

محاسبه تعداد و مکان بهینه مراکز مختلف جمع آوری خون در استان آذربایجان شرقی بر اساس مدلسازی ریاضی

مهدی یوسفی نژاد عطاری^۱، سید حمیدرضا پسندیده^۲، افسانه آقایی^۳، سید تقی اخوان نیاکی^۴

چکیده

سابقه و هدف

در طراحی زنجیره تامین خون یکی از موضوعات کلیدی، تعیین محل مناسب مراکز جمع آوری خون است تا علاوه بر دسترسی آسان اهداکنندگان و نیز توزیع مناسب خون و فرآورده های خونی به مراکز بیمارستانی، هزینه های جمع آوری خون به حداقل رسانده شود. هدف از تحقیق حاضر، محاسبه تعداد و مکان بهینه مراکز تهیه و فرآوری، ثابت و سیار خونگیری بر مبنای تقاضای مراکز درمانی و هزینه های احداث و عملیاتی این مراکز در استان آذربایجان شرقی بود.

مواد و روش ها

مطالعه انجام شده از نوع مدلسازی ریاضی در جامعه آماری استان آذربایجان شرقی بود. اعداد و ارقام برای هزینه ها و سایر پارامترهای مرتبط در سه دوره زمانی شش ماهه کل سال ۱۳۹۳ و شش ماهه اول سال ۱۳۹۴ مورد استفاده قرار گرفت. مدل ریاضی در نرم افزار گمز پیاده سازی و نتایج مربوطه استخراج شد.

یافته ها

نتایج به دست آمده از نرم افزار گمز نشان می دهد محل مناسب برای احداث مراکز تهیه و فرآوری در استان آذربایجان شرقی، شهرهای مراغه و میانه و برای مراکز ثابت جمع آوری خون شهرهای تبریز و اهر بوده است. هم چنین تخصیص تیم های سیار برای شهرهای مرند، تبریز، عجب شیر، بناب، ملکان، مراغه و هشتروند می تواند باعث کاهش هزینه جابه جایی ها گردد.

نتیجه گیری

تعیین تعداد و مکان مناسب مراکز تهیه و فرآوری، ثابت و سیار برای شهرهای آذربایجان شرقی باعث کاهش هزینه های جمع آوری خون می گردد. بنابراین توصیه می شود در برنامه ریزی های آتی و در تغییرات در جهت افزایش و یا کاهش مراکز مختلف خونگیری در کلیه استان های کشور، مدلسازی ریاضی نیز همراه با سایر ملاحظات در نظر گرفته شود.

کلمات کلیدی: انتقال خون، تامین خون، ایران

تاریخ دریافت: ۹۵/۷/۵

تاریخ پذیرش: ۹۵/۱۰/۷

۱- دانشجوی دکترای مهندسی صنایع - دانشکده مهندسی صنایع و مکانیک دانشگاه آزاد اسلامی واحد قزوین - قزوین - ایران

۲- دکترای مهندسی صنایع - استادیار دانشکده مهندسی صنایع و مکانیک دانشگاه آزاد اسلامی واحد قزوین - قزوین - ایران

۳- مؤلف مسئول: PhD ایمونولوژی - استادیار مرکز تحقیقات انتقال خون - مؤسسه عالی آموزشی و پژوهشی طب انتقال خون - تهران - ایران - صندوق پستی: ۱۱۵۷-۱۴۶۶۵

۴- دکترای مهندسی صنایع - استاد دانشگاه صنعتی شریف - تهران - ایران

مقدمه

زنجیره تامین خون عمدتاً از مراحل متعددی نظیر جمع‌آوری، فرآوری، نگهداری و توزیع تشکیل شده است. سازمان‌های انتقال خون در دنیا با دو چالش اساسی تامین نیاز مراکز درمانی به خون و فرآورده‌های آن از یک طرف و هزینه‌های جمع‌آوری و عملیاتی از طرف دیگر مواجه هستند (۱).

از نظر اقتصادی، تهیه خون و فرآورده‌های خونی قیمت بالایی دارد و به همین دلیل، خون و فرآورده‌های خونی در رده خدمات درمان دارای بالاترین قیمت‌ها می‌باشند. این هزینه‌ها شامل خونگیری از اهداکنندگان سالم و کم‌خطر، انجام آزمایش‌های غربالگری و گروه‌بندی، فرآوری و تهیه فرآورده‌های خونی از خون کامل، ذخیره‌سازی و حمل و نقل است (۱، ۲).

سازمان انتقال خون ایران (IBTO/ Iranian Blood Transfusion Organization) تنها ساختار معتبر ملی در ایران است که مسئولیت هدایت و کنترل زنجیره تامین خون از ابتدا تا انتها یعنی جمع‌آوری خون از اهداکنندگان داوطلب تا توزیع به مراکز ذینفع را بر عهده دارد (۳). کلیه فعالیت‌ها مانند خونگیری از اهداکنندگان داوطلب، پردازش، ذخیره و توزیع خون و فرآورده‌های خونی به بیمارستان‌ها به عنوان مراکز مصرف‌کننده خون، تحت یک سیستم متمرکز در IBTO انجام می‌گیرد (۴، ۵).

در ایران، خون و فرآورده‌های خونی در ۹۰ مرکز انتقال خون و یا مرکز تهیه و فرآوری از ۲۲۰ مرکز خونگیری، جمع‌آوری، پردازش، ذخیره و به بیمارستان‌ها توزیع می‌شود (۶، ۷).

در تعاریف IBTO، پایگاه و یا مرکز انتقال خون (BTC/ Blood Transfusion Center)، محلی است که در آن کلیه فعالیت‌های مربوط به انتخاب اهداکننده، جمع‌آوری خون و فرآورده‌های آن شامل خون کامل و یا آفرزيس، آزمایش‌ها، عفونت‌های قابل انتقال از طریق خون و فرآورده‌ها، آزمایش‌های تعیین گروه‌های خون، تولید فرآورده‌های خون، ذخیره و در نهایت توزیع به بانک خون بیمارستان برای کاربردهای بالینی و یا توزیع به مراکزی که با خدمات بالینی در ارتباط هستند، صورت می‌گیرد. هم چنین مرکز

تهیه و فرآوری خون (BCPC/ Blood Collection and Processing Center) به مرکزی اطلاق می‌گردد که علاوه بر خونگیری و یا انجام عملیات آفرزيس، تولید فرآورده و نیز پخش آن را نیز بر عهده داشته باشد. در این مراکز نمونه‌های اهداکنندگان برای انجام آزمایش‌های غربالگری و بررسی به پایگاه‌های انتقال خون ارسال می‌شود. در این میان مرکز ثابت خونگیری (BCC/ Blood Collection Center) صرفاً تجهیزات خونگیری دارد و می‌تواند اقدام به خونگیری و یا آفرزيس نماید. در این مراکز پس از خونگیری، کیسه‌های خون و نمونه‌های اهداکنندگان برای انجام آزمایش‌های غربالگری و تعیین گروه خون با رعایت استانداردهای سازمان انتقال خون به BCPC و یا BTC همان استان ارسال می‌شود. تیم سیار خونگیری (MT/ Mobile Team) گروهی متشکل از کارمندان سازمان انتقال خون می‌باشد که با تجهیزات خونگیری در مکان‌های از پیش تعیین شده مستقر شده و اقدام به جمع‌آوری خون از اهداکنندگان داوطلب می‌نمایند.

با توجه به روند ذکر شده، تعیین مکان مناسب برای استقرار مراکز تهیه و فرآوری خون، مراکز ثابت خونگیری و مراکز سیار در کاهش هزینه‌های جمع‌آوری خون تاثیر به سزایی دارد و عمده مقالاتی که در زمینه زنجیره تامین خون به چاپ رسیده‌اند، تاکید فراوانی بر تعیین مکان بهینه مراکز جمع‌آوری خون دارند (۸-۱۲). بدین منظور در یکی از استان‌های شمالی کشور، آذربایجان شرقی، این مدل‌سازی ریاضی انجام گرفت که می‌تواند نقش مهمی در برنامه‌ریزی‌های آتی در جهت تغییرات افزایشی و یا کاهشی مراکز با رویکرد کاهش هزینه‌های جمع‌آوری و عملیاتی ایفا نماید. در حال حاضر در استان آذربایجان شرقی یک پایگاه انتقال خون در شهر تبریز و دو مرکز تهیه و فرآوری در شهرهای مراغه و میانه وظیفه جمع‌آوری، فرآوری و نگهداری و توزیع خون در استان آذربایجان شرقی را بر عهده دارند.

در این مقاله با مطالعه سیستم جمع‌آوری خون استان آذربایجان شرقی و با توجه به جمعیت شهرهای استان و میزان خون مصرف شده در بازه زمانی مورد مطالعه، تعداد مکان‌های مناسب برای مراکز تهیه و فرآوری خون، مراکز

ثابت خونگیری و مراکز سیار بر اساس مدل سازی ریاضی تعیین گردید.

مواد و روش ها

برای تعیین مکان مناسب مراکز جمع آوری خون در مطالعه ها، روش های مختلفی پیشنهاد شده است، اما غالب این روش ها تاکید به استفاده از مدل سازی ریاضی دارند (۱۳-۱۵). بنابراین در مطالعه حاضر به منظور محاسبه تعداد و مکان بهینه مراکز تهیه و فرآوری، ثابت و سیار جمع آوری خون در استان آذربایجان شرقی با پیش فرض وجود مرکز استانی انتقال خون استان آذربایجان شرقی در شهر تبریز و بر اساس مدل سازی ریاضی، ابتدا پارامترها (Parameters) و متغیرهای تصمیم (Decision Variables) مانند هر مدل ریاضی تعریف گردید. پارامترها مقادیری هستند که از محل مطالعه گردآوری شده و معلوم هستند در حالی که متغیرهای تصمیم مقادیری هستند که از حل مدل به دست می آیند و پاسخ سؤالات تحقیق هستند. این پارامترها به صورت اندیس (i) برای افراد اهداکننده، اندیس (j) برای مکان های پیشنهادی مراکز سیار، اندیس (k) برای مکان های انتخاب مراکز ثابت خونگیری، اندیس (l) برای مکان های پیشنهادی مراکز تهیه و فرآوری خون و اندیس (t) برای نشان دادن بازه مختلف زمانی در نظر گرفته شده است. هزینه ها بر اساس مقاله محاسبه هزینه توسط داودی و همکاران و با احتساب هزینه های جاری، هزینه تجهیزات سرمایه ای، هزینه تجهیزات سرمایه ای سرباری، هزینه تجهیزات مصرفی، هزینه تجهیزات مصرفی سرباری، هزینه استهلاک ساختمان، هزینه استهلاک خودرو و هزینه های سرباری متفرقه و همچنین با در نظر گرفتن نرخ تورم در سال های ۱۳۸۸ لغایت ۱۳۹۳ و هم چنین مقاله قره باغیان و همکاران محاسبه گردید (۱۶، ۱۷). برای محاسبات مدل سازی از نرم افزار گمز (GAMZ) نسخه ۲۴/۱ استفاده شد.

پارامترها:

$Cl1_j$: هزینه استفاده از تیم سیاری j

$Cl2_k$: هزینه احداث مرکز ثابت خونگیری k

$Cl3_l$: هزینه احداث مرکز تهیه و فرآوری l
 $O1_{jt}$: هزینه عملیاتی تیم سیار j در بازه زمانی t
 $O2_{kt}$: هزینه عملیاتی مرکز ثابت k در بازه زمانی t
 $O3_{lt}$: هزینه عملیاتی مرکز تهیه و فرآوری l در بازه زمانی t
 $O4_t$: هزینه عملیاتی مرکز انتقال خون در بازه زمانی t
 $D1_{jl}$: هزینه جابه جایی بین تیم سیار j و مرکز تهیه و فرآوری l
 $D2_{kl}$: هزینه جابه جایی بین مرکز ثابت خونگیری k و مرکز تهیه و فرآوری l
 $D3_j$: هزینه جابه جایی بین تیم سیار j و مرکز انتقال خون
 $D4_k$: هزینه جابه جایی بین مرکز ثابت خونگیری k و مرکز انتقال خون
 Bd_{it} : مقدار خون اهدائی گروه اهداکنندگان i در بازه زمانی t
 Td_t : کل تقاضای مراکز درمانی در بازه زمانی t
 M : یک عدد بسیار بزرگ

متغیرهای تصمیم:

$X1_{jt}$: یک متغیر صفر و یک است که اگر در بازه t تیم سیار در محل j مستقر شود، مقدار آن یک و در غیر این صورت صفر است.
 $X2_k$: یک متغیر صفر و یک است که اگر مرکز ثابت خونگیری در محل k احداث شود، مقدار آن یک و در غیر این صورت صفر است.
 $X3_l$: یک متغیر صفر و یک است که اگر مرکز تهیه و فرآوری در محل l احداث شود، مقدار آن یک و در غیر این صورت صفر است.
 $B1_{ijt}$: مقدار خون اهدایی گروه اهداکنندگان i که در بازه t به تیم سیار j مراجعه می کنند.
 $B2_{ikt}$: مقدار خون اهدایی گروه اهداکنندگان i که در بازه t به مرکز ثابت خونگیری k مراجعه می کنند.
 $B3_{ilt}$: مقدار خون اهدایی گروه اهداکنندگان i که در بازه t به مرکز تهیه و فرآوری l مراجعه می کنند.
 $B4_{it}$: مقدار خون اهدایی گروه اهداکنندگان i که در بازه t به مرکز انتقال خون مراجعه می کنند.
 $B5_{jlt}$: مقدار خونی که تیم سیار j در بازه t پس از

تابع هدف: مقدار تابع هدف (Z)، که شامل مجموع هزینه‌های احداث مراکز ثابت و مراکز تهیه و فرآوری (سه عبارت اول)، هزینه‌های عملیاتی (چهار عبارت بعدی) و هزینه جابه‌جایی بین مراکز (چهار عبارت آخر) است، حداقل (Min) می‌گردد:

$$\begin{aligned} \text{Min } Z = & \sum_j C1_j X1_j + \sum_k C2_k X2_k + \sum_l C3_l X3_l \\ & + \sum_{i,j,t} O1_{jt} B1_{ijt} + \sum_{i,j,t} O2_{kt} B2_{ikt} \\ & + \sum_{i,l,t} O3_{lt} B3_{ilt} + \sum_{i,t} O4_t B4_{it} \\ & + \sum_{j,l} D1_{jl} Y5_{jl} + \sum_{j,l} D2_{kl} Y6_{kl} \\ & + \sum_j D3_j Y7_j + \sum_k D4_k Y8_k \end{aligned}$$

محدودیت‌ها:

محدودیت ۱: این محدودیت بیان می‌دارد که گروه اهداکنندگان i جهت اهدای خون به یکی از تیم‌های سیار، مرکز ثابت خونگیری، مرکز تهیه و فرآوری و یا مرکز انتقال خون مراجعه می‌کنند:

$$\sum_j Y1_{ij} + \sum_k Y2_{ik} + \sum_l Y3_{il} + Y4_i \leq 1 \quad \forall i$$

محدودیت ۲: این محدودیت نشان می‌دهد که یک تیم سیار زمانی می‌تواند خون‌های اهدایی را جمع‌آوری کند که در آن محل مستقر شده باشد:

$$B1_{ijt} \leq M \cdot X1_{jt} \quad \forall i, j, t$$

محدودیت ۳: این محدودیت نشان می‌دهد که یک مرکز ثابت خونگیری زمانی می‌تواند خون‌های اهدایی را جمع‌آوری کند که در آن محل احداث شده باشد:

$$B2_{ikt} \leq M \cdot X2_k \quad \forall i, k, t$$

محدودیت ۴: این محدودیت نشان می‌دهد که یک مرکز تهیه و فرآوری زمانی می‌تواند خون‌های اهدایی را جمع‌آوری کند که در آن محل احداث شده باشد:

$$B3_{ilt} \leq M \cdot X3_l \quad \forall i, l, t$$

جمع‌آوری به مرکز تهیه و فرآوری ۱ تحویل می‌دهد.

$B6_{klt}$: مقدار خونی که مرکز ثابت خونگیری k در بازه t پس از جمع‌آوری به مرکز تهیه و فرآوری ۱ تحویل می‌دهد.

$B7_{jt}$: مقدار خونی که تیم سیار j در بازه t پس از جمع‌آوری به مرکز انتقال خون تحویل می‌دهد.

$B8_{kt}$: مقدار خونی که مرکز ثابت خونگیری k در بازه t پس از جمع‌آوری به مرکز انتقال خون تحویل می‌دهد.

$Y1_{ij}$: یک متغیر صفر و یک است که اگر گروه اهداکنندگان i به تیم سیار j مراجعه کند مقدار آن یک و در غیر این صورت صفر است.

$Y2_{ik}$: یک متغیر صفر و یک است که اگر گروه اهداکنندگان i به مرکز ثابت خونگیری k مراجعه کند مقدار آن یک و در غیر این صورت صفر است.

$Y3_{il}$: یک متغیر صفر و یک است که اگر گروه اهداکنندگان i به مرکز تهیه و فرآوری ۱ مراجعه کند مقدار آن یک و در غیر این صورت صفر است.

$Y4_i$: یک متغیر صفر و یک است که اگر گروه اهداکنندگان i به مرکز انتقال خون مراجعه کند مقدار آن یک و در غیر این صورت صفر است.

$Y5_{jl}$: یک متغیر صفر و یک است که اگر تیم سیار j جهت تحویل خون‌های جمع‌آوری شده به مرکز تهیه و فرآوری ۱ مراجعه کند مقدار آن یک و در غیر این صورت صفر است.

$Y6_{kl}$: یک متغیر صفر و یک است که اگر مرکز ثابت خونگیری k جهت تحویل خون‌های جمع‌آوری شده به مرکز تهیه و فرآوری ۱ مراجعه کند مقدار آن یک و در غیر این صورت صفر است.

$Y7_j$: یک متغیر صفر و یک است که اگر تیم سیار j جهت تحویل خون‌های جمع‌آوری شده به مرکز انتقال خون مراجعه کند مقدار آن یک و در غیر این صورت صفر است.

$Y8_k$: یک متغیر صفر و یک است که اگر مرکز ثابت خونگیری k جهت تحویل خون‌های جمع‌آوری شده به مرکز انتقال خون مراجعه کند مقدار آن یک و در غیر این صورت صفر است.

مطالعه‌های میدانی بر اساس پارامترهای تعریف شده بر روی استان آذربایجان شرقی انجام شد و تعداد و محل مراکز جمع‌آوری خون در شهرهای مختلف با توجه به ترکیب جمعیتی این شهرها از طریق محاسبات تعیین گردید. لذا به ازای هر ۱۰ هزار نفر، یک گروه اهدا کننده در نظر گرفته شد ($i=457$).

کل تعداد مراکز پیشنهادی تیم‌های سیاری ($j=35$)، مراکز ثابت خونگیری ($k=16$) و مراکز تهیه و فرآوری ($l=5$) در جدول آورده شده است و سپس از طریق مدل‌سازی تعداد و مکان بهینه از بین آن‌ها و از طریق محاسبه تعیین گردیده است (جدول ۱).

در ضمن در این مدل تبریز به عنوان مرکز استان که مرکز انتقال خون در این شهر مستقر شده، در محاسبات به صورت ثابت در نظر گرفته شده است.

محدودیت ۵: بیان می‌دارد در هر بازه زمانی مجموع خون‌های اهدا شده توسط گروه‌های مختلف اهداکنندگان در مراکز مختلف باید کوچکتر یا مساوی جمع‌آوری شده توسط گروه‌های مختلف اهدا کنندگان (Bd_{it}) باشد:

$$\sum_{i,j} B1_{ijt} + \sum_{i,k} B2_{ikt} + \sum_{i,l} B3_{ilt} + \sum_i B4_{it} \leq \sum_i Bd_{it} \quad \forall t$$

محدودیت ۶: نشان می‌دهد کل خون‌های جمع‌آوری شده در مراکز تهیه و فرآوری و مرکز انتقال خون باید از کل تقاضای مراکز درمانی در هر بازه زمانی (Td_t) بیشتر یا مساوی باشد:

$$\sum_{i,l} B3_{ilt} + \sum_{j,l} B5_{jlt} + \sum_{k,l} B6_{klt} + \sum_i B4_{it} + \sum_j B7_{jt} + \sum_k B8_{kt} \geq Td_t \quad \forall t$$

پس از تهیه مدل ریاضی توضیح داده شده در بالا،

جدول ۱: تعداد مراکز پیشنهادی جمع‌آوری خون در شهرهای آذربایجان شرقی

نام شهر	جمعیت کنونی (هزار نفر)	تعداد گروه‌های اهداکننده پیشنهادی	تعداد تیم‌های سیار پیشنهاد شده	تعداد مراکز ثابت خونگیری پیشنهاد شده	تعداد مراکز تهیه و فرآوری پیشنهاد شده
مرند	۲۴۰	۲۴	۲ (j_1, j_2)	۱ (k_1)	۱ (l_1)
جلفا	۵۵	۶	-	.	.
ورزقان	۴۹	۵	۱ (J_3)	.	.
خداآفرین	۳۴	۴	-	.	.
کلبر	۹۲	۱۰	۱ (J_4)	.	.
هوراند	۴	۱	۱ (J_5)	.	.
اهر	۱۵۵	۱۶	۲ (J_6, J_7)	۱ (k_2)	.
هریس	۷۱	۸	۱ (J_8)	.	.
تبریز	۱۶۵۲	۱۶۶	۲ ($j_9, \dots, j_{16}$)	۴ ($k_3, \dots, k_6$)	۲ (l_2, l_3)
شیراز	۱۲۷	۱۳	۲ (j_{17}, j_{18})	۱ (k_7)	.
اسکو	۷۷	۷۸	۱ (J_{19})	.	.
آذرشهر	۱۰۴	۱۱	۲ (j_{20}, j_{21})	۱ (k_8)	.
عجب شیر	۸۶	۹	۱ (J_{22})	.	.
بناب	۱۳۲	۱۴	۲ (j_{23}, j_{24})	۱ (k_9)	.
ملکان	۱۰۵	۱۱	۲ (j_{25}, j_{26})	۱ (k_{10})	.
مراغه	۲۴۵	۲۵	۲ (j_{27}, j_{28})	۲ (k_{11}, k_{12})	۱ (l_4)
هشترود	۶۸	۷	۱ (J_{29})	.	.
بستان آباد	۱۰۱	۱۱	۱ (J_{30})	۱ (k_{13})	.
سراب	۱۳۸	۱۴	۲ (j_{31}, j_{32})	۱ (k_{14})	.
میانه	۲۰۰	۲۰	۲ (j_{33}, j_{34})	۲ (k_{15}, k_{16})	۱ (l_5)
چاراولیماق	۳۶	۴	۱ (J_{35})	.	.

شماره	مرند	چلفا	ورزقان	خداآفرین	کلپیر	هوراند	اهر	هریس	تبریز	اسکو	آذرشهر	باب	ملکان	مراغه	هشتگرد	بستانآباد	سراب	میانه	چاراولیمقان
۲۳۸	۷۳	۰	۱۷۱	۲۸۶	۲۵۷	۲۵۷	۱۹۰	۱۸۴	۷۴	۶۶	۱۱۴	۱۷۶	۲۲۷	۲۲۱	۱۸۰	۱۱۲	۲۱۴	۲۵۲	۲۳۳
۲۹۹	۷۳	۰	۱۲۶	۳۵۳	۲۳۵	۲۲۹	۱۸۲	۲۵۶	۱۴۶	۱۳۸	۱۸۶	۲۴۹	۲۹۹	۲۹۴	۲۷۹	۲۱۱	۲۸۶	۳۳۴	۲۹۹
۲۱۶	۱۷۱	۱۲۶	۰	۱۵۳	۱۲۴	۱۰۷	۵۶	۱۱۶	۱۱۰	۱۶۵	۱۵۰	۱۵۲	۲۰۰	۲۴۴	۱۹۰	۱۲۲	۱۹۷	۲۳۵	۲۱۶
۳۴۶	۲۸۶	۳۵۳	۱۵۳	۰	۴۶	۱۲۴	۱۵۳	۲۱۵	۲۱۹	۲۳۲	۲۵۱	۲۷۶	۳۵۸	۳۸۱	۳۹۸	۲۵۲	۲۸۵	۳۱۳	۳۴۶
۳۰۱	۲۵۷	۲۳۵	۱۲۴	۴۶	۰	۸۸	۶۷	۱۲۵	۱۸۳	۲۵۵	۲۲۳	۲۳۸	۲۸۶	۳۱۰	۳۳۰	۲۷۲	۲۰۲	۳۲۱	۳۰۱
۲۹۷	۲۵۷	۲۴۹	۱۰۷	۱۲۴	۸۸	۰	۶۷	۱۲۷	۱۸۳	۲۵۵	۲۲۳	۲۳۸	۲۹۶	۳۱۰	۳۳۶	۲۷۶	۲۰۴	۳۶۱	۲۹۷
۲۳۸	۱۹۰	۱۸۲	۵۶	۱۵۳	۶۷	۶۷	۰	۶۰	۱۱۶	۱۵۶	۱۵۶	۱۶۶	۲۱۹	۲۴۳	۲۶۳	۲۵۰	۱۳۷	۲۵۴	۲۳۸
۱۸۳	۲۵۶	۲۵۶	۱۱۶	۲۱۵	۱۲۵	۱۲۷	۶۰	۰	۱۱۰	۱۸۲	۱۵۰	۱۶۵	۲۱۳	۲۳۷	۲۶۳	۲۵۷	۷۷	۱۸۹	۱۸۳
۱۵۹	۷۴	۱۴۶	۱۱۰	۲۱۹	۱۸۳	۱۸۳	۱۱۶	۱۱۰	۰	۷۲	۴۰	۵۵	۱۰۳	۱۲۷	۱۵۳	۱۴۷	۱۴۰	۱۷۸	۱۵۹
۲۳۳	۶۶	۱۳۸	۱۶۵	۳۳۲	۲۵۵	۲۵۵	۲۵۵	۱۸۸	۱۸۲	۰	۱۲۲	۱۲۷	۱۷۵	۱۹۹	۲۱۹	۱۳۷	۲۵۰	۲۵۰	۲۳۳
۱۹۱	۱۱۴	۱۸۶	۱۵۰	۲۵۱	۲۲۳	۲۲۳	۱۵۶	۱۵۰	۴۰	۱۲۲	۰	۱۹۵	۱۷۵	۱۹۲	۱۲۸	۱۰۵	۱۸۰	۲۱۸	۱۹۱
۱۸۷	۱۲۹	۲۰۱	۱۵۲	۲۷۶	۲۳۸	۲۳۸	۱۶۶	۱۶۵	۵۵	۱۲۷	۱۹۵	۷۲	۹۸	۹۲	۱۸۸	۱۹۵	۲۳۳	۱۸۷	۱۸۷
۱۴۷	۱۷۶	۲۴۹	۲۰۰	۳۵۸	۲۸۶	۲۱۹	۲۱۹	۲۱۳	۱۰۳	۲۴۳	۴۸	۰	۴۸	۴۴	۱۴۴	۱۶۸	۲۴۳	۲۱۹	۱۴۷
۱۲۵	۲۰۱	۲۷۳	۲۲۴	۳۸۱	۳۱۰	۳۱۰	۲۴۳	۲۴۳	۱۲۷	۱۹۵	۱۰۲	۷۲	۳۴	۰	۲۶	۱۹۲	۲۶۷	۱۹۵	۱۲۵
۱۲۰	۲۲۷	۲۹۹	۲۵۰	۴۱۱	۲۶۳	۳۳۶	۲۶۳	۲۶۳	۱۵۳	۲۲۵	۱۲۸	۹۸	۵۰	۲۶	۰	۲۱۸	۲۹۳	۳۳۱	۱۲۰
۱۰۸	۲۴۱	۲۹۳	۲۴۴	۳۹۸	۳۳۰	۳۳۰	۲۶۳	۲۵۷	۱۴۷	۲۱۹	۱۲۲	۹۲	۴۴	۲۰	۴۷	۲۱۲	۲۸۷	۱۷۵	۱۰۸
۶۱	۱۸۰	۲۷۹	۱۹۰	۲۸۰	۲۷۲	۲۷۶	۲۰۵	۲۶۳	۱۳۳	۲۰۵	۱۷۳	۱۴۴	۱۲۰	۱۰۰	۰	۶۸	۱۲۳	۷۵	۶۱
۱۱۴	۱۱۲	۲۱۱	۱۲۲	۲۵۲	۲۰۸	۲۰۸	۱۴۱	۷۶	۶۵	۱۳۷	۱۰۵	۱۶۸	۱۹۲	۲۱۸	۲۱۲	۰	۷۵	۱۱۳	۱۱۴
۱۸																			

این فاصله بر حسب کیلومتر بوده که برای هر کیلومتر جابه‌جایی ۵۰۰ تومان هزینه به طور متوسط در نظر گرفته شده است (۱۸).

پس از تهیه مدل و جمع‌آوری داده‌ها به صورت میدانی، مقادیر پارامترها در نرم‌افزار گمز وارد و مدل ریاضی توسط این نرم‌افزار به صورت دقیق محاسبه شد. نتایج به دست آمده از این نرم‌افزار مقادیر مختلف متغیرهای تصمیم مدل ریاضی را نشان می‌دهد. اما از آن جایی که هدف اصلی تحقیق، انتخاب مکان مناسب برای مراکز جمع‌آوری خون (تیم‌های سیار، مراکز ثابت خونگیری و مراکز تهیه و فراوری) بوده است، لذا از بررسی مقادیر سایر متغیرها که در پاسخ سؤال اصلی تحقیق نقشی ندارند صرف نظر گردیده است (جدول ۴).

شش ماهه اول	شش ماهه دوم	شش ماهه اول	بازه زمانی
سال ۹۴	سال ۹۳	سال ۹۳	
($t=3$)	($t=2$)	($t=1$)	تعداد
۴۳۵۷۵	۴۲۰۶۱	۴۰۶۰۰	توزیع
			PRBC

جدول ۴: تعداد مراکز جمع‌آوری خون برای شهرهای آذربایجان شرقی در حالت کمترین هزینه براساس مدل‌سازی ریاضی

نام شهر	جمعیت کنونی (هزار نفر)	تعداد تیم‌های سیار	تعداد مراکز ثابت خونگیری	تعداد مراکز تهیه و فرآوری
مرند	۲۴۰	۱	۰	۰
جلفا	۵۵	۰	۰	۰
ورزقان	۴۹	۰	۰	۰
خداآفرین	۳۴	۰	۰	۰
کلیبر	۹۲	۰	۰	۰
هوراند	۴	۰	۰	۰
اهر	۱۵۵	۰	۱	۰
هریس	۷۱	۰	۰	۰
تبریز	۱۶۵۲	۱	۱	۰
شبستر	۱۲۷	۰	۰	۰
اسکو	۷۷	۰	۰	۰
آذرشهر	۱۰۴	۰	۰	۰
عجب شیر	۸۶	۱	۰	۰
بناب	۱۳۲	۱	۰	۰
ملکان	۱۰۵	۱	۰	۰
مراغه	۲۴۵	۱	۰	۱
هشترود	۶۸	۱	۰	۰
بستان‌آباد	۱۰۱	۰	۰	۰
سراب	۱۳۸	۰	۰	۰
میانه	۲۰۰	۰	۰	۱
چاراولیماق	۳۶	۰	۰	۰

جدول ۵: پوشش مرکز انتقال خون و یا تهیه و فرآوری از مراکز ثابت خونگیری و یا تیم‌های سیار در استان

مرکز ثابت خونگیری و یا تیم سیار	مرکز انتقال خون تبریز	مرکز تهیه و فرآوری مراغه
مرکز ثابت خونگیری تبریز	√	-
مرکز ثابت خونگیری اهر	√	-
تیم سیار تبریز	√	-
تیم سیار مرند	√	-
تیم سیار مراغه	-	√
تیم سیار هشترود	-	√
تیم سیار عجب شیر	-	√
تیم سیار بناب	-	√
تیم سیار ملکان	-	√

نتایج جدول ۴ نشان می‌دهد از میان مکان‌های پیشنهادی برای مراکز جمع‌آوری خون در استان آذربایجان شرقی که در جدول ۱ لیست گردیده است، مکان بهینه مراکز تهیه و فرآوری در شهرهای مراغه و میانه بر اساس مدل‌سازی ریاضی مذکور در نظر گرفته شده است، هم چنین بهترین مکان برای مراکز ثابت شهرهای تبریز و اهر می‌باشد. جمع‌آوری خون توسط تیم‌های سیار برای شهرهای مرند، تبریز، عجب شیر، بناب، ملکان، مراغه و هشترود پیشنهاد می‌گردد.

با توجه به این که خون جمع‌آوری شده توسط مراکز جمع‌آوری ثابت و تیم‌های سیار باید به یکی از مراکز تهیه و فرآوری یا مرکز انتقال خون تحویل داده شود، بر اساس مدل مطرح شده مراکز ثابت خونگیری در شهرهای تبریز و اهر باید خون‌های اخذ شده را به مرکز انتقال خون تبریز منتقل کنند. هم چنین در شرایط بهینه مدل‌سازی شده، تیم

سیار خونگیری مستقر در تبریز و یا مرند بهتر است خون‌های اخذ شده را به مرکز انتقال خون تبریز انتقال دهد. این در حالی است که تیم سیار خونگیری مستقر در شهرهای عجب‌شیر، بناب، ملکان، مراغه و هشتروند در شرایط بهینه بهتر است خون‌های اخذ شده را به مرکز تهیه و فرآوری مراغه انتقال دهند (جدول ۵).

بحث

زنجیره تامین خون در مراحل جمع‌آوری، ذخیره‌سازی و توزیع همراه با صرف هزینه‌های مختلف است. لذا در این مقاله با هدف شناسایی وضعیت موجود و مقایسه آن با روش‌های مدل‌سازی ریاضی، تعداد و محل بهینه مراکز جمع‌آوری خون با تفکیک انواع تسهیلات مختلف مورد مطالعه قرار گرفت.

در کشورهای پیشرفته در دنیا مراکز انتقال خون اگر چه درصد بالایی از هزینه‌های خود را از طریق فروش جبران می‌کنند، اما با این حال رویکرد بسیار مهمی را نیز در انتخاب مکان‌های جمع‌آوری بهینه اتخاذ می‌کنند. در کشور ایران، با توجه به رایگان بودن خون برای مراکز درمانی از یک طرف و با توجه به استفاده از منابع دولتی برای احداث و اداره مراکز مختلف سازمان انتقال خون از طرف دیگر، ضروری به نظر می‌رسد در سازمان انتقال خون تدابیری اتخاذ گردد تا هزینه‌های زنجیره تامین و توزیع خون تا حد امکان کاهش یابد. در دنیای مدرن امروزی بحث هزینه و فایده اهمیت به سزایی در تصمیم‌گیری‌های سازمانی ایفا می‌کند و از طرف دیگر تاکنون این مدل‌سازی ریاضی، در شناسایی موقعیت‌های موجود و نیز ارزیابی شرایط برای برنامه‌ریزی‌های آتی در سازمان انتقال خون صورت نگرفته است، به همین دلیل استفاده از این ابزار که در کشورهای پیشرفته دنیا نیز مورد استفاده قرار گرفته است، ضروری به نظر می‌رسد. در ایران نیز پیش از این دو برنامه تحقیقاتی در این خصوص صورت گرفته است. در مورد اول زهیری و همکاران یک مدل ریاضی برای مکان‌یابی مناسب مراکز جمع‌آوری خون در شهرستان بابل ارائه دادند (۹). در مورد دوم، جبارزاده و همکاران مراکز جمع‌آوری خون در تهران در شرایط اضطراری را مورد بررسی قرار دادند (۱۱). در

این مقاله‌ها، محققین از مدل‌های ریاضی جهت تعیین مکان بهینه تسهیلات جمع‌آوری خون استفاده نموده و محل‌های مشخصی را برای احداث تسهیلات ثابت و سیار ارائه نمودند. اما تفکیک مناسبی از تسهیلات ثابت مطابق با ساختار سازمان انتقال خون در این تحقیقات صورت نگرفته است. همان طور که در بخش یافته‌ها اشاره شد، با تخصیص متغیرهای مختلف برای تسهیلات جمع‌آوری خون و ارائه مدل‌سازی ریاضی مکان‌های بهینه برای احداث مراکز جمع‌آوری خون در استان آذربایجان شرقی محاسبه و با مراکز موجود مقایسه گردید تا در صورت نیاز به ایجاد تغییر، محاسبات انجام گرفته نیز همراه با سایر ملاحظات مد نظر قرار گیرد تا علاوه بر کاهش هزینه‌های جابه‌جایی، تقاضای مراکز درمانی جهت دریافت خون و فرآورده‌های آن نیز برآورده شود و این مراکز با کمبود مواجه نشوند. مکان‌های بهینه تعیین شده با روش مدل‌سازی ریاضی در این مطالعه هم‌پوشانی خوبی با وضعیت موجود داشته است، مثلاً مرکز خونگیری در تبریز که با مدل‌سازی پیشنهاد گردیده است، در حال حاضر تحت عنوان پایگاه انتقال خون تبریز موجود می‌باشد و جزئی از ساختار پایگاه انتقال خون است. هم چنین در خصوص تیم‌های سیاری، داده‌های میزان تراکم جمعیت و تقاضای مراکز درمانی در مدل ریاضی، مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج حاصل از این بررسی‌ها نشان می‌دهد با افزایش نیاز به خونگیری در شهر تبریز، کمترین هزینه جمع‌آوری خون با تیم‌های سیاری محقق می‌گردد. در ضمن شایان توجه است که کلیه محاسبات انجام گرفته باید در بستر سایر اطلاعات مورد تفسیر قرار گیرد. مثلاً یک نکته قابل توجه در این مطالعه شهرهای جلفا و خداآفرین می‌باشند که حتی اگر در محاسبات ریاضی به عنوان مکان‌های بهینه در نظر گرفته می‌شدند، باز هم به دلایل مرزی بودن و عدم مجوز خونگیری در این نواحی از انتخاب حذف می‌گردیدند. بنابراین علاوه بر اثربخشی این مدل‌سازی ریاضی، ملاحظات بسیاری باید در نظر گرفته شود تا یک تفسیر کاربردی از مجموع اطلاعات ارائه گردد.

مقایسه وضعیت فعلی و یافته‌های تحقیق در مورد مراکز تهیه و فرآوری نشان می‌دهد وضعیت پیشنهادی پس از

مراکز ثابت خونگیری و تیم‌های سیار توسط مراکز تهیه و فرآوری و مرکز انتقال خون است. با توجه به اینکه خون جمع‌آوری شده توسط مراکز ثابت خونگیری و تیم‌های سیار باید جهت فرآوری به یکی از مراکز تهیه و فرآوری یا مرکز انتقال خون تحویل داده شود، پوشش بهینه این مراکز توسط مدل ریاضی محاسبه گردید. شایان توجه است که تمامی اطلاعات به دست آمده حاصل داده‌های مطرح شده بوده است و افزایش یا کاهش در میزان اهدای خون و یا تقاضای مراکز درمانی، تغییراتی را در این مدل به وجود می‌آورد.

نتیجه‌گیری

مکان‌یابی بهینه مراکز مختلف جمع‌آوری خون و هم‌چنین پوشش بهینه مراکز ثابت خونگیری و تیم‌های سیار، هزینه‌های زنجیره تامین خون را به میزان زیادی کاهش می‌دهد و نیاز مراکز درمانی را نیز برآورد می‌کنند. لذا پیشنهاد می‌شود در صورت نیاز به ایجاد تغییر در تعداد و یا مکان انواع مختلف مراکز خونگیری و در اخذ تصمیمات در استان‌های مختلف در کشور هم به لحاظ تعداد و هم از نظر مکان‌یابی بهینه استفاده از تکنیک‌های مدلسازی ریاضی نیز همراه با سایر ملاحظات لحاظ گردد.

مدلسازی کاملاً با وضعیت فعلی تطابق دارد و در مدلسازی نیز مراکز مراغه و میانه گزینه‌های بهینه و مناسب جهت مراکز تهیه و فرآوری بوده‌اند. در حال حاضر و در وضعیت فعلی یک مرکز خونگیری در تبریز، به عنوان جزئی از ساختار پایگاه انتقال خون دایر است و با توجه به این که در هیچ کدام از شهرهای شمالی استان صرفاً مرکز ثابت خونگیری وجود ندارد، لذا در صورت نیاز به تغییر به خصوص در زمینه افزایش تعداد خونگیری، اضافه شدن یک مرکز ثابت خونگیری در شهر مرند در کاهش هزینه‌های جابه‌جایی و در نتیجه هزینه جمع‌آوری خون در استان آذربایجان شرقی نقش به سزایی دارد که نتایج مدل ریاضی مؤید این موضوع بوده است. نکته مورد توجه در این تحقیق که با وضعیت موجود متفاوت است، افزایش تیم‌های سیار است که برای شهرهای مراغه، هشتروند، عجب‌شیر، بناب، ملکان، تبریز و مرند پیشنهاد شده است. در نتیجه با توجه به مسافت بین این شهرها، به نظر می‌رسد در کل اختصاص یک تیم سیار برای جمع‌آوری خون اهداکنندگان برای کلیه شهرهای ذکر شده کافی باشد و زمان‌بندی بهینه گردش تیم‌های سیار در این شهرها در تحقیقات آینده باید مورد بررسی قرار گیرد.

اما مطلب دیگری که در خصوص نتایج حاصل می‌توان مورد بحث و بررسی قرار داد، تحت پوشش قرار دادن

References :

- 1- Farrugia A. The regulatory pendulum in transfusion medicine. *Transfus Med Rev* 2002; 16(4): 273-82.
- 2- Amin M, Fergusson D, Aziz A, Wilson K, Coyle D, Herbert P. The cost of allogeneic red blood cell-a systematic review. *Transfus Med* 2003; 13(5): 275-85.
- 3- Gharehbaghian A, Abolghasemi H, Namini MT. Status of blood Transfusion services in Iran. *Asian J Transfus Sci* 2009; 2(1): 13-7.
- 4- Cheraghali AM. Overview of blood transfusion system of Iran: 2002-2011. *Iran J Public Health* 2012; 41(8): 89-93.
- 5- Maghsudlu M, Nasizadeh S, Abolghasemi H, Ahmadyar S. Blood donation and donor recruitment in Iran from 1998 through 2007: ten years' experience. *Transfusion* 2009; 49(11): 2346-51.
- 6- Omidkhoda A, Amini Kafi-Abad S, Pourfatollah AA, Maghsudlu M. Blood collection, components preparation and distribution in Iran, 2008-2012. *Transfus Apher Sci* 2016; 54(1): 117-21.
- 7- Pourfatollah AA. The idea centralization in the organization. Presented in Thirty – first meeting of directors of blood transfusion in Tabriz [Presentation in Farsi-cited (2016) 12-14/06/1395]. Available on: <http://www.ibto.ir/index.jsp?siteid=1&fkeyid=&siteid=1&pageid=132&newsview=1472>.
- 8- Zahraee SM, Rohani JM, Firouzi A, Shahpanah A. Efficiency Improvement of Blood Supply Chain System Using Taguchi Method and Dynamic Simulation. *Procedia Manufacturing* 2015; 2: 1-5.
- 9- Zahiri B, Torabi SA, Mousazadeh M, Mansouri SA. Blood collection management: Methodology and application. *Appl Math Mode* 2015; 39(23-24): 7680-96.
- 10- Fahimnia B, Jabbarzadeh A, Ghavamifar A, Bell M. Supply chain design for efficient and effective blood supply in disasters. *International Journal of Production Economics* 2017; 183(Part C): 700-9.
- 11- Jabbarzadeh A, Fahimnia B, Seuring S. Dynamic supply chain network design for the supply of blood in disasters: A robust model with real world application. *Transp Res Part E Logist Transp Rev* 2014; 70: 225-44.

- 12- Hasani A, Khosrojerdi A. Robust global supply chain network design under disruption and uncertainty considering resilience strategies: A parallel memetic algorithm for a real-life case study. *Transp Res Part E Logist Transp Rev* 2016; 87: 20-52.
- 13- Gunpinar S, Centeno G. Stochastic integer programming models for reducing wastages and shortages of blood products at hospitals. *Computers & Operations Research* 2015; 54: 129-41.
- 14- Beliën J, Forcé H. Supply chain management of blood products: A literature review. *European Journal of Operational Research* 2012; 217(1): 1-16.
- 15- Vanany I, Maryani A, Amaliah B, Rinaldy F, Muhammad F. Blood Traceability System for Indonesian Blood Supply Chain. *Procedia Manufacturing* 2015; 4: 535-42.
- 16- Davoudi-Kiakalayeh A, Paridar M, Toogeh Gh. Cost unit analysis of blood transfusion centers in Guilan province. *Sci J Iran Blood Transfus Organ* 2012; 9(3): 346-52. [Article in Farsi]
- 17- Gharehbaghian A, Jalilzadeh Khoei M, Honarkaran N, Davoodi F. Estimation and comparison of the production cost of blood and blood products in 28 IBTO centers in 1381. *Sci J Iran Blood Transfus Organ* 2005; 2(1): 61-9. [Article in Farsi]
- 18- Hensher DA, A. Collins T, J. Rose JM, Smith NC. Direct and cross elasticities for freight distribution access charges: Empirical evidence by vehicle class, vehicle kilometres and tonne vehicle kilometres. *Transp Res Part E Logist Transp Rev* 2013; 56: 1-21.

Original Article

Determination of the optimal number and location of different types of blood collection centers in East Azerbaijan province based on mathematical modeling

Yousefi Nejad Attari M.¹, Pasandideh S.H.R.¹, Aghaie A.², Akhavan Niaki S.T.³

¹Faculty of Industrial and Mechanical Engineering, Islamic Azad University, Qazvin Branch, Qazvin, Iran

²Blood Transfusion Research Center, High Institute for Research and Education in Transfusion Medicine, Tehran, Iran

³Sharif University of Technology, Tehran, Iran

Abstract

Background and Objectives

Among the key issues in the blood supply chain design, the location of blood collection centers is essential to ensure the easy access of donors for blood donation and distribution of blood products to hospitals. The aim of this study was to calculate the optimal number and location of blood collection and processing centers, blood collection centers and mobile teams based on clinical demand, cost of construction and operating cost of these centers in East Azerbaijan province.

Materials and Methods

The study was a mathematical calculation modeling on the population of East Azerbaijan province. Three six-month periods with the first and the second in 1393 and the third in 1394 were used for calculating cost. GAMZ mathematical model was implemented and the results were extracted.

Results

The results of the GAMZ application showed that a suitable locations for the establishment of a blood collection and processing center were in Maragheh and Mianeh, and the optimal locations for blood collection center were in Tabriz and Ahar. What is more, one mobile team could move among Marand, Tabriz, Ajabshir, Bonab, Malekan, Maragheh and Hashtrood cities in alternation with the cost of transport to be reduced.

Conclusions

The optimal determination of number and locations of blood collection and processing centers, blood collection centers and mobile team decreased the cost of blood collection services. In future, to plan for any changes in order to increase or decrease the number of blood centers in all provinces, the mathematical modeling in other conditions should be considered.

Key words: Blood Transfusion, Blood Supply, Iran

Received: 26 Sep 2016

Accepted: 27 Dec 2016

Correspondence: Aghaie A., PhD of Immunology. Assistant Professor of Blood Transfusion Research Center, High Institute for Research and Education in Transfusion Medicine.
P.O.Box: 14665-1157, Tehran, Iran. Tel: (+9821) 82052183; Fax: (+9821) 88601599
E-mail: aghaie.a@gmail.com