

**Paper Type: Original Article**

Design of a Pharmaceutical Reverse Supply Chain Network with Reverse Flow Management under Demand Uncertainty

Amir Mehdi Ramezani¹, Ashkan Mozdgir^{1,*} 

¹ Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Kharazmi University, Tehran, Iran; ar1377@khu.ac.ir; a.mozdgir@khu.ac.ir.

Citation:

Ramezani, A. M., & Mozdgir, A. (2025). Design of a pharmaceutical reverse supply chain network with reverse flow management under demand uncertainty. *Management: Modeling, analysis and applications*, 2(3), 171-177.

Received: 23/01/2025

Reviewed: 19/04/2025

Revised: 09/06/2025

Accepted: 15/07/2025

Abstract

Purpose: To optimize the management of expired pharmaceuticals and mitigate the associated environmental and economic impacts through the design of a reverse pharmaceutical supply chain network.

Methodology: A mixed-integer linear programming model was developed, incorporating three reverse logistics pathways: disposal, remanufacturing, and recycling. Demand uncertainty was addressed using a scenario-based approach, and the model was implemented and solved in GAMS software.

Findings: The proposed model effectively maximizes the total supply chain profit by balancing revenues from sales and recycling against various costs, including disposal, remanufacturing, and transportation. Sensitivity analysis revealed that increases in expiration and shortage costs lead to a decrease in overall profit.

Originality/Value: This study contributes by presenting an integrated quantitative model that simultaneously addresses three distinct reverse logistics pathways for expired pharmaceuticals under demand uncertainty. Moving beyond conceptual frameworks, it provides a practical decision-making tool for implementing circular economy principles in the pharmaceutical industry.

Keywords: Pharmaceutical reverse supply chain, Backflow management, Demand uncertainty, Scenario-based approach.



Corresponding Author: a.mozdgir@khu.ac.ir

<https://doi.org/10.22105/mmaa.v2i3.98>

Licensee. **Management: Modeling, Analysis and Application**. 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>).



6

نوع مقاله: پژوهشی

طراحی شبکه زنجیره تامین معکوس دارویی با مدیریت جریان برگشتی تحت شرایط عدم قطعیت تقاضا

امیرمهدی رمضانیان^۱، اشکان مزدگیر^{۲*}

^۱گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.

چکیده

هدف: مدیریت بهینه داروهای تاریخ مصرف گذشته و کاهش آسیب های زیست محیطی و اقتصادی ناشی از دفع نامناسب آن ها، از طریق طراحی یک شبکه زنجیره تامین معکوس دارویی.

روش شناسی پژوهش: ارایه یک مدل ریاضی برنامه ریزی خطی عدد صحیح مختلط با در نظرگیری سه مسیر دفع، تولید مجدد و بازیافت برای داروهای برگشتی. عدم قطعیت تقاضا با رویکرد مبتنی بر سناریو و مدل در نرم افزار GAMS حل شد.

یافته ها: مدل پیشنهادی قادر به پیشینه سازی سود کل شبکه از طریق ایجاد تعادل بین درآمدهای حاصل از فروش و بازیافت و هزینه های مختلف است. نتایج نشان می دهد افزایش هزینه های انقضا و کمبود، سود کل را کاهش می دهد.

اصالت/ارزش افزوده علمی: این مطالعه با ارایه یک مدل یکپارچه کمی که سه مسیر مختلف مدیریت داروهای تاریخ گذشته را هم زمان در شرایط عدم قطعیت بررسی می کند، گامی فراتر از مطالعات صرفاً مفهومی گذشته برداشته و چارچوبی عملی برای پیاده سازی اقتصاد چرخشی در صنعت دارو ارایه می دهد.

کلیدواژه ها: زنجیره تامین معکوس دارو، مدیریت جریان برگشتی، عدم قطعیت تقاضا، رویکرد مبتنی بر سناریو.

۱- مقدمه

زنجیره تامین معمولاً به عنوان یک فرآیند یکپارچه در نظر گرفته می شود که در آن گروهی از سازمان ها مانند تامین کنندگان، تولیدکنندگان، توزیع کنندگان و خرده فروشان با یکدیگر همکاری می کنند تا مواد اولیه را به محصولات نهایی تبدیل کرده و آن ها را بین مشتریان نهایی توزیع کنند. طراحی شبکه زنجیره تامین به عنوان یکی از مسایل تصمیم گیری کلیدی در مدیریت زنجیره تامین، نقش مهمی در عملکرد زنجیره تامین دارد [1]، [2]. با توجه به اثرات اقتصادی و اجتماعی صنعت داروسازی، دولت ها علاقه زیادی به طراحی بهتر شبکه زنجیره تامین دارو و مدیریت سازمان های درگیر در توسعه و تولید دارو دارند [3] - [5]. در میان آثار تحقیقاتی قابل توجه منتشر شده در مورد طراحی شبکه زنجیره تامین، تنها بخش کوچکی از این مطالعات به طور مستقیم با بخش دارویی سروکار دارند.

صنعت داروسازی به عنوان یک صنعت عظیم جهانی و مجموعه ای از فرایندها و سازمان های درگیر در کشف، توسعه و ساخت داروها تعریف می شود [6]. شبکه زنجیره تامین دارویی راهی است که از طریق آن محصولات دارویی با کیفیت مناسب در زمان و مکان مناسب برای دستیابی به مشتریان نهایی توزیع می شوند [7]. صنعت داروسازی، صنعت جهانی با تاثیرگذاری بالا بر زندگی انسان به شمار می رود. بنابراین اختلال در تولید یا توزیع می تواند با ایجاد مشکلاتی در دسترسی به اقلام دارویی، جان انسان ها را به خطر بیندازد [7]، [8].

در جوامع توسعه یافته، وضعیت سلامت به عنوان یک معیار مهم متمایز می شود که به طور مستقیم با زمان مناسب و تامین مقدار کافی داروهای حیاتی مرتبط است. برای رسیدن به بالاترین سطح در سیستم مراقبت بهداشتی یک کشور، لازم است مقدار و نوع داروی مورد نیاز در زمان نیاز پیش بینی شود [9]. بخش دارویی بخش مهمی از هزینه های مراقبت های بهداشتی را شامل می شود. به عنوان مثال، در سال ۲۰۰۹، بخش داروسازی تقریباً ۱۰٪ از هزینه های سالانه مراقبت های بهداشتی در ایالات متحده و حدود ۶۰۰ میلیارد دلار در سطح جهان را شامل می شد [4]. برای کاهش هزینه ها و ایجاد درآمد مدیریت جریان برگشتی الزامی است. لجستیک معکوس به دلیل اهمیت فراوان صرفه جویی در مواد خام، کاهش اثرات مخرب زیست محیطی و مقررات دولتی، توجه بسیاری از محققان را به خود جلب کرده است [10].

صنعت داروسازی اخیراً با تغییرات چشمگیری مواجه شده است. مشتریان اصلی داروها، داروخانه ها با تقاضای مبهم و نوسانی هستند. در واقع، کمبود برخی داروها ممکن است منجر به نتایج بسیار جدی و منفی برای بیماران شود. به این ترتیب، داروخانه ها ممکن است یک سیاست کنترل موجودی محافظه کارانه را انتخاب کنند تا مقدار زیادی از داروها را در انبار نگهداری کنند. داروها طبیعتاً فاسد شدنی هستند و این منجر به انقضای داروهای اضافی موجود در انبار می شود که هیچ تقاضایی از جانب بیماران وجود نداشته باشد [11].

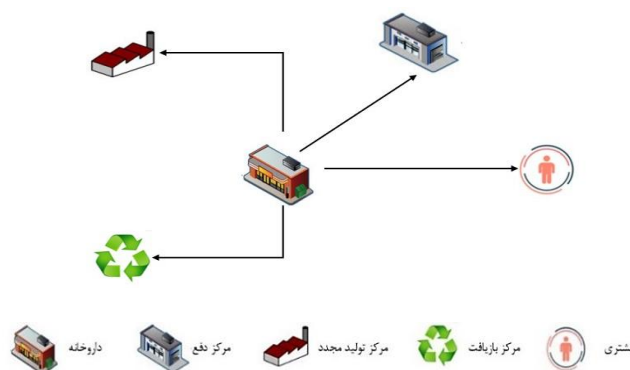
صنایعات اکثر داروها با توجه به ترکیبات شیمیایی خطرناک موجود در داروها در گروه زباله های خطرناک طبقه بندی می شوند و باید متفاوت از زباله های خانگی مدیریت شوند. بنابراین، تشکیل یک شبکه لجستیک معکوس و مدیریت مناسب جریان برگشتی برای زنجیره های تامین دارو ضروری است [12]. با این حال، مطالعات بر روی زنجیره تامین های دارویی معکوس هنوز در سطح مفهومی هستند و همه انواع برگشتی داروهای تاریخ مصرف گذشته را پوشش نمی دهند [13]. در دیدگاه سنتی داروها پس از انقضا در داروخانه ها دور ریخته می شوند. یک نظرسنجی در اندونزی نشان داد که ۸۲/۱٪ از مصرف کنندگان داروهای استفاده نشده را در سطل زباله دور ریختند [14]. زنجیره تامین معکوس، اصول اقتصاد دایره ای را در نظر می گیرد. سازمان هایی که آن ها را اجرا می کنند مزایای اقتصادی، زیست محیطی و اجتماعی به دست می آورند [15]-[17]. اقتصاد باید از خطی به دایره ای تغییر کند زیرا رویکرد خطی اقتصاد (ساخت - دورریختن) باعث محدودیت در دسترسی به منابع می شود [17]. در صنعت داروسازی، پذیرش اقتصاد دایره ای با چالش هایی مواجه است [18]. با طراحی لجستیک معکوس مناسب و جمع آوری داروهای منقضی شده برای بازیافت، تولید مجدد یا از بین بردن آن ها با استفاده از روش های خاص، کیفیت مراقبت های بهداشتی افزایش می یابد و می توان به مفهوم اقتصاد دایره ای دست یافت به این ترتیب، معرفی یک شبکه زنجیره تامین دارویی معکوس ضروری است. ساختار شبکه زنجیره تامین دارویی با اتخاذ حالت های حمل و نقل مناسب و جمع آوری زباله ها به کاهش اثرات منفی زیست محیطی کمک می کند [19]. علاوه بر این، در سال های اخیر، قوانین دولتی و الزامات نظارتی برای دفع محصولات دارویی از یک سو و مسئولیت های اجتماعی، منافع اقتصادی و کسب وجهه عمومی از سوی دیگر، شرکت ها را در بازارهای رقابتی مجبور به تمرکز بر مسایل محیط زیستی و اجتماعی کرده است [20].

بنابراین، تشکیل یک شبکه لجستیک معکوس و مدیریت مناسب جریان برگشتی برای زنجیره های تامین دارو ضروری است. با این حال، مطالعات روی زنجیره تامین های دارویی معکوس هنوز در سطح مفهومی هستند و همه انواع برگشتی داروهای تاریخ مصرف گذشته را پوشش نمی دهند. بر اساس بررسی های انجام شده، به مساله طراحی شبکه زنجیره تامین دارویی معکوس توجه زیادی نشده است. بنابراین در این مطالعه ضمن در نظر گرفتن عدم قطعیت تقاضا، مدیریت جریان برگشتی و اقتصاد دایره ای نیز در نظر گرفته شده و یک مدل برنامه ریزی خطی عدد صحیح مختلط با در نظر گرفتن محدودیت های جریان، بازگشایی مراکز و حمل و نقل ارائه شده است. به منظور کنترل عدم قطعیت تقاضا از رویکرد مبتنی بر سناریو استفاده شده است. در ادامه نیز پس از تشکیل یک مساله به اعتبارسنجی مدل پرداخته شده است.

۲- بیان مساله

در این مطالعه، یک شبکه زنجیره تامین دارویی معکوس، چند دوره ای و چند محصولی پیکربندی شده است که شامل داروخانه ها، مشتریان، مراکز دفع، تولیدکنندگان مجدد و مراکز بازیافت است. داروهای دارای تاریخ مصرف از داروخانه ها به مشتریان منتقل می شوند. محصولات تاریخ مصرف گذشته از داروخانه ها جمع آوری می شوند. سپس با توجه به نوع داروهای تاریخ مصرف گذشته، برای انتقال آن ها به مراکز مربوطه تصمیم گیری می شود. در مدل پیشنهادی سه دسته از جریان های معکوس در نظر گرفته شده است. یک دسته از داروهای برگشتی شامل داروهای تاریخ مصرف گذشته است که بعد از انقضا ساختار شیمیایی آن ها تغییر کرده و برای محیط زیست، انسان و حیوانات خطرناک هستند. این نوع دارو برگشتی می تواند

آب را آلوده کند یا توسط حیوانات بلعیده شود و به آن‌ها آسیب برساند. بنابراین باید به مراکز دفع فرستاده شوند و دفع صحیح آن‌ها از اهمیت به‌سزایی برخوردار است. در دسته بعدی داروها را می‌توان تولید مجدد کرد و به زنجیره بازگرداند. از آنجایی که چرخه بازفرآوری این محصولات می‌تواند بسیار کوتاه‌تر و ارزان‌تر از چرخه تولید اولیه باشد، تولید مجدد این محصولات بسیار سودمند است. بنابراین باید به مراکز تولید مجدد ارسال شده و سپس به مراکز پخش فرستاده شوند. در نهایت، آخرین دسته مربوط به محصولاتی است که با توجه به ترکیبات خاص موجود در فرمولاسیون آن‌ها، قابل بازیافت بوده و این دسته از داروها در تولید محصولات جدید غیردارویی استفاده شده و بعد از تولید محصول جدید در بازارهای ثانویه فروخته می‌شوند. هدف مدل پیشنهادی به حداکثر رساندن سود کل زنجیره معکوس با در نظر گرفتن محدودیت‌های جریان مواد، حمل و نقل و بازگشایی مراکز است. شکل ۱ نمای کلی شبکه زنجیره تامین در نظر گرفته شده را نشان می‌دهد.



شکل ۱- نمای کلی از شبکه زنجیره تامین معکوس پیشنهادی.

Figure 1- Overview of the proposed reverse supply chain network.

در این بخش مدل ریاضی برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط خطی توسعه داده شده است. در ابتدا به معرفی اندیس‌ها، پارامترها و متغیرهای تصمیم پرداخته شده و سپس، تابع هدف و محدودیت‌های مدل ارائه می‌شود.

جدول ۱- اندیس‌ها.

Table 1- Indices.

تعریف	نماد	تعریف	نماد
مجموعه سناریوها	$s:1,2,...,S$	مجموعه داروخانه‌ها	$k:1,2,...,K$
مجموعه محصولات	$p:1,2,...,P$	مجموعه مراکز دفع	$d:1,2,...,D$
مجموعه دوره‌های زمانی	$t:1,2,...,T$	مجموعه مراکز تولید مجدد	$c:1,2,...,C$
مجموعه حالت‌های حمل و نقل	$m:1,2,...,M$	مجموعه مراکز بازیافت	$r:1,2,...,R$

جدول ۲- پارامترها.

Table 2- Parameters.

تعریف	نماد
هزینه منقضی شدن یک واحد محصول p	EXC_{kpt}
مقدار محصول p موجود در داروخانه k در دوره زمانی t	V_{kpt}
هزینه یک واحد کمبود محصول p در داروخانه k در دوره زمانی t	SHC_{kpt}
هزینه ثابت ایجاد مرکز تولید مجدد c	FCR_c
هزینه ثابت ایجاد مرکز دفع d	FCD_d
هزینه ثابت ایجاد مرکز بازیافت r	$FCRE_r$
هزینه تولید مجدد یک واحد محصول p	REC_p
هزینه دفع یک واحد محصول p	DIC_p
هزینه بازیافت یک واحد محصول p	EXP_p
تقاضای محصول p در داروخانه k در دوره زمانی t تحت سناریو s	DD_{kpts}
قیمت فروش یک واحد محصول p در بازار ثانویه	SPM_p
قیمت فروش محصول p	CSP_p

جدول ۲- ادامه.

Table 2- Continued.

تعریف	نماد
اگر محصول p پس از انقضا باید دفع شود، ۱ در غیر این صورت *	di_p
اگر محصول p پس از انقضا قابل بازیافت باشد، ۱ در غیر این صورت *	rc_p
اگر محصول p پس از انقضا قابل تولید مجدد باشد، ۱ در غیر این صورت *	re_p
هزینه متغیر حالت حمل و نقل m به ازای هر واحد فاصله	CUT_m
ظرفیت حالت حمل و نقل m برای انتقال محصول p	CT_{mp}
مجموع تعداد سفرهای در دسترس برای هر حالت حمل و نقل m	NV_m
فاصله بین داروخانه k و مرکز دفع d	DSC_{kd}
فاصله بین داروخانه k و مرکز تولید مجدد c	DSD_{kc}
فاصله بین داروخانه k و مرکز بازیافت r	DSE_{kr}
عددی بزرگ	L
احتمال سناریوی s	PS_s

جدول ۳- متغیرهای تصمیم.

Table 3- Decision variables.

تعریف	نماد
اگر مرکز دفع d بازگشایی شود، ۱ در غیر این صورت *	SH_{kpts}
اگر مرکز بازیافت r بازگشایی شود، ۱ در غیر این صورت *	Q_c
اگر مرکز دفع d بازگشایی شود، ۱ در غیر این صورت *	h_d
اگر مرکز بازیافت r بازگشایی شود، ۱ در غیر این صورت *	A_r
تعداد سفرها بین داروخانه k و مرکز تولید مجدد c با استفاده از حالت حمل و نقل m در دوره زمانی t تحت سناریو s	ASP_{kpts}
تعداد سفرها بین داروخانه k و مرکز بازیافت r با استفاده از حالت حمل و نقل m در دوره زمانی t تحت سناریو s	NTC_{kdmts}
تعداد سفرها بین داروخانه k و مرکز تولید مجدد c با استفاده از حالت حمل و نقل m در دوره زمانی t تحت سناریو s	NTD_{kcmts}
تعداد سفرها بین داروخانه k و مرکز بازیافت r با استفاده از حالت حمل و نقل m در دوره زمانی t تحت سناریو s	NTE_{krmts}
متغیری برای تعادل در میان حالت های حمل و نقل بین داروخانه k و مرکز دفع d	ZR_{krmts}
متغیری برای تعادل در میان حالت های حمل و نقل بین داروخانه k و مرکز تولید مجدد c	ZC_{kcmts}
متغیری برای تعادل در میان حالت های حمل و نقل بین داروخانه k و مرکز بازیافت r	ZD_{kdmts}
متغیری برای تعادل در میان حالت های حمل و نقل بین داروخانه k و مرکز دفع d	BEC_{kdmts}
متغیری برای تعادل در میان حالت های حمل و نقل بین داروخانه k و مرکز تولید مجدد c	BED_{kcmts}
متغیری برای تعادل در میان حالت های حمل و نقل بین داروخانه k و مرکز بازیافت r	BEE_{krmts}

تابع هدف

تابع هدف (۱) سود محاسبه شده از میانگین درآمدها منهای هزینه ها را به حداکثر می رساند. در آمد، شامل فروش محصولات به مشتری ها و فروش محصولات بازیافتی به بازارهای ثانویه است. هزینه ها شامل هزینه تقاضای برآورده نشده، هزینه انقضا، هزینه ثابت بازگشایی مراکز (بازتولید، دفع و بازیافت)، هزینه های دفع، تولید مجدد و بازیافت محصولات تاریخ گذشته و در نهایت هزینه های حمل و نقل محصولات تاریخ مصرف گذشته است.

$$\begin{aligned}
& \sum_s PS_s \left(\sum_k \sum_p \sum_t CSP_p \times ASP_{kpts} + \sum_k \sum_p \sum_t \sum_r \sum_m SPM_p \times ZR_{krmpts} \times rc_p - \right. \\
& \left. \sum_k \sum_p \sum_t SH_{kpts} \times SHC_{kpt} - \sum_k \sum_p \sum_t \sum_r \sum_c \sum_d \sum_m EXC_{kpt} \times (ZR_{krmpts} + ZC_{kcmpts} + ZD_{kdmpts}) - \right. \\
& \left. \sum_c FCR_c \times Q_c - \sum_d FCD_d \times h_d - \sum_r FCRE_r \times A_r - \sum_k \sum_d \sum_p \sum_t \sum_m DIC_p \times ZD_{kdmpts} \times di_p - \right. \\
& \left. \sum_k \sum_c \sum_p \sum_t \sum_m REC_p \times ZC_{kcmpts} \times re_p - \sum_k \sum_r \sum_p \sum_t \sum_m EXP_p \times ZR_{krmpts} \times rc_p - \right. \\
& \left. \sum_m CUT_m \left(\sum_k \sum_d \sum_t NTC_{kdmts} \times DSC_{kd} + \sum_k \sum_c \sum_t NTD_{kcmts} \times DSD_{kc} + \sum_k \sum_r \sum_t NTE_{krmts} \times DSE_{kr} \right) \right) \quad (۱)
\end{aligned}$$

محدودیت‌ها

محدودیت (۲) نشان می‌دهد که جریان خروجی از داروخانه‌ها با میزان داروی موجود در داروخانه‌ها برابر است. **محدودیت (۳)** نشان می‌دهد مقدار داروی فروخته شده در داروخانه‌ها به میزان تقاضا و کمبود مرتبط می‌باشد. **محدودیت (۴)** تا **محدودیت (۶)** تعادل بین امکانات در ارتباط با تعداد حمل و نقل را حفظ می‌کنند. از آن‌جا که تعداد حمل و نقل باید یک مقدار عدد صحیح باشد، برای حفظ امکان پذیر بودن مدل، مجموعه‌ای از متغیرهای بی‌اثر پیشنهاد شده است. **محدودیت (۷)** تا **محدودیت (۹)** تضمین می‌کنند که متغیرهای بی‌اثر تنها بر تفاوت‌های مربوط به تعداد حمل و نقل تمرکز می‌کنند. **محدودیت (۱۰)** تعداد سفرها را برای هر حالت حمل و نقل محدود می‌کند. **محدودیت (۱۱)** تا **محدودیت (۱۳)** به بیان این موضوع که اگر مراکز مربوطه بازگشایی شوند امکان انتقال جریان مواد به آن‌ها وجود دارد می‌پردازند. در نهایت، **محدودیت (۱۴)** نوع متغیرهای تصمیم را نمایش می‌دهد.

$$\sum_r \sum_m ZR_{krmpts} + \sum_d \sum_m ZD_{kdmpts} + \sum_c \sum_m ZC_{kcmpts} + ASP_{kpts} = V_{kpt} \quad \text{for all } k, p, t, s, \quad (۲)$$

$$ASP_{kpts} = DD_{kpts} - SH_{kpts}, \quad \text{for all } k, p, t, s, \quad (۳)$$

$$\sum_p \frac{ZD_{kdmpts}}{CT_{mp}} + BEC_{kdmts} = NTC_{kdmts}, \quad \text{for all } k, d, m, t, s, \quad (۴)$$

$$\sum_p \frac{ZC_{kcmpts}}{CT_{mp}} + BED_{kcmts} = NTD_{kcmts}, \quad \text{for all } k, c, m, t, s, \quad (۵)$$

$$\sum_p \frac{ZR_{krmpts}}{CT_{mp}} + BEE_{krmts} = NTE_{krmts}, \quad \text{for all } k, r, m, t, s, \quad (۶)$$

$$NTC_{kdmts} + BEC_{kdmts} \geq 0, \quad \text{for all } k, d, m, t, s, \quad (۷)$$

$$NTD_{kcmts} + BED_{kcmts} \geq 0, \quad \text{for all } k, c, m, t, s, \quad (۸)$$

$$NTE_{krmts} + BEE_{krmts} \geq 0, \quad \text{for all } k, r, m, t, s, \quad (۹)$$

$$\sum_k \sum_d NTC_{kdmts} + \sum_k \sum_c NTD_{kcmts} + \sum_k \sum_r NTE_{krmts} \leq NV_m, \quad \text{for all } m, t, s, \quad (۱۰)$$

$$\sum_k \sum_m \sum_p ZD_{kdmpts} \leq L \times h_d, \quad \text{for all } d, t, s, \quad (۱۱)$$

$$\sum_k \sum_m \sum_p ZC_{kcmpts} \leq L \times Q_c, \quad \text{for all } c, t, s, \quad (۱۲)$$

$$\sum_k \sum_m \sum_p ZR_{krmpts} \leq L \times A_r, \quad \text{for all } r, t, s, \quad (13)$$

$$h_d, Q_c, A_r \in \text{binary variables},$$

$$ZR_{krmpts}, ZC_{kcmpts}, ZD_{kdmpts}, SH_{kpts}, ASP_{kpts}, NTC_{kdmst}, NTD_{kcmst}, NTE_{krmst}, \quad (14)$$

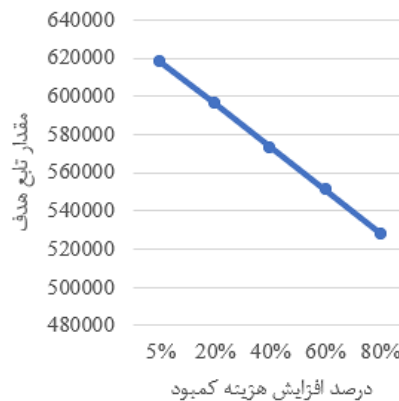
$$BEC_{kdmst}, BED_{kcmst}, BEE_{krmst} \in \text{integer variables}.$$

در ادامه تحلیل حساسیت پارامترهای اصلی برای تایید مدل توسعه یافته انجام شد. شکل ۲ تغییرات تابع هدف ناشی از تغییرات هزینه انقضا (EXC_{kpt}) و شکل ۳ تغییرات تابع هدف ناشی از تغییرات هزینه کمبود (SHC_{kpts}) را نشان می دهد. همان طور که مشخص است، تابع هدف با افزایش هزینه ها، مقدار کمتری می گیرد. با افزایش هزینه انقضا، این مدل به دنبال کاهش تعداد داروهای تاریخ مصرف گذشته در همه داروخانه ها است. بر این اساس، بخشی از کاهش سود احتمالا ناشی از کاهش درآمد ناشی از بازیافت داروهای تاریخ مصرف گذشته است.



شکل ۲- تغییرات تابع هدف به ازای تغییرات هزینه انقضا.

Figure 2- Changes in the objective function for changes in the expiration cost.



شکل ۳- تغییرات تابع هدف به ازای تغییرات هزینه کمبود.

Figure 3 - Changes in the objective function for changes in the shortage cost.

۳- نتیجه و جمع بندی

مطالعه حاضر به طراحی یک شبکه زنجیره تامین دارویی معکوس با مدیریت جریان برگشتی تحت عدم قطعیت تقاضا می پردازد. این شبکه چند دوره ای، چند محصولی و با در نظر گرفتن کمبود محصول در داروخانه ها طراحی شده است. این شبکه شامل داروخانه ها، مشتریان و مکان های بالقوه برای مراکز دفع، تولیدکنندگان مجدد و مراکز بازیافت است. عدم قطعیت در تقاضا با رویکرد مبتنی بر سناریو مدیریت شد. محصولات پس از طول عمر خود جمع آوری و با توجه به ویژگی های خود به سه روش دفع، تولید مجدد و بازیافت مدیریت شدند. طبق نتایج به دست آمده مدیریت جامع جریان بازگشتی، علاوه بر بهبود قابل توجه در اثرات منفی زیست محیطی به دلیل کاهش دفع پسماند، می تواند در هزینه ها و زمان تولید از طریق فرآیند تولید مجدد صرفه جویی کند و یا از طریق فروش محصولات بازگشتی به بازارهای ثانویه و درآمد حاصل از تولید مجدد، درآمد اضافی ایجاد کند.

پیشنهادهای

۱. اضافه کردن اهداف زیست محیطی به عنوان تابع هدف هم چون کاهش انتشار گاز CO_2
۲. اضافه کردن اهداف اجتماعی به عنوان تابع هدف
۳. در نظر گرفتن عدم قطعیت در سایر پارامترها مانند: هزینه و زمان حمل و نقل
۴. در نظر گرفتن تاب آوری
۵. بررسی کاربرد مدل توسعه یافته برای سایر موارد مشابه واقعی

منابع

- [1] Zahiri, B., Tavakkoli-Moghaddam, R., & Pishvae, M. S. (2014). A robust possibilistic programming approach to multi-period location-allocation of organ transplant centers under uncertainty. *Computers & industrial engineering*, 74, 139–148. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2014.05.008>
- [2] Beamon, B. M. (1998). Supply chain design and analysis: Models and methods. *International journal of production economics*, 55(3), 281–294. [https://doi.org/10.1016/S0925-5273\(98\)00079-6](https://doi.org/10.1016/S0925-5273(98)00079-6)
- [3] Zahiri, B., Zhuang, J., & Mohammadi, M. (2017). Toward an integrated sustainable-resilient supply chain: A pharmaceutical case study. *Transportation research part E: Logistics and transportation review*, 103, 109–142. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2017.04.009>
- [4] Kelle, P., Woosley, J., & Schneider, H. (2012). Pharmaceutical supply chain specifics and inventory solutions for a hospital case. *Operations research for health care*, 1(2–3), 54–63. <https://doi.org/10.1016/j.orhc.2012.07.001>
- [5] Nezhadroshan, A. M., Fathollahi-Fard, A. M., & Hajiaghahi-Keshteli, M. (2021). A scenario-based possibilistic-stochastic programming approach to address resilient humanitarian logistics considering travel time and resilience levels of facilities. *International journal of systems science: Operations & Logistics*, 8(4), 321–347. <https://doi.org/10.1080/23302674.2020.1769766>
- [6] Shah, N. (2004). Pharmaceutical supply chains: Key issues and strategies for optimisation. *Computers & chemical engineering*, 28(6–7), 929–941. <https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2003.09.022>
- [7] Uthayakumar, R., & Priyan, S. (2013). Pharmaceutical supply chain and inventory management strategies: Optimization for a pharmaceutical company and a hospital. *Operations research for health care*, 2(3), 52–64. <https://doi.org/10.1016/j.orhc.2013.08.001>
- [8] Priyan, S., & Uthayakumar, R. (2014). Optimal inventory management strategies for pharmaceutical company and hospital supply chain in a fuzzy-stochastic environment. *Operations research for health care*, 3(4), 177–190. <https://doi.org/10.1016/j.orhc.2014.08.001>
- [9] Bouziyane, B., Dkhissi, B., & Cherkaoui, M. (2020). Multiobjective optimization in delivering pharmaceutical products with disrupted vehicle routing problem. *International journal of industrial engineering computations*, 11(2), 299–316. <https://pdfs.semanticscholar.org/6393/351ad512e2ae080cc4334f8657206a409d07.pdf>
- [10] Kapukaya, E. N., Bal, A., & Satoglu, S. I. (2019). A bi-objective model for sustainable logistics and operations planning of WEEE recovery. *An international journal of optimization and control: Theories & applications (IJOCTA)*, 9(2), 89–99. <https://doi.org/10.11121/ijocta.01.2019.00718>
- [11] Taleizadeh, A. A., Haji-Sami, E., & Noori-daryan, M. (2020). A robust optimization model for coordinating pharmaceutical reverse supply chains under return strategies. *Annals of operations research*, 291(1), 875–896. <https://doi.org/10.1007/s10479-019-03200-7>
- [12] Sazvar, Z., Zokaee, M., Tavakkoli-Moghaddam, R., Salari, S. A., & Nayeri, S. (2022). Designing a sustainable closed-loop pharmaceutical supply chain in a competitive market considering demand uncertainty, manufacturer's brand and waste management. *Annals of operations research*, 315(2), 2057–2088. <https://doi.org/10.1007/s10479-021-03961-0>
- [13] Goodarzian, F., Abraham, A., Muñuzuri, J., Taghipour, A., & Ghasemi, P. (2024). A Benders decomposition approach for a new sustainable pharmaceutical supply chain network: A case study in France. *Annals of operations research*, 1–39. <https://doi.org/10.1007/s10479-024-05936-3>
- [14] Insani, W. N., Qonita, N. A., Jannah, S. S., Nuraliyah, N. M., Supadmi, W., Gatera, V. A., ... , & Abdulah, R. (2020). Improper disposal practice of unused and expired pharmaceutical products in Indonesian households. *Heliyon*, 6(7), e04551. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04551>
- [15] Viegas, C. V., Bond, A., Vaz, C. R., & Bertolo, R. J. (2019). Reverse flows within the pharmaceutical supply chain: A classificatory review from the perspective of end-of-use and end-of-life medicines. *Journal of cleaner production*, 238, 117719. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.117719>
- [16] Bhatia, M. S., Srivastava, R. K., Jakhar, S. K., & Kumar, S. (2022). What's critical for closed-loop supply chain operations?-Findings from the Indian small and medium manufacturing enterprises. *Journal of cleaner production*, 372, 133791. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.133791>
- [17] MacArthur, E. (2013). Towards the circular economy. *Journal of industrial ecology*, 2(1), 23–44. http://emf.s3.amazonaws.com/downloads/Towards_A_Circular_Economy.pdf
- [18] Ang, K. L., Saw, E. T., He, W., Dong, X., & Ramakrishna, S. (2021). Sustainability framework for pharmaceutical manufacturing (PM): A review of research landscape and implementation barriers for circular economy transition. *Journal of cleaner production*, 280, 124264. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124264>
- [19] Amin, S. H., & Zhang, G. (2013). A multi-objective facility location model for closed-loop supply chain network under uncertain demand and return. *Applied mathematical modelling*, 37(6), 4165–4176. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2012.09.039>
- [20] Kumar, A., Zavadskas, E. K., Mangla, S. K., Agrawal, V., Sharma, K., & Gupta, D. (2019). When risks need attention: adoption of green supply chain initiatives in the pharmaceutical industry. *International journal of production research*, 57(11), 3554–3576. <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1543969>