ارزیابی اثر عدم قطعیت جعبه‌ای تقاضا در طراحی شبکه پیوسته و گسسته حمل‌ونقل، با استفاده از الگوریتمهای ژنتیک و کلونی مورچگان

شهریار افندی زاده (نویسنده مسئول)، دانشیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران
احمدرضا غفاری، دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران
نوید کلانتری، دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران
E-mail: zargari@iust.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۰/۰٤/۰۲ تاریخ پذیرش: ۹۰/۱۲/۱٤

چکیده

عدم قطعیت تقاضا، یکی از مهم ترین منابع عدم قطعیت در شبکه‌های حمل و نقل است که به دلایل مختلفی از جمله ضعف در پیش بینی متغیرهای اقتصادی-اجتماعی، ضعف مدلها و خطا در برآوردهای بلند مدت متغیرهای مربوط به آن به وجود می‌آید. یکی از مهم ترین عوامل در حل مسئله طراحی شبکه نیز همین تقاضاست و هدف این مقاله ارزیابی تغییر پذیری تقاضا در حل مسئله طراحی پیوسته و گسسته شبکه است. برای این منظور فرض شده است که تقاضا از الگوی عدم قطعیت جعبه‌ای پیروی کرده و نوآوری انجام شده در حل این مسئله، استفاده از الگوریتمهای ژنتیک و کلونی مورچگان و مقایسه کارآیی آنها در حل مسئله فوق است. بر اساس نتایج به دست آمده از این مطالعه، می‌توان نتیجه گرفت که در شرایطی که تقاضای متغیر وارد بر شبکه به صورت عدم قطعیت جعبه‌ای باشد، طراحی گسسته و پیوسته شبکه حمل و نقل بر اساس تقاضای حداکثر، به ترتیب تا ٤ و ۱۰ درصد خطا نسبت به طراحی بر اساس بدترین وضعیت تقاضای متناظر شبکه ایجاد می کند.

واژه‌های کلیدی: طراحی شبکه، تقاضای متغیر، تخصیص تعادلی، الگوریتم ژنتیک، الگوریتم کلونی مورچگان

Archive of SID

www.SID.ir

۱. مقدمه

مطالعات انجام شده در زمینه تحلیل شبکه‌های حمل و نقل و یافتن ترکیب بهینه افزایش ظرفیت در آنها بیش از ۳۰ سال است که در حال انجام بوده و همچنین مطالعات مختلفی به منظور سازگاری بیشتر مدلها با واقعیت و ارایه روشهای حل سریع وجود دارد. عدم قطعیت یکی از مهم ترین پدیده‌هایی است که در حل مسائل مهندسی وجود داشته و در گذشته به منظور ساده سازی، از آن چشم پوشی شده است. شبکه‌های حمل و نقل به دلیل وجود اثر متقابل انسان- سیستم، وضعیت جغرافیایی و محیطی، پارامترهای ورودی، الگوی فعالیت کاربران و تقاضای سفرها، رفتار رانندگان و تغییر در کاربری زمین دچار عدم قطعیت است و مطالعات در زمینه این عدم قطعیتها، نزدیک به دو دهه است که در حال انجام است.

یکی از مهم‌ترین منابع وجود عدم قطعیت در شبکه‌های حمل‌ونقل، عدم قطعیت در تقاضاست. تغییرات ساعتی، روزانه و فصلی که ناشی از الگوی سفر استفاده کنندگان از شبکه است، همواره وجود دارد. از سوی دیگر در برنامه ریزی و طراحی شبکه برای آینده، پیچیدگی مسئله افزایش می‌یابد. از سویی، پیش‌بینی کاربری‌زمین و تولید و جذب سفرها قطعی نبوده و بر پایه فرضیات مختلف در چارچوب سناریوهایی در نظر گرفته می‌شود، از سوی دیگر مدلها و ابزارهای پیش بینی تقاضای آینده، خود دارای دقتهای مختلفی هستند. بسته به سطح عدم‌قطعیت تقاضا که منجر به تغییر در جریان عبوری از معابر می‌گردد، تصمیم‌گیری در مورد الگوی بهینه افزایش ظرفیت و طراحی شبکه معابر نیز دچار تغییر خواهد شد.

هدف از این مقاله بررسی اثر تغییرپذیری تقاضا در جریان عبوری از کمانها و ارزیابی اثر آن در طراحی شبکه پیوسته و گسسته معابر است. مجموعه عدم قطعیت تقاضا به صورت یک محدوده ثابت برای هر مبدا- مقصد، تعریف شده و به صورت دو ماتریس حداکثر و حداقل تقاضا مدل شده است. سطح عدم قطعیت واردشده در مسئله از طریق بزرگی حدود حداقل و حداکثر تعیین می‌شود. به این صورت که در شرایط نبود عدم قطعیت، طراحی بر اساس میانگین تقاضا انجام شده و با افزایش بازه حداقل و حداکثر برای تقاضای هر مبدا- مقصد، عدم قطعیت وارد شده تا مقدار نهایی آن قابل افزایش است. در مسائل بهینه سازی در شرایط عدم قطعیت، این نحوه مدلسازی را عدم قطعیت جعبه‌ای می‌نامند. به‌طور کلی این نوع مدلسازی عدم قطعیت برای ارزیابی نوسانات و در نظر گرفتن اثر خطا در برآوردهای ماتریس تقاضا قابل استفاده است. به عنوان نمونه در مطالعه موردی طراحی گسسته این مقاله، فرض شده است که برآورد انجام شده از ماتریس تقاضا، به دلایلی دارای ۲۰ درصد خطا است. به عبارت دیگر ایجاد حدود حداکثر و حداقل ماتریس تقاضا از طریق اعمال ۲۰ درصد افزایش و کاهش مقدار هر یک از درایه‌های ماتریس تقاضا انجام می‌شود. همچنین اعمال این نوع عدم قطعیت برای هر یک از درایه‌های ماتریس قابل تغییر بوده و بسته به ناحیه ترافیکی مدل شده در شبکه، می‌توان مقادیر مختلفی از حدود حداکثر و حداقل را برای هر یک از درایه‌های ماتریس تقاضا در نظر گرفت.

در این مقاله بدترین وضعیت شبکه (با استفاده از شاخص کل زمان سفر) با تعیین ماتریس متناظر آن (که ماتریس بدترین تقاضا نامیده شده) ارزیابی شده و طراحی مورد نظر برای این تقاضا با تقاضای حداکثر، میانگین و حداقل مقایسه شده است. برای حل طراحی پیوسته از الگوریتم ژنتیک و در طراحی گسسته از الگوریتم کلونی مورچگان استفاده شده است.

در بخش بعد، مروری بر مطالعات انجام شده در زمینه طراحی شبکه و اثر عدم قطعیت تقاضا ارائه شده است. در بخش ۳ روش‌شناسی ارزیابی اثر تغییرات تقاضا در مسئله تخصیص و طراحی شبکه حمل و نقل ارائه شده است. در بخش ٤، ارزیابی لازم بر روی دو شبکه کوچک و متوسط به عنوان مطالعه موردی انجام شده و در بخش پایانی نتیجه گیری مقاله ارائه شده است.

۲. مروری بر مطالعات انجام شده

مسئله طراحی شبکه[1] یکی ازمهم‌ترین مسائل برای برنامه ریزان سیستم حمل و نقل است و به سوال اساسی زیر پاسخ می‌دهد: "سیستم در شرایط محدودیت بودجه چگونه گسترش یابد که

Archive of SID
www.SID.ir

شبکه برای تقاضای آینده بهینه باشد"؟ این مسئله به دو صورت گسسته[۲] به منظور اضافه کردن قطعه مسیر جدید و پیوسته[۳] برای افزایش ظرفیت معابر به صورت بهینه برای معابر موجود تعریف می‌شود. طراحی شبکه حمل و نقل در حالت کلی یک مسئله دو سطحی است که مسئله سطح بالای آن کمینه سازی تابع هدف طراحی در شرایط محدودیت بودجه و مسئله سطح پائین آن تخصیص تعادلی است. یانگ و بل [Yang and Bell, 1998] در سال ۱۹۹۸ اذعان کردند که تابع هدف طراحی توسط برنامه‌ریز سیستم تعیین می‌شود که این تابع می‌تواند شاخصی از تراکم، قابلیت اطمینان، آلودگی و غیره باشد (و در اغلب مطالعات از کل زمان سفر استفاده می‌شود) و برای انجام تخصیص تعادلی نیز مشابه لبلانک [LeBlanc, 1975]، از الگوریتم فرانک ولف می‌توان استفاده کرد.

مسئله طراحی شبکه یک مسئله غیرخطی غیر محدب است و حل آن با استفاده از روشهای یافتن نقطه بهینه ریاضی و قطعی، دشوار است. به عنوان مثال یکی از اولین روشها، روش شاخه و کران[۴] است که توسط لبلانک برای حل یک مدل برنامه ریزی غیر خطی ترکیبی عدد صحیح برای طراحی شبکه ارائه شده است [LeBlanc, 1975]. بر این اساس، روشهای فرابتکاری[۵] که زمان حل مناسب و دقت کافی برای یافتن بهینه محلی دارند، برای حل مسئله طراحی شبکه بکار گرفته شده اند. جستجوی تابو[۶]، الگوریتم ژنتیک[۷]، شبیه سازی تبرید[۸] و الگوریتم کلونی مورچگان[۹] برای حل مسئله فوق توسط مگنتی و وانگ [Magnati and Wang, 1984]، سونگ و اشنایدر [Xiong and Schneider, 1995]، سولانکی و همکاران [Solanki , Gori and Southworth] و پورزاهدی و ابوالقاسمی [Pourzahedy and Abulghasemi, 2005] برای حل مسئله طراحی شبکه پیاده سازی شده است. پورزاهدی و روحانی در سال ۲۰۰۷ نیز الگوریتم کلونی مورچگان را به صورت ترکیبی با الگوریتمهای ژنتیک، گرم و سرد کردن شبیه‌سازی شده و جستجوی تابو را برای حل مسئله طراحی شبکه پیاده سازی کرده و موثر بودن اعمال ترکیب را برای حل مسئله فوق تایید نمودند [Poorzahedy and Rouhani, 2007].

وقوع عدم قطعیت در تقاضا، یافتن پاسخ بهینه برای مسئله طراحی شبکه را پیچیده تر می‌سازد. به طور کلی شبیه‌سازی اولین روش ارائه شده برای حل مسئله فوق در شرایط عدم قطعیت تقاضاست آساکورا و کاشیوادانی [Asakura and Kashiwadani, 1991] و سومالی و همکاران [Sumalee, Walting and Nakay-ama, 2006] بیان می‌دارند که استفاده از این روش در مورد تقاضای سفر، بخصوص در شبکه‌های بزرگ، دارای دشواری محاسباتی است. وی با استفاده از روش ارائه شده در مطالعه واتلینگ و کلارک [Watling and Clark, 2005] از فرض توزیع پواسن برای تقاضا به منظور ارائه روشی تحلیلی برای برآورد میانگین و واریانس زمان سفر مسیر استفاده کرده است. روش ارائه شده در این مطالعه، تعادل استفاده کننده را در نظر نگرفته است. در مطالعه لو و باربارا [Lo and Barbara] فرض شده است که کل تقاضای سفر شامل دو بخش مسافران دائمی و غیردائمی است که تقاضای مسافران غیردائمی به صورت احتمالاتی و بر اساس نسبت انتخاب مسیر ثابت بر شبکه وارد شده، در حالی که تقاضای مسافران دائمی به صورت قطعی انتخاب مسیر آنها در شبکه به صورت تعادلی و بر اساس شناخت آنها از شبکه صورت می‌گیرد. اکوسوری [Ukkusuri, 2005] نیز با فرض توزیع نرمال برای تقاضا، رابطه‌ای تحلیلی برای برآورد میانگین و واریانس تابع هدف تعادل استفاده کننده ارائه کرده است. فرض مهم دیگر در این زمینه در نظر گرفتن توزیع نرمال برای جریان در مسیرها و کمانهاست.

مجموعه مطالعات فوق در چارچوب برآورد شاخصهای مختلف قابلیت اطمینان شبکه تعریف شده‌اند. چن و همکاران[Chen et.al., 2008] نیز دو شاخص قابلیت اطمینان کاهش تقاضا[۱۰] و قابلیت اطمینان پاسخگویی به تقاضا[۱۱] را از مطالعات دو و نیکلسون [Du and Nicholson, 1997]) و هایدکر و همکاران [Heydecker, Lam and Zhang, 2007] به عنوان شاخصهای قابلیت اطمینان مرتبط با تقاضا معرفی کرده است. شاخص اول نشان دهنده احتمال آن است که شبکه بتواند نسبتی از سطح تقاضای مشخصی را در سطح سرویس مورد نظر تحمل

www.SID.ir

کند و شاخص دوم نشان دهنده احتمال آن است که نرخ کاهش جریان مبدا مقصد به دلیل کاهش ظرفیت شبکه کمتر از مقدار غیر قابل تحمل در شبکه کاهش یافته باشد.

در سالهای اخیر بخشی از مطالعات تقاضای متغیر نیز در چارچوب بهینه سازی استوار[12] انجام شده است. این روش نیز یکی از روشهای نوین حل مسائل برنامه ریزی در شرایط عدم قطعیت است که کنترل میزان عدم قطعیت وارد شده به مسئله را در نظر می‌گیرد. تفاوت عمده این روش با روش برنامه ریزی احتمالی[13] در کاربرد آنهاست. برنامه ریزی احتمالی، میانگین تابع هدف را در شرایط عدم قطعیت بهینه می‌کند، در حالی که بهینه سازی استوار ممانهای بالاتری را برای این منظور در نظر می‌گیرد[Ukkusuri, Tom and Waller, 2007]. در بهینه سازی استوار، اغلب از مجموعه‌های عدم قطعیت مانند عدم قطعیت جعبه‌ای[14]، عدم قطعیت بیضوی[15]، عدم قطعیت گزینه[16] مبنا و غیره استفاده شده است. در برنامه‌ریزی احتمالاتی روشهایی برای تبدیل مسئله برنامه‌ریزی با این عدم‌قطعیتها به مسئله قطعی معادل به نام مسئله متقابل استوار[17] ارائه شده که بن تال و همکاران آنها را ارائه کرده‌اند [Ben-Tal, Boyd and Nemirovski, 2006].

از مطالعات انجام شده در زمینه شبکه‌های حمل و نقل می‌توان به اکوسوری و همکاران [Ukkusuri, Tom and Waller, 2007] اشاره کرد که مسئله طراحی شبکه را به صورت بهینه‌سازی مجموع نسبتی از میانگین و واریانس تابع هدف طراحی در شرایط وجود سناریوهای مختلف تقاضای وارد بر شبکه مدل کرده و برای حل آن از الگوریتم ژنتیک استفاده کرده‌اند. نتایج مطالعه ایشان نشان داد که طراحی شبکه در چنین شرایطی با طراحی قطعی تفاوت قابل ملاحظه‌ای دارد. ین و لافنگ پنیچ [Yin and Lawphongpanich, 2007] با فرض عدم قطعیت بیضوی برای مدلسازی نوسانات تقاضای روزانه به منظور طراحی شبکه پیوسته از روشی مبتنی بر شبیه سازی به نام الگوریتم تولید تقاضا[18] استفاده کرده است. این الگوریتم در هر گام مسئله یافتن بدترین تقاضا و همچنین طراحی شبکه را تا رسیدن به همگرایی انجام می‌دهد. ین و همکاران [Yin, Lou and Lawphingpa -ich, 2009] با فرض وقوع سناریوهای مختلف تقاضا، که نسبت به یکدیگر اولویتی ندارند مسئله طراحی شبکه گسسته را نیز با استفاده الگوریتم تولید تقاضا حل کرده اند.

ین و همکاران [Yin et.al, 2009] برای حل مسئله بهبود شبکه در شرایط تقاضای متغیر با استفاده از تخصیص تعادلی احتمالاتی سه روش بهینه سازی آنالیز حساسیت، سناریو مبنا و مدل حداکثر- حداقل را ارائه کردند. روش اول برای استفاده در شرایط وجود تغییرات تقاضای اندک مانند تغییرات روزانه مناسب است. روش دوم برای برنامه‌ریزی بر اساس سناریوهای مختلف با احتمال وقوع معلوم و روش آخر برای طراحی برای بدترین حالت مناسب است. چن و همکاران[Chen, Chootinan and Wong, 2009] نیز با استفاده از شاخصی به نام مقدار ریسک‌پذیری[19] که نشان دهنده سطح ریسک‌پذیری برنامه‌ریزان است، مسئله افزایش بهینه ظرفیت شبکه را با استفاده از الگوریتم ژنتیک حل کرده‌اند. مدل ارائه شده توسط ایشان یک مسئله دو سطحی است که در سطح بالای آن تغییرات مدل دارای محدودیت احتمالی[20] و در سطح پایین مسئله تعادل استفاده کننده وجود دارد.

در مجموع می‌توان گفت مطالعات انجام شده در زمینه ارزیابی شبکه‌های حمل و نقل در شرایط تقاضای متغیر، اندک بوده و با توجه به اهمیت در نظر گرفتن تغییرات تقاضا در شبکه‌های حمل و نقل، حوزه تحقیقاتی وسیعی در این زمینه وجود دارد. در مطالعات مختلف با در نظر گرفتن فرضهایی در زمینه عدم قطعیت تقاضا، ارزیابی مورد نظر انجام شده است. فرضهای در نظر گرفته شده با هدف ساده سازی و یا دستیابی به حل تحلیلی برای حل مسئله بهینه سازی در شرایط عدم قطعیت ایجاد شده‌اند و در برخی موارد این فرضیات نمود واقعی ندارند. در این مطالعه عدم قطعیت تقاضا به صورت بازه پیوسته‌ای بین دو مقدار کمینه و بیشینه برای هر مبدا – مقصد در نظر گرفته شده که برای در نظر گرفتن نوسانها و تغییرات ساعتی و روزانه تقاضا، قابل استفاده است.

۳. روش شناسی

هدف این مقاله بررسی اثر عدم قطعیت جعبه‌ای تقاضا در

www.SID.ir
Archive of SID

تخصیص و طراحی شبکه در دو حالت پیوسته و گسسته است. بدترین تقاضای وارد بر شبکه، لزوما با تقاضای بیشینه مساوی نیست و بسته به شاخصی که هدف، یافتن بدترین وضعیت آن است، تغییر می‌کند. در بخش ۳-۱ روش شناسی انتخاب شده به‌منظور تعیین بدترین تقاضای وارد بر شبکه معرفی شده است. پس از شناسایی ماتریس بدترین تقاضا، به منظور انجام طراحی شبکه پیوسته و گسسته حمل و نقل، فرمولبندی و روش حل کارآمد برای حل این دو مسئله در بخش‌های ۳-۲ و ۳-۳ ارائه شده است.

۳-۱ تعیین بدترین تقاضای وارد بر شبکه

در این مقاله بدترین تقاضای وارد بر شبکه در شرایط وقوع عدم قطعیت جعبه‌ای تقاضا، با استفاده از الگوریتم ژنتیک مشابه مدل ارائه شده در مطالعه غفاری و کلانتری [Ghaffari and Kalantari, 2010] محاسبه شده است. این مدل یک مسئله دو سطحی است که در مسئله سطح بالا (معادله ۱)، تابع هدف شاخص عملکرد شبکه به همراه محدوده مجاز تقاضا و مسئله تخصیص در مسئله سطح پایین (معادله ۲) است.

$$\underset{q_{rs} \quad \forall r,s \in OD}{Max} \quad W = \sum_{a \in A} x_a t_a \qquad (۱)$$

$$S.t.$$

$$q_{rs}^{Min} \le q_{rs} \le q_{rs}^{Max} \quad \forall r,s \in OD$$

$$\underset{x_a \quad \forall a \in A}{Min} \quad Z = \sum_{r,s \in OD} \sum_{a \in A} \int_0^{x_a} t_a(w)dw \qquad (۲)$$

$$S.t.$$

$$\sum_{p \in P_{rs}} f_p^{rs} = q_{rs} \quad \forall r,s \in OD$$

$$v_a = \sum_{p \in P} f_p^{rs} \delta_a^{rs} \quad \forall a \in A$$

$$f_p^{rs} \ge 0 \quad \forall p \in P_{rs} \quad \forall r,s \in OD$$

که در آن:

P_{rs} مجموعه مسیرهای موجود بین زوج مبدا - مقصد (r،s)،

Z تابع رفتار تعادل کاربر و W تابع هدف مسئله طراحی شبکه در شرایط تقاضای متغیر است.

x_a جریان روی کمان $a \in A$،

$t_a(x_a)$ زمان سفر بر روی کمان $a \in A$،

f_p^{rs} جریان روی مسیر $p \in P_{rs}$ بین مبدا و مقصد (r،s)

و $\delta_{ar} = 1$ ، در صورتی که مسیر p از کمان a استفاده کند و در غیر این صورت برابر $\delta_{ar} = 0$ است. q_{rs}^{Max} و q_{rs}^{Min} تقاضای حداقل و حداکثر موجود بین زوج مبدا مقصد (r,s) و q_{rs} که نشان دهنده بدترین تقاضا بر اساس تابع هدف (معادله (۱) است، متغیر تصمیم این مدل است. در واقع بیشینه سازی این تابع نشان دهنده رسیدن شبکه به بدترین وضعیت است.

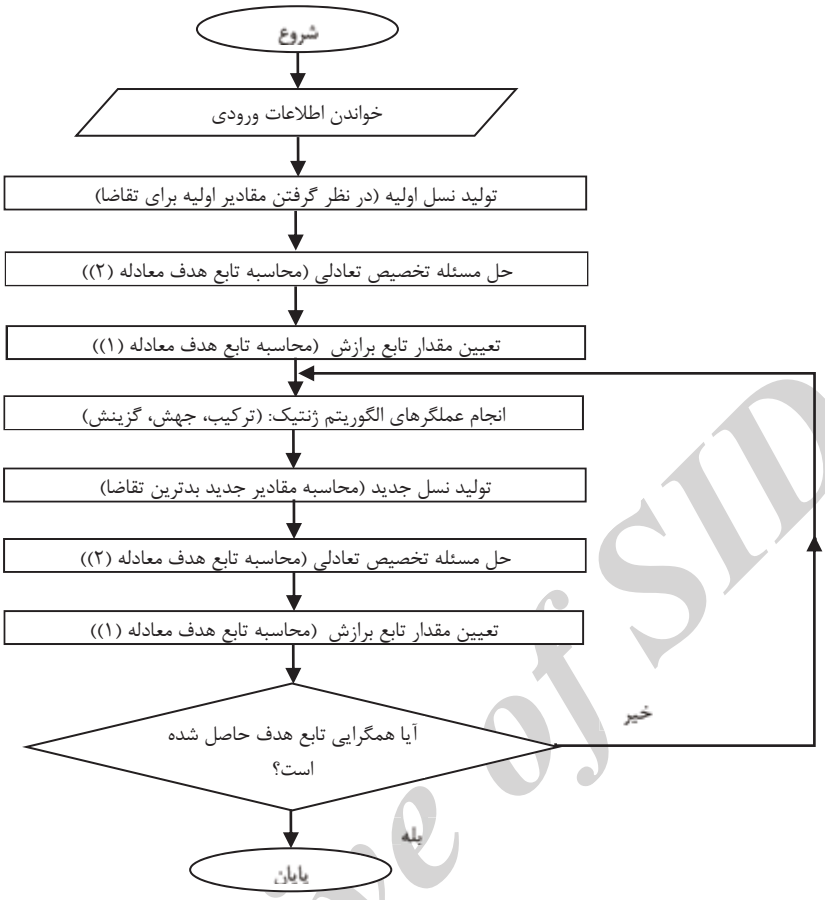
روش حل این مسئله در حالت کلی به صورت سعی و خطا و به این صورت است که ابتدا با توجه به حدود بالا و پایین برای هر درایه ماتریس تقاضا، یک مقدار اولیه فرض می‌شود. سپس با این ماتریس تقاضا، مسئله تخصیص تعادلی سطح پایین با استفاده از الگوریتم فرانک ولف حل می‌شود. با مشخص شدن زمان سفر و جریان عبوری از هر کمان، تابع هدف مسئله سطح بالا محاسبه شده و این روند تا دستیابی به همگرایی در مقدار بهینه تابع هدف، ادامه می‌یابد. غفاری و کلانتری (۱۳۸۹) به منظور افزایش بازدهی در حل مسئله و با توجه به پیوسته بودن مقادیر تقاضا، از الگوریتم ژنتیک برای حل این مسئله استفاده کردند. گامهای این الگوریتم در مطالعه فوق تشریح شده که در شکل (۱) الگوریتم حل با استفاده از این روش نمایش داده شده است.

۳-۲ طراحی پیوسته شبکه حمل و نقل با استفاده از الگوریتم ژنتیک

برای طراحی پیوسته شبکه حمل و نقل مشابه مطالعه اکوسوری و همکاران [Ukkusuri, Tom and Waller, 2007] از الگوریتم ژنتیک استفاده شده است. فرمول بندی مسئله طراحی پیوسته شبکه حمل و نقل به صورت زیر است. این مسئله نیز به صورت یک مسئله دو سطحی مدل شده که در مسئله سطح بالا (معادله (۳))، هدف بهینه سازی کل زمان سفر (شاخص طراحی) در شرایط محدودیت بودجه و محدوده مجاز افزایش ظرفیت برای کمانهاست. مسئله سطح پایین (معادله (٤)) نیز تخصیص تعادلی برای شبکه‌های افزایش ظرفیت یافته است.

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۱. الگوریتم برآورد بدترین تقاضا [Ghaffari and Kalantari, 2010]

$$\underset{y_a}{Min} \quad W = \sum_{a \in A} x_a t_a \qquad (۳)$$

$$S.t.$$

$$\sum_a y_a C_a \le Budget \quad \forall a \in A$$

$$0 \le y_a \le y_{\max} \qquad \forall a \in A$$

$$\underset{x_a}{Min} \qquad Z = \sum_{a \in A} \int_0^{x_a} t_a(w)dw \qquad (٤)$$

$$S.t.$$

$$\sum_{p \in P_{rs}} f_p^{rs} = q_{rs} \quad \forall r,s \in OD$$

$$x_a = \sum_{p \in P} f_p^{rs} \delta_a^{rs} \quad \forall a \in A$$

$$f_p^{rs} \ge 0 \quad \forall p \in P_{rs} \quad \forall r,s \in OD$$

y_a مقدار افزایش ظرفیت کمان a است که بر رابطه زمان سفر حجم $t_a = t_0(1+0.15\times\frac{x_a}{(Cap_a + y_a)})^4$ اعمال شده است. همچنین این مقدار افزایش ظرفیت برای هر کمان بین محدوده مجاز کمینه، صفر و بیشینه y_{max} تعریف شده است. میزان هزینه افزایش هر واحد ظرفیت مساوی C_a است که هزینه مجموع افزایش ظرفیت کمانها باید از مقدار بودجه (Budget) کمتر باشد. سایر متغیرها، مانند مدل ارائه شده در بخش قبل است.

با توجه به طراحی پیوسته شبکه، برای حل این مسئله نیز از الگوریتم ژنتیک استفاده شده است. اکوسوری و همکاران[Ukkusuri, Tom and Waller, 2005] بیان می‌دارند که این الگوریتم بیش از سایر روشهای فراابتکاری در حل مسئله طراحی شبکه استفاده شده است. در این الگوریتم ابتدا مقادیر اولیه پاسخ به عنوان جمعیت اولیه برای پروژه‌های انتخاب شده در محدوده موجه بودجه در نظر گرفته می‌شود. سپس برای شبکه جدید (شبکه اولیه به همراه پروژه‌های انتخاب شده) مسئله تخصیص تعادلی استاتیکی حل شده و با استفاده از جریان و زمان سفر در هر کمان، تابع هدف (معادله ۳)

Archive of SID
www.SID.ir

محاسبه می‌شود. با استفاده از این جواب اولیه، عملگرهای الگوریتم ژنتیک در هر گام پاسخهای (پروژه‌های موجه) جدیدی تولید کرده و تا همگرایی تابع هدف مورد نظر پیش می‌روند. در شکل (۲)، الگوریتم حل با استفاده از این روش نمایش داده شده است.

۳-۳ طراحی شبکه گسسته حمل و نقل با استفاده از الگوریتم کلونی مورچگان

برای انجام طراحی گسسته شبکه از الگوریتم کلونی مورچگان مشابه مطالعه پورزاهدی و ابوالقاسمی [Poorzahedy and Rouhani, 2007] استفاده شده است. فرمول بندی مسئله طراحی شبکه گسسته حمل و نقل به صورت زیر است که افزایش ظرفیت کمانهای آن به صورت پیوسته نبوده و پروژه‌های افزایش ظرفیت به صورت مجزا برای این شبکه تعریف شده‌اند. هدف این مسئله یافتن بهترین ترکیب پروژه‌ها برای بهینه کردن زمان سفر در شرایط محدودیت بودجه است.

$$\underset{y_a}{Min} \quad W = \sum_{\forall a \in A \cup A_y} x_a t_a \qquad (۵)$$

S.t.

$$\sum_a y_a C_a \le Budget \quad \forall a \in A_y$$

$$y_a = 0 \quad Or \quad 1 \quad \forall a \in A_y$$

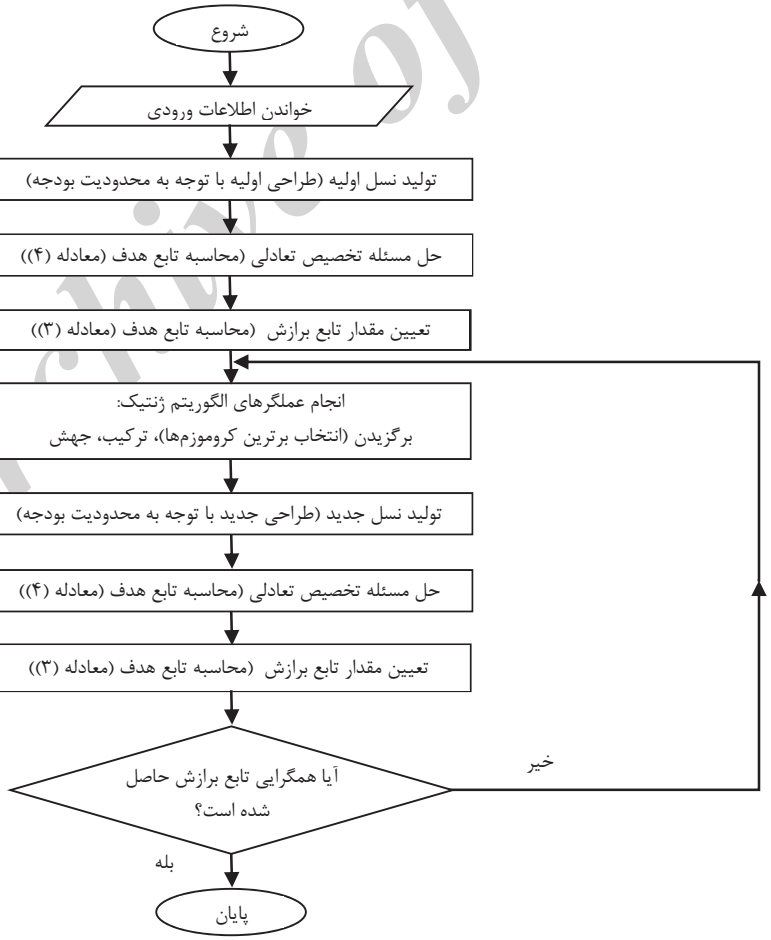
$$\underset{x_a \quad \forall a \in A \cup A_y}{Min} \quad Z = \sum_{\forall a \in A \cup A_y} \int_0^{x_a} t_a(w)dw \qquad (۶)$$

S.t.

$$\sum_{p \in P_{rs}} f_p^{rs} = q_{rs} \quad \forall r,s \in OD$$

$$x_a = \sum_{p \in P} f_p^{rs} \delta_a^{rs} \quad \forall a \in A \cup A_y$$

$$f_p^{rs} \ge 0 \quad \forall p \in P_{rs} \quad \forall r,s \in OD$$



شکل۲. روش حل مسئله طراحی شبکه در شرایط تقاضای متغیر با استفاده از الگوریتم ژنتیک

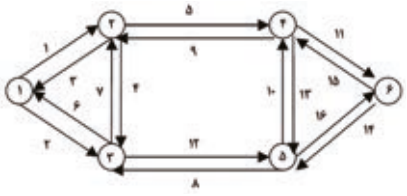
Archive of SID

www.SID.ir

A مجموعه کمانهای موجود در شبکه و A_y مجموعه کمانهای پیشنهادی برای احداث با هزینه C_a است که هزینه پروژه‌های انتخاب شده باید از مقدار بودجه (Budget) کمتر باشد. پورزاهدی و ابوالقاسمی [Poo – Zahedy and Abulghasemi, 2005] برای حل مسئله فوق، از الگوریتم کلونی مورچگان استفاده کردند. این الگوریتم در حل عمومی مسائل مسیر یابی عملکرد مناسبی داشته و در این مطالعه به دلیل تبدیل مسئله طراحی شبکه به یک مسئله یافتن کوتاه ترین مسیر از این روش استفاده شده که در شکل (۳) روند پیاده سازی آن ارائه شده است.

٤. مطالعه موردی

به منظور انجام مطالعه موردی از دو شبکه کوچک (برای طراحی پیوسته) و متوسط (برای طراحی گسسته) استفاده شده است. شبکه کوچک، دارای ٦ گره و ١٦ کمان به صورت شکل (٤) است. این شبکه در مطالعات مختلفی استفاده شده و از آنجا که اولین بار در مطالعه هارکر و فریز [Harker and Friesz, 1984] بکار گرفته شده، به نام شبکه HF شناخته می‌شود. مشخصات کمانهای این شبکه در مطالعه غفاری و کلانتری [Ghaffari and Kalantari, 1389] ارائه شده است. عدم قطعیت تقاضا نیز به صورت دو ماتریس فرضی که نشان دهنده تقاضای حداکثر و حداقل وارد بر شبکه هستند، در جدول (۱) نمایش داده شده است.



شکل٤. شبکه مطالعه موردی

جدول۱. ماتریس‌های تقاضای حداقل و حداکثر فرض شده در این مقاله

ماتریس مبدا–	تقاضای حداقل						تقاضای حداکثر					
مقصد	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۱	۲	۳	۴	۵	۶
۱	۰	۲۰	۲۰	۳۰	۴۰	۵۰	۰	۵۰	۵۰	۶۰	۷۰	۸۰
۲	۲۰	۰	۱۰	۲۰	۶۰	۳۰	۵۰	۰	۴۰	۵۰	۹۰	۶۰
۳	۲۰	۱۰	۰	۶۰	۲۰	۳۰	۵۰	۴۰	۰	۹۰	۵۰	۶۰
۴	۳۰	۲۰	۶۰	۰	۲۰	۲۰	۶۰	۵۰	۹۰	۰	۵۰	۵۰
۵	۴۰	۶۰	۲۰	۲۰	۰	۲۰	۷۰	۹۰	۵۰	۵۰	۰	۵۰
۶	۵۰	۳۰	۳۰	۲۰	۲۰	۰	۸۰	۶۰	۶۰	۵۰	۵۰	۰

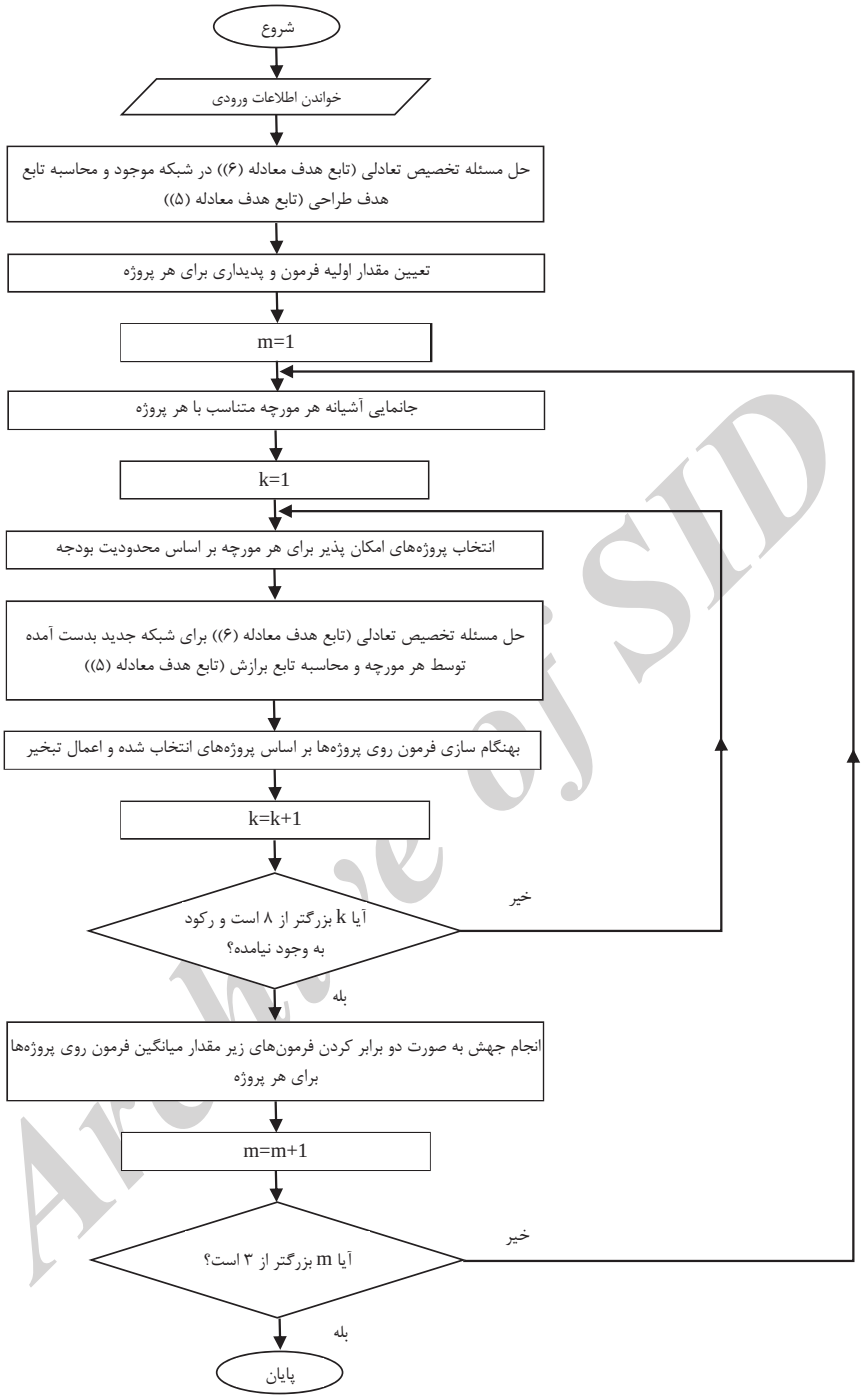
برای انجام طراحی گسسته، از شبکه سایوکس فالز[۲۱] استفاده شده است که دارای ٢٤ گره و ٣٨ کمان دوطرفه و ١٠ پروژه به صورت شکل (٥) است. ٥ پروژه اول تعریض معابر موجود و ٥ پروژه دیگر مربوط به احداث خیابان جدید هستند و مشخصات شبکه مانند ظرفیت و زمان سفر آزاد کمانها مشابه مطالعه پورزاهدی و ابوالقاسمی [Poorzahedy and Abulghasemi, 2005] انتخاب شده است. در این شبکه، برای تعیین ماتریس تقاضای حداقل، کلیه درایه‌های ماتریس تقاضای پایه شبکه در ضریب ۰/۸ ضرب شده است. همچنین ماتریس تقاضای حداکثر در ضریب ۱/۲ ضرب شده است. به عبارت دیگر، حداکثر ۲۰ درصد افزایش و یا کاهش در تقاضا در مجموعه عدم قطعیت در نظر گرفته شده است.

٤–١ ارزیابی اثر تقاضای متغیر جعبه‌ای در طراحی پیوسته شبکه

با استفاده از روش شناسی ارایه شده در بخش ٣–١، ماتریس بدترین تقاضای وارد بر شبکه برآورد شده است. تعداد متغیرها در این مسئله ٣٠ عدد بوده و بیشینه تعداد دفعات شبیه سازی ١٠٠، تعداد کروموزم هر نسل ١١٠ و نحوه انتخاب جمعیت اولیه به صورت انتخاب تصادفی در محدوده موجه به همراه دو مقدار بیشینه تقاضا و ٩٥ درصد آن است. مقادیر در نظر گرفته شده برای این متغیرها با استفاده از تحلیل حساسیت انجام شده برای الگوریتم ژنتیک در مسئله فوق از مطالعه غفاری و کلانتری [Ghaffari and Kalantari, 2010] مشخص شده است. تعداد کروموزم برگزیده برای نسل بعد ٦، نحوه انتخاب نسل بعد روش چرخ رولت، نحوه عملکرد عملگر ترکیب روش ترکیب

Archive of SID

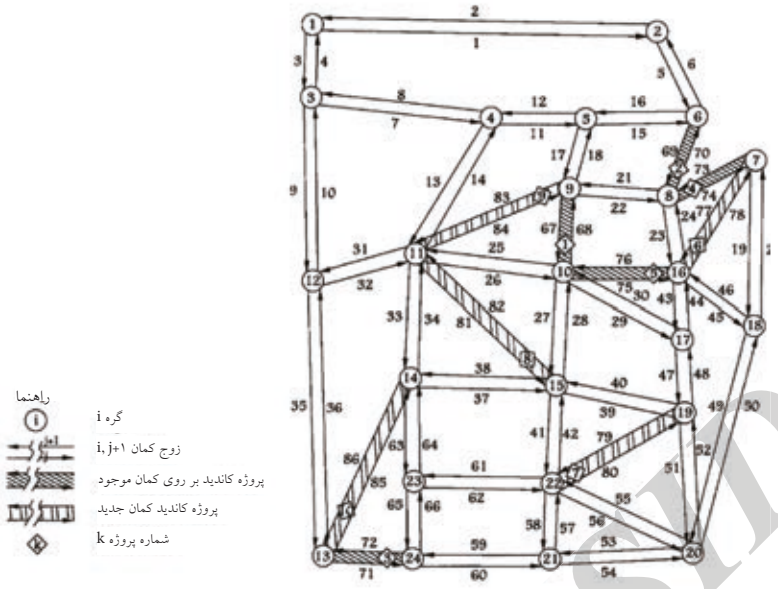
www.SID.ir



شکل۳. روش حل مسئله طراحی شبکه گسسته با استفاده از الگوریتم کلونی مورچگان [Poorzahedy and Abulghasemi, 2007]

دو نقطه‌ای، نحوه عملکرد عملگر جهش روش تصادفی، و نسبت عملگر ترکیب به جهش مساوی ۰/۸۵ در نظر گرفته شده است. ماتریس بدترین تقاضای وارد بر شبکه HF در جدول (۲) نمایش داده شد است. چنان که مشاهده می‌شود اغلب درایه‌های این ماتریس مساوی ماتریس تقاضای بیشینه هستند. با انجام تخصیص تعادلی، مقدار کل زمان سفر برای ماتریس تقاضای حداکثر مساوی ۹۲٤٤ و برای بدترین تقاضای وارد بر شبکه مساوی ۸۸۷۹ است. به این صورت در نظر گرفتن تقاضای بیشینه به جای بدترین تقاضای وارد بر شبکه موجب ٤ درصد خطا در تعیین کل زمان سفر شده است. لازم به ذکر است، برای محاسبه ماتریس بدترین تقاضای وارد

www.SID.ir



شکل ۵. شبکه سایوکس فالز [Poorzahedy and Abulghasemi, 2005]

بر شبکه با استفاده از الگوریتم ژنتیک در این شبکه، حدود ۵۷۰۰ بار تابع هدف (و در نتیجه تخصیص) محاسبه شده است.

جدول۲. مقادیر تقاضای متناظر بدترین وضعیت در شبکه HF

مبدا–مقصد	۱	۲	۳	۴	۵	۶
۱	۰/۰	۵۰/۰	۴۹/۹	۶۰/۰	۷۰/۰	۸۰/۰
۲	۵۰/۰	۰/۰	۴۰/۰	۴۷/۵	۸۶/۵	۵۸/۴
۳	۴۹/۵	۳۹/۸	۰/۰	۹۰/۰	۵۰/۰	۶۰/۰
۴	۶۰/۰	۵۰/۰	۹۰/۰	۰/۰	۵۰/۰	۵۰/۰
۵	۷۰/۰	۹۰/۰	۵۰/۰	۵۰/۰	۰/۰	۵۰/۰
۶	۸۰/۰	۶۰/۰	۶۰/۰	۵۰/۰	۵۰/۰	۰/۰

پس از شناسایی بدترین تقاضای وارد بر شبکه بر اساس شاخص کل زمان سفر، مقادیر بهینه ظرفیت کمانها در شرایط محدودیت بودجه برای شبکه فوق بر اساس روش شناسی ارائه شده محاسبه شده است. روش حل مسئله طراحی شبکه پیوسته در این مقاله، الگوریتم ژنتیک است که برای پیاده سازی آن برای شبکه فوق نیاز به کالیبره کردن عملگرهای الگوریتم فوق است. تعداد متغیرهای این مسئله ۱۶ (کل کمانها قابلیت افزایش ظرفیت را دارند) و حداکثر تعداد دفعات شبیه سازی ۵۰ است. به منظور انجام تحلیل حساسیت الگوریتم، تعداد کروموزم هر نسل مساوی ۱۶، ۲۴، ۳۲ و ۴۰ در نظر گرفته شده است. جمعیت اولیه به صورت انتخاب تصادفی در محدوده موجه در نظر گرفته شده است. محدودیت موجه افزایش ظرفیت نیز به صورت حداکثر مقدار افزایش ظرفیت ۴۰ و حداقل صفر واحد برای هر کمان تعریف شده است. محدودیت بودجه نیز به صورت حداکثر قابلیت افزایش ظرفیت ۲۰۰ واحد برای کل کمان‌های شبکه است. ماتریس تقاضای در نظر گرفته شده برای انجام کالیبراسیون الگوریتم ژنتیک در طراحی پیوسته شبکه HF، ماتریس تقاضای حداکثر است.

تعداد کروموزم برگزیده[۲۲] برای نسل بعد دو عدد است و نحوه انتخاب نسل بعد از روش چرخ رولت، نحوه عملکرد عملگر ترکیب به صورت ترکیب دو نقطه‌ای و نحوه عملکرد عملگر جهش به صورت تصادفی در نظر گرفته شده است. همچنین برای انجام تحلیل حساسیت، نسبت عملگر ترکیب[۲۳] به جهش[۲۴] مساوی ۰/۲ تا ۰/۸ در نظر گرفته شده است. مقادیر تابع هدف طراحی (مسئله سطح بالا مساوی که همان کل زمان سفر است) به ازای جمعیت‌ها و نسبت ترکیب به جهش‌های گفته شده در شکل (۶) نمایش داده شده است. بر این اساس تعداد کروموزم ۴۰ و نسبت ترکیب به جهش ۰/۶ به عنوان نتایج کالیبراسیون انتخاب شده است. لازم به ذکر است، متوسط تعداد دفعات محاسبه تابع هدف برای تعداد کروموزم‌های ۱۶، ۲۴، ۳۲ و ۴۰ به ترتیب در

Archive of SID

www.SID.ir

حدود ٤١٠٠، ٦٢٠٠، ٨١٠٠، ١٠٣٠٠ و ١٢٣٠٠ بار است که علت آن پیوسته بودن شیوه طراحی شبکه است.

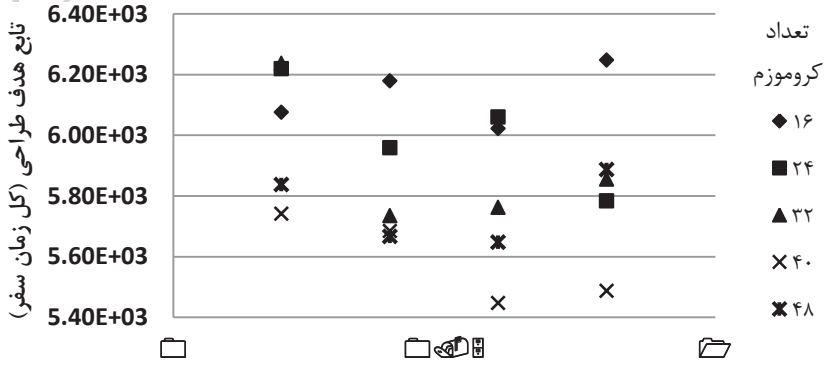
پس از کالیبره کردن الگوریتم ژنتیک برای حل مسئله طراحی پیوسته شبکه حمل و نقل، در ادامه، اثر وقوع تقاضاهای حداکثر، حداقل، میانگین و همچنین بدترین مقدار تقاضا (بر اساس شبکه اولیه) در طراحی شبکه بررسی شده است. در جدول (٣) افزایش ظرفیت بهینه به دست آمده برای هر کمان بر اساس هر یک از این ماتریسها در شرایط محدودیت بودجه ثابت (٢٠٠ واحد) و کل زمان سفر متناظر نمایش داده شده است.

تعیین میزان بهبود کمانها وابسته به جریان عبوری و بنابراین ماتریس تقاضای وارد بر شبکه است. پس با تغییر ماتریس تقاضا، نتایج نیز تغییر می‌کنند. به ویژه در ماتریس متناظر با بدترین تقاضا برخی درایه‌های ماتریس نسبت به تقاضای پایه تغییرات بیشتری می‌یابند. این تغییرات وابسته به رفتار تعادلی بوده و قابل تعیین قبل از انجام تخصیص نیست. به عنوان مثال در مورد کمان شماره یک، افزایش ظرفیت بیشتری برای بهبود در بدترین تقاضا نسبت به تقاضا حداکثر در نظر گرفته شده؛ در حالی که در کمان شماره ٣، که موازی و خلاف جهت کمان یک است، افزایش ظرفیت کمتری محاسبه شده است. مقدار اولیه و بهینه تابع هدف مسئله سطح بالا {معادله (١)، کل زمان سفر} در تقاضاهای میانگین و کمینه، با دو تقاضای دیگر اختلاف قابل ملاحظه‌ای دارند و به‌دلیل نبود تراکم در آنها، درصد بهبود تابع هدف در آنها نسبت به شبکه طراحی شده برای بدترین و بیشینه تقاضا کمتر است. لازم به ذکر است الگوی بهینه در هر یک از حالات فوق نتیجه ترکیب همزمان افزایش ظرفیت در کمانهاست و به صورت مجزا قابل پیاده سازی نیست.

پس از مشخص شدن شبکه بهینه برای هر یک از تقاضاها، اثر وقوع هر تقاضا بر شبکه‌ای که نتیجه طراحی تقاضای دیگری است نیز بررسی شده است. با انجام این امر، مشخص خواهد شد که شبکه‌ای که بر اساس تقاضای حداکثر طراحی شده، در شرایط بدترین تقاضا چه عملکردی داشته و مقدار تابع هدف بهینه آن چه مقدار تغییر خواهد کرد. در جدول (٤) نتایج اعمال این رویه برای تمام ترکیبهای تقاضا به همراه نتایج اعمال ٤ تقاضای مورد نظر بر شبکه پایه نمایش داده شده است.

همان طور که مشاهده می‌شود، با اعمال تقاضای حداکثر بر شبکه بهینه به دست آمده از ٤ تقاضای مورد بحث ، کمترین تابع هدف به ترتیب مربوط به شبکه بهینه تقاضای بیشینه، بدترین، میانگین و کمینه است. در حالت کلی، عملکرد شبکه‌ها در شرایط تغییر تقاضای سفر، نسبت به طراحی متناظر تقاضایی که برای آن طراحی شده‌اند حداکثر ١٠ درصد از خطا ایجاد می کند

توجه به این نکته مهم است که منظور از بدترین تقاضا، مقدار متناظر به دست آمده از پیاده‌سازی مسئله ارائه شده در روش‌شناسی ٣-١ بر روی شبکه اولیه است و عملا با تعیین الگوی بهینه ظرفیت در هر گام الگوریتم ژنتیک، بدترین تقاضای متناظر با آن شبکه



شکل٦. مقدار تابع هدف برای نسبت ترکیب به جهش و جمعیت‌های مختلف در شبکه HF

www.SID.ir
Archive of SID

جدول۳. نتایج طراحی پیوسته شبکه HF به ازای تقاضاهای مختلف

شماره کمان	ظرفیت اولیه		مقدار افزایش ظرفیت بهینه		
		تقاضای بیشینه	بدترین تقاضا	تقاضای میانگین	تقاضای کمینه
۱	۸۰	۷/۹	۱۴/۰	۱۰/۱	۹/۱
۲	۱۰۰	۱۴/۱	۱۲/۹	۱۳/۸	۱۱/۴
۳	۸۰	۱۱/۳	۸/۵	۱۰/۰	۱۰/۵
۴	۱۵۵	۱۰/۱	۱۰/۶	۱۳/۵	۱۱/۲
۵	۸۰	۱۳/۹	۱۰/۸	۱۵/۶	۱۲/۲
۶	۱۰۰	۱۱/۱	۱۰/۵	۱۳/۵	۱۲/۸
۷	۱۵۵	۸/۰	۱۳/۸	۸/۴	۱۲/۶
۸	۱۵۵	۲۱/۲	۲۰/۷	۲۳/۰	۲۱/۳
۹	۸۰	۲۶/۹	۲۱/۶	۱۵/۴	۱۲/۱
۱۰	۱۳۰	۷/۹	۹/۳	۶/۶	۱۰/۱
۱۱	۱۳۰	۶/۸	۹/۰	۱۲/۶	۹/۳
۱۲	۱۵۵	۲۵/۲	۲۳/۲	۲۴/۸	۲۶/۷
۱۳	۱۳۰	۹/۱	۱۰/۰	۸/۵	۱۰/۲
۱۴	۱۳۰	۷/۴	۹/۸	۶/۳	۱۰/۹
۱۵	۱۳۰	۹/۶	۶/۸	۸/۰	۹/۵
۱۶	۱۳۰	۹/۴	۸/۷	۹/۹	۱۰/۱
مقدار تابع هدف	شبکه اولیه	۸۸۷۹	۹۲۴۴	۳۴۰۸	۱۴۲۳
	شبکه بهینه	۵۴۴۸	۵۵۷۰	۲۵۶۱	۱۲۶۴
	درصد بهبود	۳۸/۶	۳۹/۸	۲۴/۹	۱۱/۲

تغییر می‌یابد. اما همان طور که گفته شد، برای این شبکه، محاسبه بدترین تقاضا، با انجام ۵۷۰۰ بار تخصیص به دست آمده است. حال در صورت اعمال این روش در هر گام طراحی، برای تعداد کرومزوم ٤٠، بیش از ۵۸ میلیون (۵۷۰۰×۱۰۳۰۰) بار تخصیص برای دست‌یابی به الگوی افزایش ظرفیت بهینه لازم است، که این روش حتی برای شبکه‌های کوچک نیز غیر قابل پیاده سازی است.

٤-۲ ارزیابی اثر تقاضای متغیر جعبه‌ای در طراحی شبکه گسسته

بدترین تقاضای به دست آمده بر اساس روش شناسی ارائه شده در بخش ۳-۱ و نتایج کالیبراسیون ارائه شده در بخش ٤-۱ محاسبه شده است. تعداد کروموزم‌های در نظر گرفته شده مساوی ۱۱۰٤ عدد بوده و تعداد متغیرها با حذف دریه‌های قطر اصلی مساوی ۵۵۲ (۲۳×۲٤) است. همان طور که مشاهده می‌شود، تعداد کروموزمها دو برابر تعداد متغیرها در نظر گرفته شده است.

لازم به ذکر است به علت بزرگی شبکه، انجام تحلیل حساسیت بر روی تعداد کروموزم‌ها امکان پذیر نبوده و از نتایج شبکه HF برای این منظور استفاده شده است. با ۵۷٤۰۰ بار محاسبه تابع هدف (کل زمان سفر) و در نتیجه تخصیص، کل زمان سفر بر اساس بدترین تقاضا، مساوی ۲۲۰۲۰۷ واحد می‌شود. مقدار فوق در صورت اعمال تقاضای حداکثر بر روی شبکه پایه مساوی ۲۰۵۲۵۷ است و نشان می‌دهد استفاده از ماتریس تقاضای بیشینه به جای بدترین تقاضا در شبکه پایه سایوکس فالز حدود ٦/۸درصد خطا ایجاد می‌کند. در شکل (۷) مقادیر تقاضای بیشینه و بدترین تقاضا (به‌ازای هر درایه متناظر ماتریس‌ها) برای این شبکه نمایش داده شده است.

این شکل نشان دهنده تشابه نسبی کلیه درایه‌های ماتریس در حالت تقاضای بیشینه و بدترین تقاضای محاسبه شده است. در برازش رگرسیونی انجام شده نیز شیب خط برازش داده شده و

Archive of SID

www.SID.ir

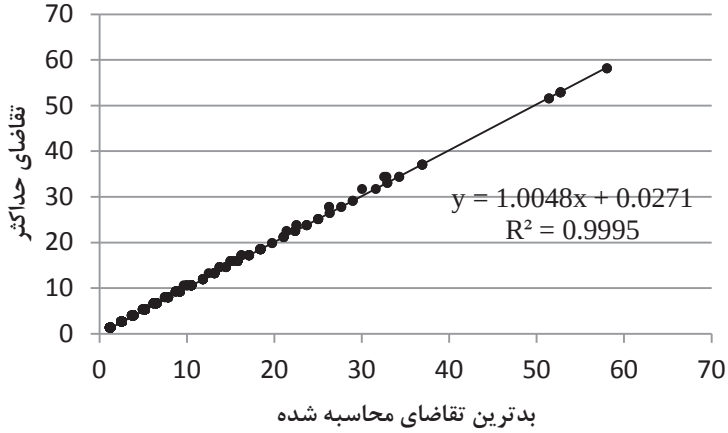
جدول٤. نتایج اعمال تقاضاهای مختلف، بر شبکه بهینه HF در هر حالت تقاضا

تقاضای وارده	شبکه بهینه	تابع هدف (کل زمان سفر)	درصد اختلاف در تابع هدف نسبت به تقاضایی که برای آن طراحی شده
تقاضای حداکثر	حداکثر	۵۴۴۸	۰
	بدترین	۵۸۷۳	۷/۸
	میانگین	۵۸۸۹	۸/۱
	حداقل	۶۰۰۲	۱۰/۲
بدترین تقاضا	حداکثر	۵۶۰۳	۰/۶
	بدترین	۵۵۷۰	۰
	میانگین	۶۰۸۹	۹/۳
	حداقل	۵۸۷۸	۵/۵
تقاضای میانگین	حداکثر	۲۵۸۱	۰/۸
	بدترین	۲۶۱۸	۲/۳
	میانگین	۲۵۶۱	۰
	حداقل	۲۶۵۶	۳/۷
تقاضای حداقل	حداکثر	۱۲۶۵	۰/۱
	بدترین	۱۲۷۸	۱/۱
	میانگین	۱۲۷۴	۰/۸
	حداقل	۱۲۶۴	۰

شاخص دقت برازش (R^2) نشان دهنده عدم ایجاد تغییر قابل توجه در درایه‌های بدترین ماتریس تقاضا نسبت به ماتریس تقاضای بیشینه است، به طوری که متوسط درصد اختلاف بین درایه‌های این ماتریسها ٤/٧ درصد و بیشترین مقدار این اختلاف، ۹/۰ درصد است. همین مقدار اختلاف اندک در ماتریس تقاضا، منجر به تفاوت پاسخ مسئله تخصیص تعادلی برای دو ماتریس فوق شده و جایگزینی ماتریس تقاضای بیشینه به جای بدترین ماتریس تقاضا ٦/٨ درصد خطا ایجاد می کند

پس از شناسایی بدترین تقاضای وارد بر شبکه بر اساس شاخص کل زمان سفر، مشابه روند انجام شده در بخش قبل، طراحی شبکه گسسته در شرایط محدودیت بودجه برای شبکه فوق بر اساس روش شناسی ارائه شده در بخش ۳-۳ برای تقاضاهای مختلف وارده انجام شده است. روش حل مسئله طراحی شبکه گسسته در این مقاله، الگوریتم کلونی مورچگان است که اولین بار برای طراحی شبکه توسط پورزاهدی و ابوالقاسمی [Poorzahedy and Abulghasemi, 2005] پیشنهاد شده است. برای پیاده سازی آن برای شبکه فوق نیاز به کالیبره کردن عملگرهای الگوریتم فوق است. با توجه به اینکه در مطالعه اشاره شده، از همین شبکه و با همین مشخصات معابر، تقاضا، هزینه و بودجه استفاده شده است، از انجام کالیبراسیون صرفنظر شده و نتایج آن در زیر ارائه شده است.

نرخ تبخیر مناسب این شبکه مساوی ۰/۵، ضریب اعمال هزینه احداث هر کمان ۱ و ضریب فرمون و میزان پدیداری در محاسبه احتمال انتخاب هر پروژه به ترتیب ۱ و ۲ است. تعداد مورچه‌ها به تعداد پروژه‌ها و تعیین آشیانه آنها به صورت قطعی انجام شود. به‌هنگام سازی مقدار فرمون روی هر کمان پس از طی مسیر تمام



شکل۷. برازش مقادیر تقاضای ماکزیمم در مقابل بدترین تقاضای محاسبه شده در شبکه HF

Archive of SID

www.SID.ir

مورچه‌ها انجام شده و برای جلوگیری از وقوع رکود، پس مقدار فرمون در پروژه‌هایی که مقدار فوق در آنها کمتر از مقدار میانگین است، دو برابر شود. بر اساس جزییات فوق، نتیجه طراحی شبکه گسسته فوق برای ماتریس‌های تقاضای بیشینه، کمینه و میانگین و همچنین بدترین تقاضای محاسبه شده (بر اساس شبکه پایه) در جدول (۵) نمایش داده شده است.

همان گونه که مشاهده می‌شود بیشترین مقدار بهبود، مربوط به اعمال بدترین تقاضا است و با کاهش سطح تقاضا، میزان بهبود کاهش می‌یابد. همچنین پروژه‌های بهینه انتخاب شده برای بدترین تقاضا، با پروژه‌های تقاضای بیشینه متفاوت است. با توجه به اینکه طراحی شبکه گسسته، ارزیابی اعمال همزمان پروژه‌ها است، در دسترس بودن سایر نقاط بهینه نیز در انتخاب پروژه‌ها مفید است. در جدول (٦) نقاط بهینه دوم و سوم برای هر یک از حالات تقاضای فوق نمایش داده شده است. منظور از نقطه بهینه دوم، دومین پاسخ متناظر کمترین مقدار تابع هدف در حل مسئله طراحی در مراحل یافتن پاسخ نهایی است.

منظور از نقطه بهینه دوم، دومین پاسخ متناظر کمترین مقدار تابع هدف، در حل مسئله طراحی در مراحل یافتن پاسخ نهایی است. به بیان دیگر پاسخهای مختلف به دست آمده در طی همگرایی تابع هدف، ذخیره شده و دومین و سومین تابع هدف بهتر نسبت به سایر نتایج، به عنوان نقطه بهینه دوم و سوم ارائه شده است. بر اساس جدولهای (۵) و (٦)، نقاط بهینه دوم و سوم، نسبت به نقطه بهینه اول حداکثر در دو کمان برگزیده متفاوت بوده و کل زمان سفر در نقاط بهینه دوم و سوم نیز اختلاف قابل توجهی با نقطه بهینه اول ندارد. همان طور که مشاهده می‌شود کل زمان سفر در نقاط بهینه دوم و سوم نیز اختلاف قابل توجهی با نقطه بهینه اول ندارد. همچنین ترکیب پروژه‌های ۸-۷-۲-۱، ۸-۷-۳-۲ و ۸-۵-۲-۱ در مجموع برای انتخاب نهایی پروژه‌ها برای احداث بر اساس شاخص کل زمان سفر مناسب هستند. پس از مشخص‌شدن شبکه بهینه برای هر یک از تقاضاها، اثر وقوع هر تقاضا بر شبکه‌ای که نتیجه طراحی تقاضای دیگری است نیز (مشابه مطالعه موردی قبل) بررسی شده است. با انجام این امر، مشخص خواهد شد که شبکه‌ای که بر اساس تقاضای حداکثر طراحی شده، در شرایط بدترین تقاضا چه عملکردی داشته و مقدار تابع هدف بهینه آن

جدول۵. نتیجه طراحی شبکه گسسته سایوکس فالز بر اساس تقاضاهای مختلف

تقاضای وارده	مقدار اولیه تابع هدف	مقدار بهینه تابع هدف	درصد بهبود	پروژه های انتخاب شده
تقاضای حداکثر	۲۰۵۲۵۶	۱۳۳۲۸۳	۳۵	۲-۳-۵-۸
بدترین تقاضا	۲۲۰۲۰۷	۱۲۸۵۵۱	۴۲	۱-۲-۷-۸
تقاضای میانگین	۱۰۳۰۷۲	۷۲۳۷۸	۳۰	۱-۲-۷-۸
تقاضای حداقل	۵۳۵۹۳	۴۱۶۰۶	۲۲	۲-۳-۵-۸

جدول٦. نتیجه طراحی شبکه گسسته سایوکس فالز بر اساس تقاضاهای مختلف

تقاضای وارده	مقدارتابع هدف		پروژه‌های انتخاب شده
تقاضای حداکثر	نقطه بهینه دوم	۱۳۳۳۷۱	۲-۳-۷-۸
	نقطه بهینه سوم	۱۳۳۹۲۵	۱-۲-۷-۸
بدترین تقاضا	نقطه بهینه دوم	۱۲۹۸۲۱	۲-۳-۷-۸
	نقطه بهینه سوم	۱۲۹۹۹۴	۱-۲-۵-۸
تقاضای میانگین	نقطه بهینه دوم	۷۲۷۹۵	۱-۲-۵-۸
	نقطه بهینه سوم	۷۲۸۳۹	۲-۳-۷-۸
تقاضای حداقل	نقطه بهینه دوم	۴۱۷۶۸	۲-۳-۷-۸
	نقطه بهینه سوم	۴۱۸۸۶	۱-۳-۷-۸

Archive of SID

www.SID.ir

چه مقدار تغییر خواهد کرد. در جدول (۷) نتایج اعمال این رویه برای تمام ترکیب‌های تقاضا نمایش داده شده است که با توجه به شباهت مقادیر تابع هدف در ترکیبهای یاد شده و شباهت ترکیبها، اختلاف قابل توجهی وجود ندارد.

۵. نتیجه گیری

طراحی شبکه‌های حمل و نقل با در نظر گرفتن مشخصات شبکه و رفتار تعادلی انتخاب مسیر رانندگان، ترکیب انتخاب پروژه‌های مورد نظر برای افزایش ظرفیت را مشخص می‌کند. بنابراین دلایل متعددی برای ایجاد عدم قطعیت در مسئله طراحی وجود دارد که عدم قطعیت مشخصات کمانها، تقاضا، نحوه انتخاب مسیر و همچنین عدم قطعیت در تصمیم گیری انتخاب پروژه بهینه مهم‌ترین موارد آن هستند. در این مقاله اثر وقوع عدم قطعیت جعبه‌ای در وقوع تقاضا در طراحی گسسته و پیوسته شبکه حمل و نقل ارزیابی شده است.

حل مسئله تخصیص در شرایط تقاضای متغیر از جنبه‌های مختلف طراحی و برنامه ریزی در شبکه‌های حمل و نقل حائز اهمیت است. در این مقاله مقایسه اثر وجود تقاضای متغیر جعبه‌ای در یک بازه مشخص برای هر مبدا و مقصد در مسئله تخصیص تعادلی برای دو شبکه کوچک و متوسط ارزیابی شده است. از این نوع عدم قطعیت برای مدل سازی تقاضا در شرایطی که تغییرات تقاضا به صورت پیوسته (مانند تغییرات روزانه و ساعتی) باشد، استفاده می‌شود. برای این منظور ماتریس تقاضایی که منجر به ایجاد بدترین مقدار تابع هدف (کل زمان سفر) می‌شود، با استفاده از یک مسئله دو سطحی با هدف حداکثرسازی کل زمان سفر در محدوده موجه تقاضا در مسئله سطح بالا و کمینه‌سازی تابع هدف مسئله تخصیص در مسئله سطح پایین مدل شده است. روش تخصیص استفاده شده الگوریتم فرانک‌ولف بوده و برای حل مسئله دو سطحی مورد نظر از الگوریتم ژنتیک استفاده شده است. مقدار تابع هدف در شرایط بدترین تقاضای محاسبه شده، از مقدار تابع هدف، به ازای تقاضای حداکثر در تمام حالات بیشتر است. به عبارت دیگر بدترین ماتریس تقاضا قطعا متفاوت

جدول ۷. نتایج اعمال تقاضاهای مختلف، بر شبکه بهینه سایوکس فالز در هر حالت تقاضا

تقاضای وارده	شبکه بهینه متناظر تقاضای	مقدار تابع هدف	درصد اختلاف در تابع هدف نسبت به تقاضایی که برای آن طراحی شده
تقاضای حداکثر	حداکثر	۱۲۸۵۵۱	۰
	بدترین	۱۲۹۹۴۷	۱/۰۹
	میانگین	۱۲۸۵۵۱	۰
	حداقل	۱۲۹۹۴۷	۱/۰۹
بدترین تقاضا	حداکثر	۱۳۳۹۲۵	۰/۴۸
	بدترین	۱۳۳۲۸۳	۰
	میانگین	۱۳۳۹۲۵	۰/۴۸
	حداقل	۱۳۳۲۸۳	۰
تقاضای میانگین	حداکثر	۷۲۳۷۸	۰
	بدترین	۷۳۲۴۹	۱/۲
	میانگین	۷۲۳۷۸	۰
	حداقل	۷۳۲۴۹	۱/۲
تقاضای حداقل	حداکثر	۴۳۰۵۱	۳/۴۷
	بدترین	۴۱۶۰۶	۰
	میانگین	۴۳۰۵۱	۳/۴۷
	حداقل	۴۱۶۰۶	۰

از ماتریس تقاضای بیشینه است، زیرا تابع هدف متناظر بیشتری دارد. نتیجه پیاده سازی این مدل برای دو شبکه مورد نظر نشان می‌دهد که این ماتریس به ماتریس تقاضای بیشینه نزدیک است و استفاده از ماتریس تقاضای بیشینه به جای بدترین تقاضا در حل مسئله تخصیص، ٤ الی ٦ درصد خطا ایجاد می‌کند. از سوی دیگر محاسبه بدترین تقاضا با استفاده از الگوریتم ژنتیک انجام شده و زمان محاسباتی قابل توجهی (بویژه برای شبکه متوسط) خواهد داشت.

در این مقاله، اثر وقوع ماتریسهای تقاضای بیشینه، کمینه، میانگین و بدترین تقاضا (بر اساس شبکه اولیه) در طراحی پیوسته و گسسته دو شبکه کوچک و متوسط ارزیابی شده است. برای حل مسئله طراحی پیوسته از الگوریتم ژنتیک و در طراحی گسسته از

www.SID.ir
Archive of SID

الگوریتم کلونی مورچگان استفاده شده است. با پیاده سازی روند ابتکاری استفاده شده در این مقاله مشخص شد که طراحیهای مختلف این شبکه‌ها در شرایط وقوع تقاضاهای مختلف، نتایج متفاوت، ولی همگرایی دارد. در طراحی شبکه پیوسته، کمانهایی که بیشترین افزایش ظرفیت را داشته‌اند تقریبا مشابه هستند. در طراحی گسسته نیز پروژه‌های انتخاب شده در نقاط اول، دوم و سوم بهینه در چهار تقاضای مورد بحث، گزینه‌های مشابهی را به‌دست می‌دهند.

همچنین اثر بارگذاری این چهار تقاضا بر شبکه بهینه به دست آمده از هر یک از آنها نیز مورد ارزیابی قرار گرفته است. در شبکه مطالعه موردی برای طراحی پیوسته، بیشینه افزایش کل زمان سفر در اثر تغییر تقاضا (نسبت به تقاضایی که شبکه برای آن طراحی شده است) در حدود ۱۰ درصد است. به عنوان مثال در صورتی که بدترین تقاضای محاسبه شده بر شبکه‌ای که بر اساس تقاضای میانگین طراحی شده، کل زمان سفر ۹ درصد نسبت به مقدار مشابه در صورت اعمال تقاضای میانگین بیشتر است. در شبکه‌ای که برای طراحی گسسته استفاده شده اختلاف مقادیر فوق محدود به ٤-۳ درصد است. این امر به دلیل مشابه بودن ترکیب پروژه‌های انتخاب شده برای هر حالت تقاضا، در نقاط نزدیک به بهینه است.

بر اساس نتایج به دست آمده از این مطالعه، می‌توان نتیجه گرفت که در شرایطی که تقاضای متغیر وارد بر شبکه به صورت عدم قطعیت جعبه‌ای باشد، طراحی (به ویژه گسسته) شبکه حمل و نقل بر اساس تقاضای حداکثر می‌تواند جایگزین طراحی بر اساس بدترین وضعیت تقاضای متناظر شبکه باشد. لازم به یادآوری است که محاسبه بدترین تقاضای وارد بر شبکه، دشواری محاسباتی داشته و ارزیابی انجام شده در این مطالعه برای سایر عدم قطعیت‌های ممکن برای تقاضا (مانند عدم قطعیت سناریو مبنا، بیضوی و غیره)، قابل انجام است. همچنین پیاده سازی آن برای شبکه‌های بزرگ نیازمند بکارگیری روشهایی است که دشواری محاسباتی کمتری داشته باشند که این کار از طریق اعمال فرضیاتی در زمینه عدم قطعیت تقاضا، امکان پذیر است.

٦. پی‌نوشتها

1- Network Design Problem
2- Discrete
3- Continuous
4- Branch and bound
5- Meta heuristics
6- Tabu search
7- Genetic Algorithm
8- Simulated annealing
9- Ant colony Algorithm
10- Travel Demand Reduction Reliability
11- Travel Demand Satisfaction Reliability
12- Robust optimization
13- Stochastic Programming
14- Box Uncertainty
15- Ellipsoidal Uncertainty
16- Scenario
17- Robust Counterpart
18- Demand generation
19- Value at Risk
20- Chance Constraint Model
21- Sioux Falls
22- Elite
23- Crossover
24- Mutation

۷. مراجع

- Asakura, Y. and Kashiwadani, M. (1991) "Road network reliability caused by daily fluctuation of traffic flow". Proceedings of the 19th. PTRC Summer Annual Meeting, Brighton, England.

- Ben-Tal, A., Boyd, S. and Nemirovski, A. (2006) "Extending scope of robust optimization: comprehensive robust counterparts of uncertain problems", Mathematical Programming, Series B, Vol. 107, pp. 63–89.

- Chen, A. J., Kim, Zhou, Z. and Chootinan, P. (2009) "An alpha reliable network design problem", Transportation Research Record, Vol. 2029, pp. 49-57.

- Chen, A., Zhong, Z., Chootinan, P. and Wong, S. C. (2008) "A bi-objective reliable network design problem", 87nd. Annual Meeting of the Transportation Research Board, January, Washington D.C.

Archive of SID

www.SID.ir

- Du, Z. P. and Nicholson, A. (1997) "Degradable transportation systems: sensitivity and reliability analysis", Transportation Research, Part B, Vol. 31, pp. 225–237.

- Harker, P. T. and Friesz, T. L. (1984) "Bounding the solution of the continuous equilibrium network design problem" , in Proceedings of the 9th. International Symposium on Transportation and Traffic Theory, pp. 233–252.

- Heydecker, B., Lam, W. and Zhang, N. (2007) "Use of travel demand satisfaction to assess road network reliability". Transportmetrica, Vol. 3, No. 2, PP. 139-171.

- LeBlanc, L. J. (1975) "An algorithm for the discrete network design problem", Transportation Science, Vol. 9, PP. 183-199.

- Lo, S.K. and Barbara, W.Y. (2008) "Doubly uncertain transportation network: Degradable capacity and stochastic demand", European Journal of Operational Research, Vol. 191,pp. 168–181.

- Magnanti, T. L. and Wong, R.T. (1984) "Network design and transportation planning models and algorithms", Transportation Science, Vol. 18, No. 1, pp. 1-55.

-Poorzahedy, H. and Abulghasemi, F. (2005) "Application of ant system to network design problem", Transportation, Vol. 32, pp. 251–273.

- Poorzahedy, H. and Rouhani, O.M. (2007) "Hybrid meta-heuristic algorithms for solving network design problem", European Journal of Operational Research, Vol. 182, No. 2, pp. 578-596.

- Solanki, R.S., Gorti, J. K. and Southworth, F. (1998) "Using decomposition in large-scale highway network design with quasi-optimization heuristic", Transportation Research-B, Vol. 32, pp. 127–140.

- Sumalee, A., Watling, D. P. and Nakayama, S. (2006) "Reliable network design problem: The case with uncertain demand and total travel time reliability", Transportation Research Record, Vol. 1964, pp. 81-90.

- Ukkusuri, S. (2005) "Accounting for uncertainty, robustness and online information in transportation networks". Ph.D. Dissertation, University of Texas at Austin, Texas, USA.

- Ukkusuri, S., Tom, V. M. and Waller, S.T. (2007) "Robust network design problem under demand uncertainty", Computer Aided Civil and Infrastructure Engineering, Vol. 22, pp. 6–18.

- Watling, D. P. and Clark, S. (2005) "Modeling network travel time reliability under stochastic demand" Transportation Research, Part B, Vol. 39, pp. 119-140.

- Xiong, Y. and Schneider, J. B. (1995) "Processing of constraints in transportation network design problem", Journal of Computing in Civil Engineering, Vol. 9, No. 1.

- Yang, H. and Bell, M. G. H. (1998) "Models and algorithms for road network design: A review and some new development", Transport Review", Vol. 18, No. 3, pp. 257-278.

- Yin, Y. and Lawphongpanich, S. (2007) "A robust approach to continuous network designs with demand uncertainty", Transportation and Traffic Theory, Allsop, R.E., Bell, M.G.H., Heydecker, B.G. (Eds.) Elsevier, London, England, pp. 110 – 126.

- Yin, Y., Lou, Y. and Lawphongpanich, S. (2009) "A robust approach to discrete network designs with demand uncertainty", 88th. Annual Meeting of Transportation Research Board, January, Washington D.C., USA.

- Yin, Y., Madanat, S.M. and Lu, X.Y. (2009) "Robust improvement schemes for road networks under demand uncertainty". European Journal of Operational Research, Vol. 198, pp. 470–479.

– غفاری، احمدرضا و کلانتری، نوید (۱۳۸۹) "ارائه مدل برآورد بدترین حالت شبکه با تقاضای متغیر با استفاده از الگوریتم ژنتیک"، دهمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی حمل و نقل و ترافیک، تهران، ایران.

Archive of SID

www.SID.ir