مقاله پژوهشی

مدل‌سازی زنجیره تأمین خون‌رسانی با رویکرد صرفه‌جویی در هزینه و زمان (مطالعه موردی)

سعید سلجوقی[1*]، رامین صادقیان[2]

دانشگاه پیام نور

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۱۰/۲۲

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۰۱/۱۹

چکیده

امروزه انتقال سریع و کم‌هزینه فرآورده‌های خونی با توجه به اهمیت کمک‌های اورژانسی وامدادی و همین‌طور پیشرفت درروش های درمان در علم پزشکی اهمیت فراوانی یافته است با توجه به اینکه خون هیچ جانشینی ندارد و انسان‌ها خود به‌عنوان منبع تولید آن به شمار می‌آیند ازاین‌رو مشخص شدن محل استقرار بهینه مراکز دریافت و نگهداری و انتقال خون و فواصل آن‌ها از نقاط تقاضا به جهت بالا بردن سطح سرویس‌دهی از اهمیت فراوانی برخوردار است لذا با توجه به اهمیت موضوع در این تحقیق به مدل‌سازی یک زنجیره تأمین فرآورده‌های خونی با دو هدف معین یعنی کاستن از هزینه‌های حمل‌ونقل و زمان سرویس‌دهی در زنجیره با در نظر گرفتن مراکز مختلف انتقال خون محلی و منطقه‌ای و انتخاب محل بهینه استقرار مراکز سیار خون شده است همین‌طور با در نظر گرفتن مراکز تقاضا شامل بیمارستان‌ها و نقاط پرحادثه طراحی شبکه مناسبی از زنجیره تأمین جهت سرویس‌دهی در نزدیکی این نقاط در جهت بهینه‌سازی اهداف تعیین‌شده انجام‌گرفته و نهایتاً مدل طراحی‌شده در مقاله را جهت اطمینان از کارکرد مطلوب با اطلاعات استخراج‌شده از محل استقرار مراکز و واحدهای دریافت و انتقال خون در شهر زنجان آزمون نموده و نتایج حل مدل را که از روش الگوریتم فرا ابتکاری به‌دست‌آمده مورد تجزیه‌وتحلیل قرارگرفته است.

واژه‌های کلیدی: زنجیره خون‌رسانی، بهره‌وری، فاصله پوششی، الگوریتم فرا ابتکاری

۱- مقدمه

بررسی اجزای زنجیره تأمین و انتقال خون در کشورمان نشان‌دهنده وجود مراکز سیار و محلی و منطقه‌ای خون و عامل مهمی در تأمین خون به نام اهداکنندگان یا هدیه دهندگان و نقاط تقاضای خون شامل بیمارستان‌ها و مراکز پزشکی و درمانی است. محل قرارگیری و استقرار مراکز سیار که در آن لوازم و امکانات خون‌گیری و بسته‌بندی موجود است ممکن است از یک دوره زمانی نسبت به دوره‌های قبل متفاوت باشد یعنی بسته به شرایط و حوادث محل استقرار مراکز سیار در هر دوره زمانی در فاصله جغرافیایی خاصی از مراکز محلی یا منطقه‌ای و بیمارستانی مشخص می‌شود و خون جمع‌آوری‌شده در مراکز سیار به مراکز محلی یا منطقه‌ای ارسال می‌شود [۱] که این مراکز نیز طبق دستورالعمل‌های خاص و رعایت اصول فنی و پزشکی اقدام به نگهداری و ارسال خون دربسته بندی و اندازه معین نموده و در هنگام وجود تقاضا در نقاط مختلف زنجیره مطابق مشخصات و فرم درخواست, خون دربسته‌هایی با حجم معین به نقاط تقاضا شامل بیمارستان‌ها و

۱*- دانشجوی دکتری, مهندسی صنایع, دانشگاه پیام نور مرکز تحصیلات تکمیلی، نویسنده پاسخگو، پست الکترونیکی: saeedsaljooghi@gmail.com نشانی: تهران- خیابان دیباجی شمالی-کوچه نوریان، دانشگاه پیام نور

۲- دانشیار, دانشکده مهندسی صنایع دانشگاه پیام نور، پست الکترونیکی: sadeghian@pnu.ac.ir

مراکز پزشکی وامدادی ارسال می‌شود[۲] لازم به ذکر است مراکز منطقه‌ای خون قادر به ارائه تمام خدمات و فرآیندهای دریافت خون و نگه‌داری و انتقال هستند اما مراکز محلی ممکن است قادر به ارائه طیف گسترده‌ای از این خدمات نباشند و به همین دلیل در برخی موارد برای انجام تعدادی از فرآیندها خون جمع‌آوری‌شده را به مراکز منطقه‌ای انتقال و هدایت می‌کنند که آن را نرخ خدمات هدایت‌شده یا نرخ خدمات ارجاعی از مراکز محلی به مراکز منطقه‌ای می‌نامند در مقالات مختلف در این محدوده رویکردها و تعاریف مختلفی از زنجیره تأمین خون‌رسانی ارائه‌شده است برخی این زنجیره تأمین را در روابط بین خریدار و فروشنده یا اهداکننده و جمع کننده محدود کرده‌اند همانند مقالات گرلا و دیگران ۲۰۱۵ [۳] و اوزدامار و دیگران ۲۰۱۲[۴] و ونانی و دیگران ۲۰۱۵ [۵] وبریج و دیگران ۲۰۱۵[۶] بلین و دیگران ۲۰۱۵[۷] که چنین نگرشی را تنها بر عملیات خرید در سطح اول برای یک زنجیره متمرکز قائل می‌شوند و گروه دیگری از مقالات که به زنجیره تأمین خون دید وسیع‌تری داده و آن را شامل تمام سرچشمه‌های مربوط به اهدا و خرید خون برای یک زنجیره می‌دانند همانند مقالات شن و دیگران ۲۰۰۳[۸] و داسکین و دیگران ۲۰۱۲[۹] و شاهین و دیگران ۲۰۱۵[۱۰] و بلین و دیگران ۲۰۱۲[۱۱] که با تعریفی که از زنجیره تأمین خون ارائه دادند آن را شامل تمام تأمین‌کنندگان و هدایت‌کنندگان در سطوح اول و دوم وسوم الی‌آخر در زنجیره برشمرده‌اند که در چنین رویکردهایی در زنجیره تنها به تحلیل شبکه تأمین پرداخته‌شده است و از نقاط استقرار مراکز و بازدهی زنجیره سخنی به میان نیامده است در گروه سومی از مقالات نیز تحقیق بر روی زنجیره تأمین خون مبتنی بر مدل ارزش‌گذاری پورتر[1] است که در آن زنجیره شامل تمام فعالیت‌های موردنظر برای ایجاد ارزش رقابتی در یک محصول یا خدمت به مشتری و رضایت او را شامل می‌شود تحقیقات هس و دیگران ۲۰۱۶[۱۲] و داسکین و دیگران ۲۰۱۴[۱۳] و آرون و دیگران ۲۰۱۵[۱۴] و ناگورنی و دیگران ۲۰۱۲ و ۲۰۱۶[۱۵] و [۱۶] شامل حالت سوم می‌باشند که مبتنی بر مدل پورتر و اصول پنج‌گانه آن برای ایجاد رقابت ارزش افزا انجام‌گرفته‌اند در برخی از پژوهش‌ها نیز همانند مقاله همل مایر ۲۰۱۵[۱۷] به زنجیره تأمین توابع ساخت و توزیع به‌عنوان بخشی از جریان کالا و خدمات اضافه‌شده‌اند و در آن تدارکات و دریافت و توزیع خون موردتوجه و مدل‌سازی قرارگرفته است همین‌طور در مقاله صالحی پور و دیگران ۲۰۱۵[۱۸]که به حداقل رساندن زمان تأمین خون در زنجیره موردتوجه قرارگرفته است اما در مدل موردبررسی در تحقیق پیش رو با توجه به مطالعه و بررسی پیشینه فوق و مدل‌های ارائه‌شده قبلی یک مدل دو هدفه برای زنجیره تأمین خون‌رسانی موردبررسی قرارگرفته است که هدف اول آن شامل حداقل نمودن هزینه‌های زنجیره تأمین ازجمله هزینه‌های مکان‌یابی مراکز سیار خونی، هزینه جابجایی مراکز سیار خون، هزینه‌های عملیاتی در مراکز خون، هزینه حمل‌ونقل و هزینه حفظ موجودی و هدف دوم به حداقل رساندن زمان تحویل خون از مراکز سیار خون به بیمارستان‌ها است. درواقع اهداف مدل حاضر تعیین تصمیمات زیر در هر دوره از افق برنامه‌ریزی است:

- تعداد مراکز سیار خون که باید مکان‌یابی شوند؛
- محل مراکز سیار خون در هر سناریو،
- مقدار خون جمع‌آوری‌شده از مراکز سیار در هر سناریو.
- مقدار خون انتقالی از مراکز سیار خون به مراکز محلی و منطقه‌ای خون در هر سناریو،
- مقدار خون انتقالی از مراکز محلی انتقال خون به مراکز منطقه‌ای انتقال خون تحت هر سناریو
- سطح موجودی خون در مراکز محلی انتقال خون و منطقه‌ای در پایان هر دوره در هر سناریو
- مقدار خون انتقالی به بیمارستان از مراکز انتقال خون محلی و منطقه‌ای در هر سناریو.
- کاهش زمان انتقال و تحویل خون از مراکز به بیمارستان‌ها و مراکز پزشکی و در مانی موردتقاضا در یک محدوده جغرافیایی معین

۲ -پارامترها و متغیرهای تصمیم

از مجموعه‌های زیر، پارامترها و متغیرهای تصمیم‌گیری به‌منظور تدوین مدل استفاده‌شده است:

مجموعه‌ها:

I: مجموعه‌ای از گروه‌های یاری‌رسان و اهداکننده با اندیس i

J: مجموعه‌ای از مکان‌های نامزد برای مراکز سیار مشخص‌شده با j

K: مجموعه‌ای از مراکز محلی زنجیره خون مشخص‌شده با k

R: مجموعه‌ای از مراکز منطقه‌ای زنجیره خون مشخص‌شده با r

1-Porter Model

H: مجموعه‌ای از بیمارستان‌ها و مراکز پزشکی مشخص‌شده با h

S: مجموعه‌ای از سناریوهای وقوع حوادث مشخص‌شده با s

T :مجموعه‌ای از دوره‌های زمانی مشخص‌شده با t

L: مجموعه‌ای از مکان‌های فعلی مستقرشده مراکز سیار مشخص‌شده با l

پارامترها:

f: هزینه ثابت ایجاد مراکز سیار انتقال خون

V_{jlt}^{s} : هزینه جابجایی یک مرکز سیار خون از محل l به محل j در زمان t در سناریوی s

O_{ijt}^{s}: هزینه‌های عملیاتی واحد در مرکز سیار خون j از گروه‌های کمک‌کننده i در دوره t در سناریوی s

Ob_{kt}^{s}: هزینه‌های عملیاتی واحد در مرکز محلی خون K در دوره t در سناریوی s

Or_{rt}^{s}: هزینه‌های عملیاتی واحد در مرکز منطقه‌ای خون r در دوره t تحت سناریوی s

ab_{jkt}^{s}: هزینه انتقال واحد از مرکز سیار خون j تا مرکز محلی خون k در دوره t تحت سناریوی s

ar_{jrt}^{s}: هزینه انتقال واحد از مرکز سیار خون j تا مرکز منطقه‌ای خون r در دوره t تحت سناریوی s

abr_{krt}^{s}: هزینه انتقال واحد از مرکز محلی خون k تا مرکز منطقه‌ای خون r در دوره t تحت سناریوی s

arh_{kht}^{s}: هزینه انتقال واحد از مرکز محلی خون k تا بیمارستان h در دوره t تحت سناریوی s

abh_{rht}^{s}: هزینه انتقال واحد از مرکز منطقه‌ای خون r تا بیمارستان h در دوره t تحت سناریوی s

hb_{kt}: هزینه نگهداری واحد در مرکز محلی خون K در دوره t

hr_{rt}: هزینه نگهداری واحد در مرکز منطقه‌ای خون r در دوره t

d_{ht}^{s}: تقاضای خون در بیمارستان h در دوره t تحت سناریوی s

tb_{jk}: زمان انتقال از مرکز سیار انتقال خون j برای مرکز خون محلی k

tr_{jr}: زمان انتقال از مرکز سیار خون j به مرکز منطقه‌ای r

tc_{kr}: زمان انتقال از مرکز محلی خون k به مرکز منطقه‌ای خون r

tq_{rh} :زمان انتقال از مرکز منطقه‌ای خون r به بیمارستان h

tp_{kh} :زمان انتقال از مرکز محلی خون k به بیمارستان h

b :ظرفیت مراکز خون سیار

cb_{k}: ظرفیت ذخیره‌سازی از مرکز محلی خون k

cr_{r}: ظرفیت ذخیره‌سازی مرکز منطقه‌ای خون r

m_{i}^{s}: حداکثر تأمین خون از گروه‌های کمک‌کننده i در سناریو s

rr_{ij}: فاصله بین دهنده i و مرکز سیار خون j

rb_{ik}: فاصله بین دهنده i و مرکز محلی خون k

rc فاصله پوششی امکانات خون

π_s: احتمال وقوع سناریوی s

β: نرخ ارجاع/ میزانی که در آن خدمات در مراکز محلی خون برای مراکز انتقال خون منطقه‌ای انجام می‌شود

M: عددی بسیار بزرگ

متغیرهای تصمیم‌گیری:

X: یک متغیر صحیح معادل تعداد امکانات سیار خون

Z_{jlt}^{s}: یک متغیر باینری، در صورتی برابر با ۱ است که یک مرکز خون در محل l در دوره t-1 باشد، و به محل j در دوره t منتقل شود؛ در غیر این صورت ۰ است.

Y_{ijt}^{s}: یک متغیر باینری، در صورتی برابر با ۱ است که مراکز خون j به اهداکننده i در دوره t در سناریوی S اختصاص داده شود؛ در غیر این صورت صفر است.

U_{ikt}^{s}: یک متغیر باینری، در صورتی برابر با ۱ است که مرکز محلی خون K به اهداکننده i در دوره t در سناریوی S اختصاص داده شود؛ در غیر این صورت ۰ است.

AL_{krt}^{s}: یک متغیر باینری، در صورتی برابر با ۱ است که مرکز محلی خون K به مرکز منطقه‌ای خون r در دوره t در سناریوی S اختصاص داده شود؛ در غیر این صورت ۰ است.

QB_{ijkt}^{s} :مقدار خون جمع شده در مرکز خون j از اهداکننده i در دوره t برای ارائه به مرکز محلی خون K در سناریوی s

QR_{ijrt}^{s} : مقدار خون جمع شده در مرکز خون j از اهداکننده i در دوره t برای ارائه به مرکز منطقه‌ای خون r در سناریوی s.

OQ^s_{ikt}: مقدار خون جمع شده در مرکز خون k از اهداکننده i در دوره t در سناریوی s

BTR^s_{krt}: مقدار خون جمع شده در مرکز محلی خون k برای مرکز منطقه‌ای خون r در دوره t در سناریوی s

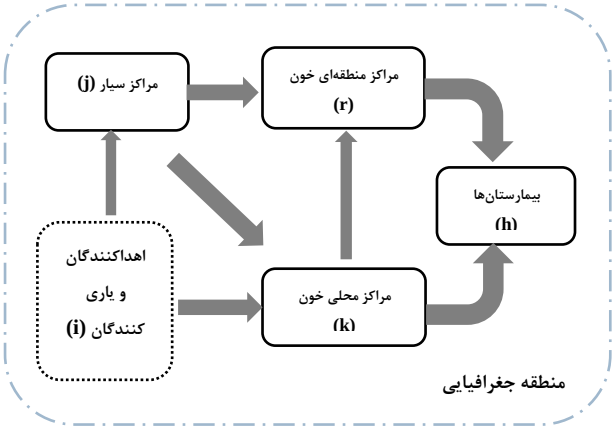
QBH^s_{kht}: مقدار خون انتقالی تحویلی از مرکز محلی خون k در بیمارستان h در دوره t در سناریوی s

QRH^s_{rht}: مقدار خون انتقالی تحویلی از مرکز منطقه‌ای r در بیمارستان h در دوره t در سناریوی s

IB^s_{kt}: سطح موجودی خون در مرکز خون محلی K در پایان دوره t در سناریوی s

IR^s_{rt}: سطح موجودی خون در مرکز منطقه‌ای خون r در پایان دوره t در سناریو s

یکی از مشکلات مدل‌سازی زنجیره تأمین با سناریوهای احتمالی و چندهدفه وقوع مجموعه‌ای از رویدادها در مدل است درروش برنامه‌ریزی دومرحله‌ای که توسط بریج و دیگران ۲۰۱۵[۶] ارائه‌شده متغیرهای تصمیم‌گیری به دودسته تقسیم شدند تصمیم‌گیری مرحله اول و تصمیم‌گیری مرحله دوم، تصمیم‌گیری مرحله اول متکی بر تحقق سناریوها نبوده و همان اول به‌صورت مستقل تعیین و وارد مدل‌سازی و حل مسئله می‌شوند و درواقع قبل از وقوع سناریوهای مدنظر مشخص می‌شوند ولی متغیرهای تصمیم‌گیری مرحله دوم وابسته به سناریوهای هستند که رخ می‌دهد و نسبت به آن تغییر می‌کنند. در مدل‌سازی تحقیق پیش رو بر همین اساس، متغیر مستقل مسئله یعنی X (تعداد امکانات خون‌رسانی سیار) مقدار مستقلی است ازاین‌رو مقدار آن در ابتدا تعیین می‌شود اما مقادیر سایر متغیرهای تصمیم‌گیری دیگر با توجه به آنچه در سناریوها رخ می‌دهد تعیین خواهند شد. شمای کلی مسئله و مدل موردبررسی تحقیق مطابق شکل (۱) می‌باشد:



شکل (۱): شمای ساختار کلی زنجیره موردمطالعه

۳- توابع هدف

اولین تابع هدف مجموع هزینه مورد انتظار زنجیره تأمین را محاسبه می‌کند و به حداقل می‌رساند. اجزای هزینه زنجیره تأمین درهر سناریو شامل هزینه ایجاد مراکز سیار خون (EC) که تابعی از مقدار Xاست، هزینه مراکز سیار خون (MC_s)، هزینه‌های عملیاتی (OC_s)، هزینه حمل‌ونقل (TC_s) و هزینه‌های موجودی (IC_s)، در معادلات (۱) تا (۵) فرموله شده است.

(۱) هزینه‌های تأسیس مراکز سیار خون

$$EC=f(X)$$

(۲) هزینه جابجایی مراکز سیار خون:

$$MC_s = \sum_{l\epsilon L}\sum_{j\epsilon J}\sum_{t\epsilon T} V^s_{jlt}.Z^s_{jlt}$$

(۳) هزینه عملیاتی مراکز سیار خون شامل:

$$OC_s = \sum_{i\epsilon I}\sum_{j\epsilon J}\sum_{t\epsilon T} O^s_{ijt}\left(\sum_{k\epsilon K} QB^s_{ijkt} + \sum_{r\epsilon R} QR^s_{ijrt}\right) + \sum_{k\epsilon K}\sum_{t\epsilon T} Ob^s_{kt}\left(\sum_{i\epsilon I}\sum_{j\epsilon J} QB^s_{ijkt} + \sum_{i\epsilon I} OQ^s_{ikt}\right) + \sum_{r\epsilon R}\sum_{t\epsilon T} Or^s_{rt}\left(\sum_{i\epsilon I}\sum_{j\epsilon J} QB^s_{ijrt} + \sum_{k\epsilon K} BTR^s_{krt}\right)$$

(۴) هزینه انتقال مراکز سیار شامل:

$$TC_s = \sum_{i\epsilon I}\sum_{j\epsilon J}\sum_{k\epsilon K}\sum_{t\epsilon T} ab^s_{jkt} QB^s_{ijkt} + \sum_{i\epsilon I}\sum_{j\epsilon J}\sum_{r\epsilon R}\sum_{t\epsilon T} ar^s_{jrt} QR^s_{ijrt} + \sum_{k\epsilon K}\sum_{t\epsilon T} hb^s_{kt}\, IB^s_{kt} + \sum_{r\epsilon R}\sum_{t\epsilon T} hr_{rt}\, IR^s_{rt}$$

(۵) هزینه‌های موجودی شامل:

$$IC_s = \sum_{k\in K}\sum_{t\in T} hb_{kt} IB^s_{kt} + \sum_{r\in R}\sum_{t\in T} hr_{rt}\, IR^s_{rt}$$

هزینه ایجاد امکانات خون در معادله (۱) با ضرب هزینه ایجاد امکانات سیار خون در تعداد امکانات موجود سیار خون دست آمده است .معادله (۲) فرمول هزینه جابجایی امکانات خون از یک مکان به مکان دیگر در دوره‌های مختلف به دست می‌دهد معادله (۳) مجموع هزینه‌های عملیاتی در مراکز سیار خون، مراکز محلی انتقال خون و مراکز منطقه‌ای انتقال خون را بیان می‌کند .معادله (۴) هزینه کل حمل‌ونقل را محاسبه می‌کند ازجمله هزینه‌های حمل‌ونقل در تحویل خون با امکانات سیار به مراکز خون محلی و منطقه‌ای، از مراکز محلی

خون به مراکز خون منطقه‌ای، و از مراکز محلی و منطقه‌ای خون به بیمارستان معادله (۵) کل هزینه نگهداری موجودی خون در مراکز محلی و مراکز منطقه‌ای را نشان می‌دهد .با استفاده از این اجزای هزینه، اولین تابع هدف یعنی F_1 بر مبنای هزینه در معادله (۶) نشان داده‌شده است که می‌بایست کمینه گردد:

(۶)

$$\text{Min } F_1 = EC + \sum_{s\epsilon S} \pi_s \left(MC_s + OC_s + TC_s + IC_s\right)$$

هدف تابع هدف دوم در جهت به حداقل رساندن متوسط زمان تحویل خون از مراکز محلی و منطقه‌ای انتقال خون به بیمارستان است. دو جزء از تابع هدف دوم در معادلات (۷) و (۸) فرموله شده است.

(۷)

$$TDBs = \sum_{i\epsilon I}\sum_{j\epsilon J}\sum_{r\epsilon R}\sum_{t\epsilon T} QB^s_{ijkt} tb_{jk} + \sum_{k\epsilon K}\sum_{h\epsilon H}\sum_{t\epsilon T} OBH^s_{kht} tp_{kh}$$

(۸)

$$TDRs = \sum_{i\epsilon I}\sum_{j\epsilon J}\sum_{r\epsilon R}\sum_{t\epsilon T} QR^s_{ijrt} tr_{jr} + \sum_{k\epsilon K}\sum_{r\epsilon R}\sum_{t\epsilon T} BTR^s_{krt} tc_{kr} + \sum_{r\epsilon R}\sum_{h\epsilon H}\sum_{t\epsilon T} QRH^s_{rht} tq_{rh}$$

معادله (۷) زمان انتقال وزنی برای تحویل خون به بیمارستان از طریق مراکز انتقال خون محلی را نشان می‌دهد، که در آن مقادیر خون به‌صورت وزن در نظر گرفته می‌شوند . عبارت اول معادله (۷) مربوط به زمان تحویل خون از امکانات خون به مراکز محلی خون است و عبارت دوم مربوط به فاصله زمانی از مراکز انتقال خون محلی تا بیمارستان است معادله (۸) نیز زمان وزنی را برای تحویل خون به بیمارستان از طریق مراکز خون منطقه‌ای محاسبه می کندبطوریکه دو عبارت اول معادله (۸) زمان تحویل تا مراکز انتقال خون از مراکز سیار خون و مراکز انتقال خون محلی را گرداوری می‌کند و عبارت سوم زمان تحویل خون از مراکز انتقال خون به بیمارستان می‌باشد .با استفاده از معادلات (۷) و (۸)، تابع هدف دوم در معادله (۹) را تدوین و فرموله می‌شود:

(۹)

$$\text{Min} F_2 = \sum_{s\epsilon S} \pi_s \left(TDB_s + TDR_s\right)$$

۳-۱ محدودیت مدل

توابع هدف فرموله شده در بخش ۳.۳ در معرض محدودیت‌های زیر است:

(۱۰)

$$\sum_{j\epsilon J}\sum_{l\epsilon L} z^s_{jlt} \le X \qquad \forall t\epsilon T, \forall s\epsilon S$$

(۱۱)

$$\sum_{l\epsilon L} z^s_{jlt} \le 1 \qquad \forall j\epsilon J, \forall t\epsilon T, \forall s\epsilon S$$

(۱۲)

$$\sum_{l\epsilon L} z^s_{jl,t-l} \le \sum_{l\epsilon L} z^s_{ljt} \qquad \forall j\epsilon J, \forall t\epsilon T, \forall s\epsilon S$$

(۱۳)

$$Y^s_{ijt} \le \sum_{l\epsilon L} z^s_{ljt} \quad \forall i\epsilon I, \forall j\epsilon J, \forall t\epsilon T, \forall s\epsilon S$$

(۱۴)

$$\sum_{\forall j\epsilon J}\sum_{\forall k\epsilon K}\sum_{\forall t\epsilon T} QB^s_{ijkt} + \sum_{\forall j\epsilon J}\sum_{\forall r\epsilon R}\sum_{\forall t\epsilon T} QR^s_{ijrt} + \sum_{k\epsilon K}\sum_{t\epsilon T} OQ^s_{ikt} \le m^s_i \quad \forall i\epsilon I, \forall s\epsilon S$$

(۱۵)

$$\sum_{i\epsilon I}\sum_{k\epsilon K} QB^s_{ijkt} + \sum_{i\epsilon I}\sum_{r\epsilon R} QR^s_{ijrt} \le b \qquad \forall j\epsilon J, \forall t\epsilon T, \forall s\epsilon S$$

(۱۶)

$$QB^s_{ijkt} \le MY^s_{ijt} \quad \forall i\epsilon I, \forall j\epsilon J, \forall k\epsilon K, \forall t\epsilon T, \forall s\epsilon S$$

(۱۷)

$$QR^s_{ijrt} \le MY^s_{ijt} \quad \forall i\epsilon I, \forall j\epsilon J, \forall r\epsilon R, \forall t\epsilon T, \forall s\epsilon S$$

(۱۸)

$$OQ^s_{ikt} \le MU^s_{ikt} \quad \forall i\epsilon I, \forall k\epsilon K, \forall t\epsilon T, \forall s\epsilon S$$

(۱۹)

$$rr_{ij} \times Y^s_{ijt} \le rc \quad \forall i\epsilon I, \forall j\epsilon J, \forall t\epsilon T, \forall s\epsilon S$$

(۲۰)

$$rb_{ik} \times U^s_{ikt} \le rc \quad \forall i\epsilon I, \forall k\epsilon K, \forall t\epsilon T, \forall s\epsilon S$$

(۲۱)

$$\sum_{r\epsilon R} AL^s_{krt} \le 1 \quad \forall k\epsilon K, \forall s\epsilon S, t\epsilon T$$

(۲۲)

$$BTR^s_{krt} \le MAL^s_{krt} \ \forall k\epsilon K, r\epsilon R, \forall t\epsilon T, \forall s\epsilon S$$

$$BTR^{s}_{krt} \leq \beta\left(\sum_{i\epsilon I}\sum_{j\epsilon J} QB^{s}_{ijkt} + \sum_{i\epsilon I} OQ^{s}_{ikt}\right) \quad \forall k\epsilon K, \forall r\epsilon R, \forall t\epsilon T, \forall s\epsilon S \qquad (۲۳)$$

$$IB^{s}_{kt} = IB^{s}_{k,t-1} + (1-\beta)\left(\sum_{i\epsilon I}\sum_{j\epsilon J} QB^{s}_{ijkt} + \sum_{i\epsilon I} OQ^{s}_{ikt}\right) - \sum_{h\epsilon H} QBH^{s}_{kht} \quad \forall k\epsilon K, \forall t\epsilon T, \forall s\epsilon S \qquad (۲۴)$$

$$IR^{s}_{rt} = IR^{s}_{k,t-1} + \left(\sum_{i\epsilon I}\sum_{j\epsilon J} QB^{s}_{ijrt} + \sum_{k\epsilon K} BTR^{s}_{krt}\right) - \sum_{h\epsilon H} QBH^{s}_{rht} \quad \forall r\epsilon R, \forall t\epsilon T, \forall s\epsilon S \qquad (۲۵)$$

$$D^{s}_{ht} = \left(\sum_{k\epsilon K} QBH^{s}_{kht} + \sum_{r\epsilon R} QRH^{s}_{rht}\right) \quad \forall h\epsilon H, \forall t\epsilon T, \forall s\epsilon S \qquad (۲۶)$$

$$IR^{s}_{r,t-1} + \left(\sum_{i\epsilon I}\sum_{j\epsilon J} QR^{s}_{ijrt} + \sum_{k\epsilon K} BTR^{s}_{krt}\right) - \sum_{h\epsilon H} QRH^{s}_{rht} = IR^{s}_{rt} \quad \forall r\epsilon R, \forall t\epsilon T, \forall s\epsilon S \qquad (۲۷)$$

$$d^{s}_{hr} = \sum_{k\epsilon K} QBH^{s}_{kht} + \sum_{r\epsilon R} QRH^{s}_{rht} \quad \forall h\epsilon H, \forall t\epsilon T, \forall s\epsilon S \qquad (۲۸)$$

$$IB^{s}_{kt} \leq cb_{k} \quad \forall k\epsilon K, \forall t\epsilon T, \forall s\epsilon S \qquad (۲۹)$$

$$IR^{s}_{rt} \leq cr_{r} \quad \forall r\epsilon R, \forall t\epsilon T, \forall s\epsilon S \qquad (۳۰)$$

$$Y^{s}_{ijt}, U^{s}_{ikt}, AL^{s}_{krt} \epsilon \{0,1\} \quad \forall i\epsilon I, \forall j\epsilon J, \forall k\epsilon K, \forall r\epsilon R, \forall t\epsilon T, \forall s\epsilon S \qquad (۳۱)$$

$$QB^{s}_{ijkt}, QR^{s}_{ijrt}, QBH^{s}_{kht}, QRH^{s}_{rht}, BTR^{s}_{krt}, IB^{s}_{kt}, IR^{s}_{rt}, OQ^{s}_{ikt} \geq 0 \quad \forall i\epsilon I, \forall j\epsilon J, \forall k\epsilon K, \forall r\epsilon R, \forall t\epsilon T, \forall s\epsilon S \qquad (۳۲)$$

$$X \text{ Integer} \qquad (۳۳)$$

محدودیت (۱۰) تضمین می‌کند که تعداد مراکز سیار در هر دوره از تعداد امکانات موجود سیار در دوره تجاوز نکند. محدودیت (۱۱) تعیین بیش از یک محل برای استقرار برای مرکز سیار در هر دوره را ناممکن می‌سازد. محدودیت (۱۲) اطمینان می‌دهد که امکانات سیار به محلی حرکت نمی‌کند که قبلاً در آن واقع‌شده باشد. محدودیت (۱۳) تضمین می‌کند که اهداکنندگان تنها می‌توانند به امکانات موجود اختصاص داده شوند. محدودیت (۱۴) ظرفیت تأمین خون توسط هر گروه اهداکننده را بیان می‌کند. محدودیت (۱۵) ظرفیت جمع‌آوری خون در مراکز سیار خون را به ظرفیتشان محدود می‌کند. محدودیت (۱۶) و (۱۷) اطمینان می‌دهد اهداکنندگان خون نمی‌توانند از یک مرکز سیار که به گروه‌های اهداکننده اختصاص داده‌شده منتقل شوند. محدودیت (۱۸) باعث اجتناب از محدودیت‌های (۱۹) و (۲۰) اطمینان می‌دهد که مراکز سیار خون و مراکز محلی انتقال خون تنها اهداکنندگانی را می‌پذیرند که در منطقه خدمت آن‌ها هستند. محدودیت (۲۱) تحمیل می‌کند که هر مرکز محلی خون به یک مرکز منطقه‌ای خون اختصاص داده‌شده است و انتقال و هدایت خون را مسیر تخصیص داده‌شده انجام می‌دهد. محدودیت (۲۲) تضمین می‌کند که خون نمی‌تواند از مرکز محلی خون به یک مرکز منطقه‌ای خون منتقل شود که به آن اختصاص ندارد. محدودیت (۲۳) نشان می‌دهد که یک مرکز محلی خون مجبور به هدایت β درصد از خدمات انتقالی به مراکز انتقال خون منطقه‌ای است. محدودیت‌های (۲۴) و (۲۵) نشان‌دهنده محدودیت موجودی خون در مراکز خون محلی و منطقه‌ای است. محدودیت (۲۶) تضمین می‌کند که تقاضاهای خون در بیمارستان تحت هر سناریو برآورده می‌شود. محدودیت‌های (۲۷) و (۲۸) ظرفیت ذخیره‌سازی خون در مراکز انتقال محلی و منطقه‌ای خون را بیان می‌کند. محدودیت‌های (۲۹) تا (۳۳) نیز محدوده واجد شرایط متغیرهای تصمیم‌گیری را تعریف می‌کند.

۴- الگوریتم‌های فر ابتکاری

در سال‌های اخیر، طبیعت، جامعه و محیط پیرامون ما الهام‌بخش ابداع تعداد زیادی از الگوریتم‌های مؤثر و کارآمد هوشمند بوده است. از سال ۱۹۶۰ تقلید از موجودات زنده برای ساخت الگوریتم‌های قدرتمند برای مسائل بهینه‌سازی رایج شد که این الگوریتم‌ها فن‌های محاسبات تکاملی نام گرفتند هدف از به‌کارگیری این الگوریتم‌ها، بهینه‌سازی[1] یا همان یافتن نقاط کمینه یا بیشینه‌ی یک تابع معین که معمولاً تابع هدف

1- Optimization

[1]نامیده می‌شود است. دستگاه‌ها و مسائل پیچیده دارای فضاهای جست‌وجوی بزرگ و درنتیجه زیاد بودن نقاط بهینه‌ی محلی است. همین امر یافتن جواب بهینه‌ی سراسر را با استفاده از روش‌های کلاسیک بهینه‌سازی دشوار می‌سازد. ازجمله برتری‌های این الگوریتم‌ها در قیاس با الگوریتم‌های کلاسیک، عدم وجود ریاضیات پیچیده، دقیق و درعین‌حال سریع بودن محاسبات، توانایی جست‌وجوی نقاط بهینه در فضاهای بزرگ و گریز از نقاط بهینه‌ی محلی و... هست. الگوریتم ژنتیک از دقیق‌ترین و معروف‌ترین این الگوریتم‌ها هست که در ادامه شرح داده می‌شود.[۱۹]

۴-۱ الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک یک روش آماری برای بهینه‌سازی و جستجو است. اولین بار توسط جان هالند و همکارانش۲ در دانشگاه میشیگان در سال ۱۹۶۵ ارائه شد الگوریتم ژنتیک جزئی از محاسبات تکاملی است که خود قسمتی از هوش مصنوعی می‌باشد. ویژگی‌های خاص این الگوریتم باعث می‌شود که نتوانیم آن را یک جستجوگر تصادفی ساده قلمداد کنیم. درواقع ایده اولیه این روش از نظریه تکاملی داروین۳ الهام گرفته‌شده است و کارکرد آن بر اساس ژنتیک طبیعی استوار می‌باشد.

۴-۲ اصول کلی الگوریتم ژنتیک

ایده‌ی کلی این الگوریتم بر این اساس است که این الگوریتم برای حل یک مسئله مجموعه بسیار بزرگی از راه‌حل‌های ممکن را تولید می‌کند. هر یک از این راه‌حل‌ها با استفاده از یک تابع تناسب[4] مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. آنگاه تعدادی از بهترین راه‌حل‌ها باعث تولید راه‌حل‌های جدیدی می‌شوند که این کار باعث تکامل می‌گردد. بدین ترتیب فضای جستجو در جهتی تکامل پیدا می‌کند که به راه‌حل مطلوب بهتری ازنظر تابع تناسب برسد. در صورت انتخاب صحیح پارامترها، این روش می‌تواند دریافتن نقطه بهینه بسیار مؤثر عمل نماید. با توجه به اینکه مدل ارائه‌شده در این تحقیق دو هدفه می‌باشد بنابراین جهت استفاده از الگوریتم ژنتیک می‌بایست با روش‌های موجود اقدام به ایجاد یک تابع هدف کلی نماییم که در خواص هر دو تابع هدف را دارا باشد در این مقاله، از روش ال-پی متریک[5] برای این منظور استفاده‌شده است سپس در حالت تک هدفه تابع هدف کلی حاصل را با استفاده از الگویتم ژنتیک بهینه‌سازی می‌کنیم یعنی در ابتدا از طریق حل در حالت‌های تک هدفه برای هر یک از توابع هدف به‌صورت جداگانه نقاط بهینه هر یک را یعنی F_1^* و F_2^* را به دست آورده و سپس این مقادیر را در تابع هدف کلی ال-پی متریک به‌صورت رابطه‌ی (۳۴) جایگذاری می‌کنیم میزان p نیز با توجه به فرض مثبت بودن مقدار Z_{lp} در این تحقیق ۲ در نظر گرفته‌شده است.

(۳۴)

$$Min\ Z_{lp} = K_{time}\left(\frac{F_1^*-F_1}{F_1^*}\right)^p + K_{cost}\left(\frac{F_2^*-F_2}{F_2^*}\right)^p$$

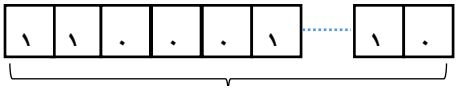
سپس الگوریتم ژنتیک برای تابع هدف کلی Z_{lp} با همان محدودیت‌های موجود برای دو تابع هدف سابق اجرا می‌شود در این حالت باید مطمئن باشیم که جواب‌های به‌دست‌آمده بهینه محلی نباشند لذا مطابق فرآیند نشان داده‌شده در فلوچارت شکل (۳) عمل می‌شود

۴-۳ مراحل بهینه‌سازی با الگوریتم ژنتیک

همان‌طور که اشاره شد اصول پایه‌ای الگوریتم ژنتیک بسیار عمومی است. بنابراین برای مسائل مختلف فاکتورهای مختلف زیادی وجود دارد که باید موردبررسی قرار گیرد. اولین سؤال این است که ایجاد یک کروموزوم چگونه است؟ یا اینکه چه نوعی از کدینگ انتخاب شود؟ دو عملگر بسیار مهم و پایه‌ای الگوریتم ژنتیک عملگرهای تقاطعی وجهشی[6] می‌باشند. در پاسخ به سؤال‌های فوق ساختار شکل کروموزوم‌های مدل جهت حل با الگوریتم ژنتیک را بررسی خواهیم کرد در این مدل با توجه به وجود تعدادی امکانات سیار که می‌بایست در مکان‌های کاندید شده استقرار داده شوند ساختار کروموزوم به حالت باینری می‌باشد که یک به معنی استقرار واحد سیار در آن مکان و صفر به معنی عدم تخصیص واحد سیار به مکان موردنظر است بنابراین طول هر کروموزوم به تعداد مکان‌های کاندید شده جهت استقرار خواهد بود که این مورد در شکل (۲) نشان داده‌شده است سؤال بعدی این است که برای ترکیب والدین به‌منظور ایجاد فرزندان جدید چگونه والدین را انتخاب کنیم. این کار به طرق مختلف می‌تواند صورت بگیرد، اما ایده اصلی در تمامی آن‌ها این است که والدین بهتر انتخاب شوند،

1-Objective Function
2 -Johnn Holand and others
3 -Darwin
4 -Fitness function
5 -Lp-Metric
6 -Cross over & Mutation

به این امید که والدین بهتر باعث ایجاد فرزندان بهتر شوند.[۲۰]

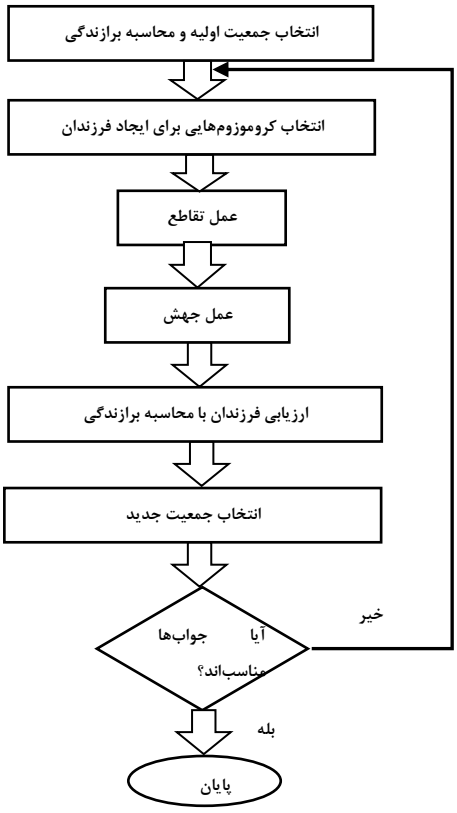


تعداد ژن‌ها به تعداد مکان‌های کاندید برای استقرار

شکل (۲)-ساختار کروموزم مدل زنجیره

مسئله‌ای که ممکن است در اینجا مورد سؤال باشد این است که اگر جمعیت جدید تنها از طریق فرزندان جدید ایجاد شود، این فرایند منجر به حذف بهترین کروموزوم‌های نسل قبل می‌گردد. برای جلوگیری از این پیشامد، همیشه بهترین جواب نسل قبل را بدون هیچ تغییری به نسل جدید منتقل می‌کنیم. فرآیند عملکرد و مراحل مختلف الگوریتم ژنتیک طراحی‌شده برای مدل مسئله در فلوچارت شکل (۳) نشان داده‌شده است لازم به ذکر است با توجه به کدینگ باینری هر کروموزوم روش شکست یک نقطه احتمالی در کروموزوم برای عملگر تقاطع در این مدل برای حل مسئله با الگوریتم پیش‌بینی‌شده است.

شکل (۳): فلوچارت الگوریتم ژنتیک



۵- مثال موردی: زنجیره‌ی تأمین خون در شهر زنجان

در ادامه برای بررسی مدل ارائه‌شده از یک مثال موردی استفاده‌شده است تا کارکرد مدل تحقیق بر روی آن موردبررسی و تحقیق قرار گیرد لازم به ذکر است برای استخراج اطلاعات شهر زنجان به آخرین نقشه‌های موجود در سازمان مسکن و شهرسازی شهرستان زنجان استناد شده است.

۵-۱ موقعیت شهر زنجان از بعد مدل‌سازی زنجیره‌ی تأمین خون

شکل (۴) نقشه‌ی شهر زنجان به همراه محل مراکز درمانی را نشان می‌دهد. در تحلیل مسئله این نقاط به همراه فواصل آن‌ها در نظر گرفته می‌شوند. مسئله‌ی اصلی یافتن محل احداث مرکز سیار خون‌رسانی از میان ۳۶ محل کاندید شده است و فرض بر این است که بودجه و امکانات لازم برای استقرار ۸ مرکز سیار خون وجود دارد و به ترتیب اولویت مکان‌هایی که کمترین هزینه و زمان را داشته باشند طبق خروجی مدل و با در نظر گرفتن قیدهای یادشده به مکان‌ها تخصیص داده خواهند شد

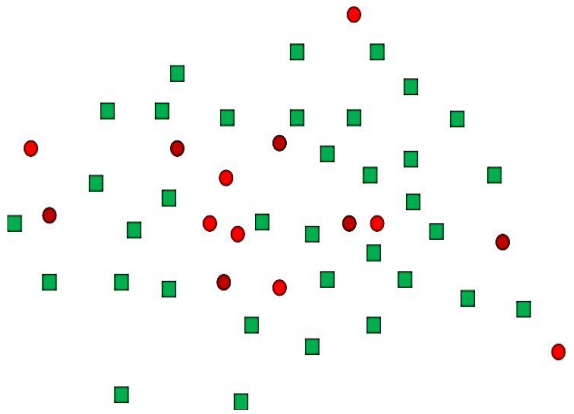
شکل(۴): موقعیت بیمارستان‌های شهر زنجان (h) - دایره‌های قرمز محل بیمارستان‌ها را نشان می‌دهند

شکل (۵) نیز مراکز محلی و مراکز سیار را بر روی نقشه شهر زنجان نشان می‌دهد.

شکل (۵): مراکز محلی و سیار خون –نقاط قرمز مراکز محلی (k) و نقاط آبی مراکز سیار (r) را نشان می‌دهند.

لازم به ذکر است علاوه بر مراکز درمانی، نقاط پرحادثه‌ی شهر نیز در شکل (۶) مشخص گردیده‌اند. این نقاط طبق بررسی‌های صورت گرفته بیشترین احتمال و سابقه‌ی بروز تصادفات را دارا می‌باشند. لذا در شرایطی انتقال بیمار به مراکز درمانی مقدور نبوده و عمل خون‌رسانی باید در همان محل صورت گیرد. لذا مراکز درمانی و این نقاط خاص بایستی به‌عنوان نقاطی در نظر گرفته شوند که در خون‌رسانی بایستی در نظر گرفته شوند.

شکل (۶): موقعیت نقاط پرحادثه شهر زنجان سناریوها ((s– نقاط پررنگ مناطق پرحادثه را نشان می‌دهد



شکل (۷): محل بیمارستان‌ها، مناطق پرحادثه و مکان‌های نامزد برای احداث مراکز سیار انتقال خون (i) –دایره قرمز: بیمارستان‌ها –دایره زرشکی: نقاط پرحادثه –مربع سبز: مکان‌های کاندید برای احداث مراکز انتقال خون

لازم به ذکر است احتمال هر سناریو از فراوانی نسبی حوادث روی‌داده در واحد زمان در آن نقطه به‌دست‌آمده و در مدل وارد می‌شوند همچنین اطلاعات به‌دست‌آمده از شکل‌های (۵و۶) در شکل (۷) ساده‌سازی شده و همچنین نقاط کاندید اولیه برای احداث مراکز سیار خون نیز مشخص‌شده‌اند. البته مختصات این نقاط برحسب مختصات سیستم ماهواره‌ای ثبت‌شده است و در این سیستم نقطه گوشه جنوب غربی نقشه به‌عنوان مبدأ مختصات یا نقطه الگو[1] ثبت‌شده و مختصات مابقی نقاط برحسب آن نقطه الگو محاسبه و در سیستم واردشده و شماره‌گذاری می‌شوند در ادامه هدف این است که از بین نقاط کاندید شده تعداد مشخصی به نحوی انتخاب شوند که بهترین پوشش خون‌رسانی با توجه به حجم تقاضا و فواصل پوششی انجام شود یا به عبارتی مشخص شود که کدام منطقه به کدام مرکز خون متصل گردد. البته قیدهای ذکرشده در بخش قبل نیز بایستی مدنظر قرار گیرند. بنابراین نیاز به محاسبه‌ی فواصل پوششی بین نقاط داریم. برای محاسبه‌ی این فواصل چند رویکرد می‌تواند در نظر گرفته شود. این رویکردها با عنوان نرم‌های مختلف طبق رابطه‌ی زیر قابل‌محاسبه هستند یعنی rc یا همان فاصله پوششی امکانات از رابطه (۳۵) محاسبه می‌شود:

$$||x||_p = \sqrt[p]{\sum_{i=1}^{n} |x_i|^p} \quad (۳۵)$$

با قرار دادن عدد ۱ به‌جای p، به رابطه‌ی زیر (۳۶) می‌رسیم:

1-Bench Mark Point

(۳۶)

$$||x||_1 = |x_1| + |x_2| + \cdots + |x_n|$$

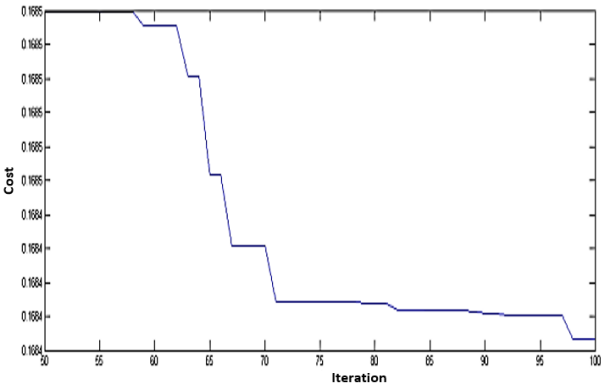
رابطه‌ی (۳۶) به فاصله‌ی بلوک شهری معروف هست.

درصورتی‌که p برابر با ۲ باشد، فاصله‌ی اقلیدسی یا همان فاصله‌ی مستقیم بین نقاط مطابق رابطه‌ی (۳۷) زیر به دست می‌آید.

(۳۷)

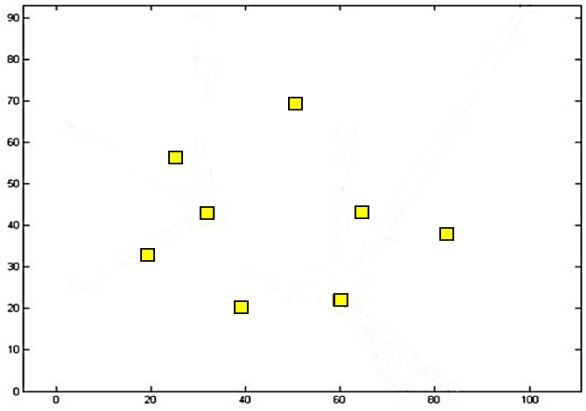
$$||x||_2 = \sqrt{x_1^2 + \cdots x_n^2}$$

ازآنجایی‌که مطالعات ما در سطح شهر هست، نرم ۱ یعنی p=1 در رابطه (۳۵) بهترین کاربرد را در مسئله‌ی موردبررسی ما خواهد داشت از این روش محاسبه فواصل پوششی در مدل‌سازی مسئله استفاده می‌کنیم و برای حل مسئله توسط الگوریتم ژنتیک، تابع هدف طبق آنچه در پیش ذکر شد در نظر گرفته می‌شود. عملکرد الگوریتم ژنتیک تا حد زیادی وابسته به انتخاب مناسب سطوح پارامترهای تنظیمی آن است. پارامترهای الگوریتم ژنتیک به‌صورت استاندارد مقالات در نظر گرفته‌شده و به‌وسیله‌ی آزمون و تنظیم پارامترها درنهایت به‌صورت جمعیت اولیه برابر ۱۰۰ و تعداد نسل‌ها برابر ۱۰۰ همین‌طور درصد تقاطع و درصد جهش نیز به ترتیب ۰.۰۶ و ۰.۰۳ و شرط توقف تفاضل ۰.۰۰۰۱ بین مقدار تابع ارزیابی دو جواب متوالی در نظر گرفته می‌شود پس از اجرای الگوریتم نحوه‌ی کمینه شدن تابع هدف به‌صورت شکل (۸) هست.



شکل (۸): کمینه شدن تابع هدف توسط الگوریتم ژنتیک

با توجه به اطلاعات اولیه و در نظر گرفتن هزینه‌ها برای پارامترهای ذکرشده در فصل قبل، نتیجه مربوط به تعداد و مکان‌های مربوط به مراکز سیار به‌دست‌آمده توسط حل مسئله توسط الگوریتم ژنتیک به‌صورت شکل (۹) مشخص می‌شود:



شکل (۹): محل قرارگیری مراکز سیار در نقشه بر اساس مختصات

همان‌طور که دیده می‌شود با توجه به محل بیمارستان‌ها و نقاط حادثه‌خیز و هزینه احداث مراکز سیار، تعداد ۲ مرکز از بین مراکز کاندید انتخاب‌شده. درصورتی‌که موقعیت مراکز سیار را بر روی نقشه تطبیق دهیم، به‌صورت شکل ۱۰ خواهد بود:

شکل (۱۰): مربع‌ها موقعیت مراکز سیار بر روی نقشه

با در نظر گرفتن ضریب اهمیت k می‌توان برای هزینه و زمان کل نتایج مختلف برحسب میزان اهمیت هریک برحسب وزن kرا به دست آورد. نتایج عددی حاصل از بهینه‌سازی با مقادیر مخالف k زمان و k هزینه مطابق جدول ۱ است.

جدول ۱: نتایج عددی حاصل از بهینه‌سازی

ردیف	وزن هزینه K_{cost}	وزن زمان K_{time}	زمان کل	هزینه کل
۱	۰.۹	۰.۱	۲۳	۳
۲	۰.۸	۰.۲	۲۰	۵
۳	۰.۷	۰.۳	۱۹	۸
۴	۰.۶	۰.۴	۱۵	۹
۵	۰.۵	۰.۵	۱۲	۱۳
۶	۰.۴	۰.۶	۷	۱۵
۷	۰.۳	۰.۷	۵	۱۶
۸	۰.۲	۰.۸	۵	۲۰
۹	۰.۱	۰.۹	۴	۲۱

باید در نظر گرفته شود که مقادیر زمان و هزینه کل در جدول ۱ نسبی بوده و بر واحد زمان یا قیمت نیستند. بلکه جهت مقایسه و رؤیت عملکرد مدل و سیستم زنجیره تأمین خون‌رسانی به کار می‌روند.

۶- نتیجه‌گیری

امروزه بلایای طبیعی ازنظر تعداد و شدت افزایش‌یافته است و مدیریت عوامل انسانی مستقیم دخیل در آن برجسته‌تر از قبل است. گزارش‌ها تاریخی نیز هرساله یک جریان پیوسته از حوادث انسانی را ثبت می‌کنند که باعث مرگ هزاران نفر و آسیب‌های جدی در اثر کمبود سیستم‌های مدیریت بهداشتی یا سوء مدیریت آن‌ها شده است. همین‌طور بر اساس تحقیقات ثابت‌شده است تأمین فوری خون و فرآورده‌های خونی در زمان بروز حوادث و اتفاقات یک چالش ضروری تلقی می‌شود ازاین‌رو در این شرایط هدف اول به حداقل رساندن هزینه‌های کلی زنجیره تأمین (عامل بهره‌وری) و هدف دوم به حداقل رساندن زمان تحویل خون (اثربخشی عامل) است که با تحقیق حاضر برای فرآیند تأمین خون و بهینه‌سازی آن ارائه‌شده و با بهینه‌سازی مدل سعی در افزایش قابلیت‌های سیستم و زنجیره خون‌رسانی شده است نتایج عددی به‌دست‌آمده از حل مدل مذکور دیدگاه‌هایی را بیان می‌دارد که به‌اختصار به آن‌ها اشاره می‌شود:

(۱) رویکرد پیشنهادشده قادر به پیدا کردن راه‌حل باکیفیت برای مسائلی با اندازه‌های مختلف در زمان‌های اجرا مختلف در مکان‌های مختلف و قابل تسری به جغرافیای مختلف است.

(۲) صرف‌نظر از اندازه و پیچیدگی مسئله رویکرد برنامه‌ریزی تصادفی بهتر از یک رویکرد با مقدار مورد انتظار با امید ریاضی قابل مدل‌سازی و ارائه راه‌حل است

(۳) با توجه به یافته‌های مسئله مشخص شد که رابطه بین هزینه و زمان تحویل در زنجیره تأمین خون‌رسانی متناسب با اندازه زنجیره و سطوح و امکانات درگیر در آن است

(۴) تنظیمات با نرخ ارجاع (روندی که در آن خدمات انتقال خون به مراکز منطقه‌ای هدایت می‌شود β) و ظرفیت امکانات خون می‌تواند به‌منظور بهبود هزینه زنجیره تأمین و عملکرد زمان تحویل مورداستفاده قرار گیرد.

(۵) روش مدل‌سازی و راه‌حل پیشنهادی مدل این مقاله می‌تواند برای تجزیه‌وتحلیل هزینه –فایده مورداستفاده واقع شود تا مناطق و عملیات که در آن سرمایه‌گذاری را می‌توان برای بهبود کارایی زنجیره تأمین و اثربخشی انجام داد شناسایی شوند

مراحل انجام‌گرفته در مدل‌سازی در این مقاله می‌تواند به الگویی برای تحقیقات بیشتر درزمینه‌ی مدیریت زنجیره تأمین خون تلقی شود و فراخوانی برای افزایش پژوهش درزمینه‌ی بهبود مدیریت عملیات امدادی به‌طور گسترده‌ای شناخته شود. باوجوداین، تحقیقات اندکی در این موضوعات در کشورمان انجام‌گرفته تا نقش دولت و سازمان‌های مردم‌نهاد را نیز در مدل‌سازی برای انجام عملیات خون‌رسانی مشخص سازد و باعث ایجاد صرفه‌جویی و بالا رفتن بهره‌وری در سیستم بهداشتی کشور گردد و در پی آن نیز درد و رنج را برای مردم آسیب‌دیده از بلایا را کاهش دهد همین‌طور در پژوهش‌های آینده می‌توانند با استفاده از مدل و راه‌حل ارائه‌شده در این مقاله به بررسی و مدیریت چالش‌های جدید در زنجیره تأمین خون بپردازند. علاوه بر این، بررسی مدل‌های پیچیده‌تر و تکنیک‌هایی برای تحویل کمک‌های امدادی موردنیاز و تأمین فوری فراورده‌های خونی بلافاصله پس رخداد حوادث نیز جزو موارد مهمی است که پیشنهاد می‌گردد در مقالات آتی موردبررسی قرار گیرند.

۶- منابع و مآخذ

[1]- Bentahar,Omar , "***Traceability project of a blood supply chain***", Supply Chain Forum: An International Journal ,Volume 17, Issue -28, 2017۲۳۱,P

[2]-Whybark, D.C, Melnyk, S.A, Day, J, Davis, E.d "***Disaster Relief Supply Chain Management Management: New Realities Challenges Emerging Opportunities***" Decision Line, Vol 41 Issue 3, P4, 2010

[3]- Gralla, E, Goentzel, J, Fine, C "***Assessing Trade-offs among Multiple Objectives for Humanitarian Aid Delivery Using Expert Preferences***". Production and Operations Management Vol 23,P 978-989. 2015

[4]- Özdamar, L, Demir, O "***A hierarchical clustering and routing procedure for large scale disaster relief logistics planning***" Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review,vol 48, P591-602, 2012

[5]- Vanany, Iwan, Bilqis,Amaliah, **"*Blood Traceability System for Indonesian Blood Supply Chain***", Procedia Manufacturing, Vol 4, Pages 535-542,2015

[6]-Birge, J.R., Louveaux, F., "***Introduction to stochastic programming Optimization models in emergency logistics: A literature review***" Socio-Economic Planning Sciences, Vol 46, P4-13, 2015

[7]- Beliën, J, Forcé, H "***Supply chain management of blood products: A literature review***", European Journal of Operational Research,Vol217,Issue 1,P 1-16, 2016

[8]- Shen, Z.J.M, Coullard, C, Daskin, M.S. "***A Joint Location-Inventory Model***", Transportation Science,Vol 37,P 40-55, 2003

[9]- Daskin, M, Coullard, C, Shen, Z. J.M "**An *Inventory-LocationModel: FormulationSolution Algorithm and* Computational Results**" Annals of Operations Research vol 110, 83- 106, 2012

[10]- Şahin, G., Süral, H., Meral, S. "***Locational analysis for regionalization of Turkish Red Crescent blood services***", Computers & operations research, Vol34, P692-704, 2015

[11]- Beliën, Jeroen, and Hein Forcé. "***Supply chain management of blood products: A literature review***", European Journal of Operational Research, Vol 217, P1-16, 2012

[12]- Hess, J.R., Thomas, M.J., 2013. "***Blood use in war and disaster: lessons from the past century. Transfusion*** " Vol43 (11), P1622–1633, 2016

[13]- Daskin, M.S, Coullard, C, Shen, Z.J.M "***An inventory-location model: formulation, solution algorithm and computational results*****"**. Ann- Oper. Res 110, P83–106, 2012

[14]- Arvan Meysam, Tavakoli-Moghadam Reza, Abdollahi Mohammad, **"*Designing a bi-objective and multi-product supply chain network for the supply of blood*",** Journal in Supply Chain Management,volume 3, issue 1,P 57- 68,2015

[15]- Nagurney, A., Masoumi, A.H., Yu, M. "***Supply chain network operations management of a blood banking system with cost and risk minimization***". CMS 9(2), P205–231, 2012

[16]- Nagurney, A, Masoumi, A.H, "***Supply chain network design of a sustainable blood banking system***",, Springer, London, England, P49–72.4, 2016

[17]- Hemmelmayr, Vera, et al. "***Vendor managed inventory for environments with stochastic product usage***." European Journal of Operational Research Vol 202.3,P 686-695, 2015

[18]- Salehipour, Amir, and Mohammad Mehdi Sepehri, "***Exact and Heuristic Solutions to Minimize Total Waiting Time in the Blood Products Distribution Problem***" Advances in Operations Research, 2015

[19]-Mital,Mandeep,Nagpal,Charushi ***Genetic Model For Supply Chain Inventory ptimization***", International Journal Supply Chain Operations Resilience, Vol. 3, No. 3,P 25, 2018

[20]-Gen,Mitsu and Runwei Cheng, "***Genetic algorithm and engineering optimization***", Wiley & Sons Series,2000