International Journal of Industrial Engineering & Production Management (2013)

February 2013, Volume 23, Number 4
pp. 401-416

http://IJIEPM.iust.ac.ir/

A Logistics Planning Model to Improve the Response Phase of Earthquake

K. Eshghi* & M. Najafi

Kourosh Eshghi, *Professor Sharif University of Technology, Department of Industrial Eng., Sharif University of Technology, eshghi@sharif.edu*
Mehdi Najafi, *PhD candidate Sharif University of Technology . Department of Industrial Eng., Sharif University of Technology, m_najafi@ie.sharif.edu*

Keywords

Mathematical Programming,
Logistics Activities,
Respond to Earthquake,
Disaster Management,
Multi-Commodity,
Multi-Period

ABSTRACT

Natural disaster occurrence and its impacts enforced governments to presents their practical plans to encounter disasters and mitigate its damages and losses by suitable response. Although, disaster managers can utilize their experiences to plan the response of small disasters and manage the related activities; however, they cannot handle these activities in some large scale disaster such as earthquake or flood. To manage logistics activities effectively in a disaster situation, decision support system is a fundamental tool. For this purpose, this research attempts to develop a logistics model to scheme logistics activities in a response phase of earthquake. In other words, the presented model provides a transportation scheme for commodities and injured people and aids disaster managers to utilize their resources efficiently. Furthermore, since rapid response is the most important goal in earthquake response phase, the objective function of the developed model is to minimize total unsatisfied demand and unserved wounded people in planning horizon.

© 2013 IUST Publication, IJIEPM. Vol. 23, No. 4, All Rights Reserved

* **Corresponding author. Kourosh Eshghi**
Email: *eshghi@sharif.edu*

[Downloaded from www.iust.ac.ir on 2024-09-18]

نشـــریه بین المللـــی مهنـــدسی صنـــایع و مدیـــریت تولیـــد

شمـــاره ۴، جلـــد ۲۳، اسفند ۱۳۹۱
صفحـــه ۴۱۶-۴۰۲

نشریه بین المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید دانشگاه علم و صنعت ایران

ISSN: 2008-4870

http://IJIEPM.iust.ac.ir/

ارائه یک مدل برنامه‌ریزی لجستیکی جهت بهبود در فاز پاسخگویی به زلزله

کورش عشقی* و مهدی نجفی

کلمات کلیدی

مدیریت بحران، برنامه‌ریزی ریاضی، اقدامات لجستیکی، فاز پاسخ به زلزله، چند کالایی، چند دوره‌ای

چکیده:

وقوع حوادث غیرمترقبه و فجایع طبیعی و اثرات ناشی از وقوع آن‌ها جوامع کنونی را ملزم به انجام برنامه‌ریزی‌های لازم جهت روبرویی و کاهش اثرات مخرب مربوطه نموده است. اگرچه در حوادث کوچک انجام این کار به صورت تجربی امکان‌پذیر بوده و نیاز به ابزار خاصی وجود ندارد اما در حوادث با ابعاد بزرگتر و فجایع طبیعی نظیر زلزله به دلیل ابعاد و پیچیدگی عوامل درگیر، انجام آن بصورت تجربی امکان‌پذیر نیست. در چنین مواردی برای اتخاذ تصمیمات مناسب نیاز به ابزارهای تصمیم‌گیری وجود دارد. به همین منظور در این تحقیق یک مدل ریاضی جهت انجام برنامه‌ریزی لجستیکی با هدف بهبود در نتایج اقدامات لجستیکی پاسخ به زلزله ارائه می‌گردد تا از این طریق بتوان تصمیمات مناسبی را برای حمل مصدومان و کالاها به نحوی اتخاذ نمود تا بهترین استفاده از منابع صورت پذیرفته و بیشترین کارایی حاصل گردد. از آنجایی‌که سرعت پاسخگویی یکی از اهداف بسیار مهم در پاسخ به فجایعی نظیر زلزله است به همین منظور برای تابع هدف مدل توسعه یافته در این تحقیق، حداقل سازی مجموع نیازهای براورده نشده کالا و مصدومان رسیدگی نشده انتخاب شده است. سپس حل مدل تفضیلی مدل در قالب یک مثال تشریح شده است.

۱. مقدمه

با توجه به افزایش حوادث غیرمترقبه و فجایع[۲] زمینی، اقیانوسی و جوی در سال‌های اخیر[۱]، برنامه‌ریزی جهت پاسخگویی بهتر به این حوادث ضروری به نظر می‌رسد. یکی از مهمترین فجایع مذکور زلزله است که می‌تواند خسارات فراوان جانی و مالی به همراه داشته باشد. بطور کلی دو نوع از اقداماتی که در پاسخگویی به زلزله مهم به‌نظر می‌رسد عبارتند از عملیات تخلیه[۳] و اقدامات لجستیکی. بطوریکه عملیات تخلیه در فاز اول پاسخ با هدف خارج سازی مصدومان از زیر آوار رخ داده ولی اقدامات لجستیکی جهت برآورده‌سازی نیازهای مردم آسیب‌دیده تا مدت طولانی‌تری ادامه می‌یابد تا از این طریق دسترسی به موقع نظیر غذا، چادر و دارو را برای آن‌ها فراهم ساخته و با حمل‌ونقل کارای افراد زخمی و مصدوم بیشترین بقاء را برای آن‌ها فراهم آورد. بنابراین می‌توان گفت قسمت اعظم پاسخ به زلزله مدیریت لجستیک آن می‌باشد چراکه با مدیریت مناسب اقدامات لجستیکی می‌توان خسارات جانی ناشی از زلزله را تا حد زیادی کاهش داد. به همین منظور در این مقاله بر آنیم تا مدلی را جهت برنامه‌ریزی اقدامات لجستیکی به منظور بهبود در پاسخگویی به زلزله ارائه نماییم.

تاریخ وصول: ۸۹/۸/۲۹
تاریخ تصویب: ۹۰/۶/۲۳

***نویسنده مسئول مقاله:** **کورش عشقی**، استاد دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی شریف، *eshghi@sharif.edu*
مهدی نجفی، دانشجوی دکتری مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی شریف، *m_najafi@ie.sharif.edu*

2. *Disaster*

3. *Evacuation*

[Downloaded from www.iust.ac.ir on 2024-09-18]

همانطور که گفته شد انجام تحقیقات در حوزه مدیریت فاجعه[1] از اهمیت فراوانی برخوردار است و تا کنون تحقیقات زیادی در این حوزه انجام شده است. بطور کلی مجموعه تحقیقاتی که در زمینه مدیریت فاجعه انجام شده است را می‌توان به دو گروه تقسیم نمود. گروه اول مجموعه تحقیقات مدیریتی است که با بررسی مفاهیم کیفی سعی در ایجاد بهبود و افزایش کارایی در فازهای مدیریت فاجعه را داشته‌اند.

از تحقیقات انجام شده در این حوزه می‌توان به [۲، ۳ و ۴] مربوط به فاز پیشگیری و تسکین، [۵] مربوط به فاز آمادگی، [۶، ۷] مربوط به فاز پاسخ و [۸] مربوط به فاز بازسازی اشاره داشت. اما گروه دوم از تحقیقات انجام شده در این حوزه، تحقیقات تکنیکی است که از دیدگاه کمی مدیریت فاجعه و زنجیره تامین امداد را مورد بررسی قرار داده و سعی در ارائه مفاهیم و مدل‌های کمی جهت بهینه کردن و یا ایجاد حداکثر بهبود ممکن در زنجیره امداد را دارند. عمده تحقیقات این گروه متعلق به فازهای پیشگیری یا تسکین و پاسخ می‌باشند.

البته این حوزه از تحقیقات قدمت چندانی نداشته و شروع آن از اواخر دهه ۸۰ می‌باشد. از آنجاییکه این تحقیق مربوط به فاز پاسخگویی مدیریت فاجعه می‌باشد از پرداختن به تحقیقات کمی انجام شده در حوزه پیشگیری یا تسکین خودداری کرده و به بررسی مختصر تحقیقات انجام شده در فاز پاسخ مدیریت فاجعه پرداخته می‌شود.

اگر چه در گذشته در حوزه حمل‌ونقل با چند مد و یا چند کالایی تحقیقاتی انجام شده است به عنوان نمونه، ری [۹] در سال ۱۹۸۷ به توسعه یک مدل تک کالایی با چند مد حمل‌ونقل در یک شبکه با محدودیت ظرفیت و افق برنامه‌ریزی چند دوره‌ای پرداخته است که در آن مجموع هزینه‌های متحمل شده جهت حمل‌ونقل و ذخیره غذا کمینه شده است و نات [۱۰] در سال ۱۹۸۷ به ارائه یک مدل برنامه‌ریزی خطی برای مسئله حمل‌ونقل غذای حجیم پرداخته است که اهداف آن کمینه کردن هزینه‌های حمل‌ونقل و بیشینه کردن غذای تحویل داده شده است. اما اولین تحقیق در زمینه پاسخ به فاجعه در سال ۱۹۸۸ توسط نات انجام شد [۱۱]. این محقق در این تحقیق به ارائه یک مدل برنامه‌ریزی خطی جهت تعیین برنامه زمانبندی وسائط نقلیه جهت حمل‌ونقل غذاهای حجیم در مناطق فاجعه پرداخته است. اگرچه این مدل از اولین مدل‌های ارائه شده در حوزه فاجعه بود اما اولین تحقیق جدی است که در این زمینه انجام شده است [۱۲] است بطوریکه بسیاری از تحقیقات این تحقیق را مبنا قرار داده‌اند.

بطور کلی اقدامات لجستیکی فاز پاسخ را می‌توان به دو دسته تقسیم نمود. دسته اول اقدامات مربوط به لجستیک کالا در زنجیره امداد بوده و دسته دوم اقدامات مربوط به لجستیک مصدومان می‌باشد. اغلب تحقیقات گذشته به یکی از این حوزه‌ها پرداخته‌اند.

به عنوان نمونه اوه و حقانی [۱۲] در سال ۱۹۹۶ به تجزیه و تحلیل حمل‌ونقلِ حجم زیادی از کالاهای متفاوت نظیر غذا، لباس، لوازم و تجهیزات پزشکی، داروها، ماشین‌آلات و نیروهای انسانی در یک رویکرد کاراجهت حداقل کردن مرگ[2] با چند نوع وسیله حمل‌ونقل برای عملیات امداد پرداخته شده است. علاوه‌براین این محققان در سال ۱۹۹۷ در تحقیق دیگری [۱۳] نیز به توسعه کار قبلی خود پرداخته و تجزیه‌وتحلیل عمیق‌تر و جزئی‌تری را ارائه کرده‌اند.

عمده تمرکز مدل ارائه شده در این تحقیق بر روی هزینه بود اگرچه نیم‌نگاهی به بحث پاسخگویی نیز در این تحقیق شده است. نکته‌ای که باید به آن توجه داشت این است که به‌هنگام وقوع فاجعه، زیرساخت‌های حمل‌ونقل برای تجهیزات امدادی اغلب غیرقابل اتکا و غیرقابل اعتماد می‌باشد. به‌همین‌خاطر باربارosوگلو و اُزدامار [۱۵] در سال ۲۰۰۲ در مقاله‌ای با تمرکز بر استفاده از هلیکوپترها سعی در حذف این وابستگی داشته است. در این مقاله به توسعه مدل‌های ریاضی جهت حل مسائل تصمیم‌گیری در زمان‌بندی عملیاتی و تاکتیکی فعالیت‌های هلیکوپتر پرداخته شده است.

باربارosوگلو و آردا [۱۶] در سال ۲۰۰۴ به انجام تحقیق بیشتر جهت مدل‌سازی عدم اطمینان در پاسخگویی‌های امدادی پرداخته و یک چهارچوب برنامه‌ای تصادفی دو مرحله‌ای جهت برنامه‌ریزی حمل‌ونقل در پاسخگویی‌ها به هنگام فاجعه ارائه نموده‌اند. در این تحقیق، محققان به توسعه مدل ارائه شده در [۱۲] پرداخته‌اند که به‌صورت قطعی، چند کالایی و چند نوع ناوگان حمل‌ونقل بوده، بطوریکه در این تحقیق عدم اطمینان موجود در تخمین منابع مورد نیاز جهت کالاهای اولیه امداد، آسیب‌پذیری منابع تهیه کننده تسهیلات و قابلیت مقاومت راه‌های ارتباطی در حوزه‌های فاجعه نیز مورد بررسی قرار گرفته است. از دیگر تحقیقاتی که در این حوزه انجام شده است می توان به [۱۸، ۲۲ و ۲۳] اشاره داشت. نولز و همکاران [۱۸] در سال ۲۰۱۱ به ارائه یک مدل چند هدفه برای حمل‌ونقل کالاها در فاز پاسخ به فاجعه‌های طبیعی پرداخته‌اند. مدل ارائه شده در این تحقیق دارای سه تابع هدف می‌باشد که به ترتیب عبارتند از کاهش ریسک پاسخگویی، کاهش فواصل پوششی هر وسیله نقلیه

1. *Disaster Management*

2. *Loss of Life*

[Downloaded from www.iust.ac.ir on 2024-09-18]

و کاهش مجموع زمان‌های سفر. همچنین مین و همکاران [۲۲] در سال ۲۰۱۱ به ارائه یک مدل لجستیکی چند دوره‌ای، چند کالایی و چند وسیله نقلیه‌ای جهت برنامه‌ریزی لجستیکی کالاهای مهم و الویت‌دار در فاز پاسخ به فاجعه پرداخته‌اند. مدل مذکور دارای دو تابع هدف بوده که اولین آن به کمینه کردن تقاضاهای پاسخ داده نشده پرداخته و تابع هدف دوم به حداقل نمودن زمان سفر پرداخته است.

برکونه و همکاران [۲۳] نیز به ارائه یک مدل ریاضی جهت برنامه-ریزی حمل‌ونقل کالاها در فاز پاسخ پرداخته که در آن به کمینه-سازی زمان سفر وسائط نقلیه حامل کالاها می‌پردازد. در حوزه مربوط به لجستیک مصدومان نیز می‌توان به [۱۴،۱۷ و ۲۴] اشاره داشت که در آن فیدریچ و همکاران [۱۴] در سال ۲۰۰۰ به بررسی تلفات پس از فاجعه و محاسبه تلفات مربوطه پرداخته و سعی نموده‌اند مدلی جهت حداقل کردن این تلفات ارائه نمایند. همانطور که گفته شد این تحقیق صرفا به بررسی حمل‌ونقل مصدومان پرداخته و هیچ بحثی راجع به کالاهای امدادی در آن صورت نگرفته است.

از دیگر تحقیقات انجام شده در سال ۲۰۰۴ [۱۷] است. اُزدامار و همکاران در این تحقیق به بررسی برنامه‌ریزی لجستیکی در مواقع اضطراری جهت ارسال کالا به مراکز توزیع در نواحی آسیب‌دیده پرداخته‌اند. ضمنا همین محقق در تحقیق دیگری [۲۴] در سال ۲۰۱۱ به ارائه یک مدل ریاضی جهت برنامه‌ریزی لجستیک هلیکوپترها برای حمل‌ونقل مصدومان و کالاهای درمانی پرداخته است. در مدل مذکور وسائط نقلیه صرفا هلیکوپترها بوده و هدف آن کمینه کردن مجموع زمان‌های ماموریت این وسائط نقلیه جهت برآورده سازی نیازها و مصدومان می‌باشد. ضمنا این مدل سعی نموده است که علاوه بر زمان سفر، زمان مربوط به بارگیری را نیز لحاظ نماید.

البته تعداد اندکی از این تحقیقات نظیر [۲۰] نیز سعی نموده‌اند که به برنامه‌ریزی در هر دو حوزه لجستکی کالا و مصدوم بپردازند. در این تحقیق تحقیق وی‌یی در سال ۲۰۰۷ به ارائه یک مدل مخلوط LRP جهت هماهنگ‌سازی حمل‌ونقل کالاها از تامین-کنندگان اصلی به مراکز توزیع در نواحی آسیب‌دیده و حمل‌ونقل افراد مصدوم و آسیب‌دیده (زخمی) از نواحی آسیب‌دیده به واحدهای اضطراری موقت پرداخته است. البته در این تحقیق نیز اگرچه دو مورد کالا و مصدوم مد نظر قرار گرفته، اما تمایزی بین وسائط نقلیه حامل در نظر گرفته نشده است. به عبارتی در این تحقیق به قابلیت و امکانات وسائط نقلیه حامل توجه نشده و فرض شده که هر وسیله نقلیه قابلیت حمل هر کالا و مصدومی را دارد. ضمنا تابع هدف مدل مذکور به کمینه‌سازی مجموع مصدومان و کالاهای پاسخ داده نشده پرداخته است. به عبارتی در این تحقیقات این دو نوع تقاضا (تقاضای کالا و تقاضای رسیدگی به مصدومان) جمع پذیر درنظر گرفته شده است. در حالیکه در دنیای واقعی رسیدگی به حال مصدومان و نجات جان آن‌ها از اولویت بسیار بالاتری نسبت به تقاضای کالا برخوردار بوده و با تقاضای کالا جمع پذیر نیست.

ضمنا بررسی دقیق‌تر مدل‌های ارائه شده نشان می‌دهد که رویکردهایی که جهت مدل‌سازی در این تحقیقات مورد استفاده قرار گرفته است به دو دسته قابل تقسیم است. دسته اول، مدل-سازی بر اساس مدل VRP و دسته دوم مدل‌سازی شبکه محور. در رویکرد اول، مبادی و مقاصد حمل مشخص شده و سعی می-گردد تابع هدف برای هر یک از مبادی و مقاصد تعیین شده حداقل گردد.

اما در رویکرد دوم، صرفا تعداد کالا یا مصدوم حمل شده در هر یال از شبکه مشخص می‌گردد و مبادی و مقاصد مصدومان در حال حمل توسط مدل بصورت مستقیم مشخص نمی‌گردد. اگرچه این رویکرد نسبت به رویکرد اول اطلاعات کمتری را در مورد کالاها یا مصدومان در حال حمل نشان می‌دهد اما زمان حل کمتری را نسبت به رویکرد اول دارد. اغلب تحقیقات انجام شده پیشین بر اساس رویکرد اول مدل شده است غیر از تحقیق انجام شده در [۲۰]. در این تحقیق نیز برای تعیین مبادی و مقاصد کالای در حال حمل، الگوریتمی ارائه شده است که پس از حل مدل اصلی، به تعیین مبادی کالاهای دریافت شده در مقصد می-پردازد.

اگرچه تحقیقات انجام شده در حوزه پاسخ به فاجعه‌های طبیعی بسیار فراوان است اما پیچیدگی مساله منجر شده که در بسیاری از تحقیقات شرایط واقعی لحاظ نگردد. به عنوان نمونه اغلب تحقیقات انجام شده در این حوزه یا تنها به برنامه‌ریزی کالا یا مصدومان پرداخته و یا تمایزی را در حمل و نقل کالا و مصدومان درنظر نگرفته‌اند. ضمنا در این تحقیقات توجهی به حمل و نقل ترکیبی که از اهمیت بالایی نیز در تسریع پاسخگویی دارد نشده است. با توجه به موارد عنوان شده این تحقیق بر آن است مدلی را برای برنامه‌ریزی لجستیکی مصدومان و کالاها بر اساس رویکرد دوم (شبکه محور) ارائه نماید که در آن رسیدگی به مصدومان دارای اولویت بیشتر بوده و مبادی حمل کالا و مصدوم نیز توسط مدل مشخص گردد.

علاوه بر رفع نواقص عنوان شده فوق، این تحقیق نوآوری‌های دیگری را نیز به همراه دارد که از جمله آن می‌توان به امکان حمل و نقل ترکیبی کالا و مصدوم جهت حمل و نقل سریعتر و کاهش زمان برای برآورده‌سازی تقاضا و رسیدگی به حال مصدومان و در نظر گرفتن قابلیت‌های وسائط نقلیه مختلف برای حمل کالا و مصدوم بطوریکه هر وسیله نقلیه‌ای قادر به حمل هر

[Downloaded from www.iust.ac.ir on 2024-09-18]

کالا یا مصدوم نباشد اشاره داشت. به عبارتی در این تحقیق قابلیت‌های وسائط نقلیه نیز برای تخصیص کالا یا مصدوم در نظر گرفته شده که در تحقیقات پیشین به ان توجه چندانی نشده است.

بطور کلی این مقاله دارای شش قسمت می‌باشد. همانطور که مشاهده شد در قسمت یک به بررسی کلیات و مرور تحقیقات انجام شده در حوزه پاسخ به فاجعه (بحران) پرداخته شد. قسمت دو به بررسی تفضیلی مساله و فرضیات آن پرداخته و سپس مدل لجستیکی مربوطه در قسمت سه توسعه می‌یابد. حل مدل با استفاده از یک مثال بصورت تفصیلی در قسمت چهار مورد بررسی قرار گرفته و در قسمت پنج به آنالیز بیشتر و کاملتر مساله پرداخته خواهد شد. در قسمت شش نیز به جمع‌بندی و ارائه پیشنهادات آتی برای تحقیق پرداخته خواهد شد.

۲. تجزیه و تحلیل مساله

بطورکلی پیچیدگی فاجعه های طبیعی نظیر زلزله تا حدی است که بشر علیرغم استقرار هزاران ایستگاه زلزله نگاری بصورت شبکه‌ای در سرتاسر جهان و تحلیل پیوسته داده با استفاده از کامپیوترهای قدرتمند، قادر نیست که بیش‌بینی کند کجا و کی زلزله رخ خواهد داد. ماهیت تصادفی و غیرقابل پیش‌بینی فاجعه-هایی نظیر زلزله ایجاب می‌نماید که طرح‌های بحرانی جامعی جهت کاهش خطرات و پاسخگویی به آن‌ها در صورت وقوع وجود داشته باشد.

با توجه به تجارب گذشته، اگرچه اقدامات لجستیکی و عملیات تخلیه از اقدامات مهم جهت پاسخگویی به زلزله بوده و انجام درست این اقدامات می‌تواند اثرات چشم‌گیری بر خسارات جانی ناشی از زلزله داشته باشد اما اقدامات لجستیکی با توجه به ماهیت آن از اهمیت بیشتری برخوردار است. بدیهی است در چنین شرایطی باید کالاهای مورد نیاز نقاط آسیب‌دیده از انبارهای در دست و یا تامین‌کنندگان مربوطه تهیه و برای مصدومان و خسارت‌دیدگان ارسال گردد و همچنین افراد مصدوم و زخمی نیز در سریع‌ترین زمان ممکن مورد رسیدگی قرار گرفته و در صورت نیاز به مراکز درمان در دست منتقل گردند.

از آنجایی‌که در چنین شرایطی معمولا با کمبود منابع، کالا و وسائط حمل‌ونقل جهت پاسخگویی بهینه وجود دارد. انجام برنامه-ریزی مناسب جهت نیل به هدف کارایی و اثربخشی پاسخگویی با توجه به منابع و امکانات در دست از اهمیت فراوانی برخوردار است. اگر چه در حوادث کوچک که معمولا کمبودهای ذکر شده کمتر مشاهده می‌شود، مدیران بحران می‌توانند این برنامه‌ریزی را تا حد قابل قبولی انجام دهند ولی چنانچه ابعاد حادثه بزرگتر شده و از یک منطقه کوچک فراتر رود به عبارتی تبدیل به فاجعه گردد مدیران بحران به تنهایی نمی‌توانند برنامه‌ریزی‌های مناسب را انجام دهند. در چنین شرایطی است که وجود یک ابزار مناسب برای تصمیم‌گیری و برنامه‌ریزی برای مدیران ضروری به نظر می-رسد. به همین منظور این تحقیق بر آن است مدلی را ارائه نماید تا نیازمندی‌های مدیران را در شرایط مذکور فراهم سازد. ضمنا با توجه به اینکه در شرایط پاسخ معمولا هدف اصلی، پاسخگویی سریع جهت حداقل ساختن نیازهای برآورده نشده است در مدل ارائه شده در این تحقیق نیز سعی شده است که با لحاظ کردن شرایط واقعی لجستیکی، برنامه‌ای ارائه گردد که نیازهای برآورده نشده نقاط آسیب‌دیده و مصدومان را در دوره برنامه‌ریزی حداقل سازد. با توجه به شرایط فوق عمده فرضیات مساله به شرح زیر است.

- نقاط تقاضا، نقاط تامین و نقاط مربوط به امداد (بیمارستان) و فواصل بین آن‌ها مشخص است.
- چند نوع وسیله نقلیه با ظرفیت‌های مختلف وجود دارد.
- یک وسیله نقلیه قادر است از یک منبع به چند مقصد کالا حمل کند.
- یک وسیله نقلیه قادر به حمل مصدوم و کالا بطور همزمان نیست. به‌عبارت دیگر وسیله نقلیه قادر است در یک مسیر تنها مصدوم یا کالا حمل نماید.
- هیچ کالا و یا مصدومی در نقاط میانی مجاز به توقف نیست.
- امکان انتقال کالا و مصدومان بین وسائط نقلیه متفاوت و مجاز در نقاط میانی امکان‌پذیر است.
- ظرفیت حجمی و وزنی مربوط به وسائط نقلیه، ظرفیت مربوط به انواع مختلف مصدومان برای وسائط نقلیه مختلف حمل مصدوم مشخص است. ضمنا فرض شده است که حجم و وزن هر یک از کالاها نیز مشخص است.
- هر وسیله نقلیه قادر به حمل هر نوع کالا یا مصدوم نمی-باشد.
- ظرفیت بیمارستان‌ها و یا مراکز امداد برای پذیرش انواع مختلف مصدومان و همچنین میزان تقاضا و میزان تامین مراکز آسیب‌دیده و مراکز تامین مشخص می‌باشد.
- چند نوع مصدوم با ضریب اهمیت متفاوت وجود دارد
- با توجه به اینکه در بسیاری از موارد وسایل نقلیه دارای امکانات لازم جهت درمان مصدومان نیستند از اینرو تقاضای یک مصدوم نیازمند به انتقال به بیمارستان یا مرکز درمانی، درصورتی برآورده شده تلقی می‌گردد که مصدوم مورد نظر به بیمارستان یا مرکز درمانی مربوطه تحویل داده شده باشد. به عبارتی صرفا تخصیص وسیله نقلیه جهت حمل مصدوم به معنی برآورده شدن تقاضای وی نمی‌باشد.

[Downloaded from www.iust.ac.ir on 2024-09-18]

- وسائط نقلیه‌ی مورد استفاده از لحظه ورود تا انتهای دوره برنامه‌ریزی قابل استفاده می‌باشد. ضمنا قابلیت اضافه کردن وسیله نقلیه در هر نقطه از شبکه در دوره‌های زمانی برنامه-ریزی وجود دارد.

۳. توسعه مدل ریاضی

با توجه به فرضیات مطرح شده در قسمت قبل، در این قسمت به ارائه مدل ریاضی مربوطه می‌پردازیم.

۳-۱. پارامترها و متغیرهای مدل

الف. مجموعه‌ها

T: طول مدت برنامه‌ریزی

CD: مجموعه نقاط تقاضا

CS: مجموعه نقاط تامین

CH: مجموعه نقاط مربوط به بیمارستان‌ها

CI: مجموعه نقاط میانی

G: مجموعه مربوط به کالا

CJ: مجموعه کلیه نقاط غیر از نقاط تقاضا

CN: مجموعه کلیه نقاط غیر از بیمارستان‌ها

C: مجموعه کلیه نقاط شبکه بطوریکه $C=CD\cup CS\cup CH\cup CI$

VS: مجموعه مربوط به وسائط نقلیه

DS: مجموعه مربوط به انواع مصدومیت

ب. شمارنده‌ها

s، t: شمارنده مربوط به زمان

m: شمارنده مربوط به نقاط تقاضا بطوریکه $m\in CD \ \& \left|CD\right|=M$

l: شمارنده مربوط به نقاط تامین بطوریکه $l\in CS \ \& \left|CS\right|=L$

q: شمارنده مربوط به نقاط شامل بیمارستان بطوریکه $q\in CH \ \& \left|CH\right|=Q$

a: شمارنده مربوط به کالاها بطوریکه $a\in G \ \& \left|G\right|=A$

o، p: شمارنده کلی مربوط به نقاط شبکه بطوریکه $o,p\in C \ \& \left|C\right|=O=P$

v: شمارنده مربوط به انواع وسیله نقلیه بطوریکه $v\in VS \ \& \left|VS\right|=V$

i: شمارنده مربوط به گره میانی بطوریکه $i\in CI \ \& \left|CI\right|=I$

j: شمارنده مربوط به مجموعه J $j\in J$

n: شمارنده مربوط به مجموعه N $n\in N$

h: شمارنده مربوط به نوع مصدومیت بطوریکه $h\in DS \ \& \left|DS\right|=H$

ج. پارامترهای مدل

M_{Big}: عدد بسیار بزرگ

d_{amt}: میزان تقاضای کالای نوع a در گره m در زمان t

dw_{hmt}: میزان مصدومان نوع h در گره m در زمان t

Sup_{alt}: میزان کالای نوع a موجود در نقطه l در زمان t

$Surp_{amt}$: میزان کالای مازاد نوع a تخصیص داده شده به گره m تا زمان t

t_{op}^{v}: زمان واقعی مورد نیاز برای طی نمودن کمان op توسط وسیله نقلیه نوع vام در شرایط بحران.

av_{ot}^{v}: تعداد وسیله نقلیه نوع v که در زمان t در گره o به شبکه اضافه می‌شوند.

$WSup_{hqt}$: ظرفیت پذیرش مصدوم نوع h در گره q در زمان t.

W_a: وزن کالای نوع a

C_a: حجم کالای نوع a

CW^{v}: ظرفیت وزنی مربوط به وسیله نقلیه نوع v.

CC^{v}: ظرفیت حجمی مربوط به وسیله نقلیه نوع v.

DV_h^{v}: ظرفیت تعداد مصدومان نوع h مربوط به وسیله نقلیه نوع v.

P_a: اولویت مربوط به کالای نوع a

P_h: اولویت مربوط به مصدوم نوع h

TF_{ait}^{v}: تعداد کالای نوع a منتقل شده از وسیله نقلیه نوع v به سایر وسائط نقلیه در گره میانی i در زمان t

TT_{ait}^{v}: تعداد کالای نوع a منتقل شده از سایر وسائط نقلیه به وسیله نقلیه نوع v در گره میانی i در زمان t

TFD_{hit}^{v}: تعداد مصدوم نوع h منتقل شده از وسیله نقلیه نوع v به سایر وسائط نقلیه در گره میانی i در زمان t

TTD_{hit}^{v}: تعداد مصدوم نوع h منتقل شده از سایر وسائط نقلیه به وسیله نقلیه نوع v در گره میانی i در زمان t

$$K_{sopt}^{v}=\begin{cases}1 & \text{وسیله نقلیه نوع } v \text{ در زمان } t \text{ به گره } p \text{ می‌رسد اگر در زمان } s \text{ از گره } o \text{ حرکت کرده باشد.}\\ 0 & \text{در غیراینصورت}\end{cases}$$

$$AC_a^{v}=\begin{cases}1 & \text{وسیله نقلیه نوع } v \text{ قابلیت حمل کالای نوع } a \text{ را دارد.}\\ 0 & \text{در غیراینصورت}\end{cases}$$

$$AW_h^{v}=\begin{cases}1 & \text{وسیله نقلیه نوع } v \text{ قابلیت حمل مصدوم نوع } h \text{ را دارد.}\\ 0 & \text{در غیراینصورت}\end{cases}$$

[Downloaded from www.iust.ac.ir on 2024-09-18]

د. متغیرهای مدل

dev_{amt}: تقاضای پاسخ داده نشده برای کالای نوع a در گره m در زمان t.

dew_{hmt}: تعداد مصدومان نوع h گره m که تا زمان t به بیمارستان نرسیده اند.

Z_{opt}^{v} : تعداد وسیله نقلیه نوع v که در زمان t از گره o به سمت گره p حرکت می‌کند.

X_{aopt}^{lv}: تعداد کالای نوع a ارسالی توسط وسیله نقلیه نوع v از مبدا l که در زمان t از گره o به سمت گره p حرکت می‌کند.

Y_{hopt}^{mv}: تعداد مصدوم نوع h ارسالی توسط وسیله نقلیه نوع v از نقطه تقاضای m حرکت کرده و در زمان t از گره o به سمت گره p حرکت می‌کند.

avv_{ot}^{v}: تعداد وسیله نقلیه نوع v موجود در زمان t در گره o.

۳-۲. مدل لجستیکی پاسخ به بحران

با توجه به فرضیات، پارامترها و متغیرهای تعریف شده مدل ریاضی جهت برنامه‌ریزی حمل کالا و مصدومان بصورت روابط ۱ تا ۲۰ خواهد بود.

بطور کلی دو نوع هدف در پاسخ به زلزله وجود دارد که عبارتند از نجات مصدومان و انتقال سریع آن‌ها به بیمارستان و ارسال کالا برای بازماندگان. از آنجایی که هدف اول از اهمیت بیشتری نسبت به هدف دوم برخوردار است برای حل این مدل از روش لکزیکوگرافی استفاده شده است.

$$Min\ Z_1 = \sum_{h=1}^{H}\sum_{m=1}^{M}\sum_{t=1}^{T} P_h.dew_{hmt} \quad (۱)$$

$$Min\ Z_2 = \sum_{a=1}^{A}\sum_{m=1}^{M}\sum_{t=1}^{T} P_a.dev_{amt} \quad (۲)$$

$$Subject\ to:$$

$$\sum_{v=1}^{V}\sum_{l=1}^{L}\sum_{s=1}^{t}\sum_{o=1}^{O} X_{aoms}^{lv}.K_{somt}^{v} - \sum_{v=1}^{V}\sum_{l=1}^{L}\sum_{s=1}^{t}\sum_{p=1}^{P} X_{amps}^{lv} - \sum_{s=1}^{t} d_{ams} = Surp_{amt} - dev_{amt} \quad \forall m \in CD, a \in G, t \in T \quad (۳)$$

$$-\sum_{v=1}^{V}\sum_{s=1}^{t}\sum_{q=1}^{Q}\sum_{o=1}^{O} Y_{hoqs}^{mv}.K_{soqt}^{v} + \sum_{v=1}^{V}\sum_{s=1}^{t}\sum_{q=1}^{Q}\sum_{p=1}^{P} Y_{hqps}^{mv} + \sum_{s=1}^{t} dw_{hms} = dew_{hmt} \quad \forall m \in CD, h \in DS, t \in T \quad (۴)$$

$$\sum_{v=1}^{V}\sum_{s=1}^{t}\sum_{p=1}^{P} X_{alps}^{lv} \le \sum_{s=1}^{t} Sup_{als} \quad \forall a \in G, l \in CS, t \in T \quad (۵)$$

$$\sum_{v=1}^{V}\sum_{s=1}^{t}\sum_{p=1}^{P} Y_{hmps}^{mv} \le \sum_{s=1}^{t} dw_{hms} \quad \forall m \in CD, h \in DS, t \in T \quad (۶)$$

$$\sum_{v=1}^{V}\sum_{o=1}^{O}\sum_{s=1}^{t} X_{aojs}^{lv}.K_{sojt}^{v} - \sum_{v=1}^{V}\sum_{p=1}^{P}\sum_{s=1}^{t} X_{ajps}^{lv} = 0 \quad \forall a \in G,\ j \in CJ, l \in CS, t \in T \quad (۷)$$

$$\sum_{v=1}^{V}\sum_{o=1}^{O}\sum_{s=1}^{t} Y_{hons}^{mv}.K_{sont}^{v} - \sum_{v=1}^{V}\sum_{p=1}^{P}\sum_{s=1}^{t} Y_{hnps}^{mv} = 0 \quad \forall h \in DS, n \in CN, m \in CD, t \in T \quad (۸)$$

$$\sum_{l=1}^{L}\sum_{o=1}^{O}\sum_{p=1}^{P} X_{aopt}^{lv} \le M_{Big}.AC_{a}^{v} \quad \forall a \in G, v \in VS, t \in T \quad (۹)$$

$$\sum_{m=1}^{M}\sum_{o=1}^{O}\sum_{p=1}^{P} Y_{hopt}^{mv} \le M_{Big}.AW_{h}^{v} \quad \forall h \in DS, v \in VS, t \in T \quad (۱۰)$$

$$\sum_{o=1}^{O}\sum_{l=1}^{L}\sum_{s=1}^{t} X_{aois}^{lv}\left(K_{soit}^{v} - K_{soi(t-1)}^{v}\right) - \sum_{l=1}^{L}\sum_{p=1}^{P} X_{aipt}^{lv} = TF_{ait}^{v} - TT_{ait}^{v} \quad \forall a \in G, i \in CI, t \in T, v \in VS \quad (۱۱)$$

[Downloaded from www.iust.ac.ir on 2024-09-18]

$$\sum_{o=1}^{O}\sum_{m=1}^{M}\sum_{s=1}^{t} Y_{hois}^{mv}\left(K_{soit}^{v}-K_{soi(t-1)}^{v}\right)-\sum_{m=1}^{M}\sum_{p=1}^{P} Y_{hipt}^{mv}=TFD_{hit}^{v}-TTD_{hit}^{v} \qquad \forall h\in DS, i\in CI, t\in T, v\in VS \qquad (۱۲)$$

$$\sum_{l=1}^{L}\sum_{a=1}^{A} X_{aopt}^{lv}.C_a \le Z_{opt}^{v}.CC^{v} \qquad \forall o\in C,\ p\in C, t\in T, v\in VS \qquad (۱۳)$$

$$\sum_{l=1}^{L}\sum_{a=1}^{A} X_{aopt}^{lv}.W_a \le Z_{opt}^{v}.CW^{v} \qquad \forall o\in C,\ p\in C, t\in T, v\in VS \qquad (۱۴)$$

$$\sum_{m=1}^{M}\sum_{h=1}^{H} Y_{hopt}^{mv} \le Z_{opt}^{v}.DV^{v} \qquad \forall o\in C,\ p\in C, t\in T, v\in VS \qquad (۱۵)$$

$$Z_{opt}^{v} \le M_{Big}.t_{op}^{v} \qquad \forall o\in C, p\in C, t\in T, v\in VS \qquad (۱۶)$$

$$\sum_{o=1}^{O}\sum_{s=1}^{S} Z_{ops}^{v}.K_{sopt}^{v}+\sum_{s=1}^{t} av_{ps}^{v}=avv_{pt}^{v}+\sum_{o=1}^{O}\sum_{s=1}^{t} Z_{pos}^{v} \qquad \forall p\in C, t\in T, v\in VS \qquad (۱۷)$$

$$\sum_{v=1}^{V}\sum_{m=1}^{M}\sum_{o=1}^{O}\sum_{s=1}^{t} Y_{hoqs}^{mv}.K_{soqt}^{v}-\sum_{v=1}^{V}\sum_{m=1}^{M}\sum_{p=1}^{P}\sum_{s=1}^{S} Y_{hqps}^{mv} \le \sum_{s=1}^{t} WSup_{hqs} \qquad \forall h\in DS, q\in CQ, v\in VS \qquad (۱۸)$$

$$Y\ge 0\ \&\in Integer \qquad X\ge 0\ \&\in Integer \qquad Z\ge 0\ \&\in Integer \qquad (۱۹)$$

$$dev\ge 0\ \&\in Integer \qquad dew\ge 0\ \&\in Integer \qquad avv\ge 0\ \&\in Integer \qquad (۲۰)$$

از اینرو ابتدا تابع هدف اول (محدودیت (۱)) بهینه شده و سپس با بهینه نگهداشتن تابع هدف اول، تابع هدف دوم (محدودیت (۲)) حداقل می‌گردد. محدودیت‌های (۳) و (۴) به ترتیب تعیین کننده میزان نیازهای کالایی برآورده نشده و مصدومان رسیدگی نشده هر دوره از زمان برنامه‌ریزی در نقاط آسیب‌دیده می‌باشد. محدودیت (۵) تضمین می‌کند که تعداد کالای ارسالی از هر تامین‌کننده بیش از کالای در دست آن نباشد. محدودیت (۶) منجر می‌شود تعداد مصدومان ارسالی از نقاط آسیب‌دیده در هر دوره از زمان برنامه‌ریزی بیش از افراد مصدوم موجود در آن نباشد. محدودیت‌های (۷) و (۸) بیانگر تعادل حمل کالا و مصدوم در نقاط میانی است و تضمین می‌کند که هیچ کالا یا مصدومی در نقاط میانی متوقف نگردد.

محدودیت‌های (۹) و (۱۰) مربوط به وسائط نقلیه بوده و تضمین می‌کند تخصیص کالا یا مصدومان جهت حمل به وسائطی صورت پذیرد که قابلیت حمل آن کالا یا مصدوم را داشته باشند. محدودیت‌های (۱۱) و (۱۲) به ترتیب بیانگر میزان جابجایی کالا و مصدومان بین وسائط نقلیه مختلف در نقاط میانی است. محدودیت‌های (۱۳) و (۱۴) مربوط به ظرفیت وسائط نقلیه بوده و تضمین می‌کند که میزان کالای تخصیص یافته به یک وسیله نقلیه جهت حمل بیش از ظرفیت حجمی و وزنی آن نباشد. محدودیت (۱۵) عدم تخصیص مصدوم مازاد به وسائط نقلیه مربوطه جهت حمل را ضمانت می‌نماید. محدویت (۱۶) بیانگر محدودیت‌های حمل و نقل موجود در شبکه بوده و منجر می‌شود که حمل کالا و یا مصدوم بین دو نقطه از شبکه توسط یک مد خاص حمل و نقل در صورت وجود یال مربوطه صورت پذیرد. محدودیت (۱۷) منجر به ایجاد تعادل تعداد وسیله نقلیه در نقاط مختلف شبکه می‌گردد و بالاخره محدودیت (۱۸) تضمین می‌کند تعداد مصدومان دریافت شده در یک بیمارستان یا مرکز درمانی در هر دوره از برنامه‌ریزی بیش از ظرفیت آن بیمارستان یا مرکز درمانی نباشد. در انتها نیز متغیرهای مساله تعریف شده است.

ضمنا همانطور که پیشتر عنوان شد استفاده از رویکرد شبکه محور منجر به کاهش زمان حل خواهد شد بطوریکه مدل ارائه شده در این تحقیق برای یک مساله با ۱۶ گره، ۹۰ یال حمل-ونقل، ۷۵ وسیله مختلف حمل و نقل در یک دوره زمانی ۲۴ تایی با استفاده از نرم افزار GAMS و CPLEX 12.1.0 بر روی یک رایانه همراه با حافظه جانبی 4G DDR3 و پردازنده دو هسته‌ای Pentium T4200 @ 2* 2.00 GHz در کمتر از چهار دقیقه (۲۲۹/۱۷۵ ثانیه) حل شده و به جواب بهینه دست یابد. لازم به ذکر است در این حالت مساله دارای ۲۵۰،۵۵ محدودیت، ۷۹۲،۴۱۷ متغیر از نوع گسسته و ۶،۵۷۷ متغیر از نوع پیوسته می‌باشد. حال از آنجاییکه در دنیای واقعی معمولا جهت سهولت و رعایت عدالت در توزیع کالاها، کالاها بصورت بسته‌های از پیش

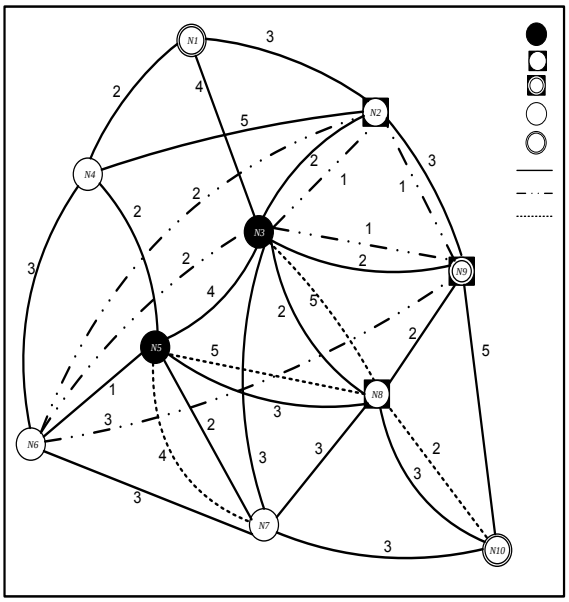
[Downloaded from www.iust.ac.ir on 2024-09-18]

تهیه شده بین خانواده‌های آسیب‌دیده توزیع می‌گردد – به‌عنوان نمونه یک بسته به شرایط نقاط آسیب‌دیده می‌تواند شامل مجموعه‌ای از مواد غذایی، آب، لوازم بهداشتی، دارو و غیره باشد- ابعاد مسائل واقعی جز در تعداد وسائط نقلیه چندان بزرگتر از نقاط آسیب‌دیده نمی‌باشد.

ضمنا با توجه به نقش متغیر مربوط به وسائط نقلیه (Z) در مدل ارائه شده، افزایش آن تاثیر زیادی در زمان حل نخواهد داشت. از اینرو به نظر نمی رسد مدل مذکور در مسائل واقعی با مشکل زمان حل روبرو گردد.

۴. حل تفصیلی مدل در یک مثال

با توجه به مدل ریاضی ارائه شده در این قسمت به بررسی یک مثال می‌پردازیم. در این مثال فرض شده است شبکه دارای ۱۰ گره بوده که در دو گره آن زلزله رخ می‌دهد. شکل-۱ نمای تصویری شبکه مذکور، نقاط تقاضا، بیمارستان‌ها و نقاط تامین را نشان می‌دهد.



شکل۱. نمای شبکه مورد بررسی

با توجه به نقاط آسیب‌دیده و نحوه ارتباط این نقاط با سایر نقاط شبکه می‌خواهیم برنامه‌ریزی لجستیکی مناسب جهت حمل کالا و مصدوم را ارائه نماییم.

ضمنا فرض شده است که در این شبکه دو نوع کالا و چهار نوع مصدوم وجود دارد. بطوریکه مصدومان نوع یک و چهار به ترتیب مصدومان سطحی و فوتی بوده و در نتیجه نیازمند حمل به بیمارستان نیستند. از اینرو منظور از H_1 مصدومان نوع سه با ضریب اهمیت ۰/۸ و H_2 مصدومان نوع دوم با ضریب اهمیت ۰/۲ می‌باشند. اطلاعات مربوط به کالاها نیز در جدول-۱ نشان داده است.

جدول۱. اطلاعات مربوط به کالا

کالا	$W(a)$	$C(a)$	$Pr(a)$
C_1	۱/۵	۲	۰/۷
C_2	۱	۰/۵	۰/۳

همانطور که در شکل-۱ مشاهده می‌شود شبکه فوق دارای سه نوع مد حمل هوایی، جاده‌ای و ریلی بوده و چهار نوع وسیله در آن موجود است. این چهار نوع وسیله نقلیه عبارتند از کامیونت، قطار، هلیکوپتر و آمبولانس که از آن میان کامیونت و قطار قابلیت حمل کالا، هلیکوپتر قابلیت حمل کالا و مصدوم و آمبولانس قابلیت حمل مصدوم را دارد. اطلاعات مربوط به وسایل نقلیه در جدول-۲ نشان داده شده است. ضمنا اطلاعات مربوط به تقاضا، ظرفیت بیمارستان‌ها، ظرفیت تامین‌کنندگان و وسائط نقلیه در دست به ترتیب در جداول-۳ تا ۶ ارائه شده است.

جدول۲. اطلاعات مربوط به وسائط نقلیه

وسیله نقلیه	$CW(v)$	$CC(v)$	$DV(v)$
V_1	۶۰	۵۰	-
V_2	۳۰۰	۲۵۰	-
V_3	۴۰	۳۰	۱۰
V_4	-	-	۲

جدول۳. اطلاعات مربوط به تقاضای کالا و مصدومان در گره‌های آسیب‌دیده

t	۴		۷		۹		۱۰		۱۱	
$Node$	N_3	N_5	N_3	N_5	N_3	N_5	N_3	N_5	N_3	N_5
C_1	۴۰	۱۰	۳۵	۱۵	۵۰	۲۰	۳۰	۱۵	۴۰	۲۰
C_2	۱۰	۱۵	۱۲	۱۵	۱۰	۱۵	۲	۴۰	۱۰	۱۰
H_1	۵	۷	۲	۵	۳	۱	۱	-	-	۲
H_2	۳	۱	۳	۳	۲	۲	۳	۳	۲	۲

[Downloaded from www.iust.ac.ir on 2024-09-18]

جدول۴. اطلاعات مربوط به ظرفیت بیمارستان‌ها

Wnd.	زمان	۱	۳	۶	۹	۱۰
H_1	N_2	۵	۳	۴	۳	۲
	N_8	۱	۲	–	–	۱
	N_9	۵	۳	۴	۱	۴
H_2	N_2	۴	۵	۲	۵	۶
	N_8	۲	۳	–	۱	۳
	N_9	۴	۳	۴	۲	۵

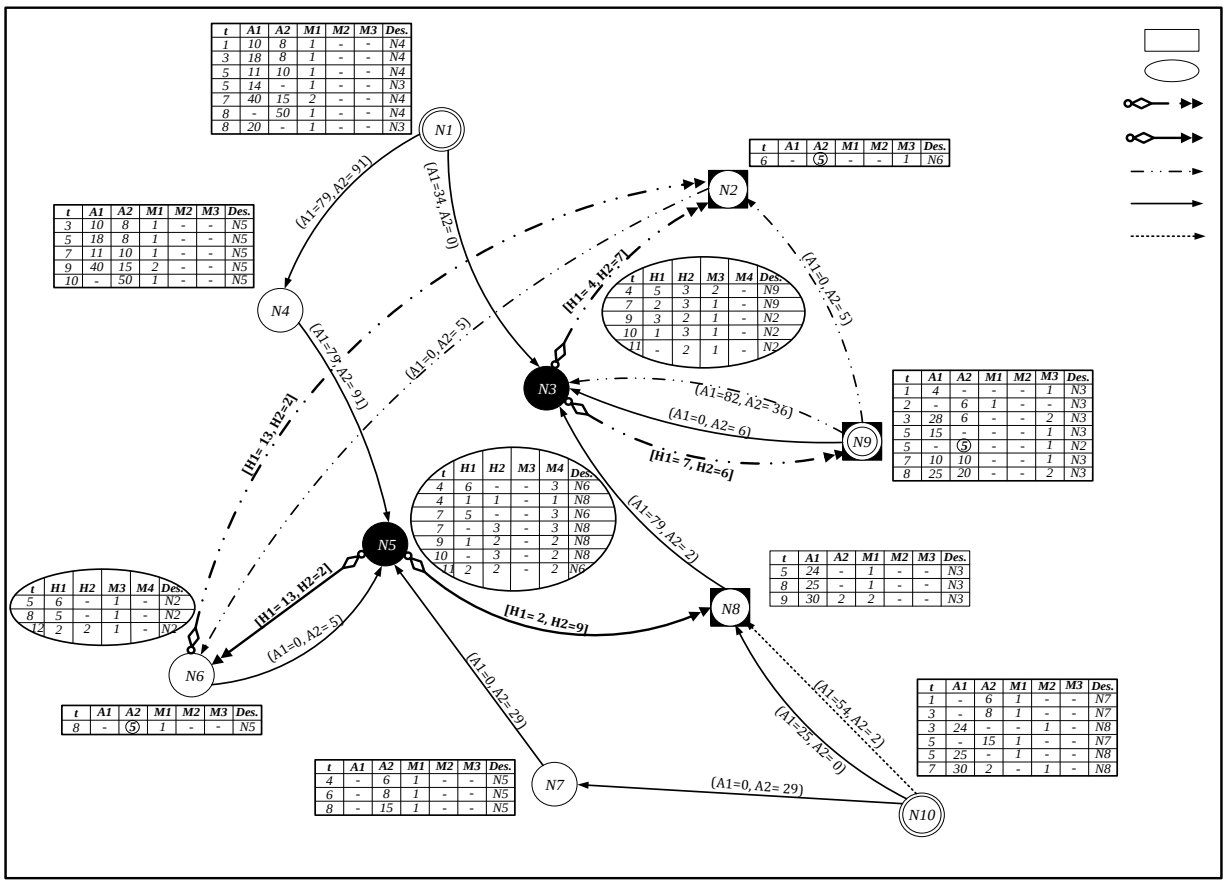
جدول۵. اطلاعات مربوط به ظرفیت تامین‌کنندگان کالا

کالا	زمان	۱	۳	۵	۷	۸
C_1	N_1	۲۰	۸	۲۵	۴۰	۲۰
	N_9	۱۶	۱۶	۱۵	۲۰	۱۵
	N_{10}	۱۲	۱۲	۲۵	۳۰	۳۰
C_2	N_1	۸	۸	۱۰	۱۵	۵۰
	N_9	۶	۶	۵	۱۰	۲۰
	N_{10}	۶	۸	۱۵	۱۵	۱۵

جدول۶. اطلاعات مربوط به وسائط نقلیه اضافه شده به شبکه

زمان	گره	*V1*	*V2*	*V3*	*V4*
	N_1	۲			
	N_2				۴
t=۱	N_8				۵
	N_9	۳		۲	۶
	N_{10}	۴	۱		
t=۳	N_6			۲	
t=۴	N_{10}	۲			
t=۵	N_1	۳			

با توجه به اطلاعات فوق، مدل مربوطه استفاده از نرم‌افزار GAMS و CPLEX 12.1.0 بر روی یک رایانه همراه با حافظه جانبی 4G DDR3 و پردازنده دو هسته‌ای Pentium T4200 @ 2* 2.00 GHz در مدت ۶/۴۴۹ ثانیه حل شده است. لازم به ذکر است این مساله دارای ۱۱،۴۰۱ محدویت، ۵۲،۸۰۰ متغیر گسسته و ۲،۵۷۷ متغیر پیوسته می‌باشد.

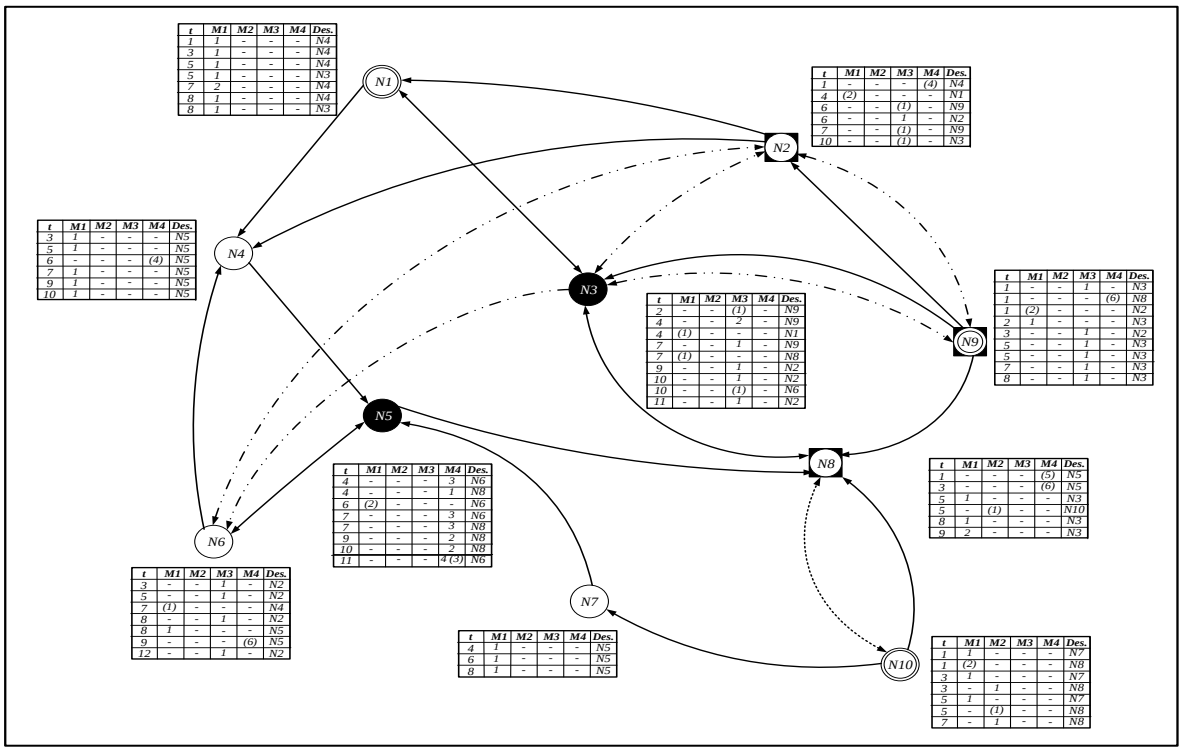


شکل۲. برنامه‌ریزی حمل کالا و مصدوم در شبکه در دوره برنامه‌ریزی

[Downloaded from www.iust.ac.ir on 2024-09-18]

همانطور که مشاهده می‌شود شکل-۲ نحوه حمل و نقل کالا و مصدومان را در شبکه در زمان‌های مختلف نشان می‌دهد. لازم به ذکر است که نمادهای مستطیلی بیانگر برنامه‌ریزی کالا و نمادهای بیضی برنامه‌ریزی مصدومان را نشان می‌دهد. به عنوان نمونه پنج عدد کالای نوع دو در زمان پنج توسط هلیکوپتر از گره $N_۹$ به گره $N_۲$ منتقل شده و در لحظه شش توسط هلیکوپتر به گره $N_۰$ منتقل می‌شود.

سپس با استفاده از کامیونت در لحظه هشت به گره $N_۵$ منتقل می‌شود. حمل مصدومان گره $N_۵$ نیز صرفا توسط آمبولانس‌ها صورت پذیرفته و به گره‌های $N_۸$ یا $N_۶$ انتقال داده می‌شود. به عنوان نمونه در زمان چهار، شش مصدوم نوع $H_۱$ توسط سه آمبولانس که در لحظه یک از گره $N_۸$ به سمت گره $N_۵$ حرکت کرده بودند به گره $N_۶$ منتقل شده و در لحظه پنج توسط هلوکوپتر به بیمارستان گره N_2 انتقال داده می‌شوند. ضمنا در همین زمان (لحظه چهار) یک مصدوم $H_۱$ و یک مصدوم $H_۲$ توسط یک آمبولانس به بیمارستان موجود در گره $N_۸$ منتقل می‌شوند. ضمنا نحوه انتقال و جابجایی وسائط نقلیه خالی و حامل کالا یا بار نیز در شکل-۳ نمایش داده شده است.

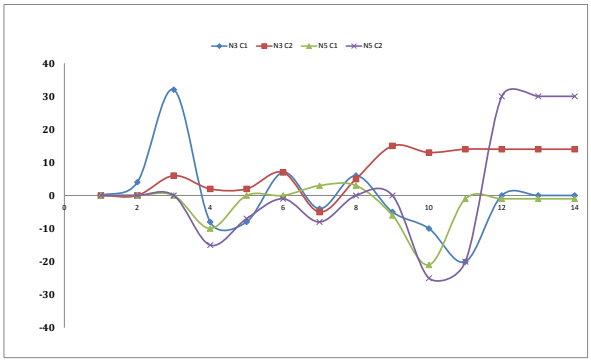


شکل۳. نحوه نقل و انتقال وسائط نقلیه در شبکه در دوره برنامه‌ریزی

در شکل فوق اعداد نمایش داده شده در داخل پرانتز بیانگر تعداد وسائط نقلیه خالی در حال حرکت و اعداد عادی بیانگر تعداد وسائط نقلیه که حامل کالا یا مصدوم هستند می‌باشد. ضمنا همانطور که در شکل مشاهده می‌شود برخی از یال‌ها دارای جهت دو طرفه و برخی دارای جهت یک طرفه می‌باشند بطوریکه جهت-های دو طرفه به معنی حمل وسائط نقلیه در دو جهت و جهت-های یک‌طرفه به معنی حمل وسیله نقلیه در یک جهت می‌باشد. به عنوان نمونه نحوه حرکت وسیله نقلیه جاده‌ای از $N_۵$ به $N_۸$ یک‌طرفه اما از $N_۳$ به $N_۸$ دو طرفه می‌باشد. بررسی و تحلیل بیشتر نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که در صورت وقوع زلزله در این دو گره مهمترین راه‌های ارتباطی برای حمل مصدوم راه-های زمینی بین ($N_۵$، $N_۶$) و راه هوایی بین ($N_۲$، $N_۶$) (حمل سیزده مصدوم نوع یک و دو مصدوم نوع دو) و راه هوایی بین ($N_۲$، $N_۶$) - (حمل هفت مصدوم نوع یک و شش مصدوم نوع دو) و مهمترین راه‌های ارتباطی جهت حمل کالا نیز راه‌های زمینی بین گره‌های ($N_۱$، $N_۴$) و ($N_۴$ ، $N_۵$) و راه هوایی بین ($N_۳$ ، $N_۹$) می‌باشد. ضمنا وضعیت موجودی کالاهای نوع یک و دو در دو گره حادثه دیده در چهارده دوره اولیه در شکل-۴ نشان داده است. همانطور در که در نمودار مشاهده می‌شود در ابتدا کالاهای رسیده شده زیاد و سپس با توجه به تقاضاهای موجود کم می‌شود در برخی از دوره‌های زمانی نیز کمبود کالاها مشاهده می‌شود. بطوریکه متوسط موجودی در این چهارده دوره برای کالای نوع یک برابر با ۲/۹۲- و برای کالای نوع دو برابر با ۸/۲۱ می‌باشد. البته انتظار می‌رفت که کالای نوع یک به دلیل ضریب اهمیت بالاتر دارای موجودی

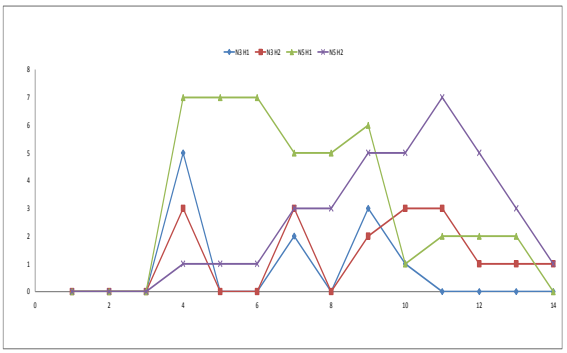
[Downloaded from www.iust.ac.ir on 2024-09-18]

بیشتری نسبت به کالای نوع دوم باشد اما مشاهده می‌شود که متوسط موجودی برای کالای نوع اول منفی است درصورتیکه برای کالای نوع دوم که از اهمیت کمتری نیز برخوردار است متوسط موجودی مثبت است. باید توجه داشت دلیل این امر بیشتر بودن کالای نوع دوم نسبت به تقاضای مربوطه است. از انجاییکه تفاضل مجموع عرضه‌های کالای نوع دوم با مجموع تقاضاهای مربوطه نسبت به کالای نوع یک بیشتر است موجودی این کالا در نقاط تقاضا در اکثر اوقات مثبت است درصورتیکه برای کالای نوع یک این اتفاق رخ نمی‌دهد. از اینرو توصیه می‌شود که کالاهایی که از اهمیت بیشتری در فاز پاسخ به زلزله برخوردار هستند به میزان کافی نگهداری شود و یا تامین‌کنندگان مناسب و کافی برای آن‌ها تخصیص داده شود تا در زمان پاسخ با مشکل کمبود کالا کمتر مشاهده گردد.



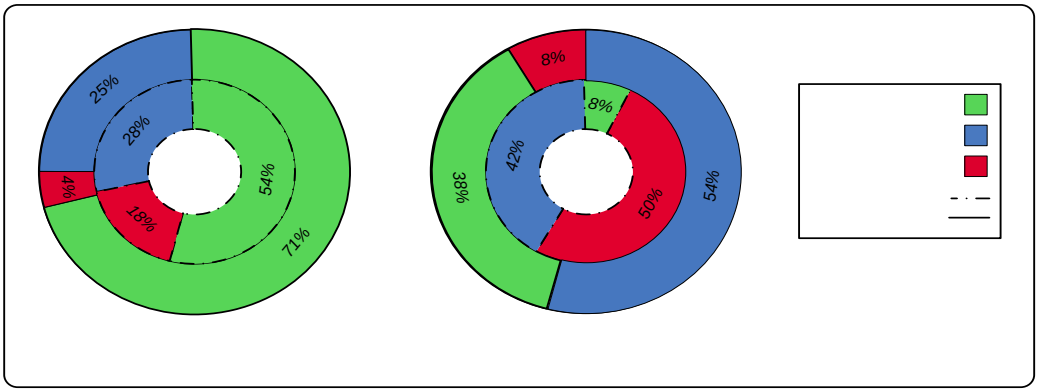
شکل۴. وضعیت موجودی کالاها در نقاط آسیب‌دیده

بدیهی است یکی از پارامترهای مهم در پاسخ وضعیت مصدومانی است که هنوز به مراکز درمان نرسیده‌اند. شکل-۵ وضعیت مصدومان نرسیده به بیمارستان یا مراکز درمان را در هر دوره زمانی نشان می‌دهد. همانطور که در این شکل مشاهده می‌شود در دوره‌های ابتدایی یا در دوره‌های تقاضا این میزان زیاد بوده ولی با گذشت زمان از میزان آن‌ها کم می‌شود.



شکل۵. وضعیت مصدومان نرسیده به مراکز درمان

بطوریکه متوسط زمان برای رسیدن مصدومان گره N_3 برابر با ۱/۱۷ واحد زمانی و برای گره N_5 برابر با ۳/۰۹ واحد زمانی است. دلیل این امر نیز دسترسی گره N_3 به حمل‌ونقل هوایی است که منجر به کاهش زمان انتظار مصدومان برای رسیدگی می‌گردد. ضمنا بررسی دقیقتر نمودار-۴ نشان می‌دهد در گره N_3 زمان انتظار مصدومان نوع یک برابر با ۱/۰ و مصدومان نوع دو برابر با ۱/۳۱ واحد زمانی است. در حالیکه در گره N_5 زمان انتظار این دو نوع مصدوم به ترتیب ۲/۹۳ و ۳/۱۸ واحد زمانی است. بدیهی است دلیل این تفاوت، تفاوت در ضریب اهمیت این دو نوع مصدوم می‌باشد. سهم مدهای مختلف برای حمل کالاهای و مصدوم نیز در شکل-۵ نشان داده شده است. لازم به ذکر است دایره‌های داخلی بیانگر سهم مدهای حمل و نقل در کالا یا مصدوم نوع یک و دایره‌های بیرونی بیانگر سهم مدهای حمل و نقل در کالا یا مصدوم نوع دو می‌باشد.



شکل۶. سهم مدهای حمل و نقل در حمل انواع مصدوم و کالا

همانطور که انتظار می‌رفت به دلیل اهمیت بیشتر مصدومان نسبت به کالاها درصد عمده‌ای از آن‌ها توسط حمل‌ونقل هوایی جابجا گردند بطوریکه ۹۲٪ از مصدومان نوع یک (به دلیل اهمیت بیشتر) و ۶۲٪ از مصدومان نوع دو توسط حمل و نقل هوایی و یا ترکیبی که شامل هوایی نیز می‌شود جابجا می‌شوند. در صورتیکه در مورد کالاها از کالای نوع یک به دلیل اهمیت بیشتر ۲۸٪ و از

[Downloaded from www.iust.ac.ir on 2024-09-18]

کالای نوع دو تنها ۲۵٪ آن توسط وسائط نقلیه هوایی حمل می‌شوند.

۵. تحلیل و آنالیز شبکه

پر واضح است که شبکه راه‌های قابل استفاده و تنوع و تعداد وسائل نقلیه از فاکتورهای مهم در نحوه مدیریت پاسخ به زلزله می‌باشد. اما لزوما همه این اجزا از اهمیت یکسانی برخوردار نیستند. به عبارتی برخی از وسایل نقلیه در مقایسه با سایر وسائل از اهمیت بیشتری برخوردار بوده و یا بهبود بهتری در پاسخ ایجاد می‌کنند و یا برخی از راه‌های ارتباطی موجود در شبکه در مقایسه با سایر راه‌های ارتباطی مهمتر باشند چرا که از دست دادن آن‌ها در شبکه ممکن است که امر پاسخ را با مشکل مواجه ساخته و از سرعت و اثربخشی آن بکاهد. بدیهی است که وجود چنین اطلاعاتی به مدیران کمک می‌کند تا برنامه‌ریزی لازم جهت پاسخگویی بهتر را داشته باشند. به عنوان نمونه، شناسایی راه‌های مهم در شبکه به مدیران کمک می‌نماید در شرایط عادی توجه بیشتری به آن‌ها داشته و انجام اقدامات لازم مانع از دست رفتن آن‌ها درشرایط بحرانی گردند. برای این منظور، در این قسمت به آنالیز دقیق‌تر مساله پرداخته شده تا عناصر مهم آن شناسایی گردد. از آنجاییکه مکان وقوع زلزله از قبل قابل پیش‌بینی نیست در این قسمت فرض شده است که زلزله می‌تواند در هر نقطه‌ای از شبکه رخ داده و حداکثر بتواند سه شهر مجاور را تحت تاثیر قرار دهد. ضمنا فرض شده است که در صورت وقوع زلزله در یک گره، امکانات آن گره نظیر انبارهای کالا، بیمارستان‌ها و مراکز درمان یا قابل استفاده نبوده و با تنها به همان گره تخصیص می‌یابد. جدول-۷ پیش‌بینی مربوط تقاضای به هر یک از گره‌ها در صورت وقوع زلزله در آن را نشان می‌دهد.

جدول۷. تقاضای مربوط به گره‌های مختلف در صورت وقوع زلزله

t	4	7	9	10	11			4	7	9	10	11
N1	C1	30	25	30	40	20	H1	8	6	3	2	0
	C2	15	10	8	5	7	H2	4	5	2	1	1
N2	C1	15	20	18	22	25	H1	6	4	2	1	1
	C2	10	7	5	8	7	H2	3	2	3	0	0
N3	C1	40	35	50	30	40	H1	5	2	3	1	0
	C2	10	12	10	2	10	H2	3	3	2	3	2
N4	C1	25	30	35	30	25	H1	8	5	7	4	2
	C2	18	20	15	20	22	H2	6	2	4	1	0
N5	C1	10	15	20	15	20	H1	7	5	1	0	2
	C2	15	15	15	40	10	H2	1	3	2	3	2
N6	C1	15	20	18	20	25	H1	3	3	2	1	2
	C2	10	12	14	15	13	H2	4	2	3	2	3
N7	C1	30	40	35	38	45	H1	8	10	6	5	4
	C2	20	15	18	20	10	H2	3	4	3	2	1
N8	C1	40	45	30	35	38	H1	10	12	8	5	3
	C2	20	25	23	20	18	H2	4	6	5	4	2
N9	C1	25	30	20	28	24	H1	5	4	3	4	0
	C2	12	15	13	14	17	H2	2	3	2	0	1
N10	C1	30	40	35	30	30	H1	5	4	6	3	3
	C2	10	15	14	12	8	H2	5	5	4	2	0

با توجه به ساختار شبکه و فرضیات انجام شده با وقوع یک زلزله یکی از ۴۴ حالت مختلف جدول-۸ به وقوع خواهد پیوست. مسائل مربوط به هر یک از حالات با استفاده از مدل ارائه شده حل شده و نتایج آن در جدول-۸ ارائه شده است. همانطور که در این جدول مشاهده می‌شود در هر یک از حالات، راه‌هایی که از آن حداقل ۱۰ درصد از کالاها یا مصدومان می‌گذرد نشان داده شده است. به عنوان نمونه در حالت ۲۵ که در آن زلزله منجر به خسارت گره‌های $N_۶$ $N_۷$ شده است مهمترین راه‌ها عبارتند از راه زمینی بین $N_۱$ و $N_۴$ و $N_۴$ و $N_۵$ که ۳۶٪ از کل کالاهای ارسالی از آن می‌گذرد. ضمنا راه‌های زمینی بین $N_۸$ و $N_۹$ و همچنین راه‌های زمینی و ریلی $N_۸$ و $N_{۱۰}$ نیز از اهمیت بالایی برخوردار بوده و به ترتیب ۲۸٪، ۱۸٪ و ۱۸٪ کل کالاهای ارسالی را از خود عبور می‌دهد. برای حمل مصدومان نیز راه‌های زمینی بین $N_۸$ و $N_۹$ و $N_۵$ و $N_۶$ از بیشترین اهمیت برخوردار بوده و به ترتیب ۶۴٪ و ۲۹٪ از حمل را به خود تخصیص داده‌اند. نتایج حاصل از تحلیل ۴۴ حالت مختلف وقوع زلزله در جدول-۹ نمایش داده شده است. به عنوان نمونه سه راه بسیار موثر در حمل کالا عبارت است از راه زمینی بین $N_۴$ و $N_۱$، راه هوایی بین $N_۲$ و $N_۹$ و راه زمینی بین $N_۱$ و $N_۲$. ضمنا مهمترین راه‌ها جهت حمل مصدوم در شرایط مختلف عبارتند از راه زمینی بین $N_۸$ و $N_۹$، راه هوایی بین $N_۲$ و $N_۹$ و راه هوایی بین $N_۲$ و $N_۶$. ضمنا با توجه به شناسایی مهمترین راه‌ها فرض شده است که ضریب اهمیت حمل هر مصدوم ۱۵۰ درصد یک کالا بوده در اینصورت مهمترین راه‌ها در ستون آخر جدول نمایش داده شده است.

[Downloaded from www.iust.ac.ir on 2024-09-18]

جدول۸. نتایج بدست آمده برای حالات مختلف

No.	Dem. Node	Rd. 1	Rd. 2	Rd. 3	Rd. 4	Rd. 5	Rd. 6	Rd. 7	Rd. 8	Rd. 9	Rd. 10	Rd. 1	Rd. 2	Rd. 3	Rd. 4	Rd. 5	Rd. 6
1	N1	(2,1,1)	(9,2,3)	(3,1,1)	(8,3,1)	(10,8,2)	(7,3,1)	(10,7,1)				(1,2,4)					
		0.66	0.56	0.34	0.31	0.22	0.10	0.10				1.00					
2	N2	(9,2,3)	(9,2,1)	(9,3,3)	(3,2,1)	(1,3,1)	(3,9,3)	(3,2,3)	(10,9,1)			(2,9,3)					
		0.31	0.31	0.26	0.18	0.17	0.17	0.15	0.10			1.00					
3	N3	(9,3,3)	(1,3,1)	(10,8,2)	(1,2,1)	(2,3,3)	(8,9,1)					(3,2,3)	(3,9,3)				
		0.46	0.28	0.15	0.14	0.14	0.12					0.86	0.14				
4	N4	(1,4,1)	(2,4,1)	(9,2,3)	(5,4,1)							(4,5,4)	(4,2,4)	(5,8,4)	(5,6,4)	(6,2,3)	
		0.67	0.22	0.13	0.11							0.60	0.40	0.32	0.28	0.28	
5	N5	(8,5,1)	(1,4,1)	(4,5,1)	(10,8,1)	(7,5,1)	(9,2,3)	(2,3,3)	(3,7,1)	(10,8,2)	(10,7,1)	(5,8,4)	(5,6,4)	(6,2,3)			
		0.39	0.30	0.30	0.27	0.23	0.16	0.12	0.12	0.11	0.10	0.68	0.32	0.32			
6	N6	(5,6,1)	(1,4,1)	(4,5,1)	(2,6,3)	(10,7,1)	(9,2,3)	(9,3,1)	(3,2,3)	(3,5,1)	(7,3,1)	(6,2,3)					
		0.55	0.51	0.45	0.28	0.15	0.15	0.14	0.12	0.10	0.10	1.00					
7	N7	(10,7,1)	(1,4,1)	(4,5,1)	(5,7,1)	(3,7,1)	(9,3,1)					(3,9,3)	(7,3,4)	(7,8,4)			
		0.48	0.26	0.26	0.26	0.24	0.15					0.58	0.58	0.42			
8	N8	(9,8,1)	(10,8,1)	(1,3,1)	(3,8,1)	(10,8,2)						(8,9,4)					
		0.34	0.26	0.23	0.23	0.17						1.00					
9	N9	(1,2,1)	(2,9,3)	(8,9,1)	(10,9,1)	(10,8,2)	(10,8,1)					(9,2,3)					
		0.56	0.56	0.26	0.18	0.14	0.11					0.97					
10	N10	(8,10,2)	(1,2,1)	(9,8,1)	(2,3,3)	(3,8,1)	(9,10,1)	(8,10,1)	(2,9,3)			(10,8,3)	(10,9,3)				
		0.49	0.41	0.41	0.29	0.29	0.24	0.22	0.12			0.76	0.24				
11	(N1,N2)	(9,2,3)	(10,8,2)	(8,9,1)	(2,1,1)	(10,7,1)	(4,1,1)	(5,4,1)	(7,5,1)			(2,9,3)	(1,2,4)				
		0.75	0.32	0.31	0.29	0.16	0.13	0.13	0.13			1.00	0.58				
12	(N1,N4)	(5,4,1)	(2,1,1)	(9,2,3)	(7,5,1)	(10,7,1)	(8,5,1)	(10,8,2)				(1,2,4)	(4,5,4)	(4,1,4)	(6,2,3)	(5,6,4)	(5,8,4)
		0.57	0.43	0.41	0.39	0.39	0.18	0.18				0.66	0.30	0.21	0.21	0.17	0.13
13	(N1,N3)	(8,3,1)	(9,3,3)	(7,3,1)	(10,7,1)	(10,8,2)						(1,2,4)	(3,9,3)				
		0.30	0.29	0.25	0.25	0.24						0.61	0.34				
14	(N2,N3)	(1,2,1)	(8,3,1)	(9,3,3)	(10,8,1)	(10,8,2)						(2,9,3)	(3,9,3)				
		0.31	0.24	0.23	0.14	0.14						0.53	0.47				
15	(N2,N9)	(1,2,1)	(8,9,1)	(10,8,2)	(10,8,1)	(2,9,3)	(10,9,1)					(9,8,4)	(2,3,3)	(3,8,4)			
		0.57	0.32	0.16	0.16	0.15	0.12					0.56	0.44	0.44			
16	(N3,N4)	(1,4,1)		(8,3,1)	(10,8,2)	(9,3,1)	(9,3,3)						(4,2,4)	(3,2,3)	(6,2,3)	(3,9,3)	
		0.41		0.26	0.24	0.13	0.13						0.41	0.21	0.17	0.11	
17	(N3,N9)	(1,3,1)		(10,8,1)	(8,3,1)	(1,2,1)	(8,9,1)	(10,8,2)	(2,9,3)				(9,2,3)	(3,2,3)			
		0.34		0.27	0.22	0.21	0.19	0.14	0.13				0.56	0.44			
18	(N3,N5)	(1,4,1)		(4,5,1)	(9,3,3)	(8,3,1)	(10,8,2)	(1,3,1)				(5,8,4)	(3,9,3)				
		0.32		0.32	0.30	0.24	0.16	0.10				0.49	0.41				
19	(N3,N8)	(1,3,1)		(10,8,1)	(9,3,3)	(9,8,1)	(10,8,2)					(8,9,4)	(3,2,3)	(8,3,4)			
		0.28		0.27	0.18	0.10	0.10					0.65	0.35	0.10			
20	(N4,N5)	(1,4,1)		(7,5,1)	(10,7,1)	(6,5,1)	(9,2,3)					(6,2,3)	(5,6,4)	(4,6,4)	(4,2,4)		
		0.49		0.19	0.19	0.17	0.13					0.62	0.31	0.31	0.30		
21	(N4,N6)	(1,4,1)		(10,7,1)	(10,8,2)	(3,6,3)	(8,3,2)	(9,3,3)				(6,2,3)	(4,2,4)	(4,5,4)			
		0.43		0.17	0.16	0.16	0.16	0.14				0.45	0.43	0.10			
22	(N5,N6)	(1,4,1)		(4,5,1)	(10,7,1)	(3,6,3)	(2,6,3)	(7,6,1)	(9,3,3)	(7,5,1)		(6,2,3)	(5,8,4)				
		0.40		0.40	0.23	0.15	0.14	0.13	0.13	0.10		0.51	0.49				
23	(N5,N7)	(10,7,1)		(1,4,1)	(4,5,1)	(3,7,1)	(9,3,2)					(7,3,4)	(3,9,3)	(5,6,4)	(6,2,3)	(7,8,4)	
		0.36		0.36	0.36	0.27	0.19					0.43	0.42	0.27	0.27	0.24	
24	(N5,N8)	(1,4,1)		(4,5,1)	(9,8,1)	(10,8,1)	(10,8,2)					(8,9,4)	(5,6,4)	(6,2,3)			
		0.35		0.35	0.31	0.22	0.10					0.71	0.29	0.29			
25	(N6,N7)	(1,4,1)		(4,5,1)	(9,8,1)	(10,8,1)	(10,8,2)					(8,9,4)	(5,6,4)	(6,2,3)			
		0.36		0.36	0.28	0.18	0.18					0.64	0.29	0.27			
26	(N7,N8)	(10,7,1)		(9,8,1)	(1,3,1)	(3,7,1)	(3,8,1)	(1,2,1)	(2,3,3)			(8,9,4)	(3,2,3)	(7,3,4)			
		0.27		0.27	0.27	0.21	0.17	0.12	0.12			0.54	0.46	0.41			
27	(N7,N10)	(3,7,1)		(1,3,1)	(9,3,3)	(1,2,1)	(2,3,3)	(8,10,2)	(9,8,1)			(7,3,4)	(3,2,3)	(3,9,3)	(10,8,4)	(10,9,4)	
		0.87		0.46	0.28	0.13	0.13	0.12	0.12			0.56	0.28	0.28	0.25	0.14	
28	(N8,N9)	(1,2,1)		(2,9,3)	(10,8,2)	(10,8,1)						(9,2,3)	(8,9,4)	(3,2,3)	(8,3,4)		
		0.46		0.46	0.31	0.16						0.74	0.35	0.26	0.26		
29	(N8,N10)	(9,8,1)		(1,2,1)	(3,8,1)	(2,9,3)	(1,3,1)					(8,9,4)	(9,2,3)	(10,9,4)			
		0.68		0.36	0.32	0.27	0.23					0.89	0.30	0.11			
30	(N9,N10)	(1,2,1)		(2,9,3)								(10,8,4)	(9,2,3)	(3,2,3)			
		0.94		0.94								0.49	0.42	0.19			
31	(N1,N2,N3)	(8,3,1)	(10,8,2)	(9,2,3)	(9,3,3)	(7,3,1)	(10,7,1)					(2,9,3)	(3,9,3)	(1,2,4)	(10,9,4)		
		0.38	0.37	0.21	0.19	0.16	0.16					0.65	0.35	0.24	0.18		
32	(N1,N2,N4)	(5,4,1)	(9,2,3)	(7,5,1)	(10,7,1)	(10,8,2)	(2,1,1)	(3,2,3)	(8,3,1)			(2,9,3)	(1,2,4)	(4,5,4)	(5,8,4)		
		0.45	0.44	0.38	0.38	0.17	0.14	0.11	0.11			0.74	0.43	0.26	0.26		
33	(N1,N3,N4)	(8,3,1)	(10,8,2)	(9,3,3)	(10,8,1)							(1,2,4)	(3,9,3)	(4,6,4)	(6,2,3)	(4,2,4)	(4,5,4)	(5,8,4)
		0.49	0.38	0.33	0.11							0.35	0.20	0.16	0.16	0.13	0.13	0.13
34	(N2,N3,N4)	(1,4,1)	(8,3,1)	(10,8,2)	(10,8,1)	(9,3,3)	(9,2,3)					(2,9,3)	(4,5,4)	(5,8,4)	(3,9,3)	(1,2,4)	(4,1,4)	
		0.40	0.32	0.16	0.16	0.15	0.11					0.45	0.29	0.29	0.27	0.15	0.15	
35	(N2,N3,N9)	(7,3,1)	(5,7,1)	(5,6,1)	(6,3,3)	(1,3,1)	(1,2,1)	(2,3,3)	(8,3,1)	(10,8,2)	(10,7,1)		(3,8,4)	(9,8,4)	(2,3,4)	(8,9,4)	(9,3,4)	
		0.86	0.71	0.52	0.52	0.40	0.29	0.29	0.16	0.16	0.15		0.92	0.90	0.44	0.40	0.12	
36	(N3,N4,N5)	(1,4,1)	(8,3,1)	(10,8,2)	(9,3,3)								(5,6,4)	(6,2,3)	(4,2,4)	(5,8,4)	(4,5,4)	(3,9,3)
		0.39	0.26	0.26	0.22								0.29	0.29	0.28	0.19	0.17	0.16
37	(N3,N5,N7)	(10,7,1)	(1,4,1)	(4,5,1)	(9,3,3)								(7,3,4)	(3,2,3)	(3,9,3)	(5,6,4)	(6,2,3)	
		0.35	0.30	0.30	0.22								0.42	0.35	0.29	0.19	0.19	
38	(N3,N5,N8)	(1,4,1)	(4,5,1)	(10,8,2)	(9,3,3)	(10,8,1)							(8,9,4)	(5,6,4)	(6,2,3)	(3,2,3)		
		0.32	0.32	0.24	0.18	0.12							0.58	0.24	0.24	0.16		
39	(N3,N8,N9)	(10,8,2)	(1,3,1)	(1,2,1)	(2,9,3)	(10,8,1)							(9,2,3)	(3,2,3)	(8,9,4)	(8,3,4)		
		0.31	0.29	0.24	0.19	0.16							0.53	0.47	0.31	0.20		
40	(N4,N5,N6)	(1,4,1)	(10,7,1)	(7,5,1)	(9,6,3)	(8,5,1)	(3,6,3)	(10,8,2)					(6,2,3)	(5,6,4)	(5,8,4)	(4,5,4)	(1,2,4)	(4,1,4)
		0.39	0.23	0.20	0.13	0.13	0.12	0.12					0.59	0.29	0.24	0.23	0.17	0.17
41	(N5,N6,N7)	(1,4,1)	(4,5,1)	(10,7,1)	(9,3,3)	(3,7,1)							(6,2,3)	(3,9,3)	(7,3,4)	(5,6,4)	(7,8,4)	
		0.38	0.38	0.35	0.23	0.18							0.48	0.29	0.29	0.26	0.22	
42	(N5,N7,N8)	(6,5,1)	(7,5,1)	(10,7,1)	(1,4,1)	(4,5,1)	(3,6,3)	(2,6,3)	(3,2,3)				(8,9,4)	(3,2,3)	(9,2,3)	(8,3,4)		
		0.64	0.51	0.51	0.42	0.42	0.41	0.23	0.23				1.00	0.67	0.63	0.60		
43	(N7,N8,N10)	(1,3,1)	(9,8,1)	(3,8,1)	(3,7,1)								(8,9,4)	(7,3,4)	(3,2,3)			
		0.54	0.40	0.33	0.20								0.55	0.43	0.41			
44	(N8,N9,N10)	(1,2,1)	(2,9,3)	(1,3,1)									(9,2,3)	(3,2,3)	(8,3,4)	(8,9,4)		
		0.86	0.86	0.14									0.66	0.34	0.33	0.20		

[Downloaded from www.iust.ac.ir on 2024-09-18]

جدول۹. مهمترین راه‌ها برای حمل کالا و مصدوم در شبکه مورد بررسی

رتبه	مهمترین یال ها برای حمل کالا			مهمترین یال ها برای حمل مصدوم			مهمترین یال ها
	یال و نوع راه	مجموع کالای عبوری	مجموع درصدها	یال و نوع راه	مجموع کالای عبوری	مجموع درصدها	یال و نوع راه
1	**(1,4,1)**	1555.40	7.61	**(8,9,1)**	340.00	9.26	**(2,9,3)**
2	**(2,9,3)**	980.00	7.04	**(2,9,3)**	268.20	9.18	**(8,9,1)**
3	**(1,2,1)**	1011.80	7.00	**(2,6,3)**	225.20	6.35	**(1,2,1)**
4	**(10,8,2)**	1123.60	5.99	**(2,3,3)**	208.80	5.89	**(3,9,3)**
5	**(4,5,1)**	1002.70	5.49	**(3,9,3)**	154.40	4.32	**(2,3,3)**
6	**(10,7,1)**	885.00	4.87	**(1,2,1)**	134.00	4.19	**(2,6,3)**
7	**(3,8,1)**	878.70	4.69	**(5,6,1)**	133.40	3.21	**(3,8,1)**
8	**(3,9,3)**	823.90	4.16	**(5,8,1)**	96.00	3.20	**(4,5,1)**
9	**(8,9,1)**	751.20	4.10	**(3,7,1)**	150.40	3.12	**(1,4,1)**
10	**(1,3,1)**	679.90	4.06	**(3,8,1)**	64.60	2.86	**(3,7,1)**

ضمنا تحلیل نتایج بدست آمده نشان می‌دهد در حالاتی که نقاط آسیب‌دیده قابلیت استفاده از وسیله نقلیه نوع سوم را داشته باشند این وسیله نقلیه به دلیل سرعت بالا از اهمیت بیشتری نسبت به سایر وسایط برخوردار بوده و بیشتر برای حمل مصدومان مورد استفاده قرار می‌گیرد. به عنوان نمونه در تمامی حالات ۲، ۳، ۶، ۱۴ و ۱۷ که نقاط آسیب‌دیده و بیمارستان‌ها قابلیت استفاده از این وسیله نقلیه را دارند کلیه مصدومان توسط این وسیله نقلیه جابجا شده‌اند. اما در مورد حمل کالاها معمولا وسائط نقلیه زمینی با توجه به دسترسی بیشتر و تنوع بیشتر سهم بیشتری را دارا می‌باشند.

۶. جمع‌بندی و پیشنهاد تحقیقات آتی

همانطور که گفته شد فعالیت‌های لجستیکی یکی از اقدامات مهم در فاز پاسخ به زلزله می‌باشد و انجام برنامه‌ریزی‌های لازم برای آن از اهمیت فراوانی برخوردار است. اگرچه در حوادث کوچک مدیر بحران به تنهایی قادر به انجام برنامه‌ریزی مربوطه به‌صورت تجربی است اما چنانچه حوادث ابعاد بزرگتری داشته باشد انجام برنامه-ریزی‌های مربوطه از پیچیدگی بیشتری برخوردار بوده و مدیران بدون استفاده از ابزارهای لازم قادر به انجام چنین برنامه‌ریزی نمی‌باشد. از اینرو هدف از این تحقیق ارائه یک مدل لجستیکی جهت انجام برنامه‌ریزی‌های لازم برای بهبود در اقدامات لجستیکی فاز پاسخ به زلزله می‌باشد. برای این منظور ابتدا به بررسی تحقیقات انجام شده در این حوزه پرداخته شده است. پس از بررسی تحقیقات انجام شده، به تعریف مساله و فرضیات آن پرداخته شده و سپس با توجه به مشخصات مساله و فرضیات تعریف شده مدل ریاضی مربوطه توسعه داده شده است و در انتها نیز جهت تشریح بیشتر مدل و نتایج به ارائه یک مثال عددی بصورت تفصیلی پرداخته شده و تحلیل کلی از مساله ارائه شده است.

بطورکلی انجام تحقیقات در این حوزه در سال‌های اخیر مورد توجه فراوان قرار گرفته است که اغلب آن‌ها در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفته است. از جمله زمینه‌های آتی تحقیقات در این حوزه بررسی شرایط تصادفی و یا دینامیکی فاز پاسخ می‌باشد. مدل این تحقیق با این فرض که اطلاعات مربوط به تقاضا و تامین در ابتدای دوره برنامه‌ریزی مشخص و در دست است توسعه یافته است اما در شرایط واقعی در بسیاری از مواقع اطلاعات یا بصورت قطعی در دست نیست و یا اینکه بصورت دینامیک در حال تغییر می‌باشند از اینرو ارائه مدل لجستیکی در حال غیرقطعی و دینامیک می‌تواند کارایی برنامه‌ریزی‌های انجام شده را تا حد زیادی افزایش دهد. از دیگر زمینه‌های تحقیقاتی قابل پیشنهاد در این حوزه مکان‌یابی دینامیک وسائط نقلیه حمل کالا و مصدوم در شبکه در حالت غیرقطعی می‌باشد. همانطور که در مدل مشاهده شد در این مدل وسائط نقلیه خالی درصورت عدم نیاز در مراکز درمان، مبادی یا مقاصد متوقف می‌شوند اگرچه با توجه به اینکه فرض شده است اطلاعات مورد نیاز برای برنامه-ریزی در ابتدای دوره برنامه‌ریزی در دست است نیازی به مکان-یابی دینامیک وجود نداشته و مکان‌یابی دینامیک نمی‌تواند بهبودی در برنامه‌ریزی ارائه نماید. اما در شرایط عدم قطعیت، با توجه به اینکه رخدادهای شبکه شامل تقاضا یا تامین از ابتدا مشخص نیست مکان‌یابی دینامیک می‌تواند اثربخشی فراونی در اقدامات لجستیکی داشته باشد. درانتها نیز ارائه مدلی جهت استخراج شبکه قابل استفاده با استفاده از اطلاعات دریافتی از *GPS*های مستقر در شبکه می‌تواند یکی از زمینه‌های دیگر تحقیقاتی در این حوزه باشد.

[Downloaded from www.iust.ac.ir on 2024-09-18]

منابع

[1] Eshghi K., Larson R. C., "*Disasetr: lessons from the past 105 years", Prevention and Management*", 2008, Vol. 17 (1), pp. 62-82.

[2] Nateghi-A., F., *"Disaster mitigation strategies in Tehran, Iran*", Disaster Prevention and Management, 2000 , Vol. 9 (3), pp. 205-211.

[3] Nateghi-A., F., *"Earthquake scenario for the mega-city of Tehran*", Disaster Prevention and Management, 2001, Vol. 10 (2), pp. 95-100.

[4] Nateghi-A., F., Yasamin, O. Izadkhah, *"Earthquake Disaster Management Planning in Health Care Facilities*", Disaster Prevention and Management, 2004, Vol. 13 (2), pp. 130–135.

[5] Prizzia, R., Helfand, G., *"Emergency preparedness and disaster management in Hawaii*", Disaster Prevention and Management, 2001, Vol. 10 (3), pp 173-182.

[6] Nateghi-A., F., *"Existing and Proposed Earthquake Disaster Management Organization for Iran*" Disaster Prevention and Management, 2000, Vol. 9 (3), pp 200-204.

[7]. Helbing D. , Kuhnert C., "Assessing interaction networks with applications to catastrophe dynamics and disaster management" Physica A, 2003, Vol. 328, pp. 584 – 606.

[8] Chan, N.W., "*Flood Disaster Management in Malaysia: an Evaluation of the Effectiveness of Government Resettlement Schemes",* Disaster Prevention and Management, 1995, Vol. 4, pp. 22–29.

[9] Ray, J., "*A Multi-Period Linear Programming Model for Optimally Scheduling the Distribution of Food-aid in West Africa",* M.S. Thesis, University of Tennessee, Knoxville, TN, 1987.

[10] Knott, R., "*The Logistics of Bulk Relief Suppliers*", Disaster, 1987, Vol. 11, pp. 113 –115.

[11] Knott, R., *"Vehicle Routing for Emergency Relief Management: a Knowledge - Based Approach*", Disaster, 1988, Vol. 12, pp. 285–293.

[12] Oh, S., Haghani, A., *"Formulation and Solution of a Multi-Commodity, Multi-Modal Network Flow Model for Disaster Relief Operations"*, Transport. Res., 1996, Vol. 30, pp. 231–250.

[13] Oh, S., Haghani, A., "*Testing and Evaluation of a Multi-Commodity Multi-Modal Network Flow Model for Disaster Relief Management*". Journal of Advanced Transportation., 1997, Vol. 31, pp. 249–282.

[14] Fiedrich, F., Gehbauer, U., Rickers, "*Optimized Resource Allocation for Emergency Response After Earthquake Disasters*", Safety Science, 2000, Vol. 35, pp. 41-57.

[15] Barbarosoglu, G., Ozdamar, L., Cevik, A., *"An Interactive Approach for Hierarchical Analysis of Helicopter Logistics in Disaster Relief Operations*", Eur. J. Operation Res., 2002, Vol. 140, pp. 118–133.

[16] Barbarosoglu, G., Arda, Y., "*A Two-Stage Stochastic Programming Framework for Transportation Planning in Disaster Response*", Journal of Operational Research. Society, 2004, Vol. 55, pp. 43–53.

[17] Ozdamar, L., Ekinci, E., Kucukyazici, B., *"Emergency Logistics Planning in Natural Disasters"*. Annals of Operations Research, 2004, Vol. 129, pp. 217–245.

[18] Nolz, C., Pamela, Semet Frédéric , Doerner, F., Karl, *"Risk Approaches for Delivering Disaster Relief Supplies*", OR Spectrum, 2011, Vol. 33, pp. 543–569.

[19] Saini Yang, Masoud Hamedi, Haghani, A., *"Online Dispatching and Routing Model for Emergency Vehicles with Area Coverage Constraints*", Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No. 1923, Transportation Research Board of the National Academies, Washington,D.C., 2005, pp. 1–8.

[20] Wei Yi, Linet Ozdamar, *"A Dynamic Logistics Coordination Model for Evacuation and Support in Disaster Response Activities*", European Journal of Operational Research, 2006, Vol. 179 (3), pp. 1177-1193.

[21] Beamon, B., Kotleba, S., *"Inventory Modeling for Complex Emergencies in Humanitarian Relief Operations",* International Journal of Logistics: Research and Applications, March 2006, Vol. 9 (1), pp. 1-18.

[22] Lin Yen-Hung, Batta Rajan, Rogerson A. Peter, Blatt Alan , Flanigan Marie , *"A Logistics Model for Emergency Supply of Critical Items in the Aftermath of a Disaster",* Socio-Economic Planning Sciences ,2011, Article in Press.

[23] Berkoune Djamel, Renaud Jacques, Rekik Monia, Ruiz Angel, *"Transportation in Disaster Response Operations"* , Socio-Economic Planning Sciences ,2011, Article in Press.

[24] Ozdamar Linet, *"Planning Helicopter Logistics in Disaster Relief*", OR Spectrum, 2011, Vol. 33, pp. 655–672.

[Downloaded from www.iust.ac.ir on 2024-09-18]