

یک مدل دو-مرحله ای مکانیابی-مسیریابی برای طراحی زنجیره تأمین معکوس در جمع آوری ضایعات دارویی

پارمیدا پورمند^۱، دین محمد ایمانی^۲، سینا آقاخانی^۳

^۱دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه علم و صنعت ایران؛ p6pourmand@gmail.com

^۲استادیار، دانشگاه علم و صنعت ایران، دانشکده مهندسی صنایع؛ Imanim@iust.ac.ir

^۳دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شریف؛ sinaaghakhani1996@gmail.com

* نویسنده مسئول: پارمیدا پورمند

چکیده

افزایش میزان و تنوع پسماندها و مخاطرات بهداشتی ناشی از آنها، امروزه به عنوان یکی از معضلات مهم جوامع بشری مطرح است. از جمله پسماندهای آلاینده محیط زیست در دنیا، پسماندها و زباله های دارویی هستند. زباله های دارویی شامل محصولات منقضی شده و داروهای استفاده نشده هستند. در این مقاله زباله های دارویی از داروخانه ها و بیمارستان ها جمع آوری می شود و سپس به مراکز جمع آوری انتقال پیدا می کند که در این مراکز در خصوص دسته بندی پسماندها و زباله ها و تصمیم گیری های آتی برنامه ریزی می شود. این فرآیند در دو مرحله انجام می شود، مرحله اول شامل داروخانه و بیمارستان ها و مراکز جمع آوری است و مرحله دوم مراکز جمع آوری و مراکز امحاء و بازیافت و فرودگاه ها را در بر می گیرد. در مرحله اول زباله های دارویی جمع آوری می شود و در مرحله دوم این زباله ها یا به صورت ایمن امحاء یا بازیافت شده و یا داروهایی که قابل استفاده مجدد هستند به کشور جهان سوم ارسال می شوند. در نهایت با ایجاد یک مدل بهینه سازی میزان هزینه های حمل و نقل، هزینه احداث مراکز جمع آوری، هزینه امحاء و همچنین هزینه تولید کربن دی اکسید کمینه می شوند. کاهش میزان تولید کربن دی اکسید کمک به سبز کردن این زنجیره می کند.

کلمات کلیدی: مدل دو مرحله ای بهینه سازی، جمع آوری ضایعات، ضایعات دارویی، مسیریابی وسایل نقلیه، زنجیره تأمین سبز

A two-stage location-routing model for designing reverse supply chain in collecting pharmaceutical waste

Parmida Pourmand¹, Din Mohammad Imani², Sina Aghakhani³

¹PhD student, M.Sc. in Industrial Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, p6pourmand@gmail.com

²Associate Professor, School of Industrial Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Imanim@iust.ac.ir

Imanim@iust.ac.ir

³PhD student, M.Sc. in Industrial Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, sinaaghakhani1996@gmail.com

* Corresponding author: Parmida Pourmand

ABSTRACT

Increasing the amount and variety of waste and the health risks caused by them, are considered as one of the important problems of human societies in today's era. Among the polluted wastes of the environment in the world are pharmaceutical wastes. Pharmaceutical waste includes expired products and unused medicines. In this article pharmaceutical waste from pharmacies and hospitals is collected and then they transfer to collection centers, where waste classification and future decisions are planned. This process is done in two stages, the first includes pharmacies and hospitals and collection centers, and the second stage includes collection centers, disposal centers and airports. In the first stage, pharmaceutical waste is collected, and in the second level, this waste is either safely disposed of or recycled, or medicines that can be reused are sent to a third world countries. Finally, by creating an optimization model, the transportation costs, the construction's cost of collection centers, disposal cost as well as the cost of producing carbon dioxide will be minimized. Reducing carbon dioxide production helps make this chain greener.

Keywords: A two-stage Optimization Model, Waste Collection, Pharmaceutical Waste, VRP, Green Supply Chain

۱- مقدمه

وجود انواع داروها در آب های سطحی، زیرزمینی و آشامیدنی در سراسر کشور باعث ایجاد نگرانی در مورد پیامدهای زیست محیطی این آلودگی ها شده است. افزایش مداوم در استفاده از داروها، هم به دلیل توسعه صنعت داروسازی و هم به دلیل افزایش جمعیت سالمند، باعث ایجاد یک افزایش متناظر در میزان زباله های دارویی تولید شده می شود [۱]. زباله های دارویی شامل محصولات منقضی شده و داروهای توزیع شده ای هستند که بلا استفاده مانده اند. هنگامی که داروها در پا سخ به یک بیماری حاد یا مزمن تجویز می شوند، تنها بخشی از دارو استفاده می شود و بخشی دیگر بلا استفاده باقی می ماند. موضوع مهم در خصوص زباله های دارویی این است که دفع زباله در جریان رودخانه ها وارد محیط طبیعی آبریزان می شوند که ممکن است دریاچه های تفریحی و یا حتی تصفیه خانه های تصفیه آب آشامیدنی را آلوده کند [۲، ۳]. همچنین معضل مهم این است که طیف گسترده ای از داروهای انسانی، از جمله آنتی بیوتیک ها، استاتین ها یا سیتوتوکسین های مورد استفاده در درمان سرطان، همچنین مقادیر زیادی از داروهای دامپزشکی مانند آنتی باکتریال ها، ضد قارچ ها و ضد عفونی کننده ها، از طریق مسیرهای مختلف به محیط زیست می رسند [۴-۶] و منجر به آلودگی خاک، آب های سطحی و زمین های کشاورزی می گردند. در هفت کشور آسیا، ۶۷۹ منطقه به عنوان مکان های آلوده به پسماندهای دارویی و شیمیایی شناسایی شدند [۷] یا طبق گفته های [۸]، تقریباً ۹۰٪ خانوارهای آمریکایی داروهای بلا استفاده / ناخواسته خود را در زباله و جریان آب دفع می کنند. با توجه به اینکه فاضلاب ها مجهز به فیلترهای ویژه نیستند، این پسماند داروها به راحتی می توانند به آب مصرفی برسند و اثراتی را برجای می گذارند که بلافاصله قابل مشاهده نیستند اما تأثیر منفی عمده ای بر سلامت جامعه دارند [۹]. طیف گسترده ای از اثرات مخرب پسماندهای دارویی از جمله اثرات فیزیولوژیک، مهار یا تحریک رشد در گیاهان آبی و گونه های جلبک، تأثیر بر باروری و رشد ماهی ها، خزندگان و بی مهرگان آبی مشخص شده است [۱۰]. حتی اگر این پس مانده ها از طریق برنامه برگشت دارویی جمع آوری شده و به طور صحیح و تحت نظارت دقیق مسئولان ذیربط سوزانده شوند، خاکستر تولید شده از سوزاندن پسماندها سمی هستند که به سمت نهرهای آب می رود در نهایت منجر به تأثیر منفی بر روی انسان، زندگی آبریزان و کل محیط زیست خواهد شد. علاوه بر این، مسکن های بدون استفاده، آنتی بیوتیک ها و سایر داروها ممکن است منجر به استفاده نادرست و مصرف بیش از حد دارو بخصوص در جوانان شوند که این امر تأثیر منفی بر سلامت جامعه دارد [۱۱]. برخلاف سایر محصولات، داروهای منقضی شده یا اصطلاحاً زباله ها تقریباً ارزش صفر برای بازگردانده شدن دارند، از این رو قبل از از بین رفتن یا دفع صحیح آنها باید مورد بازرسی و مرتب سازی قرار بگیرند [۱۲]. معمولاً رویکردهای دفع کاربردهای رایج شامل سوزاندن، دفن در عمق زیاد، دفن زباله، فاضلاب و غیره است [۱۳]. مقرون به صرفه ترین بخش قابل بازیافت و استفاده مجدد از بسته ها و ظروف آنها است [۱۴]. برای اهمیت استراتژیک بهبود مدیریت پسماند می توان یک روش جمع آوری کارآمد به منظور کاهش هزینه و انتشار کربن دی اکسید آن ایجاد کرد [۱۵]. بهینه سازی مسیر یک مسئله رایج در موضوع جمع آوری ضایعات است که تأثیرات مختلفی بر راندمان جمع آوری، هزینه های جمع آوری و انتشار آلاینده ها دارد. مسئله بهینه سازی مسیر به عنوان مسئله مسیریابی و سیله نقلیه (VRP) نیز شناخته می شود، که به طور گسترده برای کاهش هزینه حمل و نقل وسایل نقلیه از یک انبار به مشتریان و سپس بازگشت به انبار از طریق یک مسیر بهینه شده، مورد بررسی قرار گرفته است [۱۶].

حال برای مقابله با روش های نادرست دفع ضایعات دارویی و همچنین جلوگیری از پیامدهای ناگوار استفاده از داروهای زیادی که در منزل خانوارها باقی می مانند، مدلی را طراحی کردیم که در قسمت تعریف مسئله به طور کامل شرح داده شده است. در این تحقیق هدف کاهش سطح آلودگی زیست محیطی از طریق دفع و امحا داروهای منقضی شده، تعیین مسیر بهینه حرکت و سایل نقلیه برای جمع آوری ضایعات دارویی، کاهش کلیه هزینه های زنجیره تأمین، استفاده بهینه از داروها به عنوان یک منبع ارزشمند در میان انسان است. تلاش برای جمع آوری زباله ها از هر نوعی و سبز کردن زنجیره های تأمین در دهه اخیر مورد توجه قرار گرفته است. در ادامه به بررسی ادبیات موجود در این حوزه می پردازیم. به عقیده [۱۷] امروزه خسارات محیطی معمولاً مهم تر و بیشتر از هزینه های صرف شده برای جمع آوری محصولات بازگشتی است؛ از این رو می بایست پیش از وارد شدن خسارات مهلک، اقدام به جمع آوری محصولات بازگشتی و ضایعات کرد. در مقاله [۱۸] با پیاده سازی یک مدل بهینه سازی مسیر سعی در بهبود کارایی جمع آوری زباله های شهری، صرفه جویی در هزینه های جمع آوری و کاهش انتشار کربن دی اکسید دارد. نتایج حاصل از پیاده سازی این مدل ۲۶،۰۸٪ افزایش کارایی، ۴۴،۴۴٪ صرفه جویی در هزینه ها و ۷۰٪ کاهش در میزان تولید کربن دی اکسید، می باشد. در مقاله [۱۹] یک مجموعه ای از مراکز امحاء و مجموعه ای از نقاط مشتری ها که ضایعات از این نقاط جمع آوری می شود در نظر گرفته شده است. در این مقاله تعداد نامحدودی

ماشین حمل همگن جهت جمع آوری ضایعات مستقر در مرکز آذر نظر گرفته شده است. ماشین‌های خالی از مرکز خارج می‌شوند و زباله‌ها و ضایعات مشتری‌ها را جمع‌آوری می‌کنند و در محل‌های دفع زباله تخلیه می‌کنند. در این مقاله برای مشتریان، مراکز امحا و مرکز ارسال ماشین‌ها پنجره زمانی در نظر گرفته شده است. در آخر این مقاله با استفاده از دو روش *tabu search* و *variable neighborhood search* به حل مدل پرداخته است. همچنین در مقاله [۲۰] به یک مسئله مسیریابی وسیله نقلیه جمع‌آوری ضایعات با پنجره زمانی (VRPTW) که در آن چندین سفر امحاء ضایعات و همچنین وقفه‌های رانندگان جهت صرف ناهار در نظر گرفته شده است. در این مقاله هدف مینیمم کردن تعداد ماشین‌ها و کل زمان سفرها در نظر گرفته شده و در نهایت تو سطر روش Solomon's well-known insertion algorithm به حل آن پرداخته است. در مقاله [۲۱] میزان تولید کربن دی‌اکسید را از طریق تبدیل آن به هزینه کمینه می‌کند و از این طریق زنجیره خود را سبزی می‌کند، که ما با استفاده از این روش، در این مقاله مدل خود را تک‌هدفه کردیم. در مقاله [۲۲] یک مدل برنامه‌ریزی سه سطحی را برای چگونگی بهینه‌سازی دولت برای بازیافت داروهای منقضی شده و سیاست‌های بارانه مناسب ایجاد می‌کند. به گفته نویسندگان این مقاله اگر دولت یک پارانه برای افرادی که داروهای منقضی شده دارند در نظر بگیرد، این افراد مشتاق به تحویل این داروها به داروخانه‌ها می‌شوند و بدین صورت از دفع نامناسب داروهای منقضی شده جلوگیری می‌شود. در مقاله [۲۳] نحوه جمع‌آوری زباله‌ها به روشی کارآمد بررسی می‌شود. نویسندگان این مقاله مسئله مسیریابی جمع‌آوری زباله با پنجره زمانی را که مربوط به یافتن مسیرهای بهینه برای وسایل نقلیه حمل زباله است به طوری که همه سطل‌های زباله تخلیه می‌شوند و زباله‌ها را به مکان‌های دفع هدایت شوند بررسی می‌کنند. سپس با پیاده‌سازی این مدل بر روی یک شرکت جمع‌آوری زباله دانمارکی کاربرد مدل را نشان می‌دهد. مقاله [۲۴] یک مسئله توزیع دارو و همچنین جمع‌آوری زباله‌های دارویی در دنیای واقعی را حل می‌کند. در این مقاله این موضوع را به صورت RVRP مدل‌سازی کرده است. در اینجا مرکز توزیع کننده مسئول انجام دو فرآیند است: اول داروها را به مکان‌های مذکور ارسال می‌کند و دوم ضایعات دارویی را جمع‌آوری می‌کند. هدف از کار ارائه شده در این مقاله طراحی الگوریتمی است که مسیرهای توزیع و جمع‌آوری را برنامه‌ریزی کند به طوری که هزینه‌های عملیاتی شرکت توزیع را به حداقل برساند. در مقاله [۲۵] با استفاده از CVRP^۲ هزینه کل جمع‌آوری زباله‌ها را با در نظر گرفتن محدودیت‌های زیر کمینه می‌کند.

همه‌ی وسایل نقلیه از یک انبار شروع به حرکت می‌کنند و سپس به همان انبار باز می‌گردند. فقط یک وسیله نقلیه به هر سطل زباله سر می‌زند. کل زباله‌های جمع‌آوری شده توسط یک وسیله نقلیه نباید بیشتر از ظرفیتش باشد. هر سطل زباله باید به محض رسیدن به ظرفیت مشخص شده اش خالی شود. سپس برای بهبود مسیر محلی محل قرارگیری سطل زباله، از الگوریتم گسسته PSO^۳ استفاده شده است.

با بررسی مقالات بیان شده در این حوزه، مشاهده می‌شود که عمدتاً مسائل در این حوزه به دو دسته تقسیم شده‌اند. اولین دسته به مسائل مربوط به هزینه و زمان در مسائل جمع‌آوری ضایعات پرداخته‌اند و عمدتاً هدف آن‌ها مینیمم کردن هزینه مسیره و همچنین زمان کل سفرها می‌باشد. دسته دوم این مسائل جمع‌آوری ضایعات را از منظر زیست‌محیطی بررسی کرده‌اند و اهداف عمده آن‌ها سبز بودن کل زنجیره و کاهش آلاینده‌ها می‌باشد. در این مقاله به تلفیقی از دو رویکرد بالا پرداخته شده است. یعنی در مدل طراحی شده، هم مسئله سبز بودن مدل از منظر کاهش میزان کربن دی‌اکسید تولیدی توسط ماشین‌ها و هم کاهش هزینه‌های سفر در نظر گرفته شده است تا با تلفیقی از این دو رویکرد بتوان به هر دو مسئله مهم یعنی هزینه و سبز بودن زنجیره پرداخت. همچنین ابتکار دیگری که در این مقاله مطرح شده است این موضوع است که همواره مقداری از داروهای جمع‌آوری شده قابل استفاده مجدد هستند که می‌توان آن‌ها را با هزینه بسیار کمتر به کشورهای نیازمند ارسال کرد.

۲- مدل بهینه‌سازی دو مرحله‌ای

۲-۱- تعریف مسئله:

در این پژوهش یک زنجیره تأمین دارویی شامل نقاط مشتری شامل داروخانه و بیمارستان، مراکز جمع‌آوری و مراکز امحاء یا بازیافت، فرودگاه‌ها و کشورهای جهان سوم در نظر گرفته شده است. در این مسئله با توجه به تقاضای داروخانه‌ها و بیمارستان‌ها، داروهایی که تاریخ انقضای آن‌ها زیر ۶ ماه است به عنوان داروهای منقضی محسوب شده و به مراکز امحاء انتقال پیدا می‌کنند و داروهای استفاده نشده مرجوعی بیماران که تاریخ انقضای آن‌ها بیشتر از ۶ ماه باشد به فرودگاه‌هایی که در شعاع پوششی مراکز جمع‌آوری قرار گرفته‌اند، برای

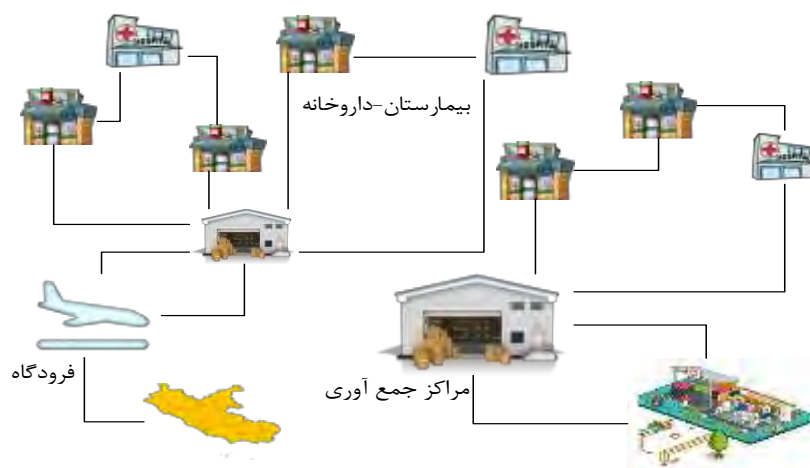
^۲Depot

^۳Vehicle routing problem with time windows

^۴Capacitated vehicle routing problem

^۵particle swarm optimization

انتقال به کشورهای در حال توسعه فرستاده می شوند. این بررسی توسط مراکز جمع آوری که داروها را از داروخانه ها و بیمارستان ها جمع آوری می کند، انجام می گیرد. در این مدل دو تور متفاوت در نظر گرفته شده است. تور پایین شامل داروخانه ها و بیمارستان ها و مراکز جمع آوریست و تور بالا شامل محل های جمع آوری و مراکز امحاء و بازیافت و فرودگاه ها می باشد. این مدل علاوه بر جمع آوری ضایعات دارویی که جنبه زیست محیطی دارد در مورد مکان و تعداد مراکز جمع آوری نیز تصمیم گیری می شود یعنی مکان هایی که کاندید ساخت مراکز جمع آوری هستند پس از بررسی صرفه اقتصادی، تصمیم بر ساخت یا عدم ساخت شان در آن مکان ها گرفته می شود. در مرحله ی دوم مسئله مسیریابی وسایل نقلیه مراکز جمع آوری احداث شده برای جمع آوری ضایعات دارویی مدلسازی می گردد و همچنین هزینه تولید کربن دی اکسید را کمینه میکند.



شکل ۱-۲: شماتیک مسئله

۲-۲- مدل ریاضی و مفروضات مسئله:

- مشخص است.
- داروهای منقضی شده شامل داروها با تاریخ مصرف زیر ۶ ماه برای داروخانه ها و سایر داروهای استفاده نشده مرجوعی توسط بیماران است.
- هزینه ارسال داروهای قابل استفاده مجدد به کشورهای جهان سوم و هزینه های مربوط به تولید کربن دی اکسید و حمل و نقل از مراکز جمع آوری به فرودگاه ها بر عهده کشور جهان سوم می باشد و مدل تنها فرودگاه موجود در شعاع پوششی مراکز جمع آوری را به آن اختصاص می دهد تا داروهای قابل استفاده از طریق فرودگاه تخصیص داده شده به آن کشور جهان سوم ارسال شوند.
- هر ماده دارویی دارای طول عمر / ماندگاری محدود است و پس از آن منقضی می شود.
- ظرفیت وسایل نقلیه مشخص است.
- هر نقطه توسط یک وسیله نقلیه بازدید می شود.
- میزان ضایعات دارویی هر داروخانه بیشتر از ظرفیت وسیله نقلیه نمی باشد.
- مدت زمان تحویل گرفتن ضایعات دارویی آنی می باشد.
- مکان های مراکز امحاء و مراکز مشتری شامل داروخانه ها و بیمارستان ها ثابت است درحالی چندین مکان نامزد برای مراکز جمع آوری وجود دارد.
- هزینه احداث مراکز جمع آوری ثابت در نظر گرفته شده است.
- هزینه رفت و آمد و انتقال بین هر نقطه توسط وسایل نقلیه

۲-۳- مجموعه ها:

- I : مجموعه نود های داروخانه ها و بیمارستان ها
 R : مجموعه محل جمع آوری ضایعات دارو
 N : مجموعه اجتماع داروخانه ها و محل جمع آوری ضایعات دارو
 K : مجموعه ماشین های موجود در مسیر جمع آوری ضایعات دارو
 A : مجموعه نود های امحاء ضایعات دارو
 H : مجموعه اجتماع نودهای امحاء و نود های جمع آوری ضایعات دارو
 L : مجموعه ماشین های موجود در مسیر امحاء ضایعات دارو

B : مجموعه کشور های جهان سوم

۲-۴- اندیس ها:

$i \in P, p \in P$: عناصر مجموعه نود های داروخانه ها و بیمارستان ها

$r \in R$: عناصر مجموعه محل جمع ضایعات دارو

$n \in N, n_1 \in N$: عناصر مجموعه اجتماع داروخانه ها و محل جمع آوری ضایعات دارو

$k \in K$: عناصر مجموعه ماشین های موجود در مسیر جمع آوری ضایعات دارو

$a \in A, a' \in A$: عناصر مجموعه نود های امحاء ضایعات دارو

۲-۵- پارامتر ها:

MM : یک عدد بسیار بزرگ

dem_i : مقدار ضایعات داروی موجود در نود i

$capV_k$: ظرفیت ماشین k

$capD_r$: ظرفیت محل جمع آوری ضایعات دارو.

$capA_a$: ظرفیت محل امحاء و بازیافت

RR_r : شعاع پوششی مراکز جمع آوری

$dd(r, f)$: فاصله بین فرودگاه f و مرکز جمع آوری r

CS_a : هزینه امحاء و بازیافت

$Chh'l$: هزینه حمل و نقل میان مراکز جمع آوری و مراکز بازیافت و امحاء

$trebellow_r$: تعداد ماشین قابل استفاده برای جمع آوری ضایعات دارو.

۲-۶- متغیر ها:

ZZ_r : اگر محل جمع آوری r انتخاب شود یک در غیر اینصورت صفر

X_{nn_1k} : اگر از نود n به نود n_1 با ماشین k مسیری وجود داشته باشد یک در غیر این صورت صفر

aa_{rk} : اگر نود داروخانه ها و بیمارستان ها به محل جمع آوری r تخصیص پیدا کند یک در غیر اینصورت صفر

E_{arl} : اگر ماشین l متعلق به محل جمع آوری r به نود امحاء a تخصیص پیدا کند یک در غیر اینصورت صفر

γ'_{rbf} : اگر مقدار دارو از محل جمع آوری r به کشور جهان سوم b توسط فرودگاه f حمل شود یک در غیر اینصورت صفر.

u_{al} : متغیر برای حذف زیر تور برای مسیر امحاء دارو ها

۲-۷- تابع هدف:

F : مجموعه فرودگاه ها

$h \in H, h' \in H$: عناصر مجموعه اجتماع نود های امحاء و بازیافت و نود های مراکز جمع آوری ضایعات دارو

$l \in L$: عناصر مجموعه ماشین های موجود در مسیر امحاء ضایعات دارو

$b \in B$: عناصر مجموعه کشور های جهان سوم

$f \in F$: عناصر مجموعه فرودگاه ها

UU_l : عناصر ی از مجموعه محل جمع آوری R که ماشین L به آن تعلق دارد.

c'_{rfl} : هزینه حمل و نقل میان مراکز جمع آوری و فرودگاه ها

dis_{nn_1} : فاصله بین مرکز جمع آوری و داروخانه یا بیمارستان

$dis_{hh'}$: فاصله بین مرکز جمع آوری و مراکز امحاء یا بازیافت

$treabove_r$: تعداد ماشین قابل استفاده برای امحاء ضایعات دارو.

$Price_r$: هزینه احداث مراکز جمع آوری

V_f : میزان مصرف کربن دی اکسید وسیله نقلیه به ازای طی کردن هر واحد مسافت و هر واحد وزنی

P_{co_r} : هزینه هر واحد مصرفی کربن دی اکسید

$Apercent_r$: درصد از ضایعات دارو که امحاء می شوند.

VC_k : هزینه متغیر وسیله نقلیه به ازای طی کردن یک واحد فاصله در تور پایین

حمل می شود.

$w_{hh'l}$: مقدار دارویی که از نود h به نود h' با ماشین l جهت امحاء حمل می شود.

S_{ral} : مقدار ضایعات دارویی که در مرکز امحاء a توسط ماشین l که متعلق به مرکز جمع آوری r خالی می شود.

$\gamma_{hh'l}$: اگر از نود h به نود h' با ماشین l مسیری وجود داشته باشد یک در غیر اینصورت صفر.

$\gamma\gamma_{rbf}$: مقدار دارو حمل شده از محل جمع آوری r به کشور جهان سوم b توسط فرودگاه f .

ww_{nn_1k} : مقدار دارویی که از نود n به نود n_1 با ماشین k

$$\sum_{r \in R} zz_r \cdot price_r \quad (1)$$

هزینه احداث مراکز جمع آوری

$$\sum_{n \in N} \sum_{n_1 \in N} \sum_{k \in K} vc_k \cdot dis_{n_1 n} \cdot x_{n_1 nk} \quad (2)$$

هزینه متغیر حمل و نقل از مراکز جمع آوری به داروخانه ها و بیمارستان ها

$$\sum_{h \in H} \sum_{h' \in H} \sum_{l \in L} c_{hh'l} \cdot dis_{hh'l} \cdot y_{hh'l} \quad (3)$$

هزینه متغیر حمل و نقل از مراکز جمع آوری به مراکز امحا و بازیافت

$$\sum_{a \in A} \sum_{r \in R} \sum_{l \in L} Cs_a \cdot s_{ral} \quad (4)$$

هزینه امحا و بازیافت ضایعات دارویی

$$\sum_{n \in N} \sum_{n_1 \in N} \sum_{k \in K} dis_{n_1 n} \cdot ww_{n_1 nk} \cdot vf \cdot p_{co_2} \quad (5)$$

هزینه کربن دی اکسید تولید شده ناشی از حمل و نقل از مراکز جمع آوری به داروخانه ها و بیمارستان ها

$$\sum_{h \in H} \sum_{h' \in H} \sum_{l \in L} dis_{hh'} \cdot w_{hh'l} \cdot vf \cdot p_{co_2} \quad (6)$$

هزینه کربن دی اکسید تولید شده ناشی از حمل و نقل از مراکز جمع آوری به مراکز امحا و بازیافت

تابع هدف کل : (1) + (2) + (3) + (4) + (5) + (6)

۲-۸- محدودیت ها:

$$\sum_{n \in N} \sum_{k \in K} x_{pnk} = 1 \quad \forall p \in P \quad (7)$$

$$\sum_{n \in N} \sum_{k \in K} x_{npk} = 1 \quad \forall p \in P \quad (8)$$

مسیر های قبلی و بعدی (نود قبلی و بعدی) به ازای هر نود را تعیین می کنند همچنین هر نود فقط می تواند توسط یک ماشین بازدید شود. (در این محدودیت ها امکان دارد ورودی یک نوع ماشین باشد و خروجی ماشین نوع دیگر)

$$\sum_{n_1 \in N} x_{n_1 nk} = \sum_{n_1 \in N} x_{nn_1 k} \quad \forall n \in N, p \in P \quad (9)$$

اگر به هر نودی ماشین نوع k وارد شد باید همان ماشین نوع k هم از آن نود خارج شود.

$$\sum_{n \in N} x_{rnk} + \sum_{n \in N} x_{npk} \leq 1 + aa_{pr} \quad \forall p \in P, r \in R, k \in K \quad (10)$$

هریک از نودها با توجه تخصیصشان به یکی از محل های جمع آوری یا باید به نود دیگر متصل باشد یا به محل جمع آوری.

$$\sum_r aa_{pr} = 1 \quad \forall p \in P \quad (11)$$

هر نودی فقط به یک محل جمع آوری دارو ها تخصیص پیدا کند.

$$w_{ipk} = 0 \quad \forall p \in P, r \in R, k \in K \quad (12)$$

از محل جمع آوری به اولین نود مربوط به ماشین k هیچ چیزی حمل نمی شود.

$$ww_{ipk} \geq \sum_{n_i \in N} ww_{nik} + dem_i - MM.(1 - x_{ipk}) \quad \forall p, i \in P, k \in K \quad (13)$$

مقداری دارویی که ماشین k از نود p حمل می کند تا به محل جمع آوری برسد را محاسبه می کند.

$$\sum_{p \in P} aa_{pr} \cdot dem_p \leq capD_r \cdot zz_r \quad \forall r \in R \quad (14)$$

ظرفیت محل جمع آوری را براساس محل انتخاب شده آن تعیین می کند.

$$\sum_{p \in P} aa_{pr} \cdot dem_p \geq zz_r \quad \forall r \in R \quad (15)$$

زمانی باید $aa_{pr} = 1$ باشد که محل جمع آوری r انتخاب شده باشد.

$$ww_{npk} \leq capV_k \quad \forall p, i \in P, k \in K \quad (16)$$

مقدار ضایعات دارویی جمع آوری شده توسط یک ماشین بیشتر از ظرفیت ماشین نشود.

$$\sum_{p \in P} \sum_{k \in K} x_{rpik} \leq trebellow_r \cdot zz_r \quad \forall r \in R \quad (17)$$

تعداد مطلوب ماشین برای مسیر یابی پایین به ازای هر محل جمع آوری تعیین می کند.

$$\sum_{h \in H} y_{ahl} = E_{arl} \quad \forall a \in A, r \in UU_l, l \in L \quad (18)$$

$$\sum_{h \in H} y_{hal} = E_{arl} \quad \forall a \in A, r \in UU_l, l \in L \quad (19)$$

مسیر ورودی و خروجی هر نود را به ازای هر ماشین بر اساس نودهای تخصیص داده شده به محل جمع آوری تعیین می کنند.

$$u_{a'l} - u_{al} + |A| y_{a'al} \leq |A| - 1 \quad \forall a, a' \in A, r \in R, l \in L \quad (20)$$

محدودیت حذف زیر تور می باشد.

$$\sum_{h' \in H} y_{h'h'l} = \sum_{h \in H} y_{hh'l} \quad \forall n \in N, p \in P \quad (21)$$

اگر به هر نودی ماشین نوع l وارد شد باید همان ماشین نوع l هم از آن نود خارج شود.

$$\sum_{h \in H} y_{rhl} + \sum_{h \in H} y_{hal} \leq 1 + E_{arl} \quad \forall a \in A, r \in UU_l, l \in L \quad (22)$$

هریک از نودها با توجه تخصیصشان به یکی از محل های جمع آوری یا باید به نود دیگر متصل باشد یا به محل جمع آوری.

$$\sum_{a \in A} y_{rhl} \cdot MM \geq \sum_{a \in A} E_{arl} \quad \forall r \in UU_l, l \in L \quad (23)$$

زمانی ماشین l از محل جمع آوری r به نود بعدی می رود که ماشین و نود مربوطه انتخاب شده باشد.

$$w_{ral} \geq \sum_{n_i \in N} \sum_{k \in K} (ww_{nik} \cdot Apercent_r) - MM.(1 - y_{ral}) \quad \forall r \in UU_l, a \in A, l \in L \quad (24)$$

$$w_{ahl} \geq \sum_{h' \in H} w_{ah'l} - \sum_{r \in UU_l} S_{ral} - MM.(1 - y_{ahl}) \quad \forall a \in A, h \in H, l \in L \quad (25)$$

مقدار دارویی که هر ماشین از یک نود به نود دیگر حمل می کند را تعیین می کنند.

$$\sum_{a \in A} \sum_{l \in UU_r} s_{ral} = \sum_{n_1 \in N} \sum_{k \in K} ww_{n_1rk} \cdot Apercent_r \quad \forall r \in R \quad (26)$$

مقدار تخلیه هر ماشین به نود ها را براساس درصد ضایعات تعیین می کند.

$$s_{ral} \leq E_{arl} \cdot MM \quad \forall r \in UU_l, a \in A, l \in L \quad (27)$$

$$s_{ral} \geq E_{arl} \quad \forall r \in UU_l, a \in A, l \in L \quad (28)$$

زمانی متغیر s_{ral} مقدار می گیرد که متغیر E_{arl} برابر با یک باشد.

$$\sum_{l \in L} \sum_{r \in UU_l} s_{ral} \leq capA_a \quad \forall a \in A \quad (29)$$

ظرفیت تخصیص به هر نود را تعیین می کند.

$$\sum_{a \in A} \sum_{l \in UU_r} y_{ral} \leq treabove_r \cdot zz_r \quad \forall a \in A \quad (30)$$

تعداد ماشین های قابل استفاده در هر مرکز محل جمع آوری برای مسیریابی ضایعات دارو مشخص می کند.

$$\sum_{b \in B} \sum_{f \in F} yy_{rbf} \leq \sum_{n_1 \in N} \sum_{k \in K} ww_{n_1rk} \cdot (1 - Apercent_r) \quad \forall r \in R \quad (31)$$

مقدار دارویی که به فرودگاه ها و کشورهای جهان سوم ارسال می شود را تعیین می کند.

$$RR_r \cdot yy'_{rbf} \geq dd_{rf} \quad \forall r \in R, b \in B, f \in F \quad (32)$$

زمانی از محل جمع آوری به فرودگاه دارو فرستاده می شود، که محل فرودگاه ها در ناحیه پوشش محل جمع آوری قرار داشته باشند.

$$yy'_{rbf} \cdot MM \geq yy_{rbf} \quad \forall r \in R, b \in B, f \in F \quad (33)$$

$$yy'_{rbf} \leq yy_{rbf} \quad \forall r \in R, b \in B, f \in F \quad (34)$$

روابط بین متغیر صفر و یک yy'_{rbf} و مقدارارسالی yy_{rbf} تعیین می کنند.

$$x_{n_1nk}, zz_r, aa_{rk}, E_{arl}, yy'_{rbf}, y_{hh'l} \in \{0, 1\} \quad (35)$$

متغیرهای مذکور، متغیرهای صفر و یک هستند.

$$ww_{n_1k}, w_{hh'l}, s_{ral}, yy_{rbf} \geq 0 \quad (36)$$

متغیرهای مذکور، متغیرهای مثبت هستند.

۳- محاسبات عددی

مدل ارائه شده با استفاده از نرم افزار GAMS 24.7.3 و در ابعاد کوچک برای دو محل جمع آوری، ۶ داروخانه و بیمارستان، ۴ مکان امحاء و بازیافت، ۳ کشور جهان سوم و ۴ فرودگاه پیاده سازی شده است. پارامترها و نتایج به دست آمده از حل مدل در جدول زیر آورده شده است.

جدول ۱-۳: نتایج به دست آمده از حل مدل و مقادیر پارامترها

پارامترها	مقادیر	پارامترها	مقادیر	پارامترها	مقادیر
RR_{r_1}	۱۶	$Apercent_{r_1}$	۰٫۷	vc_{k_1}	۰٫۸
RR_{r_2}	۱۵	$Apercent_{r_2}$	۰٫۸	vc_{k_2}	۰٫۵

۰.۶	c'_{rfl}	۱	$trebellow_{r_1}$	۳۰	$capA_{a_1}$
۱۰۰۰	$price_r$	۲	$trebellow_{r_2}$	۳۰	$capA_{a_2}$
۲۰	dem_{p_1}	۱	$treabove_{r_1}$	۲۰	$capA_{a_3}$
۱۵	dem_{p_2}	۱	$treabove_{r_2}$	۲۰	$capA_{a_4}$
۳۰	dem_{p_3}	uniform(100,400)	$c_{hh'l}$	۱۰۰	$capV_{k_1}$
۲۸	dem_{p_4}	uniform(150,350)	CS_a	۱۱۰	$capV_{k_2}$
۲۵	dem_{p_5}	uniform(6,10)	dd_{rf}	۹۰	$capD_{k_1}$
۱۰	dem_{p_6}			۸۵	$capD_{k_2}$
۲۶۱۲۳,۰۸۳۴۴۸					مقدار تابع هدف
۳۷۳,۱۹ ثانیه					زمان حل

نمونه ای از فواصل به کار گرفته شده در مدل در جدول زیر آورده شده است.

جدول ۲-۳: فواصل در نظر گرفته شده برای نقاط جمع آوری و داروخانه ها و بیمارستان ها

	r1	r2	p1	p2	p3	p4	p5	p6
r1	۰	۰.۵	۰.۸	۰.۶	۰.۳	۰.۹	۰.۷	۰.۳
r2	۰.۵	۰	۰.۶۵	۰.۵۵	۰.۲	۰.۷	۰.۶	۰.۲
p1	۰.۸	۰.۶۵	۰	۰.۶۵	۰.۵	۰.۳	۵۰.	۰.۴
p2	۰.۶	۰.۵۵	۰.۶۵	۰	۰.۱	۰.۷	۰.۳	۰.۶
p3	۰.۳	۰.۲	۰.۵	۰.۱	۰	۰.۱۵	۰.۴	۰.۵
p4	۰.۹	۰.۷	۰.۳	۰.۷	۰.۱۵	۰	۰.۶	۰.۳
p5	۰.۷	۰.۶	۰.۵	۰.۳	۰.۴	۰.۶	۰	۰.۴
p6	۰.۳	۰.۲	۰.۴	۰.۶	۰.۵	۰.۳	۰.۴	۰

جدول ۳-۳: تحلیل حساسیت برای پارامتر ظرفیت نود a_1

پارامتر	تغییرات مقدار ظرفیت محل امحاء	هزینه امحاء در نود a_1	مقدار کل تابع هدف
$capA_{a_1}$	+۵۰٪	۸۱۲۱,۳۵۳	۱۹۳۵۵,۹۵۸
	+۲۰٪	۶۴۹۷,۰۸۳	۲۰۷۴۲,۶۶۳
	۰	۵۴۱۴,۲۳۶	۲۱۵۹۷,۳۵۹
	-۲۰٪	۴۳۳۱,۳۸۹	۲۲۶۳۰,۴۸۸
	-۳۵٪	۳۵۱۹,۲۵۳	۲۳۳۲۷,۰۴۴

جهت انجام تحلیل حساسیت به دلیل این که ظرفیت نو ده های امحاء یکی از عوامل شدنی یا نشدنی بودن مدل را تعیین می کنند در نتیجه با تغییرات پارامتر نود a_1 یعنی $capA_{a_1}$ مدل را تحلیل می کنیم. وقتی $capA_{a_1}$ را افزایش می دهیم به دلیل افزایش ظرفیت آن نود و کمتر بودن مقدار هزینه ی امحاء آن نود در مقابل با هزینه های امحاء دیگر نود ها، مدل سعی می کند مقادیر بیشتری به آن تخصیص دهد (با در نظر گرفتن دیگر هزینه ها) در نتیجه هزینه های آن در مقابل دیگر هزینه های تابع هدف بیشتر می شود. در نتیجه این افزایش باعث می شود هزینه های دیگری مثل هزینه های جابه جایی و هزینه های محیط زیستی کاهش پیدا کند که باعث کاهش هزینه ای کل تابع هدف خواهد. همانطور که در جدول می بینیم مدل طبق تحلیلی که انجام گرفت به درستی رفتار می کند.

۴- نتیجه گیری

امروزه افزایش مداوم در استفاده از داروها به دلیل توسعه صنعت داروسازی و افزایش جمعیت سالمند ، باعث ایجاد یک افزایش متناظر در میزان زباله های دارویی تولید شده می شود. هنگامی که داروها در پاسخ به یک بیماری حاد یا مزمن تجویز می شوند، تنها بخشی از دارو استفاده می شود و بخشی دیگر بلااستفاده باقی می ماند. ضایعات و زباله ها به خودی خود عامل بسیاری از بیماری ها، مشکلات زیست

محیطی و... هستند. زباله های دارویی از این موضوع مستثنی نیستند. این زباله ها حتی می توانند بسیار خطرناک تر از سایر زباله ها باشند. موضوع مهم در خصوص زباله های دارویی این است که دفع زباله در جریان رودخانه ها وارد محیط طبیعی آبیان می شوند که ممکن است دریاچه های تفریحی و یا حتی تصفیه خانه های تصفیه آب آشامیدنی را آلوده کند. همچنین معضل مهم این است که بیشتر زباله های دارویی به درستی از بین نمی روند و این پسماند داروها به راحتی می توانند به آب مصرفی برسند و اثراتی را برجای می گذارند که بلافاصله قابل مشاهده نیستند اما تأثیر منفی عمده ای بر سلامت جامعه دارند. افزایش نگرانی ها در مورد آلودگی های ناشی از ضایعات دارویی اهمیت پرداختن به این موضوع را دوچندان کرده است. به دلیل اهمیت استراتژیک بهبود مدیریت پسماند می توان یک روش جمع آوری کارآمد به منظور کاهش هزینه و توجه به پایداری آیین زنجیره ایجاد کرد. در این مقاله سعی شده است تا با ارائه یک مدل کارآمد جهت جمع آوری درست زباله های دارویی و ارسال آن به مراکز بازیافت و امحاء، از مخاطرات اشاره شده تا حد ممکن جلوگیری کرد و بتوان مسئله مدیریت جمع آوری زباله های دارویی را تا حد خوبی پیاده کرد. همچنین این مطالعه به ارائه یک مدل ریاضی برای کمینه کردن هزینه های مربوط به جمع آوری ضایعات دارویی با در نظر گرفتن محدودیت های موجود پرداخته است و در آن مسئله کربن دی اکسید ایجاد شده توسط ماشین ها نیز دیده شده است. در نهایت برای بررسی صحت مدل به حل نمونه ای کوچکی از مسئله و تحلیل حساسیت پرداخته شد. با توجه به کاهش هزینه های زنجیره و همچنین کاهش میزان تولید کربن دی اکسید ناشی از پیاده سازی این مدل، می توان از آن در سطح کشوری استفاده کرد. در تحقیقات آتی می توان این مدل رو با در نظر گرفتن مسائلی از قبیل پنجره زمانی، ماشین های ناهمگون، میزان تقاضای احتمالی و سایر فاکتور ها به دنیای واقعی نزدیک تر کرد و آن را بهبود داد.

مراجع

- [1] Dar, M.A., M. Maqbool, and S. Rasool. (2019). Pharmaceutical Wastes and their disposal practice in routine.
- [2] Ternes, T.A. (1998). Occurrence of drugs in German sewage treatment plants and rivers. *Water research*. 32(11): p. 3245-3260.
- [3] Choi, J.-W., et al. (2018). Estimating environmental fate of tricyclic antidepressants in wastewater treatment plant. *Science of the Total Environment*. 634: p. 52-58.
- [4] Sim, W.-J., et al. (2011). Occurrence and distribution of pharmaceuticals in wastewater from households, livestock farms, hospitals and pharmaceutical manufactures. *Chemosphere*. 82(2): p. 179-186.
- [5] Schafhauser, B.H., et al. (2018). Global review and analysis of erythromycin in the environment: occurrence, bioaccumulation and antibiotic resistance hazards. *Environmental pollution*. 238: p. 440-451.
- [6] Scott, T.-M., et al. (2018). Pharmaceutical manufacturing facility discharges can substantially increase the pharmaceutical load to US wastewaters. *Science of the Total Environment*. 636: p. 69-79.
- [7] Asghar, M.A., et al. (2018). Suspect screening and target quantification of human pharmaceutical residues in the surface water of Wuhan, China, using UHPLC-Q-Orbitrap HRMS. *Science of the total environment*. 635: p. 828-837.
- [8] Kongar, E., et al. (2015). A novel IT infrastructure for reverse logistics operations of end-of-life pharmaceutical products. *Information Technology and Management*. 16(1): p. 51-65.
- [9] Bungau, S., C. Bungau, and D. Tit. (2015). Studies about last stage of product lifecycle management for a pharmaceutical product. *Journal of Environmental Protection and Ecology*. 16(1): p. 56-62.
- [10] Sinthuchai, D., et al. (2016). Evaluation of removal efficiency of human antibiotics in wastewater treatment plants in Bangkok, Thailand. *Water Science and Technology*. 73(1): p. 182-191.
- [11] Daughton, C.G. (2014). Eco-directed sustainable prescribing: feasibility for reducing water contamination by drugs. *Science of the total environment*. 493: p. 392-404.
- [12] Xie, Y. and L. Breen. (2012). Greening community pharmaceutical supply chain in UK: a cross boundary approach. *Supply Chain Management: An International Journal*. 17(1): p. 40-53.
- [13] Kwateng, K.O., et al. (2014). Reverse logistics practices in pharmaceutical manufacturing industry: experiences from Ghana. *Global Journal of Business Research*. 8(5): p. 17.
- [14] Weraikat, D., M.K. Zanjani, and N. Lehoux. (2016). Two-echelon pharmaceutical reverse supply chain coordination with customers incentives. *International Journal of Production Economics*. 176: p. 41-52.
- [15] Phillips, J. and M. Mondal. (2014). Determining the sustainability of options for municipal solid waste disposal in Varanasi, India. *Sustainable Cities and Society*. 10: p. 11-21.
- [16] Hannan, M., et al. (2015). A review on technologies and their usage in solid waste monitoring and management systems: Issues and challenges. *Waste Management*. 43: p. 509-523.

- [17] Krikke, H., D. Hofenk, and Y. Wang. (2013). Revealing an invisible giant: A comprehensive survey into return practices within original (closed-loop) supply chains. *Resources, Conservation and Recycling*, 73: p. 239-250.
- [18] Hannan, M., et al. (2020). Waste collection route optimisation model for linking cost saving and emission reduction to achieve sustainable development goals. *Sustainable Cities and Society*. p. 102393.
- [19] Benjamin, A.M. and J. Beasley. (2010). Metaheuristics for the waste collection vehicle routing problem with time windows, driver rest period and multiple disposal facilities. *Computers & Operations Research*. 37(12): p. 2270-2280.
- [20] Kim, B.-I., S. Kim, and S. Sahoo. (2006). Waste collection vehicle routing problem with time windows. *Computers & Operations Research*. 33(12): p. 3624-3642.
- [21] Ea, J., V.V. Panickera, and R. Sridharana. (2015). Multi-objective optimization model for a green vehicle routing problem. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*. 189: p. 33-39.
- [22] Huang, H., et al. (2015). An optimization model for expired drug recycling logistics networks and government subsidy policy design based on tri-level programming. *International journal of environmental research and public health*. 12(7): p. 7738-7751.
- [23] Buhrkal, K., A. Larsen, and S. Ropke. (2012). The waste collection vehicle routing problem with time windows in a city logistics context. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*. 39: p. 241-254.
- [24] Osaba, E., et al. (2019). A discrete and improved bat algorithm for solving a medical goods distribution problem with pharmacological waste collection. *Swarm and evolutionary computation*. 44: p. 273-286.
- [25] Hannan, M., et al. (2018). Capacitated vehicle-routing problem model for scheduled solid waste collection and route optimization using PSO algorithm. *Waste management*. 71: p. 31-41.