

Sustainable Supply Chain Planning of a Pharmaceutical Holding using Supply Hub

Mahsa Rafiei*, **Farzad Movahedi Sobhani****^{},
Mohammad Hadji Molana***

Abstract

This study, in a pharmaceutical industrial zone, including relationships between suppliers, manufacturers and customers, are optimized using the concept of supply hub under 3PL management. In this regard, a new model for the supply chain of this industrial zone has been proposed in a sustainable approach, in which the economic, social and environmental axes are considered and then carefully solved by GAMS software. The goal is to minimize the costs imposed on the system, comprising the operating cost of the supply hub, the cost of transporting raw materials and products, the cost of ordering, the cost of storing raw materials and finished products, the cost of shortage of finished products considered as back-ordered, the cost of hiring and firing as well as the cost of destroying the waste of these pharmaceutical factories. An efficient heuristic relaxation-based approach is proposed in this paper. Then, a series of sample instances inspired by the case study have been implemented. The results obtained by GAMS and the proposed heuristic method are compared. Finally, to understand the sensitivity of different axes of the sustainability approach, several sensitivity analyses have been conducted and useful managerial and operational insights are presented for top management of such industries.

Keywords: Sustainability; Supply Chain; Industrial Zone; Supply hub; Pharmaceutical; Case Study.

Received: Jun. 20, 2022; Accepted: Oct. 24, 2022.

* Ph.D Student, Department of Industrial Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

** Assistant Professor, Department of Industrial Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran (Corresponding Author).

Email: f-movahedi@srbiau.ac.ir

*** Assistant Professor, Department of Industrial Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.



Copyright: © 2023 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

برنامه‌ریزی پایدار زنجیره تأمین یک هلدینگ داروسازی با استفاده از مفهوم هاب تأمین

مهسا رفیعی*، فرزاد موحدی سبحانی**، محمد حاجی مولانا***

چکیده

این پژوهش، در یک شهرک صنعتی دارویی، شامل روابط بین تأمین‌کنندگان، مجموعه تولیدکنندگان و مشتریان، با استفاده از مفهوم هاب تأمین تحت مدیریت 3PL بهینه شده است. در این راستا یک مدل جدید ریاضی برای زنجیره تأمین این مجموعه صنعتی در حالت پایدار پیشنهاد شده است که محورهای اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی در این مدل لحاظ و سپس توسط نرم‌افزار گمز به‌طور دقیق حل شده است. هدف، کمینه‌کردن هزینه‌های تحمیل‌شده به سیستم، شامل هزینه عملیاتی هاب تأمین، هزینه حمل‌ونقل مواد خام و محصولات، هزینه سفارش‌گذاری، هزینه انبارداری مواد خام و محصولات نهایی، هزینه کمبود محصولات نهایی که به شکل پس‌افت در نظر گرفته شده‌اند، هزینه استخدام و اخراج نیروی انسانی و هزینه معدوم‌کردن ضایعات این کارخانه‌های دارویی است. همچنین یک روش ابتکاری مبتنی بر آزادسازی در این پژوهش پیشنهاد شده است؛ سپس مجموعه‌ای از مسائل نمونه‌ای با الهام از مطالعه موردی اجرا و پیاده‌سازی شده‌اند. در ادامه نتایج دقیق به‌دست‌آمده توسط نرم‌افزار گمز و روش ابتکاری با یکدیگر مقایسه شدند. در انتها به‌منظور درک بهتر میزان حساسیت‌پذیری محورهای مختلف رویکرد پایداری (اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی)، چندین تحلیل حساسیت مختلف صورت پذیرفته و یافته‌های مدیریتی و عملیاتی مفیدی در این خصوص برای مدیریت ارشد چنین صنایعی ارائه شده است.

کلیدواژه‌ها: پایداری؛ زنجیره تأمین؛ شهرک صنعتی؛ هاب تأمین؛ صنعت داروسازی؛ مطالعه موردی.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۰۳/۳۰، تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۰۸/۰۲.

* دانشجوی دکتری، گروه مهندسی صنایع، واحد علوم و تحقیقات دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

** استادیار، گروه مهندسی صنایع، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران (نویسنده مسئول).

Email: f-movahedi@srbiau.ac.ir

*** استادیار، گروه مهندسی صنایع، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.



Copyright: © 2023 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

۱. مقدمه

در سال‌های اخیر ظهور فناوری‌های نوین و ایجاد تحولات عظیم در بازارهای جهانی، مدیریت زنجیره تأمین را بیش‌ازپیش ضروری ساخته است؛ به‌نحوی که سازمان‌های مختلف برای ایجاد و حفظ موقعیت و جایگاه رقابتی خود، ناگزیر به استفاده از مدیریت زنجیره تأمین هستند [۱۰]. زنجیره تأمین، شبکه کلی سیستم‌های توزیع و تسهیلات از قبیل تأمین‌کنندگان، تولیدکنندگان، مراکز توزیع و خرده‌فروشان است که تهیه مواد خام تا تحویل محصولات نیمه‌آماده و آماده مشتریان را شامل می‌شود و هدف اصلی آن، تأمین نیازهای مشتریان است [۲۰].

اخیراً توسعه‌های جدید زیادی در حوزه زنجیره تأمین صورت پذیرفته است؛ به‌خصوص آن‌هایی که به کاهش هزینه و پاسخگویی بهتر به مشتری متمرکز هستند. در این راستا یک سؤال کلیدی که در راستای افزایش بازده زنجیره تأمین باید مطرح شود، در مدیریت زنجیره است. ارننگوک و همکاران^۱ (۱۹۹۹)، مشخص کردند که به‌منظور حمایت از تولید بهنگام، تأمین‌کنندگان باید به‌طور پیوسته و در حجم‌های کوچک محموله‌های خود را برای تولیدکننده ارسال کنند [۷]. بسیاری از تأمین‌کنندگان یک شرکت، به‌عنوان تنها منبع تأمین مطرح هستند و به لحاظ موقعیت جغرافیایی، نزدیک نقطه تحویل مستقر هستند؛ هرچند در پاره‌ای اوقات، وجود فاصله زیاد تأمین‌کنندگان با تولیدکننده اصلی، در کنار مسائلی که در رابطه با تأمین‌چندگانه منابع وجود دارد، مدیریت زمانی لجستیک را دشوار می‌سازد و آن را به یک مسئله غامض بدل می‌کند. تحت چنین شرایطی، صرف‌نظر از موقعیت رقابتی شرکت‌ها در زنجیره تأمین، تصمیم‌گیری مشارکتی بسیار سودمند خواهد بود.

جدول ۱. مقایسه سیاست‌های کلیدی مدیریت موجودی [۵]

سیاست‌های کلیدی مدیریت موجودی				
SOI	CI	VMI	MOI	
تأمین‌کننده	تأمین‌کننده	خریدار	خریدار	مالکیت موجودی
لحظه مصرف	لحظه مصرف	لحظه مصرف	دریافت کالا	انتقال مالکیت از تأمین‌کننده به خریدار
خریدار	خریدار	خریدار	خریدار	مکان (موقعیت) موجودی
تأمین‌کننده	خریدار	تأمین‌کننده	خریدار	مسئولیت تجدید تدارکات

امروزه اگر کسی در مبانی نظری صنایعی که در تلاش برای برقراری ارتباط میان اعضای زنجیره تأمین، به‌خصوص در حوزه لجستیک داخلی هستند، تفحصی کند، به گستره وسیعی از روابط، از سیاست «مالکیت موجودی در اختیار تولیدکننده»^۲ (MOI) تا سیاست «مدیریت

1. Erenguc et al.

2 Manufacturer Owned Inventory (MOI)

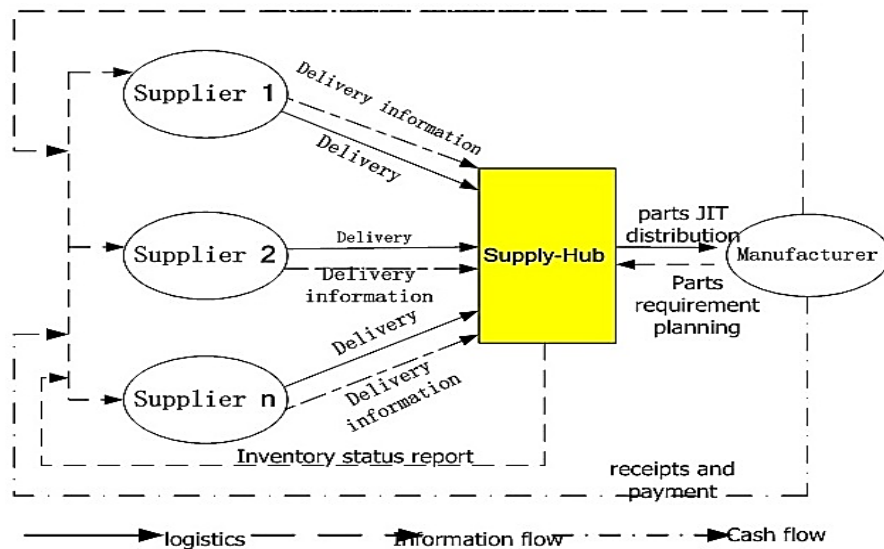
موجودی توسط فروشنده^۱ (VMI) و سیاست «مالکیت موجودی در اختیار تأمین‌کننده^۲» (SOI) خواهد رسید. زنجیره تأمین به‌طور دائم در حال رشد کردن در حوزه‌های جداگانه بوده تا آنجا که بخش‌های صنعتی حساس به زمان، از ابزاری به نام هاب تأمین^۳ (یا هاب مواد خام^۴ یا هاب فروشنده) برای تأمین دو مفهوم «تاب^۵» و «چابکی^۶» برای بازیگران زنجیره تأمین بهره‌جسته‌اند. برای نمونه، استفاده از هاب تأمین با افزایش استفاده از به‌کارگیری VMI در حال افزایش است. پیش از این شرکت‌های بسیاری در صنایع با فناوری بالا^۷ یا صنایع الکترونیک از هاب یا VMI برای تسهیل در جادادن بسیاری از قطعات، اجزا و مواد خام مورد نیاز برای مونتاژ یا تولید یک محصول استفاده می‌کردند (مانند شرکت‌های HP و Dell). با وجود اشباع مفاهیم، رویه‌ها و پیشرفت‌های فناوری اطلاعات در زنجیره تأمین، سیاست‌های مدیریت موجودی به‌طور دائمی از MOI، VMI و «موجودی امانی^۸» (CI) به سمت SOI توسعه پیدا کرده است.

یک هاب تأمین (شکل ۱) عموماً مکانی است که به لحاظ موقعیت جغرافیایی نزدیک به تولیدکننده است؛ به‌طوری‌که همه یا بخشی از عرضه تأمین‌کننده‌های آن را انبارش می‌کند، با این پیش‌فرض که هزینه مواد خام هنگامی که مصرف شوند، پرداخته می‌شوند [۳۸]؛ بنابراین یک هاب تأمین می‌تواند به‌عنوان یک مدل دیگر از روابط تأمین‌کننده - خریدار تلقی شود؛ هرچند که VMI به‌طور فعالی دنبال می‌شود. چرخه عمر کوتاه و ریسک بالای فساد باعث شد تا صنایع الکترونیکی از VMI به سمت SOI به‌واسطه استفاده از هاب‌های عرضه حرکت کنند [۵].

تعداد زیادی از تولیدکنندگان کامپیوتر و صنایع الکترونیک (مانند شرکت اپل) برای انبارش مواد خام و قطعات خود با هزینه پایین‌تر و سرعت بالاتر در پاسخگویی از هاب تأمین استفاده کرده‌اند [۱۴]. استفاده از هاب تأمین در صنایعی کاربرد دارد که با تغییرپذیری و عدم قطعیت در بازار تقاضا، کوتاه‌بودن چرخه عمر محصولات و عدم قطعیت در لیدتایم عرضه مواجه هستند؛ مانند صنایعی که مصرف‌کننده محصولات الکترونیکی هستند یا در حوزه صنعت غذایی (فسادپذیر) فعالیت دارند؛ بنابراین انگیزه قوی یک سازمان برای استفاده از هاب تأمین می‌تواند این باشد که از خطای بالا در پیش‌بینی و عدم قطعیت موجود در ارتباط با تأمین‌کنندگان رها شود؛ چراکه در غیر این صورت باید ذخیره اطمینان بیشتری، در مجموع در سراسر زنجیره تأمین نگهداری شود. امروزه هاب‌های عرضه به یک رویکرد مؤثر برای مدیریت موجودی مشتریان توسط تأمین‌کنندگان تبدیل شده‌اند. هدف این‌گونه تسهیلات اساساً فراهم کردن ذخیره‌ای آماده از

1. Vendor Managed Inventory (VMI)
2. Supplier Owned Inventory (SOI)
3. Supply hub
4. Material hub
5. Leanness
6. Agility
7. High Technology
8. Consignment Inventory (CI)

موجودی قطعات به‌منظور حمایت از عملیات تولید یا مونتاژ بوده که به عهده مشتری یا تولیدکننده است. تفاوت در اینجا این است که تولیدکننده نهایی (می‌تواند مشتری باشد) تنها هنگامی مالکیت موجودی را به عهده می‌گیرد که قطعات، دریافت یا مصرف شوند. در این صورت تولیدکنندگان به ذخیره‌ای کافی از موجودی دسترسی دارند که برای آن‌ها هزینه حمل‌ناچیزی در برداشته یا اساساً هیچ هزینه حملی دربر ندارد.



شکل ۱. نمایی عمومی از جایگاه هاب تأمین

از منظر مشتری، جابه‌جایی آهسته‌تر موجودی می‌تواند به دلیل مشاهده بهتر سطوح موجودی توسط تأمین‌کننده، به میزان زیادی کاهش یابد؛ به‌گونه‌ای که اطلاع داشتن از «گردش موجودی» به‌واسطه برنامه‌ریزی و هماهنگی بهتر در سطح هاب، دقیق‌تر صورت می‌گیرد و این امر در نهایت به کاهش چرخه عمر سفارش منجر می‌شود. از منظر تأمین‌کننده، این امر با توجه به شفافیت وضعیت موجودی به‌واسطه استفاده از VMI، باعث تسهیل مدیریت موجودی می‌شود و وی قادر است موجودی را به‌منظور هماهنگی زمان‌بندی تحویل و برنامه تولید به‌راحتی کنترل کند. یک مزیت اضافی برای تأمین‌کننده در استفاده از VMI آن است که می‌تواند نرخ واقعی مصرف قطعاتش را مشاهده کند و در طی یک بازه زمانی از این اطلاعات به‌منظور بررسی صحت‌وسقم تقاضای منعقدشده در قرارداد بهره‌بردار.

باوجود این شبهاتی از سوی برخی بازیگران زنجیره تأمین، به‌خصوص تأمین‌کنندگان، در این زمینه وجود دارد. برای نمونه، تولیدکنندگان بزرگی مانند «سولکترون» توسط مشتریان خود مانند کامپک ترغیب می‌شوند که از هاب عرضه استفاده کنند و از این رو آن‌ها نیز تمایل دارند تا روی تأمین‌کنندگان خود فشار بیاورند تا به چنین سیستمی تن دهند؛ در نتیجه بازیگران بزرگ‌تری مانند «سولکترون»، چنین تأمین‌کنندگانی را با وعده «انبارش رایگان» در حقیقت به‌نوعی تطمیع کرده و نظرشان را جلب می‌کنند. دلیل دیگر برای به‌کاربردن هاب عرضه، ایجاد نقطه واسطه دیگری در زنجیره تأمین است. مسئولیت مدیریت هزینه‌های موجودی در دو مکان مختلف نیز در این ارتباط می‌تواند به‌عنوان دلیلی دیگری مطرح شود.

یک پارک صنعتی به‌عنوان قطعه‌ای از زمین توسعه‌داده‌شده و تقسیم‌شده به بخش‌های مختلف تعریف شده است که بر حسب یک نقشه جامع، تمهیداتی در آن برای جاده، حمل‌ونقل و تسهیلات عمومی برای استفاده گروهی از تولیدکنندگان صنعتی در نظر گرفته شده است [۳۵]. کلمات متعددی به‌عنوان مترادف پارک‌های صنعتی وجود دارند که عبارت‌اند از: املاک صنعتی^۱؛ بلوک‌های صنعتی^۲؛ نواحی صنعتی^۳؛ خوشه‌های صنعتی^۴؛ پارک‌های تجاری^۵؛ پارک‌های علمی و پژوهشی^۶؛ مراکز با فناوری بالا^۷؛ پارک‌های اداری^۸ و پارک‌های بیوتکنولوژیکی^۹ که هر یک بر حسب حوزه و نوع عملیات ممکن است با هم متفاوت باشند [۳۵]. شرکت‌ها در قالب پارک‌های صنعتی از زیرساخت‌های هزینه - فایده و خدمات گروهی مانند فضاهای کاری مدیریت‌شده، جمع‌آوری زباله‌ها و پساب‌های صنعتی، خدمات امنیتی و غیره بهره‌مند می‌شوند. مجاورت جغرافیایی شرکت‌ها در یک شهرک صنعتی باعث می‌شود شرکت‌ها به لحاظ اقتصادی پیشرفت کنند و در مجموع عملکرد آن‌ها ارتقا یابد. با جاییی مجدد صنایع درون نواحی صنعتی یا نیمه‌صنعتی، ساخت پارک‌های صنعتی می‌تواند به کاهش تراکم آلودگی در نواحی کلان‌شهرها کمک شایانی کند. مشکل یافتن زمین و کمبود آن، به‌خصوص برای ساخت انبار در پارک‌های صنعتی، به‌واسطه رشد سریع مقیاس قیمت زمین (گلوگاه)، به‌عنوان بزرگ‌ترین مشکل در توسعه پارک‌های صنعتی مطرح است [۶]. هاب عرضه در پارک صنعتی موسوم به SHIP در حقیقت یک مفهوم توسعه‌یافته از هاب عرضه است؛ به‌عبارت بهتر، SHIP یک فراهم‌کننده عمومی انبار و خدمات حمل‌ونقل برای سازمان‌های تولیدی است که در داخل پارک صنعتی قرار دارد [۲۴].

-
1. Industrial Estates
 2. Industrial Districts
 3. Industrial Zones
 4. Industrial Clusters
 5. Business Parks
 6. Science And Research Parks
 7. High-Tech Centers
 8. Office Parks
 9. Bio-Technology Parks

برای درک مدیریت مؤثر در بلندمدت، سازمان‌ها باید ظرفیت‌ها و مزایای دو مفهوم را در نظر بگیرند: مدیریت زنجیره تأمین و توسعه پایدار [۱]. مدیریت زنجیره تأمین پایدار، بر خلاف مدیریت زنجیره تأمین، با تمرکز بر منافع اقتصادی، مزایای اجتماعی و زیست‌محیطی را نیز در نظر می‌گیرد و سعی در ارزیابی آن‌ها دارد [۴]؛ از این‌رو عنصر پایداری برای عملکرد مدیریت زنجیره تأمین در بلندمدت امری حیاتی تلقی می‌شود [۲]. مدیریت زنجیره تأمین پایدار با در نظر گرفتن سه محور اصلی به‌طور هم‌زمان تعریف می‌شود: تأثیرات اجتماعی و محیطی فرآیندهای زنجیره تأمین همراه با عملکرد مالی آن در مدیریت جریان مواد، اطلاعات و سرمایه [۳۲].

یکی دیگر از راه‌های افزایش سودآوری صنایع، استفاده از زیرساخت‌های مشترک به دلیل ماهیت تولیدکنندگان است؛ به‌خصوص در خصوص تولیدکنندگانی که از صنایع حساس به زمان و فسادپذیر مشغول به فعالیت هستند، مانند صنعت داروسازی. صنعت داروسازی به‌عنوان یک سیستم متشکل از فرآیندها، عملیات و سازمان‌های درگیر در کشف، توسعه و تولید از مواد مخدر و داروها تعریف می‌شود. زنجیره تأمین دارو به‌معنای مسیری است که از طریق آن، محصولات دارویی با کیفیت مناسب در مکان و زمان مناسب در میان مصرف‌کنندگان نهایی توزیع می‌شود [۱۳]. استفاده از مفهوم هاب تأمین، کمک شایانی به ارتقای بهره‌وری زنجیره تأمین این‌گونه شرکت‌ها و هلدینگ‌ها خواهد کرد؛ همچنین تجمیع محموله‌های مواد خام در هاب تأمین باعث کمینه‌شدن هزینه‌های حمل‌ونقل بین تأمین‌کننده‌ها و مجموعه تولیدکنندگان و همچنین کمینه‌شدن هزینه‌های انبارداری در کل شهرک صنعتی می‌شود.

در این پژوهش، یک مدل جدید برای زنجیره تأمین یک هلدینگ داروسازی در شهرک/خوشه صنعتی با استفاده از مفهوم هاب تأمین توسعه داده شده است. مجموعه هزینه‌های در نظر گرفته‌شده در تابع هدف شامل هزینه‌های سفارش‌گذاری کالا، هزینه‌های حمل مواد خام و محصولات نهایی، هزینه نگهداری مواد خام در هاب و محصولات نهایی در انبار تولیدکنندگان، هزینه ضایعات محصول، هزینه استخدام/ اخراج نیروی انسانی و هزینه‌های عملیاتی هاب تأمین است. یکی از نکات قابل توجه در این پژوهش، در نظر گرفتن هزینه استخدام و یا اخراج نیروی انسانی، نه صرفاً از منظر هزینه‌ای، بلکه به‌عنوان بُعد «اجتماعی» از ارکان سه‌گانه پایداری است که کمتر در مقاله‌ها مورد بحث و بررسی قرار گرفته است. در خصوص «هلدینگ درسا دارو»، با توجه به موقعیت جغرافیایی شهرک صنعتی و سکونت بخش اعظمی از کارگران این مجموعه کارخانه‌ها در نزدیکی محیط‌های تولیدی، با تغییر در مقدار تولید که برآمده از تقاضای بیرونی و عمدتاً تغییرات فصلی تقاضای دارو است، ممکن است تولیدکنندگان به‌نوعی درصد متعادل کردن نیروی کار خود با میزان تقاضا باشند و از این‌رو دست به استخدام و یا اخراج نیروی کار خود بزنند. با توجه به اینکه این استخدام و یا اخراج معمولاً به شکل جابه‌جایی نیروی کار بین کارخانه‌های

مختلف این هلدینگ صنعتی در نظر گرفته می‌شود، این عامل فی‌نفسه، هزینه‌بر است و برای کاهش هزینه‌های کل و همین‌طور برقراری تعادل در این مسئله که به طریق اولی به معنای کاهش پیامدهای اجتماعی این اثر نیز هست، این بخش هزینه‌ای در مدل ریاضی پیشنهادی در این پژوهش (با هدف تشریح‌شده) در نظر گرفته شده است.

بر اساس یافته‌های پژوهشگران، تاکنون هیچ پژوهشی در شهرک/خوشه‌های صنعتی با به‌کارگیری مفهوم هاب تأمین، به‌خصوص در صنعت حساس و پرسود داروسازی انجام نشده است و از این نظر، پژوهش حاضر دارای چندین جنبه نوآوری است که در ادامه به آن‌ها اشاره می‌شود:

- توسعه مفهوم «هاب تأمین» در قالب یک هلدینگ صنعتی با درنظرگرفتن محورهای پایداری؛
- مدل‌سازی مسئله «لجستیک - تأمین - تولید» در زنجیره تأمین یک هلدینگ صنعتی داروسازی به‌عنوان یک صنعت حساس به زمان و پرسود؛
- درنظرگرفتن محدودیت ظرفیت وسایل حمل‌ونقل برای انتقال مواد خام و محصولات نهایی و همچنین محدودیت ظرفیت هاب تأمین (نسبت به مدل‌های پایه). مورد اخیر به ایجاد رقابت بین مواد خام و محصولات نهایی برای تصاحب فضای انبارش در هر دوره از سمت تولیدکنندگان هاب منجر می‌شود؛
- صرفه‌جویی در زمین و به طریق اولی، کاهش چشمگیر هزینه‌های سرمایه‌گذاری و نزدیک‌شدن به اقتصاد مقیاس؛
- کاهش عدم‌قطعیت و نزدیکی به استراتژی تولید به‌هنگام به‌واسطه به‌کارگیری هاب تأمین در هلدینگ؛
- درنظرگرفتن کمبود برای تحویل مواد خام یا محصولات نهایی به مشتری در انتهای هر دوره به‌عنوان یک مفروضه دنیای واقعی.

در خصوص ضرورت به‌کارگیری هاب تأمین در حوزه سلامت باید اشاره کرد که با توجه به اینکه در صنایع داروسازی، مقوله «زمان» در زمره موارد خطیر و تأثیرگذار در کیفیت و ثمربخشی سیستم‌های سلامت است، به‌کارگیری و توسعه هر نوع زیرساختی در راستای کاهش زمان‌های تدارک و ارسال، گامی در جهت ارتقای بهره‌وری تلقی می‌شود که دارای نتایج مثمر ثمری خواهد بود. به بیان بهتر، مقوله «پیوستگی» و «فرکانس» ارسال محموله‌ها، به‌خصوص در حوزه پزشکی و سلامت، بسیار حائز اهمیت است؛ چراکه به کوتاه‌شدن سرفاصله ارسال‌ها به مشتریان این حوزه منجر می‌شود که در نتیجه تحویل سریع‌تر به مشتریان نهایی را در پی خواهد داشت؛ بنابراین استفاده و به‌کارگیری هاب تأمین در یک هلدینگ صنعتی داروسازی از این نظر بسیار پراهمیت است.

از سوی دیگر، با توجه به اینکه این پژوهش در زمره نخستین پژوهش‌های این حوزه با لحاظ شرایط مطرح‌شده در این پژوهش در حوزه سلامت در کشور است، می‌تواند راهگشای بسیار خوب و مؤثری برای دیگر صنایع مرتبط در این حوزه باشد و نتایج این پژوهش قادر خواهد بود در کنار در نظر گرفتن محدودیت‌های محیطی و اختصاصی هر حوزه (از طریق بومی‌سازی در آن حوزه‌ها) مورد استفاده آنان باشد.

علاوه بر موارد ذکر شده، «کاهش هزینه‌ها» به هر طریقی، آن هم در صنعت بسیار پرهزینه سلامت و پزشکی، فی‌نفسه مقوله خطیری است که توجه مدیران این حوزه همواره معطوف آن بوده است و بنابراین نیاز و ضرورت به‌کارگیری چنین تسهیلات ارزشمندی که با فراهم‌آوردن زیرساخت‌های مشترک، در کاهش هزینه‌ها نقش چشم‌گیری ایفا می‌کنند را دوچندان می‌کند.

ادامه مقاله به شرح زیر سازمان‌دهی شده است: در بخش دوم مروری بر مبانی نظری مهم‌ترین و مرتبط‌ترین پژوهش‌های این حوزه صورت خواهد گرفت. در بخش سوم، مسئله در دست به تفصیل تشریح می‌شود که شامل مدل ریاضی و متغیرهای به‌کاررفته در مدل، پارامترهای استفاده‌شده و محدودیت‌های حاکم است. بخش چهارم به رویکرد حل اختصاص دارد که شامل روش پیشنهادی ابتکاری است؛ همچنین شامل نتایج اجرا شده روی یک مطالعه موردی از صنعت داروسازی است. در نهایت بخش پنجم شامل نتیجه‌گیری و ارائه چند پیشنهاد در راستای پژوهش‌های آتی خواهد بود.

۲. مبانی نظری و پیشینه پژوهش

با توجه به گستردگی حوزه‌های زیرمجموعه مسئله حاضر، مروری بر مبانی نظری هر بخش به‌منظور ارائه یک دید شفاف از جزئیات حاکم بر هر زیربخش در ادامه تشریح شده است:

مروری بر هاب عرضه. بارس و همکاران (۲۰۰۰)^۱، یک تصویر کلی از توسعه هاب‌های عرضه ارائه دادند و بیان کردند که هاب‌های عرضه یک رویکرد مؤثر برای مدیریت موجودی توسط تأمین‌کننده‌ها برای مشتریان است که از مزیت کاهش هزینه و ارتقای پاسخگویی بهره می‌برد. آن‌ها همچنین مزایا و مضرات استفاده از هاب‌های عرضه را از دیدگاه‌های مختلف بررسی و تجزیه و تحلیل کردند [۵]. لی و همکاران^۲ (۲۰۰۸)، مزایای پیاده‌سازی یک هاب تأمین را به‌وسیله مقایسه دو مدل طراحی زنجیره تأمین، با و بدون یک هاب تأمین نشان دادند [۱۶]. نتایج آن‌ها باعث شد که بعداً مدل‌هایی با دو هاب تأمین توسعه یافت [۱۷]. از جمله پژوهش‌هایی که در مورد

1. Barnes, et al.

2. Li, et al.

سیاست‌های عملیاتی هاب عرضه بحث کرده‌اند، می‌توان به پژوهش‌های وانگ و همکاران^۱ (۲۰۱۰)، گوی و ما^۲ (۲۰۱۰)، لی و همکاران^۳ (۲۰۱۱)، ما و گنگ^۴ (۲۰۰۹)، شاه و گاه^۵ (۲۰۰۶)، ژنگ‌گو و همکاران^۶ (۲۰۱۰)، یو و ما^۷ (۲۰۱۰) و شانگ‌یان و همکاران^۸ (۲۰۱۳)، اشاره کرد. برای مثال، شاه و گاه (۲۰۰۶)، مدلی با یک تأمین‌کننده، یک هاب تأمین و یک تک‌محصول تحت شرایط قطعیت تقاضا را در نظر گرفته و تأثیر پارامترهای سیاست عملیاتی بر رفتار تأمین‌کننده را مطالعه کردند. آن‌ها همچنین یک رویکرد سلسله‌مراتبی ساختاریافته توانمند از حمایت مدیران هاب تأمین در دستیابی به تعادل بین الگوهای مختلف در زنجیره تأمین ارائه کردند [۳۳].

ما و گنگ (۲۰۰۹)، دو مدل تصمیم‌گیری تعاملی برای یک هاب تأمین، با و بدون در نظر گرفتن تطبیق اندازه بسته‌ها برای توزیع بین تأمین‌کنندگان، توسعه دادند. آن‌ها نشان دادند که با تطبیق اندازه بسته‌ها برای توزیع، هزینه‌های آماده‌سازی و لجستیک به میزان زیادی کاهش خواهد یافت [۱۸]. گوی و ما (۲۰۱۰)، دو استراتژی تجدید تدارکات از چند تأمین‌کننده به هاب تأمین را در نظر گرفتند: یکی مخصوص به خود و یکی با استفاده از مسئله شیرفروش^۹. آن‌ها با استفاده از رویکردهای تحلیلی، حالاتی را که یکی از دو مد اشاره شده بر دیگری برتری دارد را استنتاج کردند [۱۲]. ژنگ‌گو و همکاران (۲۰۱۰)، مزایای مد عملیاتی هاب تأمین را مبتنی بر لجستیک 3PL بررسی کردند و در حالت سنتی تجدید تدارکات و استفاده از مدل شیرفروش در هاب تأمین بحث کردند. آن‌ها با معرفی جریمه‌ای در مدل به‌عنوان هزینه موجودی، دو مدل بهینه‌سازی هزینه در زنجیره تأمین برای دو مد تجدید تدارکات ارائه دادند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که تشریک‌مسابی در تجدید تدارکات تحت استفاده از هاب عرضه می‌تواند به حصول زمان بهینه تجدید تدارکات برای کلیه تأمین‌کنندگان منجر شود و کل هزینه‌های زنجیره تأمین را کاهش دهد. تحت شرایط مشابه، استفاده از مدل تجدید تدارکات با به‌کارگیری مدل شیرفروش می‌تواند کاهش بیشتری نسبت به حالت سنتی ایجاد کند [۳۷]. می و ژانگ^{۱۰} (۲۰۱۱)، مقایسه‌ای بین موجودی هاب تأمین و استفاده از VMI را در یک سیستم عرضه‌گرا^{۱۱} انجام دادند. آن‌ها ابتدا سیستم عرضه‌گرا را معرفی کرده و سپس مدلی با یک محصول و دو قطعه مختلف ارائه کردند؛ همچنین از دو سیاست تأمین برای تحلیل مدل خود بهره گرفتند.

3. Wang, et al.

1. Gui & Ma

2. Li, et al.

3. Ma & Gong

4. Shah & Goh

5. Zhengguo, et al.

6. Yu & Ma

7. Shuang-yan, et al.

9. Milk-run

10. Mei & Zhang

11. Supply Driven

نتایج پژوهش آن‌ها روشن ساخت که کمبود موجودی با وجود هاب عرضه تحت شرایط عادی، کاهش می‌یابد؛ همچنین هزینه نگهداری موجودی و هزینه کل سیستم زمانی که توزیع تقاضا تحت شرایط و سیاست‌های مختلف برآورده شود، در حالت وجود هاب عرضه نسبت به وجود VMI کمتر است.

لی و همکاران^۱ (۲۰۱۴)، یک مدل زمان‌بندی تعاملی در سیستم مونتاژ ارائه کردند که در آن، چندین تأمین‌کننده باید اجزا و قطعات را تحت استفاده از هاب تأمین به چندین تولیدکننده تحویل دهند. در این راستا آن‌ها دو سناریوی مختلف برای آزمایش اثر هاب تأمین توسعه دادند: یکی اینکه تأمین‌کنندگان و تولیدکنندگان تصمیمات خود را به‌صورت جداگانه اتخاذ کنند و حالت دیگر اینکه هاب تأمین تحت یک زمان‌بندی همکارانه (تعاونی) به اتخاذ تصمیمات مشترک بپردازد. نتایج پژوهش آن‌ها روشن ساخت که کارایی زمان‌بندی مشترک تحت وجود هاب عرضه نسبت به اتخاذ تصمیمات جداگانه بالاتر است [۱۵]. شانگ‌یان و همکاران^۲ (۲۰۱۳)، بهینه‌سازی تعاملی یک زنجیره تأمین دومرحله‌ای را با وجود هاب تأمین برای مونتاژ سازمان‌های تولیدکننده بررسی کردند. آن‌ها فرض کردند از آنجاکه تمامی قطعات تحویل داده‌شده از تأمین‌کنندگان در هاب تأمین جمع می‌شود، کلیه قطعات موردنیاز برای خط تولید، ابتدا انتخاب شده، بسته‌بندی شده و سپس توسط هاب تأمین به تولیدکننده ارسال می‌شود. آن‌ها از نظریه صف و استراتژی موجودی پایه برای مدل کردن این سیستم بهره گرفتند و جواب بهینه را در دو حالت تصمیمات متمرکز و غیرمتمرکز به‌دست آوردند؛ سپس استراتژی موجودی تعاملی را با مقایسه تصمیمات متمرکز و غیرمتمرکز به‌دست آوردند [۲۳].

تاریخچه هاب عرضه در پارک صنعتی. «هاب عرضه در پارک صنعتی» موسوم به SHIP^۳، یک مفهوم توسعه‌یافته از هاب عرضه است که مفهوم آن نخستین بار توسط کیو و همکاران^۴ (۲۰۱۰)، معرفی شد. آن‌ها بیان کردند که می‌توان انبارهای انفرادی هر یک از تولیدکنندگان در شهرک صنعتی را در قالب یک انبار مرکزی موسوم به SHIP ادغام کرد که به کلیه اعضای شهرک خدمات ارائه کند. در قبال چنین کاری انتظار می‌رود که بهره‌گیری از زمین ارتقا یابد و در هزینه‌ها صرفه‌جویی شود. به‌عنوان نخستین پژوهش انجام‌شده درباره SHIP، آن‌ها روی جنبه‌های تحقیقاتی بنیادی مانند چارچوب مفهومی، فرآیند کاری و مزایای بالقوه متمرکز کردند. کیو و هوآنگ^۵ (۲۰۱۱)، مزایای ادغام ظرفیت انبارش که با بهره‌گیری از هاب تأمین میسر

1. Li, et al.

2. Shuang-yan, et al.

3. Supply Hub in Industrial Park

4. Qiu, et al.

5. Qiu & Huang

می‌شود را بررسی کردند؛ چراکه این ادغام ظرفیت انبارش در شرایط عدم قطعیت تقاضا عینیت بیشتری می‌یابد؛ هرچند آن‌ها عدم قطعیت را در نظر نگرفتند. برای این منظور دو مدل ریاضی برای زنجیره تأمین یک پارک صنعتی ارائه دادند؛ با و بدون استفاده از SHIP. نتایج به دست آمده از شبیه‌سازی نشان داد که ادغام ظرفیت انبارش برای کل زنجیره تأمین سودمندتر است، به‌طور مشخص زمانی که الگوی تقاضا به‌طور کامل فصلی بوده یا زودگذر باشد. کیو و هوآنگ (۲۰۱۱)، رابطه تولیدکنندگان و SHIP را به‌منظور بهینه‌کردن تصمیمات قیمت‌گذاری فضای انبارش، برنامه تجدید تدارکات و زمان‌بندی تحویل نشان دادند. برای این منظور از یک استراتژی پویا در قیمت‌گذاری ظرفیت انبارش که به طول دوره انبارش وابسته است، بهره گرفتند [۲۳]. کو و همکاران^۱ (۲۰۱۲)، یک سیستم مبتنی بر RFID برای بسته‌های کوچک و با تناوب زیاد در سیستم مدیریت لجستیک تولید به‌هنگام معرفی کردند [۲۸]. کیو و هوآنگ (۲۰۱۳a)، ارزش حاصل از تجمیع محموله‌ها به‌واسطه استفاده از هاب تأمین را بررسی کردند. در این راستا دو مدل ریاضی پایه در فضای زنجیره تأمین و در یک پارک صنعتی ارائه شد؛ با و بدون در نظر گرفتن هاب تأمین؛ اگرچه که مدل آن‌ها خالی از اشکال نبود. برای حل این دو مدل از الگوریتم ژنتیک^۲ (GA) استفاده شد و سپس نتایج تحلیل حساسیت انجام شده، به‌منظور مقایسه بین این دو سناریو ارائه شد. نتایج محاسباتی آن‌ها نشان داد که به‌واسطه ادغام جابه‌جایی‌ها، SHIP مزایایی را برای کل پارک صنعتی به همراه خواهد داشت؛ همچنین با بهره‌گیری از SHIP، میزان صرفه‌جویی در هزینه‌ها با بزرگ‌تر شدن اندازه زنجیره تأمین، ظرفیت وسیله نقلیه، نرخ هزینه ثابت حمل‌ونقل و هزینه‌های نگهداری محصولات نهایی در محل تولیدکننده نیز افزایش خواهد یافت [۲۴]. کیو و هوآنگ (۲۰۱۳b)، در یک پژوهش مشابه و به‌طور گسترده‌تر نحوه تعامل تولیدکنندگان و هاب تأمین را به‌منظور بهینه‌کردن تصمیمات مربوط به قیمت‌گذاری فضای انبارش در هاب، سیاست تجدید تدارکات و زمان‌بندی تحویل، تشریح کردند. آن‌ها از یک استراتژی پویای قیمت‌گذاری فضای انبارش که به طول مدت انبارش کالا در انبار مرکزی وابسته است، بهره گرفتند [۲۵]. در یک پژوهش مشابه دیگر، کیو و همکاران^۳ (۲۰۱۵)، همین نحوه تعامل بین تولیدکنندگان و هاب تأمین را به‌منظور بهینه‌کردن تصمیمات اشاره شده در پژوهش کیو و هوآنگ (۲۰۱۳b)، بررسی نمودند [۲۶].

اخیراً با توجه به پیشرفت زیاد کالاهای صنعتی برای برآوردن تقاضای فزاینده مشتریان، توسعه فناوری و در نتیجه آلودگی روزافزون منابع طبیعی، باعث شده است تا بسیاری از

1. Qu, et al.

2. Genetic Algorithm (GA)

3. Qiu, et al.

پژوهشگران به بررسی ترکیب‌های ارکان مختلف پایداری از جمله اجتماعی - اقتصادی، اقتصادی - زیست‌محیطی و اجتماعی - محیطی پردازند [۲۹].

وفایی‌نژاد و همکاران (۲۰۱۹)، یک مدل بهینه‌سازی چندهدفه شامل شش هدف را برای سه محور اصلی زنجیره تأمین پایدار در صنعت کاغذ با استفاده از یک رویکرد توسعه‌یافته مبتنی بر تکنیک اپسیلون - محدودیت بررسی کردند [۳۶]. گودرزبان و همکاران (۲۰۲۰)، یک شبکه زنجیره تأمین دارویی را با چندین محصول مورد مطالعه قرار دادند و مازول‌های سفارش، تولید و توزیع را در مدل پیشنهادی خود در نظر گرفتند. آن‌ها برای حل این مسئله، یک مدل برنامه‌ریزی غیرخطی عدد صحیح مختلط (MINLP) پیشنهاد کردند و سپس یک روش برنامه‌ریزی فازی استوار برای مدیریت عدم قطعیت پارامترها پیشنهاد دادند [۱۱]. پاتیل و همکاران (۲۰۲۱)، در بررسی زنجیره تأمین محصولات پزشکی و دارویی، سعی کردند از طریق شناسایی ۲۰ مانع احتمالی برای رسیدن به پایداری، پذیرش پایداری را در زنجیره تأمین بشردوستانه ساده کنند و این موارد را در شش دسته مختلف طبقه‌بندی کردند [۲۲]. سیف برقی (۲۰۲۲)، مسئله زنجیره تأمین حلقه‌بسته شامل سایت‌های بازسازی، جداسازی، تولید و دفع را در قالب یک مدل ترکیبی سه‌مرحله‌ای برای ارزیابی تأمین‌کنندگان و با لحاظ کردن مفهوم کمبود و در نظرگیری المان‌های پایداری بررسی کرد [۳۱]. علم و همکاران (۲۰۲۱)، از طریق کاوش و بررسی در برنامه‌ریزی زنجیره تأمین واکسن کووید-۱۹، بینش‌هایی را برای اهداف توسعه پایدار ارائه کردند. آن‌ها تکنیک تصمیم‌گیری آزمایشی و ارزیابی آزمایشگاهی، موسوم به دیماتل را با مجموعه‌های فازی شهودی ترکیب کردند تا چالش‌های کلیدی زنجیره تأمین واکسن کووید-۱۹ را کشف کنند که نتایج بررسی و پژوهش‌های آن‌ها به شناسایی ۱۵ چالش منجر شد [۳]. فاطمی و همکاران (۲۰۲۲)، با در نظر گرفتن صنعت دارو، یک مدل بهینه‌سازی چندهدفه برای زنجیره تأمین این حوزه پیشنهاد کردند. آن‌ها در مدل پیشنهادی خود، بخش‌های برآورده‌نشده تقاضاها، کل هزینه‌های تحمیل‌شده به سیستم مورد نظر و همچنین زمان انتظار مشتریان را نیز در نظر گرفتند [۸]. گری و همکاران (۲۰۲۲)، تکنیکی را برای ارزیابی محورهای مختلف پایداری در زنجیره تأمین از تأمین‌کنندگان مواد خام گرفته تا خریداران و ارائه‌دهندگان لجستیک معکوس توسعه دادند. آن‌ها با استفاده از ارزیابی متخصصان حوزه و همچنین تحلیل محتوا و استفاده از تکنیک تاپسیس فازی، روش جدیدی را برای کمی‌کردن عملکرد پایداری زنجیره تأمین در نظر گرفته‌شده پیشنهاد کردند [۲۷].

شکاف پژوهشی. با توجه به بررسی مقاله‌های منتشرشده در مبانی نظری موضوع، به نظر می‌رسد موارد زیر در زمره مواردی است که می‌توان به‌عنوان شکاف موجود در مبانی نظری از آن یاد کرد که در این مقاله پژوهش در پوشش و اعمال آن‌ها شده است:

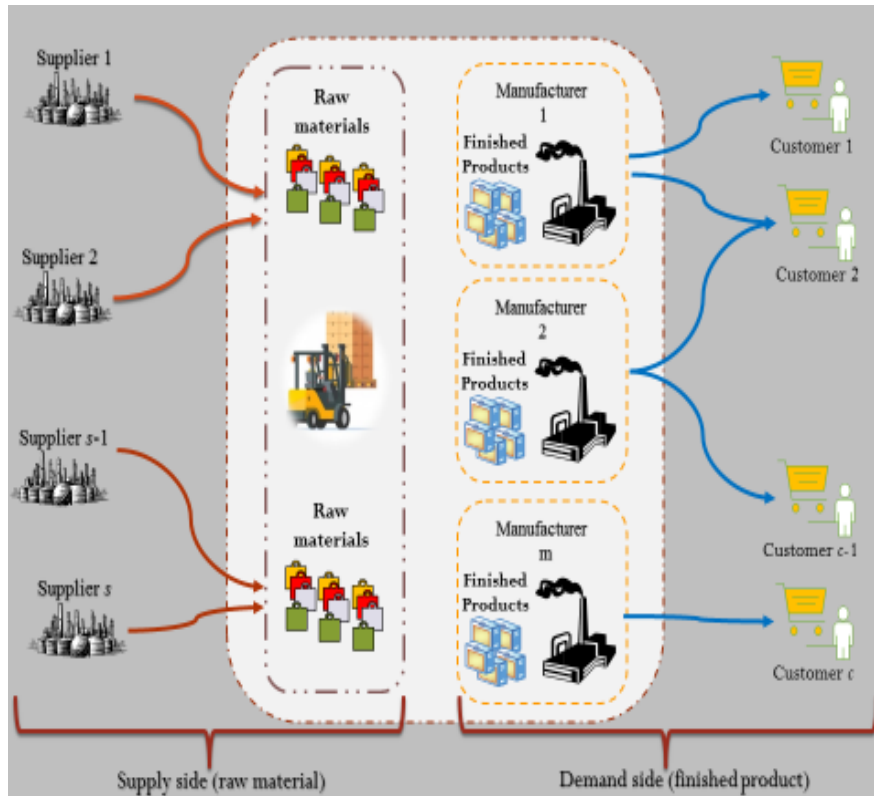
۳. روش‌شناسی پژوهش

کمبود زمین برای ساخت انبار و فضای انبارش در شهرک‌های صنعتی یکی از مسائلی است که همواره مورد توجه است. این موضوع با افزایش نرخ تولید و قیمت زمین، به مراتب غامض‌تر نیز می‌شود. نگرانی در خصوص تملک اراضی به‌عنوان یکی از بزرگ‌ترین موانع در رشد آتی خوشه‌های صنعتی عنوان شده است [۶]؛ در نتیجه یافتن رویکردهای مناسبی که در ارتقای استفاده از زمین در شهرک‌های صنعتی مؤثر باشد، در دستور کار است. در این پژوهش، ارتباط بین زنجیره تأمین شهرک‌های صنعتی و مجموعه‌ای از شرکت‌های کوچک و متوسط^۱ (SMEs) که در نقش تولیدکنندگان یک مجموعه صنعتی ایفای نقش می‌کنند، از منظر ریاضی و با رویکرد پایداری بررسی شده است. به‌طور مشخص، بهینه‌کردن تعاملات شرکت‌ها و کارخانه‌های متعلق به یک هلدینگ دارویی از اهداف اصلی این پژوهش است. زنجیره تأمین بررسی شده در این پژوهش شامل چندین تأمین‌کننده، یک «هاب تأمین» برای ذخیره‌سازی مواد خام و چندین کارخانه در قالب مجموعه تولیدکنندگان است که در مجاورت یکدیگر در یک شهرک/خوشه صنعتی مشغول فعالیت هستند.

تأمین‌کنندگان بعضاً در فواصل مختلفی از این شهرک صنعتی قرار دارند و ممکن است فاصله کمی نیز داشته باشند. تولیدکنندگان این هلدینگ دارویی، مواد خام مورد نیاز خود را در هاب تأمین انبار می‌کنند که در نزدیکی آن‌ها قرار دارد. اداره و مدیریت این هاب به‌وسیله یک تأمین‌کننده ثالث تسهیلات لجستیکی^۲ موسوم به 3PL انجام می‌شود. معمولاً تغییر مالکیت مواد خام تنها زمانی صورت می‌پذیرد که کالاها به‌طور فیزیکی به خط تولید وارد شده یا از هاب خارج می‌شوند. در این زنجیره تأمین، کلیه فعالیت‌های لجستیکی از جمله حمل‌ونقل مواد خام به‌وسیله خود 3PL مدیریت و انجام می‌شود. با توجه به نزدیکی هاب و مجموعه تولیدکنندگان، هزینه حمل‌ونقل بین آن‌ها معمولاً ناچیز است که از آن صرف‌نظر می‌شود.

1. Small and medium enterprises (SMEs)

2. Third-party logistics provider



شکل ۲. نمایی شماتیک از موقعیت هاب تأمین در شهرک صنعتی و روابط آن با تأمین‌کنندگان

سفارش در ابتدا از سمت مشتری به مجموعه هلدینگ و سپس تولیدکنندگان واصل می‌شود و هر تولیدکننده یک نسخه از چنین سفارشی را به 3PL ارسال می‌کند. مواد خام توسط 3PL از تأمین‌کنندگان به هاب حمل‌شده (کلیه حمل‌ونقل‌های داخلی و خارجی توسط 3PL صورت می‌گیرد) و سپس بر اساس نیازمندی تولید هر یک از تولیدکنندگان، به آن‌ها تحویل داده می‌شود. همان‌طور که پیش‌تر اشاره شد، به دلیل فاصله نزدیک هاب به مجموعه تولیدکنندگان، هزینه حمل‌ونقل بین آن‌ها ناچیز در نظر گرفته شده است؛ هرچند به دلیل پیچیده بودن محاسبه برخی از اجزای حمل‌ونقل در واقعیت عموماً کار دشواری است که در بسیاری از پژوهش‌ها، فواصل کوتاه مانند آنچه در این پژوهش در نظر گرفته شده را ناچیز پنداشته می‌شود و عملاً با این اقدام، گامی در جهت ساده‌تر شدن مدل‌سازی و سپس حل یک مسئله واقعی برمی‌دارند. تولیدکنندگان به‌عنوان تصمیم‌گیرندگان اصلی این زنجیره، تصمیمات تولید خود را با 3PL هماهنگ می‌کنند؛ به عبارت بهتر، با توجه به ذخیره‌سازی مواد خام تمام تولیدکنندگان در یک انبار مشترک، 3PL به هر کدام از تولیدکنندگان حداکثر فضای ممکن انبارش را برای این

انبارش اختصاص می‌دهد. بر اساس مقدار فضای تخصیص داده شده به هر تولیدکننده و همچنین با توجه به مقدار سفارشی که هر مشتری در هر دوره دارد، هر یک از تولیدکنندگان تصمیم می‌گیرد که چه مقدار محصول در هر دوره تولید کند؛ به طوری که نیاز مشتریانش تأمین شده و با حداقل کمبود مواجه شود. با هماهنگی بین تولیدکنندگان و 3PL، درحقیقت نوعی اشتراک اطلاعات در زنجیره صورت می‌گیرد که باعث افزایش کارایی مجموعه می‌شود؛ سپس هر تولیدکننده پس از انجام بررسی‌های ذکر شده و به محض وصول مواد خام، اقدام به تولید محصول موردنظر می‌کند.

شکل ۲، نمایی شماتیک از تعامل موجود بین تأمین‌کنندگان این هلدینگ و مجموعه تولیدکنندگان را نشان می‌دهد. بدیهی است که هر تولیدکننده نیز ظرفیت تولید محدودی دارد و پس از تولید محصولات خود در هر دوره، تمامی محصولات را در انبار خصوصی خود انبار می‌کند. همان‌طور که پیش‌تر اشاره شد، کلیه مواد خام متعلق به تمامی تولیدکنندگان در هاب تأمین به‌طور هم‌زمان نگهداری می‌شوند و با توجه به محدودیت فضای انبارش، بدیهی است که رقابتی بین مواد خام متعلق به هر تولیدکننده درخواهد گرفت. هر تأمین‌کننده تنها یک نوع ماده خام و هر تولیدکننده تنها یک نوع محصول نهایی را می‌تواند به ترتیب تأمین و یا تولید کند. به دلیل محدودیت ظرفیت وسایل نقلیه و فضای انبارش در هاب تأمین و همین‌طور انبارهای خصوصی هر یک از تولیدکنندگان، احتمال رخداد کمبود صفر نیست؛ ولی در صورتی که کمبود رخ دهد، به صورت پس‌افت است و در انتهای دوره آخر باید کلیه تقاضاها برآورده شوند.

مفروضات اساسی مسئله

- یک شهرک یا هلدینگ صنعتی شامل چندین تأمین‌کننده، چندین تولیدکننده، چندین مشتری و یک هاب تأمین است؛ به طوری که مجموعه تولیدکنندگان و هاب تأمین به لحاظ موقعیت جغرافیایی در نزدیکی یکدیگر قرار دارند؛
- تقاضای مشتریان در هر دوره مستقل و مشخص است؛
- ظرفیت تولید در هر دوره عملاً محدود است؛ زیرا در شرایط واقعی، تولیدکنندگان دارو با محدودیت‌های چالش‌برانگیزی در تأمین مواد اولیه، ماشین‌آلات تولیدی و تعمیر و نگهداری تجهیزات و کارگران و تکنسین‌های ماهر مواجه هستند؛
- هر تولیدکننده اطلاعات کاملی درباره تقاضایی که در آینده با آن مواجه خواهد شد، دارد؛ به عبارت بهتر، تقاضا حالت قطعی دارد؛
- ظرفیت هاب تأمین محدود است؛

- مجموعه‌ای از وسایل نقلیه و حمل‌ونقل‌های آن‌ها، هاب تأمین و تجهیزات آن به همراه نیازهای لجستیکی تولیدکنندگان و تعاملات بین نهادهای مستقر در شهرک صنعتی توسط 3PL مدیریت می‌شود؛
- کلیه مواد خام فقط در محل هاب انبارش می‌شوند؛
- هیچ مقداری از موجودی مواد خام در مکان تولیدکننده نگهداری نمی‌شود؛
- برای جابه‌جایی مواد خام و محصولات نهایی بین هر دو نهاد از یک وسیله حمل (کامیون) استفاده می‌شود که ظرفیت آن محدود است.
- از آنجا که ممکن است کالا/ کالاهایی در دوره مدنظر، تحویل داده نشوند، کمبود برای تمام اقلام مجاز است؛ اما به صورت پس‌افت؛
- هر تأمین‌کننده تنها یک نوع ماده خام را تأمین و هر تولیدکننده تنها یک نوع محصول نهایی را تولید می‌کند؛
- نرخ تولید هر تولیدکننده به سطح موجودی و میزان تقاضا بستگی دارد و در واقع محدود است؛
- لیدتایم تدارک و تحویل مواد خام به تولیدکننده (به‌واسطه مجاورت هاب و تولیدکنندگان) صفر است.

اندیس‌ها

- t : شاخص دوره زمانی ($t = 1, 2, \dots, T$)
- s : شاخص تأمین‌کننده ماده خام ($s = 1, 2, \dots, S$)
- m : شاخص تولیدکننده ($m = 1, 2, \dots, M$)
- c : شاخص مشتری ($c = 1, 2, \dots, C$)
- u : شاخص وسیله نقلیه (کامیون) ($u = 1, 2, \dots, U$)

پارامترها

- p_s : قیمت هر واحد ماده خام نوع s
- p_m : قیمت هر واحد محصول نهایی نوع m
- $f a_m$: نرخ خطای تولیدکننده m
- k_m : تعداد کارگر موردنیاز برای تولید هر واحد محصول m
- γ_s^H : ضریب اشغال فضای انبارش هاب برای انبارش یک واحد ماده خام نوع s
- γ_s^U : ضریب اشغال فضای انبارش وسیله نقلیه برای انبارش یک واحد ماده خام نوع s
- γ_m^U : ضریب اشغال فضای انبارش وسیله نقلیه برای انبارش یک واحد محصول نهایی نوع m
- $Capur_u$: مقدار ماده خام که وسیله نقلیه نوع u می‌تواند حمل کند.

$Capuf_u$: مقدار محصول نهایی که وسیله نقلیه نوع u می‌تواند حمل کند.
 lw_t : تعداد کارگران بالقوه که در مجاورت شهرک صنعتی زندگی می‌کنند.
 n_{sm} : تعداد ماده خام موردنیاز نوع s برای تولید یک واحد محصول نهایی نوع m
 $CapS_{st}$: ظرفیت تأمین‌کننده s در دوره t
 $CapM_{mt}$: ظرفیت تولیدکننده m در دوره t
 $Crawh_s^u$: هزینه استفاده از وسیله نقلیه نوع u برای حمل ماده خام از تأمین‌کننده s به هاب
 تأمین
 $Cfinh_c^u$: هزینه وسیله نقلیه نوع u برای حمل محصول نهایی از هاب به مشتری c
 $Cfin_{mc}^u$: هزینه وسیله نقلیه نوع u برای حمل محصول نهایی از تولیدکننده m به مشتری c
 OC_{mt} : هزینه سفارش‌گذاری محصول m در دوره t
 FPC_{mt} : هزینه ثابت تولید محصول نوع m در دوره t
 BC_{mct} : هزینه کمبود محصول نوع m برای مشتری c در دوره t
 D_{mct} : تقاضای مشتری c از محصول نوع m در دوره t
 i : درصد هزینه نگهداری از قیمت محصول نهایی انبارشده در هاب
 $CapH$: ظرفیت انبارش هاب تأمین
 $CapwM_m$: ظرفیت انبارش تولیدکننده m
 h : هزینه عملیاتی نگهداری هر واحد ماده خام یا محصول نهایی
 C : هزینه معدوم کردن هر واحد از محصولات نهایی ضایعاتی
 B : هزینه اخراج یک کارگر از شهرک صنعتی یا استخدام یک کارگر از خارج شهرک صنعتی

متغیرهای تصمیم

w_{mt} : اگر تولیدکننده m در دوره t اقدام به تولید محصول از نوع m کند، ۱؛ در غیر این صورت
 صفر
 NSH_{st}^u : تعداد وسیله نقلیه نوع u که در دوره t ماده خام نوع s را به هاب تأمین حمل می‌کنند.
 NMC_{mct}^u : تعداد وسیله نقلیه نوع u که در دوره t محصول نهایی نوع m را به مشتری c حمل
 می‌کنند.
 $Back_{mct}$: میزان کمبود محصول نهایی نوع m متعلق به مشتری c در دوره t
 $InvSH_{st}$: میزان ماده خام نوع s که در انتهای دوره t در هاب تأمین انبار شده است.

$Inv m H_{mt}$: میزان محصول نهایی نوع m که در انتهای دوره t در هاب تأمین انبار شده است.

$Inv m M_{mt}$: میزان محصول نهایی نوع m که در انتهای دوره t در تولیدکننده m انبار شده است.

$Q S_{st}$: حجم ماده خام نوع s در دوره t که برای تولید یک واحد محصول نهایی لازم است.

$Q P_{mt}$: میزان محصول نهایی نوع m تولیدشده در دوره t

$Q S T_{smt}$: میزان ماده خام نوع s انبارشده در هاب که به تولیدکننده m در دوره t تحویل می‌شود.

$Q P T_{mct}$: میزان محصول نهایی نوع m که به مشتری c در دوره t تحویل می‌شود.

$Q P M_{mt}$: میزان محصول نهایی نوع m در انتهای دوره t

$N E_{mt}$: تعداد کارگرانی که در دوره t در تولیدکننده m مشغول کار هستند.

$E M_{mt}$: تعداد کارگرانی که در دوره t در تولیدکننده m استخدام می‌شوند.

$E X_{mt}$: تعداد کارگرانی که در دوره t از تولیدکننده m اخراج می‌شوند.

$E T_{mm't}$: تعداد کارگرانی که در دوره t از تولیدکننده m به تولیدکننده m' منتقل می‌شوند.

مدل ریاضی تأمین-توزیع پایدار با وجود هاب تأمین

$$L_1 = \sum_t \sum_m O C_{mt} w_{mt} \quad (۱)$$

$$L_2 = \sum_t \sum_u \sum_s N s H_{st}^u C r a w h_s^u \quad (۲)$$

$$L_3 = \sum_t \sum_u \sum_m \sum_c N M C_{mct}^u C f i n h_c^u \quad (۳)$$

$$L_4 = \sum_t \sum_s i p_s I n v s H_{st} \quad (۴)$$

$$L_5 = \sum_t \sum_m i p_m I n v m H_{mt} \quad (۵)$$

$$L_6 = \sum_t \sum_m \sum_c B C_{mct} B a c k_{mct} \quad (۶)$$

$$L_7 = \sum_t \sum_s h. InvsH_{st} + \sum_t \sum_m h. InvmH_{mt} \quad (7)$$

$$L_8 = \sum_t \sum_m \frac{fa_m}{1 - fa_m} QP_{mt} * C \quad (8)$$

$$L_9 = \sum_t \sum_m (EM_{mt} + EX_{mt}) * B \quad (9)$$

$$\min z = L_1 + L_2 + L_3 + L_4 + L_5 + L_6 + L_7 + L_8 + L_9 \quad (10)$$

تابع هدف شامل ۹ بخش است که در معادلات ۱ تا ۹، آورده شده‌اند و به شرح زیر هستند: معادله ۱، میزان هزینه سفارش‌دهی محصولات را در مجموع دوره‌های زمانی محاسبه می‌کند. در مدل پیشنهادی، به‌منظور ساده‌تر شدن مدل، صرفاً هزینه سفارش‌گذاری محصولات نهایی که توسط مشتریان این سفارش گذاشته می‌شود، در نظر گرفته شده است و از لحاظ‌کردن هزینه سفارش‌گذاری مواد خام به تأمین‌کنندگان (به‌شکل جداگانه) صرف‌نظر شده است؛ چراکه با توجه به یکپارچه‌بودن برنامه‌ریزی در این هلدینگ صنعتی و مطلع‌بودن 3PL از روند جزئیات و سفارش‌ها و به‌عهده‌داشتن مسئولیت حمل‌ونقل‌ها، هزینه سفارش‌گذاری مواد خام به تأمین‌کنندگان در دل هزینه‌های عملیاتی هاب تأمین با مدیریت 3PL در نظر گرفته شده است. معادلات ۲ و ۳، به‌ترتیب هزینه حمل‌ونقل مواد خام و محصولات نهایی را محاسبه می‌کنند. معادلات ۴ و ۵، به‌ترتیب هزینه نگهداری مواد خام و محصولات نهایی را در هاب محاسبه می‌کنند. معادله ۶، هزینه کمبود را برای جمیع محصولات نهایی در طی دوره‌ها تعیین می‌کند. تمامی کمبودهای در نظر گرفته‌شده در این پژوهش از نوع پس‌افت بوده و در نهایت تمامی این کمبودها در انتهای دوره آخر باید برآورده شوند. معادله ۷، نحوه محاسبه هزینه عملیاتی نگهداری مواد خام و محصولات نهایی را نشان می‌دهد. با توجه به اینکه مدل ریاضی پیشنهادی در حالت «پایدار» توسعه داده شده است، بنابراین معادله ۸، تعداد کل محصولات ضایعاتی را به‌ازای جمیع تولیدکنندگان محاسبه می‌کند. در راستای بحث پایداری و از منظر حفظ ثبات کاری کارکنان، معادله ۹، تلاش می‌کند تا تعداد کل کارگرانی که اخراج می‌شوند و یا بین دو تولیدکننده جابه‌جا می‌شوند را کمینه کند.

$$\sum_s \gamma_s^H \cdot InvsH_{st-1} + \sum_s \gamma_s^H \cdot QS_{st} - \sum_s \sum_m \gamma_s^H \cdot QST_{smt} \leq CapH \quad \forall t \quad (11)$$

نامعادله ۱۱، متعلق به محدودیت ظرفیت هاب تأمین است؛ به طوری که مجموع میزان مواد خام به‌جامانده از دوره قبل به‌علاوه مجموع مواد خام وارد شده به هاب در دوره جاری منهای آنچه از مواد خام صرف تولید محصولات نهایی شده است، باید از ظرفیت هاب کمتر باشد.

$$QP_{mt} \leq CapM_{mt}w_{mt} \quad \forall m, t \quad (12)$$

$$\sum_m QST_{smt} \leq CapS_{st} \quad \forall s, t \quad (13)$$

محدودیت‌های ۱۲ و ۱۳، به ترتیب محدودیت ظرفیت هر تولیدکننده و هر تأمین‌کننده را نشان می‌دهد. به بیان بهتر نامعادله ۱۲، نشان می‌دهد میزان محصول تولید شده در هر دوره توسط هر تولیدکننده نباید از ظرفیت آن تولیدکننده در آن دوره تجاوز کند؛ همچنین به‌طور مشابه، محدودیت ۱۳، نشان می‌دهد که مجموع مواد خام ارسال شده از هر تأمین‌کننده در هر دوره به تولیدکنندگان، نباید از ظرفیت آن تأمین‌کننده تجاوز کند.

$$InvSH_{st} = InvSH_{st-1} + QS_{st} - \sum_m QST_{smt} \quad \forall s, t \quad (14)$$

محدودیت ۱۴، به بالانس مواد خام در هاب تأمین اشاره دارد و نشان می‌دهد که مجموع آنچه از مواد خام در انتهای دوره جاری در هاب باقی می‌ماند، باید با مقدار مواد خام باقیمانده از دوره قبل به‌علاوه آنچه در این دوره وارد هاب شده است، منهای آنچه از مواد خام برای تولید محصولات نهایی استفاده شده و در واقع از هاب خارج شده است، برابر باشد.

$$\gamma_s^U QS_{st} \leq \sum_u NsH_{st}^u Capu_r \quad \forall s, t \quad (15)$$

$$\sum_m \gamma_m^U \cdot QPT_{mct} \leq \sum_u NMC_{mct}^u Capu_f \quad \forall c, t \quad (16)$$

محدودیت‌های ۱۵ و ۱۶، به ترتیب محدودیت وسایل نقلیه (کامیون) برای حمل مواد خام و محصولات نهایی را نشان می‌دهند.

$$D_{mct} + Back_{mct-1} = QPT_{mct} + Back_{mct} \quad \forall c, m, t \quad (17)$$

$$D_{mct} + Back_{mct-1} = QPT_{mct} \quad \forall c, m \quad (18)$$

محدودیت‌های ۱۷ و ۱۸، بالانس موجودی هاب و میزان کمبود حاصل را نشان می‌دهند؛ به طوری که محدودیت ۱۷، نشان می‌دهد که مقدار تقاضای هر دوره به علاوه مقدار کمبود به‌جامانده از دوره قبل باید با مقدار محصول ارسال شده به مشتری، به علاوه مقداری که دچار کمبود می‌شود، برابر باشد. محدودیت ۱۸، نیز مدل را وادار می‌کند که تمامی کمبود حادث شده در طی ادوار مختلف را در دوره نهایی پوشش دهد و برآورده کند.

$$lw_t \geq \left(\sum_m k_m QP_{mt} \right) \quad \forall t \quad (19)$$

$$NE_{mt} \geq k_m QP_{mt} \quad \forall t \quad (20)$$

محدودیت ۱۹، اجبار می‌کند که تعداد کارگران بالقوه که نزدیک کارخانه‌های هلدینگ در شهرک صنعتی زندگی می‌کنند، حداقل به اندازه کل کارگر موردنیاز برای تولید در مجموعه کارخانه‌ها باشند. در همین راستا، محدودیت ۲۰، تضمین می‌کند که هر کارخانه، حداقل تعداد کارگر موردنیاز برای تولید محصولات (داروهای) موردنیاز برنامه‌ریزی شده خود را دارا است.

$$NE_{mt} = NE_{mt-1} + EM_{mt} - EX_{mt} + \sum_{m \neq m'} ET_{m't} - \sum_{m \neq m'} ET_{mm't} \quad \forall m, t \quad (21)$$

محدودیت ۲۱، بالانس تعداد کارگران را برقرار می‌کند. این محدودیت نشان می‌دهد که تعداد کارگرانی که در هر دوره در هر تولیدکننده (کارخانه) مشغول کار هستند، با تعداد کارگرانی که در آن کارخانه از دوره قبل مشغول به کار بوده‌اند، به علاوه تعداد کارگرانی که در دوره جاری استخدام شده‌اند یا از کارخانه دیگر به این کارخانه منتقل شده‌اند، منهای تعداد کارگرانی که در این دوره اخراج شده یا به کارخانه دیگر منتقل شده‌اند باید برابر باشد.

$$QS_{st}, QP_{mt}, QST_{smt}, QPT_{mct}, Back_{mct}, InvsH_{st}, InvmH_{mt} \geq 0 \quad (22)$$

$$w_{mt} \in \{0,1\} \quad \forall s, m, c, t$$

محدودیت ۲۲، نوع و جنس متغیرهای تصمیم به کارگرفته شده در مدل پیشنهادی را نشان می‌دهد.

رویکرد حل. مدل پیشنهادی توسعه داده شده در نرم‌افزار گمز^۱ کد شده و توسط سی‌پلکس^۲ که برای حل مسائلی با اندازه بزرگ و پیچیده طراحی شده است، حل شده است. برای مسائلی که دارای متغیرهای عدد صحیح هستند، سی‌پلکس از الگوریتم شاخه و برش^۳ به وسیله حل یکسری از مسائل برنامه‌ریزی خطی و زیرمسئله‌ها برای حل آن استفاده می‌کند. از آنجاکه یک مسئله برنامه‌ریزی خطی آمیخته تعداد زیادی زیرمسئله تولید می‌کند، حتی در ابعاد کوچک نیز نیاز به حافظه زیاد برای انجام محاسبات حجیم دارد. الگوریتم شاخه و برش، یک تکنیک بهینه‌سازی ترکیباتی است که قادر است مسائل برنامه‌ریزی عدد صحیح خطی را به خوبی حل کند. الگوریتم شاخه و برش در ساختار خود از الگوریتم شاخه و کران^۴ و همین‌طور از صفحات برشی به منظور کوچک کردن فضای برنامه‌ریزی خطی آزاد شده استفاده می‌کند. اگر برش‌ها تنها برای تنگ‌تر کردن فضای مسئله برنامه‌ریزی خطی آزاد شده اولیه استفاده شوند، این الگوریتم «شاخه و برش» نامیده می‌شود. شبه‌کد الگوریتم «شاخه و برش» در شکل ۳، نشان داده شده است.

۱. مسئله ILP اولیه را با مسئله L (فهرست مسائل فعال) تجمیع کنید.
 ۲. قرار دهید: خالی $x^* = -\infty$ و $v^* = \infty$.
 ۳. تازمانی که L خالی نیست:
 الف) یک مسئله از لیست L انتخاب و حذف کنید.
 ب) مسئله آزاد شده LP آنرا حل کنید.
 ج) اگر جواب ناموجه است، به گام ۳ برگردید (حلقه تکرار); در غیر این صورت، آن جواب را x نامیده و مقدار تابع هدف آن را v بنامید.
 د) اگر $v \leq v^*$ ، به گام ۳ برگردید.
 ه) اگر x عدد صحیح است، قرار دهید $x \leftarrow x^*$ ، $v \leftarrow v^*$ و به گام ۳ برگردید.
 و) اگر جواب مطلوب است، آن صفحات برشی که توسط جواب x نقض شده‌اند را جست‌وجو کنید. اگر صفحه‌ای پیدا شد، آن را به مسئله آزاد شده اضافه کنید و به زیربخش (ب) در بخش ۳ برگردید.
 ز) روی مسئله آزاد شده شاخه زده تا آن را به چند زیرمسئله با نواحی موجه محدود شده تقسیم کنید. این مسائل را به L افزوده و به گام ۳ برگردید.
 ۴. مقدار x^* را گزارش کنید.

شکل ۳. شبه‌کد عمومی الگوریتم شاخه و برش /۹/

1. GAMS
2. CPLEX
3. Branch & cut
4. Branch & bound (B&B)

مدل پیشنهادشده برای مسئله تحت بررسی در این پژوهش طوری است که اگرچه در مدل‌سازی اولیه بیشتر متغیرهای تصمیم مسئله به شکل پیوسته در نظر گرفته شده‌اند، اما در عمل به واسطه جنس مسئله و نوع تعریف متغیرها، حالت ایده‌آل، در نظر گرفتن آن‌ها به شکل عدد صحیح است. در حقیقت جنس مدل ارائه‌شده از نوع برنامه‌ریزی عدد صحیح آمیخته است؛ منتها از آنجاکه حل مسائل عدد صحیح، آن‌هم با وجود تعداد زیاد متغیر، امری دشوار و بسیار زمان‌بر است، تلاش شده تا با استفاده از رویکرد ابتکاری پیشنهادشده در این پژوهش، حل چنین مسئله‌ای به مراتب ساده‌تر شود و زمان محاسباتی موردنیاز کاهش یابد. مبنای اولیه شکل‌گیری روش ابتکاری پیشنهادی بر اساس تکنیک رندکردن و رویکرد آزادسازی است؛ یعنی حل برنامه‌ریزی خطی آزادشده حاصل از یک برنامه عدد صحیح و سپس تبدیل جواب کسری به دست‌آمده از آن به یک جواب عدد صحیح. در این راستا تعدادی مسئله نمونه که مبتنی بر آمار اخذشده از کارشناسان «مجموعه صنعتی درسا دارو» بود، توسط نرم‌افزار گمز و توسط این روش ابتکاری پیشنهادی حل شد.

تولید جواب اولیه موجه. با توجه به اینکه ممکن است شرایطی رخ دهد که تعداد زیادی تأمین‌کننده، تولیدکننده، مشتری و دوره‌های زمانی در یک زنجیره تأمین وجود داشته باشد، به منظور کاهش زمان محاسباتی حل این‌گونه مسائل، یک روش ابتکاری برای تولید جواب موجه ابتدایی موسوم به «روش ابتکاری خطی مبتنی بر آزادسازی»^۱ در یک زمان کوتاه در این بخش پیشنهاد شده است. روش پایه در این تکنیک یا روش‌های ابتکاری رندکردن برنامه‌ریزی خطی، حل برنامه‌ریزی خطی آزادشده حاصل از یک برنامه عدد صحیح و سپس تبدیل جواب کسری به دست‌آمده از آن به یک جواب عدد صحیح است [۹]. چنین روشی با هدف کاهش زمان محاسباتی توسعه داده شده است. جواب ابتدایی تولیدشده شامل متغیرهای صفر و یک، عدد صحیح و پیوسته است. در مدل اصلی ارائه‌شده در این پژوهش که شامل یک هلدینگ صنعتی با هاب تأمین است، تنها متغیر صفر و یک استفاده‌شده در مدل W_{mt} و چهار متغیر عدد صحیح که در این روش پیشنهادی به کار رفته‌اند، NE_{mt} (تعداد کارگرانی که در دوره t در تولیدکننده m مشغول کار هستند)، EM_{mt} (تعداد کارگرانی که در دوره t در تولیدکننده m استخدام می‌شوند)، EX_{mt} (تعداد کارگرانی که در دوره t از تولیدکننده m اخراج می‌شوند) و $ET_{mm't}$ (تعداد کارگرانی که در دوره t از تولیدکننده m به تولیدکننده m' منتقل می‌شوند) هستند و سایر متغیرها پیوسته در نظر گرفته شده‌اند. مراحل روش ابتکاری خطی مبتنی بر آزادسازی در شکل ۴، نشان داده شده است.

1. Linear relaxation-based heuristic

۱	متغیر w_{mt} را آزاد کنید و آن را \bar{w} بنامید؛ مسئله آزاد شده را حل کنید و آن را P_1 بنامید.
۲	اگر $\bar{w}_{mt} \in (0,1)$.
۳	سپس قرار دهید $\bar{w}_{mt} = 1$.
۴	پایان اگر.
۵	اگر $\bar{w}_{mt} = 0$.
۶	سپس قرار دهید $\bar{w}_{mt} = 0$.
۷	پایان اگر.
۸	متغیر NE_{mt} را آزاد کرده و متغیر \bar{w} را در مقدار خود ثابت کنید؛ سپس مسئله آزاد شده را حل کنید و آن را P_2 بنامید.
۹	اگر متغیر NE_{mt} عدد صحیح شد،
۱۰	متغیر EX_{mt} را آزاد کرده و متغیر \bar{NE}_{mt} را در مقدار خودش ثابت کنید؛ سپس مسئله آزاد شده را حل کنید و آن را P_3 بنامید.
۱۱	اگر متغیر EX_{mt} عدد صحیح شد،
۱۲	متغیر \bar{ET}_{mmt} را آزاد کرده و متغیر \bar{EX}_{mt} را در مقدار خودش ثابت کنید؛ سپس مسئله آزاد شده را حل کنید و آن را P_4 بنامید.
۱۳	اگر متغیر ET_{mt} عدد صحیح شد،
۱۴	مقدار متغیر EM_{mt} را از محدودیت شماره ۲۰ محاسبه کنید.
۱۵	در غیر این صورت
۱۶	قرار دهید $\bar{ET}_{mmt} = [ET_{mmt}] + 1$ و مقدار متغیر EM_{mt} را از محدودیت شماره ۲۰، محاسبه کنید.
۱۷	پایان اگر.
۱۸	در غیر این صورت
۱۹	قرار دهید $\bar{EX}_{mt} = [EX_{mt}] + 1$ و به خط ۱۲ بروید.
۲۰	پایان اگر.
۲۱	در غیر این صورت
۲۲	قرار دهید $\bar{NE}_{mt} = [NE_{mt}] + 1$ و به خط ۱۰ بروید.
۲۳	پایان اگر.
۲۴	مقدار متغیرهای $(\bar{w}, \bar{NE}_{mt}, \bar{EX}_{mt}, \bar{EM}_{mt}, \bar{ET}_{mmt})$ را به عنوان جواب موجه مسئله اصلی (P_0) گزارش کنید.
۲۵	مقدار مجموعه S (شامل تمامی متغیرهای پیوسته) را به عنوان جواب موجه اولیه کامل گزارش کنید.

شکل ۴. شبه‌کد روش ابتکاری خطی مبتنی بر آزادسازی برای هلدینگ دارویی

این روش ابتکاری باید در هر دوره اجرا شود؛ به طوری که در گام نخست، تمام متغیرهای صفر و یک w_{mt} باید به شکل یک متغیر پیوسته که روی بازه $[0, 1]$ گسترده شده‌اند \bar{w}_{mt} نامیده می‌شوند) آزادسازی شده و سپس مسئله P_1 حل شود. در اینجا باید خاطرنشان کرد که مسئله P_0 همان مسئله اصلی بوده که هیچ متغیر باینری یا عدد صحیحی در آن آزادسازی نشده است؛ درحالی‌که مسئله P_1 درحقیقت همان مسئله P_0 است که در آن متغیرهای w_{mt} آزاد

شده‌اند. اگر $\bar{w}_{mt} \in (0,1)$ ، آنگاه قرار دهید $\bar{w}_{mt} = 1$ ، در غیر این صورت $\bar{w}_{mt} = 0$. اکنون به منظور حل مسئله P_2 ، از آنجاکه چهار متغیر عدد صحیح در نظر گرفته شده به نام‌های NE_{mt} ، EM_{mt} ، EX_{mt} و $ET_{mm't}$ در این روش ابتکاری وجود دارند، قبل از هر چیز این چهار متغیر باید به متغیرهای پیوسته تبدیل شوند. از طرفی مقادیر مجموعه \bar{w} نیز باید در مقادیرشان ثابت شوند. مسئله P_2 درحقیقت همان مسئله P_0 است که در آن متغیر NE_{mt} آزاد شده و متغیرهای \bar{w} (مقادیر آزاد شده متغیرهای w_{mt}) در مقادیرشان ثابت شده‌اند. اگر مقدار متغیر NE_{mt} صحیح بود، متغیر EX_{mt} را آزاد کنید و آن را مسئله P_3 بنامید. در همین راستا اگر متغیر EX_{mt} صحیح شد، متغیر $\widehat{ET}_{mm't}$ را ضمن ثابت نگه داشتن مقدار متغیر \widehat{EX}_{mt} ، آزاد کرده و مسئله را حل کنید و آن را P_4 بنامید. اگر متغیر صحیح شد، متغیر EM_{mt} را از معادله ۲۰ محاسبه کنید؛ در غیر این صورت (اگر متغیر ET_{mt} عدد صحیح نشد)، $\widehat{ET}_{mm't} = 1 + [\widehat{ET}_{mm't}]$ قرار داده و حال مقدار متغیر EM_{mt} را از معادله ۲۰ محاسبه کنید. محاسبه سایر موارد نیز از روی شکل ۴، قابل پیگیری است. مجموعه $(\widehat{w}, \widehat{NE}_{mt}, \widehat{EX}_{mt}, \widehat{EM}_{mt}, \widehat{ET}_{mm't})$ نمایانگر جواب موجه مسئله اصلی (P_0) خواهد بود. گام‌های تشریح شده باید برای تمامی دوره‌ها تکرار شوند.

۴. تحلیل داده‌ها و یافته‌های پژوهش

در این بخش، نتایج حاصل از پیاده‌سازی رویکرد پیشنهادی روی داده‌های یک نمونه موردی (مجموعه صنعتی درسا دارو) ارائه می‌شود. مدل ارائه شده در نرم‌افزار گمز ۲۴.۱.۲ کد شده و به وسیله سی.پلکس و در پردازنده اینتل با مشخصات ۲۶۶ گیگاهرتز دوهسته‌ای و ۴ گیگابایت حافظه حل شده است. در ادامه توضیحی از جزئیات مطالعه موردی بیان شده و سپس به نتایج حاصل از پیاده‌سازی مسائل پرداخته شده است.

مطالعه موردی. در این پژوهش از اطلاعات «شرکت درسا دارو» بهره گرفته شده و تلاش شده است تا مدل پیشنهادی ریاضی، مطابق با مجموعه محدودیت‌های حاکم بر این مجموعه صنعتی در نظر گرفته شود. «شرکت درسا دارو» (سهامی خاص) در سال ۱۳۷۸ با هدف خدمت به نظام سلامت و تولید داروهای موردنیاز و ضروری کشور با نگرش نوآوری و کیفیت‌محوری به منظور دسترسی پزشکان و بیماران به مهم‌ترین داروهای موردنیاز تأسیس شد.

یکی از بزرگ‌ترین افتخارات این شرکت، حاصل تلاش چندین ساله گروه‌های پژوهشی «شرکت درسا دارو» با همکاری استادان برجسته دانشکده داروسازی دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی و صنایع مرتبط، سنتز ماده اولیه دارویی نیتروگلیسرین و همچنین تولید انبوه قرص پیوسته رهش نیتروگلیسرین با برند دروکانتین® با بسته‌بندی منحصر به فرد بلیستر فویل

آلومینیومی در سال ۱۳۸۸ و همچنین فرآورده دانش‌بنیان یدوفولیک® در سال ۱۳۹۵ است. «شرکت درسا دارو» از معدود شرکت‌های دارویی است که با رعایت اصول و استانداردهای تولید محصولات دارویی موفق به اخذ گواهی GMP در محصولات دارویی (جامدات عمومی - سوسپانسیون پودر خشک) شده است.

هم‌اکنون تعداد محصولات دارویی این شرکت به بیش از ۷۰ قلم در اشکال دارویی قرص، کپسول و پودر برای سوسپانسیون خوراکی رسیده است که با توجه به خطمشی حاکم بر شرکت همچنان رو به افزایش است؛ همچنین «شرکت درسا دارو» در سال ۱۳۹۳ پس از طی مراحل متعدد ارزیابی از سوی معاونت علمی و فناوری ریاست جمهوری به‌عنوان شرکت دانش‌بنیان برگزیده شد.

در این پژوهش تلاش شده است تا از طریق مشورت با کارشناسان مجموعه صنعتی درسا دارو، بیشتر مفروضات در نظر گرفته‌شده در این پژوهش با آنچه در این مطالعه موردی وجود دارد، در تطابق باشد. به بیان بهتر، ابتدا بخش اعظمی از پارامترها از طریق مشورت با خبرگان و کارشناسان مشغول به کار در بخش‌های مختلف این تولیدکنندگان به‌دست آمده‌اند. بخش دیگری از پارامترها نیز از مبانی نظری موضوع استخراج شده است. در خصوص نکات اجرایی نیز در همین راستا باید اشاره کرد که تعیین دقیق پارامترها با توجه به ملاحظات کارخانه‌ها در خصوص هر آیتم صورت پذیرفته است. ذکر این نکته نیز حائز اهمیت است که در خصوص برخی از پارامترها، با توجه به متفاوت بودن مقیاس آن‌ها، فرآیند هم‌بندسازی صورت گرفته است که بتوان از آن‌ها در مدل پیشنهادی استفاده کرد. در مواردی مانند ظرفیت تأمین برای تأمین‌کنندگان یا ظرفیت وسایل حمل که با توجه به بسته‌ها و تعداد آیتم‌هایی از محصولات که در هر بسته جای می‌گیرد، این هم‌بندسازی صورت پذیرفته است.



شکل ۵. تصویر هوایی شماتیک از مجموعه تولیدکنندگان درسا دارو و هاب تأمین تولیدکننده (★) هاب تأمین (■)

تصویر هوایی از هاب تأمین و مجموعه تولیدکنندگان «شرکت درسا دارو» در شهرک صنعتی اشتهارد در شکل ۵، نشان داده شده است. با توجه به این شکل، یک هاب تأمین در نزدیکی مجموعه‌ای از تولیدکنندگان قرار دارد که فاصله آن‌ها قابل‌اغماض است و مجموعه این نهادها در یک شهرک صنعتی واقع شده‌اند.

تمامی مواد خام توسط یک 3PL از تمامی تأمین‌کنندگان جمع‌آوری شده و در هاب تأمین نگهداری می‌شود. به‌علاوه نگهداری موجودی‌ها و تمامی حمل‌ونقل‌ها به عهده 3PL است؛ همچنین مطابق شکل ۵، مجموعه هاب تأمین در کنار ۱۰ تولیدکننده قرار گرفته است که هر یک تک‌محصول تولید می‌کنند. مواد خام موردنیاز این تولیدکنندگان توسط ۸ تأمین‌کننده که بیرون از مجموعه شهرک صنعتی قرار دارند، تأمین می‌شود؛ همچنین محصولات تولیدشده به ۱۵ مشتری در اقصی نقاط کشور ارسال می‌شود. داده‌ها و پارامترهای موردنیاز در جدول ۳، ارائه شده‌اند.

جدول ۳. مقادیر پارامترهای موردنیاز در مطالعه موردی دارویی

پارامتر	مقدار
p_s	1.4,1.5,0.9,1.1,1.5,1.7,1.9,1.4
p_m	1.9,1.6,1.9,1.3,1.6,2.1,1.9,2.2,1.8,1.3
$Capur_u$	[45 ($u = 1$), 90 ($u = 2$), 125 ($u = 3$)]
$Capuf_u$	[60 ($u = 1$), 100 ($u = 2$), 150 ($u = 3$)]
$CapM_{mt}(\forall t)$	110,240,135,110,205,170,165,100,255,120
$D_{mct}(\forall t)$	$c = 1 : (22,14,7,22,22,14,23,30,5,22)$ $c = 2 : (16,10,15,32,27,15,23,21,22,29)$ $c = 3 : (25,15,18,22,20,33,19,22,20,22)$ $c = 4 : (20,19,28,23,19,32,28,21,13,18)$ $c = 5 : (14,13,21,25,22,9,14,19,26,28)$ $c = 6 : (11,31,22,10,22,14,17,29,33,18)$ $c = 7 : (23,15,15,26,23,19,17,20,15,23)$ $c = 8 : (26,22,31,16,16,30,12,12,29,28)$ $c = 9 : (31,20,15,20,22,17,20,30,18,22)$ $c = 10 : (10,20,32,22,14,23,15,19,10,23)$ $c = 11 : (20,15,12,24,11,14,33,12,22,30)$ $c = 12 : (29,19,12,18,22,23,18,32,17,24)$ $c = 13 : (19,15,22,13,19,24,22,16,23,21)$ $c = 14 : (13,12,31,32,20,28,12,33,27,20)$ $c = 15 : (25,17,28,21,15,20,31,12,30,25)$
$CapS_{st}(\forall t)$	210,250,120,540,350,390,750,610
$Crawh_s^u(\forall u)$	1,1.1,1,1.2,1.25,1.2,1.3,1.1
$Craw_{sm}^u(\forall u, m)$	1,1.1,1,1.2,1.25,1.2,1.3,1.1
$Cfinh_c^u(\forall u)$	1.2,1.2,1.1,1.3,1.4,1.3,1.4,1.3
$Cfin_{mc}^u(\forall u, c)$	1.2,1.2,1.1,1.3,1.4,1.3,1.4,1.3

نتایج. به‌منظور نمایش پیاده‌سازی مدل پیشنهادی و همین‌طور روش ابتکاری پیشنهاد شده روی شرایط واقعی هلدینگ دارویی در نظر گرفته شده در این پژوهش، تعدادی مسئله نمونه‌ای با مشخصاتی که در جدول ۴، مشاهده می‌شود، تولید شدند.

سایر پارامترهای مسائل نمونه‌ای پیاده‌سازی شده، از بخش قبل و همین‌طور از طریق مشورت با کارشناسان این مجموعه صنعتی اخذ شده‌اند. همان‌طور که پیش‌تر نیز عنوان شد، تنها متغیر صفر و یک استفاده شده در مدل، W_{mt} بوده که معرف این است که هر تولیدکننده آیا در هر دوره به امر تولید مشغول خواهد شد یا خیر؟

جدول ۴. مشخصات مسائل نمونه‌ای برای آزمایش روش ابتکاری

شماره مسئله	تعداد مشتریان	تعداد تولیدکنندگان	تعداد تأمین‌کنندگان	تعداد دوره‌ها
۱	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰
۲	۳۵	۲۰	۱۰	۵۰
۳	۴۰	۲۵	۱۵	۵۰
۴	۴۵	۳۰	۱۵	۶۰
۵	۵۵	۳۰	۲۰	۶۰
۶	۶۰	۴۰	۲۵	۷۵
۷	۶۰	۴۵	۳۰	۸۰
۸	۷۰	۵۰	۳۵	۸۰
۹	۷۵	۵۰	۴۰	۱۰۰
۱۰	۸۰	۵۰	۴۵	۱۰۰

چهار متغیر عدد صحیح که در این روش پیشنهادی مورد استفاده قرار گرفته‌اند، NE_{mt} (تعداد کارگرانی که در دوره t در تولیدکننده m مشغول کار هستند)، EM_{mt} (تعداد کارگرانی که در دوره t در تولیدکننده m استخدام می‌شوند)، EX_{mt} (تعداد کارگرانی که در دوره t از تولیدکننده m اخراج می‌شوند) و $ET_{mm't}$ (تعداد کارگرانی که در دوره t از تولیدکننده m به تولیدکننده m' منتقل می‌شوند) هستند و سایر متغیرها پیوسته در نظر گرفته شده‌اند. تصمیم‌گیری در خصوص هر یک از این متغیرها امری خطیر تلقی می‌شود.

جدول ۵. مقایسه زمان حل روش ابتکاری و نرم‌افزار گمز

شماره مسئله	زمان CPLEX (ثانیه)	زمان الگوریتم پیشنهادی (ثانیه)	درصد بهبود
۱	۱۲۱۷/۹۷	۸۲۰/۱۲	۴۸/۵۱
۲	۱۶۱۲/۲۶	۹۱۴/۰۸	۷۶/۳۸
۳	۱۹۷۷/۳	۱۰۴۲/۸۴	۸۹/۶۱
۴	۲۴۷۲/۲۱	۱۲۴۲/۳۶	۹۸/۹۹
۵	۲۸۰۵/۶۶	۱۴۶۰/۴۴	۹۲/۱۱
۶	۳۳۴۵/۰۳	۱۴۰۵/۹۲	۱۳۷/۹۲
۷	۳۸۷۶/۲۱	۱۴۴۸/۸۴	۱۶۷/۵۴
۸	۴۲۱۳/۱۷	۱۴۳۲/۶	۱۹۴/۰۹
۹	۵۲۰۷/۶۷	۱۴۷۶/۶۸	۲۵۲/۶۶
۱۰	۵۵۱۵/۳۸	۱۴۰۴/۷۶	۲۹۲/۶۲
متوسط	۳۲۲۴/۲۹	۱۲۶۴/۸۶	۱۵۴/۹

جدول ۵، زمان حل مسائل نمونه‌ای حل شده با استفاده از نرم‌افزار گمز و الگوریتم پیشنهادی را نشان می‌دهد. با توجه به این جدول، در مقیاس‌های مختلف، روش پیشنهادی موفقیت زیادی از منظر زمان حل کسب کرده است؛ به طوری که به طور متوسط، حدود ۱۵۵ درصد کاهش در فرآیند اجرای مسائل حاصل شده است. بر طبق اعداد خروجی جدول ۵، مشاهده می‌شود که رشد درصد بهبود زمان حل، با افزایش اندازه مسئله افزایش بیشتری می‌یابد که این موضوع به نوبه خود نیز حائز اهمیت است و گواه از کارایی مقبول روش پیشنهادی در خصوص مسائل با اندازه واقعی دارد.

نحوه تسهیم سود در تصمیمات متمرکز در زنجیره. در زنجیره تأمین پیشنهادی در این پژوهش، تصمیمات به شکل متمرکز اتخاذ می‌شود و تصمیمی که مجموعه تولیدکنندگان و 3PL اتخاذ می‌کنند باید مورد تأیید تمامی اعضا باشد. از طرف دیگر ممکن است در اثر تصمیمات متمرکز از میزان سود برخی از اعضای زنجیره (در مقایسه با حالتی که هر کدام از تولیدکنندگان تصمیمات تولید خود را به طور مستقل اتخاذ می‌کردند) کاسته شود، چون واضح است که تصمیمات انفرادی، در کوتاه مدت با احتمال زیاد به سودآوری بیشتری برای آن واحد تولیدی منجر خواهد شد؛ از این رو میزان صرفه‌جویی در هزینه‌ها (سود) ناشی از تصمیمات متمرکز در کل زنجیره تأمین، به نسبت میزان سرمایه هر کدام از تولیدکنندگان یا به عبارتی اهمیت نسبی آن‌ها در زنجیره و همچنین میزان سود از دست‌رفته هر یک از آن‌ها بین‌شان توزیع می‌شود.

$$PP_m = \frac{TP_{SCM}}{m+1} \quad (۲۲)$$

رابطه ۲۲، نحوه تعامل تولیدکنندگان و 3PL و چگونگی تسهیم سود مازاد سیستم بین آن‌ها را نشان می‌دهد [۱۸ و ۲۷]. که در آن PP_m سود متناسب با هر تولیدکننده (پس از اتخاذ تصمیمات مشارکتی) و TP_{SCM} کل سود مجموعه اعضای شهرک صنعتی تحت یک زنجیره تأمین مشارکتی متمرکز است. طبیعی است که سود حاصل از تصمیمات مشارکتی بین $m+1$ عضو شهرک شامل m تولیدکننده و 3PL باید توزیع شود.

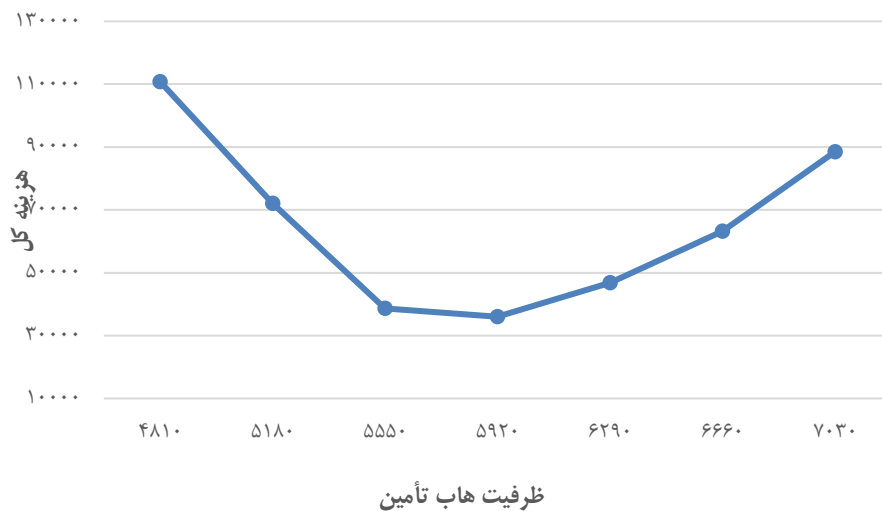
تحلیل حساسیت و یافته‌های مدیریتی. به منظور داشتن دید بهتر نسبت به تأثیر پارامترهای مهم که در مدل‌سازی زنجیره تأمین پایدار این هلدینگ صنعتی وجود دارد، در خصوص هر کدام از محورهای حوزه پایداری، تحلیل حساسیت روی آن‌ها صورت گرفته است؛ به طوری که از منظر اقتصادی، کل هزینه‌های تحمیل شده به سیستم از منظر زیست‌محیطی، میزان داروهای ضایعاتی و معدوم کردن مواد دارویی و از منظر اجتماعی، نرخ استخدام و اخراج، مواردی بوده‌اند که بر روی آن‌ها با یک محوریت یکسان، تحلیل صورت گرفته است. این محوریت یکسان، اندازه ظرفیت هاب تأمین است که تلاش شده است در هر یک از موارد اشاره شده، تحلیل روی تعیین بهینه ظرفیت هاب صورت پذیرد. چنین تحلیلی، یک دید بسیار مؤثر و کارا به مدیران این حوزه خواهد داد، و همین‌طور بستر را برای «برنامه‌ریزی ظرفیت» در خصوص «توسعه محصول» و یا «جایگزینی» محصولات جاری با محصولات جدید فراهم می‌کند.

انجام تحلیل حساسیت در زنجیره تأمین پایدار، آن هم در یک صنعت بسیار حساس و با حاشیه سود بالا مانند صنایع داروسازی، برای مدیران ارشد این مجموعه و سایر صنایع مشابه بسیار جذاب خواهد بود. از طرف دیگر برنامه‌ریزی برای ظرفیت، به خصوص در مقوله انبارش، نیازمند تمهیدات زیادی از جمله فراهم آوردن زیرساخت‌های اساسی شامل تملک زمین، نصب و راه‌اندازی تجهیزات نگهداری و جابه‌جایی و همین‌طور سرمایه درگیر بالا است که با انجام برنامه‌ریزی صحیح می‌توان به گونه‌ای عمل کرد که یا ظرفیت فعلی سیستم (از طریق جایگزینی محصولات جاری با محصولات جدید) حفظ شود و یا راهکاری بهینه برای انجام سرمایه‌گذاری پیدا نمود.

همان‌طور که اشاره شد، روی ظرفیت هاب تأمین در نظر گرفته شده در «مجموعه صنعتی درسا دارو» از سه منظر اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی تحلیل‌هایی صورت گرفته است. شکل ۶ میزان تغییر کل در هزینه‌های سیستم در ازای تغییر اندازه هاب تأمین را نشان می‌دهد. طبق این شکل، با افزایش تدریجی ظرفیت هاب تأمین، میزان کل هزینه‌ها کاهش یا شیب زیادی کاهش

می‌یابد؛ هرچند این کاهش در بازه ۵۵۵۰ تا ۵۹۲۰ تقریباً متوقف می‌شود و سپس مجموع کل هزینه‌ها افزایش می‌یابد. علت این امر را می‌توان موارد زیر عنوان کرد که می‌توانند به‌عنوان یافته‌های عملیاتی و مدیریتی برشمرده شوند:

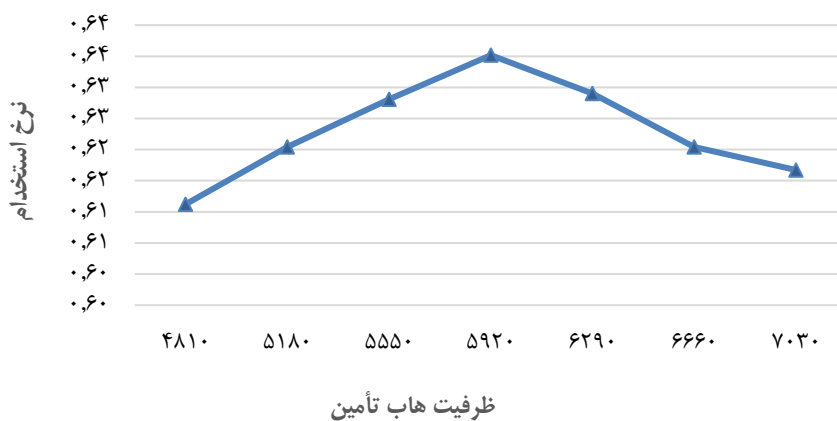
هنگامی که ظرفیت هاب تأمین افزایش می‌یابد، مدل ریاضی ارائه شده تلاش می‌کند از بروز کمبود جلوگیری به‌عمل آورد و به عبارت بهتر، سیستم با کمبود مواجه نشود. به بیان بهتر، وقتی فضای انبارش وجود داشته باشد، تولیدکنندگان رغبت بیشتری برای تولید محصول خود دارند؛ چراکه تولید بیشتر در شکل نوعی، معادل سود بیشتر است و هزینه واحد انبارش در مقیاس بالا، در اصطلاح سرشکن می‌شود و این کار تا جایی که این ظرفیت اجازه تولید محصولات بیشتر دهد، پیش خواهد رفت. پس از رسیدن به ظرفیت بهینه که در آن هزینه‌های کل سیستم در حالت کمینه خود به سر می‌برد، با هر افزایشی در ظرفیت هاب تأمین، با توجه به اینکه از همه این ظرفیت استفاده نخواهد شد، هزینه فرصت ازدست‌رفته در خصوص عدم‌استفاده مؤثر از ظرفیت هاب تأمین افزایش می‌یابد (هزینه‌های آماده‌سازی و نگهداری مواد خام و محصولات نهایی در هاب) و در نتیجه مجموع هزینه‌ها افزایش خواهد یافت.



شکل ۶. نحوه تغییر کل هزینه‌ها در برابر تغییر اندازه هاب تأمین در هلدینگ درسا دارو

با توجه به اینکه یکی از عوامل مهم در نظر گرفته شده در این پژوهش، نرخ استخدام و اخراج توسط تولیدکنندگان مختلف این مجموعه صنعتی است، تحلیلی بر روی نرخ استخدام/ اخراج با توجه به تغییر برنامه ظرفیت انبارش هاب صورت پذیرفته است. همان‌طور که در شکل ۷، مشاهده می‌شود، با افزایش ظرفیت هاب تأمین، تولیدکنندگان، به دلایلی که پیش‌تر تشریح شد،

در مجموع تمایل بیشتری به تولید پیدا می‌کنند و در نتیجه به نیروی انسانی بیشتری نیاز دارند. هرچند باید اشاره کرد که این افزایش تولید، در صورتی رخ خواهد داد که ظرفیت تولید آن‌ها اجازهٔ چنین افزایش را بدهد. با توجه به اینکه بیشتر تولیدکنندگان «مجموعه صنعتی درسا دارو» دارای ظرفیت بالقوه استفاده نشده هستند، چنین امری میسر است. در نتیجه این افزایش تولید، نیروی انسانی بیشتری استخدام شده که به افزایش نرخ به‌کارگیری منجر می‌شود. در ادامه اما با رسیدن به نقطه بهینه ظرفیت هاب تأمین، این افزایش در میزان تولید متوقف می‌شود؛ چراکه نرخ افزایش هزینه‌های نگهداری و انبارش نسبت به نرخ کاهش هزینه‌های کمبود، پیشی می‌گیرد؛ بنابراین با عبور از نقطه بهینه ظرفیت هاب، تولیدکنندگان، برحسب ظرفیت خود، نسبت به تعدیل نیروی انسانی اقدام می‌کنند، هرچند باید اشاره کرد که بخشی از این تعدیل به شکل انتقال نیروی انسانی به دیگر واحدهایی که ممکن است به نیروی بیشتری احتیاج داشته باشند و در مجموعه شهرک صنعتی واقع شده باشند، صورت می‌گیرد.

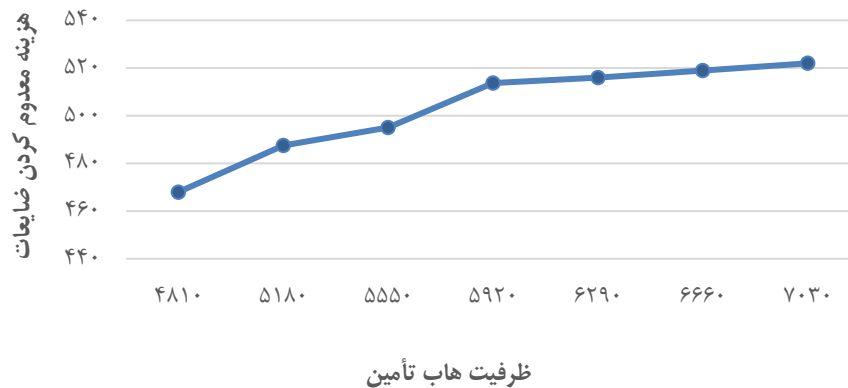


شکل ۷. نحوه تغییر نرخ استخدام تولیدکنندگان در برابر تغییر اندازه هاب تأمین در «هلدینگ درسا دارو»

یکی دیگر از عوامل در نظر گرفته شده در این پژوهش، مقوله‌ای است که در صنعت داروسازی بسیار شایع بوده و همواره دغدغه مدیران ارشد مجموعه‌های این‌چنینی است. میزان ضایعات و نحوه معدوم کردن آن‌ها و همچنین هزینه‌های متحمل شده به سیستم برای انجام چنین اقدامی، از جمله مواردی است که می‌توان با انجام تحلیلی مناسب، به مدیران صنایع در خصوص برنامه‌ریزی صحیح در این مقوله کمک کرد.

همان‌طور که در شکل ۸، مشاهده می‌شود، با افزایش ظرفیت هاب تأمین، مقدار تولید، به دلایل تشریح شده، افزایش می‌یابد؛ ولی این افزایش تا نقطه بهینه ظرفیت هاب تأمین (مقدار

۵۹۲۰ واحد) شیب افزایشی زیادی دارد. هرچند پس از این نقطه نیز مقدار افزایش در هزینه‌های معدوم‌کردن ضایعات ادامه دارد؛ ولی باید دقت کرد که شیب چنین افزایشی به طرز قابل‌ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد و نزدیک به ثابت می‌ماند. درحقیقت هرچند میزان تولید دیگر افزایش نمی‌یابد، اما با توجه به افزایش ظرفیت هاب تأمین، تمایل سیستم به انبارش بیشتر می‌شود که خود این موضوع می‌تواند تا حدی (هرچند اندک) بر افزایش نرخ خرابی‌ها تأثیرگذار باشد.



شکل ۸. نحوه تغییر هزینه معدوم کردن ضایعات در برابر تغییر اندازه هاب تأمین در هلدینگ درسا دارو

یکی از یافته‌های کاربردی که در خصوص شکل‌های ۶ و ۷ و ۸ وجود دارد و باید به آن توجه کرد این است که نقطه بهینه ظرفیت هاب تأمین در هر سه شکل اشاره شده یکسان است و نحوه تغییر روند در جریان هزینه‌های کل سیستم، نرخ استخدام و همچنین هزینه‌های ازبین‌بردن ضایعات در این نقطه کلیدی، تغییر رویه می‌دهد. این امر برای مدیران ارشد «مجموعه صنعتی درسا دارو» و سایر مجموعه‌های مشابه به‌مثابه یک راهنمایی در خصوص تعیین ظرفیت بهینه انبارش از طریق یک سیستم متمرکز با مرکزیت هاب تأمین است که می‌تواند آن‌ها را در خصوص اخذ تصمیم‌های آتی سیستم، شامل افزایش ظرفیت تولید و به تبع آن انبارش و یا حفظ ظرفیت فعلی و جایگزینی محصولات جدید با محصولات فعلی یاری دهد.

۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این پژوهش، ارتباط بین زنجیره تأمین تولیدکنندگان یک مجموعه صنعتی دارویی از منظری ریاضی و با لحاظ شرایط پایداری بررسی شده است. در این راستا، به‌طور مشخص، بهینه‌کردن تعاملات نهادهای مستقر در یک شهرک صنعتی شامل تولیدکنندگانی که در مجاورت یکدیگر

هستند، از اهداف اصلی این پژوهش است. زنجیره تأمین بررسی شده شامل چندین تأمین‌کننده، یک هاب تأمین و چندین تولیدکننده است که در مجاورت یکدیگر در یک شهرک/ خوشه صنعتی مشغول فعالیت هستند. مجموعه محصولات تولیدشده به مشتریانی در بیرون شهرک صنعتی ارسال می‌شود که تعاملات با آن‌ها نیز در بهینه‌کردن مجموعه تصمیمات این واحدهای صنعتی تأثیرگذار است. به این منظور، ابتدا یک مدل ریاضی جدید برای زنجیره تأمین پایدار این مجموعه دارویی پیشنهاد شد که هدف آن کمینه‌کردن مجموعه هزینه‌های مترتب بر این زنجیره تأمین بود؛ شامل هزینه نگهداری و انبارداری مواد خام و محصولات نهایی، هزینه سفارش‌گذاری، هزینه‌های حمل‌ونقل مواد خام و محصولات نهایی، هزینه اخراج و استخدام نیروی انسانی، هزینه ازبین‌بردن ضایعات کارخانه‌ها، هزینه کمبود محصولات نهایی (به‌شکل پس‌افت در نظر گرفته شده‌اند) و هزینه عملیاتی هاب تأمین. مدل پیشنهادی توسط نرم‌افزار گمز به‌طور دقیق حل شد و از آنجاکه حل مسئله‌ای با این درجه از پیچیدگی به‌طور دقیق در اندازه بزرگ و صنعتی، بسیار زمان‌بر است، یک روش ابتکاری مبتنی بر آزادسازی در این پژوهش پیشنهاد شد و مسائل نمونه‌ای که مبتنی بر آمار اخذشده از کارشناسان «مجموعه صنعتی درسا دارو» بودند، توسط نرم‌افزار گمز و این روش ابتکاری پیشنهادی حل شدند. مقایسه نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد که روش ابتکاری پیشنهادی در این مقاله از عملکرد قابل‌ملاحظه‌ای در حل مسائل با اندازه بزرگ برخوردار است.

به‌منظور درک بهتری از شرایط حاکم بر مسئله، چندین تحلیل حساسیت روی مهم‌ترین پارامترهای مسئله حاضر، با محوریت ظرفیت انبارش هاب تأمین، صورت پذیرفت. در این راستا میزان حساسیت‌پذیری عوامل متعلق به محورهای مختلف پایداری، یعنی محور اقتصادی، محور اجتماعی و محور زیست‌محیطی تحلیل شدند. با توجه به اینکه صنعت بررسی‌شده در این پژوهش از جمله صنایع پرسود و پراهمیت است (هم از منظر بشردوستانه و هم از منظر مالی)، میزان تغییرپذیری هزینه‌های کل سیستم، میزان تغییر نرخ استخدام و میزان تغییر هزینه معدوم‌کردن ضایعات، به‌ترتیب به‌عنوان نماینده‌ای از محورهای اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی در بحث پایداری، نسبت به افزایش ظرفیت هاب تأمین، به‌عنوان هسته مرکزی این برنامه‌ریزی جامع، بررسی و تحلیل شد و یافته‌های مدیریتی و کاربردی مفیدی ارائه شد.

ازجمله محدودیت‌های مترتب بر این پژوهش می‌توان لزوم درنظرگرفتن فضای عدم‌قطعیت اشاره کرد؛ چراکه با توجه به رخداد همه‌گیری کرونا و برهم‌خوردن مناسبات و برنامه‌ریزی‌های رایج، طبیعی است که واحدهای صنعتی ممکن است از حالت بهینه خود خارج شوند. در همین راستا، درنظرگرفتن عدم‌قطعیت و حل مدل پیشنهادی با یکی از رویکردهای مدیریت عدم‌قطعیت اقدام بسیار ارزنده‌ای خواهد بود. مورد دیگر، لحاظ‌کردن چندین هدف برای مسائلی با این درجه از وسعت است؛ چراکه در چنین مسائلی تلاش بر آن است که اهداف جمعی تولیدکنندگان،

تأمین‌کنندگان و همین‌طور مشتریان در بهترین شکل خود ارضا شود. پرواضح است که نیل به چنین هدف ایده‌آلی از طریق تک هدف واصل نخواهد شد و لزوم ارائه یک مدل چندهدفه و حل و سپس تجزیه و تحلیل آن، برای مدیران این حوزه بسیار کاربردی خواهد بود.

تعارض منافع. برای ارائه مطالب و نگارش این مقاله هیچ‌گونه کمک مالی از هیچ فرد، نهاد و سازمانی دریافت نشده است و نتایج و دستاوردهای این مقاله به نفع یا ضرر سازمان یا فردی خاص نخواهد بود. حضور نویسندگان در این پژوهش به عنوان شاهدی بی‌طرف ولی متخصص بوده است و نویسندگان هیچ‌گونه تعارض منافی ندارند.

منابع

1. Ageron, B., Gunasekaran, A. & Spalanzani, A. (2012). Sustainable supply management: an empirical study, *International Journal of Production Economics*, 140(4), 168-182.
2. Ahmed, W., Najmi, A., Mustafa, Y. & Khan, A. (2019). Developing model to analyze factors affecting firms' agility and competitive capability: a case of a volatile market, *Journal of Modelling in Management*, 14(2), 476-491.
3. Alam, S. T., Ahmed, S., Ali, S. M., Sarker, S., Kabir, G., & ul-Islam, (2021). A. Challenges to COVID-19 vaccine supply chain: Implications for sustainable development goals. *International Journal of Production Economics*, 239, 108193.
4. Badiezadeh, T., Saen, R.F. & Samavati, T. (2018). Assessing sustainability of supply chains by double Frontier network DEA: a big data approach, *Computers and Operations Research*, 98(10), 284-290.
5. Barnes, E., Dai, J., Deng, S., Down, D., Goh, M., Chuin, L. H., & Sharafali, M. (2000). On the strategy of supply hubs for cost reduction and responsiveness: Logistics Institute-Asia Pacific, National University of Singapore.
6. Chen, C. A. (2006). The investigation for the establishment of science parks: The case of Taiwan. *Journal of American Academy of Business, Cambridge*, 8(1), 62-69.
7. Erenguc-, S-. S., Simpson, N.C., Vakharia, A.J. (1999). Integrated production/distribution planning in supply chains: An invited review. *European Journal of Operational Research*, 115, 219-236.
8. Fatemi, M. S., Ghodrathnama, A., Tavakkoli-Moghaddam, R., & Kaboli, A. (2022). A multi-functional tri-objective mathematical model for the pharmaceutical supply chain considering congestion of drugs in factories. *Research in Transportation Economics*, 101094.
9. Fattahi, M., Mahootchi, M., Govindan, K. & Hussein, S.M.M. (2015). Dynamic supply chain network design with capacity planning and multi-period pricing, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 81, 169-202
10. Feizollahi, S., Soltanpanah, H., Farughi, H., & Rahimzadeh, A. (2019). Development of Multi Objective Multi Period Closed-Loop Supply Chain Network Model Considering Uncertain Demand and Capacity. *The Journal of Industrial Management Perspective*, 8(32), 61-95. (In Persian)
11. Goodarzian, F., Hosseini-Nasab, H., Munuzuri, J. s., & Fakhrzad, M.-B. (2020). a multi-objective pharmaceutical supply chain network based on a robust fuzzy model: A comparison of meta-heuristics. *Applied Soft Computing*, 92, 106331.
12. Gui, H.-m., & Ma, S.-h. (2010). A study on the multi-source replenishment model and coordination lot size decisionmaking based on supply-hub. *Chinese Journal of Management Science*, 18(1), 78-82.
13. Kalantari, M., & Pishvae, M.S. (2016). A Robust Possibilistic Programming Approach to Drug Supply Chain Master Planning. *Journal of Industrial Engineering Research in Production Systems*, 4(7), 49-67. (In Persian)
14. Lee, H. L., & Whang, S. (2000). Information sharing in a supply chain. *International Journal of Manufacturing Technology and Management*, 1(1), 79-93.
15. Li, G., Lv, F., & Guan, X. (2014). A Collaborative Scheduling Model for the

- Supply-Hub with Multiple Suppliers and Multiple Manufacturers. *The Scientific World Journal*, 2014 Jan 1, 12 pages.
16. Li, J., Ma, S., Guo, P., & Zuo, Z. (2008). Analysis of Supply Chain Design with BOM Embedding Supply-Hub. *The proceeding of the WiCOM*.
 17. Li, J., Xiong, N., Sun, L., Yuan, A., Chen, J., & Cao, M. (2009). Supply Chain Design Model Based on Multi-Supply Hubs. Paper presented at the Computational Science and Engineering, CSE'09. *International Conference on*.
 18. Ma, S.-h., & Gong, F.-m. (2009). Collaborative Decision of Distribution Lot-sizing among Suppliers Based on Supply Hub. *Industrial Engineering and Management*, 14(2), 1-9, (Chinese).
 19. Mei, W., & Zhang, X. (2011). The Researches of Supply Hub Inventory Based on Supply Driven, Information Management, Innovation Management and Industrial Engineering (ICIII), 2011 *International Conference on*, 2, 434-436.
 20. Mohammadi, M., & Soleimani, H. (2020). Investigating Open Loop and Closed-Loop Supply Chain under Uncertainty (Case Study: Iran Teransfo Company). *The Journal of Industrial Management Perspective*, 10(38), 33-53. (In Persian)
 21. Ouyang, L., Wu, K., Ho, C., (2004). Integrated vendor-buyer cooperative models with stochastic demand in controllable lead time. *International Journal of Production Economics*, 92, 255-266.
 22. Patil, A., Shardeo, V., Dwivedi, A., Madaan, J., & Varma, N. (2021). Barriers to sustainability in humanitarian medical supply chains. *Sustainable Production and Consumption*, 27, 1794-1807.
 23. Qiu, X., & Huang, G. Q. (2011). On storage capacity pooling through the Supply Hub in Industrial Park (SHIP): The impact of demand uncertainty, *Proceeding of the IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*, 1745-1749, Singapore.
 24. Qiu, X., & Huang, G. Q. (2013a). Supply Hub in Industrial Park (SHIP): The Value of Freight Consolidation. *Computers & Industrial Engineering*, 65(1), 16-27.
 25. Qiu, X., & Huang, G. Q. (2013b). Storage pricing, replenishment and delivery schedules in a Supply Hub in Industrial Park (SHIP): A bilevel programming approach, *International Journal of Production Research*, 51(23-24), 6950-6971.
 26. Qiu, X., Huang, G. Q., & Lam, J. S. L. (2015). A Bilevel Analytical Model for Dynamic Storage Pricing in a Supply Hub in Industrial Park (SHIP). *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, 12(3), 1017-1032.
 27. Qorri, A., Gashi, S., & Kraslawski, A. (2022). A practical method to measure sustainability performance of supply chains with incomplete information. *Journal of Cleaner Production*, 341, 130707.
 28. Qu, T., Luo, H., Cao, N., Fang, J., Zhong, R. Y., Pang, L. Y., Qiu, X., Huang, G. Q. (2012). RFID-enabled just-in-time logistics management system for "SHIP"-Supply Hub in Industrial Park, *Proceeding of the 42th International Conference on Computers & Industrial Engineering*, Cape Town, South Africa.
 29. Rajeev, A., Pati, R.K., Padhi, S.S., Govindan, K., (2017). Evolution of sustainability in supply chain management: a literature review. *Journal of Cleaner Production*, 162, 299-314.
 30. Sajadieh, M. S., Thorstenson, A., & Jokar, M. R. A. (2010). An integrated vendor-buyer model with stock-dependent demand. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 46(6), 963-974.
 31. Seifbarghy, M. (2022) A multi-objective sustainable closed loop supply chain

- model considering suppliers evaluation and using SWARA-WASPAS method, to appear. *The Journal of Industrial Management Perspective*, 12(3), 63-88 (In Persian)
32. Seuring, S., & Muller, M. (2008). From a literature review to a conceptual framework for sustainable supply chain management. *Journal of Cleaner Production*, 16(15), 1699–1710.
 33. Shah, J., & Goh, M. (2006). Setting operating policies for supply hubs. *International journal of production economics*, 100(2), 239-252.
 34. Shuang-yan, L., De-zhi, Z, Fang-ping, J. (2013). Base Inventory Cooperation Strategy of Multi-parts with Supply-Hub. *International Journal of Business and Management*, 8(20), 96-104.
 35. UNEP. (1997). The environmental management of industrial estates. Paris: France.
 36. Vafaenezhad, T., Tavakkoli-Moghaddam, R., & Cheikhrouhou, N. (2019). Multi-objective mathematical modeling for sustainable supply chain management in the paper industry. *Computers & Industrial Engineering*, 135, 1092-1102.
 37. Zhengguo, W., Benfei, Z. & Ying, Y. (2010). Replenishment policy for supply hub based on Third-party logistics, Computer Application and System Modeling (ICCSM), 2010 International Conference on, 4, 193-197.
 38. Zuckerman, A. (2000). Compaq switches to Pre-position inventory model. *World Trade*, 13(4), 72-74.