Journal of Supply Chain Management
Vol. 26, No. 4, Winter 2025, Serial No. 85
ISSN: 2008-9198 , E-ISSN: 2717-1647

Optimized Vaccine Allocation Based on Preferences and Access: Case of COVID-19

Mohammad Mohajertabrizi * , Tooba Darvishmohammadi
*Assistant professor of industrial engineering, Gorgan faculty of engineering, Golestan University, Gorgan, Iran
(Received: 28/11/2024, Revised: 06/01/2025, Accepted: 11/02/2025, Published: 10/03/2025)
DOR: 20.1001.1.20089198.1403.26.85.4.7

ABSTRACT

The development of new technologies for producing COVID-19 vaccines, due to time constraints in the production process and the influence of diverse media reports, has led to varying perceptions among individuals regarding the efficacy and side effects of different vaccine brands. This highlights that individuals' understanding of the quality and desirability of a vaccine brand can play a significant role in their willingness to receive it. This study focuses on examining the impact of logistical measures on the equitable distribution of various vaccine brands, aiming to increase vaccination rates and ultimately achieve better pandemic management. In this research, three mathematical models were designed to simulate consumer behavior: the first model does not consider individuals' preferences for a specific vaccine brand; the second model takes these preferences into account; and the third model, in addition to preferences, examines individuals' reactions when their preferred vaccine brand is unavailable. In all models, the primary priorities are reducing the spread of the disease, focusing on densely populated areas, and mitigating the social consequences of the pandemic. Results reveal that these models can facilitate equitable distribution of vaccines across the country, contributing to improved disease control and a reduction in the social impacts of the pandemic.

Keywords: Logistical Measures, Equitable Vaccine Distribution, Brand Preference, Pandemic Experiences

This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license.

Publisher: Imam Hussein University © Authors

* Corresponding Author Email: m.mohajertabrizi@gu.ac.ir

نشریه «مدیریت زنجیره تامین»
سال بیست و ششم، شماره ۸۵، زمستان ۱۴۰۳؛ ص ۶۸-۴۷
شاپای چاپی: ۲۰۰۸-۹۱۹۸| شاپای الکترونیکی: ۲۷۱۷-۱۶۴۷

علمی – پژوهشی

مدل‌سازی تخصیص واکسن مبتنی بر تمایل و دسترسی: مطالعه موردی واکسن کرونا

محمد مهاجر تبریزی[1*]، طوبی درویش‌محمدی[2]

۱- استادیار مهندسی صنایع دانشکده فنی مهندسی گرگان، دانشگاه گلستان، گرگان، ایران ۲-دانش آموخته مهندسی صنایع دانشکده فنی مهندسی گرگان، دانشگاه گلستان، گرگان، ایران

DOR: 20.1001.1.20089198.1403.26.85.4.7

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۹/۰۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۲۳
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۱۰/۱۷ تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۱۲/۲۵

چکیده

توسعه فناوری‌های نوین برای تولید واکسن کرونا به دلیل وجود محدودیت زمانی در فرآیند ساخت و همراه شدن آن با گزارش‌های متنوع رسانه‌ای، منجر به ایجاد برداشت‌های متفاوتی نسبت به اثربخشی و عوارض نشان های تجاری مختلف واکسن در بین افراد شده است. این موضوع نشان می‌دهد که درک افراد از کیفیت و مطلوبیت نشان تجاری واکسن، می تواند نقش مهمی در تمایل آن‌ها به تزریق ایفا کند. پژوهش حاضر بر بررسی تأثیر اقدامات لجستیکی در توزیع عادلانه نشان های تجاری مختلف واکسن تمرکز دارد و هدف آن افزایش میزان تزریق و در نهایت مدیریت بهتر همه‌گیری است. در این تحقیق، سه مدل ریاضی برای شبیه‌سازی رفتار مصرف‌کنندگان طراحی شده است: مدل اول تمایلات افراد به نشان تجاری خاص واکسن را در نظر نمی‌گیرد؛ مدل دوم این تمایلات را لحاظ می‌کند؛ و مدل سوم علاوه بر تمایلات، واکنش افراد در صورت عدم دسترسی به نشان تجاری موردنظر را نیز بررسی می‌کند. در همه مدل‌ها، کاهش شیوع بیماری، توجه به مناطق پرجمعیت، و کاهش پیامدهای اجتماعی ناشی از همه‌گیری، اولویت اصلی است. نتایج نشان می‌دهد که این مدل‌ها می‌توانند به توزیع عادلانه واکسن در کشور کمک کرده و در نهایت به مدیریت بهتر شیوع بیماری و کاهش آثار اجتماعی آن منجر شوند.

واژه‌های کلیدی: کرونا، اقدامات لجستیکی، توزیع عادلانه واکسن، تمایل به نشان تجاری، تجارب همه گیری

۱- مقدمه و پیشینه پژوهش

۱-۱- مقدمه

با شروع همه‌گیری کرونا، در سراسر جهان تلاش برای مواجهه با آن آغاز شد. تحقیق و بررسی روی این ویروس و بیماران مبتلا جهت یافتن دارو برای درمان کرونا، معرفی راه‌های انتقال بیماری و کشف واکسن جهت پیشگیری، از جمله اقدامات لازم سیستم سلامت کشور و جهان بود. همچنین ایجاد ظرفیت کافی برای نگهداری و درمان بیماران مانند راه‌اندازی بیمارستان موقت و فراخوان جذب نیرو، افزایش تولید ماسک و مواد ضد عفونی کننده، لغو پروازها و تعطیل‌کردن مدارس از جمله اقدامات صورت گرفته برای مواجهه با این بحران بود. پس از کشف و تأیید واکسن توسط کشورهای مختلف، به دلیل کمتر بودن تولید نسبت به جمعیت، اولویت‌بندی افراد آسیب‌پذیر و در معرض خطر ابتلا، تأمین واکسن مورد نیاز و فراهم کردن الزامات زنجیره تأمین برای توزیع واکسن (زنجیره سرد) دغدغه‌ی بعدی کشورها بود.

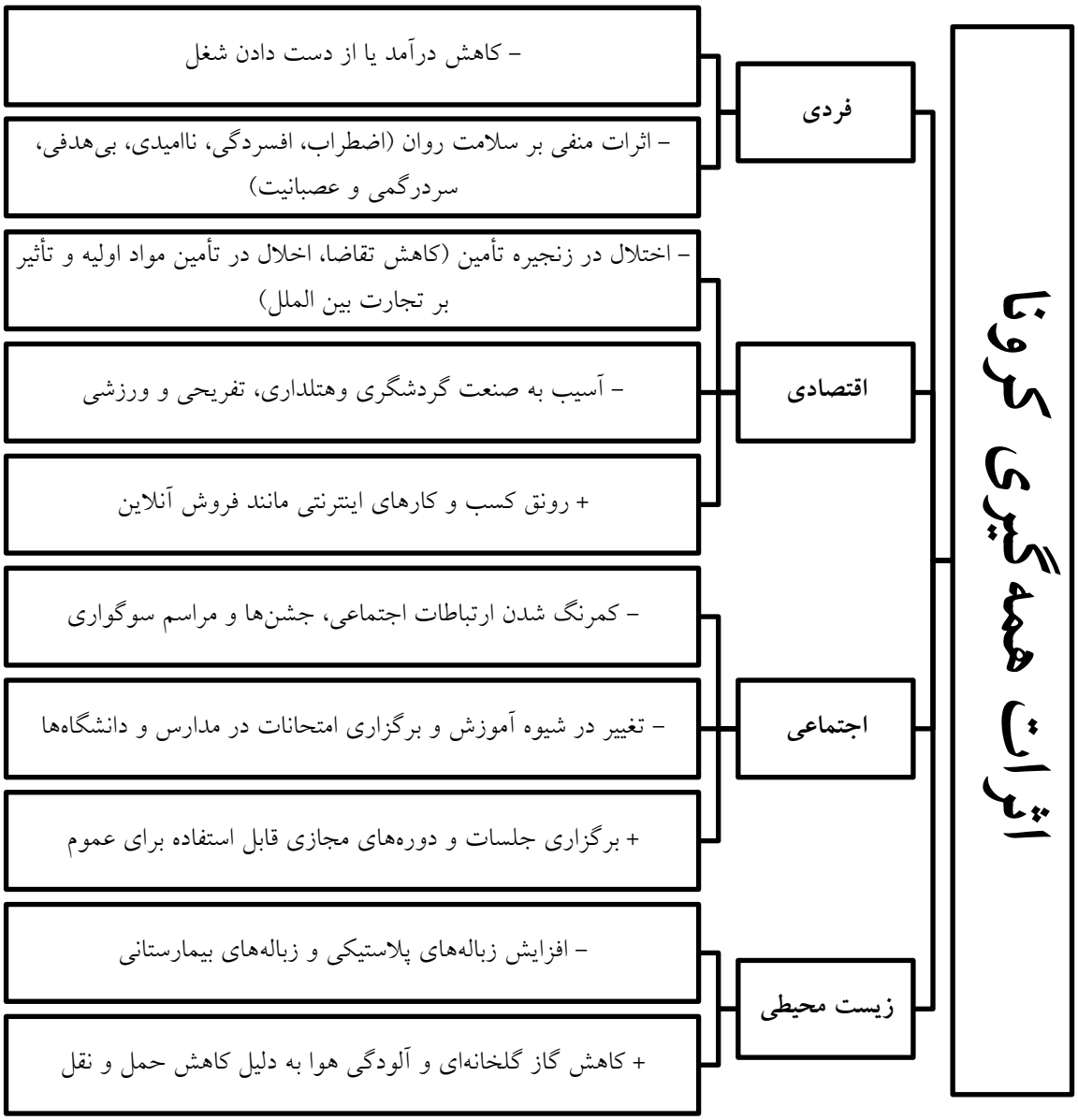
پس از آن، عدم اطمینان بسیاری از مردم در مورد کارکرد واکسن‌ها، ترس از عوارض آن‌ها، مقاومت برای تزریق و تردید در تزریق بعضی نشان‌های تجاری باعث پیشروی کند فرایند واکسیناسیون شد. با توجه به گسترش این بیماری در سراسر جهان، تلاش برای اجرای سریع‌تر واکسیناسیون سراسری ضرورت یافت.

شیوع کرونا، به عنوان یک همه‌گیری، علاوه بر عوارضی که برای مبتلایان به آن دارد، تأثیرات بسیاری بر افراد و جوامع گذاشته است. در یک دسته‌بندی از اثرات همه‌گیری کرونا ترسیم شده است. با وجود این طیف اثرات، شکی نیست که تلاش برای مهار این بیماری نیازمند ابزارها و تجارب مدیریتی در زمینه تامین و توزیع واکسن است که متاسفانه وجود نداشت و به تدریج کسب شد. هدف این مقاله بهره‌گیری از برخی درس‌آموخته‌های همه‌گیری کرونا از منظر لجستیک و زنجیره تأمین، برای مدیریت بیماری‌های همه‌گیر مشابه در آینده است.

نشان‌های تجاری مختلف واکسن کرونا با تکنولوژیهای متفاوتی تولید شده‌اند. به عنوان مثال واکسنهای فایزر و مدرنا توسط فناوری mRNA و واکسن سینوفارم با استفاده از ویروس غیرفعال شده ساخته شده‌اند. در تولید واکسن آسترازنکا نیز از وکتورهای

* رایانامه نویسنده مسئول: m.mohajertabrizi@gu.ac.ir

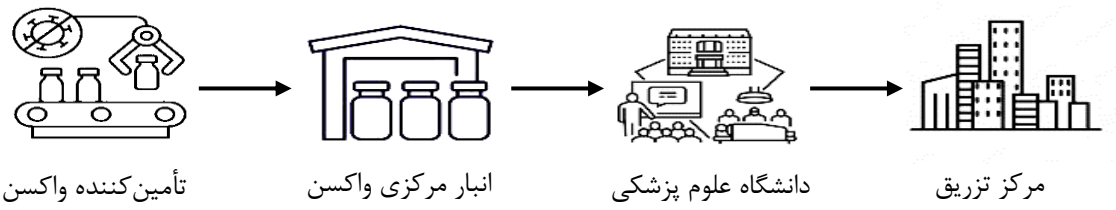
ویروسی استفاده شده است [۱]. واکسنهای ساخته شده با هر کدام از تکنولوژیهای، اثربخشی متفاوتی جهت ایمن سازی بدن در برابر ویروس دارد. از طرفی، سودمندی برنامه‌های واکسیناسیون برای کنترل بیماری کروناویروس صرفاً به کارایی و ایمنی واکسن وابسته نیست. به نظر می‌رسد پذیرش واکسن در بین عموم مردم و کارکنان مراقبت‌های بهداشتی نقش تعیین‌کننده‌ای در کنترل موفقیت‌آمیز این همه‌گیری داشته باشد [۲]. پذیرش واکسیناسیون کرونا در جمعیت، تحت تأثیر نگرش نسبت به این واکسن بوده و بدون توجه به عوامل تأثیرگذار بر نگرش جمعیت، امکان واکسیناسیون در حد مطلوب در هیچ کشوری فراهم نمی‌شود [۳]. توسعه استراتژی‌های واکسیناسیون که بر اساس آنچه مردم می‌خواهند مدل‌سازی شده‌اند، می‌تواند افراد بیشتری را جذب کند [۴].



شکل (۱): دسته‌بندی اثرات همه‌گیری کرونا [۵] ، [۶] ،[۷] و [۸]

شرکت‌های پخش دارویی و داروخانه‌ها صورت نمی‌گیرد. سازمان غذا و دارو متولی هماهنگی تامین دارو از طریق شرکت‌های تامین کننده است. در گام بعد واکسن تامین شده در انبار مرکزی متعلق به وزارت بهداشت ذخیره شده و سپس از طریق دانشگاه‌های علوم پزشکی به مراکز تزریق ارسال می‌شود.

زنجیره تأمین دارو در حالت کلی از سه بخش اصلی تولید، توزیع و عرضه دارو تشکیل شده است. به طور کلی داروها از طریق شرکت‌های پخش توزیع می‌شوند اما برای داروهای خاص نظیر داروهای تحت کنترل (داروهای با قابلیت سوء مصرف) و بازه‌های زمانی خاص مانند همه‌گیری کرونا، شکل توزیع متفاوت است. برای جلوگیری از ایجاد بازار سیاه و اطمینان از رعایت اولویت‌بندی گروه‌های هدف، توزیع و عرضه واکسن کرونا از طریق



شکل (۲): زنجیره تأمین واکسن کرونا

هیچ نقطه‌ای تحت پوشش بیش از یک دانشگاه نیست. بر همین اساس زنجیره موردنظر در این مطالعه شامل تأمین‌کننده (اعم از واردکننده و تولیدکننده)، انبار مرکزی، دانشگاه‌های علوم پزشکی و مراکز تزریق سراسر کشور است (شکل (۲)). سوال اساسی این تحقیق این است که چه اقدامات لجستیکی می‌تواند به کاهش شیوع بیماری و کاهش پیامدهای اجتماعی آن کمک کند؟ به طور خاص، آیا در نظر گرفتن تمایلات افراد در توزیع واکسن، می‌تواند به افزایش میزان واکسیناسیون و کنترل بهتر همه‌گیری کمک کند؟ نوآوری اصلی این مقاله ارائه مدلی ریاضی است که به صورت همزمان تأثیر تمایلات افراد، تراکم جمعیت و گروه‌های هدف بر توزیع واکسن را مشخص کرده و ضمناً میزان توزیع درست واکسن را با شاخصهای ذکر شده در اختیار برنامه ریزان قرار دهد. در بخش بعدی ابتدا به مروری بر پژوهش‌های پیشین در زمینه توزیع واکسن پرداخته شده و سپس مدل ریاضی توزیع بهینه واکسن ارائه می‌شود.

۱-۲- مرور ادبیات

درک عوامل موثر در پذیرش واکسیناسیون، شناسایی موانع و تسهیل تصمیم‌گیری‌ها در زمینه واکسیناسیون از جنبه‌های مهم در طراحی استراتژی‌های مؤثر برای بهبود میزان پوشش واکسناسیون در بین مردم جامعه است [۹]. به دلیل اهمیت بحث تمایل به واکسیناسیون، در ایران و سایر کشورها پژوهش‌های متعددی حول این موضوع صورت گرفته است. در مقالاتی از جمله سلیمی و همکاران [۱۰]، خانکه و همکاران [۱۱]، تمیمی و همکاران [۱۲]، ایشون-ویلسون و همکاران [۴]، نخستین-انصاری و همکاران [۱۳] و ترن و همکاران [۱۴] رابطه عواملی همچون جنسیت، سن، تحصیلات، بیماری زمینه‌ای و اعتماد به واکسن، بر تمایل به تزریق واکسن بررسی شده و فراوانی تمایل به پذیرش واکسن و تأکید روی نشان تجاری نیز مورد مطالعه قرار گرفته است. نتایج پژوهش‌ها در مناطق جغرافیایی و مقاطع زمانی مختلف، متفاوت است. تفاوت نتایج مطالعات می‌تواند به دلیل پیشرفت‌ها و گزارش‌های علمی در طول زمان یا انتشار اخبار متناقض در مورد ایمنی و اثربخشی واکسن‌های موجود باشد. همچنین میزان تمایل به تزریق و محبوبیت نشان‌های تجاری به تفکیک شهرستان یا استان، در دسترس نیست؛ لذا در این پژوهش، برای تعیین پارامترهای مرتبط با تمایلات افراد، از داده‌های مطالعات فوق استفاده نکردیم. نحوه تعیین آن‌ها در بخش مطالعه موردی بیان شده است. در جدول تعدادی از پژوهشهای مرتبط با تخصیص و توزیع واکسن و داروهای کمیاب آورده شده است. لازم به ذکر است که در این جدول منظور از منافع اجتماعی عبارت است از هر عاملی غیر از مباحث مالی که منجر به بهبود وضعیت رفاه اجتماعی در اقشار جامعه خواهد شد و منظور از تفکیک گروه هدف، در نظر گرفتن اولویت برای بخشی از مصرف کنندگان است. در واکسیناسیون سراسری علیه کرونا، اگرچه هدف واکسینه شدن تمام افراد است اما اولویت با افرادی است که به دلیل ضعف بدن یا ارتباط مداوم با بیماران بیشتر در معرض خطر هستند. در خصوص ستون سطح دسترسی به دارو در جدول نیز باید گفت که تقاضای ژنریک واکسن کرونا مشخص است اما می‌تواند توسط نشان‌های تجاری مختلف از همان خانواده ژنریک تأمین شود. اگر تقاضای نشان تجاری جدا بوده و مشخص باشد، مدل در سطح نشان تجاری است و هر نشان تجاری عملاً یک کالای جداگانه است. در پژوهش حاضر در سناریوهای مختلف به تناسب هم در سطح ژنریک و هم در سطح نشان تجاری به تعیین میزان بهینه توزیع اشاره شده است.

جدول (۱): مرور ادبیات

مرجع	منافع اجتماعی						تفکیک گروه هدف	سطح دسترسی به دارو	تصمیمات
	پوشش و دسترسی	کمبود و موجودی	ابتلا و مرگ‌ومیر	عدالت	رضایت و تمایلات	سایر			
[۱۵]	✓	✓			✓	- فاصله مراجعه‌کنندگان تا مراکز تزریق	✗	ژنریک	- احداث کلینیک سیار و تخصیص مناطق جمعیت هدف به کلینیک‌ها - تعیین مقدار واکسن انتقال‌یافته بین لایه‌های زنجیره در هر دوره
[۱۶]	✓	✓				- مقایسه تعداد مراجعات ناموفق و نسبت تعداد مراجعه ناموفق به تعداد مشتری در سناریوهای مختلف - زمان اجرای برنامه توزیع	افراد مسن، دارای بیماری‌های زمینه‌ای، دارای شغل‌های در معرض عفونت و افراد باردار	ژنریک	تخصیص سهمیه واکسن به داروخانه‌های هر منطقه تهران
[۱۷]	✓			✓	✓	- اشتغال‌زایی - اعتماد بین فردی - سطح سلامت جامعه	✗	ژنریک	- مکان‌یابی انبارهای مرکزی جدید، مرکز جمع‌آوری و مراکز بازیافت و انهدام - تعیین مقدار بهینه جریان مواد بین هر یک از تسهیلات
[۱۸]		✓					باتوجه‌به سطح متفاوت از آلوده‌شدن گروه‌های مختلف جمعیتی به بیماری	ژنریک	تعیین مقدار واکسن انتقال‌یافته بین لایه‌های زنجیره در هر دوره

جدول (۱): مرور ادبیات

مرجع	منافع اجتماعی						تفکیک گروه هدف	سطح دسترسی به دارو	تصمیمات
	پوشش و دسترسی	کمبود و موجودی	ابتلا و مرگ‌ومیر	عدالت	رضایت و تمایلات	سایر			
[۲۰]	✓					- بررسی اثرات پوشش واکسن، زمان‌های مختلف انتشار و روش‌های مختلف توزیع واکسن بر کنترل بیماری	گروه سنی	ژنریک	تعیین استراتژی اولویت‌بندی توزیع واکسن
[۲۱]			✓			- کنترل ازدحام در مراکز واکسیناسیون	گروه سنی	برند - ژنریک	- تعیین ظرفیت مراکز واکسیناسیون - توزیع انواع مختلف واکسن‌ها با منابع محدود در میان انبارهای مختلف در سطوح مختلف سلسله‌مراتبی
[۲۲]			✓			- درنظرگرفتن دوره‌های کوتاه‌مدت ۱ تا ۷ روزه	گروه سنی	ژنریک	انتخاب سیاست تخصیص بهینه واکسن
[۲۳]						- تخصیص واکسن بر اساس خطر مواجهه، حساسیت و محدودیت‌های ظرفیت مراکز پزشکی	مشاغل اضطراری، گروه سنی و افراد دارای شرایط سلامتی مزمن	ژنریک	تعیین تعداد بسته‌های واکسن تخصیص‌یافته به هر نقطه تقاضا (مرکز پزشکی) و هر گروه هدف
[۲۴]		✓					×	ژنریک	- سهمیه هر منطقه تقاضا - میزان تولید، واردات و توزیع
[۲۵]		✓					×	ژنریک	- تعیین قیمت و سهمیه‌بندی دارو - میزان تولید، واردات و توزیع
مقاله حاضر	✓	✓		✓	✓		گروه سنی بیماری خاص کادر درمان	برند - ژنریک	تعیین سهمیه هر نشان تجاری واکسن در هر شهرستان

مهدی پور میر [۱۵] در پایان‌نامه خود مدلی جهت تصمیم‌گیری در خصوص احداث کلینیک سیار، تخصیص مناطق جمعیت هدف به آنها و تعیین مقدار واکسن انتقالی بین لایه‌های زنجیره در هر دوره ارائه داده است. منافع اجتماعی مطرح شده در این پژوهش، رضایت حاصل از ارائه خدمات و هزینه کمبود بوده و پارامترهای تقاضا، تعداد افراد مراجعه‌کننده و هزینه حمل‌ونقل دارای عدم قطعیت هستند. مطالعه موردی انجام شده در این پایان‌نامه، توزیع واکسن کزاز برای کشور آنگولا است.

مدل احتمالی ارائه شده در پایان‌نامه محمود [۱۶] سهمیه واکسن آنفولانزای داروخانه‌های مناطق ۲۲گانه تهران را تعیین می‌کند. در این مطالعه، میزان پوشش دهی و تعداد مراجعات ناموفق در سناریوهای مختلف، توزیع واکسن بر حسب رعایت مسائل بهداشتی و محرومیت مناطق، بر حسب تراکم جمعیت و بر اساس توزیع ثروت مد نظر قرار گرفته است. همچنین چرخه بیماری آنفولانزا ارائه شده است. دیرنگ [۱۷] در پایان نامه خود رویکردی استوار جهت طراحی شبکه زنجیره تأمین منطقه‌ای واکسن در حالت عدم قطعیت (از نوع استوار) پارامتر تقاضا، ظرفیت، هزینه حمل و نقل و هزینه نگهداری ارائه داده است. اشتغالزایی، مقبولیت محصول و تمایل به مصرف محصول جدید از جمله منافع اجتماعی مورد توجه در این مطالعه بودند. مدل مربوطه برای توزیع واکسن پنجگانه در سطح ایران اجرا شد. تعیین قیمت، در نظر گرفتن فساد پذیری، اعمال اختلالات زنجیره سرد، بررسی تکنولوژی جدید و حداقل سازی آثار منفی زیست محیطی از دیگر ویژگی‌های این پژوهش است. در مدل ارائه شده در مقاله هاشمی و همکاران [۱۸] مقدار واکسن آنفولانزای انتقال یافته بین لایه‌های زنجیره تأمین با توجه به سطح متفاوت از آلوده شدن گروه‌های جمعیتی مختلف به بیماری تعیین می‌شود. همچنین هزینه‌های اضافی وارد شده در نتیجه کمبود واکسن (شامل هزینه‌های خدمات بیماران سرپایی و بستری از سوی بیماران آلوده غیرواکسینه)، در نظر گرفته شده و محدودیتی برای زمان در دسترس بودن پرسنل پزشکی در هر کلینیک در هر دوره تعریف شده است.

در مقاله سلطانی و همکاران [۱۹] نیز یک مدل پویای چند هدفه جهت طراحی شبکه لجستیک چند محصولی توزیع واکسن کودکان ارائه شده است. مقدار واکسن انتقالی بین لایه‌های زنجیره با هدف افزایش سطح پوشش دهی واکسیناسیون تعیین می‌شود. در این مقاله ظرفیت یخچال و فریزر به صورت جداگانه در نظر گرفته شده و میزان اتلاف واکسن‌ها در جریان انبارش، حمل و نقل و واکسیناسیون لحاظ شده است. در مقاله یو و همکاران [۲۰] اثرات پوشش واکسن، زمان‌های مختلف انتشار و روش‌های مختلف توزیع واکسن بر کنترل بیماری بررسی شده تا بهترین استراتژی اولویت بندی توزیع واکسن به کمک شبیه‌سازی تعیین شود. مطالعه موردی این مقاله اپیدمی آنفولانزای H1N1 بوده و پویایی شیوع عفونت در چندین جمعیت سنی و پویایی گسترش ویروس در مناطق مختلف جغرافیایی را در نظر گرفته است. در مطالعه محمدی و همکاران [۲۱] مدلی جهت طراحی شبکه توزیع واکسن برای مکان یابی مراکز واکسیناسیون و تعیین ظرفیت مراکز از طریق کنترل ازدحام آنها توسعه داده شده است. مطالعه موردی این پژوهش، توزیع واکسن‌های کووید-۱۹ و برنامه ریزی واکسیناسیون افراد ساکن در فرانسه است. در این مطالعه، انواع مختلف واکسن، تعداد دوز مورد نیاز، درصد اثربخشی و فاصله زمانی بین دو تزریق لحاظ شده و محدودیت‌های قرنطینه و ظهور انواع جدید بیماری با نرخ انتقال و مرگ و میر بالاتر در نظر گرفته شده است. همچنین تأثیر اختلال در امکانات، موجودی‌ها و خدمات در طراحی شبکه توزیع واکسن مورد توجه قرار گرفته است. در مقاله چن و همکاران [۲۲] با بررسی سیاست‌های ایستا و پویا، سیاست تخصیص یکنواخت بین گروه‌های سنی و تخصیص متناسب با جمعیت هر گروه سنی و سیاست‌های کوتاه مدت، سیاست بهینه تخصیص واکسن در نیویورک توسط شبیه سازی انتخاب شده است. در پژوهش فوق تماس بین گروه‌های سنی، نرخ انتقال عفونت و زمان بهبودی در نظر گرفته شده است.

عباسی و همکاران [۲۳] تخصیص و توزیع واکسن کووید-۱۹ در ایالت ویکتوریا در استرالیا را مورد مطالعه قرار دادند. در این مقاله، تخصیص واکسن به مراکز پزشکی بر اساس خطر مواجهه، حساسیت گروه‌های هدف و محدودیت‌های ظرفیت مراکز، صورت گرفته است. همچنین امکان حمل و نقل بین مراکز پزشکی و تحویل واکسن‌ها در اندازه‌های مختلف بسته بندی وجود دارد. در مقاله پیشوایی و همکاران [۲۴] سهمیه بندی داروهای کمیاب و میزان تولید، واردات و توزیع آنها مورد توجه قرار گرفته است. پارامترهای نرخ ارز و تقاضا دارای عدم قطعیت از نوع فازی هستند. این مدل با هدف حداکثر کردن حداقل سود تأمین کنندگان و به حداقل رساندن حداکثر کمبود نوشته شده و محدودیت ظرفیت تولید برای تولیدکننده و محدودیت بودجه و سهمیه تأمین را برای واردکننده در نظر می‌گیرد. مطالعه موردی این پژوهش، میزان تولید و واردات و سهمیه بندی sodium valproate و levodopa-b در ایران است. پیشوایی و همکاران[۲۵] در مقاله دیگری علاوه بر سهمیه بندی و تعیین میزان تولید و واردات، به بحث تعیین قیمت پرداخته و پارامتر هزینه تولید نیز دارای عدم قطعیت در نظر گرفته شده است. میزان تولید و واردات، سهمیه بندی و تعیین قیمت sodium valproate در ایران، به عنوان مطالعه موردی تحت بررسی قرار گرفته است. قیمت فروش ترجیحی تولید کنندگان و وارد کنندگان، محدودیت ظرفیت تولید، محدودیت بودجه

واردکننده و ظرفیت فروش فروشندگان خارجی در مدل لحاظ شده است. قنبریان و جوشقانی [۲۶] به بررسی تأثیر بیماری کرونا بر صنایع دفاعی پرداختند. بررسی‌های آنها نشان داد که این بحران باعث کاهش بودجه‌های نظامی، اختلال در زنجیره تأمین و تغییر اولویت‌های دولت‌ها به سمت سلامت عمومی شده است. در نتیجه، صنایع دفاعی فراملی با چالش‌های مالی و عملیاتی مواجه شده‌اند که ادامه فعالیت‌های آن‌ها را تحت تأثیر قرار داده است. برزگر و همکاران [۲۷] به کمک روش مدل‌سازی تفسیری-ساختاری، اختلالات زنجیره تأمین پوشاک عملیاتی یک سازمان دفاعی را بررسی کردند. در این بررسی شیوع همه‌گیری کرونا به عنوان یک عامل اصلی تحریک‌کننده سایر اختلالات این حوزه شناخته شد. خوجه و همکاران [۲۸] در پژوهشی به طراحی یکپارچه زنجیره تأمین دارویی برای شرکت‌های پخش با در نظر گرفتن هزینه‌های احداث، توزیع، موجودی با توجه به الزامات قانونی پرداختند. با استفاده از یک مدل ریاضی و الگوریتم فراابتکاری، نشان داده شد که این رویکرد یکپارچه منجر به کاهش کلی هزینه‌های طراحی زنجیره تأمین می‌شود.

مدل‌های ارائه شده در پژوهش حاضر از نوع چند هدفه، قطعی، تک دوره‌ای و چند محصولی بوده و به دنبال تعیین میزان ارسال از هر نشان تجاری واکسن کرونا به هر شهرستان هستند. هر محصول معادل یک نشان تجاری از واکسن کرونا است و تمایل افراد برای تزریق واکسن و علاقه به نشان تجاری خاص مد نظر قرار گرفته است. عدالت در توزیع نیز در سناریوی اول با توجه به موجودی نشان تجاری لحاظ شده است. در نظر گرفتن عوامل موثر بر شیوع مانند تراکم و گروه‌های پرخطر از دیگر ویژگی‌های پژوهش حاضرند. مدل‌های ارائه شده تک دوره‌ای هستند. به مرور زمان اطلاعات در خصوص تمایلات به روز شده و ممکن است ظرفیت تزریق شهرستان‌ها کاهش یا افزایش یابد. هر بار که پارت جدید واکسن وارد یا تولید می‌شود، برای سهمیه بندی آن باید پارامترها با توجه به شرایط بروز رسانی شده و مدل مجدداً اجرا گردد. این مقاله حالتی را بررسی می‌کند که تقاضای کل از تأمین کل بیشتر بوده و قرار است واکسن موجود سهمیه‌بندی شود. بنابراین تصمیمی در خصوص میزان تولید و واردات گرفته نمی‌شود و هدف، توزیع بهینه کمبود است. با توجه به شیوع سریع و گسترده کرونا، اثرات مخرب آن بر وضعیت اقتصادی و اجتماعی و تأثیر واکسیناسیون سراسری بر کنترل بیماری، سعی بر این است که واکسن به سرعت در دسترس همه قرار گیرد. در چنین شرایطی اولویت با تخصیص عادلانه واکسن بوده و مباحث مالی از جمله هزینه نگهداری، حمل و نقل و قیمت‌گذاری از اهمیت کمتری برخوردار خواهند بود.

۲- مدلسازی

هدف پژوهش حاضر با توجه به اهمیت گسترش واکسناسیون در مدیریت همه‌گیری و نیز تأثیر تمایلات در موفقیت برنامه‌های واکسیناسیون، عبارت است از بررسی اثر تصمیمات لجستیکی و طراحی زنجیره تأمین بر موضوع توزیع واکسن و مدیریت همه‌گیری. در زنجیره تأمین واکسن به دنبال این هستیم که واکسن مناسب، به میزان مناسب، در زمان مناسب و در مکان مناسب توزیع شود یا به عبارت دیگر، واکسن ایمن و اثربخش، موجود باشد (دچار کمبود نشود) و توزیع مناسبی داشته باشد.

بدین منظور متناسب با اطلاعات موجود، زنجیره تأمین واکسن را در قالب سه سناریو مدلسازی کرده و توسط این مدل‌ها تصمیمات مربوط به توزیع و انتقال واکسن بین سطوح مختلف زنجیره را تعیین می‌کنیم. در ادامه، ابتدا مفروضات مدل را نام برده و سپس نمادهای به کاررفته در مدل‌های ریاضی را معرفی می‌کنیم. در قسمت بعد نیز مدل مربوط به هر سناریو و تغییرات لازم برای حل مدل آمده است.

۲-۱- مفروضات مدل سازی

۱. مدل چند محصولی است و هر محصول معادل یک نشان تجاری از واکسن کرونا است.
۲. تقاضا در سطح ژنریک معلوم است.
۳. تزریق واکسن اجباری نیست.
۴. هر تأمین کننده می‌تواند تنها یک نشان تجاری را تأمین کند و هر نشان تجاری می‌تواند توسط فقط یک تأمین کننده عرضه شود.
۵. پوشش هر دانشگاه تعیین شده و هیچ نقطه‌ای تحت پوشش بیش از یک دانشگاه نیست.
۶. همه افراد اجازه استفاده از هر نشان تجاری دلخواه را دارند. برای گروه‌های هدف مختلف نشان تجاری خاصی مد نظر نیست.
۷. تعیین برنامه توزیع به نحوی که مصرف یک نوبت واکسن را برای همه متقاضیان پوشش دهد، مد نظر است.
۸. واکسن ارسالی به هر شهرستان ابتدا بین گروه هدف توزیع شده و این گروه تا حد ممکن، واکسینه می‌شوند.
۹. ارسال واکسن به نقاط تقاضا به شکل دوز است (در واقعیت واکسن‌ها به شکل بسته بندی ارسال می‌شود. در هر بسته تعدادی ویال وجود دارد. در هر ویال نیز ممکن است محتوی بیش از یک دوز واکسن باشد).
۱۰. تقاضای کل از تأمین کل بیشتر بوده و در نتیجه کمبود مجاز است. هدف، توزیع بهینه کمبودها است.

۲-۳- معرفی نمادها

مجموعه‌ها و اندیس‌ها	
P :	مجموعه نشان‌های تجاری در دسترس در زمان برنامه ریزی (با اندیس p)
S_p :	مجموعه تأمین کنند گان نشان تجاری p (با اندیس s)
U :	مجموعه دانشگاه‌های علوم پزشکی ایران (با اندیس u)
C :	مجموعه شهرستان‌ها (با اندیس c)
پارامترها	
$CapS_{ps}$:	ظرفیت عرضه و پخش تأمین‌کننده s برای نشان تجاری p
$CapC_c$:	ظرفیت تزریق شهرستان c
$RPopC_c$:	جمعیت واکسن‌نزده شهرستان c
$DemGC_c$:	تقاضای شهرستان c برای واکسن کرونا
$DemGCTa_c$:	تقاضای گروه هدف شهرستان c برای واکسن کرونا
T_c :	ضریب تمایل شهرستان c به تزریق واکسن
Cr_c :	ضریب تراکم جمعیت شهرستان c
F_p :	ضریب موجودی نشان تجاری p
A_{pc} :	ضریب محبوبیت نشان تجاری p در شهرستان c
Ar_c :	مساحت شهرستان c
Ta_c :	نسبت گروه هدف شهرستان c

متغیرهای تصمیم	
qsw_s^p :	میزان توزیع نشان تجاری p از تأمین‌کننده s به انبار مرکزی
qwu_u^p :	میزان توزیع نشان تجاری p از انبار مرکزی به دانشگاه علوم پزشکی u
quc_{uc}^p :	میزان توزیع نشان تجاری p از دانشگاه علوم پزشکی u به شهرستان c
sh_c :	میزان کمبود واکسن در شهرستان c
$shTa_c$:	میزان کمبود واکسن برای گروه‌های هدف در شهرستان c

۳- اهداف و سناریوبندی

همانطور که پیش از این گفته شد، بسیاری از افراد تمایلی به تزریق واکسن ندارند. علاوه بر این، به دلیل انتشار نتایج تحقیقات علمی، مشاهده اثربخشی واکسن‌ها (روند ابتلا، بهبودی و مرگ و میر کشورها پس از مصرف نشان‌های تجاری مختلف واکسن)، شایعه‌های موجود در جامعه و همچنین دلایل سیاسی و اجتماعی، محبوبیت هر نشان تجاری واکسن در هر منطقه و بین افراد مختلف متفاوت است. فارغ از علت این گرایش با فرض اطلاع یا عدم اطلاع از آن می‌توان در خصوص سهمیه‌بندی و توزیع واکسن تصمیم‌گیری کرد. در حقیقت فرایندی را در نظر می‌گیریم که در ابتدا هیچ درمانی برای بیماری وجود ندارد. پس از تحقیقات و سرمایه‌گذاری کشورهای مختلف، واکسن‌هایی تولید شده و تعدادی از آنها مورد تأیید قرار می‌گیرد. بعد از مدتی، با اطلاعات علمی، تبلیغات و دلایل دیگر، افراد مناطق مختلف به سمت نشان تجاری خاصی از واکسن گرایش پیدا می‌کنند اما این موضوع که در صورت در دسترس نبودن آن نشان تجاری، نشان تجاری دیگری را مورد استفاده قرار می‌دهند و یا منتظر می‌مانند بر ما پوشیده است. درگام‌های بعد و با کسب اطلاعات در این خصوص، می‌توان این مورد را هم در تصمیم‌گیری لحاظ کرد. هر یک از سه سناریوی فوق می‌تواند وضعیت جاری انگیزشی افراد را در زمان بروز همه‌گیری در نظر بگیرد. با توجه به توضیحات فوق، سه سناریو را برای تصمیم‌گیری در خصوص توزیع واکسن مدل‌سازی می‌کنیم که به طور خلاصه درجدول(۲) آمده است و در ادامه مدل مربوط به هر یک تشریح می‌شود. فرض بر این است

که در هر سه حالت می‌دانیم چند درصد افراد تمایل به تزریق واکسن دارند (T_c معلوم است).

جدول (۲): سناریو بندی

		سناریوها		
		سناریوی اول	سناریوی دوم	سناریوی سوم
شرح سناریو		اطلاعی در مورد تمایل افراد به نشان‌های تجاری در دست نیست یا این موضوع را در نظر نمی‌گیریم.	در مورد تمایل به نشان‌های تجاری اطلاع داریم اما نمی‌دانیم اگر نشان تجاری مد نظر، موجود یا در دسترس نباشد تصمیم به تزریق می‌گیرند یا خیر. فرض می‌کنیم که افراد در صورت عدم دسترسی به نشان تجاری مد نظر، از نشان تجاری دیگری تزریق خواهند کرد.	در مورد تمایل به نشام های تجاری اطلاع داریم و می‌دانیم اگر نشان تجاری مد نظر کسی موجود نباشد، از تزریق اجتناب کرده و منتظر موجود شدن آن نشان تجاری می‌ماند. بیش از تقاضای نشان تجاری ارسال نخواهد شد.
توابع هدف	هدف اول	کاهش شیوع کل (با تاکید بر نقاط پر تراکم) از طریق افزایش مصرف کل در سطح ژنریک	کاهش شیوع کل (با تاکید بر نقاط پر تراکم) از طریق افزایش مصرف کل در سطح ژنریک	کاهش شیوع کل (با تاکید بر نقاط پر تراکم) از طریق افزایش مصرف کل در سطح نشان تجاری
	هدف دوم	کاهش شیوع در گروه‌های هدف از طریق افزایش مصرف کل در سطح ژنریک	کاهش شیوع در گروه‌های هدف از طریق افزایش مصرف کل در سطح ژنریک	کاهش شیوع در گروه‌های هدف از طریق افزایش مصرف کل در سطح نشان تجاری
	هدف سوم	رعایت عدالت در سهمیه‌بندی و توزیع بر مبنای موجودی هر نشان تجاری و بدون اطلاع از تمایلات	افزایش رضایت با رعایت تمایلات	–

۳-۱- سناریوی اول

در زنجیره تأمین، هر تسهیل بسته به ظرفیتش می‌تواند کالا ارسال یا دریافت کند. بدیهی است که باید تعادل بین ورودی و خروجی تسهیلات واسطه رعایت شود. همچنین تا حد امکان، تقاضای مصرف‌کنندگان برآورده شود. تراکم جمعیت، ضعف و آسیب‌پذیری بدن و تماس مداوم با افراد بیمار، میزان ابتلا به کرونا و شیوع آن در جامعه را افزایش می‌دهد. از طرفی رعایت نکات بهداشتی (مانند استفاده از ماسک و مواد ضد عفونی‌کننده) و واکسیناسیون (کاهش تعداد افراد واکسینه نشده)، موجب کنترل بیماری شده و از گسترش آن جلوگیری می‌کند. بدیهی است جمعیت متقاضی واکسیناسیون در صورتی می‌توانند تزریق کنند که واکسن کافی تأمین شود (ظرفیت تأمین) و امکانات تزریق و نگهداری واکسن فراهم باشد (ظرفیت تزریق). همانطور که در مفروضات بیان گردید، برنامه ریزی برای یک دوز واکسن انجام می‌شود. هر شخص واکسن نزده (در شروع برنامه ریزی برابر با کل جمعیت) به طور بالقوه متقاضی یک دوز واکسن است. اما تجربه نشان داد، بسیاری از مردم به دلایل مختلف، تمایلی به تزریق واکسن ندارند. برای به دست آوردن تقاضای واقعی (بالفعل)، ضریب تمایل شهرستان به تزریق واکسن، در جمعیت واکسینه نشده شهرستان ضرب می‌شود (رابطه). از آنجا که محدودیت منابع وجود دارد و ارسال واکسن‌ها نیز هزینه بر است، تقاضای بالفعل را مبنا قرار می‌دهیم.

$$DemGC_c = RPopC_c * T_c \quad \forall c \in C \quad (۱)$$

مدل سناریوی اول در ادامه آمده است:

$$\text{Min } z_1 = \sum_{c\in C} Cr_c * sh_c \quad (۲)$$

$$\text{Min } z_2 = \sum_{c\in C} Ta_c * shTa_c \quad (۳)$$

$$\text{Min } z_3 = \sum_{p\in P}\sum_{c\in C}\left|\sum_{u\in U} quc_{uc}^p - DemGC_c * F_p\right| \quad (۴)$$

$$s.t. \quad (۵)$$

$$qsw_s^p \le CapS_{ps} \quad \forall p \in P, s \in S_p$$

$$\sum_{p\in P}\sum_{u\in U} quc_{uc}^p \le CapC_c \quad \forall c \in C \quad (۶)$$

$$\sum_{s\in S_p} qsw_s^p = \sum_{u\in U} qwu_u^p \quad \forall p \in P \quad (۷)$$

$$qwu_u^p = \sum_{c\in C} quc_{uc}^p \quad \forall p \in P, u \in U \quad (۸)$$

$$\sum_{p\in P}\sum_{u\in U} quc_{uc}^p = DemGC_c - sh_c \quad \forall c \in C \quad (۹)$$

$$shTa_c = \max\{DemGCTa_c - \sum_{p\in P}\sum_{u\in U} quc_{uc}^{p}, 0\} \qquad \forall c \in C \quad (10)$$

$$qsw_s^p, qwu_u^p, quc_{uc}^p, sh_c, shTa_c \geq 0 \qquad \forall p \in P, s \in S_p, u \in U, c \in C \quad (11)$$

در این مدل، کمبود مجاز است اما به دلیل هزینه‌هایی که کمبود موجودی به دنبال دارد، مایل به حداقل کردن آن هستیم. رابطه (۲) اولین تابع هدف مسئله است که درصدد حداقل کردن مقدار کمبود واکسن‌های ارسالی به هر شهرستان است. از آنجا که تراکم جمعیت، سبب افزایش نرخ شیوع ویروس و ابتلا به آن می‌شود، تراکم جمعیت را نیز به عنوان ضریب کمبود در تابع هدف لحاظ می‌کنیم تا در نقاط با تراکم بیشتر، کمبود کمتری رخ دهد. این ضریب به صورت نسبت جمعیت به مساحت شهرستان تعریف می‌شود (رابطه (۱۲)). بعلاوه گروه‌های هدف مانند بیماران خاص و افراد مسن به دلیل ضعف بدن و احتمال بالای مرگ در صورت ابتلا و برخی مشاغل که مستلزم حضور در محل کار شلوغ هستند نظیر کادر درمان، در اولویت تزریق واکسن می‌باشند. جهت توجه بیشتر به عدم ایجاد کمبود برای اینگونه افراد، تابع هدف دوم مسئله (رابطه تعریف شده است که در آن، نسبت گروه هدف به شکل رابطه (۱۳) بوده و به عنوان ضریب کمبود در تابع هدف دوم قرار می‌گیرد تا در مناطقی که گروه هدف، درصد بیشتری از جمعیت را تشکیل می‌دهند، حتی الامکان کمبود کمتری در این مناطق برای این گروه ها رخ دهد. همچنین سعی شود تقاضای گروه هدف شهرهای کم‌تراکم که از نظر تابع هدف اول در اولویت نیستند، مغفول نماند و حداقل به میزانی که تقاضای این افراد برآورده شود، سهمیه واکسن به این شهرها تعلق گیرد.

$$Cr_c = \frac{RPopC_c}{Ar_c} \qquad \forall c \in C \quad (12)$$

$$Ta_c = \frac{RPopCTa_c}{RPopC_c} \qquad \forall c \in C \quad (13)$$

رابطه تابع هدف عدالت است. از آنجا که در این سناریو اطلاعاتی در مورد تمایل افراد به نشان‌های تجاری مختلف در دست نیست یا اساساً افراد نسبت به نشان‌های تجاری بی‌تفاوت هستند، نمی‌توان عدالت را بر مبنای رضایت از وجود نشان تجاری دلخواه در نظر گرفت. اما می‌دانیم که اثربخشی و عوارض واکسن‌ها با یکدیگر تفاوت دارد. بنابراین سعی می‌کنیم حتی الامکان از همه نشان‌های تجاری در همه شهرستان‌ها ارسال شود تا منافع و ضررهای احتمالی هر واکسن نیز عادلانه توزیع شود. این تابع هدف جهت حداقل‌سازی فاصله سهمیه تخصیص‌یافته به هر شهرستان از هر نشان تجاری، با میزان عادلانه این سهمیه مطابق موجودی آن نشان تجاری نسبت به کل واکسن موجود، تعریف شده است (رابطه (۱۴)).

$$F_p = \frac{\sum_{s\in S_p} CapS_{ps}}{\sum_{p\in P}\sum_{s\in S_p} CapS_{ps}} \qquad \forall p \in P \quad (14)$$

رابطه محدودیت ظرفیت تأمین‌کنندگان است و تضمین می‌کنند که ارسال هر نشان تجاری از هر تأمین‌کننده بیشتر از ظرفیت تأمین و پخش آن تأمین‌کننده برای آن نشان تجاری نباشد. رابطه نیز محدودیت ظرفیت تزریق واکسن در هر شهرستان از نظر نیروی انسانی موجود برای تزریق واکسن است و عواملی چون ظرفیت انبارش و مکان‌های قابل استفاده به عنوان مراکز تزریق لحاظ نشده‌اند. این رابطه تضمین می‌کند که به هر شهرستان، بیشتر از ظرفیت تزریق آن شهرستان سهمیه واکسن تعلق نگیرد. رابطه محدودیت‌های تعادل هستند یعنی خروجی هر تسهیل واسطه برابر با ورودی آن است. در محدودیت رابطه بین تقاضا، میزان عرضه و کمبود بیان شده است. این رابطه مانع از تخصیص واکسن بیش از تقاضای شهرستان خواهد شد. همچنین با توجه به به این فرض که در صورت وجود واکسن برای گروه هدف، آن‌ها حتماً تزریق خواهند کرد ، کمبود برای گروه‌های هدف به شکل رابطه تعریف می‌شود. این رابطه بیان می‌کند در صورت کمتر بودن سهمیه واکسن هر شهرستان از تقاضای گروه هدف، این گروه دچار کمبود خواهند شد و در غیر اینصورت کمبودی برای آنان نداریم. در این مدل، ارسال به گروه هدف و غیرگروه هدف را جدا نکردیم و طبق پیش فرض قرار بر این است که سهمیه واکسن هر شهرستان ابتدا به گروه هدف تخصیص پیدا کند. این اتفاق با توجه به رابطه فوق خود به خود برقرار می‌شود. در نهایت، محدودیت محدودیت علامت را بیان کرده و مثبت بودن میزان ارسال و کمبود را تضمین می‌کند.

۳-۲- سناریوی دوم

در این سناریو در مورد تمایل به نشان‌های تجاری اطلاع داریم اما مشخص نیست اگر نشان تجاری مد نظر افراد، موجود یا در دسترس نباشد واکسن با نشان تجاری دیگری تزریق می‌کنند یا نه. بنابراین مانند سناریوی قبل فرض می‌کنیم اگر نشان تجاری

دلخواه در دسترس نیست ولی واکسن در سطح ژنریک موجود باشد، افراد تصمیم می‌گیرند از نشان تجاری دیگری استفاده کنند. در عین حال با تعریف تابع هدف رضایت (رابطه سعی در ارسال نشان‌های تجاری مورد علاقه هر منطقه داریم. در حالت واقعی برخی افراد ممکن است در صورت نبود نشان تجاری مد نظر، اولویت دوم و سومی هم داشته باشند. اما در اینجا فرض بر این است که در چنین موقعیتی، مردم بدون داشتن اولویت بعدی از هر نشان تجاری موجود دیگر استفاده خواهند کرد. محدودیت‌ها و سایر توابع هدف این سناریو همانند سناریوی اول است.

$$\text{Min } z۳ = \sum_{p\in P}\sum_{c\in C}\left|\sum_{u\in U} quc_{uc}^{p} - DemGC_c * A_{pc}\right| \quad (۱۵)$$

این تابع هدف، اختلاف سهمیه هر نشان تجاری واکسن در هر شهرستان، با تقاضای آن شهرستان برای آن نشان تجاری را کمینه می‌کند تا رضایت مردم از نشان‌های تجاری در دسترس حداکثر شود و حق انتخاب نشان تجاری دلخواه خود را داشته باشند. لازم به ذکر است که رابطه نیز در تعریف A_{pc} ها، برقرار است یعنی در هر شهرستان تمایل همه افراد به مصرف هر نشان تجاری مشخص بوده و به شکل درصد بیان می‌شود.

$$\sum_{p\in P} A_{pc} = ۱ \qquad \forall c \in C \quad (۱۶)$$

۳-۳- سناریوی سوم

همانطور که در جدول آمده است، در سناریوی سوم علاوه بر اینکه در مورد علاقه به نشان‌های تجاری اطلاع داریم، می‌دانیم اگر نشان تجاری مد نظر موجود نباشد، افراد منتظر می‌مانند تا آن نشان تجاری موجود شود. بنابراین سعی داریم کمبود را در سطح نشان تجاری حداقل کنیم. بدین منظور رابطه بین تقاضا، میزان عرضه و کمبود را در سطح نشان تجاری بیان کرده (رابطه (۲۳)) و کمبود گروه هدف (رابطه (۲۴)) را به روز می‌کنیم. همچنین، در توابع هدف شیوع و گروه هدف (رابطه این سناریو، به دنبال کمینه کردن کمبود واکسن در سطح نشان تجاری با توجه به میزان تأکید افراد بر مصرف نشان تجاری دلخواهشان هستیم. به عبارتی سعی داریم با استفاده از اطلاعاتی که در این خصوص داریم، متقاضیان منتظر حداقل شده و تا حد ممکن افراد بیشتری واکسینه شوند.

$$\text{Min } z1 = \sum_{p\in P}\sum_{c\in C} Cr_c * sh_{pc} \quad (۱۷)$$

$$\text{Min } z2 = \sum_{p\in P}\sum_{c\in C} Ta_c * shTa_{pc} \quad (۱۸)$$

$$qsw_s^p \le CapS_{ps} \qquad \forall p \in P, s \in S_p \quad (۱۹)$$

$$\sum_{p\in P}\sum_{u\in U} quc_{uc}^{p} \le CapC_c \qquad \forall c \in C \quad (۲۰)$$

$$\sum_{s\in S_p} qsw_s^p = \sum_{u\in U} qwu_u^p \qquad \forall p \in P \quad (۲۱)$$

$$qwu_u^p = \sum_{c\in C} quc_{uc}^{p} \qquad \forall p \in P, u \in U \quad (۲۲)$$

$$\sum_{u\in U} quc_{uc}^{p} = DemGC_c * A_{pc} - sh_{pc} \qquad \forall p \in P, c \in C \quad (۲۳)$$

$$shTa_{pc} = \max\{DemGCTa_c * A_{pc} - \sum_{u\in U} quc_{uc}^{p}, 0\} \qquad \forall p \in P, c \in C \quad (۲۴)$$

$$qsw_s^p, qwu_u^p, quc_{uc}^{p}, sh_c, shTa_c, \ldots \ge 0 \qquad \forall p \in P, s \in S_p, u \in U, c \in C \quad (۱)$$

۴-۳- روش حل

در مدلهای فوق، تابع هدف سوم (رابطه) و رابطه محاسبه کمبود گروه هدف (رابطه (۲۴) و (۱۵)) غیرخطی هستند. جهت اطمینان از اینکه جواب حاصل، بهینه سراسری است نه بهینه محلی، ابتدا مدلهای فوق را خطی کرده و سپس در نرم افزار حل می‌کنیم. این روابط به شکل زیر خطی می‌شوند. در سناریوی اول و دوم داریم:

$$shTa_c = \max\{DemGCTa_c - \sum_{p\in P}\sum_{u\in U} quc_{uc}^{p}, ۰\} \qquad \forall c \in C \quad (۲۶)$$

معادل خطی:

$$DemGCTa_c - \sum_{p\in P}\sum_{u\in U} quc_{uc}^{p} \le shTa_c \qquad \forall c \in C \quad (۲۷)$$

$$shTa_c \ge ۰ \qquad \forall c \in C \quad (۲۸)$$

توجه شود عبارت $\mathbf{shTa_c \ge 0}$ به عنوان محدودیت علامت در مدل حضور داشته است. در ضمن این دو عبارت در کنار تابع

هدف دوم که کمینه سازی $\mathbf{shTa_c}$ است، معادل خطی این محدودیت هستند. برای سناریوی سوم داریم:

$$shTa_{pc} = \max\{DemGCTa_c * A_{pc} - \sum_{u\in U} quc_{uc}^{p}\ ,\cdot\} \qquad \forall p \in P, c \in C \tag{۲۹}$$

معادل خطی:

$$DemGCTa_c * A_{pc} - \sum_{u\in U} quc_{uc}^{p} \leq shTa_{pc} \qquad \forall c \in C\ , p \in P \tag{۳۰}$$

$$shTa_{pc} \geq \cdot \qquad \forall c \in C\ , p \in P \tag{۳۱}$$

در اینجا نیز عبارت $\mathrm{shTa_{pc}} \geq \cdot$ به عنوان محدودیت علامت در مدل حضور داشته است و این دو عبارت در کنار تابع هدف دوم که کمینه سازی $\mathrm{shTa_{pc}}$ است، معادل خطی این محدودیت را تشکیل می‌دهند. علاوه بر محدودیتهای فوق، تابع هدف سوم هر سه سناریو شامل قدر مطلق است و باید خطی شود. مسئله کمینه سازی تابع هدف شامل قدر مطلق متغیر نا مقید در حالتی که ضرایب تابع هدف نامنفی باشند قابل تبدیل به فرم خطی است. به عنوان مثال فرض کنید مسئله به صورت زیر باشد.

$$\min z = \sum_{j=۱}^{n} c_j |x_j| \tag{۳۲}$$

s.t.

$$\sum_{j=۱}^{n} a_{ij} x_j = b_i \qquad \forall i = ۱, \dots, m \tag{۳۳}$$

$$x_j \quad urs \tag{۳۴}$$

برای خطی سازی این مسئله، در کل مدل به جای $|\mathrm{x_j}|$، عبارت $\mathrm{x_j'} + \mathrm{x_j^{"}}$ و به جای $\mathrm{x_j}$ عبارت $\mathrm{x_j'} - \mathrm{x_j^{"}}$ را قرار می‌دهیم.

$$\min z = \sum_{j=۱}^{n} c_j (x_j' + x_j^{"}) \tag{۳۵}$$

$$s.t.$$

$$\sum_{j=۱}^{n} a_{ij} (x_j' - x_j^{"}) = b_i \qquad \forall i = ۱, \dots, m \tag{۳۶}$$

$$x_j', x_j^{"} \geq \cdot \tag{۳۷}$$

بنابراین خطی سازی تابع هدف سوم سناریوی اول به شکل زیر است.

$$\mathrm{Min}\ z3 = \sum_{p\in P}\sum_{c\in C}\left|\sum_{u\in U}(quc_{uc}^{p}) - DemGC_c * F_p\right| \tag{۳۸}$$

تغییر متغیر:

$$y_{pc} = \sum_{u\in U}(quc_{uc}^{p}) - DemGC_c * F_p \qquad \forall c \in C\ , p \in P \tag{۳۹}$$

$$y_{pc} = yp_{pc} - \mathrm{yn}_{pc} \quad \forall c \in C\ , p \in P \tag{۴۰}$$

جایگزین خطی:

$$\mathrm{Min}\ z۳ = \sum_{p\in P}\sum_{c\in C}\left(yp_{pc} + \mathrm{yn}_{pc}\right) \tag{۴۱}$$

$$\sum_{u\in U}(quc_{uc}^{p}) - DemGC_c * F_p = yp_{pc} - \mathrm{yn}_{pc} \quad \forall c \in C\ , p \in P \tag{۴۲}$$

$$yp_{pc}, \mathrm{yn}_{pc} \geq \cdot \qquad \forall c \in C\ , p \in P \tag{۴۳}$$

و در نهایت برای سناریوی دوم و سوم داریم:

$$\mathrm{Min}\ z۳ = \sum_{p\in P}\sum_{c\in C}\left|\sum_{u\in U}(quc_{uc}^{p}) - DemGC_c * A_{pc}\right| \tag{۴۴}$$

تغییر متغیر:

$$y_{pc} = \sum_{u\in U}(quc_{uc}^{p}) - DemGC_c * A_{pc} \qquad \forall c \in C\ , p \in P \tag{۴۴}$$

$$y_{pc} = yp_{pc} - \mathrm{yn}_{pc} \quad \forall c \in C\ , p \in P \tag{۴۵}$$

جایگزین خطی:

$$\mathrm{Min}\ z۳ = \sum_{p\in P}\sum_{c\in C}\left(yp_{pc} + \mathrm{yn}_{pc}\right) \tag{۴۶}$$

$$\sum_{u\in U}(quc_{uc}^{p}) - DemGC_c * A_{pc} = yp_{pc} - \mathrm{yn}_{pc} \quad \forall c \in C\ , p \in P \tag{۴۷}$$

$$yp_{pc} - \mathrm{yn}_{pc} \geq \cdot \quad \forall c \in C\ , p \in P \tag{۴۸}$$

نهایتاً مدل‌های چند هدفه خطی شده فوق با روش محدودیت اپسیلون تقویت شده [۲۹]، از طریق نرم‌افزار گمز و متلب حل شدند.

۳-۵- مطالعه کاربردی

مدل‌های فوق، جهت تعیین سهمیه تمام شهرستان‌های ایران از هشت نشان تجاری موجود واکسن کرونا که هر کدام توسط یک تأمین‌کننده، تولید یا وارد می‌شوند، حل شد. در جدول توضیحاتی در خصوص جمع‌آوری داده‌های مربوطه آمده است.

جدول (۳): جمع آوری داده ها

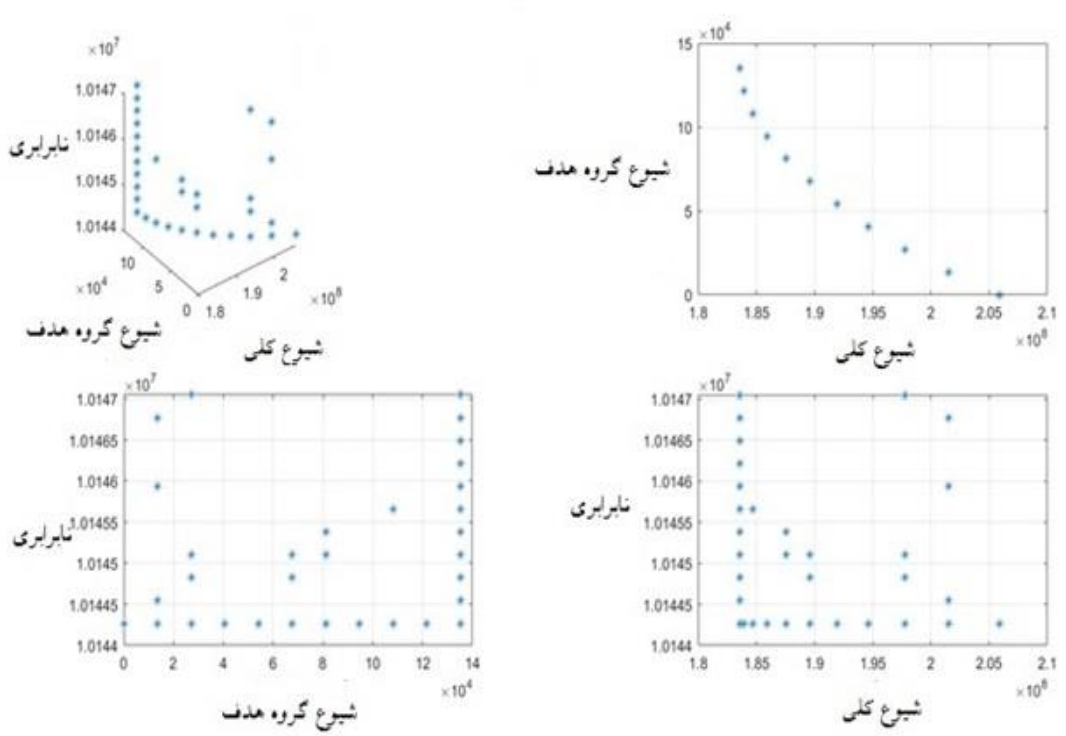
داده	منبع	روش محاسبه / توضیح
جمعیت شهرستان‌ها	درگاه ملی آمار	آخرین سرشماری نفوس و مسکن در سال ۱۳۹۵ انجام شد. به همین دلیل پیش‌بینی جمعیت سال ۱۴۰۰ که به تفکیک شهرستان و گروه سنی در درگاه ملی آمار موجود بود را مبنا قرار دادیم.
تعداد افراد بالای ۷۰ سال هر شهرستان	درگاه ملی آمار	درصد افراد بالای ۷۰ سال هر استان از پیش‌بینی درگاه ملی آمار به دست آمد و این درصد در تمام شهرستان‌های یک استان برابر در نظر گرفته شده است.
تعداد کادر درمان و بیماران خاص		به دلیل در دسترس نبودن اطلاعات معتبر در خصوص تعداد کادر درمان و بیماران خاص، جمعیت کل این افراد را ۵۵۰۰۰۰۰ نفر در نظر گرفته و به نسبت جمعیت هر شهرستان این تعداد را توزیع کردیم.
مساحت شهرستان‌ها	geojson.io	
ظرفیت تزریق هر شهرستان	برابر با تقاضای آن شهرستان	تعدادی از تزریق‌کنندگان واکسن، پرستار یا دانشجوی پرستاری بوده و افرادی هم به همین منظور آموزش دیده‌اند. به همین جهت آمار دقیقی از تعداد آن‌ها در دست نیست.
میزان تأمین هر نشان تجاری واکسن		آماری از میزان تأمین هر نشان تجاری واکسن در یک مقطع زمانی خاص و به تفکیک دوز در دسترس نبود. مقادیر این پارامتر به صورت تصادفی با توجه به تأمین هر نشان تجاری نسبت به کل تأمین محاسبه شد.
ضریب تمایل شهرستان‌ها به تزریق واکسن		درصد تزریق دوز اول در جمعیت ۱۲ سال به بالا تا ۴ آبان ۱۴۰۰، به عنوان ضریب تمایل در نظر گرفته شد.
میزان تمایل به نشان‌های تجاری مختلف		نسبت مصرف هر نشان تجاری به کل مصرف در هر شهرستان در بلندمدت به عنوان تخمینی از میزان تمایل به نشان‌های تجاری مختلف در نظر گرفته شد.

با توجه به اینکه اطلاعات افراد واکسینه شده ثبت می‌گردد، در مراحل بعدی اجرای مدل، می‌توان جمعیت واکسینه نشده (کل جمعیت و گروه هدف) را بروزرسانی کرد. تمایل افراد به تزریق واکسن، تمایل به نشان‌های تجاری مختلف و تأکید افراد روی مصرف نشان تجاری مد نظرشان نیز از طریق پرسشنامه یا مشاهده میزان کمبود و مازاد پس از شروع برنامه واکسیناسیون به دست می‌آید. این تمایلات با گذشت زمان و مشاهده اثر واکسن‌ها، انجام تحقیقات علمی و یا انتشار شایعه در خصوص ایمنی واکسن‌ها تغییر می‌کند و می‌توان مدل را با داده‌های بروز، مجدداً اجرا کرد.

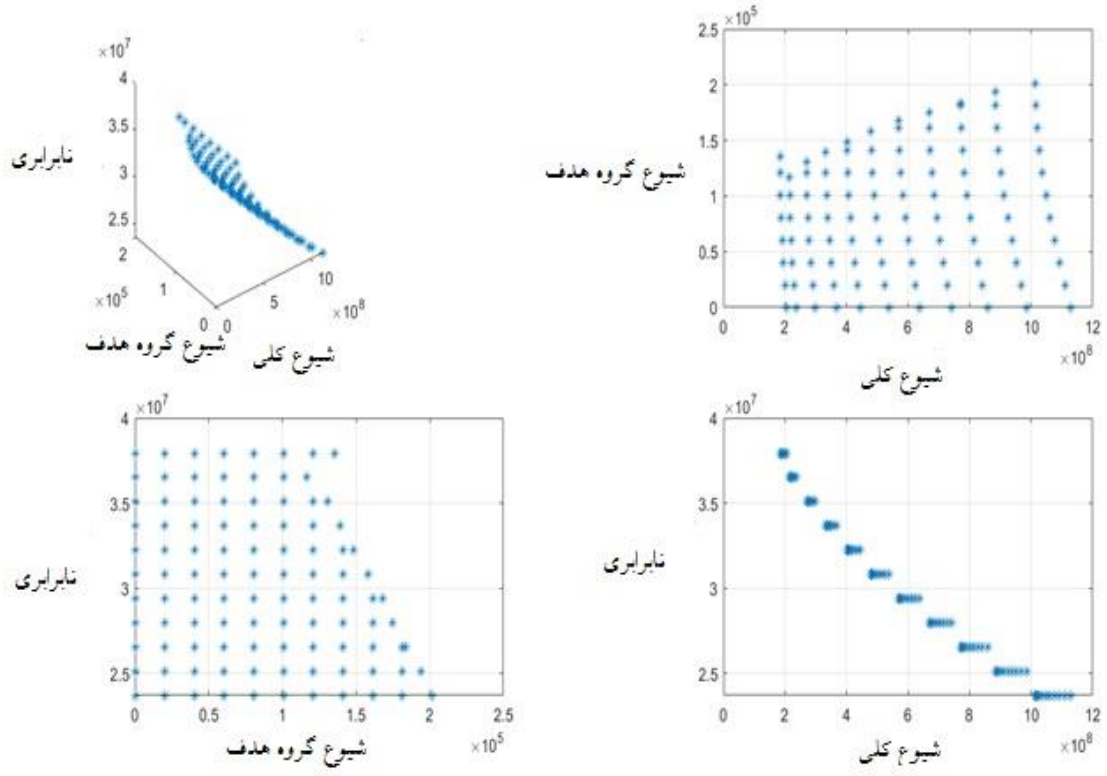
۴- یافته‌ها

۴-۱- نتایج حل مدل

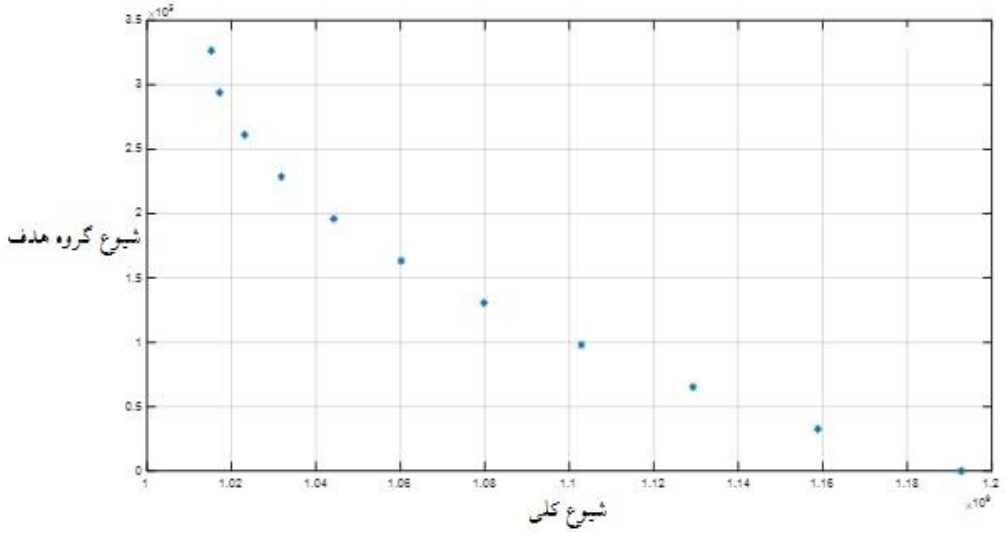
می‌دانیم در مسائل چند هدفه، امکان رسیدن به یک جواب بهینه وجود ندارد و به جای آن مجموعه جواب‌های بهینه به دست می‌آید که به آن جبهه پارتو گفته می‌شود. در اشکال ۳، ۴ و ۵ جبهه پارتوی سناریوهای ۱، ۲ و ۳ به نمایش درآمده است.



شکل (۳): جبهه پارتوی سناریوی اول



شکل(۴): جبهه پارتوی سناریوی دوم



شکل (۵): جبهه پارتوی سناریوی سوم

شکل (۳) و (۵) نشان می‌دهند در سناریوی اول و سوم هدف اول و دوم رابطه معکوس دارند یعنی به ازای بهتر شدن یکی، دیگری بدتر خواهد شد. این شکل نشان می‌دهد اگر چه کمبود گروه هدف بخشی از کمبود کل است، اهداف حداقل کردن کمبود سراسری در نقاط پرتراکم یا به عبارتی همان شیوع کلی (تابع هدف اول) و حداقل کردن کمبود برای گروه هدف و به عبارت بهتر شیوع گروه هدف (تابع هدف دوم) ناهمسو هستند. جزئیات نتایج نشان می‌دهند که شهرهای با تراکم بالاتر دچار کمبود نشده اند. به علاوه، در نقاط با تابع هدف اول بهتر (شیوع کلی کمتر) و تابع هدف دوم بدتر (شیوع گروه هدف بیشتر)، برای بسیاری از شهرستان‌ها هیچ واکسنی ارسال نشده در حالی که در نقاط با تابع هدف اول بدتر و تابع هدف دوم بهتر، هیچ شهرستانی بدون واکسن نمانده و به مقداری از تقاضایش رسیده است. از اینجا می‌توان یک نتیجه مدیریتی را استخراج کرد: پس از حل مدل فوق و با فرض تصمیم گیری در سناریوی اول و سوم، برای انتخاب از بین جواب‌های پارتو، در صورتیکه می‌خواهید هیچ نقطه پرتراکمی دچار کمبود نشود، جواب‌هایی را انتخاب کنید که شیوع کلی کمتری را نشان می‌دهند و در صورتیکه ترجیح می‌دهید همه نقاط اعم از پر تراکم و کم تراکم واکسن دریافت کنند، نقاط با شیوع گروه هدف کمتر را انتخاب کنید. در سناریوی دوم (شکل ۴) نیز هدف اول و سوم، یعنی شیوع کلی و توجه به تمایلات (نابرابری) چنین رابطه‌ای دارند. در بعضی نقاط پارتو که شیوع کلی بهتر و نابرابری بدتر دارند، مجموع ارسال واکسن برابر با میزان تأمین کل است و برای جبران کمبود نشان‌های تجاری، از سایر نشان‌های تجاری جهت تأمین تقاضا در سطح ژنریک، ارسال شده است اما در نقاط با شیوع کلی بدتر و در عوض، نابرابری بهتر، سعی در رعایت هرچه بیشتر تمایلات بوده حتی به قیمت ارسال کمتر به نقاط با تراکم بالا. بنابراین بخشی از واکسن موجود به دلیل عدم تمایل افراد ارسال نشده است. در این سناریو نتایج نشان داد که تلاش برای ارسال نشان تجاری مطابق تمایلات به همه نقاط در شرایطی که موجودی در دسترس برای برآورده کردن این تمایلات کافی نیست، منجر به تخصیص واکسن دلخواه به نقاطی می‌شود که شاید از نظر تراکم در اولویت نباشند (بدتر شدن تابع هدف اول). بنابراین نتیجه مدیریتی برای سناریوی دوم به این شکل است که در بازه زمانی حل مدل و با سطح اطلاعات سناریوی دوم، می‌بایست برای انتخاب از بین نقاط جبهه پارتو به این سوال پاسخ دهیم که وضعیت شیوع در مناطق پر تراکم دارای اهمیت بیشتری است و یا توجه به تمایلات در همه نقاط کشور. در صورتیکه وضعیت شیوع در نقاط پر تراکم حاد باشد، می‌بایست تمایلات نقاط کم تراکم در درجه دوم اهمیت باشد. در این شرایط بهتر است از مدل سناریوی اول استفاده کنیم چرا که توجه بیشتری به نقاط پر تراکم خواهد داشت بازه تغییرات توابع هدف در سه سناریو را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که اگرچه حداقل مقدار تابع هدف اول و دوم در دو سناریوی اول یکسان است، پراکندگی (بازه تغییرات) توابع هدف در سناریوی دوم نسبت به سناریوی اول بیشتر است. به نظر می‌رسد دلیل این امر این باشد که در سناریوی اول صرفاً به دنبال ارسال طبق موجودی هستیم ولی در سناریوی دوم، در نظر گرفتن تمایل (که در مواردی بیشتر یا کمتر از واکسن موجود است)، محدودیت‌هایی را برای تخصیص ایجاد می‌کند. بنابراین سعی در رسیدن به هدف سوم (رعایت تمایلات)، هدف اول و دوم را که به دنبال کاهش کمبود هستند بدتر می‌کند. به همین دلیل انتظار می‌رود در سناریوی سوم که علاوه بر لحاظ‌کردن تمایلات، تأکید کامل برای آن در نظر گرفته

و در قالب محدودیت بیان می‌کنیم، مقادیر بدتری را برای توابع هدف اول و دوم شاهد باشیم. تمایل به برخی نشان‌های تجاری کمتر از تأمین آن‌هاست و می‌تواند به عنوان مازاد، جایگزین سایر نشان‌های تجاری شود تا هدف اول بهبود یابد. اما سهمیه هیچ نشان تجاریی کمتر از تأمین نیست پس مازادی برای جایگزین کردن وجود ندارد و تغییر تخصیص نشان‌های تجاری باعث بهبود هیچ هدفی نمی‌گردد. به همین دلیل است که تغییرات تابع هدف سوم در سناریوی اول ناچیز بوده و در سناریوی دوم زیاد است. در سناریوی دوم مجموع ارسال واکسن از حدود ۴۰ میلیون دوز تا حدود ۵۳ میلیون دوز (برابر با تأمین کل) متغیر است. بدیهی است نقاط پارتو با ارسال کمتر، تابع هدف رضایت و نقاط با ارسال حداکثری، به وسیله ارسال مازاد نشان تجاری، تابع هدف شیوع را بهتر رعایت کرده‌اند. در این مطالعه موردی، میزان تأمین بیشتر از تقاضای گروه هدف بود و همان طور که در ستون حداقل مقدار تابع هدف دوم مشاهده می‌شود، در هر سه سناریو امکان تأمین تقاضای گروه هدف به طور کامل وجود دارد اما اگر سایر اهداف از اهمیت بیشتری برخوردار باشند، می‌توان طبق سایر نقاط پارتو سهمیه‌بندی کرد.

جدول(۴): مقایسه پراکندگی توابع هدف در سناریوهای مختلف

هدف / سناریو	هدف اول		هدف دوم		هدف سوم	
	min	max	min	max	min	max
۱	۱۸۳,۵۸۶,۵۳۴	۲۰۵,۸۷۳,۰۸۶	۰	۱۳۵,۲۱۲	۱۰,۱۴۴,۲۶۷	۱۰,۱۴۷,۰۵۰
۲	۱۸۳,۵۸۶,۵۳۴	۱,۱۲۹,۲۲۲,۰۹۲	۰	۲۰۱,۴۴۹	۲۳,۷۱۵,۴۹۴	۳۷,۹۳۳,۸۶۸
۳	۱,۰۱۵,۲۳۶,۱۱۲	۱,۱۹۲,۷۹۴,۶۲۶	۰	۳۲۶,۵۹۹	–	

۴-۲- بحث

هدف از ارائه سناریوهای مختلف برای این مسئله، مقایسه نتایج حاصل از تصمیم‌گیری در سطوح مختلفی از آگاهی نسبت به تمایلات افراد است. در این بخش به سوال اصلی تحقیق می پردازیم که آیا نتایج حاصل از این مدل می تواند موضوع تمایلات را علاوه بر توجه به تامین واکسن مد نظر قرار دهد و در نتیجه پیامدهای مثبت ناشی از توجه به تمایلات را ایجاد نماید؟ برای مقایسه نتایج، جواب‌های پارتوی هر سناریو را در توابع هدف دو سناریوی دیگر جایگذاری کرده و میانگین مقادیر حاصل را با یکدیگر مقایسه می‌کنیم. جدول میانگین اهداف نقاط بهینه سناریوی سوم و میانگین مقادیر حاصل از جایگذاری جواب‌های پارتوی سناریوی اول و دوم در توابع هدف آن را نشان می‌دهد. همچنین درصد اختلاف مقادیر تابع هدف در جدول آمده است. سپس برای مقایسه بهتر نمودار مربوط به جداول ترسیم شده است (نمودار ۱ و نمودار ۲)

جدول(۵): جایگذاری در مدل سناریوی سوم

سناریو ۳	۱ در ۳	۲ در ۳	۳
$\overline{z1}$	۴۰,۸۶۱,۰۰۸,۲۶۶	۲۹,۲۸۰,۵۹۲,۸۳۱	۱,۰۷۷,۷۶۱,۵۴۹
$\overline{z2}$	۱۱۲,۱۷۵	۲۷۰,۱۲۲	۱۶۳,۲۹۹

جدول(۶): درصد اختلاف جایگذاری در مدل سناریوی سوم

۲ در ۳	۱ در ۳	درصد اختلاف (٪)
۲۶۱۶/۸۰	۳۶۹۱/۲۸	$\overline{z1}$
۶۵/۴۲	-۳۱/۳۱	$\overline{z2}$

شکل (۶): جایگذاری جبهه پارتوی سناریوها در توابع هدف سناریوی سوم

در سناریوی اول صرف نظر از تمایلات مدل را حل کردیم (فرض کردیم افراد تفاوتی بین نشان‌های تجاری قائل نیستند یا ما اطلاعی از آن نداریم) و در سناریوی دوم فرض کردیم از تمایلات مطلعیم اما افراد در صورت در دسترس نبودن نشان تجاری مورد علاقه، از نشان تجاری دیگری تزریق می‌کنند. با جایگذاری جواب‌های بهینه این سناریوها در سناریوی سوم که با تأکید بر تمایلات است، می‌بینیم سهمیه بندی سناریوی اول و دوم به نحوی انجام گرفته که کمبود نشان تجاری رخ داده است. یعنی اگرچه کمبود واکسن را حداقل کردیم ولی نشان‌های تجاری

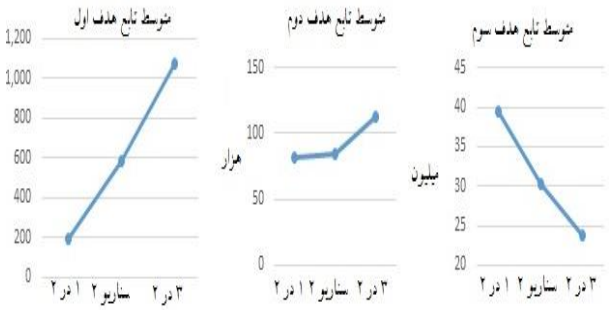
ارسالی به هر شهرستان مطابق تمایلشان نیست و اگر افراد روی مصرف نشان تجاری مد نظر خود تأکید داشته باشند، با وجود داشتن موجودی اضافی در شهرستان‌ها، واکسیناسیون به خوبی صورت نمی‌گیرد و از شیوع عمومی پیشگیری لازم به عمل نخواهد آمد شکل(۶) و این موضوع به خوبی نشان دهنده اثر گذاری سناریوبندی و نتایج مدل بوده و پاسخی به سوال اصلی این تحقیق است. البته در همین شکل مشاهده می‌شود از نظر تابع هدف کمبود برای گروه هدف در سطح نشان تجاری، سناریوی اول بهتر از همه عمل کرده است. از این موضوع می توان یک نتیجه مدیریتی استخراج کرد: در صورتیکه در یک بازه دلخواه از بروز همه‌گیری، تاثیرات اجتماعی شیوع بیماری در گروه هدف بیشتر از شیوع عمومی است، مدل سناریوی اول برای تصمیم گیری لازم و کافیست، در غیر این صورت نیازمند تکمیل اطلاعات و بهره مندی از سناریوی سوم برای کسب بیشترین تاثیرات در مدیریت همه‌گیری هستیم. جدول (۷) و جدول(۸) نیز به ترتیب جواب بهینه سناریوی دوم و جواب حاصل از جایگذاری پاسخ بهینه سناریوی اول و سوم در توابع هدف سناریوی دوم، و درصد اختلاف مقادیر تابع هدف را نشان می‌دهد.

جدول(۷): جایگذاری در مدل سناریوی دوم

سناریو ۲	۱ در ۲	۲	۳ در ۲
$\overline{z1}$	۱۸۹,۹۸۷,۰۵۸	۵۸۳,۲۷۳,۵۶۹	۱,۰۷۶,۸۰۰,۲۲۳
$\overline{z2}$	۸۱,۹۷۲	۸۴,۹۵۶	۱۱۲,۶۶۸
$\overline{z3}$	۳۹,۳۹۴,۶۵۴	۳۰,۲۴۴,۹۰۳	۲۳,۷۱۵,۴۹۴

جدول(۸): درصد اختلاف جایگذاری در مدل سناریوی دوم

۳ در ۲	۱ در ۲	درصد اختلاف (٪)
۸۴/۶۱	-۶۷/۴۳	$\overline{z1}$
۳۲/۶۲	-۳/۵۱	$\overline{z2}$
-۲۱/۵۹	۳۰/۲۵	$\overline{z3}$



شکل (۷): جایگذاری جبهه پارتوی سناریوها در توابع هدف سناریوی دوم

تفاوت اساسی سناریو دوم با سناریوی اول در لحاظ‌کردن تأثیر میزان تمایلات در بهبود عملکرد اجتماعی رضایت از واکسیناسیون است که این عملکرد اجتماعی را می‌توان به صورت پذیرش عوارض ناخواسته احتمالی است. به عبارت دیگر، تابع هدف سوم سناریوی اول در صدد ارسال به میزان سهمیه عادلانه هر شهرستان و تابع هدف سوم سناریوی دوم به دنبال ارسال به میزان مورد علاقه مردم است. از آنجا که این دو مقدار با هم تفاوت دارند، سعی در ارسال به میزان سهمیه باعث دور شدن از ارسال به میزان مورد علاقه افراد می‌شود. به همین دلیل با جایگذاری جواب بهینه سناریوی اول در این تابع هدف، مقدار بدتری به دست می‌آید. تفاوت سناریوی دوم و سوم از این منظر است که در سناریوی دوم اگر چه از تمایلات مطلع و سعی در برآورده کردن آن را داریم، اما در سناریوی دوم تنها تأثیر اجتماعی ذکر شده در رضایت از عوارض احتمالی پر رنگ است. در سناریوی سوم تأثیر تمایلات را مستقیماً بر شیوع عمومی بیماری در نظر گرفته‌ایم. چنانکه فرض در این سناریو به این صورت است که در صورت عدم دسترسی به نشان تجاری موردنظر افراد از تزریق واکسن خودداری خواهند کرد (به همین خاطر تابع هدف سوم مستقلی برای آن در نظر گرفته نشده است). به عبارت دیگر، در سناریوی سوم با علم به تأکید افراد روی نشان تجاری، از ارسال نامطابق با خواسته افراد اجتناب می‌کنیم بنابراین هدف سوم سناریوی دوم بهتر می‌شود. درحالی که در سناریوی قبل مجاز بودیم به ازای بهتر کردن دو هدف دیگر، سومی را بدتر کنیم. نتیجه مدیریتی که می‌توان از این تحلیل استخراج کرد به این صورت است: اگر اطلاع دقیقی از اثر تمایلات بر شیوع عمومی نداریم اما از میزان تمایلات آگاهیم (سناریوی ۲)، در صورتیکه صرفاً به دنبال بهبود سطح پذیرش عوارض احتمالی واکسن هستیم (رضایت)، مدل سناریو ۲ بهترین عملکرد را از این جهت ایجاد می‌کند. در عین حال در صورتیکه میزان شیوع کلی و شیوع گروه‌های هدف دارای اهمیت بیشتری هستند، مدل سناریو ۱ عملکرد مطلوب‌تری را حتی در شریط ذکر شده برای سناریوی ۲ نشان می‌دهد. تابع هدف اول و دوم سناریوی اول و دوم یکسان است. مشاهده می‌شود که سناریوی اول از نظر این دو هدف بهتر عمل کرده است. به نظر می‌رسد ارسال به میزان سهمیه از نشان تجاری موجود راحت‌تر از برآورده کردن تمایلاتی است که طبق موجودی نیستند. به همین خاطر سناریوی دوم جهت برآورده کردن این هدف مقادیر بدتری برای دو هدف دیگر به دست آورده است. سناریوی سوم نیز با اطلاع از تأکید افراد، علی رغم داشتن ظرفیت تأمین، ارسال کمتری داشته است. در واقع عدم تزریق خود افراد منجر به ارسال واکسن کمتر

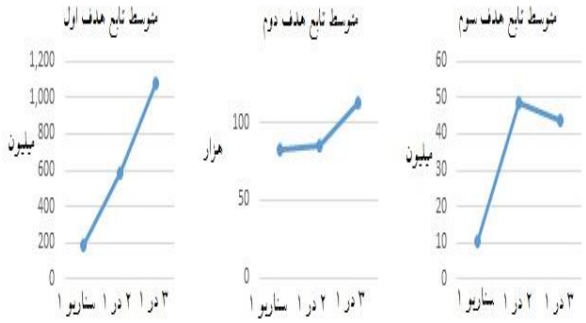
و در نتیجه بدتر شدن کمبود در نقاط پرتراکم و کمبود گروه هدف شده است.

جدول(۹): جایگذاری در مدل سناریوی اول

سناریو ۱	۱	۲ در ۱	۳ در ۱
$\overline{z1}$	۱۸۹,۹۸۷,۰۵۸	۵۸۳,۲۷۳,۵۶۹	۱,۰۷۶,۸۰۰,۲۲۳
$\overline{z2}$	۸۱,۹۷۲	۸۴,۹۵۶	۱۱۲,۶۶۸
$\overline{z3}$	۱۰,۱۴۵,۱۶۳	۴۸,۷۶۶,۸۱۱	۴۳,۷۷۵,۸۹۱

جدول(۱۰): درصد اختلاف جایگذاری در مدل سناریوی اول

۳ در ۱	۲ در ۱	درصد اختلاف (٪)
۴۶۶/۷۸	۲۰۷/۰۱	$\overline{z1}$
۳۷/۴۵	۳/۶۴	$\overline{z2}$
۳۳۱/۵۰	۳۸۰/۶۹	$\overline{z3}$



شکل(۸): جایگذاری جبهه پارتوی سناریوها در توابع هدف سناریوی اول

توضیحات هدف اول و دوم مشابه حالت قبل است (هدف اول و دوم در سناریو اول و دوم یکسان است پس نتیجه جایگذاری نیز عیناً یکسان خواهد بود). هدف سوم این سناریو به دنبال ارسال به میزان سهمیه است در حالی که سناریوی دوم و سوم به جای این سهم، تمایلات را در نظر می‌گیرند. از آنجا که این دو مقدار با هم تفاوت دارند، سعی در ارسال به میزان سهمیه باعث دور شدن از ارسال به میزان مورد علاقه افراد می‌شود و برعکس. به همین دلیل هدف سوم سناریوی اول بهتر از همه در همین سناریو محقق شده است.

۴-۳- تحلیل حساسیت

۴-۳-۱- ظرفیت تزریق

در این بخش به بررسی تأثیر کمتر بودن ظرفیت تزریق از ظرفیت تامین واکسن پرداخته می‌شود. در حل مدل‌های فوق فرض بر این بود که ظرفیت تزریق برابر تقاضای واکسن است. برای تحلیل حساسیت این پارامتر، مقادیر آن را ده درصد و بیست درصد کاهش داده شد (جدول ۱۱). نتایج این تغییرات برای سناریوی اول در شکل (۹) و جدول (۱۲) آمده است. سطح ۳ ظرفیت تزریق همان ظرفیت تزریق اصلی است که برابر با تقاضای کل می‌باشد. در شکل (۱۰) و جدول (۱۳) به نتایج تحلیل حساسیت مدل به ظرفیت تزریق در سناریوی دوم اشاره شده است. نتایج تحلیل حساسیت مربوط به سناریوی سوم در شکل (۱۱) و جدول (۱۴) آمده است:

جدول(۱۱): سطوح ظرفیت تزریق

سطح ۱	بیست درصد کمتر از تقاضای کل	۵۱۰۴۹۲۷۴
سطح ۲	ده درصد کمتر از تقاضای کل	۵۷۴۳۰۴۳۳
سطح ۳	برابر با تقاضای کل	۶۳۸۱۱۵۹۲

جدول(۱۲): درصد تغییرات توابع هدف نسبت به حالت ظرفیت تزریق اصلی در سناریوی اول

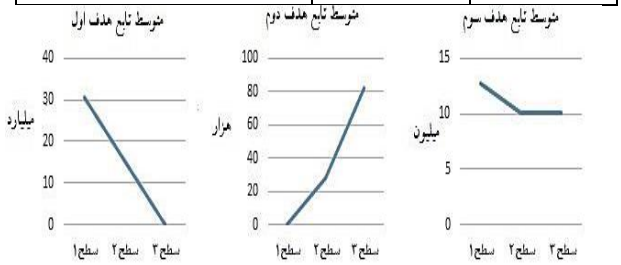
	$\overline{z1}$	$\overline{z2}$	$\overline{z3}$
سطح ۱ ظرفیت تزریق	۱۵۹۸۲/۸↑	۱۰۰↓	۲۵/۸↑
سطح ۲ ظرفیت تزریق	۷۹۶۳/۱↑	۶۵/۸۴↓	۰/۰۱↓

جدول(۱۳): درصد تغییرات توابع هدف نسبت به حالت ظرفیت تزریق اصلی در سناریوی دوم

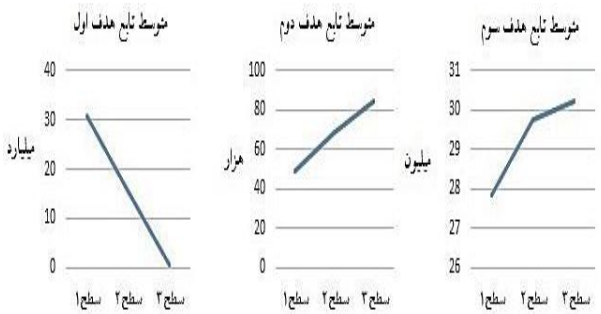
	$\overline{z1}$	$\overline{z2}$	$\overline{z3}$
سطح ۱ ظرفیت تزریق	۵۱۶۱/۹۶↑	۴۱/۹۳↓	۷/۹۱↓
سطح ۲ ظرفیت تزریق	۲۵۷۱/۰۱↑	۱۹/۴۸↓	۱/۶۱↓

جدول(۱۴): درصد تغییرات توابع هدف نسبت به حالت ظرفیت تزریق اصلی در سناریوی سوم

	$\overline{z1}$	$\overline{z2}$
سطح ۱ ظرفیت تزریق	۲۷۶۱/۴۰↑	۴۲/۴۲↓
سطح ۲ ظرفیت تزریق	۱۳۷۶/۰۶↑	۱۸/۸۵↓



شکل(۹): تحلیل حساسیت توابع هدف سناریوی اول نسبت به سطوح مختلف ظرفیت تزریق



شکل (۱۰): تحلیل حساسیت توابع هدف سناریوی دوم نسبت به سطوح مختلف ظرفیت تزریق

شکل (۱۱): تحلیل حساسیت توابع هدف سناریوی سوم نسبت به سطوح مختلف ظرفیت تزریق

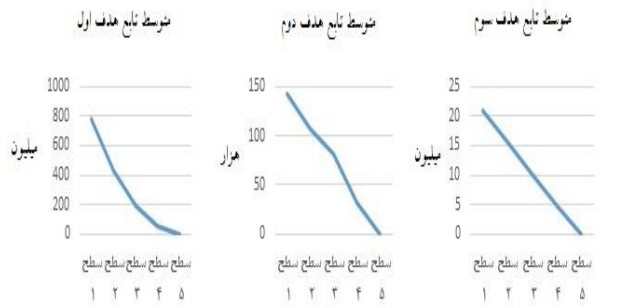
در هر سه سناریو، تابع هدف اول با کاهش ظرفیت تزریق بدتر و تابع هدف دوم بهتر می‌شود. با بررسی جزئیات تخصیص به هر شهرستان، مشاهده می‌شود شهرهای پرتراکم با در نظر گرفتن سطح ۳ ظرفیت تزریق تخصیص کامل دارند اما با کاهش ظرفیت تزریق، به ناچار دچار کمبود شدند. این موضوع سبب می‌شود واکسن بیشتری به شهرهای کم‌تراکم که در حالت قبل به دلیل کمبود موجودی، تخصیص کامل نداشتند، تعلق گرفته و کمبود آن‌ها بهبود یابد. بسیاری از این نقاط در حالت قبل هیچ تخصیصی نداشتند. بنابراین کمبود گروه هدف را نیز تجربه کرده بودند، اما در شرایط ذکر شده کمبود گروه هدف نخواهند داشت. به همین علت با کاهش ظرفیت تزریق شاهد بهبود تابع هدف دوم هستیم. توجه شود کاهش ظرفیت تزریق به حدی نیست که برای شهرهای پرتراکم کمبود گروه هدف ایجاد شود. با بیست درصد کاهش ظرفیت تزریق، مجموع ظرفیت تزریق از مجموع ظرفیت تأمین کمتر شده است. بنابراین در سناریوی اول که بحث تمایلات مطرح نیست، به تمام شهرستان‌ها به میزان ظرفیت تزریقشان واکسن تعلق می‌گیرد. در رابطه با هدف سوم روند متفاوتی برای سناریوی اول و دوم مشاهده می‌شود. از آنجا که در سناریوی اول به میزانی که ظرفیت داشته باشیم واکسن ارسال می‌شود، بنابراین مقدار این هدف به اندازه اختلاف تقاضای ژنریک و حداقل ظرفیت تأمین و تزریق است. همانطورکه گفته شد با کاهش ظرفیت تزریق شهرستان‌ها، شهرهای پرتراکم دچار کمبود شدند. در عوض واکسن بیشتری به شهرهای کم‌تراکم تعلق گرفت و کمبود آن‌ها بهبود یافت. این تغییرات در سطح نشان تجاری نیز ایجاد می‌شود. نتیجه مدیریتی از این بخش این است که، در صورتیکه مایلیم شهرهای پرتراکم در دوره‌ای خاص از نظر شیوع کنترل شود، حتماً به موازات موضوع توزیع مناسب می‌بایست موضوع ظرفیت تزریق (برابر با ظرفیت تامین)، توجه کافی دریافت نماید. در سناریوی دوم نقاطی وجود دارند که برای بهبود تابع هدف اول، به جای نشان‌های تجاری ای که دچار کمبود هستند، از نشان‌های تجاری دیگر بیش از تقاضای آن نشان تجاری به نقاط تقاضا تخصیص داده شد (مازاد نشان تجاری). با تغییرات ایجاد شده ناشی از کاهش ظرفیت تزریق، حتی اگر مجموع افزایش کمبود نشان تجاری در برخی شهرستان‌ها و کاهش کمبود نشان تجاری در سایر شهرستان‌ها برابر باشد، تابع هدف سوم بهبود می‌یابد. دلیل این بهبود این است که شهرهایی که دچار کاهش کمبود نشان تجاری شدند به همان میزان کاهش مازاد نشان تجاری (که برای جبران آن کمبود به وجود آمده بود) نیز خواهند داشت. جداول درصد تغییرات توابع هدف نشان می‌دهند با یک تغییر کوچک در ظرفیت تزریق، هدف دوم و سوم تغییر چندانی ندارند ولی هدف اول خیلی تغییر می‌کند. علت این امر می‌تواند وجود مقادیر بسیار متفاوت ضریب تراکم در شهرستان‌ها (از ۱,۳۹ تا ۲۵۳۳۲) باشد در حالی که ضریب نسبت گروه هدف در شهرستان‌های مختلف به هم نزدیک است و درصد تمایل به هر نشان تجاری نیز برای هر نشان تجاری تغییرات کمی در شهرهای مختلف دارد. این موضوع مجدداً اهمیت توجه و سرمایه گذاری بر روی ظرفیت تزریق را به دلیل تأثیر زیاد بر هدف کاهش شیوع کلی نشان می‌دهد.

۴-۳-۲- ظرفیت تأمین

جهت تحلیل حساسیت مدل روی پارامتر ظرفیت تأمین، مقادیر ظرفیت تامین از هر یک از نشان‌های تجاری (و در نتیجه کل ظرفیت تأمین واکسن) ده درصد و بیست درصد کاهش و افزایش داده شد (جدول ۱۵). نتایج این تغییرات برای سناریوی اول، دوم و سوم به ترتیب آورده شده است. برای سناریوی دوم و سوم نیز مشابه سناریوی اول روند نزولی مشاهده شد. جدول و جدول مربوط به تحلیل حساسیت این دو سناریو هستند.

جدول(۱۵): سطوح ظرفیت تأمین

سطح ۱	بیست درصد کمتر از ظرفیت اصلی	۴۲۹۳۳۸۶۰
سطح ۲	ده درصد کمتر از ظرفیت اصلی	۴۸۳۰۰۵۹۳
سطح ۳	ظرفیت اصلی	۵۳۶۶۷۳۲۵
سطح ۴	ده درصد بیشتر از ظرفیت اصلی	۵۹۰۳۴۰۵۸
سطح ۵	بیست درصد بیشتر از ظرفیت اصلی	۶۴۴۰۰۷۹۰



شکل (۱۲): تحلیل حساسیت توابع هدف سناریوی اول نسبت به سطوح مختلف ظرفیت تأمین

جدول(۱۶): درصد تغییرات توابع هدف نسبت به حالت ظرفیت تأمین اصلی در سناریوی اول

	$\overline{z1}$	$\overline{z2}$	$\overline{z3}$
سطح ۱ ظرفیت تأمین	۳۱۱/۱۹↑	۷۳/۱۹↑	۱۰۵/۷۹↑
سطح ۲ ظرفیت تأمین	۱۲۴/۲۱↑	۲۹/۶۳↑	۵۲/۸۹↑
سطح ۴ ظرفیت تأمین	۷۰/۴۱↓	۶۰/۷۹↓	۵۲/۹۱↓
سطح ۵ ظرفیت تأمین	۱۰۰/۰۰↓	۱۰۰/۰۰↓	۱۰۰/۰۰↓

جدول(۱۷): درصد تغییرات توابع هدف نسبت به حالت ظرفیت تأمین اصلی در سناریوی دوم

	$\overline{z1}$	$\overline{z2}$	$\overline{z3}$
سطح ۱ ظرفیت تأمین	۱۲۱/۷۲↑	۷۰/۵۶↑	۲۲/۵۰↑
سطح ۲ ظرفیت تأمین	۴۸/۸۸↑	۳۸/۷۰↑	۱۱/۹۶↑
سطح ۴ ظرفیت تأمین	۳۹/۰۰↓	۳۱/۳۳↓	۱۰/۸۴↓
سطح ۵ ظرفیت تأمین	۶۳/۷۲↓	۶۳/۲۳↓	۲۳/۳۱↓

جدول(۱۸): درصد تغییرات توابع هدف نسبت به حالت ظرفیت تأمین اصلی در سناریوی سوم

	$\overline{z1}$	$\overline{z2}$
سطح ۱ ظرفیت تأمین	۹۰/۹۷↑	۳۳/۵۷↑
سطح ۲ ظرفیت تأمین	۳۸/۰۴↑	۱۶/۶۸↑
سطح ۴ ظرفیت تأمین	۲۹/۴۴↓	۱۶/۵۱↓
سطح ۵ ظرفیت تأمین	۵۲/۹۳↓	۳۲/۳۲↓

در هر سه سناریو، همه توابع هدف با کاهش ظرفیت تأمین بدتر می‌شوند. مشاهده شد که تابع هدف دوم هر سه سناریو با کاهش ظرفیت تزریق بهبود یافت اما با کاهش ظرفیت تأمین این اتفاق رخ نداد. زیرا کاهش ظرفیت تزریق منجر به تخصیص واکسن بیشتر به شهرهای کم‌تراکم شد اما در این حالت، همچنان می‌توان به نقاط پرتراکم برابر با تقاضایشان واکسن ارسال کرد. بنابراین کاهش ظرفیت تأمین منجر به بهبود کمبود گروه هدف نشده و مطابق انتظار کمبود را بدتر می‌کند. در حالتی که ظرفیت تأمین را بیست درصد افزایش دادیم، ظرفیت تأمین هر شهرستان بیشتر از ظرفیت تزریق و تقاضای ژنریک آن شهرستان شده و امکان ارسال واکسن به اندازه سهمیه هر شهرستان (تابع هدف سوم سناریوی اول) وجود دارد. بنابراین کمبود هم صفر خواهد شد. اما در سناریوی دوم و سوم به دنبال تخصیص هر نشان تجاری واکسن به میزان دلخواه شهرستان‌ها هستیم که با این میزان تأمین، هنوز قابل دستیابی نیست. بنابراین همچنان برای بعضی نشان‌های تجاری با کمبود مواجه هستیم. بعلاوه، مشاهده می‌شود در سناریوی دوم با وجود داشتن واکسن کافی در سطح ژنریک، در بیشتر نقاط پارتو کمبود ژنریک رخ داده است (توابع هدف اول و دوم صفر نشده‌اند). در صورتیکه از نظر تصمیم گیران، عدم کمبود بیش از برآورده کردن تمایلات اهمیت داشته باشد می‌توان وزن بیشتری برای توابع هدف مربوطه لحاظ کرد. توابع هدف سناریوی سوم مشابه تابع هدف سوم سناریوی دوم، بر مبنای تمایلات بوده و تفسیر فوق برای این سناریو نیز صادق است. از منظر مدیریتی، نتایج این بخش نشان می‌دهد افزایش بیست درصدی ظرفیت تامین می‌تواند میزان کمبودها را تا ۱۰۰٪ در سناریوی اول، ۶۳٪ در سناریوی دوم و ۵۳٪ درصد در سناریوی سوم کاهش داده و در نتیجه به کاهش شیوع عمومی بیماری کمک کند.

۵- نتیجه‌گیری

این تحقیق با هدف ارائه مدلی ریاضی برای تخصیص بهینه واکسن کرونا در سه سناریوی مختلف طراحی شد تا تأثیر تمایلات افراد، تراکم جمعیت، و گروه‌های هدف بر توزیع مناسب واکسن و مدیریت همه‌گیری بررسی شود. نتایج حاصل از حل مدل در سناریوهای مختلف به شرح زیر است:

- ادغام تمایلات افراد با ملاحظات لجستیکی و اپیدمیولوژیک، اثربخشی برنامه‌های واکسیناسیون در مدیریت همه‌گیری را بهبود می‌بخشد.
- در سناریوی اول و سوم تخصیص کامل برای شهرهای پر تراکم انجام شد.
- در همه سناریوها تخصیص حداقل به میزان تقاضای گروه هدف به همه شهرستان‌ها صورت پذیرفت.
- عدم توجه به تمایلات می‌تواند منجر به ایجاد موجودی مازاد واکسن شود

۶- پیشنهادهای مدیریتی

۱. استراتژی‌های توزیع مبتنی بر میزان دسترسی به تمایلات :

- در صورتیکه در یک بازه دلخواه از بروز همه‌گیری، تاثیرات اجتماعی شیوع بیماری در گروه هدف بیشتر از شیوع عمومی است، مدل سناریوی اول برای تصمیم گیری لازم و کافیست، در غیر این صورت ترجیحاً نیازمند تکمیل اطلاعات و بهره‌مندی از سناریوی سوم برای کسب بیشترین تاثیرات در مدیریت همه‌گیری هستیم.
- در شرایطی که اطلاعی از میزان تمایلات مناطق موجود نیست و یا اطلاعی از مقاومت افراد در پذیرش سایر نشان‌های تجاری در دست نباشد:
- در صورتیکه صرفاً به دنبال بهبود سطح پذیرش عوارض احتمالی واکسن باشیم (رضایت)، مدل سناریو ۲ بهترین عملکرد را ایجاد می‌کند.
- اگر میزان شیوع کلی و شیوع گروه‌های هدف دارای اهمیت بیشتری هستند، مدل سناریو ۱ عملکرد مطلوب‌تری را حتی در شرایط ذکر شده برای سناریوی ۲ نشان می‌دهد.

۲. استراتژی‌های توزیع مبتنی بر شرایط منطقه‌ای:

- در سناریوی اول و سوم، برای انتخاب از بین جواب‌های پارتو، در صورتیکه می‌خواهید هیچ نقطه پر تراکمی دچار کمبود نشود، جواب‌هایی را انتخاب کنید که شیوع کلی کمتری را نشان می‌دهند و در صورتیکه ترجیح می‌دهید همه نقاط اعم از پر تراکم و کم تراکم واکسن دریافت کنند، نقاط با شیوع گروه هدف کمتر را انتخاب کنید.
- در بازه زمانی حل مدل و با سطح اطلاعات سناریوی دوم، در صورتیکه وضعیت شیوع در مناطق پر تراکم حاد بوده و دارای اهمیت بیشتری نسبت به موضوع توجه به تمایلات در همه نقاط داشته باشد، بهتر است از مدل سناریوی اول استفاده کنیم.

۳. مدیریت تقاضا و آگاهی بخشی :

- اجرای پویش‌های آموزشی برای کاهش تردید نسبت به واکسن‌ها و شفاف سازی اثربخشی نشان‌های تجاری مختلف، ممکن است تمایلات غیرمنطقی را تعدیل و توزیع و به تبع آن مصرف واکسن را کارآمدتر کند.
- نمونه گیری و بررسی آماری تمایلات در دوره‌های مختلف از شهرهای مختلف می‌تواند در بهبود برنامه ریزی و احتمالاً اجرای پویش‌های آگاه ساز موثر باشد.

۴. بهبود زیرساخت‌های لجستیکی :

- کاهش ظرفیت تزریق می‌تواند منجر به افزایش کمبود در مناطق پرتراکم شود. بنابراین، باید در توسعه زیرساخت‌های تزریق واکسن، از جمله آموزش نیروی انسانی و ایجاد مراکز تزریق موقت، سرمایه‌گذاری شود.
- **افزایش ظرفیت تأمین:** افزایش ظرفیت تأمین واکسن، حتی به میزان ۲۰ درصد، می‌تواند کمبودها را حداقل به میزان ۵۰ درصد کاهش داده و از شیوع بیشتر بیماری جلوگیری کند.

در پژوهش‌های آینده می‌توان به بررسی عدم قطعیت در تقاضای واکسن، تخصیص نشان‌های تجاری خاص برای گروه‌های هدف، و طراحی مدل‌های پویا با در نظر گرفتن تغییرات تمایلات در طول زمان برای دوره‌های زمانی متعدد پرداخت. همچنین، تحلیل هزینه-فایده آگاهی‌بخشی عمومی در کاهش مقاومت مردم نسبت به واکسن‌های مختلف می‌تواند به بهبود برنامه‌ریزی کمک کند.

۷- قدردانی

این پژوهش با استفاده از اعتبارات دانشگاه گلستان در قالب طرح تحقیقاتی شماره ۱۵۴۳ انجام گردیده است.

۸- مراجع

[1] S. D. Siadat, A. Rahimi, and A. Fateh, "strategies of vaccine production against COVID-19: When will an effective vaccine be produced?" Islamic Azad Univ. Med. J., vol. 31, no. 1, pp. 29-38, 2021. doi: [10.52547/iau.31.1.29]

[2] M. Sallam, "COVID-19 Vaccine Hesitancy Worldwide: A Concise Systematic Review of Vaccine Acceptance Rates," Vaccines, vol. 9, 160, 2021. doi: [10.3390/vaccines9020160]

[3] M. Tavousi et al., " Development and validation of a short instrument for measuring attitude towards Covid-19 vaccination: The covid-19 vaccination attitude scale for adults (Co-VASA)" Payesh, vol. 21, no. 1, pp. 91-99, 2022.

[4] M. Tavousi et al., " Development and validation of a short instrument for measuring attitude towards Covid-19 vaccination: The covid-19 vaccination attitude scale for adults (Co-VASA)" Payesh, vol. 21, no. 1, pp. 91-99, 2022.

[5] M. Taherinia and A. Hasanvand, "Economic consequences of COVID-19 disease on the Iranian economy; With an emphasis on employment" Nurs. Manag. J., vol. 9, no. 3, pp. 43-58, 2020.

[6] P. Kolivand and H. Kazemi, "The effects of COVID-19 on mental health, socio-economic issues, and social interactions in Tehran: A pilot study," Shefaye Khatam Neurosci. J., vol. 9, no. 2, pp. 100-110, 2021. doi: [10.52547/shefa.9.2.100]

[7] H. Eroğlu, "Effects of COVID-19 outbreak on environment and renewable energy sector," Environ. Dev. Sustain., vol. 23, pp. 4782–4790, 2021. doi: [10.1007/s10668-00837-4]

[8] J. L. Turabian, "Implications on mental health by the coronavirus disease 2019 (COVID-19) pandemic: The role of general practitioner," Arch. Psychiatr. Ment. Health, vol. 4, pp. 035-041, 2020. doi: [10.29328/journal.apmh.1001016]

[9] M. Tavousi et al., " Development and validation of a short instrument for measuring attitude towards Covid-19 vaccination: The covid-19 vaccination attitude scale for adults (Co-VASA)" Payesh, vol. 21, no. 1, pp. 91-99, 2022.

[10] M. Tavousi et al., " Development and validation of a short instrument for measuring attitude towards Covid-19 vaccination: The covid-19 vaccination attitude scale for adults (Co-VASA)" Payesh, vol. 21, no. 1, pp. 91-99, 2022.

[11] H. Khankeh et al., "National survey on COVID-19 vaccination acceptance and its associated factors: Rapid assessment and recommendation challenges" (Report of Research Project), University of Rehabilitation Sciences and Social Health, 2021.

[12] H. Tamimi, R. Tahmasbi, A. Darabi, and A. Norouzi, " The Predictive Role of vaccination literacy and vaccine hesitancy on acceptance of COVID-19 vaccination," J. South Med., vol. 24, no. 6, pp. 597-609, 2021. doi: [10.52547/ismj.24.6.597]

[13] A. Nakhostin-Ansari et al., "Acceptance or Rejection of the COVID-19 Vaccine: A Study on Iranian People's Opinions toward the COVID-19 Vaccine," Vaccines, vol. 10, 670, 2022. doi: [10.3390/vaccines10050670]

[14] V. D. Tran et al., "Determinants of COVID-19 vaccine acceptance in a high infection-rate country: a cross-sectional study in Russia," Pharmacy Practice, vol. 19, no. 1, 2276, 2021. doi: [10.18549/PharmPract.2021.1.2276]

[15] M. Mehdipour Mir, S. A. Torabi, "Vaccine distribution network Design (with a case study)," M.S. thesis, University of Tehran, 2016.

[16] M. Mahmoodi, M. Rafiee, "Inventory management and distribution of influenza vaccines through a healthcare supply chain," M.S. thesis, Khatam Non-Profit University, 2017.

[17] F. Deyrang and M. Jabalameli, "A robust approach to designing vaccine supply chain network under uncertainty (case study)," M.S. thesis, Iran University of Science and Technology, 2020.

[18] S. M. Hashemi, M. Javadi, R. Soltani, and A. Vaezi, "An optimization model for supply chain of influenza vaccines under certainty," 10th Int. Oper. Res. Assoc. Conf., Mazandaran, May, 2017, pp. 1-10.

[19] G. Khaligh, R. Soltani, and M. S. Pishvaei, "A dynamic multi-objective model for designing multi-product logistics network for child vaccine distribution," 15th Int. Ind. Eng. Conf., Yazd, jan., 2019, pp. 1-11.

[20] Z. Yu et al., "Efficient Vaccine Distribution Based on a Hybrid Compartmental Model," PLoS ONE, vol. 11, no. 5, e0155416, May, 2016. doi: [10.1371/journal.pone.0155416]

[21] M. Mohammadi et al., "Bi-objective optimization of a stochastic resilient vaccine distribution network in the context of the COVID-19 pandemic," Omega, vol. 113, 102725, Dec., 2022. doi: [10.1016/j.omega.2022.102725]

[22] X. Chen, M. Li, D. Simchi-Levi, and T. Zhao, "Allocation of COVID-19 vaccines under limited supply," MedRxiv, 2020. doi: [10.1101/2020.08.23.20179820]
[23] B. Abbasi, M. Fadaki, O. Kokshagina, N. Saeed, and P. Chhetri, "Modeling vaccine allocations in the COVID-19 pandemic: A case study in Australia", Dec., 2020, [10.2139/ssrn.3744520].
[24] B. Aghababaei, M. S. Pishvaee, and F. Barzinpour, "A two-stage fuzzy optimization model for scarce drugs supply and ration planning under uncertainty: A case study," Appl. Soft Comput., vol. 81, 105514, Aug., 2019. doi: [10.1016/j.asoc.2019.105514]
[25] B. Aghababaei, M. S. Pishvaee, and F. Barzinpour, "A fuzzy bi-level programming approach to scarce drugs supply and ration planning problem under risk," Fuzzy Sets Syst., vol. 434, pp. 48-72, 2022. doi: [10.1016/j.fss.2021.02.021]
[26] H. Ghanbarian and H. Sarraf Joshaghani, "The Impact of Coronavirus on the Defense Supply Chain," Supply Chain Manag., vol. 21, no. 65, pp. 89-96, 2020. dor: [20.1001.1.20089198.1398.21.65.7.5]. In Persian.
[27] H. Barzegar, H. A. Hassanpour, Sh. Aliyari, H. Ghaffari Touran, and J. Hassannejad, "Interpretive Structural Modeling of Operational Clothing Supply Chain Disruptions in a Defense Organization," Supply Chain Manag., vol. 23, no. 73, pp. 53-61, 2022. dor: [20.1001.1.20089198.1400.23.73.5.3], In Persian.
[28] Z. Khoje, T. Darvish Mohammadi, and M. Mohajer Tabrizi, "Designing a Drug Supply Chain: An Integrated Approach," Supply Chain Manag., vol. 24, no. 77, pp. 55-70, 2022. dor: [20.1001.1.20089198.1401.24.77.4.7]. In Persian.
[29] G. Mavrotas, "Effective implementation of the ε-constraint method in multi-objective mathematical programming problems," Appl. Math. Comput., vol. 213, no. 2, pp. 455-465, 2009. doi: [10.1016/j.amc.2009.03.037]