Archive of SID

حل مسأله مسیریابی وسایل نقلیه سبز با در نظر گرفتن وضعیت ترافیک شهری و کاهش سوخت مصرفی در توزیع کالاهای فاسدشدنی

عرفان بابایی تیرکلایی، دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علوم و فنون مازندران، بابل، ایران

شقایق هادیان، دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علوم و فنون مازندران، بابل، ایران

ایرج مهدوی (مسئول مکاتبات)، استاد، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علوم و فنون مازندران، بابل، ایران

میر مهدی سید اصفهانی، استاد، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران

E-mail: e.babaee@in.iut.ac.ir

دریافت:۱۲ /۱۳۹۷/۰۲ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۶/۱۳

چکیده

امروزه حمل و نقل و لجستیک به دلیل اثراتی که بر متغیرهای اصلی اقتصاد کشور مانند تولید، اشتغال، قیمت و شاخص هزینه زندگی بر جای می‌گذارد، به عنوان پیشران در توسعه اقتصادی در کشورها محسوب می‌شود. آمارها نشانگر آن است که مصرف سوخت بخش قابل توجهی از هزینه‌های حمل و نقل را در بر می‌گیرد. از سویی دیگر، وضعیت ترافیک نیز یکی از عوامل مؤثر در تعیین زمان سفر وسایل نقلیه بین نقاط تقاضا در یک زنجیره تامین، افزایش مصرف سوخت و در نتیجه تشدید اثرات مخرب گازهای گلخانه‌ای محسوب می شود. در این مقاله، یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط جدید برای مسأله مسیریابی وسایل نقلیه با توجه به شرایط متفاوت ترافیکی (بدون ترافیک، روان، نیمه سنگین، سنگین) و کاهش سوخت مصرفی و با در نظر گرفتن محدودیت بازه‌های زمانی مختص به توزیع محصولات فاسدشدنی ارائه می‌شود. برای حل مسأله و صحه گذاری مدل پیشنهادی از حل کننده CPLEX نرم افزار GAMS استفاده می‌شود. در نهایت، به جهت بررسی کاربردی بودن مدل پیشنهادی به حل و تشریح یک مسأله مطالعه موردی به همراه آنالیز حساسیت پرداخته می‌شود و سیاست‌های بهینه مدیریتی تشریح می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: مسیریابی وسایل نقلیه سبز، ترافیک شهری، سوخت مصرفی، محصولات فاسدشدنی، آنالیز حساسیت.

www.SID.ir

Archive of SID

۱. مقدمه

امروزه حمل و نقل یکی از اجزای مهم اقتصاد محسوب می‌گردد. هم چنین، حمل و نقل اثرات جبران ناپذیری بر محیط زیست می-گذارد که مصرف منابع، استفاده از اراضی، تاثیرات مضر بر اکوسیستم و انسان‌ها، سر و صدا، و انتشار گازهای گلخانه‌ای و آلاینده‌ها تنها نمونه‌ای از این خطرات هستند. در طی سال‌های اخیر تلاش‌های زیادی به جهت کاهش هزینه حمل و نقل با به کارگیری مدل‌های مختلف مسأله مسیریابی وسیله نقلیه[۱] (VRP) صورت گرفته است. به دنبال آن، علاوه بر دیدگاه اقتصادی و افزایش هزینه-های توزیع کالا در یک شبکه زنجیره تأمین، دیدگاه مهم زیست محیطی و افزایش میزان آلایندگی ناشی از تردد وسایل نقلیه موجب آن شده است تا استفاده از مدل‌های مسیریابی وسیله نقلیه سبز[۲] (GVRP) رواج بیشتری پیدا کند. در مسایل سنتی VRP، هدف تعیین یک مجموعه بهینه از مسیرها برای ناوگان وسایل نقلیه جهت سرویس دهی تعداد مشخصی از مشتریان و کمینه سازی هزینه‌های مسافت کل پیموده شده بود، در حالیکه در GVRP محاسبه هزینه مصرف سوخت[۳] و میزان انتشارات CO_2 علاوه بر اهداف ذکر شده، منجر به ارائه طرح‌های مختلف لجستیکی برای مشتریان، انتخاب مسیر و برنامه‌ریزی بهینه نسبت به VRP سنتی می‌گردد [Lin et al. 2014; Xiao and Konak, 2015]. در سال‌های گذشته حمل و نقل سبز با هدف بهبود پایداری محیط زیست توسط کاهش مصرف سوخت در سیستم‌های حمل و نقل به عنوان یک مسأله حیاتی توجه بسیاری از محققان تحقیق در عملیات را به خود جلب کرده است [Bektas, Demir and Laporte, 2016; Velazquez-Martinez et al. 2016; Koc et al. 2016]. از سوی دیگر، تمرکز بر روی سایر جنبه‌های مسائل حمل و نقل در قالب مسأله مسیریابی از جمله پنجره های زمانی سرویس دهی، شرایط رقابتی و ... نیز همگام با مسیریابی سبز و انجام مطالعات یکپارچه رشد یافته است [Alinaghian, Sabbagh and Tirkolaee, 2015; Tavakoli-moghadam, Alinaghian and Salamatbakhsh, 2016; Salamatbakhsh Varjooy et al. 2017]. GVRP اخیرا برای اهدافی مانند اختصاص وسایل نقلیه مختلف به مناطق تحویل به منظور کاهش انتشار کربن استفاده شده است [Demir, Bektas and Laporte, 2014] و یا به صورت مسیریابی یک ناوگان ناهمگون وسایل نقلیه در تدارکات شهری همراه بوده است [Demir, Bektas and Laporte, 2014]. یکی از روش‌های پیشنهادی کاهش انتشار CO_2 و مصرف سوخت، بهبود تصمیم گیری مسیریابی در مورد چگونگی بازدید و زمان بازدید از مشتریان بیان شده است [Dekker, Bloemhof and Mallidis, 2012; McKinnon et al. 2015].

اگرچه کاهش شاخص‌هایی مثل هزینه یا فاصله منجر به انتخاب مسیرهایی با میزان انتشار کربن کمتری می‌شود، میزان انتشار CO_2 به سرعت وسیله نقلیه [Demir, Bektas and Laporte, 2013]، بار حمل شده توسط وسیله نقلیه [Bektas and Laporte, 2011]، شیب جاده [Tavares et al. 2008] و میزان ترافیک [Maden, Eglese and Black, 2010] بستگی دارد، بنابراین کوتاه ترین مسیر تنها با در نظر گرفتن میزان انتشار CO_2 و سوخت مصرفی ممکن است بهینه ترین مسیر نباشد. از سویی دیگر، در دهه اخیر افزایش تعداد وسایل نقلیه منجر به ایجاد ترافیک‌های شدید، افزایش تصادفات، آلودگی هوا، افزایش مصرف سوخت و مشکلات اقتصادی شده است [Narzt et al. 2010]. این امر موجب آن شده است که تا مطالعات انجام شده در شرایط ترافیک، نتایج قابل قبول تری را ارائه نمایند. اخیرا، مطالعات بسیاری در این راستا انجام گرفته که برخی از موارد مشابه در ادامه مورد بررسی قرار می‌گیرد. در یکی از مطالعات مهم انجام شده، تاثیر شرایط مختلف ترافیکی بر مصرف سوخت را شناسایی شد و

www.SID.ir

Archive of SID

مدلی برای برآورد کاهش احتمالی مصرف سوخت از طریق بهینه-سازی مسیر ارائه گردید [Ericsson, Larsson and Brundell-Freij, 2006]. زیاو و همکاران [Xiao et al. 2012] نیز نرخ سوخت مصرفی ناشی از حجم بار وسایل نقلیه (که در طول تور کاهش/افزایش می‌یابد) را در VRP محاسبه کردند و یک مدل ریاضی با توجه به میزان سوخت مصرفی ارائه کردند.

سالها بعد زیاو و کناک [Xiao and Konak, 2016] یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط جهت فرموله کردن GVRP برای یک ناوگان وسایل نقلیه ناهمگون با در نظر گرفتن زمان‌های مختلف ترافیکی، محدودیت پنجره زمانی[5] مشتریان، تأثیر بار بر روی وسایل نقلیه بر میزان انتشارات در GVRP ارائه کردند. علینقیان و نادری پور [Alinaghian and Naderipour, 2016] یک مدل جامع به منظور کمینه‌سازی مصرف سوخت با توجه به عوامل سرعت، شیب جاده و بار وسیله نقلیه در مسیریابی شهری با در نظر گرفتن مباحث ترافیکی ارائه کردند. آن‌ها برای حل مسأله خود از یک روش حل مبتنی بر الگوریتم فراابتکاری کرم شب تاب[4] استفاده کردند. جبارپور، نور و خوخار [Jabbarpour, Noor and Khokhar, 2015] به ارائه یک سیستم مسیریابی ترافیک وسایل نقلیه سبز با رویکرد کاهش مصرف سوخت، کاهش تاثیرات ترافیک و میزان انتشار CO_2 پرداختند که برای پیاده‌سازی این سیستم از الگوریتم سیستم مورچگان[6] همراه با مدل مصرف سوخت استفاده نمودند. آن ها معیارهای مختلفی مانند متوسط زمان سفر، سرعت، فاصله، تراکم وسیله نقلیه همراه با تقسیم بندی نقشه جاده‌ها برای کاهش مصرف سوخت با یافتن کوتاه ترین مسیرهای کم تراکم به منظور کاهش تراکم وسایل نقلیه و انتشار آلودگی در نظر گرفتند. ژانگ و همکاران [Zhang et al. 2015] به توسعه یک مدل ریاضی برای مسأله VRP به صورت در نظر گرفتن یکپارچه هدف کاهش مصرف سوخت، کاهش میزان انتشار کربن و کاهش هزینه های بکارگیری وسایل نقلیه ارائه کردند. آن‌ها مسأله پیشنهادی خود را با استفاده از توسعه یک الگوریتم جستجوی ممنوع[7] حل کردند. میرمحمدی و همکاران [Mirmohammadi et al. 2017] یک مساله مسیریابی سبز وابسته به زمان با در نظر گرفتن پنجره‌های زمانی و سفرهای چندگانه وسایل نقلیه برای توزیع خدمت به مشتریان مطرح کردند. از جمله فرضیات اصلی مدل پیشنهادی آن‌ها مختل شدن ارائه خدمات به موقع با توجه به شرایط ترافیک شهری بوده است. هدف مسأله آن‌ها کمینه سازی هزینه کل شامل میزان انتشار CO_2 تولید شده توسط وسیله نقلیه، جریمه‌های زودکرد و دیرکرد تحویل و هزینه بکارگیری وسایل نقلیه بوده است.

علاوه بر موارد ذکر شده تاکنون، یک مسأله حیاتی دیگر در سیستمهای توزیع و حمل و نقل در کنار محدودیت‌ها و معیارهای اقتصادی و زیست محیطی وجود دارد که رضایت مشتری یا سطح پاسخگویی نامیده می‌شود، این مسأله به طور خاص در رابطه با توزیع محصولات فاسدشدنی نمود پیدا می‌کند. کیفیت و تازگی محصولات به پروسه زمانی تحویل و دمای محیط بستگی دارد. از این رو، محصولات فاسدشدنی باید در طول پنجره زمانی مجاز تعیین شده به دست مشتری برسند و در صورت دیرکرد، سیستم توزیع متحمل جریمه می‌شود [Chen, Hsueh and Chang, 2009]. سانگ و داکو [Song and Ko, 2016] یک مدل ریاضی غیرخطی با هدف بیشینه سازی سطح رضایت مشتریان وابسته به تازگی محصولات غذایی تحویل داده شده، پیشنهاد کردند. در مسأله پیشنهادی آن‌ها دو نوع وسیله نقلیه عادی و مجهز به یخچال تعریف در نظر گرفته شد. تیرکلایی و همکاران [Tirkolaee et al. 2017] نیز به ارائه یک مدل استوار[8] برنامه-ریزی خطی عدد صحیح مختلط برای حل مسأله مسیریابی وسایل نقلیه چند سفره همراه با جایگاه‌های پخش میانی و پنجره‌های زمانی در زنجیره تامین توزیع محصولات فاسدشدنی پرداختند. هدف

www.SID.ir

Archive of SID

مسأله آن ها شامل کمینه سازی هزینه‌های مسیریابی، استفاده از وسایل نقلیه، جریمه‌های دیرکرد و زوکرد سرویس‌دهی بوده است. آن ها برای حل مدل پیشنهادی و صحه‌گذاری آن از حل کننده[9] CPLEX استفاده نمودند و سپس به جهت مطالعه رفتار تابع هدف، به ارائه آنالیز حساسیت پارامتر حداکثر زمان در دسترس وسایل نقلیه پرداختند.

پس از بررسی ادبیات موضوع و مطالعه شکاف و خلاهای موجود، در این پژوهش، یک مسأله GVRP به همراه پنجره زمانی سرویس‌دهی به مشتریان مختص به کالاهای فاسدشدنی و با در نظر گرفتن چهار شرایط مختلف ترافیکی (بدون ترافیک، روان، نیمه سنگین، سنگین) ارائه می‌شود. در واقع شرایط مختلف ترافیکی تعیین‌کننده و معادل با متوسط سرعت حرکت وسایل نقلیه است که هرچه وضعیت ترافیک مناسب‌تر باشد سرعت وسایل نقلیه نیز جهت سرویس دهی بیشتر است. هدف مسأله پیشنهادی، کمینه سازی هزینه کل شامل کمینه سازی تعداد وسایل نقلیه مورد استفاده با توجه به مدت زمان محدود در دسترس بودن آن ها، مسافت پیموده شده توسط وسایل نقلیه بین نقاط تقاضا و جایگاه‌های پخش میانی محصولات و حجم سوخت مصرفی می‌باشد که کاهش حجم سوخت مصرفی وسایل نقلیه علاوه بر فراهم آوردن منافع اقتصادی باعث کاهش اثرات مخرب آلاینده ها و CO_2 منتشر شده توسط وسایل نقلیه می‌شود. این هدف با توجه به محدودیت‌های تعریف شده در بخش تعریف مسأله کمینه سازی می‌گردد.

در ادامه مقاله و در بخش دوم فرضیات مسأله و مدل ریاضی پیشنهادی آن ارائه می‌شود. در بخش سوم نتایج عددی حاصل از پیاده‌سازی مدل ارائه می‌شود و در نهایت در بخش چهارم نیز نتیجه‌گیری و پیشنهادات آتی مقاله مطرح می‌گردد.

۲. تعریف مسأله

در این بخش، ابتدا با تعریف فرضیات در نظر گرفته شده، تشریح مسأله و مدل سازی ریاضی ارائه می‌شود.

۲-۱ تعاریف و مفروضات مدل پیشنهادی مسأله

در مسأله طراحی شبکه حمل و نقل پیشنهادی، مجموعه‌ای از مفروضات و شرایط در نظر گرفته شده است که در این بخش تشریح می‌شود.

۱. در شبکه زنجیره تامین تعریف شده، چندین جایگاه پخش میانی و مجموعه ای از مشتریان تعریف شده اند بطوریکه جریان محصول از جایگاه‌های پخش میانی به سوی مشتریان است.
۲. وسایل نقلیه دارای هزینه بکارگیری، متوسط سرعت و ظرفیت یکسانی هستند. ولی تعیین تعداد وسایل نقلیه مورد نیاز جز هدف مسأله است.
۳. جایگاه‌های پخش میانی دارای ظرفیت محدود هستند.
٤. در هر شیفت کاری، سرویس دهی به مشتریان توسط وسایل نقلیه در ٤ بازه زمانی مختلف انجام می‌شود. ٤ بازه زمانی شامل ساعات کاری از ۸ تا ۱۰ صبح، ۱۰ تا ۱۲ ظهر، ۱۲ تا ١٤ بعد از ظهر، و ١٤ تا ١٦ عصر است.
۵. شرایط مختلف ترافیکی به صورت ۱- بدون ترافیک، ۲- روان، ۳- نیمه سنگین، و ٤- سنگین دسته بندی می‌شود.
٦. وضعیت ترافیک هر مسیر در بازه‌های زمانی مختلف مشخص است.
۷. وضعیت ترافیکی تعیین کننده متوسط سرعت وسایل نقلیه است.
۸. برای هر مشتری یک پنجره زمانی سخت و یک پنجره زمانی نرم در هر دوره تعریف می‌شود. سرویس دهی در خارج از پنجره زمانی سخت امکان پذیر نیست. ولی سرویس دهی در خارج از بازه زمانی نرم با تقبل هزینه جریمه امکان پذیر است.
۹. وسایل نقلیه سفر خود را از جایگاه های پخش میانی آغاز می‌کنند و پس از پایان سفر به جایگاه‌های پخش باز می-گردند.
۱۰. هر وسیله نقلیه دارای حداکثر زمان در دسترس است.
۱۱. میزان CO_2 منتشر شده توسط وسایل نقلیه بر اساس میزان مسافت طی‌شده محاسبه می‌گردد.

www.SID.ir

Archive of SID

۲-۲ مدل ریاضی مسأله

هر مدل ریاضی شامل مجموعه ها، اندیس ها، پارامترها و متغیرهایی است که قبل از ارائه فرمولاسیون آن تشریح می‌شود.

مجموعه ها و اندیس ها

V: مجموعه کل گره‌های شبکه $(v \in V)$

V_S: مجموعه جایگاه‌های پخش میانی $(k \in V_S)$

V_C: مجموعه مشتری ها $(j \in V_C)$

M: مجموعه وسیله نقلیه $(m \in M)$

R: مجموعه وضعیت ترافیکی $(r \in R)$

T: مجموعه بازه زمانی حرکت وسایل نقلیه در روز $(t \in T)$

i, j, k: اندیس های بیانگر نقاط شبکه

پارامترها

Ca: ظرفیت وسیله نقلیه

IC_k: ظرفیت جایگاه پخش k

c_{ij}: فاصله بین گره i و j

d_j: تقاضای مشتری j

$\lambda 1$: ضریب تبدیل مسافت به هزینه ($/km)

$\lambda 2$: ضریب تبدیل میزان انتشار گاز به هزینه ($km /kg)

CV: هزینه بکارگیری وسیله نقلیه

S_k: هزینه عملیاتی بارگیری یک واحد بار در جایگاه پخش k ام

S'_j: هزینه عملیاتی تخلیه یک واحد بار در مشتری j

GH: میزان CO_2 منتشر شده در هر واحد فاصله برای وسیله نقلیه (kg/km)

e_{ijt}: وضعیت ترافیکی مسیر i به j در بازه زمانی t

v_{ijr}: سرعت وسایل نقلیه در وضعیت ترافیکی r $(e_{ijt} = r)$ (km/h)

$T_{\max}$: بیشترین زمان مجاز سفر برای استفاده از هر وسیله نقلیه

L_j: حد پایین پنجره زمانی سخت گره j

U_j: حد بالای پنجره زمانی سخت گره j

LL_j: حد پایین پنجره زمانی نرم گره j

UU_j: حد بالای پنجره زمانی نرم گره j

Pe: هزینه جریمه زودکرد سرویس دهی به مشتریان

Pl: هزینه جریمه دیرکرد سرویس دهی به مشتریان

$st1_j$: زمان تخلیه بار در محل مشتری j

$st2_k$: زمان بارگیری در در جایگاه پخش k

$st3_k$: زمان تخلیه بار در جایگاه پخش k

f_{0r}: میزان سوخت مصرفی در واحد فاصله بدون بار و تحت شرایط ترافیک r (lit/km)

f_{1r}: میزان سوخت مصرفی در واحد فاصله برای واحد بار و تحت شرایط ترافیک r (lit/km)

متغیرهای تصمیم

x_m: متغیر صفر و یک، هنگامی برابر با ۱ است که اگر وسیله نقلیه m استفاده شود.

y_{ijmt}: متغیر صفر و یک، هنگامی برابر با ۱ است که مسیر i به j توسط وسیله نقلیه m در بازه زمانی t پیموده شود.

y'_{ijr}: متغیر صفر و یک، هنگامی برابر با ۱ است که مسیر i به j تحت شرایط ترافیکی r پیموده شود.

z_{kjm}: متغیر صفر و یک، هنگامی برابر با ۱ است که مشتری j توسط جایگاه پخش k و توسط وسیله نقلیه m سرویس داده شود.

O_i: متغیر عدد صحیح کمکی در حذف زیر تور

Fe_j: متغیر مثبت، مدت زمان زودکرد سرویس دهی به گره j

Fl_j: متغیر مثبت، مدت زمان دیرکرد سرویس دهی به گره j

tt_i: زمان حضور در گره i جهت سرویس دهی

a_{jm}: میزان باری است که وقتی وسیله نقلیه m به مشتری j می-رسد، به همراه دارد.

روابط ریاضی

در این بخش به تشریح مدل ریاضی پرداخته می‌شود:

www.SID.ir

Archive of SID

$$MinZ = \lambda_1\left(\sum_{m\in M}\sum_{t\in T}\sum_{i,j\epsilon V_c\cup V_s,i\neq j} c_{ij}y_{ijmt}\right) + \sum_{m\epsilon M} CV x_m + \sum_{j\epsilon V_c}\sum_{m\epsilon M}\sum_{k\epsilon V_s} S_k d_j z_{kjm} + \sum_{j\epsilon V_c} S'_j d_j + + \sum_{j\epsilon V_S\cup V_c}(Pe\ Fe_j + Pl\ Fl_j) + \lambda_2(\sum_{m\in M}\sum_{t\in T}\sum_{i,j\epsilon V_c\cup V_S} GH\ c_{ij}\ y_{ijmt}\ ) + \sum_{i,j\epsilon V_c\cup V_s,i\neq j}\sum_{m\in M}\sum_{t\in T}(f_{0r} + f_{1r}\ a_{jm})c_{ij}y'_{ijr} + \sum_{i\epsilon V_c}\sum_{r\epsilon R}\sum_{k\epsilon V_s} f_{0r}c_{ik}y'_{ikr} \quad (۱)$$

$$\sum_{i\epsilon V} y_{ijmt} = \sum_{i\epsilon V} y_{jimt} \qquad \forall m \in M, \forall j \in V_c,\ i \neq j, t \in T, \quad (۲)$$

$$\sum_{m\in M}\sum_{k\epsilon V_S} z_{kjm} = 1 \qquad \forall j \in V_C, \quad (۳)$$

$$\sum_{i\epsilon V_c}\sum_{t\epsilon T} y_{ijmt} \geq z_{kjm} \qquad k \in V_S,\ \ \forall j \in V_C, \forall m \in M, \quad (۴)$$

$$\sum_{j\epsilon V_c}\sum_{m\epsilon M} z_{kjm} \leq M \sum_{m\in M}\sum_{j\epsilon V_c}\sum_{t\epsilon T} y_{kjmt} \qquad \forall k \in V_S, \quad (۵)$$

$$\sum_{j\epsilon V_c} d_j\ z_{kj} \leq IC_k \qquad \forall\ k \in V_C, \quad (۶)$$

$$\sum_{t\epsilon T}\sum_{i,j\epsilon V_c\cup V_S, i\neq j} y_{ijmt} \leq M\ x_m \qquad \forall m \in M, \quad (۷)$$

$$\sum_{t\epsilon T}\sum_{i,j\epsilon V_c\cup V_S, i\neq j} d_j\ y_{ijmt}\ \leq Ca_m \qquad \forall m \in M, \quad (۸)$$

$$\sum_{m\epsilon M} y_{ijmt} = y'_{ijr} \qquad \forall i,j \in V_c \cup V_S, i \neq j, \forall t \in T, \forall r = e_{ijt}, \quad (۹)$$

$$tt_j\ = \sum_{r=e_{ijt}}\sum_{t\epsilon T}\sum_{m\epsilon M}\sum_{i\epsilon V_c}\left(tt_i + \frac{C_{ij}}{v_{ijr}}\right) y_{ijmt} \qquad \forall j \in V_S, \quad (۱۰)$$

$$L_j \leq tt_j \leq U_j \qquad \forall j \in V_s, \quad (۱۱)$$

$$Fe_j \geq LL_j - tt_j \qquad \forall j \in V_C, \quad (۱۲)$$

$$Fl_j \geq tt_j - UU_j \qquad \forall j \in V_C, \quad (۱۳)$$

$$(a_{im} - d_i - a_{jm})y_{ijmt} = 0 \qquad \forall i,j \in V_c, \forall m \in M, \forall t \in T, \quad (۱۴)$$

$$\sum_{k\epsilon V_s} st3_k d_k + \sum_{k\epsilon V_s} st2_k D_k + \sum_{j\epsilon V_C} st1_j d_j + \sum_{k\epsilon V_S}\sum_{i,j\epsilon V_S\cup V_C, i\neq j} \frac{C_{ij}}{v_{ijt}} y_{ijmt}\ \leq T_{max} \qquad \forall m \in M, \quad (۱۵)$$

$$O_i - O_j + M\ y_{ijmt} \leq M - 1 \qquad \forall i,j \in V_S, m \in M\ , t \in T, \quad (۱۶)$$

$$\sum_{j\epsilon V_C} y_{ijmt}\ \geq \sum_{j\epsilon V_C} y_{ijm\,t+1} \qquad \forall t \in \{1,2,3,\dots,T-1\}, \forall m \in M, \quad (۱۷)$$

$$x_{mt}, y_{ijmt}, y'_{ijr}, z_{kj} \in \{0,1\};\ a_{jm}, Fe_j, Fl_j, tt_i\ \geq 0;\ \ O_i \in Z^+;\ \ \forall i,j \in V_S \cup V_C, \forall m \in M, \forall k \in V_S, \forall r \in R, \forall t \in T. \quad (۱۸)$$

www.SID.ir

Archive of SID

تابع هدف (۱) بیانگر کمینه سازی هزینه‌های کل شبکه زنجیره تامین است که دارای ۸ بند است و به ترتیب شامل ۱) هزینه مسیریابی وسایل نقلیه معادل با هزینه کل پیمودن مسیر، ۲) هزینه بکارگیری وسایل نقلیه، ۳) هزینه عملیاتی بارگیری و تخلیه در جایگاه‌های پخش، ٤) هزینه‌های عملیاتی تخلیه در گره‌های مشتری، ٥) هزینه‌های جریمه دیرکرد و زودکرد سرویس دهی به مشتریان، ٦) میزان کل انتشار کربن دی اکسید و ۷) هزینه‌های سوخت مصرفی با توجه به وضعیت ترافیکی در حالت پر بودن وسایل نقلیه، و ۸) هزینه‌های سوخت مصرفی با توجه به وضعیت ترافیکی در حالت خالی بودن وسایل نقلیه است. رابطه (۲) بیانگر موازنه جریان‌های ورودی و خروجی در گره مشتریان است. به عبارتی دیگر، هنگامیکه یک وسیله نقلیه وارد گره مشتری می‌شود، باید از همان گره مشتری خارج گردد. رابطه (۳) بیانگر آن است که هر مشتری باید توسط وسایل نقلیه بازدید گردد. به عبارتی دیگر بیانگر آن است که تقاضای هر مشتری باید در هر دوره تامین شود. روابط (٤) و (٥) منجر به ایجاد رابطه بین متغیرهای مسیریابی وسایل نقلیه و متغیرهای تخصیص دهی تقاضای مشتریان به جایگاه پخش مربوطه می‌شوند. در واقع، ارتباط بین متغیرهای z_{kjm} و y_{ijmt} توسط روابط (٤) و (٥) تعریف می‌شود. رابطه (٦) بیانگر محدودیت ظرفیت هر جایگاه پخش در برآوردن تقاضای مشتریان است. رابطه (۷) بیانگر لزوم بکارگیری و یا عدم بکارگیری وسایل نقلیه است. به عبارتی دیگر، هنگامیکه هزینه بکارگیری وسایل نقلیه پرداخت شود (متغیر مربوط به بکارگیری وسیله نقلیه مقدار ۱ بگیرد)، امکان استفاده از آن وجود دارد. رابطه (۸) بیانگر محدودیت ظرفیت وسایل نقلیه است. رابطه (۱۰) زمان رسیدن به هر مشتری توسط وسایل نقلیه را محاسبه می‌کند. رابطه (۱۱) پنجره‌های زمانی سخت برای هر مشتری را تعریف می‌کند به طوریکه سرویس دهی خارج از این بازه امکان پذیر نمی‌باشد. روابط (۱۲) و (۱۳) به ترتیب میزان زودکرد و دیرکرد در سرویس دهی به مشتریان در پنجره‌های زمانی نرم را تعیین می‌کنند. این روابط نشانگر آن هستند که پنجره‌های زمانی نرم کوتاه‌تر از پنجره‌های زمانی سخت بوده و در داخل پنجره‌های زمانی سخت تعریف می‌شوند. رابطه (١٤) میزان بار موجود در وسایل نقلیه را لحظه رسیدن به گره مشتری محاسبه می‌کند. رابطه (١٥) بیانگر محدودیت زمانی بکارگیری از وسایل نقلیه با در نظر گرفتن زمان‌های تخلیه، بارگیری و پیمودن مسیر است. رابطه (١٦) بیانگر محدودیت حذف زیرتور است. رابطه (۱۷) بیانگر رعایت توالی مقادیر بازه های زمانی از ۱ الی T می-باشد. رابطه (۱۸) نیز نوع متغیرهای مسأله را نشان می‌دهد.

۲-۳ خطی سازی روابط (۱)، (۱۰) و (١٤)

روابط (۱) و (۱۰) به علت ضرب یک متغیر مثبت در یک متغیر صفر ویک است، منجر به غیر خطی شدن مدل ریاضی پیشنهادی می‌شود. به همین دلیل، با جایگزین نمودن بند غیر خطی (بند هشتم) رابطه (۱) با روابط (۲۰)-(٢٤)، با جایگزین نمودن رابطه (۱۰) با روابط (٢٦)-(۳۰)، و نهایتا با جایگزین کردن رابطه (١٤) با روابط (۳۲)-(٤٠) مدل ریاضی به صورت یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط خطی تغییر می‌یابد.

$$a_{jm}\, y'_{ijr} = \theta_{ijmr} \qquad \forall i,j \in V_S \cup V_C, r \in R, \forall m \in M, \tag{۱۹}$$

$$\sum_{i,j \epsilon V_C \cup V_S, i \neq j} \sum_{m \in M} \sum_{t \in T} (f_{0r} c_{ij} y'_{ijr} + f_{1r}\, c_{ij} \theta_{ijmr}) \tag{۲۰}$$

$$\theta_{ijmr} \leq a_{jm} \qquad \forall i,j \in V_S \cup V_C, \forall r \in R, \forall m \in M, \tag{۲۱}$$

$$\theta_{ijmr} \leq M\, y'_{ijr} \qquad \forall i,j \in V_S \cup V_C, \forall r \in R, \forall m \in M, \tag{۲۲}$$

$$\theta_{ijmr} \geq a_{jm} - M(1 - y'_{ijr}) \qquad \forall i,j \in V_S \cup V_C, \forall r \in R, \forall m \in M, \tag{۲۳}$$

www.SID.ir

Archive of SID

$$\theta_{ijmr} \geq 0 \qquad \forall i,j \in V_S \cup V_C, \forall r \in R, \forall m \in M, \tag{۲۴}$$

$$f_{ijmt} = tt_i\, y_{ijmt} \qquad \forall i,j \in V_c \cup V_S, i \neq j, \forall t \in T, \forall m \in M, \tag{۲۵}$$

$$tt_j = \sum_{r=e_{ijt}} \sum_{t\in T} \sum_{m\in M} \sum_{i\in V_c} \left(f_{ijmt} + \frac{C_{ij}}{v_{ijr}} y_{ijmt} \right) \qquad \forall j \in V_{S,} \tag{۲۶}$$

$$f_{ijmt} \leq tt_i \qquad \forall i,j \in V_c \cup V_S, i \neq j, \forall t \in T, \forall m \in M, \tag{۲۷}$$

$$f_{ijmt} \leq M\, y_{ijmt} \qquad \forall i,j \in V_c \cup V_S, i \neq j, \forall t \in T, \forall m \in M, \tag{۲۸}$$

$$f_{ijmt} \geq tt_i - M(1 - y_{ijmt}) \qquad \forall i,j \in V_c \cup V_S, i \neq j, \forall t \in T, \forall m \in M \tag{۲۹}$$

$$f_{ijmt} \geq 0 \qquad \forall i,j \in V_c \cup V_S, i \neq j, \forall t \in T, \forall m \in M, \tag{۳۰}$$

$$a_{im} y_{ijmt} = \delta_{ijmt} \qquad \forall i,j \in V_c, \forall m \in M, \forall t \in T, \tag{۳۱}$$

$$a_{jm} y_{ijmt} = \delta'_{ijmt} \qquad \forall i,j \in V_c, \forall m \in M, \forall t \in T, \tag{۳۲}$$

$$\delta_{ijmt} = d_i\, y_{ijmt} + \delta'_{ijmt} \qquad \forall i,j \in V_c, \forall m \in M, \forall t \in T, \tag{۳۳}$$

$$\delta_{ijmt} \leq a_{im} \qquad \forall i,j \in V_c, \forall m \in M, \forall t \in T, \tag{۳۴}$$

$$\delta_{ijmt} \leq M\, y_{ijmt} \qquad \forall i,j \in V_c, \forall m \in M, \forall t \in T, \tag{۳۵}$$

$$\delta_{ijmt} \geq a_{im} - M(1 - y_{ijmt}) \qquad \forall i,j \in V_c, \forall m \in M, \forall t \in T, \tag{۳۶}$$

$$\delta'_{ijmt} \leq a_{jm} \qquad \forall i,j \in V_c, \forall m \in M, \forall t \in T, \tag{۳۷}$$

$$\delta'_{ijmt} \leq M\, y_{ijmt} \qquad \forall i,j \in V_c, \forall m \in M, \forall t \in T, \tag{۳۸}$$

$$\delta'_{ijmt} \geq a_{jm} - M(1 - y_{ijmt}) \qquad \forall i,j \in V_c, \forall m \in M, \forall t \in T, \tag{۳۹}$$

$$\delta_{ijmt}, \delta'_{ijmt} \geq 0 \qquad \forall i,j \in V_c, \forall m \in M, \forall t \in T. \tag{۴۰}$$

۳. نتایج محاسباتی

در این بخش در ابتدا به منظور صحه گذاری مدل پیشنهادی، ۵ دسته مسأله در ابعاد مختلف طراحی می‌شود و سپس توسط حل کننده CPLEX موجود در نرم افزار GAMS حل می‌گردند. پس از آن، به منظور ارزیابی کاربردی بودن مدل پیشنهادی به حل یک مسأله مطالعه موردی صنایع لبنی در شرکت کاله در منطقه ۱ شهرستان ساری پرداخته می‌شود. شرکت کاله دارای یک جایگاه پخش میانی در این منطقه برای توزیع محصولات لبنی می‌باشد. هدف برآورد و کمینه سازی هزینه کل و تعیین مسیریابی بهینه در یک شیفت کاری توسط وسایل نقلیه می‌باشد. در نهایت نیز، به منظور بررسی حساسیت برخی از پارامترهای مهم و تاثیرگذار بر هزینه کل، آنالیز حساسیت بر روی پارامترهای مهم تقاضا (d_j) و حداکثر زمان بکارگیری مختلف وسایل نقلیه ($T_{\max}$) انجام می‌شود.

۳-۱ صحه گذاری مدل

عمدتا صحه گذاری مدل‌های ریاضی از طریق طراحی مسائل نمونه و حل آن توسط روش‌های دقیق صورت می‌گیرد [Tirkolaee et al. 2018; Tirkolaee, Mahdavi, Seyyed Esfahani, 2018]. همانطور که بیان گردید، در این بخش ۵ مسأله نمونه به صورت تصادفی ایجاد می‌شود. اطلاعات مربوط به ابعاد آن ها، مقادیر تابع هدف و زمان حل در جدول ۱ ارائه شده است. همچنین مقادیر پارامترهای ورودی مدل نیز با استفاده از توزیع یکنواخت تعریف شده که اطلاعات مربوط به آن در جدول ۲ ارائه شده است.

www.SID.ir

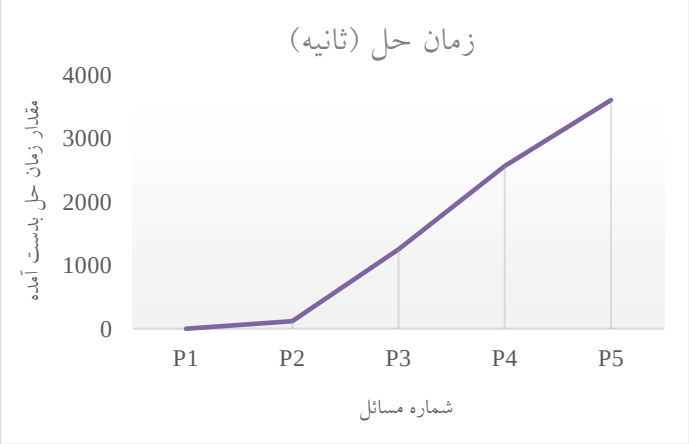
Archive of SID

جدول ۱. نمونه‌های تصادفی ایجاد شده

مسأله	V	V_S	V_C	M	مقدار تابع هدف	زمان حل (ثانیه)
P1	۵	۱	٤	۱	۱۳۰٤.٦٦	۱.۲
P2	۱۵	۲	۱۳	۳	٤٦۹۵.۲٦	۱۱۸.٦
P3	۳۰	۵	۲۵	۵	۱۱۲۵٤.۰۸	۱۲٤۹.۱۹
P4	٤۰	۸	۳٦	۸	۲۱٤۵٦.۱۷	۲۵٦۱.۹٤
P5	۵۰	۱۰	٤۵	۱۰	۳۵۰۰۸.۹٤	**۳٦۰۰**

جدول ۲. مقادیر پارامترهای مسأله

پارامترها	مقادیر در نظر گرفته شده	پارامترها	مقادیر در نظر گرفته شده	پارامترها	مقادیر در نظر گرفته شده
Ca	۱۰۰۰	$\lambda 2$	۲	e_{ijt}	$\{۱, ۲, ۳, ٤\}$
IC_k	Uniform(10000,20000)	CV	۲۰۰	v_{ijr}	$\{۸۰, ٦۰, ۲۰, ۵\}$
c_{ij}	Uniform(2,10)	S_k	Uniform(1,1.5)	$T_{\max}$	۸
d_j	Uniform(10,25)	S'_j	Uniform(1,1.5)	L_j	Uniform(1.5, 4)
$\lambda 1$	۵	GH	۰.٤۵	U_j	Uniform(2, 8)
LL_j	Uniform(1, 6)	UU_j	Uniform(3,10)	Pe	۱۰۰
Pl	۲۰۰	$st1_j$	Uniform(0.01,0.05)	$st2_k$	Uniform(0.01,0.05)
$st3_k$	Uniform(0.01,0.05)	f_{0r}	$\{۰.۱, ۰.۲, ۰.۷, ۱\}$	f_{1r}	$\{۰.۲, ۰.۳, ۰.۸, ۱.۲\}$



نمودار ۱. مقایسه زمان حل در مسائل مختلف

و ستون هفتم بیانگر زمان حل بدست آمده توسط نرم افزار GAMS است. پس از حل مسائل، خروجی‌های بدست آمده به صورت مسیرهای بهینه مورد بررسی قرار می‌گیرد و بر اساس موجه و منطقی بودن جواب‌ها، صحه گذاری انجام می‌پذیرد. از جمله نکات جالب توجه افزایش زمان حل مسائل به صورت تقریبا نمایی

ورودی مدل نیز با استفاده از توزیع یکنواخت تعریف شده که اطلاعات مربوط به آن در جدول ۲ ارایه شده است

در جدول ۱ ستون‌های اول تا ششم به ترتیب بیانگر شماره مسأله، تعداد گره‌های شبکه، تعداد جایگاه‌های پخش، تعداد مشتریان، تعداد وسایل نقلیه در دسترس، مقدار تابع هدف هر مسأله

www.SID.ir

Archive of SID

سیاست گذاری‌ها و مسیریابی فعلی شرکت در سرویس‌دهی به مشتریان است که توسط واحد مالی و اداری شرکت محاسبه شده است. صرفا هزینه های زیست محیطی مورد محاسبه قرار نمی‌گرفته است که با توجه به اطلاعات جمع‌آوری شده محاسبه شده و در قالب هزینه کل با هزینه گزارش شده توسط شرکت جمع شده است. نتایج بدست آمده به صورت شماتیک در شکل ۱ پس از حل توسط مدل ریاضی پیشنهادی پژوهش و مقایسه نتایج با برنامه‌ریزی فعلی شرکت ارائه شده است. همانطورکه از نتایج بدست آمده در حالت بهینه مشخص است، صرفه جویی چشمگیری در هزینه کل حاصل شده است که این صرفه جویی به علت مسیریابی بهینه وسایل نقلیه بوده است که منجر به کاهش هزینه‌های سفر، هزینه های انتشار CO_2، هزینه‌های سوخت مصرفی و هزینه های جریمه سرویس‌دهی زودکرد و دیرکرد شده است. مسیریابی‌های وسایل نقلیه در دو حالت بهینه و فعلی در شکل ۱ مشخص شده است. بدیهی است، که با افزایش ابعاد مسأله و حل آن، میزان صرفه‌جویی های حاصل شده بسیار چشمگیرتر خواهد بود که می‌توانند مورد توجه مدیران سازمان قرار گیرد بطوریکه حل بهینه مسأله مطالعه موردی منجر به کاهش ۲۲,۰۱٪ هزینه کل شده است.

بر اساس افزایش ابعاد مسائل طراحی شده می‌باشد که این امر در نمودار ۱ نیز به صورت شماتیک نمایان است. علت این رشد نمایی، پیچیدگی بالای مسأله در حل مسائل با ابعاد بالا است.

۳-۲ مسأله مطالعه موردی

در این بخش به تشریح و حل مسأله مطالعه موردی شرکت لبنی کاله در شهرستان ساری مرکز استان مازندران پرداخته می‌شود.

جهت مطالعه مسأله، بخش کوچکی از توزیع لبنیات در منطقه ۱ ساری را با ۱ جایگاه پخش، ۱۳ مشتری عمده و ۲ وسیله نقلیه بالقوه در نظر شده است. جدول ۳، داده های ورودی مسأله را که توسط متخصصین شرکت کاله در واحد بانی چاو جمع‌آوری شده است، ارائه می‌گردد. لازم به ذکر است که سایر پارامترهای ورودی که به صورت مشترک با داده‌های تصادفی بوده در جداول ۳ و ٤ ارائه شده است. مسافت بین گره های شبکه نیز توسط نقشه سایت Google محاسبه شده است. هم‌چنین، شرایط ترافیکی در نظر گرفته شده در ۱۸۲ مسیر رفت و برگشت تعریف شده برای ١٤ گره شبکه در بازه های زمانی مختلف سرویس‌دهی نتایج بدست آمده شامل مقایسه جواب بهینه با حالت فعلی است. حالت فعلی،

جدول ۳. مقادیر پارامترهای مسأله مطالعه موردی

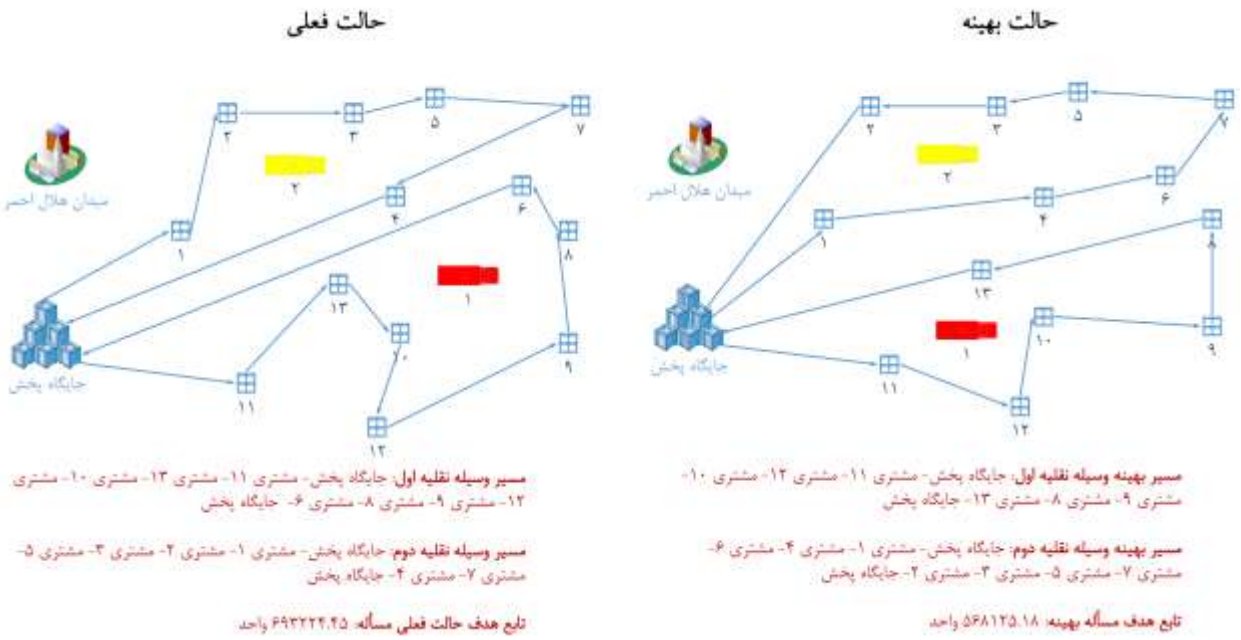
پارامترها	مقادیر در نظر گرفته شده	پارامترها	مقادیر در نظر گرفته شده	پارامترها	مقادیر در نظر گرفته شده
$\|V\|$	۱۴	$\|T\|$	٤	Pe	۱۰،۰۰۰
$\|V_S\|$	۱	CV	۱۵۰،۰۰۰	Pl	٤۰،۰۰۰
$\|V_C\|$	۱۳	Ca	٦۰۰	S_k	Uniform(500,550)
$\|M\|$	۲	IC_k	۷،۵۰۰	S'_j	Uniform(400,500)
$\|R\|$	٤	-	–	–	-

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ٤. مقادیر پارامترهای مشتریان در مسأله مطالعه موردی

مشتری	d_j	L_j	U_j	LL_j	UU_j
١	Uniform(50,65)	٠	٣	١	٢
٢	Uniform(55,60)	١	٧	١	٦
٣	Uniform(70,80)	١	٦	٢	٥
٤	Uniform(75,80)	٠	٤	١	٣
٥	Uniform(65,70)	٠	٦	١	٥
٦	Uniform(45,50)	١	٥	٢	٤
٧	Uniform(65,75)	١	٧	٢	٥
٨	Uniform(60,70)	١	٦	١	٥
٩	Uniform(80,90)	٠	٨	١	٧
١٠	Uniform(60,65)	١	٤	٢	٤
١١	Uniform(100,105)	٢	٣	٢	٣
١٢	Uniform(90,95)	٢	٤	٢	٣
١٣	Uniform(70,75)	٠	٨	١	٦



شکل ۱. مقایسه حالت بهینه و حالت فعلی مسأله مطالعه موردی

۳-۳ بررسی میزان تاثیرگذاری شرایط ترافیک

در این بخش جهت مطالعه تاثیرگذاری شرایط ترافیکی بر مسأله مطالعه موردی در دنیای واقعی، مسأله به صورت اعمال شرایط ترافیک و عدم اعمال شرایط ترافیک به صورت مجزا حل و تحلیل می‌شود که نتایج بدست آمده به صورت نمایش شماتیک مسیریابی وسایل نقلیه در شکل ۲ ارائه می‌شود. همانطور که از نتایج

www.SID.ir

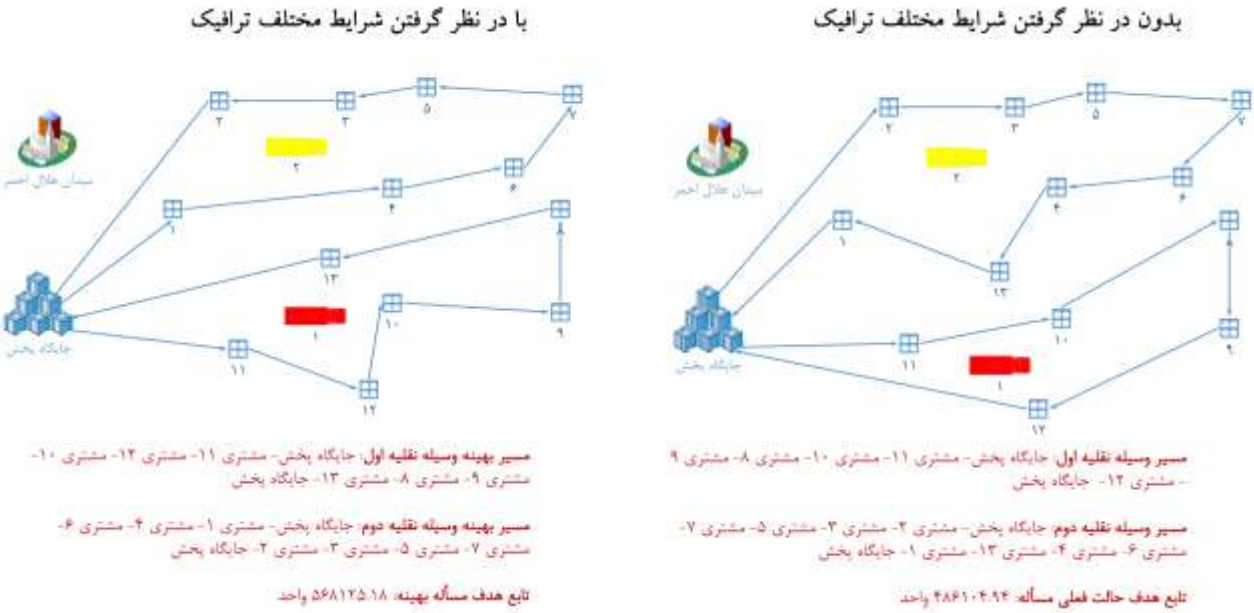
Archive of SID

مشخص اعمال شرایط ترافیکی منجر به افزایش هزینه کل شامل افزایش هزینه مسیریابی، و در راستای آن افزایش هزینه های انتشار CO_2 و هزینه های سوخت مصرفی، و در نهایت افزایش هزینه های دیرکرد و زودکرد در سرویس‌دهی می‌شود.

با تغییر برنامه ریزی در مسأله بدون در نظر گرفتن شرایط ترافیک، مقدار تابع هدف به انداز ۱٤,٤۳٪ کاهش یافته است. که این امر نشانگر اهمیت ویژه شرایط ترافیک و برنامه ریزی بر اساس آن در تصمیم‌گیری‌های مدیریتی است.

٤-۳ آنالیز حساسیت مسأله مطالعه موردی

به جهت بررسی و مطالعه رفتار تابع هدف در مقابل تغییر مقادیر پارامترهای کلیدی مسأله هم چون تقاضای مشتریان و بیشینه زمان مجاز سفر برای استفاده از هر وسیله نقلیه، آنالیز حساسیت بر روی آن‌ها انجام می‌شود. در واقع، هدف بررسی حساسیت تابع هدف نسبت به تغییر پارامترها بر اساس شرایط حاکم عدم قطعیت در دنیای واقعی و تعیین سیاست‌های بهینه مدیریتی است. به همین جهت، مقادیر پارامترهای d_j و T_{max} در بازه‌های ۲۰- درصد الی ۲۰+ درصد تغییر می‌کنند و مقادیر بدست آمده برای تابع هدف به صورت جداگانه در جدول ۳ مورد بررسی قرار می‌گیرد. هم چنین روند تغییرات تابع هدف به ازای تغییرات پارامترها در نمودارهای ۲ و ۳ نشان داده شده است.



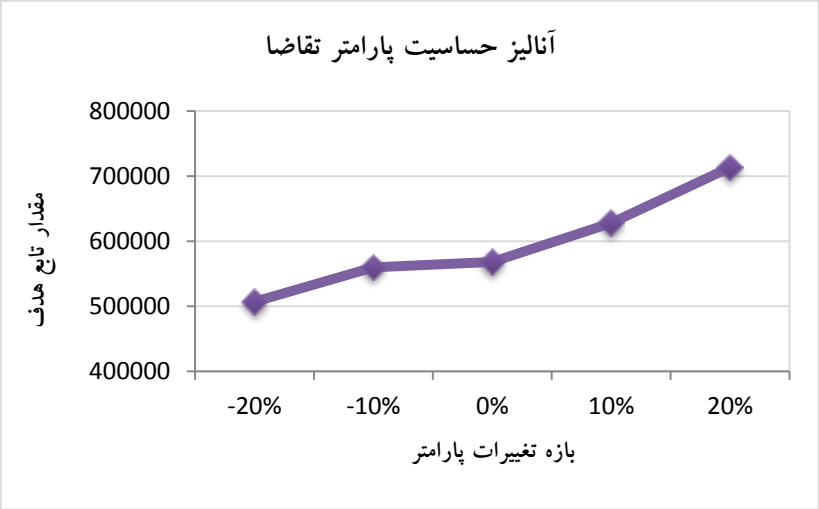
شکل ۲. مقایسه حالت بهینه مسأله مطالعه موردی در شرایط ترافیک و در خارج از شرایط ترافیک

جدول ۳. آنالیز حساسیت مسأله مطالعه موردی

پارامترها	مقادیر هدف بدست آمده به ازای درصد تغییرات اعمال شده				
	۲۰٪-	۱۰٪-	٪۰	٪۱۰+	٪۲۰+
d_j	٥٠٦٨٢٤,٤٧٣١	٥٥٩٧٣٣,٩٧	٥٦٨١٢٥,١٨	٦٢٧٩٤٨,٧٦	٧١٣٥٦٥,٢٢
$T_{\max}$	**جواب ناموجه**	٦٥٦٧٥٢,٧٠	٥٦٨١٢٥,١٨	٥٦٨١٢٥,١٨	٥١٢٦٧٦,١٦

www.SID.ir

Archive of SID



نمودار ۲. آنالیز حساسیت پارامتر تقاضا

نمودار ۳. آنالیز حساسیت پارامتر بیشترین زمان در دسترس وسایل نقلیه

بر اساس نتایج بدست آمده در جدول ۳ و نمودارهای ۲ و ۳ مشخص می‌شود که تابع هدف نسبت به تغییرات پارامترهای تقاضا و حداکثر زمان در دسترس وسایل نقلیه در بازه‌های تعریف شده، دارای نوسانات چشمگیری است به طوریکه رفتار آن به ازای تغییرات پارامترها در دو سوی مختلف است. به عبارت دیگر، به ازای افزایش پارامتر تقاضا مقدار تابع هدف افزایش می‌یابد ولی به ازای افزایش پارامتر بیشترین زمان در دسترس وسایل نقلیه، مقدار آن کاهش می‌یابد. از جمله نتایج جالب توجه دیگر بدست آمده آن است که، مسأله به ازای کاهش ۲۰ درصدی پارامتر بیشترین زمان در دسترس وسایل نقلیه ناموجه می‌شود که این امر به علت کمبود منابع در دسترس است (دو وسیله نقلیه بالقوه در نظر گرفته شده است). هم چنین، به ازای افزایش ۱۰ درصدی این پارامتر نیز مقدار هدف تغییری نداشته است که این نکته می‌تواند تاثیرگذاری مستقیم بر روی کنترل هزینه ها در زنجیره داشته باشد. روند افزایش تابع هدف به ازای افزایش پارامتر تقاضا بسیار چشمگیرتر و با شیب بیشتری نسبت به روند کاهش تابع هدف نسبت به کاهش پارامتر تقاضا همراه است، که این اتفاق توجه بیشتری را در هنگام افزایش

www.SID.ir

Archive of SID

تقاضا از سوی مدیریت می‌طلبد تا با اخذ تصمیم گیری بهینه بتواند مقدار هدف یا هزینه کل را در سطح بهینه کنترل نماید.

٤. نتیجه گیری

در این پژوهش، به جهت بررسی کارا و بهینه سیستم‌های لجستیک و زنجیره تامین با حفظ دو رویکرد کمینه سازی هزینه کل و کاهش آلودگی‌های زیست محیطی، یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی خطی عدد صحیح مختلط برای حل مسأله مسیریابی وسایل نقلیه سبز با در نظر گرفتن وضعیت ترافیک شهری و کاهش سوخت مصرفی در توزیع کالاهای فاسدشدنی توسعه داده شد که بر تعیین مسیر سرویس‌دهی بهینه، تعداد وسیله نقلیه موردنیاز با توجه به پنجره زمانی برای هر مشتری دلالت دارد. در این مسأله، سرعت وسایل نقلیه با توجه به شرایط متفاوت ترافیکی (بدون ترافیک، روان، نیمه سنگین، سنگین) متفاوت در نظر گرفته شد بطوریکه تاثیر مستقیمی بر زمان سفر داشته باشد. در بخش نتایج محاسباتی، با استفاده از نرم افزار GAMS به حل مسائل تصادفی تولید شده در ابعاد مختلف برای صحه‌گذاری مدل پیشنهادی پرداخته شد و در نهایت جهت ارزیابی کاربردی بودن مدل پیشنهادی یک مسأله مطالعه موردی در شرکت پخش لبنی کاله واقع در شهرستان ساری مورد بررسی قرار گرفت و مقایسات نتایج بدست آمده برای حالت بهینه و حالت فعلی و همچنین برای حالت بهینه با در نظر گرفتن شرایط ترافیک و بدون شرایط ترافیک ارائه شد. هم چنین به جهت بررسی مسأله از دیدگاه مدیریت سازمان و تعیین سیاست‌های بهینه، آنالیز حساسیت بر روی پارامترهای تقاضا و بیشترین زمان در دسترس وسایل نقلیه انجام شد و نتایج بدست آمده مورد بررسی قرار گرفت. از جمله پیشنهادات آتی برای ادامه پژوهش، می‌توان عدم قطعیت پارامتر تقاضا را در مدلسازی مسأله به صورت توسعه مدل استوار اعمال نمود و برای حل مسائل در ابعاد بزرگتر از الگوریتم‌های فراابتکاری کارا استفاده نمود.

٥. پی نوشت‌ها

1. Vehicle Routing Problem
2. Green Vehicle Routing Problem
3. Fuel consumption
4. Firefly metaheuristic algorithm
5. Time window
6. Ant system algorithm
7. Tabu search algorithm
8. Robust model
9. Solver

٦. مراجع

– علینقیان، مهدی، صباغ، محمدسعید و تیرکلایی، عرفان. (١٣٩٤)" مسأله مسیریابی کمان ظرفیت‌دار با تقاضای فازی به همراه مطالعه موردی"، فصلنامه مهندسی حمل و نقل، سال هفتم، شماره دوم، ص. ٢٧٧–٢٩٦.

– توکلی مقدم، رضا، علینقیان، مهدی و سلامت بخش، علیرضا. (١٣٩٥)"مسأله مسیریابی وسائط نقلیه دوره‌ای با پنجره زمانی در حالت رقابتی با الگوریتم شبیه‌سازی تبرید بهبودیافته"، فصلنامه مهندسی حمل و نقل، دوره پیجم، شماره ٤، ص. ٤٤٩–٤٧٠

– علینقیان، م. و نادری پور، م. (١٣٩٥)" کاهش مصرف سوخت در مسیریابی وسایل نقلیه با درنظرگرفتن ترافیک شهری"، فصلنامه مهندسی حمل و نقل، سال هفتم، شماره سوم، ص. ٤٩٩–٥٢٢.

– سلامت بخش ورجوی، علیرضا، توکلی مقدم، رضا، علینقیان، مهدی و نجفی، اسماعیل. (١٣٩٦)" رویکرد استوار سناریو محور برای مساله مسیریابی وسایط نقلیه تحت شرایط رقابتی با استفاده از الگوریتم تکامل تفاضلی بهبودیافته"، فصلنامه مهندسی حمل و نقل.، دوره ١٠، شماره ٤، ص. ٨٧٧–٩٠٨

- Babaee Tirkolaee, E., Alinaghian, M., Bakhshi Sasi, M. and Seyyed Esfahani, M. M. (2016) “Solving a robust capacitated arc routing problem using a hybrid simulated annealing algorithm: a waste collection application”, Journal of Industrial Engineering and Management Studies, Vol. 3, No.1, pp. 61-76.

www.SID.ir

Archive of SID

- Bektaş, T. and Laporte, G. (2011) "The pollution-routing problem", Transportation Research Part B: Methodological, Vol. 45, No. 8, pp. 1232-1250.

- Bektas, T., Demir, E. and Laporte, G. (2016) "Green vehicle routing. In: Green Transportation Logistics", Springer International Publishing, Europe: Psaraftis, Harilaos N. (Ed.), pp. 243–265.

- Chen, H. K., Hsueh, C. F. and Chang, M. S. (2009) "Production scheduling and vehicle routing with time windows for perishable food products", Computers and operations research, Vol. 36 No.7, pp. 2311-2319.

- Dekker, R., Bloemhof, J. and Mallidis, I. (2012) "Operations research for green logistics - An overview of aspects, issues, contributions and challenges", European Journal of Operational Research, Vol. 219 No.4, pp. 671–679.

- Demir, E., Bektas, T. and Laporte, G. (2014) "A review of recent research on green road freight transportation", Eur. J. Oper. Res. Vol. 237 No. 3, pp. 775–793.

- Demir, E., Bektaş, T. and Laporte, G. (2014) "The bi-objective pollution-routing problem", European Journal of Operational Research, Vol. 232 No.3, pp. 464-478.

- Ericsson, E., Larsson, H. and Brundell-Freij, K. (2006) "Optimizing route choice for lowest fuel consumption–potential effects of a new driver support tool", Transportation Research Part C: Emerging Technologies, Vol.14, No.6, pp. 369-383.

- Jabbarpour, M. R., Noor, R. M. and Khokhar, R. H. (2015) "Green vehicle traffic routing system using ant-based algorithm", Journal of Network and Computer Applications, Vol. 58, No. 3, pp.294-308.

- Koç, Ç., Bektaş, T., Jabali, O. and Laporte, G. (2016) "The impact of depot location, fleet composition and routing on emissions in city logistics", Transportation Research Part B: Methodological, Vol. 84, No. 4, pp. 81-102.

- Lin, C., Choy, K. L., Ho, G. T., Chung, S. H. and Lam, H. Y. (2014) "Survey of green vehicle routing problem: past and future trends", Expert Systems with Applications, Vol. 41, No. 4, pp. 1118-1138.

- Maden, W., Eglese, R. and Black, D. (2010) "Vehicle routing and scheduling with time-varying data: A case study", Journal of the Operational Research Society, Vol. 61, No.3, pp. 515-522.

- Mirmohammadi, S. H., Babaee Tirkolaee, E., Goli, A. and Dehnavi-Arani, S. (2017) "The periodic green vehicle routing problem with considering of time-dependent urban traffic and time window", Iran University of Science and Technology, Vol.7, No.1, pp.143-156.

- McKinnon, A., Browne, M., Whiteing, A. and Piecyk, M. (Eds.). (2015) "Green logistics: Improving the environmental sustainability of logistics", United States: Kogan Page Publishers.

- Narzt, W., Wilflingseder, U., Pomberger, G., Kolb, D. and Hörtner, H. (2010). Self-organising congestion evasion strategies using ant-based pheromones. IET Intelligent Transport Systems, 4(1), pp. 93-102.

- Song, B. D. and Ko, Y. D. (2016) "A vehicle routing problem of both refrigerated-and general-type vehicles for perishable food products delivery", Journal of Food Engineering, Vol. 169, No. 4, pp. 61-71.

- Tavares, G., Zsigraiova, Z., Semiao, V. and da Graça Carvalho, M. (2008) "A case study of fuel savings through optimisation of MSW transportation routes", Management of

www.SID.ir

Archive of SID

reduction", Transportation Research Part D: Transport and Environment, Vol. 43 No. 7, pp. 133-144.

- Xiao, Y. Zhao, Q., Kaku, I. and Xu, Y. (2012) "Development of a fuel consumption optimization model for the capacitated vehicle routing problem", Computers and Operations Research, Vol. 39, No. 7, pp. 1419-1431.

- Xiao, Y. and Konak, A. (2015) "A simulating annealing algorithm to solve the green vehicle routing and scheduling problem with hierarchical objectives and weighted tardiness" Applied Soft Computing, Vol. 34, No.3, pp. 372-388.

- Xiao, Y. and Konak, A. (2016) "The heterogeneous green vehicle routing and scheduling problem with time-varying traffic congestion", Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, Vol. 88, No. 3, pp. 146-166.

- Zhang, J., Zhao, Y., Xue, W. and Li, J. (2015). "Vehicle routing problem with fuel consumption and carbon emission". International Journal of Production Economics, Vol. 170, pp. 234-242.

Environmental Quality: An International Journal, Vol. 19, No. 4, pp. 444-454.

- Tirkolaee, E. B., Goli, A., Bakhsi, M. and Mahdavi, I. (2017) "A robust multi-trip vehicle routing problem of perishable products with intermediate depots and time windows", Numerical Algebra, Control and Optimization, Vol. 7, No. 4, pp. 417-433.

- Tirkolaee, E. B., Alinaghian, M., Hosseinabadi, A. A. R., Sasi, M. B. and Sangaiah, A. K. (2018) "An improved ant colony optimization for the multi-trip Capacitated Arc Routing Problem", Computers and Electrical Engineering, in press.

- Tirkolaee, E. B., Mahdavi, I. and Esfahani, M. M. S. (2018) "A robust periodic capacitated arc routing problem for urban waste collection considering drivers and crew's working time", Waste Management, Vol. 76, pp. 138-146.

- Velázquez-Martínez, J. C., Fransoo, J. C., Blanco, E. E. and Valenzuela-Ocaña, K. B. (2016) "A new statistical method of assigning vehicles to delivery areas for CO2 emissions

www.SID.ir

Archive of SID

Solving a Green Vehicle Routing Problem Considering Urban Traffic Condition and Fuel Consumption Reduction in Distribution of Perishable Products

E. Babaee Tirkolaee, Ph. D. Candidate, Department of Industrial Engineering, Mazandaran Univesity of Science andf technlogy, Babol, Iran,

Sh. Hadian, MSc. Student, Department of Industrial Engineering, Mazandaran Univesity of Science andf technlogy, Babol, Iran,

I. Mahdavi[a], Professor, Department of Industrial Engineering, Mazandaran Univesity of Science andf technlogy, Babol, Iran,

M. Seyyed Esfahani, Professor, Department of Industrial Engineering, Mazandaran Univesity of Science andf technlogy, Babol, Iran,

E-mail: e.babaee@in.iut.ac.ir

Abstract

Nowadays, transportation and logistics are considered as the drivers of economic development in the countries due to their impacts on the main variables of the country's economy such as production, employment, price, and cost of living Index. Statistics indicate that fuel consumption is a significant part of transportation costs. On the other hand, vehicles traffic is also one of the main factors affecting the travel time of vehicles between demand points in a supply chain, increasing fuel consumption and, consequently, damaging effects of greenhouse gases. In this paper, a novel model of vehicle routing problem (VRP) is presented with respect to different urban traffic conditions (no traffic, light traffic, semi-heavy traffic, heavy traffic) and fuel consumption, according to the time windows of services for perishable products. In order to solve the problem and validate the proposed model, CPLEX solver of GAMS software is used. Finally, a case study with a sensitivity analysis is solved and analyzed in order to investigate the applicability of the proposed model, and the optimal management policies are described.

Keywords*:* Green vehicle routing problem, traffic conditions, fuel consumption, perishable products, sensitivity analysis.

www.SID.ir

Archive of SID

عرفان بابایی تیرکلایی، شقایق هادیان، ایرج مهدوی، میر مهدی سید اصفهانی

عرفان بابایی تیرکلایی، درجه کارشناسی در رشته مهندسی صنایع را در سال ۱۳۹۱ از دانشگاه صنعتی اصفهان و درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی صنایع-صنایع در سال ۱۳۹۳ را از دانشگاه صنعتی اصفهان اخذ نمود. زمینه های پژوهشی مورد علاقه ایشان مدلسازی ریاضی، مدیریت پسماند شهری، طراحی زنجیره تامین، هوش مصنوعی و بهینه سازی حمل و نقل در قالب توسعه و حل مسائل مسیریابی وسایل نقلیه بوده و در حال حاضر دانشجوی دوره دکتری در دانشگاه علوم و فنون مازندران و مدرس دانشگاه علم و فنآوری مازندران است.

شقایق هادیان، درجه کارشناسی در رشته مهندسی صنایع را در سال ۱۳۹٤ از دانشگاه علوم و فنون مازندران و درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی صنایع-گرایش بهینه سازی سیستم ها در سال ۱۳۹۷ را از همان دانشگاه اخذ نمود. زمینه های پژوهشی مورد علاقه ایشان بهینه سازی حمل و نقل و عملیات لجستیکی در طراحی شبکه های زنجیره تامین است.

ایرج مهدوی، درجه کارشناسی در رشته مهندسی صنایع را در سال ۱۳٦۷ از دانشگاه صنعتی شریف و درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی صنایع در سال ۱۳۷۳ را از دانشگاه علم و صنعت ایران اخذ نمود. در سال ۱۳۷۹ موفق به کسب درجه دکتری در رشته مهندسی صنایع-تولید از دانشگاه G.B.Pant هندوستان گردید. در سال ۱۳۸٤ موفق به کسب درجه پسا دکترا در رشته مدیریت و تجارت دیجیتال از دانشگاه Hanyang کره جنوبی گردید. زمینه‌های پژوهشی مورد علاقه ایشان طراحی سیستم‌های تولید سلولی، زنجیره تامین، برنامه ریزی تولید، زمانبندی و محاسبات نرم بوده و در حال حاضر عضو هیات علمی با مرتبه استاد در دانشگاه علوم و فنون مازندران است.

میرمهدی سید اصفهانی، درجه کارشناسی در رشته مهندسی صنایع را در سال ۱۳۵۱ از دانشگاه صنعتی شریف و درجه کارشناسی ارشد در رشته MBA در سال ۱۳۵۳ را از دانشگاه Bradford انگلستان اخذ نمود. در سال ۱۳۵٦ موفق به کسب درجه دکتری در رشته مهندسی صنایع از دانشگاه Bradford انگلستان گردید. زمینه های پژوهشی مورد علاقه ایشان مدیریت کیفیت، قابلیت اطمینان و تحقیق در عملیات بوده و در حال حاضر عضو هیات علمی با مرتبه استاد در دانشگاه صنعتی امیرکبیر است.

www.SID.ir