Journal of Quality Engineering and Management

www.pqprc.ir

J. Qual. Eng. Manag. Vol. 14, No. 1 (2024) 31–45.

Paper Type: Original Article

Designing a Supply Chain Network for Agricultural Waste from the Country's Palm Groves

Hossein Kianipour[1], Ali Hosseinzadeh Kashan[1,*], Ehsan Nikbakhsh[1]

[1] Department of Economic and Social Systems Engineering, Faculty of Industrial and Systems Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran; kianyporhosein@modares.ac.ir; a.kashan@modares.ac.ir; nikbakhsh@modares.ac.ir.

Citation:

Received: 17 Novamber 2023 *Revised: 26 January 2024* *Accepted:03 April 2024*	Kianipour, H., Hosseinzadeh Kashan, A., & Nikbakhsh, E. (2024). Designing the supply chain network for agricultural waste from the country's palm groves. *Journal of quality engineering and management, 14*(1), 31-45.

Abstract

Purpose: In recent years, environmental management, with a focus on environmental protection, has become one of the main priorities of governments and organizations. One key area in this regard is the design of supply chain networks with environmental approaches, which helps integrate production processes with sustainability goals.

Methodology: This study aims to investigate the feasibility of using palm tree pruning waste in the production of Medium-Density Fiberboard (MDF). As one of the richest plant resources in the country, the palm tree has high potential for application in the wood industry and for reducing environmental waste.

Findings: First, the biological and structural characteristics of palm trees are examined. Then, using this raw material, a supply chain network design model for MDF production is developed. The model's performance is evaluated and compared under different operational and environmental conditions.

Originality/Value: The findings indicate that using palm waste in MDF production not only helps reduce environmental waste but also contributes to the design of an efficient and green supply chain. Moreover, the study highlights a lack of prior research on this specific topic, underscoring the innovative aspect of the work.

Keywords: Supply chain network design, Optimization, Agricultural waste, Medium-density fiberboard.

Corresponding Author: a.kashan@modares.ac.ir

10.48313/jqem.2024.210884

Licensee System Analytics. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0).

مهندسی و مدیریت کیفیت

www.pqprc.ir

دوره ۱۴، شماره (۱)، (۱۴۰۳)، ۴۵-۳۱

نوع مقاله: پژوهشی

طراحی شبکه زنجیره‌تامین ضایعات کشاورزی نخلستان‌های کشور

حسین کیانی پور[۱] ، علی حسین زاده کاشان[۱،*]، احسان نیکبخش[۱]

[۱]گروه مهندسی سیستم‌های اقتصادی و اجتماعی، دانشکده مهندسی صنایع و سیستم‌ها، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

چکیده

هدف: در سال‌های اخیر، مدیریت زیست‌محیطی با تاکید بر حفاظت از محیط‌زیست به‌یکی از اولویت‌های اصلی دولت‌ها و سازمان‌ها تبدیل شده است. یکی از حوزه‌های کلیدی در این زمینه، طراحی شبکه زنجیره‌تامین با رویکردهای زیست‌محیطی است که به یکپارچه‌سازی فرآیندهای تولید با اهداف پایداری کمک می‌کند.

روش‌شناسی پژوهش: این پژوهش با هدف بررسی امکان‌سنجی استفاده از ضایعات هرس درخت نخل خرما در ساخت تخته‌های فشرده چوبی با دانسیته متوسط[۱] انجام شده است. درخت خرما به‌عنوان یکی از غنی‌ترین منابع گیاهی کشور، دارای پتانسیل بالایی برای استفاده در صنعت چوب و کاهش ضایعات محیط‌زیستی است.

یافته‌ها: ابتدا ویژگی‌های زیستی و ساختاری درخت نخل خرما موردبررسی قرار گرفته و سپس با استفاده از این ماده اولیه، مدل طراحی شبکه زنجیره‌تامین *MDF* توسعه داده شده است. در ادامه، عملکرد مدل پیشنهادی در شرایط مختلف عملیاتی و زیست‌محیطی ارزیابی و مقایسه شده است.

اصالت/ارزش‌افزوده علمی: یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد استفاده از ضایعات نخل خرما در تولید *MDF* نه‌تنها به کاهش ضایعات زیست‌محیطی کمک می‌کند، بلکه در طراحی یک زنجیره‌تامین سبز و کارآمد نیز موثر است. همچنین، بررسی‌ها حاکی از نبود مطالعات مشابه در این زمینه بوده که اهمیت نوآوری پژوهش را دوچندان می‌کند.

کلیدواژه‌ها: طراحی شبکه زنجیره‌تامین، بهینه‌سازی، ضایعات کشاورزی، تخته‌های فشرده چوبی.

۱- مقدمه

مدیریت پسماندها و حفظ محیط‌زیست از مسایل حیاتی و مهم در جوامع صنعتی است. با افزایش روزافزون تولید ضایعات در صنایع مختلف، نیاز به‌طراحی یک شبکه زنجیره‌تامین بهینه و کارآمد برای جمع‌آوری، حمل و نگهداری ضایعات، بسیار مهم می‌شود. تولید ضایعات در صنایع مختلف،

[1] Medium Density Fiberboard (MDF)

علاوه بر اینکه موجب هدر رفت منابع و افزایش هزینه‌ها می‌شود، به‌شدت به‌محیط‌زیست آسیب می‌زند؛ بنابراین، طراحی یک شبکه زنجیره‌تامین بهینه برای ضایعات، می‌تواند به‌عنوان یک راه‌حل موثر برای مدیریت پسماندها و حفظ محیط‌زیست مورداستفاده قرار گیرد. شبکه زنجیره‌تامین ضایعات، شامل ارتباطات بین تولیدکنندگان، توزیع‌کنندگان و بازیافت‌کنندگان است. هدف اصلی این شبکه، بهبود کارایی و کاهش هزینه‌ها در فرایند بازیافت ضایعات است. بااین‌حال، طراحی یک شبکه زنجیره‌تامین بهینه برای ضایعات، بسیار پیچیده و چالش‌برانگیز است. برای طراحی یک شبکه زنجیره‌تامین بهینه، نیاز به‌بررسی عوامل مختلفی ازجمله نوع ضایعات، میزان تولید، محل تولید و بازیافت ضایعات، نوع حمل‌ونقل، هزینه‌های لازم برای جمع‌آوری و بازیافت ضایعات و... داریم. در این راستا انجام مطالعات جامع و دقیق برای شناسایی عوامل موثر در طراحی شبکه زنجیره‌تامین بهینه برای ضایعات، بسیار مهم است. باتوجه به اهمیت مدیریت پسماندها و حفظ محیط‌زیست، طراحی یک شبکه زنجیره‌تامین بهینه برای ضایعات می‌تواند به‌عنوان یک راه‌حل موثر برای بهبود کارایی و کاهش هزینه‌ها در فرایند بازیافت ضایعات مورداستفاده قرار گیرد. درنتیجه، انجام تحقیقات و پژوهش‌های مرتبط با طراحی شبکه زنجیره‌تامین بهینه برای ضایعات بسیار مهم و ضروری است و می‌تواند به حفظ محیط‌زیست و بهبود کارایی صنایع کمک کند.

در دنیای امروز، شرایط تحت فضای عدم‌قطعیت به‌شدت در حال افزایش است. این شرایط می‌توانند تاثیرات بسیاری بر زنجیره‌تامین داشته باشند و باعث افزایش هزینه‌ها و کاهش کیفیت محصولات شود. در این شرایط، طراحی یک شبکه زنجیره‌تامین کارآمد و پایدار، می‌تواند به‌عنوان یک راه‌حل موثر برای مواجهه با این چالش‌ها مورداستفاده قرار گیرد. طراحی یک شبکه زنجیره‌تامین، نیازمند رویکردی سیستماتیک و هماهنگ بین مختلف عوامل موثر در زنجیره‌تامین است.

برای این منظور، باید به‌صورت دقیق و جامع، عوامل مختلفی مانند تامین‌کنندگان، تولیدکنندگان، حمل‌ونقل، انبارداری و توزیع را موردبررسی قرارداد و راهکارهای مناسبی برای هر یک از این عوامل پیشنهاد داد. علاوه بر این، در طراحی شبکه زنجیره‌تامین، باید به‌صورت مداوم و با استفاده از داده‌های جدید، بررسی و بهبود این شبکه انجام شود. درنتیجه، طراحی یک شبکه زنجیره‌تامین کارآمد و پایدار، می‌تواند به‌عنوان یک عامل موثر در بهبود عملکرد صنایع و کاهش هزینه‌ها و افزایش کیفیت محصولات مورداستفاده قرار گیرد. باتوجه به افزایش روزافزون نیاز به‌مصرف چوب و محصولات چوبی در سراسر جهان، استفاده از منابع طبیعی جایگزینی برای تولید تخته فیبر با چگالی متوسط[1] و سایر محصولات چوبی، بسیار حایز اهمیت است. یکی از جایگزین‌های مناسب برای چوب، شاخ‌وبرگ نخل خرما است که به‌دلیل خصوصیات فیزیکی و مکانیکی مناسب، بسیار مناسب برای تولید *MDF* و دیگر محصولات چوبی است.

تولید *MDF* از شاخ‌وبرگ نخل خرما، به‌دلیل داشتن خصوصیات فیزیکی و مکانیکی مناسب، موردتوجه قرار گرفته است. شاخ‌وبرگ نخل خرما، دارای ساختاری فیبری و مقاومت بالا هستند که باعث می‌شود این منبع جایگزین مناسبی برای خرده چوب در تولید*MDF* و سایر محصولات چوبی باشد. استفاده از شاخ‌وبرگ نخل خرما به‌عنوان جایگزینی برای چوب در *MDF*، علاوه بر کاهش هزینه‌ها، باعث حفظ منابع طبیعی و حفظ محیط‌زیست می‌شود. درنتیجه، توسعه فناوری‌های جدید و بهبود روش‌های *MDF* از شاخ‌وبرگ نخل خرما، می‌تواند به‌عنوان یک راه‌حل موثر برای حفظ محیط‌زیست و بهبود کارایی صنایع چوبی مورداستفاده قرار گیرد.

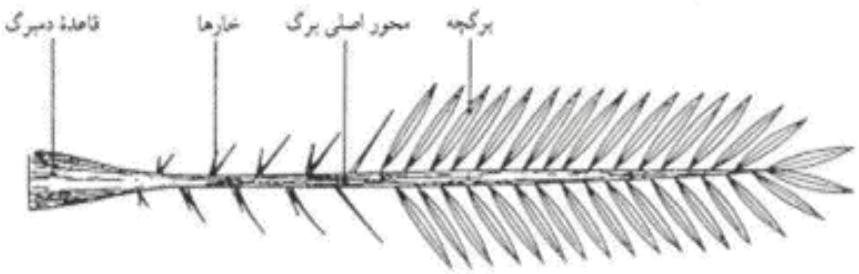
خرما نام گونه‌ای درخت خاص مناطق گرمسیری و نیمه‌گرمسیری از تیره نخل‌ها به‌شمار می‌رود؛ ازجمله گیاهان تک‌لپه است که میوه خوراکی‌ای گرد، کشیده و استوانه‌ای مانندی تولید می‌کند که دارای پوست نازکی است که به‌قسمت گوشتی گیاه می‌چسبد. خرما از مهم‌ترین گونه‌های خانواده پالماسه[2] بوده و متعلق به جنس فینیکس[3] است. ر این خانواده نزدیک به ۲۰۰ جنس و ۴۰۰۰ گونه وجود دارد که اغلب در مناطق گرم و مرطوب می‌رویند. تقسیم‌بندی درخت نخل از نظر گیاه شانسی به‌صورت **جدول ۱** است [1].

[1] Medium Density Fiberboard (MDF)
[2] Palmaceae
[3] Phoenix

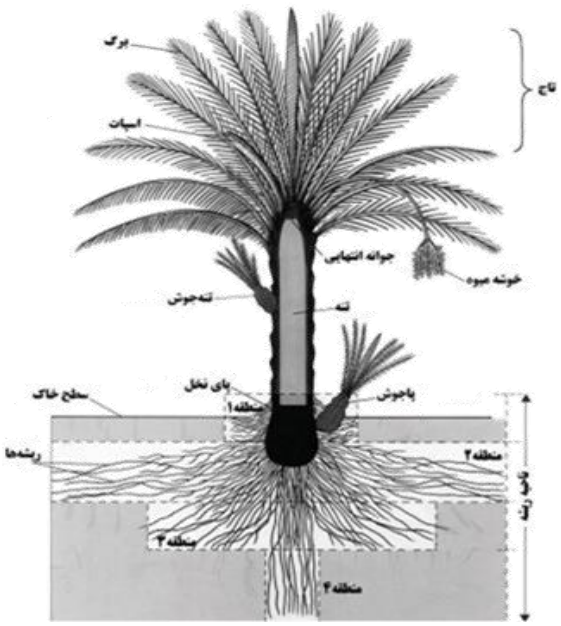
جدول ۱- جدول گیاه‌شناسی نخل خرما.
Table 1- Date palm botanical table.

Group	Spadiciflora
Order	Palmea
Family	Palmaceae
Sub-family	Coryphyoideae
Tribe	Phoeniceae
Genus	Phoenix
Species	.Dactylifera L

طول عمر برگ نخل باتوجه به شرایط متفاوت اقلیمی، آبی و خاکی و روش‌های داشت نخلستان بین ۳ تا ۷ سال است. برگ‌های مسن وقتی‌که شروع به خشک‌شدن می‌نمایند از درخت خرما هرس و قطع می‌شوند. در طول یک سال قریب به ۱۵ تا ۲۵ برگ از یک درخت می‌بایست هرس شوند. افزون بر آن قاعده برگ و الیاف اطراف آن نیز می‌بایست حذف و هرس شوند (عمل تخریب). وزن متوسط هر برگ خرما ۲ تا ۳ کیلوگرم است [2]. افزون بر این شکل کلی برگ و طرح‌واره کلی نخل خرما به‌صورت **شکل‌های ۱** و **۲** است. فرآورده‌های ضایعات نخل خرما در موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع ایران و یکی از دانشگاه‌های آلمان انجام و نتایج به‌دست‌آمده بیانگر آن است که محصول ساخته‌شده *MDF* استانداردهای بین‌المللی را دارا است. بر اساس نتایج این تحقیق، می‌توان استقرار حداقل ۲ کارخانه در مناطق جنوبی کشور (استان‌های خوزستان، هرمزگان و یا کرمان) را توصیه کرد. استقرار کارخانه‌های پیشنهادی در کشور، اشتغال‌زایی و جلوگیری از خروج ارز و همچنین استفاده از موادی را شامل می‌شود که تاکنون توجهی بدان نشده و نیز کاهش فشار بر جنگل‌ها را در پی خواهد داشت.



شکل ۱- نمای کلی برگ یا لیف خرما.
Figure 1- General view of a date palm leaf or fiber.



شکل ۲- نمای کلی نخل خرما.
Figure 2- General view of the date palm.

همچنین درصد ضایعات هر درخت نخل و اجزای کامل شاخه خرما در **جدول‌های ۲** و **۳** ارایه شده است:

جدول ۲- درصد ضایعات هر درخت نخل.
Table 2- Percentage of waste per palm tree.

اجزا	وزن (KG)	درصد نسبت به وزن شاخه	درصد نسبت به‌کل ضایعات یک نخل
کتاس Katas	5.4	30	15.88
لت Lat	7.8	43.33	22.94
پیشPish	4.8	26.67	14.12

جدول ۳- اجزای کامل شاخه خرما.
Table 3- Complete components of date palm branch.

اجزا	مقدار(Kg)	درصد نسبت به‌کل ضایعات یک درخت
شاخه	18	52.94
خوشه	6	17.65
دسته منتهی به خوشه	7	20.59
سیس	3	8.82
جمع	32	100

نتایج یک تحقیق مشترک توسط بین بخش تحقیقات علوم چوب موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع ایران و دانشگاه "گوتینگن" آلمان نشان داده است که می‌توان ضایعات هرس نخل را در تولید تخته‌های *MDF* به کار برد [3].

این ضایعات قابلیت استفاده در صنایع تبدیلی؛ ازجمله نئوپان و *MDF* را دارا هستند. امکان استفاده از این مواد اولیه در تولید یک کالای وارداتی *MDF* به‌صورت یک تحقیق مشترک در مقیاس نیمه‌صنعتی بین بخش تحقیقات علوم چوب و فرآورده‌های آن در موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع ایران و یکی از دانشگاه‌های آلمان انجام و نتایج به‌دست‌آمده بیانگر آن است که محصول ساخته‌شده *MDF* استانداردهای بین‌المللی را دارا است. بر اساس نتایج این تحقیق، می‌توان استقرار حداقل ۲ کارخانه در مناطق جنوبی کشور (استان‌های خوزستان، هرمزگان و یا کرمان) را توصیه کرد. استقرار کارخانه‌های پیشنهادی در کشور، اشتغال‌زایی و جلوگیری از خروج ارز و همچنین استفاده از موادی را شامل می‌شود که تاکنون توجهی بدان نشده و نیز کاهش فشار بر جنگل‌ها را در پی خواهد داشت.

نتایج این تحقیق، برای تمام کشورهای خاورمیانه و کشورهای شمال آفریقا که همانند ایران دارای نخلستان‌های مناسبی هستند نیز قابل توصیه است [4]. در این راستا حسین‌خانی و همکاران [2]، در پژوهشی ضایعات هرس نخل به‌عنوان ماده اولیه در ساخت *MDF* استفاده کردند و تخته‌ها در مقیاس نیمه‌صنعتی در دانشگاه گوتینگن آلمان ساخته شدند. نتایج این تحقیق نشان داد که تخته‌های تولیدشده دارای خواص مکانیکی توصیه‌شده توسط سازمان استاندارد جهانی را دارا هستند.

جنوبی و همکاران [5]، در مطالعه‌ای مروری به‌خواص نخل خرما پرداختند و از پتانسیل‌های ضایعات این گیاه برای صنایع مختلف بهره‌برداری کردند. علی‌رغم برخی استفاده‌های محدود و سنتی از این ضایعات نخل، این بررسی به کاربردهای نخل خرما و خواص مهم‌ترین بخش آن درخت در تحقیقات اخیر و موضوعات مرتبط برای تحقیقات آینده نیز اشاره‌کرده است [5]. حسین‌خانی و همکاران [3] در پژوهشی با استفاده از ضایعات چوب صنوبر اقدام به‌ساخت تخته‌های چوبی کردند. در این تحقیق جهت ساخت تخته فیبر نیمه‌سنگین از مخلوط سه کلن صنوبر ارواامریکن ۴ ساله استفاده شد. به‌ترتیب میانگین طول فیبر کلن‌های مذکور،۸۰۵،۷۵۱ و ۷۴۶ میکرون و میانگین قطر فیبر آن‌ها، ۷۶/۲۵ ۴۴/۲۵ و ۲۳/۲۵ میکرون تعیین شد [3]. تولید *MDF* تقریبا با استفاده از تمامی مواد چوبی و انواع مواد لیگنوسلولزی امکان‌پذیر است. در پژوهشی رافاعل و همکاران [6] خصوصیات تخته *MDF* ساخته‌شده از چوب‌های جوان صنوبر را موردبررسی قرار دادند. این محققان عنوان کردند که تخته فیبرهای ساخته شده از الیاف صنوبرهای ۱۶ ساله مقاومت‌های مکانیکی بیشتر و واکشیدگی ضخامتی کمتری نسبت به تخته فیبرهای ساخته شده از

صنوبرهای ۵ ساله همان کلن را دارا هستند. نتایج نشان می‌دهد که می‌توان در شرایط مناسب فرآیند ساخت از چوب صنوبر جوان تخته فیبر با دانسیته متوسط و با خصوصیات مقاومتی قابل‌قبول تولید کرد [6].

محمدجابر و همکاران [7]، در مطالعه‌ای در دو مرکز تحقیقات نخل خرما و مرکز تحقیقات پلیمری دانشگاه بصره در دوره زمانی ۱۳۹۵-۱۳۹۴، به‌بررسی ویژگی‌های تخته‌های چوبی تولیدشده به‌وسیله ضایعات نخل خرما پرداختند و نتایج نشان داد که میانگین طول الیاف تنه ماده بین (۷۱۶-۸۷۹) میکرومتر و قطر آن (۲۲٫۷-۲۲٫۴) میکرومتر متغیر است. همچنین این مطالعه نشان داد که میانگین طول و قطر الیاف دمبرگ (پایه برگ) و راشیس سه رقم (کدراوی، زهدی و سایر) تفاوت معنی‌داری نداشتند و به‌ترتیب بین (۱۲۵۸-۱۰۱۰) میکرومتر و (۲۲٫۶-۱۴٫۲) میکرومتر بودند. این مطالعه همچنین شامل تهیه *MDF* ساخته شده از الیاف شاخه و تنه نخل می‌باشد [7]. در پژوهشی دیگر، عبدل باسط و همکاران [8]، به ارزیابی ضایعات اجزای خرما به‌عنوان ماده لیگنوسلولزی جایگزین برای تولید تخته‌های فیبر با چگالی متوسط، به‌منظور ایجاد تعادل اقتصادی و تعادل بین نسبت تولید به‌مصرف کننده در استان‌های مختلف مصر پرداختند.

در این پژوهش، پانل امیدوار کننده تخته فیبر با چگالی متوسط از الیاف درخت نخل به‌دست آمده است و خواص مکانیکی و مقاومت در برابر آب آن مطابق با استاندارد جهانی برای محصولات چوبی تخته فیبر با چگالی متوسط بالا، به‌ویژه در اعمال سطح فرمالدیید اوره ۱۲% تا ۱۴% و فشار ۳٫۵ *MPa* است [8].

فیاد و همکاران [9] در مقاله‌ای، یک ارزیابی علمی برای ضایعات نخل خرما از نظر مشخصات و کاربردها انجام می‌دهند و فرایندهای پیش‌تصفیه را برای تولید مواد خام الیافی و پودری برای استفاده در برخی کاربردهای مهندسی و صنعتی را پیشنهاد می‌کنند. علاوه بر این، برخی از کاربردهای صنعتی پیشرفته ممکن، مانند کربن فعال و کامپوزیت‌های فیبر طبیعی، موردبحث و بررسی قرار می‌گیرند [9]. همچنین موسلی [10] در کتابی به معرفی پتانسیل‌های درخت خرما می‌پردازد و ضایعات این گیاه را جایگزین بسیاری از مواد اولیه در صنایع چوبی معرفی می‌کند. همچنین تحقیقاتی بر روی تخته خرده چوب‌های خود چسبیده از محصولات هرس نخل خرما انجام شده است. منطق پشت ایده تخته خرده چوب‌های خود چسبنده، توزیع رزین‌های مصنوعی است که وجود آن‌ها مانع بازیافت محصولات در مرحله دفع می‌شود. برای انجام این مطالعه نمونه‌هایی از برگچه خرما، میانی، دمبرگ و فیبریلوم از استان مراکش در مراکش تهیه شد. آسیاب چکشی الک شده با الک ۳ میلی‌متری و در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۲ ساعت در فر خشک شد. نتایج این تحقیق، تولید تخته‌های چوبی با استفاده از این ضایعات، حداقل استانداردهای لازم برای بهره‌برداری از این ضایعات در صنایع چوبی را دارا است [9].

پیشرفت‌های اخیر در طراحی شبکه زنجیره‌تامین[1] بسیاری از شرکت‌ها و کاربران آن‌ها در بخش‌های دولتی و خصوصی را بر آن داشته تا تنظیمات آن را در صنایع خود پیاده‌سازی کنند تا بیشترین ارزش‌افزوده را از یک نوع محصول خاص به دست آورند. درحالی‌که بسیاری از آن‌ها از *SCND* برای پرداختن به ماموریت و چشم‌انداز شرکت خود استفاده کردند، برخی دیگر سعی کردند طراحی شبکه‌ها را باتوجه به کاهش هزینه‌ها، درنظر گرفتن جنبه‌های پایداری، پوشش بخش‌های نادیده گرفته‌شده محصولات مختلف، خدمات‌رسانی به مشتریان و افزایش زنجیره‌های کارایی کلی درنظر بگیرند. در این راستا، شرکت‌ها توجه خود را به‌سمت طراحی پایدار معطوف می‌کنند. محصولات کشاورزی یکی از مهم‌ترین محصولات در تولید برای جامعه و پاسخگویی به تقاضای بالقوه بازار است. با این حال، توجه کمتری به‌طراحی شبکه موثر برای چنین محصولاتی شده است. مطالعات قبلی فقط پژوهش‌های جزیی را برای این نوع محصولات نشان می‌دهد و از این‌رو شبکه‌های زنجیره‌تامین مورداستفاده اغلب نتوانستند یک شبکه کارآمد برای آن‌ها معرفی کنند. علاوه بر این، توجه به پایداری عمدتا نادیده گرفته می‌شود؛ بنابراین، شبکه زنجیره‌تامین پیشنهادی نتوانست کارایی بهینه خود را پیدا کند. ون برلو [11]، عملیات زنجیره‌تامین فرآوری سبزی‌ها را ارایه کرد. در این راستا، مدل او تصمیمات کشاورز را برای کاهش هزینه‌های زنجیره‌تامین و فاقد تصمیم‌گیری مکان‌یابی می‌کند [11].

[1] Supply Chain Network Design (SCND)

جولایمی [12] یک دوره کاشت و محل خاص محصولات کشاورزی را برای حداکثر کردن سود درنظر گرفت. این مدل از بین تعداد زیادی محصول، سودآورترین محصول را انتخاب می‌کند. علاوه بر این، نویسنده تلاش کرده است میزان افزایش یا کاهش سود حاصل از کشت مشترک هر تعداد محصول را نسبت به کشت آن‌ها مشخص کند [12].

آلن و شوستر [13] میزان ضایعات را در تولیدات کشاورزی کاهش دادند و بر ظرفیت‌های برداشت و ذخیره‌سازی تمرکز کردند. رانتالا [14]، مدلی را برای نهال‌ها و حمل‌ونقل ایجاد کرد و محدودیت‌های ظرفیت و فسادپذیری محصول را درنظر گرفت، علاوه بر این‌که هزینه‌ها را به حداقل رساند و نیازهای مشتری را برآورده کرد. طراحی شبکه *SC* مواد غذایی پروتیینی مبتنی بر نخود توسط آپایا و هندریکس [15] درنظر گرفته شد. نویسندگان یک مدل زنجیره‌تامین را برای کاهش هزینه‌ها با درنظر گرفتن محدودیت‌های تعادل زنجیره، ظرفیت هر کارخانه و روش‌های مختلف حمل‌ونقل ارایه کردند. فرر و همکاران [16] مدلی برای برداشت، حمل‌ونقل و بسته‌بندی محصولات پیشنهاد کرد. اهومادا و همکاران [17]، یک زنجیره‌تامین کشت و توزیع در حوزه کشاورزی در دنیای واقعی را ارایه کرد و برنامه‌ریزی کرد تا گوجه‌فرنگی و فلفل قرمز را در ایالت سینالوآ (شمال شرقی مکزیک) در مزارع با مکان‌های مختلف، با محدودیت‌های شغلی، معیارهای نگهداری و برداشت و همچنین مصرف آب کشت کند. مدل پیشنهادی این عوامل را در دو شرایط قطعی و نامشخص ارزیابی می‌کند [17]. نوازی و همکاران [18]، یک زنجیره‌تامین حلقه بسته[1] برای محصولات فاسدشدنی در رابطه با سطح بازیافت در جریان معکوس طراحی کرد. نتایج این مشکل افزایش اثر زیست‌محیطی کاهش زباله را نشان داد. کاظمی و همکاران [19]، یک زنجیره‌تامین کشاورزی برای محصولات برنج طراحی کرد. دو هدف برای کاهش کل هزینه‌ها و همچنین کاهش فرسایش خاک ارایه‌شده است. با درنظر گرفتن سناریوهای مختلف، نتایج تحقیق حاکی از بهبود اهداف موردنظر بود.

اخیرا بازیافت و مدیریت پسماند ازجمله فرضیات اصلی در این زمینه بوده است [20]. با درنظر گرفتن لجستیک معکوس، ما تمام فعالیت‌ها را از پایان تا ابتدای یک زنجیره برای استفاده مجدد و بازتولید آن محصول یا تغییرات آن درنظر می‌گیریم [21]. استفاده از لجستیک معکوس می‌تواند مزیت‌های رقابتی بیشتری داشته باشد [21]. همچنین، چندین پژوهش، ضایعات را برای طراحی زنجیره‌های حلقه بسته درنظر می‌گیرند [22]. بنزیک و همکاران [23]، ابتدا قارچ‌های صنعتی را درنظر گرفتند و یک *CLSC* توسط *MILP* با درنظر گرفتن جنبه‌های اقتصادی و زیست‌محیطی ایجاد کردند. چراغعلی پور و همکاران [24] مرکبات را در *CLSC* خود برای به حداقل رساندن هزینه‌ها و به حداکثر رساندن تقاضای مشتری در هر دو جریان درنظر گرفتند. پاسخگویی زنجیره‌تامین نیز یکی از عوامل کلیدی در چنین زنجیره‌هایی است و با افزایش روز به روز جمعیت، محققان و سازمان‌های مربوطه اهمیت طراحی چنین زنجیره‌هایی را به شیوه‌ای بهینه بهتر می‌دانند. بر اساس گزارش سازمان خواربار و کشاورزی (فائو) در سال ۲۰۲۰، حدود ۳۰% از تولید جهانی غذا به هدر خواهد رفت. درنتیجه منابع تولیدی مانند سوخت، آب، کودها هدر می‌رود و اثرات منفی ایجاد می‌کند [25]. به‌طور خلاصه، جنبه‌های زیست‌محیطی، مقررات سخت‌گیرانه در مورد زباله، لجستیک معکوس و طراحی *CLSC* نگرانی‌های اصلی در طراحی شبکه‌های زنجیره‌تامین در این زمینه است. با این‌حال، تنها مطالعه محدود به چنین مسایلی برای میوه و محصولات کشاورزی پرداخته است.

جبارزاده و همکاران [26] از مفاهیم لجستیک معکوس برای زنجیره‌تامین میوه استفاده کرد. در مدل خود، آن‌ها هم هزینه و هم انتشار دی‌اکسیدکربن را به حداقل رساندند. اخیرا صالحی امیری و همکاران [27]، یک شبکه *CLSC* برای به حداقل رساندن هزینه کل جریان در هر دو جهت طراحی کردند. همچنین آن‌ها، ابتدا ویژگی‌های گردو را برای مدل‌سازی شبکه خود درنظر گرفتند. در رابطه با طراحی شبکه زنجیره‌تامین صنایع چوبی، مطالعات چندانی وجود ندارد اما با این‌وجود، بابازاده و همکاران [28]، در پژوهشی مدلی برای زنجیره‌تامین تخته‌های چوبی با درنظرگیری فضای عدم قطعیت و ارزیابی ریسک سناریوها ارایه می‌دهند. در پژوهشی دیگر بابا زاده و صباغ نیا [29]، به مدل‌سازی رویکردهای عدم قطعیت در یک مساله طراحی شبکه زنجیره‌تامین پرداختند و سپس عملکرد آن‌ها در شرایط عدم قطعیت ارزیابی و مقایسه کردند و نتایج نشان می‌دهد که مدل *CVaR* راه‌حل‌هایی با درجه بالاتری از استحکام در مقایسه با رویکرد برنامه‌ریزی تصادفی قوی ارایه می‌کند. بابا زاده و توکلی مقدم [30]، در مقاله‌ای، یک الگوریتم ژنتیک ترکیبی[2] (GA) -الگوریتم *TLBO* برای مساله طراحی شبکه *SCND* پیشنهاد داده‌اند. همچنین در خصوص بهبود مدیریت

[2] Closed Loop Supply Chain (CLSC)

[2] Genetic Algorithms (GA)

زنجیره‌تامین در حوزه صنایع چوبی، ژانگ و همکاران [22]، به‌بررسی عوامل موثر در مدیریت این صنایع پرداخته‌اند [31]. در این راستا، گارسیا و همکاران [32]، در پژوهشی به‌بررسی صنایع چوب اتحادیه اروپا و میزان نرخ مصرف در واحدهای مختلف پرداخته‌اند. این کار شرح مفصلی از تاثیر تصمیم استراتژیک سلسله مراتبی در طراحی مناسب زنجیره‌تامین ضایعات چوب ارایه می‌کند. علاوه بر این، تصویر جهانی بازیافت ضایعات چوب در کشورهای مختلف اروپایی (بریتانیا، ایتالیا و فنلاند) به‌طور خلاصه ارایه‌شده است [32].

باتوجه به نکات ذکرشده، هدف اصلی این پژوهش ارایه یک زنجیره‌تامین کارآمد و اصولی با درنظرگیری شرایط مختلف در دنیای واقعی برای انتقال ضایعات بخش کشاورزی نخلستان‌های کشور و استفاده از این ضایعات به‌عنوان ماده اولیه در صنایع چوب و *MDF* کشور؛ بنابراین، نوآوری‌های اصلی این پژوهش عبارت‌اند از

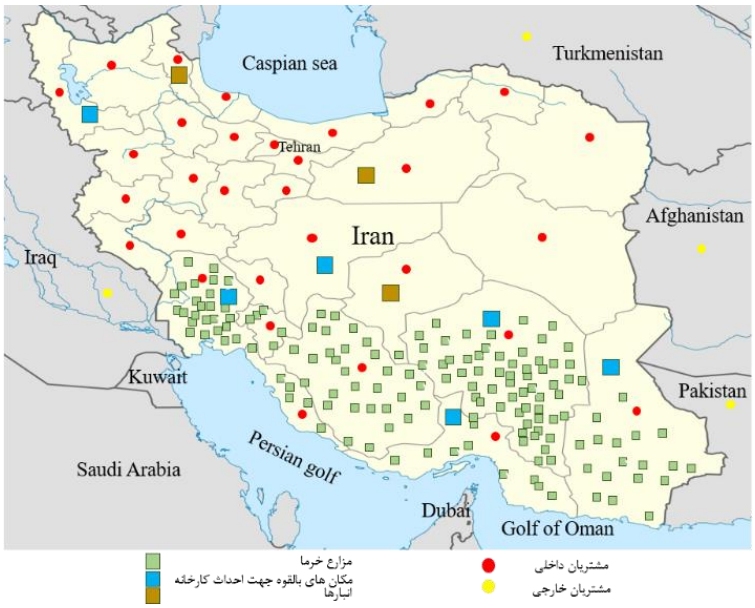
۱. در این مطالعه علاوه بر مکان‌یابی مراکز استقرار کارخانه‌ها در مورد تخصیص جریان ضایعات به کارخانه‌ها و مراکز تولید صنایع‌دستی و مراکز انهدام تصمیم‌گیری می‌شود.
۲. از مدل ارایه‌شده در این پژوهش در یک مطالعه موردی واقعی در کشور ایران مورداستفاده قرار گرفته است.
۳. یک دیدگاه و روش راجع به استفاده بهینه از ضایعات کشاورزی نخلستان‌های کشور ارایه‌شده است.

ادامه پژوهش حاضر بدین ترتیب سازمان‌یافته است. در بخش روش‌شناسی پژوهش، به‌تعریف مساله، بیان فرض‌های و معرفی مدل طراحی شبکه ضایعات خرما پرداخته شده است. در بخش یافته‌ها، نتایج حل مدل موردبررسی و تجزیه‌وتحلیل قرار می‌گیرد. بخش بحث و نتیجه‌گیری شامل نتیجه‌گیری و پیشنهادهای آتی است.

۲- روش‌شناسی پژوهش

۲-۱- نمای کلی مساله

در این مطالعه، مدلی برای انتقال ضایعات درختان خرما در مناطق جنوبی ایران طراحی شده است. انتقال جریان ضایعات از مزارع به کارخانه‌ها و بازارهای صنایع‌دستی و جریان محصولات *MDF* از کارخانه‌ها به استان‌ها و کشورهای همسایه در **شکل ۳** نشان داده شده است.



شکل ۳- نمای جغرافیایی مساله.

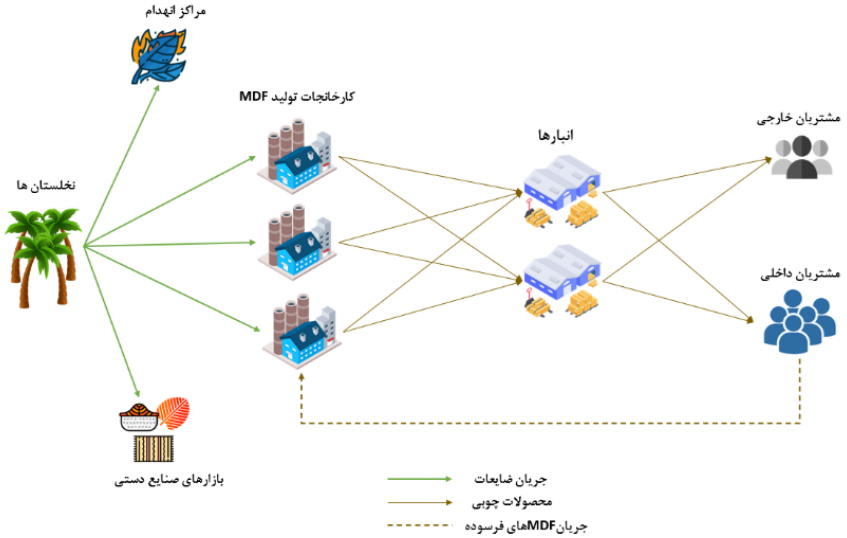
Figure 3- Geographic view of the problem.

۲-۲- تجزیه‌وتحلیل و نمایش داده‌ها

داده‌های موردنیاز این تحقیق شامل اطلاعات ۷ استان اصلی است که ۹۵% سطح زیر کشت خرما در ایران را دارا هستند و به ۱۲۰ مزرعه اصلی تقسیم می‌شوند. ۳۱ استان داخلی و ۴ کشور همسایه وجود دارد که با مدل پیشنهادی تضمین می‌شوند. همچنین برای طول و عرض مکان‌های جغرافیایی برای نقشه‌برداری از *Google Earth* استفاده شد که در **شکل ۳** نشان داده شده است.

۲-۳- مدل ریاضی و فرض‌ها

مساله اصلی این مطالعه، یک مدل‌سازی بهینه‌سازی برای شبکه زنجیره‌تامین *MDF* حلقه بسته است که مزارع نخل خرما، بازارهای صنایع‌دستی، مکان‌های نامزد کارخانه‌ها، انبارها، مشتریان داخلی و مشتریان خارجی را در برمی‌گیرد.



شکل ۴- نمای کلی مساله.

Figure 4- Overview of the problem.

همان‌طور که در **شکل ۴** نشان داده شده است، ضایعات نخل خرما از زمین‌های کشاورزی در لایه اول شبکه جمع‌آوری می‌شود. در شبکه پیشنهادی، زنجیره‌تامین چند دوره‌ای درنظر گرفته شده است؛ بنابراین، ضایعات خرما به کارخانه‌ها انتقال داده می‌شود و درصدی از ضایعات به بازار صنایع‌دستی می‌رود. همچنین به‌دلیل حجم زیاد این ضایعات، درصدی از این ضایعات در مزارع سوزانده برای تولید کود کشاورزی یا به‌عنوان غذای دام استفاده می‌شود. سپس *MDFs* پیشنهادی تولید و به انبارها ارسال می‌شوند. پس از آن، برای مشتریان مرتبط داخلی و خارجی ارسال می‌شود. درنهایت بخشی از *MDFs* که برای مدت طولانی مورداستفاده قرار می‌گیرند نیز جمع‌آوری و به کارخانه‌ها منتقل می‌شود. فرض‌های مدل پیشنهادی عبارت بودند از

۱. هر کشاورز ضایعات نخل خود را سالانه به کارخانه‌ها تحویل می‌دهد.
۲. مدل پیشنهادی برای دوره بیست‌ساله است و در t_1 سال آخر این دوره، مدل نمی‌تواند هیچ کارخانه‌ای افتتاح کند.
۳. میانگین عمر *MDFs* t_2 سال درنظر گرفته می‌شود که پس از سال t_2 محصولات فرسوده می‌توانند به‌عنوان ماده اولیه مورداستفاده قرار گیرند.
۴. میزان توسعه نخلستان‌های خرما می‌توانند تحت تاثیر تغییرات آب‌وهوایی قرار می‌گیرد، درواقع می‌تواند با فعالیت‌های کاشت بیشتر باشد و در اثر برخی بلایای طبیعی کمتر شود.

مدل ریاضی این مساله، یک مدل طراحی شبکه زنجیره‌تامین محصولات چوبی تولیدشده از ضایعات نخل خرما به‌منظور مکان‌یابی کارخانه‌های محصولات چوبی و توزیع ضایعات نخلستان‌ها و محصولات چوبی با درنظرگیری حداقل کردن هزینه‌های کل است. این مدل شامل مجموعه‌ای از ۶ مکان بالقوه برای احداث کارخانه‌های *MDF* واقع در جنوب ایران است.

در این مطالعه، هدف اصلی توسعه کارخانه‌ها بر اساس فرض‌های ذکرشده است. نمادهای مدل ارایه‌شده در ادامه نشان داده شده است. جزییات مدل ریاضی به شرح زیر است:

اندیس‌ها

i	اندیس نخلستان‌ها.
j	اندیس مکان بالقوه برای احداث کارخانه‌ها.
k	اندیس انبارها.
l	اندیس مشتریان داخلی.
u	اندیس مشتریان خارجی.
h	اندیس بازارهای صنایع‌دستی.
s	اندیس سناریو.
t	اندیس دوره زمانی.

پارامترها

$f_{i,t}$	هزینه‌های عملیاتی نخلستان Iدر سال T.
$f_{j,t}$	هزینه احداث و عملیاتی احداث کارخانه در مکان j در سال t.
$f_{k,t}$	هزینه‌های عملیاتی انبار k در سال t.
$c_{i,j,t}$	هزینه پردازش و حمل‌ونقل از نخلستان i به کارخانه j در سال t.
$c_{i,h,t}$	هزینه پردازش و حمل‌ونقل از نخلستان i به بازار صنایع‌دستی h در سال t.
$c_{j,k,t}$	هزینه پردازش و حمل‌ونقل از کارخانه j به انبار k در سال t.
$c_{k,l,t}$	هزینه پردازش و حمل‌ونقل از انبار k به مشتری داخلی l در سال t.
$c_{k,u,t}$	هزینه پردازش و حمل‌ونقل از انبار k به مشتری خارجی u در سال t.
$c_{l,j,t}$	هزینه پردازش و حمل‌ونقل از مشتری داخلی l به کارخانه j در سال t.
$\Omega_{j,t}$	هزینه تولید به ازای هر واحد محصول کارخانه j در سال t.
$d_{l,t}$	تقاضای MDF توسط مشتری l در سال t.
$d_{u,t}$	تقاضای MDF توسط مشتری u در سال t.
$p_{i,t}$	ظرفیت تولید نخلستان i در سال t.
p_j	ظرفیت تولید کارخانه j در سال t.
p_k	ظرفیت انبار k در سال t.
M	حداقل ظرفیت تولید کارخانه j.
v_i	نرخ اتلاف ضایعات در نخلستان i.
ff	نرخ انتشار دی‌اکسیدکربن بهاران انهدام ضایعات در نخلستان i.
$em_{i,t}$	نرخ قانونی انتشار $CO2$ در نخلستان i.
$\alpha_{i,t}$	نرخ گسترش نخلستان i.
$\beta_{i,t}$	نرخ تخریب نخلستان i.
π	هزینه کمبودهای ازدست‌رفته.
ξ	درصد مقدار انتقال ضایعات برگ نخل برای بازارهای صنایع‌دستی.
ψ	درصد مقدار انتقال ضایعات برگ نخل برای سوزاندن.

rr	نرخ تبدیل ضایعات برگ خرما و ضایعات استفاده‌شده برای ساخت *MDF*.
$\aleph$	نرخ بازگشت *MDFs* فرسوده به کارخانه‌ها به‌عنوان ماده اولیه.
ϑ	حداقل تعداد کارخانه‌هایی که باید احداث شوند.

متغیرهای تصمیم

$x_{i,j,t}$	مقدار انتقال ضایعات برگ خرما از نخلستان I به کارخانه J در دوره T.
$xh_{i,h,t}$	مقدار ضایعات برگ خرما از نخلستان i به بازارهای صنایع‌دستی حمل‌شده در دوره t.
$xf_{i,t}$	مقدار انتقال ضایعات برگ خرما از نخلستان i برای سوزاندن و غذای دام در دوره t.
$xr_{l,j,t}$	مقدار حمل‌ونقل ضایعات *MDF* استفاده‌شده از مشتری داخلی l به کارخانه j در دوره t.
$g_{j,k,t}$	مقدار حمل‌ونقل محصولات *MDF* از کارخانه j به انبار k در دوره t.
$sl_{k,u,t}$	مقدار حمل‌ونقل محصولات *MDF* از انبار k به مشتری داخلی l در دوره t.
$su_{k,u,t}$	مقدار حمل‌شده محصولات *MDF* از انبار k به مشتری خارجی l در دوره t.
$pl_{l,t}$	میزان کمبود سفارش‌ها برای مشتری داخلی l در دوره t.
$pu_{u,t}$	میزان کمبود سفارش‌ها برای مشتری خارجی u در دوره t.
$y_{j,t}$	اگر کارخانه *MDF* در محل j در دوره t باز شود ۱، در غیر این صورت ۰.

با توجه به نمادهای معرفی‌شده در بالا، مدل توسعه داده شده برای مساله طراحی شبکه زنجیره‌تامین محصولات چوبی با استفاده از ضایعات نخلستان‌های کشور در حالت قطعی به شکل زیر تعریف شده است:

$$Minz=\sum_i\sum_t f_{it}+\sum_k\sum_t f_{kt}+\sum_j\sum_t f_{jt}.y_{jt}+\sum_i\sum_j\sum_t c_{ij}.x_{ijt}+\sum_i\sum_h\sum_t c_{iht}.xh_{iht}+\sum_j\sum_k\sum_t\left(\Omega_{jt}+c_{jkt}\right).g_{jkt}+\sum_k\sum_l\sum_t c_{klt}.sl_{klt}+\sum_k\sum_u\sum_t c_{kut}.su_{kut}+\sum_l\sum_j\sum_t c_{ljt}.xr_{ljt}+\sum_l\sum_t\pi.pl_{lt}+\sum_u\sum_t\pi.pu_{ut}. \quad (۱)$$

$$p_{it}.\ 1-v_i)=\sum_j x_{ijt}+\sum_h xh_{iht}+xf_{it}.\quad for\ all\ i\epsilon I,\ for\ all\ t\epsilon T. \quad (۲)$$

$$\xi.p_{it}.\ 1-\alpha_i)=\sum_h xh_{iht},\quad for\ all\ i\epsilon I,\ for\ all\ t\epsilon T. \quad (۳)$$

$$\Psi.p_{it}.(1-\alpha_i)=xf_{it},\quad for\ all\ i\epsilon I,\ for\ all\ t\epsilon T. \quad (۴)$$

$$xf_{it}.ff\le em_{it},\quad for\ all\ i\epsilon I,\quad for\ all\ t\epsilon T. \quad (۵)$$

$$\sum_k g_{jkt}\le p_j.\sum_{t'=1}^{t'=t}y_{jt},\quad for\ all\ j\epsilon J,\quad for\ all\ t\epsilon T. \quad (۶)$$

$$\sum_k g_{jkt}\ge M.\sum_{t'=1}^{t'=t}y_{jt'}\quad for\ all\ j\epsilon J,\quad for\ all\ t\epsilon T. \quad (۷)$$

$$\left(\sum_i x_{ijt}+\sum_l xr_{ljt}\right).rr=\sum_k g_{jkt},\quad for\ all\ j\epsilon J,\quad for\ all\ t\epsilon T. \quad (۸)$$

$$\sum_j xr_{ljt}=\square.d_{lt-t_2},\quad for\ all\ l\epsilon L, for\ all\ t\epsilon T. \quad (۹)$$

$$\sum_l sl_{klt}\le p_k,\quad for\ all\ k\epsilon K. \quad (۱۰)$$

$$\sum_j g_{jkt}=\sum_l sl_{klt}+\sum_k su_{kut},\quad for\ all\ k\epsilon K,\quad for\ all\ t\epsilon T. \quad (۱۱)$$

$$\sum_k sl_{klt}\ge d_{lt}-pl_{lt},\quad for\ all\ j\epsilon J,\quad for\ all\ t\epsilon T. \quad (۱۲)$$

$$\sum_k su_{kut}\ge d_{ut}-pu_{lt},\quad for\ all\ u\epsilon U,\quad for\ all\ t\epsilon T. \quad (۱۳)$$

$$\sum_t y_{jt}\le 1,\quad for\ all\ j\epsilon J\ . \quad (۱۴)$$

$$\sum_j \sum_t y_{jt} \geq \vartheta. \quad (۱۵)$$

$$\sum_t y_{jt} = \vartheta, \quad for\ all\ j \epsilon J, \quad for\ all\ t = 1. \quad (۱۶)$$

$$\sum_{t'=t_1}^{t'=T} y_{jt'} = 0, \quad for\ all\ j \epsilon J. \quad (۱۷)$$

$$y_{jt} \epsilon \{0,1\}, \quad for\ all\ j \epsilon J, \quad for\ all\ t \epsilon T. \quad (۱۸)$$

$$x_{ijt}, \quad xh_{iht}, xf_{it}, xr_{ljt}, g_{jkt}, sl_{klt}, su_{kut}, pl_{lt}, pu_{ut} \geq 0,$$
$$for\ all\ i \epsilon I, \quad for\ all\ h \epsilon H, \quad for\ all\ j \epsilon J,, \quad (۱۹)$$
$$for\ all\ k \epsilon K, \quad for\ all\ u \epsilon U, \quad for\ all\ l \epsilon L, \quad for\ all\ t \epsilon T.$$

باتوجه به **تابع هدف (۱)**، تابع هدف برای شبکه زنجیره‌تامین *MDF* به‌منظور حداقل کردن هزینه‌های کل ارایه‌شده است. در **محدودیت (۲)**، ظرفیت تولید هر نخلستان باید برابر با تعداد ضایعاتی باشد که از مزارع خرما به کارخانه‌ها، به بازارهای صنایع‌دستی و تقاضای سوزانده می‌شود.

مساحت مزارع خرما در طول زمان ثابت نبوده و در اثر عوامل مختلف کم و زیاد می‌شود. مزارع در اثر عواملی مانند بلایای طبیعی مانند سیل، آتش‌سوزی مزارع یا گرمای بیش‌ازحد زمین و ... کاهش می‌یابند و به‌دلیل عواملی مانند کاشت نهال و خاک مناسب و بارندگی کافی می‌توانند افزایش پیدا کنند. ظرفیت تولید هر زمین زراعی در هر دوره با **معادله (۲۰)** محاسبه می‌شود مانند این که در این معادله $e_{i,t}$ نرخ گسترش زمین کشاورزی i در دوره t و $\mu_{i,t}$ نرخ کاهش زمین کشاورزی i در دوره t است.

$$p_{i,t} = p_{i,t-1} + e_{i,t-1} - \mu_{i,t-1}, \quad for\ all\ i,t. \quad (۲۰)$$

محدودیت‌های (۳) و **(۴)**، میزان ضایعات نخل خرما که به بازارهای صنایع‌دستی و مراکز انهدام جهت سوزاندن برای تولید کود برده شده است را محاسبه می‌کند. در **محدودیت (۵)**، کل انتشار ناشی از سوزندان ضایعات سوزاندن و غذای دام باید کمتر یا برابر با حد انتشار قانونی *CO2* باشد. **محدودیت (۶)**، مقدار *MDF* تولیدی هر کارخانه باید برابر یا کمتر از ظرفیت کارخانه *MDF* باشد به شرطی که در محل j در آن دوره یا دوره‌های قبلی افتتاح شده باشد. **محدودیت (۷)**، مقدار *MDF* تولیدی از هر کارخانه باید برابر یا بیشتر از حداقل ظرفیت تولید کارخانه *MDF* باشد به شرطی که در محل j در آن دوره یا دوره‌های قبلی افتتاح شده باشد. **محدودیت (۸)** برابری جریان ضایعات نخل ورودی و *MDFs* فرسوده با *MDFs* تولیدی در کارخانه j برقرار می‌کند.

محدودیت (۹) مقدار ضایعات *MDF* مصرف‌شده را محاسبه می‌کند که به کارخانه‌ها بازگردانده می‌شوند. **محدودیت (۱۰)** نشان می‌دهد که مقدار محصولات *MDF* حمل شده از کارخانه‌ها به انبارها باید برابر یا کمتر از ظرفیت انبارها باشد. در **محدودیت (۱۱)** برابری بین محصولات *MDF* ورودی و *MDF* ارسالی به تقاضاهای داخلی و خارجی رعایت شده است. در **محدودیت‌های (۱۲)** و **(۱۳)**، *MDF* ارسالی هر انبار باید برابر یا بیشتر از تعداد تقاضاهای مرتبط مشتریان داخلی و مشتریان خارجی باشد. در **محدودیت (۱۴)**، اطمینان حاصل می‌شود که در هر مکان یک‌بار احداث کارخانه اجازه داده شود. **محدودیت (۱۵)**، اطمینان حاصل می‌شود که حداقل ϑ کارخانه باید باز شود. **محدودیت (۱۶)**، اطمینان حاصل می‌شود که ϑ کارخانه باید در دوره اول باز شود. **محدودیت (۱۷)**، توقف ساخت کارخانه‌ها در t_1 سال آخر دوره را الزام می‌کند. **محدودیت‌های (۱۸)** و **(۱۹)** نیز نوع متغیرهای مدل را که غیرمنفی و صفر و یک هستند را مشخص می‌کند.

۳- تحلیل داده‌ها و یافته‌های پژوهش

برای نمایش صحت کارکرد مدل در ارایه‌شده این بخش با دریافت داده‌های مربوط به حجم تخته‌های چوبی حمل‌شده در کشور، طراحی شبکه ضایعات کشاورزی نخلستان‌های کشور مطالعه و موردبررسی قرار گرفته است که در این مطالعه صرف‌نظر از انواع مختلف *MDF*، حجم ضایعات هرس نخل جابه‌جاشده میان ۱۲۰ مزرعه جنوبی کشور به‌عنوان مبدا و ۶ مکان کاندید احداث کارخانه‌های *MDF*، ۳ انبار اصلی، ۳۱ مصرف‌کننده داخلی و ۴ مصرف‌کننده خارجی انتخاب شده‌اند. نخلستان‌های انتخابی، مکان‌های کاندید، انبارها و مشتریان در **شکل ۳** مشخص شده است.

مدل ریاضی ارایه‌شده در نرم‌افزار بهینه‌سازی *CPLEX* کدنویسی شده و توسط همین نرم‌افزار حل شده است. تمامی آزمایش‌های موردنیاز روی یک رایانه دو هسته‌ای با ۸ گیگابایت حافظه (رم) اجرا شده‌اند. **جدول ۴**، نشان‌دهنده مقادیر هزینه‌های کلی و عملیاتی مدل ریاضی و نقاط کاندید بهینه جهت احداث کارخانه‌ها و میزان کمبودهای مدل است. بالا بودن میزان هزینه‌های حمل‌ونقل به‌دلیل محاسبه این هزینه در کل بازه ۲۰ ساله است.

جدول ۴- هزینه‌های کلی و عملیاتی مدل ریاضی در کل ۲۰ سال.

Table 4- Overall and operational costs of the mathematical model over a total of 20 years.

هزینه	ارزش (میلیارد)	درصد به‌کل
هزینه مدیریت مزارع	80.43	9
هزینه احداث	10.743	1
هزینه مدیریتی انبارها	20.47	2
سایر (حمل‌ونقل)	740.410	86
کمبود	0	0
هزینه کل	852.053	

جدول ۵، نشان‌دهنده مقادیر هزینه‌های کلی و عملیاتی مدل ریاضی و نقاط کاندید بهینه جهت احداث کارخانه‌ها و میزان کمبودهای مدل در سال اول است. باتوجه به مقایسه **جدول‌های ۵** و **۶** درمی‌یابیم که سهم هزینه‌های حمل‌ونقل به‌طور قابل‌توجهی زیاد می‌شود و آن‌هم به‌دلیل احداث کارخانه‌ها در طول برنامه توسعه است و ازآنجاکه گره‌های بیشتری ایجاد می‌شود، تعداد حمل‌ونقل بین گره‌ها بیشتر شده و هزینه‌های این بخش افزایش می‌یابند. از طرفی، در دوره اول، به‌دلیل احداث حداقل تعداد کارخانه‌ها، سهم هزینه‌های احداث بالا است.

جدول ۵- هزینه‌های کلی و عملیاتی مدل ریاضی در سال اول.

Table 5- Overall and operational costs of the mathematical model in the first year.

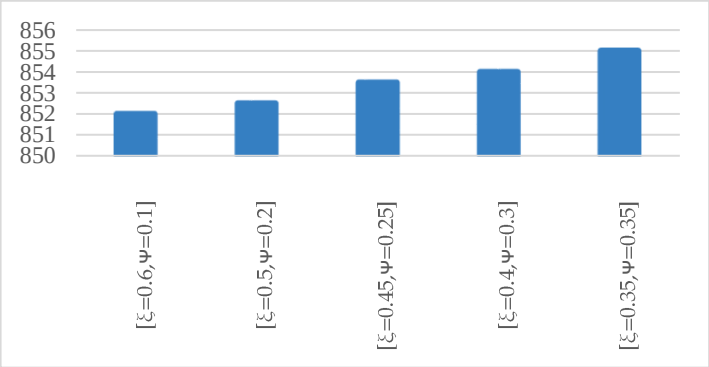
هزینه	ارزش (میلیارد)	درصد به‌کل
هزینه مدیریت مزارع	1.45	9
هزینه احداث	4.71	30
هزینه مدیریتی انبارها	0.4	2
سایر (حمل‌ونقل)	8.54	56
کمبود	0	0
هزینه کل	15.1	

جدول ۶ نشان‌دهنده، تغییر هزینه‌های کل سیستم و مکان‌های نامزد در اثر درصدهای تخصیص ضایعات جهت سوزاندن و غذای دام و تخصیص به بازارهای صنایع‌دستی است. همچنین باتوجه به **شکل ۴**، بدیهی است که با افزایش سهم ضایعات برای بازارهای صنایع‌دستی، هزینه‌های کل بر اثر افزایش هزینه‌های حمل‌ونقل افزایش می‌یابند.

جدول ۶- تغییر هزینه‌های کل سیستم و مکان‌های نامزد در اثر درصدهای تخصیص.

Table 6- Change in total system costs and candidate locations due to allocation percentages.

پارامتر	هزینه	درصد به‌کل
$\xi = 0.6, \psi = 0.1$	852.05	19
$\xi = 0.5, \psi = 0.2$	852.5	20
$\xi = 0.45, \psi = 0.25$	853.5	21
$\xi = 0.4, \psi = 0.3$	854	20
$\xi = 0.35, \psi = 0.35$	855	20



شکل ۴- تغییر هزینه‌های کل سیستم و مکان‌های نامزد در اثر درصدهای تخصیص.

Figure 4- Change in total system costs and candidate locations due to allocation percentages.

بر اساس مدل تعیین‌شده مکان‌های تاسیس کارخانه‌ها در طول دوره بیست‌ساله مدل به‌صورت **جدول ۷** و **شکل ۵** به دست آمدند. در سال اول، سه پایگاه تولید احداث می‌شوند و در سال‌های بعدی مدل بر اساس روند تقاضا و هزینه‌های حمل‌ونقل، استان‌های آذربایجان غربی و اصفهان را به‌عنوان مکان‌های کاندید انتخاب می‌کند.

جدول ۷- مکان‌های نامزد انتخابی جهت احداث کارخانه‌ها.

Table 7- Selected candidate locations for the construction of factories.

سال احداث	**1**	**7**	**10**
مکان کاندید	سیستان – خوزستان – هرمزگان	آذربایجان غربی	اصفهان

شکل۵- مکان‌های نامزد انتخابی جهت احداث کارخانه‌ها.

Figure 5- Selected candidate locations for the construction of factories.

۴- توصیه‌های مدیریتی

با عنایت به اینکه در کشور ما کشت نخل آمار قابل‌توجهی را دارا است و باتوجه به این موضوع که استفاده از چوب *MDF* امروزه در صنعت ما و کشورهای هم‌جوار بسیار رایج و متداول است، به‌نظر می‌رسد استفاده از این تکنولوژی به‌دلیل پایین‌بودن هزینه مواد اولیه و درنتیجه پایین‌بودن هزینه تولید با سودآوری بالا و همچنین اختصاص‌دادن سهم قابل‌توجهی از بازار محصولات چوبی را به‌همراه داشته باشد. نکته قابل‌توجه این است که این صنعت با استفاده از تکنولوژی شرح داده شده به این دلیل که درصد زیادی از مواد اولیه آن را ضایعات نخل خرما تضمین می‌نماید، باید در قسمت جنوبی کشور فعالیت نماید.

از طرفی به‌دلیل حجم بالای تولید ضایعات نخلستان‌های کشور، با به‌کارگیری راهکارهای مناسب مدیریتی می‌توان علاوه بر بهره‌برداری اقتصادی از آن، اثرات سوء زیست‌محیطی را نیز کاهش داد. در حال حاضر ساده‌ترین روش جهت جلوگیری از هرگونه خسارت استفاده از این بقایا جهت افزایش

مواد آلی خاک در مدیریت نخلستان است که پیشنهاد می‌شود تکنولوژی ساده آن در کلیه مناطق خرماخیز، ترویج و بکار گرفته شود. علاوه بر آن توصیه می‌شود بهینه‌سازی روش‌های ارایه‌شده جهت به‌کارگیری ساده و کم‌هزینه آن‌ها و ترویج در سطوح بزرگ در دستور کار آینده باشد.

در حال حاضر حجم قابل‌توجهی از ضایعات نخلستان‌ها و تخته‌های چو بی تولیدشده توسط کامیون‌ها و از طریق حمل‌ونقل جاده‌ای صورت می‌گیرد که دلیل این امر وجود برخی نگرش‌ها در میان فعالان حوزه حمل‌ونقل جاده‌ای، رانندگان و شرکت‌ها است که هر نوع افزایش در سهم دیگر حمل‌ونقل‌ها موجب کاهش سهم حمل‌ونقل ناوگان جاده و بدترشدن شرایط فعالیت فعالان این بخش شده و به‌طور خلاصه به‌ضرر آن‌ها قلمداد می‌شود. در حالی‌که ترکیب روش‌های حمل‌ونقل در این زمینه به‌عنوان یک راهکار کارآمد برای کاهش هزینه‌های مرتبط می‌تواند باشد.

۵- نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این پژوهش، مدل طراحی شبکه زنجیره‌تامین ضایعات نخلستان‌های کشور ارایه‌شده است. همان‌طور که در فرایند تحلیل حساسیت‌های مرتبط بیان شد، باتوجه به هزینه‌های قابل‌توجه احداث کارخانه و حمل‌ونقل، افزایش ظرفیت کارخانه‌ها می‌تواند از احداث مجدد جلوگیری کند و با کمبودهای مرتبط جلوگیری کرد. همچنین، به‌دلیل چند دوره‌ای بودن مدل پیشنهادی، افزایش هزینه‌های حمل‌ونقل را شاهد هستیم. بر اساس دستاوردهای این پژوهش، پیشنهادهای بسیاری برای مدیران مربوطه و متخصصان این حوزه، باتوجه به جنبه‌های مختلف این نوع مساله می‌توان مطرح کرد که در اینجا مهم‌ترین موارد ذکر می‌شود:

۱. در این مطالعه مدل طراحی شبکه زنجیره‌تامین ضایعات نخلستان‌های کشور بررسی شد و به همین دلیل عدم اتصال مزارع به شبکه *MDF* کشور تا حد قابل‌توجه روی سهم حجم بار انتقال‌یافته به‌روش حمل‌ونقل ریلی تاثیر گذاشت؛ بنابراین بررسی توسعه دیگر انواع حمل‌ونقل می‌تواند تاثیر زیادی در هز ینه‌ها داشته باشد.
۲. باتوجه به محدودیت‌هایی که در بودجه در دسترس برای توسعه شبکه وجود دارد، درنظر گرفتن این محدودیت می‌تواند به واقعی‌تر شدن مدل کمک کند.
۳. باتوجه به‌احتمال وقوع اختلال در کارخانه‌ها و عدم‌قطعیت در تقاضا، تاثیر قابل‌توجهی بر تصمیم‌های بلندمدت و میان‌مدت برنامه‌ریزی حمل بار در شبکه انتقال می‌گذارد.
۴. اگرچه در این پژوهش به‌تاثیری که ابعاد مساله می‌تواند بر زمان حل مدل بگذارد، اشاره‌ای نشد ارایه روش‌های حل دقیق یا تقریبی یکی از نیازهای اساسی مدل‌های ارایه‌شده در این حوزه برای مسایلی با ابعاد واقعی خواهد بود.

سپاسگزاری از حمایت پژوهشی

با ارج و احترام عمیق، می‌خواهم از دکتر حسین حسین خانی و دکتر هدایت الله امینیان به‌خاطر راهنمایی‌ها و حمایت‌های بی‌دریغشان در پژوهشمان صمیمانه سپاسگزاری کنم. آ گاهی‌های گران‌بها و توجه‌های بی‌دریغ آن‌ها، به ما کمک بی‌شماری در پیشبرد این پژوهش داشته است. گروه نو یسندگان این پژوهش، این لطف و دلسوزی‌ها را همواره در یاد و خاطره خود خواهند داشت.

سپاسگزاری از حمایت مالی

این پژوهش هیچ کمک‌هزینه خاصی از هیچ موسسه سرمایه‌گذار در بخش عمومی، تجاری یا غیرانتفاعی دریافت نکرده است.

منابع

[1] Aghamolaei, S., Kazemi, B., Bandehpour, M., Ranjbar, M. M., Rouhani, S., Mamaghani, A. J., & Tabaei, S. J. S. (2020). Design and expression of polytopic construct of cathepsin-L1, SAP-2 and FhTP16. 5 proteins of fasciola hepatica. *Journal of helminthology*, *94*, e134. https://doi.org/10.1017/S0022149X20000140
[2] Hosseinkhani, H. (2014). MDF production from date palm pruning residues in pilot plant scale. *Iranian journal of wood and paper science research*, *29*(4), 594–608. https://doi.org/10.22092/ijwpr.2014.10619
[3] Hosseinkhani, H. (2015). MDF production from date palm pruning residues in pilot plant scale. *Iranian journal of wood and paper science research*. *29*(4), 591–604. http://en.journals.sid.ir/ViewPaper.aspx?ID=417491
[4] Dix, B., Thole, V., & Marutzky, R. (1999). Poplar and eucalyptus wood as raw material for wood-based panels. *Industrial end-uses of fast-grown species. eurowood technical workshop proceedings.* (pp. 93–102). CABI Digital Library. https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/20000610928

[5] Jonoobi, M., Shafie, M., Shirmohammadli, Y., Ashori, A., Hosseinabadi, H. Z., & Mekonnen, T. (2019). A review on date palm tree: Properties, characterization and its potential applications. *Journal of renewable materials*, *7*(11), 1055–1075. https://doi.org/10.32604/jrm.2019.08188
[6] Roffael, E., Dix, B., Khoo, K. C., Ong, C. L., & Lee, T. W. (1992). Medium density fibreboard (MDF) from young poplar (populus trichocarpa) of different properties. *Cabidigitallibrary.org*, *46*(2), 163–170. https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/19930669735
[7] Jaber, M. A., Hammadi, K. J., Karem, A. A. A., & Abd-Alrazak, M. (2016). Physical and mechanical properties of medium density fiberboard made of palm fronds and trunks. *Asian journal of applied sciences*, *4*(4), 972–978. http://www.ajouronline.com/
[8] Adam, A. B. A., Basta, A. H., & El-Saied, H. (2018). Evaluation of palm fiber components an alternative biomass wastes for medium density fiberboard manufacturing. *Maderas. ciencia y tecnología*, *20*(4), 579–594. http://dx.doi.org/10.4067/S0718-221X2018005004601
[9] Faiad, A., Alsmari, M., Ahmed, M. M. Z., Bouazizi, M. L., Alzahrani, B., & Alrobei, H. (2022). Date palm tree waste recycling: Treatment and processing for potential engineering applications. *Sustainability*, *14*(3), 1134. https://doi.org/10.3390/su14031134
[10] EL-Mously, H., Midani, M., & Darwish, E. A. (2023). Date palm byproducts as timber and wood substitutes. In *Date palm byproducts: A springboard for circular bio economy* (pp. 139–177). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-99-0475-4_6
[11] van Berlo, J. M. (1993). A decision support tool for the vegetable processing industry; An integrative approach of market, industry and agriculture. *Agricultural systems*, *43*(1), 91–109. https://doi.org/10.1016/0308-521X(93)90094-I
[12] Jolayemi, J. K. (1996). An integrated model for planning and managing multi-regional mixed-crop farming schemes. *Ecological modelling*, *84*(1–3), 63–74. https://doi.org/10.1016/0304-3800(94)00146-4
[13] Allen, S. J., & Schuster, E. W. (2004). Controlling the risk for an agricultural harvest. *Manufacturing & service operations management*, *6*(3), 225–236. https://doi.org/10.1287/msom.1040.0035
[14] Rantala, J. (2004). Optimizing the supply chain strategy of a multi-unit Finnish nursery company, *38*(2), 203–215. https://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/532571/Rantala.pdf?sequence=1
[15] Apaiah, R. K., & Hendrix, E. M. T. (2005). Design of a supply chain network for pea-based novel protein foods. *Journal of food engineering*, *70*(3), 383–391. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.02.043
[16] Ferrer, J. C., Mac Cawley, A., Maturana, S., Toloza, S., & Vera, J. (2008). An optimization approach for scheduling wine grape harvest operations. *International journal of production economics*, *112*(2), 985–999. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2007.05.020
[17] Ahumada, O., Villalobos, J. R., & Mason, A. N. (2012). Tactical planning of the production and distribution of fresh agricultural products under uncertainty. *Agricultural systems*, *112*, 17–26. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2012.06.002
[18] Navazi, F., Sazvar, Z., & Tavakkoli-Moghaddam, R. (2023). A sustainable closed-loop location-routing-inventory problem for perishable products. *Scientia iranica*, *30*(2), 757–783. https://doi.org/10.24200/sci.2021.55642.4353
[19] Kazemi, M. J., Paydar, M. M., & Safaei, A. S. (2023). Designing a bi-objective rice supply chain considering environmental impacts under uncertainty. *Scientia iranica*, *30*(1), 336–355. https://doi.org/10.24200/sci.2021.55935.4481
[20] Jabarzadeh, Y., Reyhani Yamchi, H., & Ghaffarinasab, N. (2020). A Multi-objective mathematical model for managing sustainable direct and reverse supply chain of apple considering foreign markets. *Journal of international business administration*, *3*(1), 139–166. https://doi.org/10.22034/jiba.2020.10384
[21] Fleischmann, M., Bloemhof-Ruwaard, J. M., Dekker, R., der Laan, E., Van Nunen, J. A. E. E., & Van Wassenhove, L. N. (1997). Quantitative models for reverse logistics: A review. *European journal of operational research*, *103*(1), 1–17. https://doi.org/10.1016/S0377-2217(97)00230-0
[22] Zhang, Y., Chu, F., Che, A., Yu, Y., & Feng, X. (2019). Novel model and kernel search heuristic for multi-period closed-loop food supply chain planning with returnable transport items. *International journal of production research*, *57*(23), 7439–7456. https://doi.org/10.1080/00207543.2019.1615650
[23] Banasik, A., Kanellopoulos, A., Claassen, G. D. H., Bloemhof-Ruwaard, J. M., & van der Vorst, J. G. A. J. (2017). Closing loops in agricultural supply chains using multi-objective optimization: A case study of an industrial mushroom supply chain. *International journal of production economics*, *183*, 409–420. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2016.08.012
[24] Cheraghalipour, A., Paydar, M. M., & Hajiaghaei-Keshteli, M. (2018). A bi-objective optimization for citrus closed-loop supply chain using Pareto-based algorithms. *Applied soft computing*, *69*, 33–59. https://doi.org/10.1016/j.asoc.2018.04.022
[25] Göbel, C., Langen, N., Blumenthal, A., Teitscheid, P., & Ritter, G. (2015). Cutting food waste through cooperation along the food supply chain. *Sustainability*, *7*(2), 1429–1445. https://doi.org/10.3390/su7021429
[26] Jabarzadeh, Y., Reyhani Yamchi, H., Kumar, V., & Ghaffarinasab, N. (2020). A multi-objective mixed-integer linear model for sustainable fruit closed-loop supply chain network. *Management of environmental quality: an international journal*, *31*(5), 1351–1373. https://doi.org/10.1108/MEQ-12-2019-0276
[27] Salehi-Amiri, A., Zahedi, A., Akbapour, N., & Hajiaghaei-Keshteli, M. (2021). Designing a sustainable closed-loop supply chain network for walnut industry. *Renewable and sustainable energy reviews*, *141*, 110821. https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.110821
[28] Babazadeh, R., & Sabbaghnia, A. (2018). Evaluating the performance of robust and stochastic programming approaches in a supply chain network design problem under uncertainty. *International journal of advanced operations management*, *10*(1), 1–18. https://doi.org/10.1504/IJAOM.2018.091313
[29] Babazadeh, R., & Sabbaghnia, A. (2018). Optimisation of supply chain networks under uncertainty: conditional value at risk approach. *International journal of management and decision making*, *17*(4), 488–508. https://doi.org/10.1504/IJMDM.2018.095736
[30] Babazadeh, R., & Tavakkoli-Moghaddam, R. (2017). A hybrid GA-TLBO algorithm for optimizing a capacitated three-stage supply chain network. *International journal of industrial engineering & production research*, *28*(2), 151–161. 10.22068/ijiepr.28.2.151
[31] Li, X., Holsapple, C. W., & Goldsby, T. J. (2019). The structural impact of supply chain management teams: Supply chain agility development in multidivisional firms. *Management research review*, *42*(2), 290–310. https://doi.org/10.1108/MRR-04-2018-0163
[32] Garcia, C. A., & Hora, G. (2017). State-of-the-art of waste wood supply chain in Germany and selected European countries. *Waste management*, *70*, 189–197. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.09.025