_{j=1}^n a_{ij}} = \frac{1}{20} = 0.05$$

$$N \times n = 0.05 * M$$

جدول (۷) ماتریس نرمال شده ارتباط مستقیم معیارها

Table (7) Normalized Matrix of Direct Relationships of Criteria

معیار	A1	A2	A3	A4	A5	A6	B1	B2	B3	C1	C2	C3
A1	0/0037	0/0135	0/0144	0/0144	0/0097	0/0099	0/0122	0/0128	0/0131	0/0112	0/0114	0/0111
A2	0/0148	0/0037	0/0148	0/0136	0/0136	0/0148	0/0126	0/0131	0/0125	0/0113	0/0116	0/0111
A3	0/0148	0/0133	0/0037	0/0148	0/0082	0/0138	0/0138	0/0116	0/0113	0/0119	0/0121	0/011
A4	0/0148	0/0137	0/0148	0/0037	0/0114	0/0138	0/0124	0/0129	0/0111	0/0119	0/0124	0/0112
A5	0/0114	0/0144	0/0148	0/0148	0/0037	0/0128	0/0121	0/0112	0/0111	0/0123	0/0117	0/0111
A6	0/0057	0/0148	0/0148	0/0144	0/0107	0/0037	0/0119	0/0128	0/0111	0/0112	0/011	0/0116
B1	0/0082	0/0088	0/0102	0/011	0/0083	0/0088	0/0037	0/0116	0/0111	0/0112	0/0111	0/0113
B2	0/0101	0/0097	0/0115	0/012	0/0094	0/0082	0/0086	0/0037	0/011	0/0111	0/0113	0/0116
B3	0/0097	0/0102	0/0108	0/0114	0/0082	0/0085	0/0084	0/0112	0/0037	0/0115	0/0111	0/0116
C1	0/0117	0/0095	0/0111	0/0102	0/0093	0/0085	0/0086	0/0112	0/0115	0/0037	0/0115	0/0117
C2	0/0092	0/0113	0/0104	0/0108	0/0111	0/0095	0/0116	0/0111	0/0115	0/0114	0/0037	0/0116
C3	0/0106	0/0112	0/011	0/0105	0/0094	0/0095	0/0111	0/0113	0/0117	0/0114	0/0115	0/000 1

Source Research findings

منبع: یافته‌های تحقیق

مرحله چهارم: تشکیل ماتریس ارتباط‌های کامل فازی (T)

برای محاسبه ماتریس ارتباط کامل در آغاز ماتریس همانی ($I_{12 \times 12}$) تشکیل می‌شود. آنگاه ماتریس همانی را منهای ماتریس نرمال کرده و ماتریس حاصل معکوس می‌شود. در نهایت ماتریس نرمال در ماتریس معکوس ضرب می‌شود (جدول ۸).

جدول (۸) ماتریس ارتباط‌های کامل (T)

Table (8) Complete Relationships Matrix (T)

معیار	A1	A2	A3	A4	A5	A6	B1	B2	B3	C1	C2	C3
A1	0	0	0	0/01	0	0	0/01	0/01	0/01	0/01	0/01	0/01
A2	0/01	0	0/01	0/01	0/01	0/01	0/01	0/01	0/01	0/01	0/01	0/01
A3	0/01	0/01	0	0/01	0	0/01	0/01	0/01	0	0/01	0/01	0/01
A4	0/01	0/01	0/01	0	0/01	0/01	0/01	0/01	0/01	0/01	0/01	0/01
A5	0/01	0/01	0/01	0/01	0	0/01	0/01	0/01	0/01	0/01	0/01	0/01
A6	0	0/01	0/01	0/01	0	0	0/01	0/01	0	0	0	0/01
B1	0	0	0	0/01	0	0	0	0/01	0	0	0	0/01
B2	0/01	0	0	0/01	0	0	0	0	0/01	0	0	0/01
B3	0	0	0	0/01	0	0	0	0/01	0	0	0	0/01
C1	0	0	0	0/01	0	0	0	0/01	0	0	0	0/01
C2	0	0	0	0/01	0/01	0	0	0/01	0/01	0	0	0/01
C3	0	0	0	0/01	0	0	0	0/01	0	0	0	0

Source Research findings

منبع: یافته‌های تحقیق

مرحله پنجم: محاسبه شدت و جهت تاثیر

در این مرحله، میزان تأثیرگذاری (D) و تأثیرپذیری (R) هر زیرمعیار از طریق جمع سطرها و ستون‌های ماتریس رابطه‌های کلی (T) محاسبه می‌شود. آنگاه مقادیرهای D+R و D-R برای هر زیرمعیار به دست می‌آید که بیانگر میزان اهمیت نسبی و جایگاه هر زیرمعیار در چارچوب مدل هستند. برای انجام فرآیند دی‌فازی‌سازی نیز از روش مرکز ثقل (COA) استفاده شده است. پس از تبدیل مقادیر فازی به مقادیرهای قطعی، نتایج به دست آمده D+R و D-R، امکان تفکیک زیرمعیارهای اثرگذار (علی) از زیرمعیارهای اثرپذیر (معلولی) را فراهم می‌آورد. این یافته‌ها در جدول شماره ۹ نشان داده شده‌اند؛ جدولی که در آن زیرمعیارها بر اساس مقادیر D-R مرتب شده‌اند. به این ترتیب، زیرمعیارهایی با مقدار مثبت D-R به عنوان عامل‌های تأثیرگذار و آن‌هایی با مقدار منفی به عنوان عامل‌های تأثیرپذیر شناخته می‌شوند. جدول یادشده جایگاه و نقش هر زیرمعیار را در مدل پایداری اقتصادی زنجیره تأمین روشن کرده و می‌تواند ابزاری مؤثر برای پشتیبانی از تصمیم‌گیری‌های مدیریتی در این زمینه باشد.

جدول (۹) الگوی رابطه‌های علی معیارهای اصلی

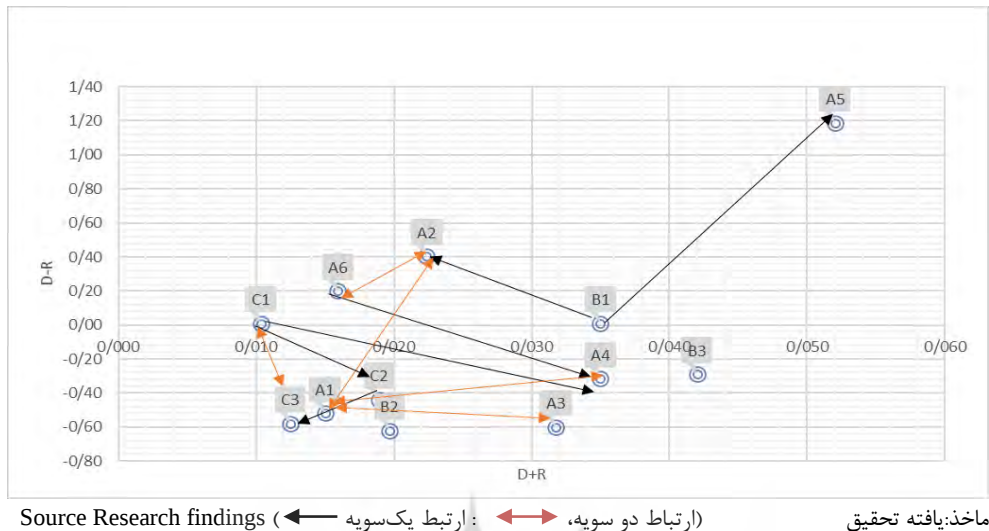
Table (9) The model of causal relationships of the main criteria

معیار Criterion	(Di) defuzzy	(Ri) defuzzy	Di + Ri	Di - Ri	نوع معیار Type of Criterion
کارایی بازاریابی	A1	4/573	4/93	9/504	-0/357 معلول
بازده اقتصادی	A2	5/425	5/022	10/447	0/403 علت
توان بالقوه صادرات	A3	4/679	5/636	10/315	0/957 معلول
بسته‌بندی	A4	5/097	5/414	10/511	-0/317 معلول
کیفیت محصول	A5	5/181	3/992	9/173	1/189 علت
هزینه‌های بازاریابی و فروش	A6	4/802	4/763	9/565	0/039 علت
اثرگذاری‌های اجتماعی بر جامعه‌های محلی	B1	4/92	4/881	9/801	0/039 علت
ایجاد شغل و توسعه مهارت‌ها	B2	5/013	5/045	10/058	-0/032 معلول
مشارکت اجتماعی	B3	4/771	5/097	9/868	-0/326 معلول
اثرگذاری‌های زیست‌محیطی تولید و فراوری	C1	5/045	4/826	9/871	0/219 علت
فناوری نوین	C2	4/654	4/821	9/475	-0/167 معلول
زنجیره تأمین یکپارچه	C3	4/82	۴/۹	9/72	-0/08 معلول

Source Research findings

منبع: یافته‌های تحقیق

نمودار علی (نمودار علت و معلولی بین معیارها) به عنوان ابزاری دیداری، رابطه‌های بین معیارها را آشکارا نشان می‌دهد. برای ترسیم این نمودار، در آغاز نقشه رابطه‌ها شبکه (NRM) طراحی می‌شود که تنها رابطه‌های قوی و قابل توجه را نمایش می‌دهد. برای تعیین NRM، شدت آستانه محاسبه می‌شود که به عنوان پالایشگر عمل می‌کند و تنها رابطه‌هایی که تأثیر معناداری دارند در نمودار گنجانده می‌شوند. شدت آستانه با محاسبه میانگین مقادیرهای ماتریس (T) به دست می‌آید و در این پژوهش، مقدار آن ۰/۸۳ تعیین شده است. آنگاه، رابطه‌ها در ماتریس (T) که از این آستانه پایین تر هستند، به صفر تبدیل می‌شوند تا تنها رابطه‌های مهم در نمودار نمایان شوند. ممکن است ارتباط برخی از معیارها مانند B3 در شبکه به دلیل اثرگذاری کمتر از حد آستانه، حذف شود (نمودار شکل ۲).



شکل (۲) نمودار علی معیارهای زنجیره تأمین پایدار محصول گردو

Figure (2) The causal diagram of the criteria for a sustainable walnut supply chain

برابر نمودار شماره ۲، رابطه‌های دوطرفه میان زیرمعیارها، نظیر کارایی بازاریابی (A1) و بازده اقتصادی (A2)، نشان‌دهنده این است که بهبود در هر یک از این حوزه‌ها می‌تواند به‌طور مثبت بر دیگری تأثیر بگذارد. این ارتباط، بر اهمیت یکپارچگی راهبردهای بازاریابی و اقتصادی تأکید دارد و می‌تواند به افزایش کارایی زنجیره تأمین منجر شود. به‌عنوان مثال، اجرای یک راهبرد بازاریابی مؤثر می‌تواند موجب افزایش فروش و به تبع آن، بهبود بازده اقتصادی گردد. نمودار همچنین تأثیرگذاری‌های یک‌سویه را به‌خوبی نمایان می‌کند. به‌عنوان مثال، زیرمعیار هزینه‌های بازاریابی و فروش (A6) به‌طور مستقیم بر بازده اقتصادی (A2) تأثیر می‌گذارد. این مسئله گویای آن است که هزینه‌های غیرضروری در بازاریابی می‌تواند به کاهش سودآوری منجر شود و بنابراین، مدیریت دقیق این هزینه‌ها ضروری است. بهینه‌سازی هزینه‌ها و منبع‌ها در حوزه بازاریابی می‌تواند راهکار مؤثری برای ارتقاء سودآوری زنجیره تأمین باشد. همچنین، ارتباط زیرمعیار اثرگذاری‌های زیست‌محیطی (C1) با بسته‌بندی (A4)، اهمیت توجه به جنبه‌های زیست‌محیطی در فرآیند تولید و بسته‌بندی را نشان می‌دهد. این ارتباط آشکارا بر ضرورت رعایت استانداردهای زیست‌محیطی در زنجیره تأمین تأکید دارد و می‌تواند به بهبود تصویر برند و جلب رضایت خریداران منجر شود. بنابراین، به‌کارگیری شیوه‌های پایدار در بسته‌بندی و تولید، نه تنها از جنبه زیست‌محیطی بلکه از نظر اقتصادی نیز ارزش افزوده ایجاد می‌کند. از سوی دیگر، تأثیر

اثرگذاری‌های اجتماعی بر جامعه‌های محلی (B1) بر بازده اقتصادی (A2) و دیگر زیرمعیارهای اجتماعی، اهمیت مسئولیت اجتماعی شرکت‌ها را در ارتقاء وضعیت اقتصادی جامعه‌های محلی نشان می‌دهد. شرکت‌ها باید در تصمیم‌گیری‌های اقتصادی خود به تأثیرات اجتماعی و محیطی توجه ویژه‌ای داشته باشند و با سرمایه‌گذاری در جامعه‌های محلی، می‌توانند به افزایش وفاداری خریداران و بهبود عملکرد اقتصادی دست یابند. تحلیل نمودار دیمتل به‌عنوان ابزاری ارزشمند، به شناسایی رابطه‌ها و تعامل‌ها میان زیرمعیارها در زنجیره‌تأمین پایدار کمک می‌کند. این نمودار این امکان را می‌دهد که با درک بهتری از نقطه‌های قوت و ضعف موجود، راهبردهای مناسبی را برای بهینه‌سازی عملکرد زنجیره‌تأمین طراحی شود. بنابراین، پیشنهاد و تأکید می‌شود که مدیران و تصمیم‌گیرندگان در صنعت گردو با توجه به این تحلیل، رویکردهای نوآورانه‌ای را برای ارتقاء پایداری و کارایی زنجیره‌تأمین اتخاذ کنند.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که در زنجیره‌تأمین پایدار صنایع غذایی و کشاورزی، معیارهایی مانند بازده اقتصادی، کیفیت محصول، هزینه‌های بازاریابی و فروش، و اثرگذاری‌های اجتماعی بر جامعه‌های محلی به‌عنوان عامل‌های علت، نقش حیاتی در بهبود عملکرد کلی زنجیره‌تأمین ایفا می‌کنند. بهینه‌سازی این معیارها تأثیر مستقیمی بر عامل‌ها معلول مانند کارایی بازاریابی، توان بالقوه صادرات، بسته‌بندی، ایجاد شغل و توسعه مهارت‌ها و فناوری‌های نوین خواهد داشت. به‌عنوان مثال، بهبود بازده اقتصادی می‌تواند منجر به افزایش بهره‌وری و کاهش هزینه‌ها شود که این امر به نوبه خود، توان رقابت‌پذیری در بازارهای داخلی و بین‌المللی را افزایش می‌دهد. این یافته‌ها با تحقیقات پیشین (Inobatov et al, 2024) همخوانی دارد که تأکید می‌کنند بهبود در بازده اقتصادی می‌تواند موجب بهبود عملکرد زنجیره‌تأمین شود. همچنین، کیفیت محصول از جمله کلیدی‌ترین معیارها در جلب رضایت خریداران و ارتقای سهم بازار، نقش اساسی در موفقیت زنجیره‌تأمین ایفا می‌کند. این نتایج با یافته‌های بررسی‌های (Manterola-Barroso, et al, 2024) که بر تأثیر کیفیت محصول در افزایش رضایت خریداران و سهم بازار تأکید دارند، هم‌راستاست. افزون بر این، تأثیر هزینه‌های بازاریابی و فروش بر سودآوری زنجیره‌تأمین نیز تأیید شده است و این موضوع در پژوهش‌های پیشین (Chu & Pham, 2024) نیز بررسی و ارزیابی شده است. به‌طور کلی، این تحقیق به‌عنوان تأکیدی بر نظریه‌های موجود در زمینه زنجیره‌تأمین پایدار، نشان می‌دهد که توجه به این عامل‌ها می‌تواند منجر به بهبود عملکرد و توسعه پایدار در

این زمینه شود. یافته‌های این پژوهش در راستای تحقیقات اخیر قرار دارند که به‌طور مشابه به ارتباط میان معیارهای اقتصادی و کیفیت در موفقیت زنجیره‌تأمین پرداخته‌اند. کاهش هزینه‌های بازاریابی و فروش نیز به‌عنوان یکی از عامل‌های مهم اقتصادی می‌تواند تأثیر بسزایی در بهبود عملکرد زنجیره‌تأمین داشته باشد و باعث افزایش سودآوری و رقابت‌پذیری شود. اثرگذاری‌های اجتماعی بر جامعه‌های محلی و بهبود تعاملات با این جامعه‌های، زمینه‌ساز توسعه پایدار و افزایش ارزش افزوده برای زنجیره‌تأمین خواهد بود. این یافته‌ها با نتایج بررسی‌های پیشین (Senol et al, 2022; Liu, et al, 2021; Masoodi et al, 2021) که بر اهمیت کیفیت محصول، بازده اقتصادی و تأثیرات اجتماعی تأکید دارند، همخوانی دارند. از سوی دیگر، معیارهای معلول مانند توان بالقوه صادرات و بسته‌بندی نیز تحت تأثیر مستقیم بهبود معیارهای علت قرار دارند. بهبود این معیارها می‌تواند به کاهش ضایعات، افزایش ماندگاری محصول‌ها و تقویت توان صادراتی منجر شود. همچنین، فناوری نوین به‌عنوان یکی از معیارهای معلول می‌تواند با افزایش کارایی و نوآوری، عملکرد زنجیره‌تأمین را بهبود بخشیده و به پایداری بلندمدت آن کمک کند. بنابر یافته‌های این تحقیق، سرمایه‌گذاری در فناوری‌های نوین و به‌کارگیری آن‌ها در فرآیند تولید و زنجیره‌تأمین دارای اهمیت ویژه‌ای است. همچنین، بهینه‌سازی فرآیندهای مالی و افزایش بهره‌وری از جمله اقدام‌هایی است که می‌تواند تأثیر مثبتی بر بهبود عملکرد کلی زنجیره داشته باشد. توجه به معیارهای اجتماعی نیز نه‌تنها به تقویت پیوند بین زنجیره‌تأمین و جامعه‌های محلی کمک می‌کند، بلکه به توسعه پایدار و افزایش رضایت خریداران نیز منجر می‌شود. نتیجه‌گیری نهایی این است که تمرکز بر بهبود معیارهای علت، به‌ویژه بازده اقتصادی، کیفیت محصول، هزینه‌های بازاریابی و فروش و اثرگذاری‌های اجتماعی، می‌تواند تأثیر مستقیمی بر معیارهای معلول داشته باشد و به بهبود کلی عملکرد زنجیره‌تأمین پایدار منجر شود. این نتایج با نتایج بررسی‌های پیشین مشابه (Raxmonova et al., 2024) همخوانی دارد و اهمیت توجه به معیارهای علت به‌عنوان پیش‌نیاز بهبود عملکرد زنجیره‌تأمین را برجسته می‌سازد.

برای بهبود پایداری و عملکرد زنجیره‌تأمین محصول گردو، بنابر نتایج به‌دست‌آمده از تحلیل دیمتل فازی، تأکید می‌شود که تولیدکنندگان گردو به بهینه‌سازی بازده اقتصادی از طریق استفاده از فناوری‌های نوین و مکانیزاسیون در فرآیندهای کاشت، برداشت و فراوری محصول بپردازند. برای مثال، استفاده از فناوری اینترنت اشیا با اندازه‌گیری درجه دما و رطوبت، اندازه‌گیری میزان بارندگی، شناسایی زودهنگام آفات و بیماری‌ها، مهار هوشمند آفات و بیماری‌ها

می‌تواند کمک زیادی به این زنجیره بکند. استفاده از فناوری‌های نوین مانند ردیابی محصول‌ها از مزرعه تا بازار، می‌تواند شفافیت و کارایی زنجیره‌تأمین را بهبود بخشد و هدررفت‌ها را به کمینه برساند. یکی دیگر از پیشنهاد‌های کلیدی، ارتقاء بسته‌بندی محصولات گردو با استفاده از مواد زیست‌تخریب‌پذیر و طراحی‌های جذاب است. این اقدام‌ها افزون‌بر محافظت از محیط‌زیست، می‌تواند ارزش افزوده بیشتری به محصول بدهد و آن را در بازارهای رقابتی متمایز کند. در همین راستا، ضرورت دارد که تولیدکنندگان و دیگر اعضای زنجیره‌تأمین با جامعه‌های محلی تعامل بیشتری داشته باشند و از ظرفیت‌های آن‌ها برای ایجاد فرصت‌های شغلی و توسعه مهارت‌ها استفاده کنند. این تعامل‌ها می‌تواند به تقویت اعتماد و ایجاد ارزش اجتماعی برای زنجیره‌تأمین کمک کند. (Duguma & Bai, 2024). بکارگیری فناوری بلاک‌چین در زنجیره‌تأمین محصول گردو نیز برای مصرف‌کننده این مزیت را ایجاد می‌کند که بتواند با استفاده از یک شناسه منحصر به فرد، اطلاعات کاملی در مورد محصولی که خریداری کرده است، از جمله محل کشت، تاریخ برداشت، روش‌های فرآوری و مسیر حمل و نقل را مشاهده کند. این اقدام‌ها افزون‌بر کاهش هزینه‌های تولید، می‌تواند به افزایش سودآوری و بهره‌وری کمک شایانی کند. همچنین، ایجاد سامانه‌های مدیریت مالی کارآمد و بهینه‌سازی مصرف منابع از دیگر راه‌های افزایش بازده اقتصادی است (Yadav & Singh, 2020; Sahoo et al., 2024).

در راستای پژوهش‌های آتی، تاکید می‌شود تأثیر تغییرپذیری‌های اقلیمی بر پایداری زنجیره‌تأمین محصول‌های کشاورزی به‌ویژه گردو بررسی شود. تحقیقات بیشتری نیز می‌تواند به ارزیابی ارتباط بین نوآوری‌های فناوری و بهبود کارایی زنجیره‌تأمین متمرکز شود. افزون‌بر این، پژوهش‌هایی در زمینه استفاده از مدل‌های مختلف کسب و کار مانند استفاده از مدل کسب و کار قرارداد کشت مدل کسب و کار محصول به‌عنوان خدمت^۱ (PaaS) برای دستیابی به مزیت رقابتی در این زنجیره‌تأمین می‌تواند از جمله تحقیقات به‌روز در این زمینه باشد. بررسی نقش مشارکت‌های محلی و تعاونی‌ها در ارتقای پایداری اجتماعی زنجیره‌تأمین می‌تواند محور دیگری برای تحقیقات آینده باشد.

¹ Product as a Service

منابع

- Ahmed, H., Al Bashar, M., Taher, M. A., and Rahman, M. A. (2024). Innovative Approaches To Sustainable Supply Chain Management In The Manufacturing Industry: A Systematic Literature Review. *Global Mainstream Journal of Innovation. Engineering & Emerging Technology*, 3(02): 01-13.
- Aşkan, E. (2021). Economic Analysis and Marketing Margin of Walnut Market In Turkey. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 11(4): 3163-3171.
- Calloway, E. E., Carpenter, L. R., Gargano, T., Sharp, J. L., and Yaroch, A. L. (2023). New measures to assess the “Other” three pillars of food security—availability, utilization, and stability. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, 20(1): 51.
- Chandio, A. A., Ozdemir, D., Vigne, S. A., and Du, A. M. (2024). Towards sustainable agricultural development and food security in East Asia: The role of broad money and banking credits. *International Review of Economics & Finance*, 103677.
- Chu, T. T., and Pham, T. T. T. (2024). Vertical coordination in agri- food supply chain and blockchain: A proposed framework solution for Vietnamese cashew nut business. *Regional Science Policy & Practice*, 16(3): 12576.
- Duguma, A.L., & Bai, X. (2024). Contribution of Internet of Things (IoT) in improving agricultural systems. *International Journal of Environmental Science and Technology*. 21, 2195–2208, <https://doi.org/10.1007/s13762-023-05162-7>.
- FAOSTAT, F. (2019). Food and Agriculture Organization of the United Nations-Statistic Division <https://www.fao.org/faostat/en/#data>.
- Florez-Jimenez, M. P., Lleo, A., Danvila-del-Valle, I., and Sánchez-Marín, G. (2024). Corporate sustainability, organizational resilience, and corporate purpose: a review of the academic traditions connecting them. *Review of Managerial Science*, 1-38.
- Inobatov, A. (2024). Opportunities for the development of the walnut market within the framework of farm activities. *Science and innovation*, 3(A4): 37-44.
- IRNA (2024). Walnut production increases by 22% in East Azerbaijan/ranks. Retrieved from: <https://www.irna.ir/news>. Last visit 30.12.2024

- Kara, S., and Işık, O. (2020). Fuzzy DEMATEL method for identifying critical success factors in sustainable supply chain management. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(30): 37518-37536.
- Khani, N., and Samani, J. (2023). Indicators Affecting the Sustainable Supply Chain for Agricultural Food Sector. *Strategic Research Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*, 8(2), 187-202. (in persian)
- Lin, C. L., & Wu, W. W. (2004). A fuzzy extension of the DEMATEL method for group decision making. *European journal of operational research*, 156(1): 445-455.
- Lin, K. P., Tseng, M. L., and Pai, P. F. (2018). Sustainable supply chain management using approximate fuzzy DEMATEL method. *Resources, Conservation and Recycling*, 128: 134-142.
- Liu, M., Li, C., Cao, C., Wang, L., Li, X., Che, J., ... and Liu, X. (2021). Walnut fruit processing equipment: academic insights and perspectives. *Food Engineering Reviews*, 1-36.
- Lutsiak, V., Hutsol, T., Kovalenko, N., Kwaśniewski, D., Kowalczyk, Z., Belei, S., and Marusei, T. (2021). Enterprise activity modeling in walnut sector in Ukraine. *Sustainability*, 13(23): 13027.
- Manterola-Barroso, C., Padilla Contreras, D., Ondrasek, G., Horvatinec, J., Gavilán CuiCui, G., and Meriño-Gergichevich, C. (2024). Hazelnut and Walnut Nutshell Features as Emerging Added-Value Byproducts of the Nut Industry: A Review. *Plants*, 13(7): 1034.
- Marzban, S., Shafiee, M., and Mozaffari, M. R. (2023). Performance Evaluation of sustainable supply chain of perishable products in the food industry. *Industrial Management Studies*, 21(70): 173-225
- Masoodi, L., Gull, A., Masoodi, F. A., Gani, A., Nissar, J., Ahad, T., ... & Solberg, S. Ø. (2022). An overview on traditional vs. green technology of extraction methods for producing high quality walnut oil. *Agronomy*, 12(10): 2258.
- Pishdar, M., Ghasemzadeh, F., & Antuchevičienė, J. (2022). Best–worst method to prioritize indicators effective in making logistics systems more sustainable in fast-moving consumer goods industry in developing countries. *TRANSPORT*, 37(3): 191-200.
- Oyedijo, A., Kusi-Sarpong, S., Mubarik, M. S., Khan, S. A., and Utulu, K. (2024). Multi-tier sustainable supply chain management: a case study of a global food retailer. *Supply Chain Management: An International Journal*, 29(1): 68-97.

- Qammer, M. A., and Baba, S. H. (2017). Marketable surplus and supply chain analysis of walnut in Jammu & Kashmir. *Indian Journal of Agricultural Marketing*, 31(2): 12-19.
- Raxmonova, B. S. (2024). effectiveness factors of intensive walnut cultivation in uzbekistan. *Экономика и соцуум*, (4-1 (119)): 463-471.
- Sahoo, S., Kumar, S., Sivarajah, U., Lim, W. M., Westland, J. C., and Kumar, A. (2024). Blockchain for sustainable supply chain management: trends and ways forward. *Electronic Commerce Research*, 24(3): 1563-1618.
- Salehi-Amiri, A., Zahedi, A., Akbapour, N., and Hajiaghaei-Keshteli, M. (2021). Designing a sustainable closed-loop supply chain network for walnut industry. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 141: 110821.
- Sarani, P., Shahraki, A., & Banihashemi, S. A. (2024). Identifying and Prioritizing Factors Affecting the Sustainability of the Agricultural Supply Chain with the Fuzzy DEMATEL and Fuzzy SWARA Approach in the Era of Covid-19: A Case Study. *Journal of Agricultural Economics and Development*, 38(1), 1-18.
- Saroja, M., Garg, D., and Luthra, S. (2022). Identification and analysis of circular supply chain management practices for sustainability: a fuzzy-DEMATEL approach. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 71(3): 722-747.
- Sathyan, R., Parthiban, P., Dhanalakshmi, R., and Sachin, M. S. (2023). An integrated Fuzzy MCDM approach for modelling and prioritising the enablers of responsiveness in automotive supply chain using Fuzzy DEMATEL, Fuzzy AHP and Fuzzy TOPSIS. *Soft Computing*, 27(1): 257-277.
- Senol, A., Bakhsh, A. A., and Elshennawy, A. K. (2021). Review of Supply Chain Metrics to Support Performance Excellence. *Journal of Management & Engineering Integration*, 14(1).
- Sharma, R., and Gunasekaran, A. (2021). Impact of Global Population Growth on Food and Agriculture Supply Chains: A Sustainability Perspective. *Journal of Sustainable Food and Agriculture*, 10(2):75-89.
- Shigaeva, J., and Darr, D. (2020). On the socio-economic importance of natural and planted walnut (*Juglans regia* L.) forests in the Silk Road countries: A systematic review. *Forest Policy and Economics*, 118: 102233.

- Urugo, M. M., Yohannis, E., Teka, T. A., Gemed, H. F., Tola, Y. B., Forsido, S. F., ... and Abdu, J. (2024). Journal of Agriculture and Food Research. *Journal of Agriculture and Food Research*, 18: 101316.
- Yadav, S., and Singh, S. P. (2020). Blockchain critical success factors for sustainable supply chain. *Resources, Conservation and Recycling*, 152: 104505.





Comprehensive Analysis of the Sustainability of the Walnut Supply Chain: Combined Thematic Analysis and Fuzzy DEMATEL Approach

Mahsa Pishdar, Soraya Birami, Alireza Payvar, SeyedAli Doorafshan¹

Received: 7 Dec.2024

Accepted: 8 March.2025

Extended Abstract

Introduction

The supply chain of agricultural products, especially high-value-added products like walnuts, plays a crucial role in ensuring food security and economic development. Walnuts, due to their numerous nutritional properties and widespread applications in the food and pharmaceutical industries, are recognized as a strategic product in many countries. On the other hand, the walnut supply chain is considered one of the main pillars of agricultural development, as it not only contributes to environmental protection but also plays a significant role in improving farmers' living conditions and increasing productivity in agricultural activities. Particularly, the sustainability of this chain encompasses various dimensions, including economic, social, and environmental aspects, and paying attention to each of these facets is essential for achieving desirable outcomes. Therefore, this research aims to provide a comprehensive and practical framework for assessing the sustainability of the walnut supply chain in Iran, helping decision-makers and managers of agricultural product supply chains to improve the sustainability of this chain and reduce its negative impacts on the environment and society through data-driven decision-making.

Materials and methods

This research employs a mixed-methods approach (qualitative-quantitative) to identify and rank the factors influencing the sustainability of the walnut supply chain. In the first stage, information was gathered through library studies, and relevant sustainability criteria were identified. Subsequently, the opinions of 15 agricultural experts were analyzed through semi-structured interviews using thematic analysis. Ultimately, 12 main criteria were selected: marketing efficiency, economic return, potential for exports, packaging, product quality, marketing and sales costs, social impacts on local

¹ Respectively: Assistant professor and doctoral students of the Industrial Management Department at the Farabi Campus of the University of Tehran.
Email: Mahsa.pishdar@ut.ac.ir

communities, job creation and skill development, social participation, environmental impacts of production and processing, innovative technology, and integrated supply chain.

Thus, the sustainable walnut supply chain model was designed through interviews with experts and open coding using MAXQDA 2022 software. Finally, after validating the sustainability factors using the fuzzy Delphi method in three iterative rounds, the causal relationships between the criteria were evaluated using the fuzzy DEMATEL method.

Results and discussion

The findings indicate that in the sustainable supply chain of food and agricultural products, criteria such as economic return, product quality, and local community play a marketing and sales costs, and social impacts vital role as causal factors in enhancing the overall performance of the supply chain. Optimizing these criteria will have a direct impact on the outcome factors, such as marketing efficiency, local firms, packaging, and product development, and innovative technologies. Overall, this research serves as an affirmation of existing theories in the field of sustainable supply chains, demonstrating the attention to these factors can lead to improved sustainability development in the research area.

Conclusion

According to the results of the fuzzy DEMATEL analysis, it is emphasized that walnut producers should focus on optimizing economic returns through the use of innovative technologies and mechanization in planting, harvesting, and processing processes. Another key recommendation is to enhance walnut packaging using eco-degradable materials and attractive designs. These actions, in addition to protecting the environment, can add more value to the product and differentiate it in the market. In this context, it is essential for producers and other supply chain members to engage more with local communities and leverage their capacities to create sustainable development.

JEL Classification: Q01, Q19, Q56, C00

Keywords: Sustainable Supply Chain, Thematic Analysis, Fuzzy DEMATEL, Walnut Product