استناد: جزء خراسانی، هانیه و مهدی بشیری (۱۳۹۲). «مدیریت زنجیرهٔ تأمین، شبکهٔ زنجیرهٔ تأمین، الگوریتم شبیه‌سازی تبرید تدریجی، چراغ راهنما»، *توسعهٔ سازمانی پلیس*، شمارهٔ ٤٧، صص ۱۰۲_۸۷

طراحی شبکهٔ زنجیرهٔ تأمین قطعات مورد نیاز پلیس راهنمایی ورانندگی (نمونه‌پژوهی: چراغ‌های راهنما)

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۲/۸/۲۵
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۲/۱۰/۴

هانیه جزء خراسانی* ، مهدی بشیری**

چکیده:

امروزه یکی از مهم‌ترین مسائلی که توجه بیشتر سازمان‌ها را به خود جلب کرده است مدیریت زنجیرهٔ تأمین است. برای داشتن زنجیرهٔ تأمینی خوب اولین قدم طراحی شبکهٔ زنجیرهٔ تأمین مناسب است. در این مقاله شبکهٔ زنجیرهٔ تأمینی برای قطعات مورد نیاز پلیس راهنمایی و رانندگی عرضه کرده‌ایم، به صورتی که هزینهٔ کل را حداقل کنیم. در این تحقیق نمونه‌پژوهی روی چراغ‌های راهنما صورت گرفته است. با ارائهٔ مثالی عددی و حل آن با الگوریتم فراابتکاری شبیه‌سازی تبرید تدریجی نشان داده‌ایم که هزینهٔ کل حداقل می‌شود. نتایج بررسی و تحلیل حساسیت این تحقیق نشان می‌دهد که با تغییر جواب بهینه در هر صورت هزینه‌ها افزایش می‌یابد. گفتنی است که تمام داده‌های مسئله در این مقاله به صورت تصادفی و بر اساس معیارهای منطقی و عقلی و روش سعی و خطا تولید شده است.

کلیدواژه‌ها:

مدیریت زنجیرهٔ تأمین، شبکهٔ زنجیرهٔ تأمین، الگوریتم شبیه‌سازی تبرید تدریجی، چراغ راهنما.

*. دانشجوی کارشناسی ارشد مؤسسهٔ غیر انتفاعی ایوانکی، *mohakhorasani@gmail.com*
**. دانشیار دانشگاه شاهد

مقدمه

امروزه یکی از بزرگ‌ترین مشکلات جامعه، به‌ویژه در شهرهای بزرگ، موضوع شدآمد است. تقاطع‌ها مهم‌ترین گلوگاه‌های شدآمدی در سطح معابر شهری است و حل معضلات و گره‌های شدآمدی آن‌ها با رویکردی منسجم و یکپارچه گامی حیاتی و اساسی در ساماندهی شدآمد شبکهٔ معابر سطح شهر است. پلیس راهنمایی و رانندگی و امور حمل و نقل از سازمان‌هایی در نیروی انتظامی است که وظایف و مأموریت‌هایی بسیار بر عهده دارد. از جملهٔ این موارد برنامه‌ریزی و هدایت فعالیت‌های راهنمایی و رانندگی به منظور تأمین نظم عبور و مرور، اجرای مقررات راهنمایی و رانندگی و حمل و نقل، بررسی نیازمندی‌های شدآمدی و تعیین اقلام مورد نیاز و اولویت‌ها و دادن پیشنهادهای لازم به مبادی ذی‌ربط برای تهیه، تحویل و پیگیری موضوع تا اخذ نتیجه، تهیه و تنظیم و اجرای طرح‌های لازم در زمینهٔ جلوگیری و کاهش تصادفات و تخلفات، تسهیل در رفت و آمد وسایل نقلیه، آموزش رانندگان، مهندسی شدآمد و ... را بر عهده دارد. یکی از مسائلی که سبب کاهش شدآمد و تصادفات می‌شود وجود چراغ راهنماست. چراغ راهنما نمادی از راهنمایی و رانندگی است. این چراغ در تقاطع جاده‌ها، پیاده‌روها، ورودی و خروجی معابر و برخی از اماکن دیگر نصب می‌شود و جریان شدآمد را کنترل می‌کند.

معاونت حمل و نقل و ترافیک تهران با هماهنگی پلیس راهنمایی و رانندگی و امور حمل و نقل فقط متولی طراحی، نصب، راه‌اندازی و نگهداری چراغ‌های راهنمایی و رانندگی سطح شهر تهران است؛ این سازمان، با اجرای تحقیقات شدآمدی و سنجش موقعیت تقاطع‌ها، انواع مختلف چراغ‌های راهنمایی را برای ساماندهی تقاطع‌ها نصب و راه‌اندازی می‌نماید. از این رو زنجیرهٔ تأمین چراغ‌های راهنما باید به گونه‌ای طراحی شده باشد که کمترین هزینه را ایجاد کند.

زنجیرهٔ تأمین شامل تمام واحدها و کسب‌وکارهایی است که به طور مستقیم یا غیرمستقیم موجب برطرف کردن نیازهای نهایی مشتری می‌شود. زنجیرهٔ تأمین فقط شامل تولیدکنندگان نیست بلکه ترکیبی از تسهیلات و فعالیت‌هایی است که تهیهٔ مواد خام، تبدیل مواد به محصول نهایی، پخش محصولات و رساندن آن‌ها به دست مشتری از جملهٔ موارد آن است. اصلی‌ترین

موضوع‌های مورد بررسی در مدیریت زنجیرهٔ تأمین شامل سه دسته است: طراحی زنجیرهٔ تأمین؛ برنامه‌ریزی زنجیرهٔ تأمین؛ و کنترل زنجیرهٔ تأمین *(Shankar et al., 2013)*.

طراحی شبکهٔ زنجیرهٔ تأمین از مهم‌ترین مسائلی است که در سال‌های اخیر توجه محققان را به خود جلب کرده است. داشتن شبکهٔ زنجیرهٔ تأمین مناسب از اصلی‌ترین موارد برای رسیدن به مدیریت خوب است. از مهم‌ترین مسائلی که می‌توان در طراحی شبکهٔ زنجیرهٔ تأمین مطرح کرد تصمیم دربارهٔ مکان‌یابی تسهیلات و تخصیص درست آن‌ها و همین‌طور چگونگی حرکت محصولات از هر سطح به سطح دیگر است. شبکهٔ زنجیرهٔ تأمین شامل گره‌هایی است که تسهیلات را نشان می‌دهد. جریان فقط بین دو سطح متوالی از شبکهٔ زنجیرهٔ تأمین انتقال‌پذیر است.

طی چند دههٔ گذشته، تحقیقاتی بسیار در حوزهٔ طراحی شبکهٔ زنجیرهٔ تأمین صورت گرفته است. لیو و لی برای اولین بار در سال ۲۰۰۳ به الگوسازی این مسئله پرداختند *(Liu & Lee, 2003)*. آمبورسینو و اسکوتلا در سال ۲۰۰۵ به بررسی زنجیرهٔ تأمین تک‌محصولی چهار سطحی پرداختند *(Liu & Liu, 2005)*. شن و کیو در سال ۲۰۰۷ یک زنجیرهٔ تأمین تک محصولی سه‌سطحی را بررسی کردند *(Shen & Qi, 2007)*. ما و همکارانش در سال ۲۰۰۷ مسئلهٔ مکان‌یابی- مسیریابی موجودی غیر قطعی در سامانه‌های توزیع لجستیک را بررسی کردند *(Ma et al., 2007)*. وانگ زوفنگ و همکارانش در سال ۲۰۰۸ یک زنجیرهٔ تأمین تک‌محصولی سه‌سطحی شامل تأمین‌کنندگان، مراکز توزیع و انبارها را بررسی کرد *(Wang et al., 2008)*. وانگ جینمی و همکارانش در سال ۲۰۰۸ یک زنجیرهٔ تأمین تک‌محصولی دو سطحی شامل انبارها و مشتریان را بررسی کردند *(Wang et al., 2008)*. سجادی در سال ۲۰۰۸ به بررسی زنجیرهٔ تأمینی سه‌سطحی پرداخت *(Sajjadi, 2008)*. سجادی و چراغی در سال ۲۰۱۱ به بررسی یک شبکه توزیع سه‌سطحی چند محصولی پرداختند *(Sajjadi, & Cheraghi, 2011)*. علی احمدی و همکارانش در سال ۱۳۹۱ به بررسی شبکه‌ای سه‌سطحی و عرضهٔ الگوی ترکیبی مکان‌یابی-مسیریابی پرداختند (علی احمدی و دیگران، ۱۳۹۱). لاسا شانکار و همکارانش در سال ۲۰۱۳ به بررسی یک شبکهٔ زنجیرهٔ تأمین چهار سطحی و دو هدفه پرداختند و در حل آن از الگوریتم پی.اس.اُ. *(PSO)* استفاده کردند

(Shankar et al., 2013). سجادی و داوودپور هم در سال ۲۰۱۲ یک زنجیرهٔ تأمین چند کالایی را با در نظر گرفتن چند عامل دیگر عرضه کردند *(Sajjadi & Davoudpour, 2012)*.

هدف از این مقاله عرضهٔ شبکهٔ زنجیرهٔ تأمین تک محصول سه‌سطحی است که می‌خواهیم در آن هزینه‌ها را حداقل کنیم. در سطح اول آن چند تأمین‌کننده، در سطح دوم چند کارخانه و در سطح سوم تقاضاکننده‌ها یا مراکز مشتریان قرار دارد؛ کالاها با روش صحیح حمل و نقل از تأمین‌کننده به کارخانه و از کارخانه به مراکز مشتریان رسانده می‌شود. سرانجام به شبکهٔ زنجیرهٔ تأمین اقلام مورد نیاز پلیس ـــ که در این پژوهش چراغ‌های راهنماست ـــ می‌رسیم. در ادامه به معرفی الگو و روش حل آن با الگوریتم شبیه‌سازی تبرید تدریجی[1] می‌پردازیم.

ساختاربندی ادامهٔ این مقاله به این صورت است: در بخش دوم الگوی مسئله را به طور کامل شرح می‌دهیم. در بخش سوم الگوی ریاضی مسئله را عرضه می‌کنیم. در بخش چهارم به توضیحی مختصر از الگوریتم شبیه‌سازی تبرید تدریجی می‌پردازیم و حل الگو را عرضه می‌کنیم. در بخش پنجم مثالی عددی خواهیم آورد و حساسیت آن را تحلیل می‌کنیم. سرانجام، در بخش ششم فرجام این مقاله و زمینه‌های تحقیقات آتی را بیان خواهیم کرد.

تعریف مسئله

در این قسمت به معرفی الگویی بهینه برای طراحی شبکهٔ زنجیرهٔ تأمین می‌پردازیم. در طراحی شبکهٔ زنجیرهٔ تأمین اولین قدم تعیین تعداد و مکان تأمین‌کننده‌ها، کارخانه‌ها و تعیین مشتریان تخصیص داده شده به هر کارخانه و تعیین مجموعه‌ای از مسیرها برای حرکت وسایل نقلیه است، به طوری که نیاز مشتری برآورده شود. در موضوع چراغ راهنما مشتری فقط معاونت حمل و نقل و ترافیک شهری است. در این الگوی سه‌سطحی، در سطح اول تأمین‌کننده‌هایی وجود دارد که قطعات اولیه را می‌سازند و با وسایل نقلیه آن‌ها را به کارخانه‌ها ـــ که در سطح دوم قرار دارد ـــ ارسال می‌کنند. کارخانه‌ها هم محصول نهایی را به مشتری انتقال می‌دهند. در این الگو هدف حداقل کردن هزینه‌هاست، که شامل هزینهٔ تهیهٔ

1. Simulated Annealing

قطعات اولیه و هزینهٔ حمل آن به کارخانه، هزینهٔ ثابت ایجاد کارخانه، هزینهٔ ساخت محصول توسط کارخانه و هزینهٔ حمل هر واحد محصول از کارخانه به مشتری است. در واقع می‌خواهیم نشان دهیم که ساخت محصول توسط کدام یک از کارخانه‌ها برایمان مقرون به صرفه است و کدام کارخانه‌ها باید بسته شود. اکنون به معرفی الگو می‌پردازیم:

فرضیات مسئله:

- مکان تأمین‌کننده‌ها، کارخانه‌ها و مشتری از قبل مشخص شده است.
- هیچ الزامی وجود ندارد که تمام قطعات اولیهٔ مورد نیاز کارخانه را تأمین‌کننده‌ای واحد برآورده کند.
- تمام نیاز مشتری باید برآورده شود.
- هیچ الزامی وجود ندارد که تمام نیاز مشتری را کارخانه‌ای واحد برآورده کند.

داده‌های مسئله:

- تعداد قطعات اولیه
- میزان ظرفیت تأمین‌کننده برای تهیهٔ قطعات اولیه
- میزان ظرفیت تولید هر کارخانه
- میزان تقاضای مشتری
- هزینهٔ تهیهٔ قطعات اولیه
- هزینهٔ حمل هر واحد قطعهٔ اولیه از تأمین‌کننده به کارخانه
- هزینهٔ ساخت هر واحد محصول توسط هر کارخانه
- هزینهٔ حمل هر واحد محصول از کارخانه‌ها به مرکز مشتری

متغیرهای تصمیم:

- تعداد کارخانه‌های باز شده
- تعداد قطعات اولیهٔ فرستاده شده از هر تأمین‌کننده به هر کارخانه
- تعداد محصول فرستاده شده از هر کارخانه به مرکز مشتری

تابع هدف:

- حداقل کردن هزینه‌ها شامل هزینهٔ تهیهٔ قطعات اولیه و هزینهٔ حمل آن به کارخانه، هزینهٔ ثابت ایجاد کارخانه، هزینهٔ ساخت محصول توسط کارخانه و هزینهٔ حمل هر واحد محصول از کارخانه به مرکز مشتری
- با حل این الگو نشان خواهیم داد که گرفتن محصول از کدام کارخانه‌ها، در عین حال که تمام نیاز مشتری برآورده می‌شود، برایمان هزینه‌ای کمتر خواهد داشت.

الگوی ریاضی

این مسئله به صورت الگوی برنامه‌ریزی ترکیبی عدد صحیح فرموله می‌شود. لازم می‌دانیم قبل از معرفی الگو اندیس‌ها، پارامترها و متغیرهای مسئله را ــ که در جدول شمارهٔ (۱) آمده است ــ تشریح کنیم. سپس الگوی ریاضی و توصیف آن را به طور مجزا خواهیم دید.

جدول شمارهٔ (۱): اندیس‌ها، پارامترها و متغیرهای مسئله و توصیف آن‌ها

تعداد کارخانه‌ها $(i=1,\ldots,n)$	n
تعداد تأمین‌کننده‌ها $(h=1,\ldots,l)$	l
تعداد قطعات اولیه $(c=1,\ldots,p)$	p
ظرفیت کارخانهٔ i ام	K_i
تقاضای مرکز مشتری	D
هزینهٔ ثابت باز شدن کارخانهٔ i ام	F_i
اگر کارخانهٔ i ام باز باشد یک، در غیر این صورت صفر	Y_i
ظرفیت تولید قطعهٔ c توسط تأمین‌کنندهٔ h	S_{ch}
تعداد قطعهٔ c تولید شده توسط تأمین‌کنندهٔ h ام و ارسال آن به کارخانهٔ i ام	X_{hci}
تعداد محصول ارسال شده از کارخانهٔ i ام به مرکز مشتری	X_i
هزینهٔ تولید و حمل یک عدد قطعهٔ c از تأمین‌کنندهٔ h ام به کارخانهٔ i ام	CT_{hci}
هزینهٔ تولید و حمل هر واحد محصول از کارخانهٔ i ام به مرکز مشتری	CT_i

اکنون که اندیس‌ها، پارامترها و متغیرهای مسئله را توضیح دادیم به معرفی الگوی مسئله می‌پردازیم.

$$Min\ Z = \sum_{i=1}^{n} F_i Y_i \quad (۱)$$

$$+ \sum_{i=1}^{n} \sum_{h=1}^{l} \sum_{c=1}^{p} CT_{hci} X_{hci} \quad (۲)$$

$$+ \sum_{i=1}^{n} CT_i X_i \quad (۳)$$

Subject to:

$$\sum_{i=1}^{n} X_{hci} \leq S_{ch}\ \forall i \quad (۴)$$

$$\sum_{i=1}^{n} X_i \leq\ D \quad (۵)$$

$$\sum_{j=1}^{m} X_i \leq K_i Y_i\ \ \forall i \quad (۶)$$

$$\sum_{h=1}^{l} X_{hci} - X_i \geq 0\ \forall i \quad (۷)$$

$$Y_i\ \in \{0,1\}\ \forall i \quad (۸)$$

$$K_i\ , F_i\ \geq 0\ \forall i \quad (۹)$$

در ابتدای الگو به تعریف تابع هدف پرداختیم. رابطهٔ (۱) مقدار هزینهٔ ثابت باز شدن کارخانه را در صورت باز بودن نشان می‌دهد. رابطهٔ (۲) هزینهٔ کل تولید و حمل قطعهٔ c ام توسط تأمین‌کنندهٔ h ام و ارسال آن به کارخانهٔ i ام را نشان می‌دهد. رابطهٔ (۳) هزینهٔ کل تولید و حمل محصول از کارخانهٔ i ام به مرکز مشتری را نشان می‌دهد. سرانجام، این سه رابطه تابع هدف را تشکیل می‌دهد. اکنون به تشریح محدودیت‌های مسئله می‌پردازیم. رابطهٔ

(۴) بیان می‌کند که مقدار قطعهٔ c ارسالی توسط تأمین‌کنندهٔ h به کارخانهٔ i نباید از ظرفیت تولید آن محصول توسط تأمین‌کنندهٔ h بیشتر باشد. رابطهٔ (۵) بیان می‌کند که مقدار کل محصول فرستاده شده از کارخانهٔ i ام به مرکز مشتری باید کوچک‌تر مساوی کل تقاضای مشتری باشد. رابطهٔ (۶) بیان می‌کند که مقدار کل محصول فرستاده شده از کارخانهٔ i ام به مرکز مشتری نباید از ظرفیت کارخانه بیشتر باشد. در واقع، مقدار تولیدی کارخانهٔ i ام باید کوچک‌تر مساوی ظرفیت آن باشد. رابطهٔ (۷) بیان می‌کند که تعداد قطعات ارسالی از تأمین‌کنندهٔ h به کارخانهٔ i باید بزرگ‌تر مساوی تعداد محصول ارسالی از همان کارخانه به مراکز مشتری باشد. رابطهٔ (۸) نشان می‌دهد که کارخانهٔ i می‌تواند مقدار صفر یا یک بگیرد. یعنی، اگر کارخانه باز باشد Y_i مقدار یک می‌گیرد؛ در غیر این صورت، مقدار صفر می‌گیرد؛ یعنی بهتر است آن کارخانه بسته باشد که هزینه‌هایمان حداقل شود. رابطهٔ (۹) بیان می‌کند که ظرفیت کارخانه‌ها، تعداد تقاضای مشتریان و همچنین هزینهٔ ثابت باز شدن کارخانه باید بزرگ‌تر مساوی صفر باشد؛ یعنی باید مقدار مثبت بگیرد. اکنون به معرفی راه حل برای این الگو می‌پردازیم.

حل مسئله با الگوریتم فرا ابتکاری شبیه‌سازی تبرید تدریجی

برای حل این الگو از الگوریتمی فرا ابتکاری به نام شبیه‌سازی تبرید تدریجی استفاده کرده‌ایم. اکنون به توضیحی مختصر دربارهٔ الگوریتم شبیه‌سازی تبرید تدریجی می‌پردازیم:

واژهٔ انگلیسی «*simulated annealing*» به معنای گداخته کردن جسم است؛ ولی، در اصطلاح، فرایندی فیزیکی برای افزایش دمای جسم تا رسیدن آن به نقطهٔ ذوب و سپس سرد کردن آن طی شرایط مشخص است، که در طول این فرایند انرژی جسم به حداقل می‌رسد (زارع مهرجردی و دیگران، ۱۳۹۰).

در واقع، عملیات حرارتی عبارت است از افزایش دمای آهن تا دمای ذوب و سپس کاهش تدریجی دما تا رسیدن آهن به خواص مورد نظر. پس از رسیدن به خواص مطلوب، یک‌باره آهن را سرد می‌کنند تا مولکول‌ها در جای خود ثابت باقی بمانند. در شروع فرایند سرد کردن تدریجی، مولکول‌ها با سرعتی زیاد جابه‌جا می‌شوند؛ هرچه آهن سردتر شود

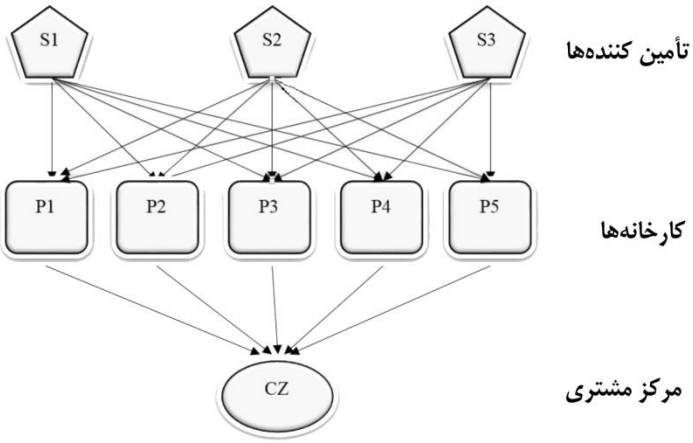
سرعت مولکول‌ها و میزان جابه‌جایی آن‌ها کمتر می‌شود. در این الگوریتم فـرا ابتکـاری نیـز در آغاز کار تغییرات را راحت‌تر می‌پذیریم و هر چه جلوتر می‌رویم احتمال پذیرش تغییرات کمتر می‌شود (بشیری و کریمی، ۱۳۸۹).

مراحل الگوریتم به قرار زیر است:

- **مرحلهٔ ۱**: ابتدا جواب اولیهٔ S را به الگوریتم می‌دهیم. در این مقاله جواب اولیه این گونه است که به صورت تصـادفی تعـدادی از کارخانـه‌هـا را بـاز و تعـدادی را بسـته نگـه می‌داریم، مقدار Z را می‌یابیم و برابر مقدار بهینه قرار می‌دهیم.
- **مرحلهٔ ۲**: مقدار دمای ذوب را $T=100$، دمای انجماد را $T0=0.1$، ضریب سرد شدن را $r=0.95$، تعداد دفعات قبول کردن تکرار را $k=3$ و تعداد تکرار الگوریتم در هـر دمـا را $n=5$ قرار می‌دهیم.
- **مرحلهٔ ۳**: $n=0$ و $k=0$ قرار می‌دهیم.
- **مرحلهٔ ۴**: دو کارخانه را انتخاب میکنیم که یکی باز و دیگری بسته باشد؛ جای ایـن دو کارخانه را عوض و مقدار Z را محاسبه می‌کنیم.
- **مرحلهٔ ۵**: اگر مقدار Z جدید از مقدار بهینهٔ Z کمتر بود، آن را به عنـوان مقـدار بهینـه می‌پذیریم و S آن را به عنوان جواب بهینه قـرار مـی‌دهـیم. در ایـن حالـت $n=n+1$ و $k=k+1$ می‌شود و حلقهٔ داخلی را تا جایی ادامه می‌دهیم که $n=5$ و $k=3$ شـود و سـپس به مرحلهٔ ۶ می‌رویم. در غیر این صورت، به مرحلهٔ (۴) می‌رویم. در این حالت عـددی تصادفی به دست می‌آوریم. اگر عدد تصادفی به‌دست‌آمـده از مقـدار $exp(-\frac{\Delta Z}{T})$ بیشـتر شد، $n=n+1$ و $k=k+1$ می‌کنیم و به مرحلهٔ (۶) می‌رویم؛ در غیر این صورت، به مرحلهٔ (۴) می‌رویم.
- **مرحلهٔ ۶**: مقدار T را در این تکرار در r ضرب می‌کنیم و برابر T قرار می‌دهیم. تا وقتی که T بزرگ‌تر مساوی $T0$ است ادامه می‌دهیم و سرانجام S و Z بهینه را چاپ می‌کنیم.

مثال موردی تأمین چراغ راهنمایی

در این قسمت مثالی عددی را توضیح می‌دهیم. گفتنی است که داده‌های این مسـئله بـه صورت تصادفی و بر اساس معیارهای منطقی و عقلی و روش سعی و خطا تولید شده است.



شکل شمارهٔ (۱): شبکهٔ زنجیرهٔ تأمین سه‌سطحی

با توجه به اینکه این پژوهش بر روی طراحی شبکهٔ زنجیرهٔ تأمین چراغ راهنماست، تنها تقاضا کننده یا مشتری آن معاونت حمل و نقل و ترافیک است؛ با توجه به درخواست پلیس راهنمایی و رانندگی متقاضی چراغ‌های راهنما و مسئول نصب آن‌ها این سازمان است؛ در نتیجه، شبکه‌مان فقط دارای یک مرکز مشتری است. با توجه به اینکه بعضی از قطعات اولیه را باید تأمین‌کننده تهیه کند ــ که از جملهٔ این موارد قطعات دیجیتالی چراغ‌های راهنمای هوشمند است ــ نیاز به تأمین‌کننده وجود دارد. همین طور فرض می‌شود که سه قطعهٔ اولیه مورد نیاز است که باید از تأمین‌کننده خریداری شود. همچنین، با توجه به متعدد بودن تعداد کارخانه‌های تولید چراغ‌های راهنما، فقط پنج کارخانه را در مسئله در نظر می‌گیریم. در اینجا شبکهٔ زنجیرهٔ تأمینی سه‌سطحی را در نظر می‌گیریم که در سطح اول سه تأمین‌کنندهٔ قطعات اولیه وجود دارد، که با توجه به ظرفیتشان قطعات اولیه را تولید و آن‌ها را به کارخانه‌ها ارسال می‌کنند. در سطح دوم پنج کارخانهٔ تولید کنندهٔ چراغ‌های راهنما وجود دارد، که، پس از تولید، محصولات را به مرکز مشتری انتقال می‌دهند. در سطح سوم یک مرکز مشتری وجود دارد که همان معاونت حمل و نقل و ترافیک است. در این مثال می‌خواهیم فقط سه کارخانه از پنج کارخانه را باز کنیم به گونه‌ای که هزینهٔ کل حداقل شود. در واقع، فرض بر

این است که تأمین چراغ‌های مورد نیاز با باز کردن حداقل سه کارخانه برآورده می‌شود. مهم رسیدن به این مطلب است که باز شدن کدام کارخانه‌ها هزینه‌ای کمتر برایمان ایجاد می‌کند. از آنجا که هزینهٔ حمل محصول از کارخانه‌ها به مرکز مشتری خیلی با هم تفاوت ندارد، بیشتر هزینهٔ کل شامل هزینهٔ قطعات اولیه و تولید محصول نهایی است. در نتیجه، باید کارخانه‌هایی را باز کنیم که در مجموع کمترین هزینه را برایمان ایجاد کند. شکل مسئله و سایر اطلاعات مربوط به پارامترها در جداول (۲، ۳و ۴) آورده شده است.

اکنون اطلاعات اولیهٔ مسئله به صورت جداولی آورده می‌شود. گفتنی است که تمام هزینه‌ها باید در عدد صد ضرب شود. در ضمن، فرض می‌کنیم تعداد چراغ راهنمای مورد نیاز شصت عدد است.

جدول شمارهٔ (۲): ظرفیت تأمین‌کننده‌ها برای تولید هر قطعه

تأمین‌کننده‌ها	قطعات		
	C1	*C2*	*C3*
S1	۳۸	۴۵	۶۰
S2	۳۵	۴۰	۵۳
S3	۳۲	۵۲	۵۷

جدول شمارهٔ (۳): هزینهٔ ساخت و حمل هر قطعه از تأمین‌کننده‌ها به کارخانه‌ها

تأمین‌کننده‌ها	قطعات	هزینهٔ ساخت هر قطعه	کارخانه‌ها				
			P1	P2	P3	P4	P5
S1	C1	۱۱۰	۱۰	۱۳	۸	۱۱	۱۵
	C2	۲۰۰	۶	۷	۵	۸	۴
	C3	۹۰	۳	۴	۵	۴	۵
S2	C1	۸۰	۱۷	۱۴	۱۲	۱۲	۱۵
	C2	۱۵۰	۶	۵	۷	۵	۷
	C3	۲۱۰	۶	۶	۵	۶	۴
S3	C1	۱۲۵	۱۳	۱۲	۱۴	۱۱	۹
	C2	۷۵	۶	۵	۳	۴	۵
	C3	۲۹۰	۳	۶	۳	۲	۳

جدول شمارهٔ (٤): ظرفیت کارخانه‌ها، هزینهٔ ثابت کارخانه‌ها، هزینهٔ ساخت و حمل هر محصول از کارخانه‌ها به مشتری

کارخانه‌ها	ظرفیت	هزینهٔ ثابت باز بودن یک کارخانه	هزینهٔ ساخت هر چراغ راهنما	هزینهٔ حمل از کارخانه به مرکز مشتری
P1	۲۳	۳۵۰۰	۱۸۵۰	۷
P2	۱۵	۲۱۰۰	۲۲۷۰	۱۲
P3	۲۷	۷۰۰	۳۱۰۰	۸
P4	۳۰	۴۱۰۰	۱۹۰۰	۱۰
P5	۲۱	۱۸۰۰	۲۵۴۰	۹

پس از حل مسئله با الگوریتم شبیه‌سازی تدریجی به این جواب رسیدیم که در صورت باز بودن کارخانه‌های ۱ و ۲ و ۴ هزینهٔ کل بهینه می‌شود. با باز بودن این سه کارخانه، هزینهٔ کل ۱۸۰۷۷۴۰۰ تومان می‌شود؛ تخصیص قطعات از تأمین‌کننده‌ها به کارخانه‌ها و از کارخانه‌ها به مشتری در جدول شمارهٔ (۵) آورده شده است.

جدول شمارهٔ (۵): تخصیص قطعات و چراغ‌های راهنما

کارخانه‌ها	قطعات	تأمین‌کننده‌ها			مشتری
		S1	S2	S3	
P1	C1	۲۳	۰	۰	۲۳
	C2	۲۳	۰	۰	
	C3	۲۳	۰	۰	
P2	C1	۹	۹	۰	۷
	C2	۱۸	۰	۰	
	C3	۱۸	۰	۰	
P3	C1	۰	۲۶	۴	۳۰
	C2	۱۱	۱۹	۰	
	C3	۱۶	۱۴	۰	

تحلیل حساسیت

در این قسمت می‌خواهیم مسئله را به حالت‌های دیگر حل کنیم، هزینهٔ کل را به دست آوریم و با جواب بهینه مقایسه کنیم. ابتدا می‌خواهیم کارخانه‌های باز را عوض کنیم و سه

کارخانهٔ دیگر را باز کنیم. فرض می‌کنیم سه کارخانهٔ ۲ و ۳ و ۵ باز است. پس از حل مسئله، مقدار هزینهٔ کل برابر ۲۱۰۲۷۴۰۰ شد، که از هزینهٔ بهینه بیشتر است؛ جدول تخصیص قطعات و محصولات آن هم در جدول شمارهٔ (۶) آمده است.

جدول شمارهٔ (٦): تخصیص قطعات و محصولات

کارخانه‌ها	قطعات	تأمین‌کننده‌ها			مشتری
		S1	S2	S3	
P2	C1	۱۸	۰	۰	۲۳
	C2	۱۸	۰	۰	
	C3	۱۸	۰	۰	
P3	C1	۱۴	۱۳	۰	۷
	C2	۲۷	۰	۰	
	C3	۲۷	۰	۰	
P5	C1	۰	۲۱	۰	۳۰
	C2	۷	۱۴	۰	
	C3	۱۲	۹	۰	

پس از حل مسئله با باز بودن کارخانه‌های دیگر هزینهٔ کل بیشتر می‌شود. در واقع در همهٔ حالات با باز کردن هر سه کارخانهٔ دیگر هزینهٔ کل از هزینهٔ بهینه بیشتر می‌شود.

اکنون می‌خواهیم مسئله را طوری حل کنیم که چهار کارخانه باز باشد و هزینهٔ کل را بیابیم. پس از حل مسئله مقدار هزینهٔ کل برابر ۲۷۳۵۵۶۰۰ شد، که از هزینهٔ بهینه بیشتر است؛ جدول تخصیص قطعات و محصولات آن هم در جدول شمارهٔ (۷) آمده است.

جدول شمارهٔ (۷): تخصیص قطعات و محصولات

کارخانه‌ها	قطعات	تأمین‌کننده‌ها			مشتری
		S1	S2	S3	
P1	C1	۲۳	۰	۰	۲۳
	C2	۲۳	۰	۰	
	C3	۲۳	۰	۰	
P2	C1	۱۵	۳	۰	۷
	C2	۱۸	۰	۰	
	C3	۱۸	۰	۰	

کارخانه‌ها	قطعات	تأمین‌کننده‌ها			مشتری
		S1	S2	S3	
P3	C1	۰	۲۷	۰	۳۰
	C2	۴	۲۳	۰	
	C3	۱۹	۸	۰	
P4	C1	۰	۵	۲۵	۰
	C2	۰	۱۷	۲۳	
	C3	۰	۳۰	۰	

دیدیم که با باز کردن چهار کارخانه هزینهٔ کل از هزینهٔ بهینه بیشتر شد؛ در حالی که از کارخانهٔ چهارم هیچ استفاده‌ای نشد و فقط هزینهٔ ثابت باز کردن اضافه پرداخت کردیم.

فرجام

هدف از این تحقیق معرفی شبکهٔ زنجیرهٔ تأمین برای قطعات مورد نیاز پلیس راهنمایی و رانندگی به منظور کاهش هزینه‌هاست. در این مقاله، با ارائهٔ مثالی عددی نشان دادیم که، با باز نگه داشتن حداقل کارخانه‌ها به گونه‌ای که تمام نیازهای مشتری برآورده شود، هزینهٔ کل حداقل می‌شود. در تحلیل حساسیت مسئله به این موضوع رسیدیم که، اگر غیر از کارخانه‌هایی که در جواب بهینه به آن‌ها رسیدیم کارخانه‌ای دیگر باز کنیم، هزینهٔ کل افزایش می‌یابد. همچنین اگر هر سه کارخانهٔ دیگر، غیر از سه کارخانهٔ بهینه، باز باشد هزینهٔ کل افزایش می‌یابد. سرانجام، با حل این الگو پلیس راهنمایی و رانندگی می‌تواند هزینهٔ کل تأمین قطعات مورد نیاز خود را حداقل کند.

همچنین در آینده می‌توان شبکهٔ زنجیرهٔ تأمین دیگر قطعات مورد نیاز پلیس را، به صورتی که هزینه‌های کل کاهش یابد، طراحی کرد؛ یا می‌توان شبکه را طوری طراحی کرد که مکان‌یابی تأمین‌کننده‌ها و کارخانه‌ها را هم در نظر بگیریم.

منابع:

الف- منابع لاتین

Latha Shankar A. B., Basavarajappa, S., Chen, J. C. H., & Kadadevarmath, R. S. (2013). Location and Allocation Decisions for Multi-echelon Supply Chain Network –A Multi-objective Evolutionary Approach. *Expert System with Applications,* 40(2), 551-562.

Liu, S. C., & Lee, S. B. (2003). A Two-phase Heuristic Method for the Multi-depot Location Routing Problem Taking Inventory Control Decisions into Donsideration. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology,* 22(11), 941–950.

Liu, S. C., & Lin, C. C., (2005). A Heuristic Method for the Combined Location, Routing and Inventory Problem. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology,* 26(4), 372–381.

Ma, Z., Dai, Y., Li, H., & Wang, C. (2008). A Fuzzy Location-Routing-Inventory Problem in Logistics Distribution Systems, Logistics: The Emerging Frontiers of Transportation and Development in China, *Logistics*, pp. 2728-2733.

Sajjadi, H., & Davoudpour, H. (2012). Two-echelon, Multi-commodity Supply Chain Network Design with Mode Selection, Lead-times and Inventory Costs. *Computers & Operations Research,* 39(7), 1345-1354.

Sajjadi, S. R. (2008). *Integrated Supply Chain: Multi Products Location Routing Problem Integrated with Inventory under Stochastic Demand,* Ph.D. Dissertation, URI: http://hdl.handle.net/10057/2077

Sajjadi, S. R., & Cheraghi, S. H. (2011). Multi-products Location–routing Problem Integrated with Inventory under Stochastic Demand. *International Journal of Industrial and Systems Engineering,* 7, 454-476.

Shen, Z. J. M., & Qi, L., (2007). Incorporating Inventory and Routing Costs in Strategic Location Models. *Incorporating Inventory and Routing Costs in Strategic Location Models,* 179(2), 372–389.

Wang, C., Ma, Z., & Li, H. (2008). Stochastic Dynamic Location-Routing-Inventory Problem in Closed-loop Logistics System for Reusing End-of-use Products, *Intelligent Computation Technology and Automation (ICICTA), International Conference on Digital Object Identifier,* Vol: 2, 691-695.

Wang, J., Xu, L., Hu, D., & Xuan, D. (2009). Study on the Models and Algorithms of Combined Location, Routing and Inventory Problem, Logistics: The Emerging Frontiers of Transportation and Development in China. *Logistic*s, pp. 881-888.

ب- منابع فارسی

بشیری، مهدی و حسین کریمی (۱۳۸۹). *کاربرد الگوریتم‌های ابتکاری و فرا ابتکاری در طراحی سیستم‌های صنعتی و استفاده از نرم افزار MATLAB در به‌کارگیری آن‌ها*، تهران: دانشگاه شاهد.

زارع مهرجردی، یحیی؛ شاهین برقی و حجت الله مومنی (۱۳۹۰). «به‌کارگیری روش فوق ابتکاری - شبیه‌سازی تبرید تدریجی برای حل مسائل زنجیرهٔ تأمین،» *تحقیق در عملیات و کاربردهای آن*، شمارهٔ ۳۰، صص ۲۴-۱.

علی احمدی، علیرضا؛ سیدامید هاشمی امیری؛ حامد نوذری و سیدطه حسین مرتجی (۱۳۹۱). *ارائه مدل ترکیبی مکان یابی موجودی، مسیریابی برای طراحی شبکه زنجیره‌های تأمین چند سطحی*، نهمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی صنایع، تهران: دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی.