طراحی مدل ریاضی شبکه حمل و نقل شرکت پست جمهوری اسلامی ایران

محمد جواد اصغر پور[1]، سید ذبیح الله هاشمی[2*]

1- دانشیار، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت، تهران، ایران.
2- استادیار، دانشکده مدیریت، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

دریافت: 1383/3/18 پذیرش: 1384/1/24

چکیده

مدلهای بهینه‌سازی از دوران نهضت صنعتی در جهان و بخصوص در آغاز جنگ جهانی دوم همواره مورد توجه ریاضیدانان و دست اندرکاران صنعت بود و بخصوص کاربرد مدلهای مذکور در صنعت و خدمات بعد از جنگ جهانی دوم توسعه یافت. بر همین اساس طراحی مدل ریاضی شبکه حمل و نقل شرکت پست ج.ا.ا. ـ که در عمل به‌واسطه تعدد مسیرهای ارتباطی، تنوع وسایل حمل و نقل و سیستم حمل و نقل غیر بهینه و تنوع مرسولات دارای پیچیدگی خاص خود می‌باشد ـ به‌صورت چند سطحی[1] مطالعه و کنکاش می‌شود.

ابتدا اطلاعات شبکه حمل و نقل به‌صورت ورودی، به سیستم اطلاعات شبکه حمل و نقل پست انتقال داده می‌شوند. پس از محاسبه تابع مطلوبیت سیستم، در قدم اول کوتاهترین مسیر، کمترین زمان و نوع وسیله نقلیه بین دو مرکز پستی (به ازای همj و i ها) پیدا کرد؛ سپس مقدار وزن محمولات به هر یک از مسیرهای انتخاب شده تخصیص داده می‌شود.

بنابراین ضمن مروری بر ادبیات موضوع، تاریخچه حمل و نقل و شبکه‌های حمل و نقل پستی بحث و بررسی می‌شوند و بر اساس روش تحقیق و متدولوژی موضوع، نتایج تحقیق به‌صورت یک مدل ریاضی چند

---

* نویسنده مسؤول مقاله: E-mail: hashemi_sz@yahoo.com

1. multi-level

سطحی همراه با پیشنهادهای مربوط به آن ارائه خواهد شد.

کلید واژه‌ها: تئوری شبکه[1]، مدل چند سطحی[2]، مدل چند وسیله‌ای[3]، الگوریتم[4]، تابع مطلوبیت[5].

1- مقدمه

شبکه حمل و نقل پستی کشور بر اساس تعداد مسیرهای موجود، تنوع وسایل حمل و نقل و مراکز مبادله متعدد، شبکه‌ای پیچیده می‌باشد. شبکه پست تنها یک نمایش هندسی از مسیرهای حمل و نقل نمی‌باشد، بلکه خود گویای سیستم حمل و نقل نیز است.

برنامه‌ریزی حمل و نقل، علم جوانی است که از عمر آن بیش از شصت سال نگذشته است. اولین برنامه‌ریزی حمل و نقل در دهه چهل و در آمریکا صورت گرفت که هدف آن سنجش ترافیک موجود و براورد آن در آینده از طریق تکنیکهای ساده ریاضی بود؛ سپس تحقیقاتی به‌وسیله فرگوسن 1960م. ایروین 1966م.، شپمیلر و گرکو 1967م.، و کاپور 1970م. انجام پذیرفت که تأکید آنها بر حمل و نقل عمومی بود. آنالیز شبکه از مدتها قبل، نقش مهمی در مهندسی برق داشته است.

در دهه‌های اخیر تئوری شبکه و مفاهیم آن در بسیاری از زمینه‌های دیگر به‌کار گرفته شد، موارد استفاده مهم از آنالیز شبکه عبارتند از: تئوری اطلاعات، سایبرنتیک، سیستم حمل و نقل، مدیریت مالی، کنترل موجودی انبار، برنامه‌ریزی تولید و... [1، ص 57].

یک شبکه از تعدادی گره و شاخه تشکیل شده است. گره‌ها نشاندهنده نقاطی می‌باشند که جریان از آن نقاط شروع و یا به آن ختم می‌شود و یا در آن نقاط تغییر می‌کند. شاخه‌ها برای متصل کردن دو گره به یکدیگر به‌کار می‌روند و یک نوع ارتباط بین دو گره را نشان می‌دهند. در چنین شبکه‌هایی، شاخه‌ها می‌توانند نشاندهنده جاده‌ها، خطوط هوایی، سیستمهای تلفن، خطوط لوله، ارسال مرسولات و ... باشند [2، صص 100-250].

در بعضی موارد دیگر، ممکن است شاخه‌ها نشاندهنده ترتیب منطقی فعالیتها و یا تقدم و تأخر آنها باشند. خطوط ارتباطی، شبکه‌های راه آهن، شبکه پست، سیستمهای خطوط لوله مثالهایی از شبکه می‌باشند.

---

1. network theory
2. multi-level model
3. multi-vehicle model
4. floyd-warshall algorithem
5. function utility

شبکه حمل و نقل پست به دلیل استفاده از تنوع وسایل نقلیه، تعدد مسیرهای ارتباطی، وصول و ایصال مرسولات مختلف دارای پیچیدگی خاص خود می‌باشد که ساختار مناسب خود را طلب می‌کند و به همین دلیل نیاز به مدل چند سطحی می‌باشد [3، صص 12-40].

برای طراحی مدل چهار مرحله طی شد که مرحله بهینه‌سازی جامع شبکه در قالب پیشنهاد مطرح گردید. این چهار مرحله عبارتند از:

1- مرحله شناخت ؛

2- مرحله تجزیه و تحلیل آماری وضع موجود؛

3- مدلسازی شبکه حمل و نقل؛

4- اجرای مدل.

2- موضوع پژوهش

2-1- هدف پژوهش

فعالیتهای شرکت پست در امر ارسال مرسولات از چهار جزء اصلی شامل مراحل قبول، تجزیه، رهسپاری(حمل و نقل)، توزیع می‌باشد. موضوع تحقیق اگرچه بی‌ارتباط با سه مرحله دیگر نمی‌باشد ولی در خصوص حمل و نقل شبکه پستی می‌باشد. از آنجایی‌که حمل و نقل مرسولات زمان توزیع را تسریع می‌کند و تأثیر بسزایی در جلب رضایت مشتری و کاهش هزینه دارد، لذا توجه به شبکه حمل و نقل از ویژگی خاص خود برخوردار می‌باشد.

شبکه حمل و نقل پست را می‌توان با مشخص‌کردن چهار خصوصیت زیر تعریف کرد:

1- وزن محمولات ارسالی از هر مرکز پستی به هر مرکز پستی دیگر؛

2- وسایل حمل و نقل موجود در شبکه و ظرفیت آنان؛

3- زمان سیر بین مراکز پستی؛

4- مسیرهای ارتباطی (هوایی ـ دریایی ـ زمینی) بین مراکز پستی.

بنابراین شبکه حمل و نقل پست به دلیل استفاده از منابع حمل و نقل متنوع و مراکز مبادله قابل توجه و مسیرهای ارتباطی مختلف بسیار پیچیده است. در این صورت تعریف و محاسبه تابع مطلوبیت و پیدا کردن کمترین زمان، کوتاهترین مسیر و همچنین مشخص کردن نوع وسیله نقلیه می‌تواند کمک قابل توجهی به مدیران پست کند.

2-2- مسأله پژوهش

مسأله پژوهش عبارت است از اینکه باید از چه مسیری و در چه زمانی (از شبانه روز) و به‌وسیله کدام وسیله حمل و نقل، چه وزنی از محمولات بین هر دو مرکز پستی (به ازای همه j و i ها) حمل شود تا:

الف) زمان حمل و نقل تعیین شده از طرف مدیریت رعایت شود؛

ب) تمام محمولات از مبدأ به مقصد برسند؛

ج) با رعایت زمان تعیین شده به‌وسیله مدیریت کمترین هزینهٔ حمل و نقل به‌دست آید.

همان‌طور که از صورت مسأله پیدا است، دو معیار زمان و هزینه در تعیین شبکه بهینه مدنظر است. از نظر مدیریت، زمان نسبت به هزینه اولویت بالاتری دارد؛ زیرا که جلب اعتماد مشتریان ناشی از توجه به زمان مناسب حمل و نقل است. بعلاوه تعیین زمان حمل و نقل موضوعی مدیریتی است که شاید مدیریت بخواهد سرویسهای متنوع به مشتریان ارائه کند و برای هر یک از خدمات هزینه خاص را درخواست کند.

مدیریت می‌تواند تنوع خدمات را بیشتر کند. در نتیجه این سیستم بهینه‌سازی است که باید قادر باشد تا مشخصات هر شبکه را به‌نحوی که در صورت مسأله تبیین شود، مشخص کند. لذا باید سیستمی طراحی کرد تا قادر به جوابگویی برای موارد ذیل باشد تا خواسته مدیریت برآورده شود:

1- سیستم باید قادر باشد تا اضافه یا حذف مراکز پستی را در نظر بگیرد.

2- تغییر در شبکه ارتباطی نباید سیستم را غیر قابل استفاده کند.

3- سیستم بهینه سازی قادر باشد تا انواع مختلف وسایل حمل و نقل را که شاید فعلاً در شبکه نباشد، بررسی کند و نسبت به آنالیز حساسیت اقدام کند تا پایداری جواب در دست (شبکه حمل ونقل) برای مدیریت مشخص شود.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

3- مبانی نظری

برنامه‌ریزی حمل و نقل علم جوانی است که از عمر آن بیش از شصت سال نگذشته است. لازم به ذکر است اولین برنامه‌ریزی حمل و نقل در دهه چهل در آمریکا صورت گرفت که هدف آن سنجش ترافیک موجود و براورد آن در آینده از طریق تکنیکهای ساده ریاضی بود [4، صص 97-101].

تحقیقات دیگری نیز به‌وسیله فرگوسن 1960م.[1]، ایروین 1966م.[2]، پرازیچ و فیمشن 1966م.[3]، سوبورمن 1966م.[4]، هیل 1966م.[5]، شپمیلر و گرکو 1967م.[6]، و کاپور 1970م.[7] انجام پذیرفت که تأکید آنها برحمل و نقل عمومی بود [5، صص 261-269].

مسأله برنامه‌ریزی حمل و نقل مسأله پیچیده‌ای است و نیازمند در نظر گرفتن ابعاد بی‌شمار است . به‌این خاطر به این مسائل « مسائل چند هدفی » گفته می‌شود. مانهایم در این مورد چنین می‌گوید:

پیش‌بینی حمل و نقل یک هدف نهایی نیست بلکه وسیله‌ای است. هدف حمل و نقل نیل به اهداف دیگر اجتماع است. بنابراین امکانات حمل و نقل در نهایت باید در رسیدن به اهداف عمومی‌تر اجتماع ارزیابی شود [6، صص 437-456].

مسأله حمل و نقل و توزیع اولین بار به‌وسیله کانترویچ[8] در سال 1939م. مطرح شد. در سال 1941م. هیچکاک[9] یک فرمول ریاضی که امروزه به‌طور استاندارد از آن استفاده می‌شود و به مسأله هیچکاک موسوم است، ارائه کرد. در سال 1947 نیز کوپمن[10] در این زمینه تحقیقاتی انجام داد [1، ص 57].

مدلهای شبکه شامل مدل ارسال ماکزیمم کالا، مدل حداکثر ارزش حاصل از ارسال کالا از یک شبکه ، مدل حداقل هزینه حاصل از ارسال کالا، مدل کوتاهترین مسیر عبور از یک شبکه از جمله مطالعاتی است که به‌وسیله صاحبنظران علم پژوهش صورت گرفته است [7، صص 1-310؛ 8، صص 1-178؛ 9، صص 8-294؛ 10، صص 76-270؛ 11، صص 151-200؛ 12، صص 337-371].

در سالهای اخیر، یعنی 1988م. و 2001 م. آقای لاپورته[11] دومقاله در خصوص الگوریتمی برای طراحی مسیرهای جمع‌آوری صندوقهای پستی در مناطق شهری و مسائل مسیریابی در خصوص انتقال مرسولات پستی ارائه داد [13، صص 271-280؛ 14، صص 1-28].

---

1. Fergusen
2. Irwin
3. Peradzich and Fishman
4. Suberman
5. Hill
6. Shepmiller and Gerco
7. Kapour
8. I.V.Kantorovitch
9. Hitchcoch
10. T.C.Koopmans
11. Laporte

در سال 2000م.، آقای وانگ[1] در خصوص تابع مطلوبیت حمل و نقل، تحقیقاتی انجام داد که منجر به محاسبه مطلوبیت کل حمل و نقل شد [15، صص 1-8].

4- متدولوژی (روش تحقیق)

متدولوژی پس از بازنگریهای لازم به شرح ذیل تدوین شد:

الف) شناخت وضعیت موجود شبکه حمل و نقل پست کشور و شناسایی عوامل مؤثر در بهینه‌کردن این شبکه. تکنیکهای استفاده شده عبارتند از:

1- مصاحبه با کارشناسان فنی شرکت پست؛

2- بازدید از مراکز مکانیزه پستی؛

3- ثبت مشاهدات؛

4- جمع آوری نمونه‌های آماری؛

5- تجزیه و تحلیل آماری اطلاعات جمع‌آوری شده با نرم افزارstatgraph؛

6- محاسبه هزینه‌های مربوط به وسایل مختلف حمل و نقل؛

ب) تدوین روش بهینه‌سازی که شامل مدلهای ذیل می‌باشند:

1- تعریف و محاسبه تابع مطلوبیت،

2- ارائه مدل k تا کوتاهترین مسیرها. در شبکه (به ازای کلیه i , j ها)؛

3- تخصیص محمولات به وسایل در شبکه؛

4- تهیه سیستم کامپیوتری.

5- مدلسازی

مدلسازی شبکه حمل و نقل پستی کشور به شرح زیر تهیه و ارائه می‌شود:

1- تعریف و محاسبه تابع مطلوبیت [15، صص 1-8 ؛ 16، صص 1-388 ؛ 17، صص 1-22] ؛

2- ارائه مدل k تا تعیین کوتاهترین مسیرهای حمل و نقل بین هر دو گره (مرکز مبادله) شبکه [7، ص 126؛ 17،ص 2]؛

3- تخصیص حجم محمولات پستی به وسایل حمل و نقل [18، صص 60-115]؛

4- مدل تعین زمانبندی تردد وسایل حمل و نقل (پیشنهاد).

---

1. Wang

مدلهای فوق به شکل سلسله مراتبی و بترتیب ارائه شده حل می‌شوند. خروجی یک مدل ورودی برای مدل بعدی است تا اینکه به جواب نهایی (بهینه) برسد. ورودی مدل دوم علاوه بر اطلاعات مدل یک ، آماری است که در ارتباط با شبکه روی فایل Master ذخیره می‌شود و مدل دو این اطلاعات را از روی این فایل می‌تواند بخواند و یا اینکه به صورت دستی در سیستم اطلاعات شبکه حمل و نقل پست قابل تعریف می‌باشد. جدول 1 نمونه‌ای از این اطلاعات را برای استفاده از مدل شماره دو نشان می‌دهد.

جدول 1 زمان طی مسیر در شبکه بین نقاط پستی بدون نقطه واسطه (ساعت)[1]

شهر مبدأ	شهر مقصد	هما	کامیون	وانت	قطار	هواپیمایی پست
زاهدان	زنجان	99	99	99	99	99
کرمان	یزد	99	7	99	99	99
یزد	تهران	1	10	99	99	99
یزد	مشهد	2	99	99	99	99

در جدول مذکور زمان پیش‌بینی شده حرکت وسیله نقلیه از روی فایل به‌صورت دستی وارد سیستم می‌شود. عدد 99 در جدول بیانگر این است که در مسیر وسیله مذکور یا تردد نمی‌کند (گره وجود دارد) یا فعلاً امکان استفاده از آن نمی‌باشد و اعداد کوچکتر بیانگر زمان طی مسیر وسیله نقلیه است.

6- تعریف تابع مطلوبیت

در این مرحله برای اینکه تابع مطلوبیت U(T,C) تعریف شود، با توجه به اخذ نظر از سی نفر DM[2] دو گزینه مهم شامل: 1ـ زمان: time =T؛ 2ـ هزینه: cost=c. با توجه به شاخصهای تعیین‌کننده هر یک از گزینه‌ها معین و انتخاب شدند، سپس بر اساس تکنیک ریاضی[3] نسبت به تعریف تابع مطلوبیت مبادرت شد [7، ص 3؛ 15، ص 2؛ 17، ص 7]. برای این منظور قدمهای زیر بترتیب

---

1. مستند به گذرنامه و شناسنامه حمل و نقل شرکت پست ج.ا.ا.

2. Decision Maker
3.curve fitting

صورت گرفت.

6-1- تعیین گزینه‌ها با توجه به شاخصهای مؤثر

با توجه به نظر DM دو گزینه با توجه به شاخصهای مؤثر به‌شرح ذیل مشخص شد.

الف- زمان (کیفیت پوشش و توپوگرافی، بسته‌بندی، آسیب‌پذیری، وضعیت ترافیک، میزان رضایت مشتری و نوع سرویس، ...) (T)؛

ب- هزینه (کیفیت پوشش و توپوگرافی، بسته‌بندی، آسیب‌پذیری، وضعیت ترافیک، میزان رضایت مشتری و نوع سرویس، ...) (C).

6-2- محاسبه تابع مطلوبیت

برای محاسبه تابع مطلوبیت U(T,C) بر اساس فرم تابع مطلوبیت، شرایط استقلال، آقایان Keeney و Raiffa که معروفترین روش عملی براورد از تابع مطلوبیت است، استفاده شد [7، ص 126؛ 17، ص 5؛ 18، صص 60-115؛ 19، صص 305-324].

6-3- تعیین چند راه اصلی برای اخذ نظر DM

برای انتخاب مسیرهای اصلی چندین مسیر اصلی به‌شرح ذیل انتخاب شد تا نظر DM در مورد میزان مطلوبیت هر یک از راهها از وی اخذ شود، مسیرهای اصلی عبارتند از:

مسیر 1: تهران ـ بندر عباس ← هوایی (هما)

مسیر 2: تهران ـ یزد ـ کرمان ـ بندرعباس ← زمینی

مسیر 3: تهران ـ شیراز ـ بندرلنگه ـ بندرعباس ← زمینی

مسیر 4: تهران ـ بوشهر ـ بندرعباس ← زمینی

مسیر 5: تهران ـ بندرعباس ـ هوایی (پیام)

مسیر 1: تهران ـ بوشهر ← هوایی

مسیر 2: تهران ـ شیراز ـ بوشهر ← زمینی

مسیر 3: تهران ـ کرمان ـ بندرعباس ـ بوشهر ← زمینی

مسیر 4: تهران ـ شیراز ـ بندر لنگه ـ بوشهر ← زمینی

مسیر 5: تهران ـ بوشهر ← هوایی (پیام)

مسیر 1: تهران ـ مشهد ← هوایی

مسیر 2: تهران ـ سمنان ـ مشهد ← زمینی

مسیر 3: تهران ـ فیروزکوه ـ ساری ـ مشهد ← زمینی

مسیر 4: تهران ـ آمل (هراز) ـ ساری ـ مشهد ← زمینی

مسیر 5: تهران ـ مشهد ← هوایی (پیام)

6-4- استفاده از قضیه keeney و Raiffa برای محاسبه U(T,C)

از آنجایی‌که مطلوبیت T و C مستقل از هم فرض شدند، با چنین فرضی قضیه مذکور در محاسبه (T,C) به‌صورت زیر مصداق پیدا می‌کند [7، ص 56؛ 20، صص 36-47].

$$U(T,C) = U(T,C^o) + U(T^o,C) + \alpha U(T,C^o) \times U(T^o,C)$$

به‌طوری‌که ثابت α از رابطه زیر حاصل می‌شود:

$$\alpha = \frac{U(T,C) - U(T,C^o) - U(T^o, C)}{U(C,T^o) \times U(T,C^o)}$$

6-5- ارزیابی یک تابع مطلوبیت شرطی برای $T, C^o=a$

برای این منظور و اینکه کدامیک از دو گزینه زمان و هزینه (در مرحله یک با فرض ثابت بودن هزینه) و یا ترکیبی از آن دو در مسیرهای اصلی برای DM اهمیت دارد و میزان اهمیت هر یک چه میزان باشد، در هر مسیر اصلی نظر DM ها اخذ شد. در ضمن چون تعداد DM زیاد می‌باشد چنانچه نظر مشابه داشته باشند، میانگین نظرهای آنان اعمال شد. (مبنای پاسخگویی DM براساس مقیاس فاصله‌ای می‌باشد).

چنانچه به‌طور دلخواه، مبدأ و واحد اندازه‌گیری برای u1(T,0) به‌صورت زیر تعریف شود.

$$\begin{cases} u_1(0,0) = 0 \\ u_1(1,0) = 0/20 \end{cases} \quad \begin{cases} u_1(3,0) = 0/40 \\ u_1(5,0) = 0/60 \end{cases} \quad \begin{cases} u_1(7,0) = 0/80 \\ u_1(9,0) = 1 \end{cases}$$

لذا با توجه به محاسبه امید ریاضی خواهیم داشت:

$u_1(7,0) = 0/5$	$u_1(5,0) = 0/4$	$u_1(1,0) = 0/2$	$u_1(3,0) = 0/7$	$u_1(3,0) = 0/4$
$u_1(7,0) = 0/8$	$u_1(7,0) = 0/5$	$u_1(5,0) = 0/2$	$u_1(5,0) = 0/4$	$u_1(1,0) = 0/2$
$u_1(3,0) = 0/4$	$u_1(1,0) = 0/1$	$u_1(5,0) = 0/6$	$u_1(5,0) = 0/5$	$u_1(3,0) = 0/7$
$u_1(3,0) = 0/7$	$u_1(5,0) = 0/5$	$u_1(7,0) = 0/5$	$u_1(7,0) = 0/7$	$u_1(5,0) = 0/6$
$u_1(3,0) = 0/4$	$u_1(5,0) = 0/6$	$u_1(3,0) = 0/3$	$u_1(1,0) = 0/2$	$u_1(5,0) = 0/6$
$u_1(3,0) = 0/4$	$u_1(5,0) = 0/7$	$u_1(3,0) = 0/4$	$u_1(3,0) = 0/4$	$u_1(7,0) = 0/7$

به‌طور مثال چنانچه بخواهیم نحوه محاسبه $u1(7,0)$ را داشته باشیم، عبارت است از:

$$u_1(7,0) = 1/2u_1(9,0) + 1/2(0,0) = 0/5$$

بنابراین بر اساس تکنیک منحنی برازش و نقاط ترسیمی روی محور مختصات یک تابع نمایی[1] به‌صورت زیر استخراج شد [16، ص 36].

$$u_1(T,0) = 0/645(1 - e^{-0/390t})$$

همان‌طوری‌که ملاحظه می‌شود تابع $u_1(T,0)$ مقعر، محتاطانه و به‌طور یکنواخت افزایشی است.
مشابه بند قبل برای محاسبه $u_2(O,C)$ با استفاده از سوالاتی از DM محاسبه‌های لازم صوت گرفت.
با فرض مبدأ و واحد اندازه گیری به‌صورت زیر:

$$\begin{cases} u_2(0,0) = 0 \\ u_2(0,1) = 0/20 \end{cases} \qquad \begin{cases} u_2(0,3) = 0/40 \\ u_2(0,5) = 0/60 \end{cases} \qquad \begin{cases} u_2(0,7) = 0/80 \\ u_2(0,9) = 1 \end{cases}$$

و پاسخهای دریافتی از DM، تابع متناسب عبارت است از:

$$u(0,c) = 0/780(1 - e^{-0/242c})$$

بعد از مشخص شدن u_1, u_2 برقراری یک مقیاس سازگار از $u1(T,0)$ و $u_2(0,C)$ به‌عنوان $U(T,C)$ با سؤال از DM، در خصوص بی تفاوتی از دو گزینه زمان و هزینه، نتیجه ذیل حاصل شد.

$$(T,C) \approx (5,0) \approx (0,3)$$

1.Exponancial

در ادامه برای محاسبه واحد اندازه گیری جدید به تعاریف زیر پرداخته شد.

$$\begin{cases} u(0,0)=0 \\ u(9,9)=1 \end{cases} \longrightarrow \begin{cases} u(9,0)=B_1 \\ u(0,9)=B_2 \end{cases}$$

مبدأ اندازه گیری همچنان بدون تغییر به‌شرح ذیل باقی می‌ماند.

$$\begin{cases} u_1(9,0)=1 \\ u(9,9)=1 \\ u(9,0)=B_1 \end{cases} \longrightarrow \begin{cases} u(T,0)=B_1u_1(t,0) \\ u(0,C)=B_2u_2(0,C) \end{cases}$$

با توجه به درنظر گرفتن بی تفاوتی DM از $\{(0,3) \sim (5,0)\}$ خواهیم داشت:

$$u(5,0)=u(0,3)$$

و لذا:

$$B_1u_1(5,0)=B_2u_2(0,3)$$

چون $u_2(0,3)=0/40$، در این صورت

$$B_1u_1(5,0)=0/40B_2$$

همچنین داریم:

$$u_1(5,0)=0/645(1-e^{-0/390(5)})=0/56$$

بنابراین:

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

$$0/40B_2 = 0/56\ B_1$$
$$B_2 = 1/4\ B_1$$

برای محاسبه U(T,C) خواهیم داشت:

$$U(T,C) = U(T,0) + U(0,C) + \frac{u(9,9) - U(9,0) - u(0,9)}{u(9,0) \times u(0,9)}$$
$$U(T,0) \times U(0,C)$$

$$U(T,C) = B_1U_1(T,0) + B_2U_2(0,C) + \frac{1 - B_1 - B_2}{B_1 \times B_2} \times B_1U_1(T,0) \times B_2U_2(0,C) =$$
$$0/645B_1(1 - e^{-0/390t}) + 0/780B_2(1 - e^{-0/242c}) + (0/645)(0/780)$$
$$(1 - B_1 - B_2)(1 - e^{-0/390t})(1 - e^{-0/242c})$$

با توجه به اینکه $B_2 = 1/4B_1$، تنها پارامتر مجهول در تابع فوق عبارت است از B1. در این صورت به منظور محاسبه B1 از DM سؤال شد که نتیجه آن عبارت است از:

$$u(5,1) = 1/2u(9,9) + 1/2u(0,0) = 0/5$$

بنابراین خواهیم داشت:

$$U(T,C) = U(5,1) = 0/5 = 0/645B_1(1 - e^{-0/390(5)}) + 0/780B_2(1 - e^{-0/242(1)}) +$$
$$(0/645)(0/780)(1 - B_1 - B_2)(1 - e^{-0/390(5)})(1 - e^{-0/242(1)})$$

با قرار دادن $B_2 = 1/4B_1$ در رابطه، $B_1 = -0/27$ به‌دست می‌آید و در نتیجه برای U(T,C) داریم:

$$U(T,C) = -0/18(1 - e^{-0/390t}) - 0/29(1 - e^{-0/242c}) + 1/648(1 - e^{-0/390t})(1 - e^{-0/242c})$$

که اگر تابع زمان (T= t) و هزینه (C = c) جایگزین شود، خواهیم داشت:

$$U(T,C) = -0/18(1-e^{-0/390t}) - 0/29(1-e^{-0/242c}) + 1/648(1-e^{-0/390t})(1-e^{-0/242c})$$

در این صورت پس از حل تابع غیر خطی بالا، نتیجه در قالب میزان مطلوبیت $u^{\circ}(T,C)$ به‌شرح ذیل می‌باشد [16، صص 1-388]:

$$X^{0} = (7,3)$$
$$u^{0}(T,C) = 0/476$$

بنابراین می‌توان با محاسبه تابع مطلوبیت، مناسبترین گزینه را انتخاب و همچنین اولویت بعدی را تشخیص داد. لازم به ذکر است که می‌توان تعداد گزینه‌ها و همچنین شاخصهای مؤثر آن را به تعداد n مورد افزایش داد. همچنین می‌توان این روش را برای محاسبه مطلوبیت گزینه زمان با عوامل تشکیل دهنده و گزینه هزینه با عوامل تشکیل دهنده آن و سایر گزینه‌ها انجام داد و بر اساس مطلوبیت محاسبه شده، اهمیت هر یک را مشخص و قضاوت کرد. بنابراین بر اساس اینکه از نظر DM با توجه به براورد تابع مطلوبیت کدامیک از گزینه‌ها یا شاخصها دارای اهمیت بالاتری می‌باشند، می‌توان از آن در مدل k تا کوتاهترین مسیر استفاده کرد.

7- مدل تعیین K تا کوتاهترین مسیر[1]

در مدلسازی شبکه حمل و نقل که از چند نوع وسیله برای انتقال استفاده می‌شود، این مدل، مبنای کار برای برداشتن قدمهای بعدی است و نتیجه نهایی به قابلیتهای آن بسیار حساس می‌باشد.

تعیین کلیه مسیرهای ممکن بین دو گره در شبکه بر حسب نوع وسیله، اولویت و سقف زمان سیر مهمترین هدف این مدل می‌باشد.

الگوریتمهای اشاره شده در مبانی نظری تحقیق و Floyd Warshall از جمله روشهای یافتن کوتاهترین مسیر می‌باشند که توجهی به نوع وسیله حمل ندارند. تعیین مسیرها در شبکه‌ای که کمانهای متعدد با زمانهای مختلف بین دو گروه i و j وجود دارد، با روشهای فوق فقط در قالب مدل multi-vehicle امکانپذیر است [3، ص 22؛ 7، ص 126؛ 19، ص 312؛ 21، صص 70-143؛ 22، صص 200-280].

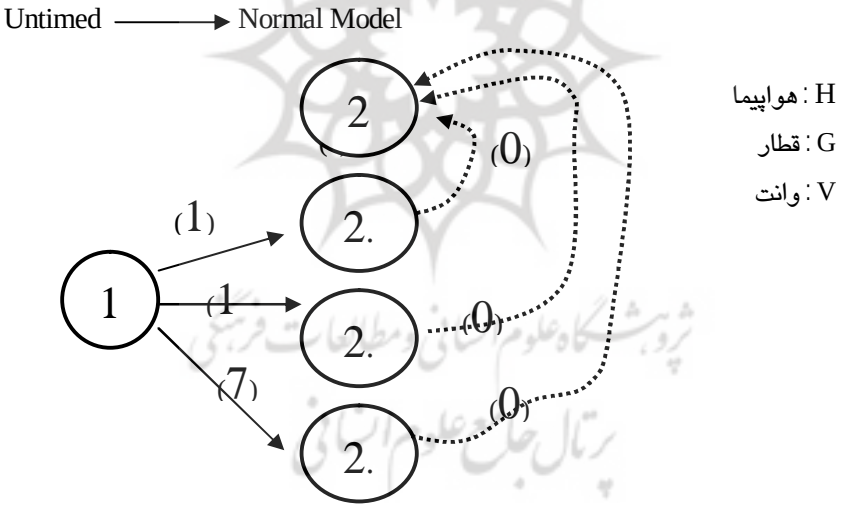
---

1. K-the shortest path model

لذا مدل زیر با تغییرات لازم و با توجه به جنبه کاربردی آن و بـا رعایـت شاخـصهای فـوق و مفروضات ذیل به دلیل نیاز شبکه پست طراحی و ارائه شده است.

7-1- فرض مدل

در این فرض زمان، مسافت و هزینه از قبل پیش‌بینی شده‌اند و پاسخ مسأله به‌صورت نرمال خواهد بود. بنابراین برای حرکت از نقطه مبدأ به نقطه مقصد ممکن است چندین نوع وسیله (هواپیما، قطار، وانت ، ...) وجود داشته باشد که به هر صورت یک وسیله با کمترین زمان، کمترین مسافت و کمترین هزینه انتخاب و بقیه nodeها به‌صورت مجازی با مقدار صفر به node انتخاب شده وصل می‌شوند. البته همان‌طوری که عنوان شد، این نکته قابل ذکر است که در فرض مذکور قبلاً پیش‌بینـی لازم در کلیه مسیرها برای انتخاب نوع وسیله انجام شده است و نمی‌توان به محض رسیدن به یـک مقـصد واسطه هر وسیله‌ایی را که اراده شد، انتخاب و سپس طی مـسیر کـرد [23، صـص 256-269؛ 24، صص 98-372].



7-2- الگوریتم پیشنهادی بر اساس Floyd – Warshall

7-2-1- الگوریتم ریاضی

همان‌طوری‌که عنوان شده، در الگوریتم Floyd تک وسیله‌ای، فقط یک وسیله بر اساس زمان / مسافت / هزینه یا ترکیبی از زمان و هزینه می‌تواند مورد ملاحظه قرار گیرد و بر اساس آن بهترین وضعیت (زمان و مسیر) محاسبه شود، ولی آنچه در روش مذکور مورد محاسبه و ملاحظه قرار نمی‌گیرد، عبور وسایل مختلف از نقطه j به i می‌باشد که در دنیای واقعی وجود دارند. اگر چه براساس بررسی صرفاً یک وسیله یا حداقل زمان / مسافت / هزینه عبور خواهد کرد، ولی الگوریتم کلیه وسایل موجود را تحت بررسی دارد [17، ص 6؛ 25، صص 311-320 ؛ 26، صص 122-130].

از نکات قابل توجه مدل که منجر به ارائه الگوریتم می‌شود، عبور K تا وسیله از نقطه j به i می‌باشد که از بین وسایل مختلف عبوری، زمان / مسافت / هزینه مورد نظر وسیله‌ای که از بقیه کمتر می‌باشد انتخاب و سپس بر اساس الگوریتم حل می‌شود [7، ص 126؛ 25، صص 311-320؛ 26، صص 122-130].

قدمهای الگوریتم ریاضی [22، ص 212؛ 27، صص 60-150؛ 28، صص 97-133]:

1- برای محاسبه کمترین زمان ⟵ $d^{\circ}(i, j) = d_{ij} \rightarrow \forall\, i, j$

برای محاسبه کوتاهترین مسیر ⟵(به‌طوری‌که) $i \in \Gamma i$ ⟵(به‌طوری‌که) $\theta(i, j) = i$

2- k به ازای همه node و $(K = 1,2,\dots, n)$ اجرا می‌شود.

برای همه $i \neq k$ با $d^{k-1}(i,k) \neq \infty$ و همه j ها، $j \neq i$ با $d^{(k-1)}(k,j) \neq \infty$

اگر $a = d^{(k-1)}(i,k) + d^{k-1}(k,j) < d^{(k-1)}(i,j)$، آنگاه قرار می‌دهیم:

$$d^{(k)}(i,j) = a \;, \quad \rightarrow \quad \theta(i,j) \leftarrow \theta(k,j)$$

در غیر این صورت قرار می‌دهیم:

$$d^{k}(i, j) = d^{(k-1)}(i, j)$$

7-2-2- الگوریتم کامپیوتری

از آنجایی‌که امکان محاسبه d (i,j) به ازای کلیه زوجهای i, j به‌صورت دستی میسر نمی‌باشد؛ در این صورت الگوریتم حل آن با توجه به منطق ریاضی مذکور برای چند وسیله طراحی که به صورت زیر تعیین می‌شود، سپس بر اساس الگوریتم مذکور نسبت به تهیه نرم افزار با زبان برنامه نویسی C++ اقدام شد [22، ص 215؛ 23، صص 256-269؛ 29، ص 157].

7-3- قدمهای الگوریتم کامپیوتری

```
Function: Modified-Model (L [1.....nk,.....n]) : array [2.....n]
For j ← 1 to n do
    array   D   (2 --------n)
    array   P   (2 --------n)
    array   V   (2 --------n)
    {initialization}
        C ← {2,3,.....,n}  {S= N \ C exists only implicitly}
        For i ← 2 to n do D [i] ← min (L [1,i] , L [2,i], ..... , [k,i])
        For i ← 2 to n do D [i] ← 1 , V [i] ← L minimizing L [l,i]
            {greedy loop}
            repeat n-2 times
            V ← some element of c minimizing D [V]
            C ← c \ {v}    {and implicitly s ← s u {v}}
        For each w ∈ C do
            if D [w] > D [V] + min (L (kv-(k-1), w],
            L [kv-(k-2), w], ..... , L [kv,w])
        then:
            D [w] ← D [V]+ min (L [kv-(k-1),w],
```

L [kv- (k-2),w], ... , L[kv,w])
P [w] ← V

V [w] ← L minimizing L ([kv-(k-1), w], L [kv-(k-2).w], ... , L [kv,w])
Return D,P,V

7-4- طراحی و تدوین برنامه نرم‌افزار

با توجه به اینکه شبکه پست کشور، شبکه‌ای گسترده می‌باشد، بهینه‌سازی آن به‌صورت دستی امکانپذیر نبوده است، در این صورت با توجه به نرم‌افزار C++ برنامه‌ای طراحی و تدوین شد که دارای ویژگی زیر است:

1- برنامه قادر است که تعداد زیادی گره node را بدون هیچ محدودیت در بر گیرد.

2- چندین وسیله حمل و نقل در این برنامه مدنظر بوده است و از نظر تعداد کمانها بدون محدودیت است.

3- برنامه، قابلیت استفاده و کاربری در PC با ظرفیت متوسط را دارا می‌باشد.

4- برنامه قادر به پاسخگویی به یک ماتریس با ابعاد وسیع می‌باشد.

5- برنامه قادر است تا برای هر مسیر از i به j، نوع وسیله نقلیه را مشخص کند.

6- برنامه قادر است زمان، هزینه، مسافت و ترکیب هزینه و زمان را بهینه نشان دهد.

7- برنامه قادر به بیان مسیر یا شماره مسیرهای بهینه خواهد بود. در واقع این قابلیت در برنامه وجود دارد که نشان دهد از مسیر i و j از چه وسیله از میان وسایل متعدد و در چه مسیری و با چه زمانی حرکت انجام شود که بهترین مسیر و حداقل زمان به‌دست آید.

8- نحوه تخصیص جریان در شبکه

در مدل قبلی کوتاهترین مسیرهای مختلف با توجه به نوع وسیله نقلیه تعیین و به سیستم ارائه شد، لذا در این مرحله مدیریت باید ظرفیت مورد نظر را تخصیص تا مقصد یا مقاصد مورد نظر ارضا شود [29، ص 157].

9- نتیجه‌گیری

نتیجه تحقیقات به تفکیک در چند مرحله به‌صورت ذیل ارائه می‌شود.

9-1- مرحله شناخت

1- مدیریت در تمام سطوح باید نسبت به امر برنامه‌ریزی مقید باشد و خود را ملزم به اجرای آن کند.

2- به‌دلیل فعالیتهای بسیار متنوع و نیاز به اطلاعات جزئی، روش شبیه‌سازی که در ابتدا به‌عنوان متدولوژی برای بررسی این پروژه تشخیص داده شده بود، کنار گذاشته شد و مدلسازی ابتکاری بر اساس تعریف تابع مطلوبیت و K تا کوتاهترین مسیر با تعیین نوع وسیله نقلیه جایگزین شبیه‌سازی شد.

3- طراحی یک سیستم جامع در قالب یک پایگاه اطلاعاتی کامپیوتری قادر بود تا مدیریت شرکت را در حال و آینده برای تصمیم‌گیریها و برنامه‌ریزیهای مربوط به شبکه حمل و نقل یاری دهد.

4- به‌عنوان اولین اقدام اطلاعاتی از قبیل شناسنامه استانها، استخراج شد.

9-2- مرحله تجزیه و تحلیل آماری

تجزیه و تحلیل آماری بر اساس نیازهای اطلاعاتی از طریق نرم‌افزار Statgraph بر مبنای دو عنصر، وزن حمل شده در شبکه و هزینه حمل و نقل صورت گرفت.

9-3- مرحله مدلسازی و بهینه‌سازی

با توجه به نتایج مرحله شناخت، مدل طراحی شده برای شبکه حمل و نقل پست، یک مدل چند سطحی[1] می‌باشد که ابتدا اطلاعات شبکه حمل و نقل پست به‌صورت ورودی به سیستم اطلاعات شبکه حمل و نقل پست انتقال داده می‌شوند [19، ص 215؛ 22، ص 218؛ 30، صص 181-268؛ 31، ص 564؛ 32؛ صص 37-51؛ 33، صص 399-404].

این مدل پس از تعریف و محاسبه تابع مطلوبیت سیستم، در قدم اول کوتاهترین مسیرها، کمترین زمانها و همچنین نوع وسیله نقلیه را بین دو مرکز پستی پیدا می‌کند. سپس مقدار وزن محمولات به هر یک از مسیرهای انتخاب شده تخصیص داده می‌شود.

این مرحله از تحقیق که در واقع کانون تمامی فعالیتها می‌باشد و هدف از انجام تحقیق را در بر می‌گیرد، موفق به انجام فعالیتهای زیر شد.

---

1. multi-level

1- طراحی و اجرای مکانیزه الگوریتم کوتاهترین مسیرها، کمترین زمان و همچنین نوع وسیله نقلیه بین مراکز پستی؛

2- تبدیل فایلهای بانک اطلاعاتی حاوی اطلاعات بند شماره یک به فایل با ساختار لازم برای اجرای تخصیص؛

3- طراحی و اجرای مکانیزه مدل بهینه‌سازی تخصیصی اوزان به وسایل حمل و نقل؛

4- طراحی و اجرای مکانیزه الگوریتم زمانبندی تردد وسیله نقلیه در شبکه حمل و نقل پستی؛

5- طراحی و اجرای گزارش پیدا کردن مراکز ثقل شبکه حمل و نقل؛

با توجه به این گزارش، مدیریت می‌تواند بوضوح مراکز ثقل (بالاترین درصد بار ترافیک در شبکه حمل و نقل) را در یک شبکه بهینه مشاهده کرده و برای تصمیم استراتژیک استفاده کند؛

6- طراحی و اجرای مکانیزه سیستم یکپارچه مدلسازی و بهینه سازی؛

7- طراحی و اجرای مکانیزه تهیه گزارشهای لازم برای شبکه حمل و نقل پست؛

8- از ویژگیهای سیستم قابل طراحی با استفاده از شماره خطوط پستی برای سهولت امر مبادله در مراکز پستی می‌توان به نکات زیر اشاره کرد:

الف) ساعت حرکت وسیله نقلیه را به صورت یک محدودیت می‌توان وارد سیستم کرد؛

ب) حمل و نقل را می‌توان برای یک دوره چند ساعته که به‌وسیله مدیریت ارائه می‌شود، انجام داد؛

ج) اطلاعاتی که در گزارشهای خروجی سیستم ظاهر می‌شود، باید برای کارشناسان پست آشنا باشد تا دچار مشکل نشوند.

9-4- اجرای آزمایشی

همان‌طوری‌که در مراحل سه‌گانه مذکور عنوان شد، اجرای بسته نرم افزاری سیستم اطلاعاتی شبکه حمل و نقل پست[1] شامل مراحل ذیل می‌باشد:

1- ورود اطلاعات مورد نظر در شبکه براساس نوع وسیله نقلیه؛

2- ورود اطلاعات مورد نظر در شبکه بر اساس زمان مصرف شده؛

3- تعیین کوتاهترین مسیر از نظر زمان صرف شده براساس نرم‌افزار تهیه شده در قالب C++ (کمترین زمان)؛

---

1. PTNIS: Post Transportation Network Information System

4- تعیین کوتاهترین مسیر (path)؛
5- بررسی خروجی مدل اول؛
6- تعیین خروجی مدل اول به‌عنوان ورودی مدل دوم؛
7- تخصیص مرسوله به مسیرهای بهینه.

10- پیشنهادها

از آنجایی‌که موضوع تحقیق، طراحی مدل ریاضی شبکه حمل و نقل شرکت پست ج.ا.ا می‌باشد، در این صورت بهینه‌سازی چنین شبکه‌ای با گستردگی لازم در یک کار تحقیقی علاوه بر پیچیدگی خاص خود، زمان زیادی را می‌طلبد. بنابراین در راستای تکمیل مدل مذکور و ارائه یک بسته نرم‌افزاری جامع تحت عنوان PTINS نکات ذیل پیشنهاد می‌شود:

1- با توجه به گستردگی شبکه و ارسال پست به اقصا نقاط کشور و کشورهای خارجی می‌توان مدل مذکور را در سطح بین‌المللی توسعه داد.

2- از آنجایی‌که در همه موارد ممکن است کوتاهترین زمان، مورد درخواست مدیریت نباشد، در این صورت می‌توان تحت عنوان مدل سوم که خروجی مدل دوم باشد، زمان مورد درخواست مدیریت را مدنظر قرار داد.

3- از آنجایی‌که در مدل مورد نظر صرفاً زمان از قبل برنامه‌ریزی شده، در نظر گرفته شده است، بنابراین می‌توان براساس زمان پویا و همچنین با درنظر گرفتن زمان پویا و تأخیر مورد درخواست به‌صورت برنامه‌ریزی پویا[1] مدل را بسط داد.

11- منابع

[1] M.P.S S., M.G.D E.; "Research trends, urban transport science"; Some Empericial Evidence from Academic Research Transportation Research, Vol. 22A, No. 1, 1985.

[2] Bazaraa M.; "Linear programming a network flow"; John Willey, Second Edition, 1990.

1. dynamic programing

[3] Gomory R.E., Hu TC.; "Multi-terminal network flows"; *J. Soc, Indust*, Vol.9, No.4, 1961.

[4] Ford L.R., Fulkerson E.R.; "A suggested computation for maximal multi commodity network flows"; *Management Sei*; 1958.

[5] MAYEDA W.; "Terminal and Branch capacity matrices of a commuication net"; *IRE Transaction on Ciruit Theory*, Vol.Ct-7, 1960.

[6] Chenh, Dewald C.G.; "A generalized chain labelling alogorithm for sovling multicommodity flow problems"; *Comput Opns*; 1974.

[7] اصغر پور م.ج.؛ «تجزیه و تحلیل شبکه در تحقیق در عملیات»؛ انتشارات دانشگاه تهران، چ1، 1378.

[8] اصغر پور م.ج.؛ «برنامه ریزی پویا»؛ انتشارات دانشگاه تهران، چ1، 1378.

[9] اصغر پور م.ج.؛ «تصمیم‌گیری و تحقیق عملیات در مدیریت»؛ انتشارات سازمان صنایع ملی ایران (تهران)، چ1، ج4، 1366.

[10] اصغر پور م.ج.؛ «کاربرد برنامه ریزی خطی»؛ انتشارات دانشگاه تهران، چ2، 1369.

[11] اصغر پور م.ج.؛ «برنامه ریزی خطی»؛ انتشارات دانشگاه تهران، چ2، 1373.

[12] آریا نژاد، م.ب.ق.؛ «برنامه‌ریزی خطی، (الگوریتمهای نوین)»؛ انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران، چ4، 1377.

[13] Laporte G.; "An algorithm for the design of mailbox collection routes in urban areass"; Great Britain, Vol. 23B, No, 4. 1998.

[14] Laporte G.; "Location-Arc routing problems"; Geran, Noember 2001.

[15] Wang X.; "A driver's utility function and its properties"; http://www.its.uci.edu., 3 Apr. 2004.

[16] اصغر پور م.ج.؛ تصمیم‌گیری چند معیاره؛ چ1، انتشارات دانشگاه تهران، 1377.

[17] Pezzullo J.C.; Nonlinear least squares curve fitter; http://members.aol.com /johnp71/nonlin,html., 18 jan. 2004, 2002.

[18] Tahan H.; Operations research; use, Second Edition, 1976.

[19] Barnhartc; "Dual-Ascent methods for large-scale multi commodity flow problems"; *Naval Research Logistics*; Vol. 40, 1993.

[20] Bellmorem G., Lubore S.; "A multi vehicle tanker scheduling problem"; *Trans Sei*, 1971.

[21] Berason R.; "Operation research"; MC-Graw-Hill, International Edition, 1983.

[22] Brassard., Bratly.; "Fundamentals of algorthmics"; *prentice-Hall*; 1996.

[23] Caob., Uebe G.; "An Algorithm for solving capacitated multicommodity p-media Transportation problems"; *joope*; Vol. 44. No. 3, 1993

[24] Grimaldi R.; "Discrete and combinatorial mathematics: and applied introduction"; *Addison veseley*, Second Edition; 1986.

[25] Chien R.T.; "Synthesis of a communication net"; *1B MJ, Res Develop*; 1960.

[26] Tomlin J.; "Amathematical programming model for the combined distribution – assignment of traffic"; transportation Sci, 1971.

[27] Demy W.S.; "Multi-Commodity flows in generalized networks"; *Memorandom Report No*., Advanced Logistics command, Daytor, Ohio, 1969.

[28] Frattal.m G., Kleinroch.; "The flow deviation method: An approach to store-and forward communication network design"; Networks, 1973.

[29] Current J., Hakeymin; "Multi-Objective design of transportation networks"; Taxonomy and Annotation, *Europen journal of operational Research*, No.26, 1986.

[30] باندی جی.ای.، مورتی یو.اس. آر.؛ نظریه گرافها و کاربردهای آن؛ ترجمه: ح. ضرابی‌زاده، انتشارات مؤسسه فرهنگی دیباگران، تهران، چ1، 1378.

[31] Mokhtar S.B. & et.al.; "Linear programming and network flows"; Second Edition, Willey, 1990.

[32] آریا نژاد م.، سجادی س.ج.؛ تحقیق در عملیات پیشرفته؛ چ1، مؤسسه انتشارات میر تهران، 1380.

[33] Ford L.R., Fulkerson R.; "Maximal flow thorugh a network"; Canda.j.Math, 1956.