Archive of SID

طراحی استوار شبکه حمل و نقل در شرایط تقاضای گزینه مبنا با استفاده از الگوریتم‌های ژنتیک و دسته مورچگان

شهریار افندی‌زاده*، دانشیار، دانشکدهٔ مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران
احمدرضا غفاری، دانشجوی کارشناسی‌ارشد، دانشکدهٔ مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران
نوید کلانتری، دانشجوی دکترا، دانشکدهٔ مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

E-mail: zargari@iust.ac.ir

دریافت: ۱۳۹۰/۰٤/۱۸- پذیرش: ۱۳۹۰/۰۹/۰٦

چکیده

طراحی شبکه‌های حمل و نقل یکی از مهم‌ترین مسایل در مهندسی برنامه‌ریزی حمل و نقل است که وجود عدم قطعیت‌ها پیچیدگی آن را بیشتر می‌نماید. عدم قطعیت در تقاضا یکی از رایج‌ترین منابع عدم قطعیت در شبکه‌ها است که به دلایلی مانند دشواری پیش‌بینی تولید و جذب سفرها در آینده به وجود می‌آید. در این مقاله از روشی بر پایه بهینه‌سازی استوار برای حل مسئله طراحی شبکه گسسته‌های حمل و نقل در شرایط وقوع تقاضای متغیر گزینه مبنا استفاده شده که سطح عدم قطعیت وارد شده در مسئله را در اختیار طراح قرار می‌دهد. برای این منظور از تابع هدف مجموع وزن داده شده میانگین و واریانس کل زمان سفر در گزینه‌های مختلف تقاضا و برای حل مسئله فوق از الگوریتم‌های ژنتیک و دسته مورچگان استفاده شده است. به منظور ارزیابی مدل پیشنهادی از دو مطالعه موردی روی یک شبکه متوسط استفاده شده است. در مطالعه موردی اول، الگوی تقاضا در گزینه‌های فرضی اختلاف قابل توجهی داشته و در نتیجه، واریانس کل زمان سفر نسبت به میانگین آن، اثر مهمی در طرح نهایی خواهد داشت. در مطالعه موردی دوم، گزینه‌های تقاضا اختلاف بسیار اندکی داشته و اثر وزن داده شده به میانگین و واریانس در طراحی نمود بیشتری دارد. در هر دو حالت، نتیجه طراحی در شرایط عدم قطعیت با نتیجه طراحی مستقل گزینه‌ها متفاوت بوده و بر لزوم استفاده از روش‌های مبتنی بر بهینه‌سازی در شرایط عدم قطعیت در حل مسایل مشابه تأکید شده است. همچنین در مقایسه الگوریتم‌های ژنتیک و دسته مورچگان به ازای وزن‌های مختلف در تابع هدف، الگوریتم دسته مورچگان در زمان محاسباتی کمتر، پاسخ بهتری را به‌دست داده است.

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

۱- مقدمه

عدم قطعیت در سیستم‌های حمل و نقل، یکی از مهم‌ترین مسایل برنامه‌ریزان و تصمیم‌گیران در برنامه‌ریزی‌های کوتاه و به ویژه بلندمدت است.

افق برنامه‌ریزی‌های شهری معمولاً ۲۰ سال است و برآورد متغیرهای اقتصادی- اجتماعی و ایجاد مدل‌های پیش‌بینی منجر به وجود عدم قطعیت در مقادیر نهایی تولید سفرهاست. همچنین این برآوردها بر اساس مشاهدات به‌دست آمده از سال پایه بوده و خود، دارای عدم قطعیت در نمونه‌گیری است. رشد جمعیت، مهاجرت‌پذیری، اشتغال، کاربری زمین، مالکیت خودرو از جمله متغیرهایی هستند که پیش‌بینی آنها به دلایلی مانند وابستگی به سیاست‌گزاری‌ها، بسیار مشکل بوده و عملاً به‌صورت دقیق امکان‌پذیر نیست.

* نویسنده مسئول

www.SID.ir

Archive of SID

در این مقاله، ابتدا اثر تغییرپذیری تقاضا بر پاسخ مسئله طراحی شبکه حمل و نقل مورد بررسی قرار گرفته است. تقاضای متغیر در این مقاله، به‌صورت گزینه‌های مختلف تقاضا در نظر گرفته شده و این مسئلهٔ بهینه‌سازی، با استفاده از بهینه‌سازی استوار (RO)[1] مدل شده است.

این روش، یکی از روش‌های نوین حل مسایل برنامه‌ریزی در شرایط عدم قطعیت است که کنترل سطح عدم قطعیت وارد شده به مسئله (سطح احتیاط) را در نظر می‌گیرد. به صورت کلی می‌توان گفت سه روش عمده برای بهینه‌سازی در شرایط عدم قطعیت وجود دارد: بهینه‌سازی مبتنی بر قابلیت اطمینان[2]، بهینه‌سازی بر اساس طراحی استوار[3] و بهنگام‌سازی مدل‌ها[4] (Schueller, Jensen, 2008).

مجموعه روش‌های بهینه‌سازی مبتنی بر قابلیت اطمینان بر این اساس هستند که اثر عدم قطعیت‌ها به‌صورت میانگین احتمال شکست و یا مانند آن در نظر گرفته و از تابع چگالی احتمال برای بیان کمی آنها استفاده می‌کنند. مجموعه دوم به روش‌هایی گفته می‌شود که نتایج آنها در برابر تغییرات پارامترهای ورودی قابل قبول بوده و در ادامه بیشتر تشریح می‌شوند.

هدف، به‌کارگیری روش‌های مجموعه سوم نیز کاهش اختلاف موجود بین مدل و داده‌های واقعی است (Schueller and Jensen, 2008). برنامه‌ریزی احتمالاتی(SP)[5] نیز هدفی مشابه RO را دنبال می‌کند و تفاوت عمده آنها در کاربرد آنهاست. SP میانگین تابع هدف را در شرایط عدم قطعیت بهینه می‌نماید، در حالی که RO ممان‌های بالاتری را برای این منظور در نظر می‌گیرد. آنالیز حساسیت (SA)[6] نیز صرفاً یک روش پس بهینگی[7] است که تغییرات اندک داده های ورودی در پاسخ طراحی را بررسی می‌کند (Ukkusuri, 2005).

در بخش بعد، مروری بر مطالعات انجام شده در زمینه ارزیابی اثر تقاضای متغیر، طراحی شبکه و همچنین بهینه‌سازی استوار ارایه شده است. در بخش سوم متدولوژی طراحی استوار شبکه حمل و نقل در شرایط تقاضای متغیر ارایه شده است. برای حل مسئله فوق از الگوریتم ژنتیک و دسته مورچگان استفاده شده و عملکرد آنها برای حل این مسئله مورد ارزیابی قرار گرفته است. در بخش چهارم متدولوژی مورد نظر بر یک شبکه در دو وضعیت مختلف گزینه‌های تقاضا پیاده‌سازی شده و در بخش پایانی نتیجه این مقاله ارایه شده است.

۲- مروری بر مطالعات انجام شده

عدم قطعیت در تقاضا نیز یکی از مهم‌ترین منابع وجود عدم قطعیت در شبکه‌های حمل و نقل است. تغییرات ساعتی، روزانه و فصلی که ناشی از الگوی سفر استفاده‌کنندگان از شبکه است، همواره وجود دارد. در برنامه‌ریزی و طراحی شبکه برای آینده، پیچیدگی مسئله افزایش یافته و کاربری زمین و تولید و جذب سفرها قطعی نخواهد بود.

از سوی دیگر مدل ها و ابزارهای پیش‌بینی تقاضای آینده، خود دارای دقت های مختلفی هستند. بر این اساس، در مطالعات مختلف برای ارزیابی اثر تقاضای متغیر در برآوردهای شبکه، از فرضیاتی مانند در نظر گرفتن توزیع های احتمالاتی، بازه‌ها و مجموعه‌های عدم قطعیت استفاده شده است. در این مطالعه از مجموعه عدم قطعیت گزینه مبنا که در آن تعداد گزینه‌های مختلف تقاضا با احتمال وقوع مشخص وجود دارد، برای حل مسئله طراحی شبکه استفاده شده است؛ چراکه در برآورد تقاضای آینده شهرها، به دلیل وجود فرض‌ها و طرح‌های متعدد، گزینه‌های مختلفی برای تقاضا ایجاد خواهد شد و انتخاب ترکیب پروژه‌های بهینه و حل مسئله طراحی را با توجه به محدودیت بودجه، دشوار خواهد ساخت.

مسئله طراحی شبکه‌های حمل و نقل، یک مسئله دو سطحی است که مسئله سطح بالای آن، حداقل‌سازی تابع هدف طراحی در شرایط محدودیت بودجه و سطح پایین آن، تخصیص تعادلی است. تابع هدف طراحی توسط برنامه‌ریز سیستم تعیین می‌شود که می‌تواند شاخصی از تراکم، قابلیت اطمینان، آلودگی و غیره باشد (Yang, Bell, 1998) و در اغلب مطالعات از کل زمان سفر استفاده می‌شود. برای انجام تخصیص تعادلی نیز می‌توان از الگوریتم فرانک ولف استفاده کرد (LeBlanc, 1975). این مسئله غیرخطی و غیر محدب بوده و حل آن با استفاده از روش‌های یافتن نقطه بهینه معمول دشوار است (Ukkusuri, 2005). یکی

www.SID.ir

Archive of SID

از اولین روش‌ها برای حل آن، روش شاخه و کران[8] است که توسط لبلانک[9] در سال ۱۹۷۵ برای حل یک مدل برنامه‌ریزی غیر خطی ترکیبی عدد صحیح، برای طراحی شبکه ارایه شده است. بر این اساس، روش های فراابتکاری[10] که زمان حل مناسب و دقت کافی برای یافتن بهینه محلی دارند، برای حل مسئله طراحی شبکه به‌کار گرفته شده‌اند. جستجوی ممنوعه[11]، الگوریتم ژنتیک[12]، شبیه‌سازی تبرد[13] و الگوریتم دسته مورچگان[14] برای حل مسئله فوق توسط مگنتی[15] و وانگ[16] در سال ۱۹۸٤، سونگ[17] و اشنایدر[18] در سال ۱۹۹۵، سولانکی[19] و همکاران در سال ۱۹۹۸ و پورزاهدی و ابوالقاسمی در سال ۲۰۰۵ برای حل مسئله طراحی شبکه پیاده‌سازی شده است. پورزاهدی و روحانی در سال ۲۰۰۷ نیز الگوریتم دسته مورچگان را به‌صورت ترکیبی[20] با الگوریتم‌های ژنتیک، شبیه‌سازی تبرد و جستجوی ممنوعه را برای حل مسئله طراحی شبکه پیاده‌سازی کرده و مؤثر بودن اعمال ترکیب را برای حل مسئله فوق تأیید نمودند (Poorzahedy and Rouhani, 2007).

به طور کلی، عمده مطالعات انجام شده در زمینه عدم قطعیت در شبکه‌های حمل و نقل، در چارچوب ارزیابی قابلیت اطمینان انجام شده است. ال دیک[21] و همکاران در سال ۲۰۰٦، آنالیز قابلیت اطمینان شبکه را به‌صورت اندازه‌گیری قابلیت شبکه در انجام نقش‌های استاندارد یا حدود مجاز آن (که توسط کاربر مشخص شده) تعریف می‌کنند که به دلایل بازگشت‌پذیر یا بازگشت‌ناپذیر بسته به شدت و تناوب آن دچار تغییر می‌شود (Al-deek, Emam, 2006). در مطالعات مختلف، با در نظر گرفتن فرض‌هایی در زمینه تغییرات مورد نظر بر عرضه و یا تقاضا، شاخص‌های ارزیابی قابلیت اطمینان شبکه برآورد می‌شود. این شاخص‌ها که نشان‌دهنده کیفیت شبکه در شرایط وقوع عدم قطعیت‌ها هستند، می‌توانند در مسایل مختلف از جمله مسئله طراحی شبکه مورد استفاده قرار گیرند (Chen et al., 2002) (Bell, Cassir, 2000) و (Lo, Tung, 2003).

روش حل رایج برای در نظر گرفتن اثر تقاضای متغیر، استفاده از شبیه‌سازی (مشابه مطالعات انجام شده توسط آساکورا[22] و همکاران در سال ۱۹۹۱ و چن[23] و همکاران در سال ۲۰۰۲) است. همچنین در مطالعاتی مانند واتلینگ[24] و همکاران (انجام شده در سال ۲۰۰۵) و لو[25] و همکاران (انجام شده در سال ۲۰۰۸)، اثر تغییرات تقاضا با استفاده از روشی تحلیلی و با تعیین تابع چگالی، احتمال کل زمان سفر مدل‌سازی شده است. به عنوان مثال واتلینگ و همکاران در سال ۲۰۰۵، از فرض توزیع پواسن و اکسوری[26] در سال ۲۰۰۵، از فرض توزیع نرمال برای تقاضا استفاده نمودند. لو و همکاران در سال ۲۰۰۸، فرض کردند که کل تقاضای سفر شامل دو بخش مسافران دائمی و غیردائمی است. تقاضای مسافران غیردائمی به‌صورت احتمالاتی و بر اساس نسبت انتخاب مسیر ثابت بر شبکه وارد می‌شود. در حالی که تقاضای مسافران دائمی به‌صورت قطعی بوده و انتخاب مسیر آنها در شبکه، به‌طور تعادلی و بر اساس شناخت آنها از شبکه صورت می‌گیرد. چن و همکاران نیز در سال ۲۰۰۸ دو شاخص قابلیت اطمینان کاهش تقاضا[27] و قابلیت اطمینان پاسخ‌گویی به تقاضا[28] را از مطالعات (Du, Nicholson, 1997) و (Heydecker, Lam and Zhang, 2008) به عنوان شاخص‌های قابلیت اطمینان مرتبط با تقاضا معرفی کرده است. شاخص اول نشان‌دهنده احتمال آن است که شبکه بتواند نسبتی از تقاضا را در سطح سرویس مشخص تحمل کند. شاخص دوم نشان‌دهنده احتمال آن است که نرخ کاهش جریان به دلیل تخریب شبکه، کمتر از مقدار غیر قابل تحمل در شبکه کاهش یافته باشد. بخش دیگری از مطالعات تقاضای متغیر نیز در چارچوب بهینه‌سازی استوار(RO) انجام گرفته که در بخش بعد به آن اشاره شده است.

۲-۱- بهینه‌سازی استوار

فرآیند یافتن متغیرهای مناسب برای طراحی، معمولاً بهینه‌سازی نامیده می‌شود. این مقدار بهینه در اثر تغییرات اندک در مقادیر ورودی مسئله، دچار تغییر می‌شود. بنابراین، ارایه روشی برای طراحی که در شرایط وقوع تغییرات نیز قابل قبول باشد، بسیار مفید است. در نتیجه دست‌یابی به سطح بالاتری از استواری، هدف بهتری برای طراحی است. مارژیک[29] در سال ۲۰۰۰ عبارت زیر را بیان کرده است: "در واقع بهینه‌سازی بر خلاف استوارسازی است". به عبارت دیگر یافتن پاسخ بهینه و همچنین پاسخ استوار، به‌صورت همزمان هدف طراحی هستند. به فرآیندی

www.SID.ir

Archive of SID

که در آن این پاسخ‌ها تعیین می‌شود، طراحی استوار بهینه گویند. هدف اصلی این نوع بهینه‌سازی آن است که عملکرد سیستم و پاسخ آن در شرایط عدم قطعیت نسبتاً قابل قبول باقی بماند (Beyer, Sendhoff, 2007).

به منظور تشریح مفهوم استواری، ین[۳۰] و همکاران در سال ۲۰۰۹ مثالی را به صورت زیر مطرح نمودند. فرض کنید شبکه‌ای دارای دو سطح بالا و پایین تقاضا باشد که احتمال وقوع هر یک از آنها ۵۰ درصد است. دو طرح بهبود A و B برای این شبکه پیشنهاد شده است که در طرح A، کل زمان سفر در شرایط تقاضای سطح بالا ۹۰ و در شرایط تقاضای سطح پایین ۴۰ است. در طرح B نیز این مقدار برای تقاضای سطح بالا ۸۰ و تقاضای سطح پائین ۵۰ است. با اینکه هر دوی این برنامه‌ها دارای متوسط زمان سفر ٦٥ هستند، طرح B استوارتر بوده و مناسب‌تر است؛ چراکه سیستم در آن دارای عملکرد مقاوم‌تر و یکنواخت‌تری است. به عبارت دیگر، عملکرد بدترین وضعیت آن، قابل قبول‌تر است. روش‌های طراحی استوار در سایر زمینه ها مانند مهندسی مکانیک و مهندسی سیستم‌ها نیز به طور وسیعی در حال استفاده است (Zang, Friswell, and Mottershead, 2005) و (Park et al., 2006).

به طور کلی دو رویه عمومی در مدل‌سازی مسایل بهینه‌سازی در شرایط عدم قطعیت با استفاده از بهینه‌سازی استوار وجود دارد. اولین بار توسط مولوی[۳۱] و همکاران در سال ۱۹۹۵، با استفاده از مجموع وزن داده شده میانگین و واریانس تابع هدف، مدلی برای بهینه سازی استوار پیشنهاد کردند که ترکیب فرمول‌بندی برنامه‌ریزی آرمانی[۳۲] و بیان گزینه مبنای متغیرهای مسئله است. این روش، مجموعه‌ای از پاسخ‌ها را تولید می‌کند که نسبت به هر وقوع[۳۳] از مجموعه گزینه‌ها، حساسیت کمتری دارد. در واقع هدف این مدل یافتن پاسخ نزدیک به بهینه برای وقوع تمام گزینه‌ها است. این روش نتایج متفاوتی با روش‌های قطعی طراحی شبکه به‌دست می‌دهد. زیرا در این روش علاوه بر امید ریاضی تابع هدف، واریانس تابع هدف نیز محاسبه شده است. در روش‌های قدیمی (که در چارچوب برنامه‌ریزی احتمالاتی(SP) شناخته می‌شوند) امید ریاضی تابع هدف بهینه می‌شود، در حالی که اطلاعاتی از ممان‌های بعدی آن در دسترس نیست. به طور کلی می‌توان گفت مدل‌های SP عدم قطعیت‌ها را با کمینه کردن امید ریاضی تابع هدف، کمینه می‌نمایند. در حالی که در RO به ممان‌های بالاتر تابع توزیع نیز توجه می‌شود. در صورتی که وزن میانگین در تابع هدف مسئله، مساوی یک در نظر گرفته شود، این مدل به یک مدل SP تبدیل خواهد شد (Mulvey, Vanderbei, 1995).

شیوه دوم یافتن بدترین پاسخ برای مسئله بهینه‌سازی، با حفظ سطح عدم قطعیت وارد شده در آن است. عدم قطعیت در متغیرهای ورودی یک مسئله طراحی، یافتن طرحی را که در اثر وقوع بدترین حالات عدم قطعیت‌ها نیز دچار شکست نشود، برای بسیاری از تصمیم‌گیران ضروری می‌سازد. بدیهی است که در بسیاری از موارد یافتن جواب متناظر با بدترین حالت، جواب بهینه اقتصادی نخواهد بود. اولین بار سویستر در سال ۱۹۷۳ مدل بهینه‌سازی خطی را به منظور یافتن پاسخی امکان‌پذیر برای تمام داده‌ها در شرایط عدم قطعیت، ارایه داد که صرفاً تابع هدف را برای بدترین وضعیت عدم قطعیت‌ها بهینه می‌کند (Soyster, 1973) . مدل مورد نظر در بالاترین سطح محافظه‌کاری بوده و سطح عدم قطعیت مورد نظر را کنترل نمی‌کند. سپس جهش چشم‌گیری در این زمینه توسط بن تال و نمیروسکی در سال ۱۹۹۹ اتفاق افتاد و مدلی برای در نظر گرفتن عدم قطعیت بیضوی ارایه شد. ایشان با انجام فرض‌هایی در زمینه مجموعه عدم قطعیت، مسئله بهینه‌سازی در شرایط عدم قطعیت را به یک مسئله قطعی به نام مسئله استوار متقابل[۳٤] تبدیل کردند (Ben-Tal, Nemirovski, 1999). مدل ارایه شده توسط ایشان قابلیت حل دقیق (و یا تقریبی با حل آسان و مؤثر) برای برخی مسایل بهینه‌سازی را دارد ولی دشواری محاسباتی مسئله را افزایش می‌دهد. به عنوان مثال مسئله استوار متقابل یک مسئله برنامه‌ریزی خطی، تبدیل به مسئله بهینه‌سازی مخروط درجه دو می‌شود.

یکی دیگر از مطالعات مؤثر انجام شده در این زمینه، مربوط به سیم[۳۵] در سال ۲۰۰٤ است که مدلی خطی بدون ایجاد تغییر اساسی در نوع مسئله ارایه کرد که با کنترل سطح عدم قطعیت و قابلیت استفاده برای مسایل گسسته، مسئله استوار متقابل را ایجاد می‌کند و سهولت محاسباتی کافی را نیز در بردارد

www.SID.ir

Archive of SID

(Sim, 2004). به طور کلی مسئله بهینه‌سازی استوار در حال حاضر نیز برای حل مسایل خطی، غیر خطی شناخته شده و یا غیر خطی عمومی، با اعمال فرض‌های متفاوت در زمینه عدم قطعیت (مانند گزینه مبنا، بیضوی، چند وجهی و غیره) برای متغیرهای تابع هدف و همچنین متغیرهای موجود در محدودیت‌های مسئله در حال مطالعه بوده و در زمینه‌های مختلف بهینه‌سازی مهندسی در حال توسعه است. در ادامه، مطالعات انجام شده در زمینه استفاده از بهینه‌سازی استوار در شبکه‌های حمل و نقل ارایه شده است.

اکسوری و همکاران در سال ۲۰۰۷ مسئله طراحی شبکه را به صورت بهینه‌سازی مجموع وزن داده شده میانگین و واریانس تابع هدف، در شرایط وجود گزینه‌های مختلف تقاضا مدل نموده و در حل آن از الگوریتم ژنتیک استفاده شده است. نتایج مطالعه ایشان نشان داد که طراحی شبکه در چنین شرایطی با طراحی قطعی تفاوت قابل ملاحظه‌ای دارد (Ukkusuri, 2007).

ین و لافن‌پنیچ[۳۶] در سال ۲۰۰۷ با فرض عدم قطعیت بیضوی برای مدل‌سازی نوسانات تقاضای روزانه به منظور طراحی شبکه پیوسته، از روشی مبتنی بر شبیه‌سازی به نام الگوریتم تولید تقاضا[۳۷] استفاده کرده است. این الگوریتم در هر گام مسئله یافتن بدترین تقاضا و همچنین طراحی شبکه را تا رسیدن به همگرایی انجام می‌دهد (Yin, Lawphongpanich, 2007).

ین و همکاران (۲) در سال ۲۰۰۹ با فرض وقوع سناریوهای مختلف تقاضا که نسبت به یکدیگر اولویتی ندارند، مسئله طراحی شبکه گسسته را نیز با استفاده الگوریتم تولید تقاضا حل نموده‌اند (Yin, Lou, Lawphongpanich, 2009).

ین و همکاران (۱) در سال ۲۰۰۹ برای حل مسئله بهبود شبکه در شرایط تقاضای متغیر با استفاده از تخصیص تعادلی احتمالاتی سه روش بهینه‌سازی آنالیز حساسیت، گزینه مبنا و مدل حداکثر- حداقل را ارایه نمودند. روش اول برای استفاده در شرایط وجود تغییرات تقاضای اندک مانند تغییرات روزانه مناسب است. روش دوم برای برنامه‌ریزی بر اساس گزینه‌های مختلف با احتمال وقوع معلوم و روش آخر برای طراحی برای بدترین حالت مناسب است (Yin, Madanat, Lu, 2009). اغلب فرض‌های در نظر گرفته شده برای اعمال اثر تقاضای متغیر نوعی ساده‌سازی مسئله بوده و یا برای پیاده‌سازی در مسایل واقعی مناسب نیستند. همچنین انجام مطالعات روی شبکه‌های واقعی، پیشینه قابل توجهی نداشته و هم اکنون زمینه تحقیقاتی مهمی برای پیاده‌سازی روش‌های بهینه‌سازی استوار در بهینه‌سازی سیستم‌های حمل و نقل در شرایط عدم قطعیت وجود دارد. به طور کلی می‌توان گفت تا کنون مطالعات اندکی در زمینه طراحی شبکه‌های حمل و نقل در شرایط تقاضای متغیر انجام شده و بسته به فرضیات در نظر گرفته شده برای مجموعه عدم قطعیت تقاضا، نحوه مدل‌سازی و شیوه حل، قابل دسته‌بندی هستند. با توجه به ساده‌سازی‌های انجام شده در مطالعات پیشین در زمینه ارایه مدل و حل مسئله طراحی شبکه در شرایط تقاضای متغیر (مانند فرض عدم قطعیت تقاضا و یا در نظر نگرفتن رفتار تعادلی کاربران شبکه)، در این مقاله مسئله طراحی شبکه با در نظر گرفتن رفتار تعادلی کاربران در شرایط وجود گزینه‌های مختلف تقاضا، مدل‌سازی شده است. این مسئله با استفاده از الگوریتم‌های ژنتیک و دسته مورچگان حل شده و قابلیت ارزیابی نتایج طراحی بر اساس هر یک از گزینه‌های تقاضا، میانگین و مجموع وزن داده شده آنها فراهم شده است. الگوریتم ژنتیک در حل مسایل مختلفی از جمله مسیریابی و مکان‌یابی در داخل کشور استفاده شده (مانند مطالعات انجام شده توسط افندی‌زاده و همکاران در سال ۱۳۹۰ و رحمانی و سعیدیان در سال ۱۳۸۸) و برای حل مسئله‌ای دو سطحی با تابع هدف مشابه این مقاله توسط اکسوری و همکاران در سال ۲۰۰۵ پیاده‌سازی شده است. استفاده از الگوریتم دسته مورچگان برای حل مسئله فوق برای اولین بار بوده و روشی مناسب برای پیاده‌سازی آن ارایه شده است.

۳- ارایه مدل

در این مقاله، مسئله طراحی شبکه استوار در شرایط تقاضای متغیر (گزینه‌های مختلف با احتمال وقوع مشخص) به صورت زیر مدل شده است. این مدل یک مسئله دو سطحی با تابع هدف مشخص و محدودیت بودجه در مسئله سطح بالا) و تخصیص استاتیکی در مسئله سطح پایین) است و برای طراحی شبکه گسسته اعمال شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود تابع هدف مسئله سطح بالا به‌صورت مجموع وزن داده شده (با وزن ρ) میانگین (E)

www.SID.ir

Archive of SID

و واریانس (Var) کل زمان سفر در گزینه‌های مختلف تقاضا است. بخش اول نشان‌دهنده تمایل مرکزی و بخش دوم پراکندگی مجموع زمان سفر در شرایط وقوع گزینه‌های مختلف را نشان می‌دهد و مقدار انتظاری آنها به‌دست می‌آید. با توجه به اینکه این گزینه‌ها ($s \in S$)، دارای احتمال وقوع مشخص (γ^s) هستند، این احتمال نیز در مجموع زمان سفر ضرب شده است.

$$\underset{y_a}{Min} \quad \begin{aligned} W &= \rho \underset{s\in S}{E}\left[\gamma^s \sum_{a\in A\cup A_y} x_a^{*s} t_a^s\left(x_a^{*s}\right)\right] \\ &+ (1-\rho)\, \underset{s\in S}{Var}\left[\gamma^s \sum_{a\in A\cup A_y} x_a^{*s} t_a^s\left(x_a^{*s}\right)\right] \end{aligned}$$

(۱) مسئله سطح بالا

$$S.t.$$

$$\sum_{a\in A_y} y_a C_a \le Budget$$

$$y_{a\in A_y} = 0 \quad Or \quad 1$$

$$\underset{x_a}{Min} \quad Z = \sum_{a\in A\cup A_{y^*}} \int_0^{x_a} t_a(x_a)dx$$

(۲) مسئله سطح پایین

$$S.t.$$

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

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

که در آن P^{rs} مجموعه مسیرهای موجود بین زوج مبدأ – مقصد rs، Z تابع رفتار تعادل کاربر و W تابع هدف مسئله طراحی شبکه در شرایط تقاضای متغیر است. t_a زمان سفر کمان $a \in A$ است؛ در شرایطی که جریان x_a از آن عبور می‌کند و بر اساس رابطه BPR محاسبه می‌شود. f_p^{rs} جریان روی مسیر $p \in P^{rs}$ بین مبدأ و مقصد rs و $\delta_a^{rs} = 1$ در صورتی که مسیر P از کمان a استفاده کند و در غیر این‌صورت $\delta_a^{rs} = 0$ است. A مجموعه کمان‌های موجود در شبکه و A_y مجموعه کمان‌های پیشنهادی برای احداث با هزینه C_a است که مجموع هزینه ترکیب پروژه‌های انتخاب شده باید از مقدار بودجه ($Budget$) کمتر باشد. $y_{a\in A_y}$ متغیری دوتایی است که در صورت انتخاب هر پروژه مقدار آن مساوی یک و در غیر این‌صورت مساوی صفر است. روش حل این مسئله در زیر تشریح شده است.

ابتدا یک ترکیب پروژه اولیه (A_{y^*} به صورتی که $y_{a\in A_{y^*}} = 1$) با توجه به محدودیت بودجه به‌صورت تصادفی از میان مجموعه پروژه‌ها (A_y) انتخاب شده و در واقع به شبکه پایه اضافه می‌شود. با افزایش کمان‌های جدید به شبکه، مسئله تخصیص (سطح پایین) به ازای هر یک از گزینه‌های تقاضا، حل شده و جریان بهینه روی کمان‌های شبکه (x_a^{*s}) و زمان سفر متناظر آن ($t_a^s(x_a^{*s})$) محاسبه می‌شود. مقادیر جدید زمان و جریان هر کمان به ازای هر گزینه تقاضا به تابع هدف طراحی (مسئله سطح بالا) منتقل شده و بر اساس مجموع وزن داده شده مورد نظر، ترکیب پروژه جدید (A_{y^*}) با توجه به محدودیت بودجه با استفاده از عملگرهای الگوریتم‌های فراابتکاری از میان مجموعه پروژه‌ها (A_y) انتخاب می‌شود. این روند تا دست‌یابی به مقدار بهینه تابع هدف مسئله سطح بالا ادامه می‌یابد.

همان‌طور که گفته شد، قابلیت الگوریتم ژنتیک و دسته مورچگان در حل این مسئله نیز ارزیابی شده است. استفاده از الگوریتم ژنتیک برای حل مسئله‌ای مشابه، توسط اکسوری و همکاران (انجام شده در سال ۲۰۰۷) انجام شده و به‌کارگیری الگوریتم دسته مورچگان در حل این مسئله برای اولین بار در این مطالعه در حال ارزیابی است. با توجه به تشریح عملگرهای مختلف این الگوریتم‌ها در مطالعات مختلف، در این مقاله صرفاً کلیات پیاده‌سازی آنها معرفی شده است.

۳-۱- حل با استفاده از الگوریتم ژنتیک

روند پیاده‌سازی الگوریتم ژنتیک برای حل مسئله طراحی شبکه در شرایط تقاضای متغیر در شکل ۱ نمایش داده شده است. در این الگوریتم ابتدا یک پاسخ اولیه (تعیین ترکیب پروژه‌های اولیه برای احداث با توجه به محدودیت بودجه) برای مسئله فوق در نظر گرفته می‌شود. سپس تابع هدف معادله (۲) (تخصیص تعادلی) برای هر یک از گزینه‌های تقاضا به‌صورت جداگانه محاسبه شده و تابع برازش (تابع هدف معادله (۱) (مجموع وزن داده شده میانگین و واریانس کل زمان سفر)) بر اساس شبکه افزایش ظرفیت یافته تعیین می‌شود. با به‌دست آمدن این جواب، عملگرهای ژنتیک (ترکیب[۳۸]، جهش[۳۹]، گزینش[۴۰]) بر پاسخ قبلی اعمال شده و ترکیب پروژه‌های جدید تعیین می‌شود. بر اساس شبکه جدید، تابع هدف معادله (۲) برای هر یک از گزینه‌ها به صورت جداگانه و تابع برازش بر اساس شبکه جدید محاسبه شده و این روند تا همگرایی مقدار تابع برازش ادامه می‌یابد.

www.SID.ir

Archive of SID

۳-۲- حل با استفاده از الگوریتم دسته مورچگان

روند عمومی پیاده‌سازی الگوریتم دسته مورچگان در حل مسایل بهینه‌سازی به‌صورت زیر است. ابتدا تعدادی مورچه[41] در لانه[42] (پاسخ اولیه) قرار گرفته و روانه یافتن غذا (پاسخ بهینه) می‌گردند. هر مورچه شروع به پیمودن مسیری برای یافتن غذا کرده و ماده‌ای به نام فرومن[43] را در مسیری که پیموده‌اند از خود بر جای می‌گذارند. مورچه‌ها بر اساس دیدپذیری[44] از محل غذا و مقدار فرومن موجود روی هر مسیر (از عبور سایر مورچه‌ها)، به طریق احتمالی مسیر خود را انتخاب کرده و به محل غذا دست می‌یابند. مسیر پیموده شده توسط هر مورچه ذخیره می‌شود. بر این اساس، مسیرهایی که بیشترین مقدار فرومن در آنها وجود داشته، مسیرهایی هستند که تعداد بیشتری مورچه از آن عبور کرده و احتمالاً نزدیک‌ترین راه‌ها برای دست‌یابی به غذا هستند. با اعزام مورچه‌های جدید آنها نیز بر اساس دیدپذیری و مقدار فرومن موجود روی هر مسیر (که بخشی از آن از روی مسیر تبخیر شده[45]) مسیرهایی را برای دست یابی به غذا پیدا می‌کنند. در نهایت با چند بار اعزام مورچه ها، بهترین مسیر برای یافتن غذا مشخص می‌شود.

این الگوریتم برای حل مسئله طراحی قطعی شبکه گسسته در مطالعات مختلفی مورد استفاده قرار گرفته که کلیات پیاده‌سازی آن از مطالعه پورزاهدی و ابوالقاسمی (۲۰۰۵) در زیر آورده شده است. مسئله طراحی قطعی شبکه گسسته مشابه مسئله ارایه شده در این بخش است، با این تفاوت که تابع هدف مسئله بالا دست در شرایط تقاضای قطعی، مقدار کل زمان سفر است.

گام ۰. حل مسئله تخصیص تعادلی برای شبکه موجود و تعیین مقدار اولیه برای تابع هدف مسئله طراحی (کل زمان سفر)، انتخاب مقدار اولیه برای فرمون روی هر پروژه و تعیین میزان دیدپذیری بر اساس مجموع وزن داده شده (بر اساس تقاضا) زمان سفر کاهش یافته برای تمام مبادی و مقاصد به‌ازای هر پروژه.

گام ۱. انتخاب هر یک از پروژه‌ها به عنوان لانه هر یک از مورچه‌ها.

گام ۲. انتخاب پروژه‌های امکان‌پذیر به‌صورت احتمالی (بر اساس مقدار فرمون و میزان دیدپذیری هر پروژه) برای هر مورچه با توجه به محدودیت بودجه.

گام ۳. ارزیابی مزیت پروژه های انتخاب شده توسط هر مورچه (با محاسبه مقدار جدید تابع هدف مسئله طراحی بر اساس شبکه جدید) و تعیین مقدار فرمون افزایش یافته برای هر پروژه (بر اساس مجموع وزن داده شده میزان بهبود تابع هدف مسئله طراحی و هزینه هر پروژه).

گام ٤. بهنگام نمودن مقدار فرمون هر پروژه با استفاده از مقادیر افزایش فرمون به‌دست آمده از گام ۳ و اعمال تبخیر بر فرمون باقی‌مانده برای هر پروژه.

گام ۵. کنترل همگرایی، در صورتی که تعداد دفعات اعمال مراحل ۲ تا ٤ کمتر از مقدار حداکثر آنها (۸ بار) است و رکود ٤٦ به‌وجود نیامده، بازگشت به گام ۲، در غیر این‌صورت به گام ٦.

گام ٦. جهش، محاسبه متوسط فرمون روی هر کمان و دو برابر کردن فرمون‌های زیر مقدار میانگین برای هر پروژه و ۳ بار انجام مراحل ۱ تا ٦.

گام ۷. ارایه بهترین پروژه بر اساس تابع هدف و پایان.

با توجه به اینکه در فرمول‌بندی ارایه شده در این مقاله برای طراحی شبکه گسسته با تقاضای متغیر، از گزینه‌های مختلف تقاضا با احتمال وقوع مشخص استفاده شده، این تغییرات باید به طریقی بر الگوریتم فوق اعمال شود. روش پیشنهادی شده در این مقاله به‌صورت زیر است.

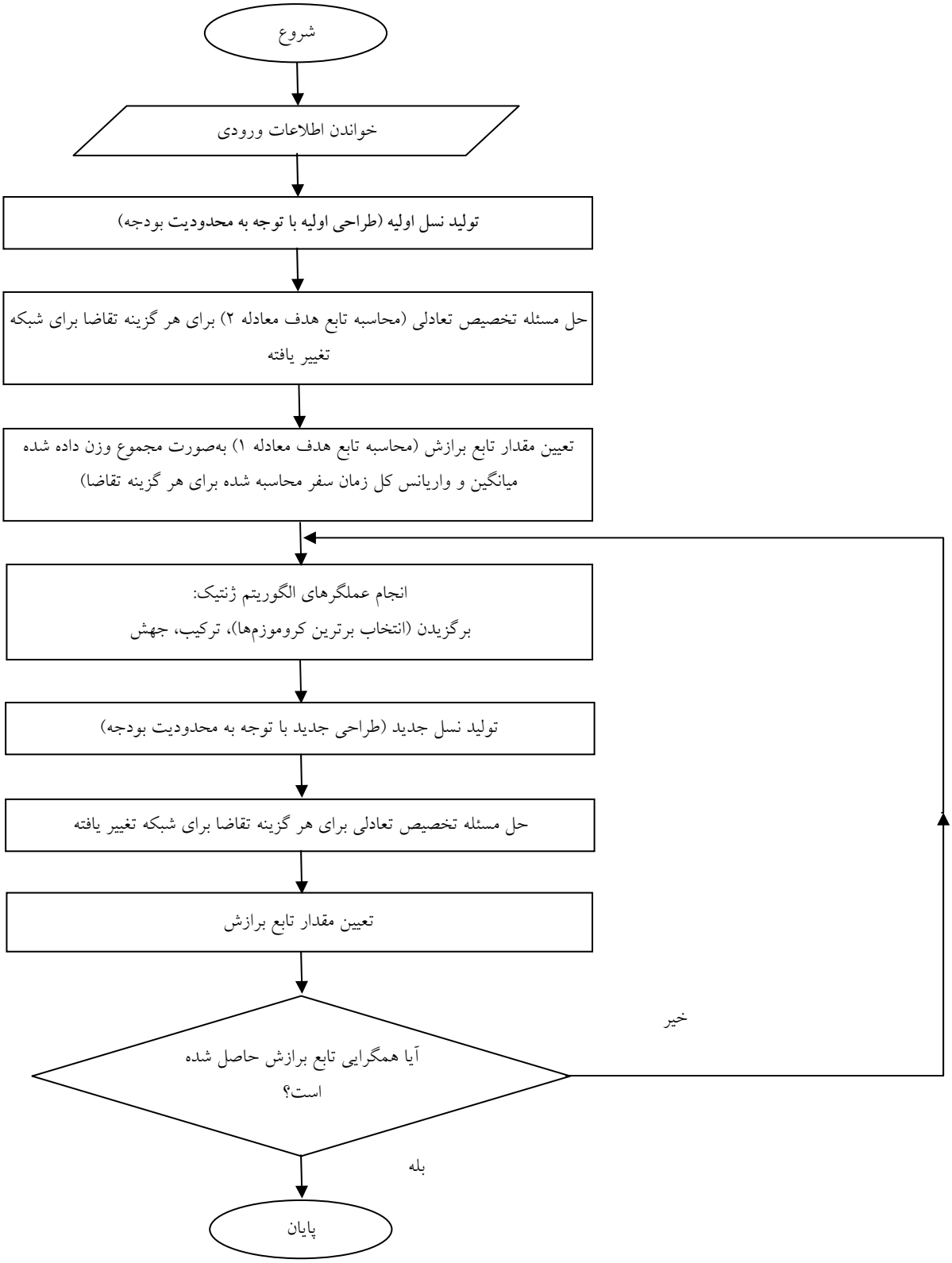
در گام صفر، مقدار اولیه تابع هدف طراحی (کل زمان سفر) به ازای هر یک از گزینه‌های تقاضا ($s \in S$) به‌صورت مجزا محاسبه شده و برای هر گزینه W_0^s نامیده می‌شود. سپس مقدار تابع هدف مسئله Z (معادله ۲) بر اساس مجموعه وزن داده شده میانگین و واریانس W_0^s ها به‌صورت رابطه (۳) محاسبه می‌شود.

$$W_0 = \rho \underset{s\in S}{E}\left[\gamma^s W_0^s\right] + (1-\rho)\underset{s\in S}{Var}\left[\gamma^s W_0^s\right] \qquad (۳)$$

سپس گام‌های این الگوریتم تا گام ۳ ادامه یافته و در این گام نیز مقدار تابع هدف مسئله طراحی (کل زمان سفر) برای هر گزینه تقاضا در شبکه جدید به‌صورت جداگانه محاسبه شده و با W^s نشان داده می‌شود. به‌طور مشابه با جایگزینی مقدار W^s به‌جای W_0^s در معادله (۳)، مقادیر جدید تابع هدف مسئله W (معادله ۱) به‌دست می‌آید. با محاسبه مقدار تابع هدف مسئله بالادست، الگوریتم تا همگرایی مقدار فوق ادامه می‌یابد. گام‌های پیاده‌سازی این الگوریتم در شکل ۲ نمایش داده شده است.

www.SID.ir

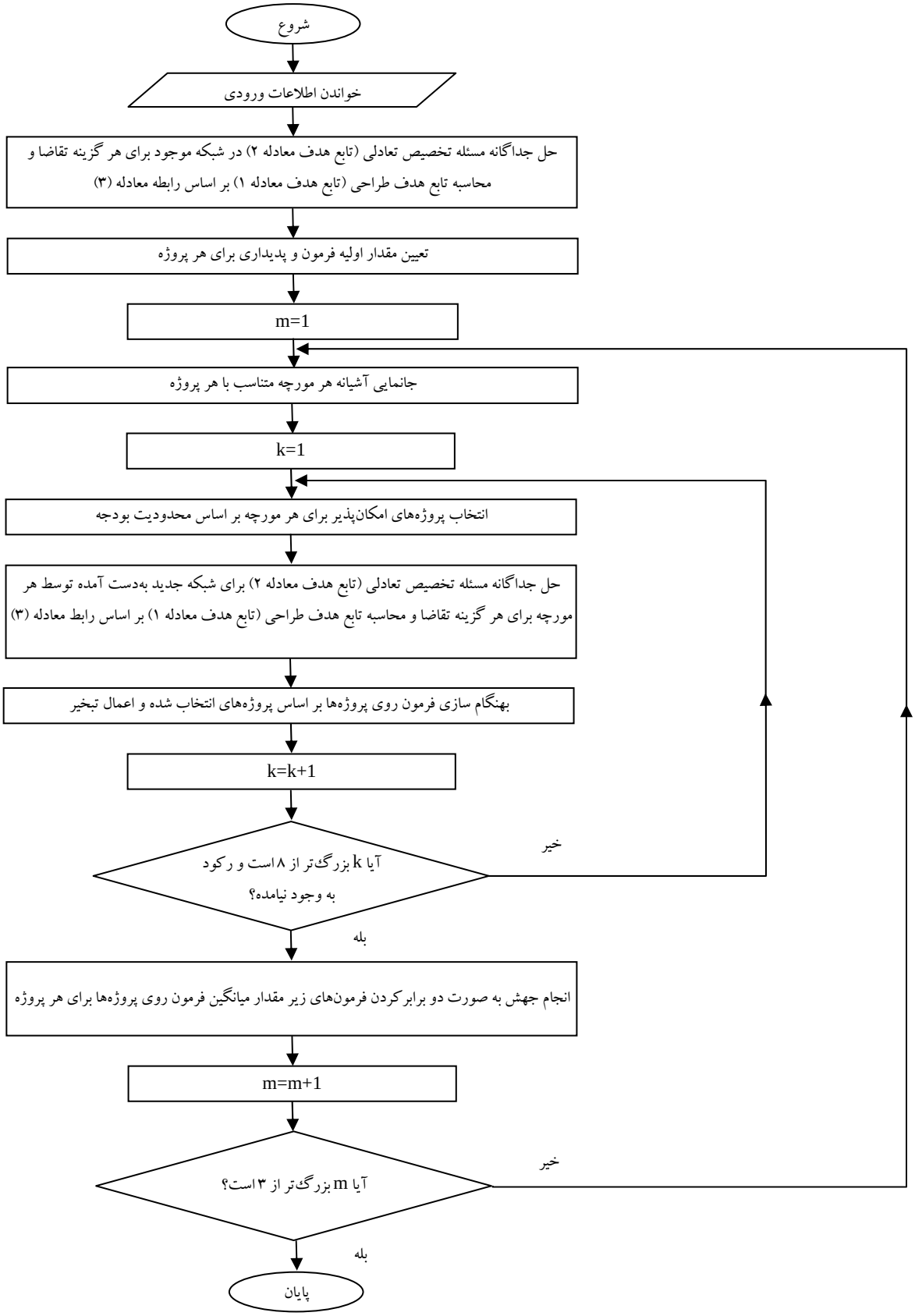
Archive of SID



شکل ۱. روش حل مسئله طراحی شبکه در شرایط تقاضای متغیر با استفاده از الگوریتم ژنتیک

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۲. روش حل مسئله طراحی شبکه در شرایط تقاضای متغیر با استفاده از الگوریتم دسته مورچگان

www.SID.ir

Archive of SID

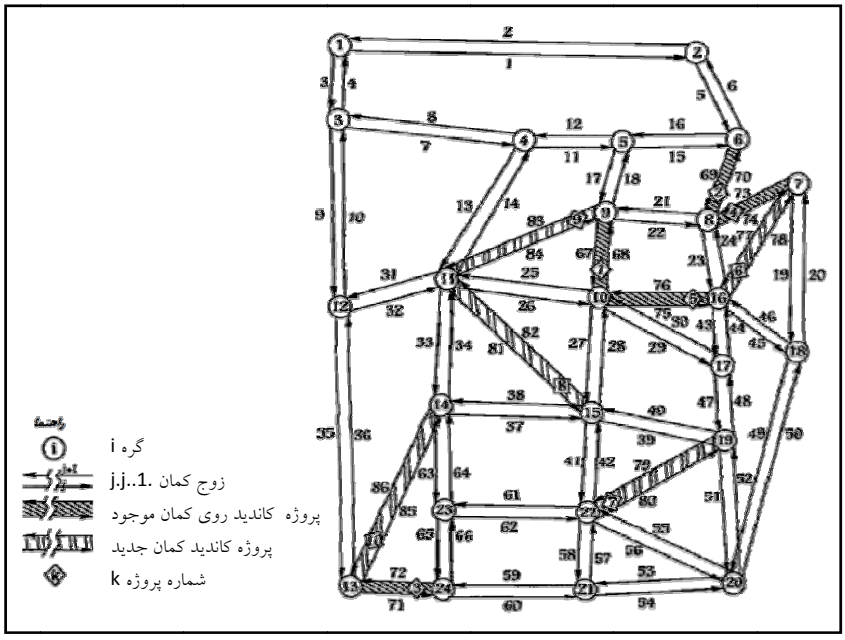
٤- مطالعه موردی

برای انجام طراحی گسسته، از شبکه سایوکس فالز استفاده شده است که دارای ٢٤ گره و ٣٨ کمان دوطرفه و ١٠ پروژه به صورت شکل ٣ 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 (Poorzahedy, Abulghasemi, 2005) است.

همان‌طور که در بخش ١ گفته شد، در این مطالعه طراحی استوار شبکه حمل و نقل در شرایط عدم قطعیت گزینه مبنا با احتمال وقوع مشخص، مورد ارزیابی قرار گرفته است. با توجه به وابستگی تابع هدف طراحی به میانگین و واریانس کل زمان سفر در گزینه های مختلف تقاضا، دو مطالعه موردی مجزا روی شبکه فوق انجام گرفته است. در مطالعه موردی اول، الگوی تولید تقاضا در گزینه‌های مختلف تفاوت چشم‌گیری دارد و در شرایطی که عدم قطعیت فراوانی در توسعه کاربری‌ها در آینده شهر وجود دارد، قابل استفاده است. در مطالعه موردی دوم، الگوی تولید تقاضا در گزینه‌های مختلف اختلاف قابل توجهی داشته و تغییرات تولید سفر در تعداد محدودی از مبدأ- مقصدها اعمال شده است. هدف از ایجاد این دو مطالعه موردی، ارزیابی اثر تغییرات تقاضای تولید شده بر کل زمان سفر شبکه و مقایسه کارایی الگوریتم‌های ژنتیک و دسته مورچگان در حل مسئله طراحی شبکه در شرایط تقاضای متغیر است.

٤-١- گزینه‌های تقاضا با واریانس بالا و احتمال وقوع متفاوت

به منظور ایجاد گزینه‌های مختلف تقاضا با واریانس بالا، تولید سفر هر یک از گره‌ها تغییر یافته و جذب سفر گره‌ها مشابه شبکه پایه سایوکس فالز در نظر گرفته شده است. این تغییر به صورتی انجام شده که مجموع تقاضا در تمام گزینه‌ها مشابه است. در جدول ١، تقاضای سفر تولید شده در هر یک از گزینه‌های مختلف نمایش داده شده است. به عنوان مثال در گزینه ٢، سفرهای تولید شده در گره‌های ٥، ٦، ٨، ٩، ١٠ و ١٦ (که در مجاورت یکدیگر در شکل ٣ قرار دارند) به مراتب بیشتر از سایر گره‌ها است. در سایر گزینه‌ها نیز به صورت مشابه الگوی غالب تولید سفرها به تعدادی از گره‌های همجوار اختصاص یافته است. همچنین گزینه١ تقاضا، همان تقاضای پایه شبکه سایوکس فالز است. با توجه به وجود تغییرات قابل توجه در تقاضای سفرها، فرض در نظر گرفته شده برای احتمال وقوع گزینه‌های مختلف تقاضا نیز تفاوت فراوانی دارد. در واقع احتمال وقوع بیشتر در هر گزینه تقاضا، نشان‌دهنده تمایل تصمیم‌گیران سیستم در مورد نحوه توسعه آینده کاربری‌ها است. در این مطالعه موردی احتمال وقوع گزینه‌های تقاضا به ترتیب ٠/٢٥، ٠/٢٥، ٠/٢، ٠/١٥ و ٠/١٥ فرض شده است.



شکل ٣. شبکه سایوکس فالز

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱. تقاضای تولید شده در هر یک از گره‌ها در گزینه‌های مختلف

شماره گره مبدأ	تقاضای تولید شده				
	گزینه ۱	گزینه ۲	گزینه ۳	گزینه ٤	گزینه ٥
۱	۹٦/۸	٥۰	٥۰	۲۰۰	۱۰۰
۲	٤٤/۰	٥۰	٥۰	۲۰۰	۳۰۰
۳	۳۰/۸	٦٤/٤٤	۱۰۰	۲۰۰	۱۰۰
٤	۱۲۷/٦	۱۰۰	۱۰۰	۲۰۰	۱۰۰
٥	٦۷/۱	٤۰۰	٦٤/٤٤	۲۰۰	۱۰۰
٦	۸۳/٦	٤۰۰	۱۰۰	۲۰۰	۳۰۰
۷	۱۳۳/۱	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
۸	۱۸۳/۷	٤۰۰	۱۰۰	۲۰۰	۳۰۰
۹	۱۷۸/۲	٤۰۰	۱۰۰	۳۰۰	۱۰۰
۱۰	٤۹۷/۲	٤۰۰	۱۰۰	۳۰۰	۱٥۰
۱۱	۲٤٥/۳	۱۰۰	۱۰۰	۳۰۰	۱٥۰
۱۲	۱٥۲/۹	۱۰۰	٥۰	۲۰۰	۱٦٤/٤٤
۱۳	۱٦۰/٦	٥۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
۱٤	۱٥٥/۱	۱۰۰	٤۰۰	۱۰۰	۱۰۰
۱٥	۲۳٤/۳	۱۰۰	٤۰۰	۱۰۰	۱۰۰
۱٦	۲۸۷/۱	٤۰۰	۱۰۰	۲٦٤/٤٤	۳۰۰
۱۷	۲٥۷/٤	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۳۰۰
۱۸	٥۱/۷	۱۰۰	٥۰	۱۰۰	۱۰۰
۱۹	۱٤۰/۸	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۳۰۰
۲۰	۲۰۲/٤	٥۰	۱۰۰	۱۰۰	۳۰۰
۲۱	۱۲۱/۰	۱۰۰	٤۰۰	۱۰۰	۱۰۰
۲۲	۲٦۸/٤	۱۰۰	٤۰۰	۱۰۰	۱۰۰
۲۳	۱٥۹/٥	۱۰۰	٤۰۰	۱۰۰	۱۰۰
۲٤	۸٥/۸	۱۰۰	٤۰۰	۱۰۰	۱۰۰
مجموع	**۳۹٦٤/٤٤**	**۳۹٦٤/٤٤**	**۳۹٦٤/٤٤**	**۳۹٦٤/٤٤**	**۳۹٦٤/٤٤**

مشخصات الگوریتم ژنتیک برای کالیبراسیون حل مسئله طراحی شبکه با تقاضای ثابت در شکل ٤ آورده شده است. تعداد متغیرهای این مسئله (همان تعداد پروژه‌ها) ۱۰ عدد است که با توجه به محدودیت بودجه حداکثر ٥ مورد از آنها قابل انتخاب است. به منظور انجام تحلیل حساسیت الگوریتم، تعداد کروموزوم هر نسل مساوی ٥ و ۱۰ در نظر گرفته شده است. جمعیت اولیه شامل انتخاب حداکثر یکی از پروژه‌ها است. تعداد کروموزوم‌های برگزیده برای نسل بعد دو عدد است و نحوه انتخاب نسل بعد از

www.SID.ir

Archive of SID

روش چرخ رولت، نحوه عملکرد عملگر ترکیب به‌صورت ترکیب دو نقطه‌ای و نحوه عملکرد عملگر جهش به‌صورت تصادفی در نظر گرفته شده است. همچنین برای انجام تحلیل حساسیت، نسبت عملگر ترکیب به جهش مساوی ۰/۱ تا ۰/۹ در نظر گرفته شده است. در شکل ٤ مقدار تابع هدف مسئله طراحی در شرایط تقاضای ثابت (گزینه ۱ از مجموعه تقاضای متغیر) به‌ازای تغییرات تعداد کروموزم‌ها و نسبت ترکیب به جهش نمایش داده شده است. مقدار بهینه تابع هدف با اجرای پروژه‌های ۱، ۲، ۵ و ۸ مساوی ۷۲۳۷۸ است که نسبت به مقدار اولیه تابع هدف بدون احداث هیچ‌یک از پروژه‌ها (مساوی ۱۰۳۰۷۲)، ۲۹ درصد بهبود داشته است. به عبارت دیگر با احداث این پروژه‌ها، کل زمان سفر در شبکه، ۲۹ درصد کاهش خواهد یافت. بر این اساس تعداد کروموزم‌ها مساوی ۵ و نسبت ترکیب به جهش مساوی ۰/۵ در نظر گرفته شده است. لازم به ذکر است این مقادیر برای شبکه و شرایط مطالعه موردی فوق کالیبره شده و قابلیت تعمیم ندارد. در ادامه، مسئله طراحی شبکه برای هر یک از گزینه‌های تقاضا به‌صورت جداگانه با استفاده از الگوریتم‌های ژنتیک و دسته مورچگان حل شده است. تابع هدف مسئله طراحی در شرایط تقاضای ثابت، همان کل زمان سفر در شبکه است. در جدول ۳ نتایج طراحی این ۵ گزینه نمایش داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود برای گزینه‌های ۱ تا ۳ نتایج این دو الگوریتم مشابه بوده ولی برای دو گزینه دیگر درصد بهبود شبکه در حل با استفاده از الگوریتم دسته مورچگان بیشتر است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، پروژه‌های ۲ و ۱۰ بیشترین تواتر انتخاب را در میان پروژه‌های انتخاب شده دارند. نکته دیگر اینکه به علت تفاوت قابل توجه الگوی تقاضا در گزینه‌های مختلف، مقادیر اولیه و بهینه تابع هدف برای گزینه‌های مختلف با یکدیگر تفاوت قابل توجهی دارد. طراحی بر اساس میانگین تقاضا نیز در این جدول نمایش داده شده است.

بر اساس نتایج ارایه شده در این جدول، گزینه ۳ تقاضا، بدترین گزینه از نظر کل زمان سفر تحمیل شده بر کاربران شبکه است. در شرایطی که تصمیم‌گیران سیستم به دنبال یافتن پاسخ طراحی بر اساس بدترین حالت باشند، این گزینه معیار طراحی بوده و نیازی به انجام طراحی در شرایط عدم قطعیت وجود ندارد، اما در صورتی که هدف، یافتن پاسخ بهینه با در نظر گرفتن اثر همه گزینه‌های تقاضا باشد، استفاده از روش طراحی استوار امکان‌پذیر بوده که در ادامه به آن اشاره شده است.

همان‌طور که گفته شد، مسئله طراحی شبکه در شرایط تقاضای متغیر در این مقاله، به‌صورت یک مسئله دو سطحی است که سطح پایین آن مسئله تخصیص بوده و سطح بالایی آن تابع هدف طراحی است که به‌صورت مجموع وزن داده شده میانگین و واریانس کل زمان سفر، ضرب در احتمال وقوع هر گزینه تعریف شده است. وزن‌های مختلف در طراحی نهایی مسئله مؤثر هستند و تعیین آن به عهده تصمیم‌گیر سیستم می‌باشد. با افزایش مقدار وزن مورد نظر، سطح عدم قطعیت وارد شده در مسئله افزایش می یابد. نتایج طراحی برای مسئله مورد نظر به‌ازای مقادیر مختلف وزن مورد نظر (ρ) در جدول ٤ نمایش داده شده است. همچنین در این جدول مقدار نهایی تابع هدف مورد نظر نیز ارایه شده است.

همان‌طور که مشاهده می‌شود با کاهش مقدار ρ تابع هدف به شدت افزایش می‌یابد. دلیل این امر واریانس بالای کل زمان سفر است که از تفاوت چشم‌گیر ماتریس تقاضا در گزینه‌های مختلف ناشی می‌شود. میانگین و واریانس کل زمان سفر ۵ گزینه به‌صورت جداگانه (از جدول ۳) برای شبکه بهینه شده با استفاده از الگوریتم ژنتیک به ترتیب ۵۷/۱E+۰۵ و ۷۰/۸E+۰۹ است. حتی اگر مقدار کل زمان سفر در شبکه بهینه گزینه‌های مختلف نزدیک به یکدیگر بود نیز به دلیل تفاوت احتمال وقوع گزینه‌ها، اختلاف میانگین و واریانس چشم‌گیر می‌شد. نکته دیگر اینکه، ترکیب پروژه‌های انتخاب شده در شرایط وجود واریانس، مشابه پروژه‌های انتخاب شده در طراحی بر اساس بدترین گزینه است.

روند تغییرات تابع هدف در مقابل تغییرات وزن مورد نظر در شکل ۵ نمایش داده شده است. برای انجام مطالعه موردی ارایه شده در این مقاله، مقادیر تابع هدف به‌ازای تغییرات وزن میانگین و واریانس در تابع هدف، تفاوت فراوانی دارد. همچنین الگوریتم دسته مورچگان عملکرد بهتری نسبت به الگوریتم ژنتیک در یافتن نقاط بهینه این مسئله دارد. این در حالی است که تعداد دفعات محاسبه تابع هدف توسط الگوریتم دسته مورچگان حدود ۲٤۰ بار و الگوریتم ژنتیک ۷۰۰–۸۰۰ بار است. لازم به ذکر است در هر گام محاسبه تابع هدف، کل زمان سفر در هر یک از گزینه‌ها باید حساب شود. همچنین در شرایطی که اثر واریانس اندک باشد (وزن در تابع مساوی یک و یا ۰/۹۹) هر دو الگوریتم نتایج مشابهی به‌دست خواهند داد.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۳. نتایج طراحی شبکه گسسته برای گزینه‌های مختلف تقاضا به‌صورت جداگانه با استفاده از الگوریتم ژنتیک و دسته مورچگان

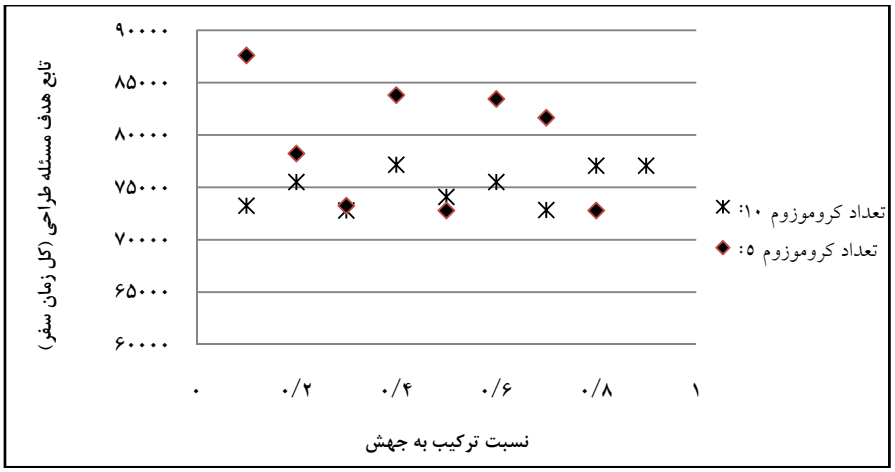
الگوریتم ژنتیک				
شماره گزینه	پروژه انتخاب شده	مقدار اولیه تابع هدف	مقدار نهایی تابع هدف	درصد بهبود
۱	۱-۲-۷-۸	۱۰۳۰۷۲	۷۲۳۷۸	۲۹/۸
۲	۲-۹-۱۰	۲٤٦۸۲٤	۱٤٥٤۱۹	٤۱/۱
۳	۳-۷-۱۰	٦۰٦۰٥٥	۳۱٦۳۷٥	٤۷/۸
٤	۲-۳-٤-۱۰	۳۰۳۹۸٦	۱٥۰۹۰۸	٥۰/٤
٥	۱-۹-۱۰	۱۹٤۸۲۲	۱۳٥۷۲۱	۳۰/۳
میانگین تقاضا	۳-۸-۱۰	۱۳٤۱۰۲	۹٥۱۹۹	۲۹/۰
الگوریتم دسته مورچگان				
شماره گزینه	پروژه انتخاب شده	مقدار اولیه تابع هدف	مقدار نهایی تابع هدف	درصد بهبود
۱	۱-۲-۷-۸	۱۰۳۰۷۲	۷۲۳۷۸	۲۹/۸
۲	۲-۹-۱۰	۲٤٦۸۲٤	۱٤٥٤۱۹	٤۱/۱
۳	۳-۷-۱۰	٦۰٦۰٥٥	۳۱٦۳۷٥	٤۷/۸
٤	۲-۸-۱۰	۳۰۳۹۸٦	۱۲٦٥۲٤	٥۸/٤
٥	۲-٤-٥-۱۰	۱۹٤۸۲۲	۱۲۲۹٦۹	۳٦/۹
میانگین تقاضا	۲-۸-۱۰	۱۳٤۱۰۲	۹۲٥۳۳	۳۱/۱

جدول ٤. نتایج طراحی و مقدار تابع هدف به ازای وزن‌های مختلف با استفاده از حل الگوریتم ژنتیک و دسته مورچگان

مقدار وزن در تابع هدف ρ	الگوریتم ژنتیک		الگوریتم دسته مورچگان	
	پروژه انتخاب شده	مقدار نهایی تابع هدف	پروژه انتخاب شده	مقدار نهایی تابع هدف
۰/۲	۱-۳-٤-۱۰	٤/۷۳E+۰۸	۳-۷-۱۰	۳/٥۹E+۰۸
۰/٤	۳-۹-۱۰	۳/٥۳E+۰۸	۳-۷-۱۰	۲/٦۹E+۰۸
۰/٦	۳-۹-۱۰	۲/۳٥E+۰۸	۳-۷-۱۰	۱/۸۰E+۰۸
۰/۸	۳-۷-۸	۱/۷۰E+۰۸	۳-۷-۱۰	۸/۹۹E+۰۷
۰/۹٥	۳-٥-۷	٤/٦۱E+۰۷	۳-۷-۱۰	۲/۲٥E+۰۷
۰/۹۹	۳-۷-۱۰	٤/۱۸E+۰٦	۳-۷-۱۰	٤/٥۳E+۰٦
۱	۳-۸-۱۰	۳/٤۸E+۰٤	۳-۸-۱۰	۳/٤۸E+۰٤

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ٤. مقدار تابع هدف برای نسبت ترکیب به جهش و جمعیت‌های مختلف

شکل ۵. مقدار تابع هدف در مقابل وزن‌های مختلف برای در حل با دو الگوریتم ژنتیک و دسته مورچگان

جدول ۵. نقاط دوم و سوم بهینه مسئله طراحی شبکه با تقاضای متغیر

مقدار وزن در تابع هدف	نقطه بهینه دوم		نقطه بهینه سوم	
	پروژه انتخاب شده	مقدار تابع هدف	پروژه انتخاب شده	مقدار تابع هدف
۰/۲	۲-۷-۱۰	٤/۷۱E+۰۸	۳-۸-۱۰	٤/۷۷E+۰۸
۰/٤	۲-۷-۱۰	۳/٥٤E+۰۸	۳-۸-۱۰	۳/٥۸E+۰۸
۰/٦	۲-۷-۱۰	۲/۳٦E+۰۸	۳-۸-۱۰	۲/۳۸E+۰۸
۰/۸	۲-۷-۱۰	۱/۱۸E+۰۸	۳-۸-۱۰	۱/۱۹E+۰۸
۰/۹٥	۲-۷-۱۰	۲/۹٥E+۰۷	۳-۸-۱۰	۲/۹۸E+۰۷
۰/۹۹	۲-۷-۱۰	٥/۹۳E+۰٦	۳-۸-۱۰	٦/۰۰E+۰٦
۱	۲-۳-٥-۱۰	۳/٥٤E+۰٤	۳-۹-۱۰	۳/٥٦E+۰٤

www.SID.ir

Archive of SID

در الگوریتم دسته مورچگان، مزیت نسبی هر یک از پروژه‌های پیشنهادی با توجه به مقدار فرمون روی آن سنجیده می‌شود و در هر گام الگوریتم، در یافتن ترکیب پروژه‌های بهینه مؤثر خواهد بود. به عبارت دیگر ترکیب پروژه برتر در هر گام، صرفاً تابع مزیت نسبی پروژه‌ها است. در حالی که در الگوریتم ژنتیک، شاخصی برای ارزیابی مزیت نسبی هر یک از پروژه ها وجود ندارد. در این الگوریتم، ترکیب پروژه‌های برتر در هر گام صرفاً بر اساس اعمال عملگرهای ترکیب، جهش و گزینش بر ترکیب پروژه ها ایجاد شده و وابسته به عملکرد جداگانه هر یک از پروژه‌ها نیستند. بنابراین، الگوریتم دسته مورچگان پاسخ بهتری را در زمان کمتر در مقایسه با الگوریتم ژنتیک به‌دست خواهد داد.

نکته دیگر اینکه نقاط بهینه الگوریتم دسته مورچگان، به ازای تمام مقادیر ρ (به جز ۱= ρ) منجر به ترکیب پروژه‌های یکسانی خواهد شد. علت این امر نیز اختلاف بسیار چشم‌گیر واریانس نسبت به میانگین کل زمان سفر گزینه‌هاست که با وجود سهم اندک واریانس در تابع هدف، این مقدار کنترل کننده طراحی شده و ترکیب پروژه های ثابتی به عنوان نقطه بهینه به‌دست می‌آید. با توجه به اینکه این شبکه به صورت گسسته طراحی می‌شود و اینکه مسئله طراحی شبکه غیر خطی و غیر محدب است، آگاهی یافتن از سایر نقاط بهینه نیز در تصمیم‌گیری نهایی با ارزش است. در جدول ۵ نقاط بهینه دوم و سوم به‌دست آمده از حل با روش الگوریتم مورچه، نمایش داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، اختلاف چشم‌گیری بین نقطه بهینه (جدول ٤) با دو نقطه بهینه دیگر (جدول ۵) وجود ندارد. ترکیب پروژه‌ها نیز نزدیک به پروژه بهینه است و غلبه اثر واریانس بر میانگین نیز در طراحی وجود دارد.

همان‌طور که در بخش ۱ گفته شد، در برنامه‌ریزی احتمالاتی (SP)، از میانگین کل زمان سفر گزینه‌ها ($\rho = 1$) در تابع هدف طراحی استفاده می‌شود و در بهینه‌سازی استوار (RO) ممان‌های آماری بالاتر (واریانس، $1 > \rho \geq 0$) نیز در محاسبه تابع هدف وارد می‌شوند. بر این اساس، در شرایطی که گزینه‌های مختلف تقاضا، اختلاف چشم‌گیری داشته و یا احتمال وقوع آنها متفاوت باشد، به علت غلبه واریانس در طراحی بر اساس وزن‌های مختلف RO نتایج مشابهی داشته و با طراحی بر اساس SP متفاوت است.

٤-۲- گزینه‌های تقاضا با واریانس پایین و احتمال وقوع یکسان

در این بخش از مطالعه موردی، فرض شده است که تقاضای وارد بر شبکه در گزینه‌های مختلف اختلاف اندکی دارد و گزینه‌های تقاضا دارای احتمال وقوع مشابه هستند. هدف از انجام این مطالعه، ارزیابی اثر تغییرات اندک تقاضا بر پاسخ مسئله طراحی شبکه گسسته است. شیوه ایجاد گزینه‌های مختلف تقاضا به این صورت است که سهم تولید سفر یکی از گره‌ها از کل سفرها نسبت به مقادیر پایه شبکه (گزینه ۱) درصد ثابتی کاهش و گره دیگری همان درصد افزایش یافته است. به عنوان مثال در گزینه ۲ تقاضا، تولید سفر در گره ۸ یک درصد کاهش و گره ۲۳ یک درصد افزایش داشته است. تغییرات اعمال شده در گزینه ۳ تقاضا برعکس گزینه ۲ بوده و در آن تولید سفر گره ۸، یک درصد افزایش و تولید سفر گره ۲۳، یک درصد کاهش داشته است. گزینه‌های ٤ و ۵ نیز با افزایش و کاهش یک درصدی تقاضای تولید شده در گره‌های ٤ و ۲۰ ایجاد شده‌اند. در جدول ٦ نتیجه طراحی جداگانه این گزینه‌ها نمایش داده شده است. با توجه به عملکرد بهتر الگوریتم دسته مورچگان، در این بخش صرفاً از این الگوریتم استفاده شده است. همچنین احتمال وقوع گزینه‌ها ثابت و مساوی ۰/۲ در نظر گرفته شده است.

همان‌طور که مشاهده می‌شود، مقدار اولیه و نهایی تابع هدف و همچنین ترکیب پروژه‌ها نزدیک به یکدیگر هستند و مقدار تابع هدف حدود۳۰ درصد بهبود داشته است. در چنین شرایطی میانگین و واریانس شبکه‌های بهبود یافته ۷۲۷٦٤ و ۷۳۷٤۳ است. بدترین گزینه در این مطالعه موردی نیز، گزینه ٤ است. پس از ارزیابی جداگانه هر گزینه، با استفاده از متدولوژی ارایه شده، مسئله طراحی شبکه گسسته در شرایط تقاضای متغیر در این مطالعه موردی با استفاده از الگوریتم دسته مورچگان حل شده و نتایج آن در جدول ۷ نمایش داده شده است.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ٦. نتیجه طراحی شبکه به‌صورت جداگانه برای گزینه‌های مختلف تقاضا

شماره گزینه	١	٢	٣	٤	٥	تقاضای میانگین
مقدار اولیه تابع هدف	١٠٣٠٧٢	١٠٤٥٨٤	١٠٣٣٥٣	١٠٣٨٣٩	١٠٤٢٢٧	١٠٣٠٧٢
مقدار نهایی تابع هدف	٧٢٣٧٨	٧٢٨٢٢	٧٢٦٨٠	٧٣١٢٩	٧٢٨١١	٧٢٣٧٨
پروژه‌های انتخاب شده	١-٢-٧-٨	١-٢-٧-٨	١-٢-٥-٨	١-٢-٧-٨	٢-٣-٥-٨	١-٢-٧-٨
درصد بهبود	٢٩/٨	٣٠/٤	٢٩/٧	٢٩/٦	٣٠/١	٢٩/٨

جدول ٧. نتیجه مسئله طراحی شبکه با تقاضای متغیر

مقدار وزن	پروژه‌های انتخاب شده	مقدار اولیه تابع هدف	مقدار نهایی تابع هدف	کل زمان سفر در هر یک از گزینه‌ها					میانگین گزینه‌ها	واریانس گزینه‌ها
				گزینه ١	گزینه ٢	گزینه ٣	گزینه ٤	گزینه ٥		
٠	٥-٧-٨	٢/٣٣E+٠٥	٢/١٤E+٠٤	٧٦٦٠٥	٧٧٨٦٧	٧٨٢٠٧	٧٨٣٨٤	٧٧٢٦٥	٧٧٦٦٦	٥٣٣٩٣٣
٠/٢	٢-٣-٥-٨	١/٩١E+٠٥	١/٨٢E+٠٤	٧٣٢٤٩	٧٤٥٥٢	٧٤٠٠٦	٧٤٦٥١	٧٥٠٢٤	٧٤٢٩٦	٤٧٥١٢٥
٠/٤	٢-٣-٥-٨	١/٤٨E+٠٥	١/٧٣E+٠٤	٧٣٢٤٩	٧٤٥٥٢	٧٤٠٠٦	٧٤٦٥١	٧٥٠٢٤	٧٤٢٩٦	٤٧٥١٢٥
٠/٦	٢-٣-٥-٨	١/٠٦E+٠٥	١/٦٥E+٠٤	٧٣٢٤٩	٧٤٥٥٢	٧٤٠٠٦	٧٤٦٥١	٧٥٠٢٤	٧٤٢٩٦	٤٧٥١٢٥
٠/٨	٢-٣-٥-٨	٦/٣٦E+٠٤	١/٥٧E+٠٤	٧٣٢٤٩	٧٤٥٥٢	٧٤٠٠٦	٧٤٦٥١	٧٥٠٢٤	٧٤٢٩٦	٤٧٥١٢٥
٠/٩٥	٢-٣-٥-٨	٣/١٩E+٠٤	١/٥١E+٠٤	٧٣٢٤٩	٧٤٥٥٢	٧٤٠٠٦	٧٤٦٥١	٧٥٠٢٤	٧٤٢٩٦	٤٧٥١٢٥
٠/٩٩	١-٢-٥-٨	٢/٣٤E+٠٤	١/٥١E+٠٤	٧٢٧٩٥	٧٥٢٠٨	٧٤١٩١	٧٤٨٨٦	٧٤٣٧٧	٧٤٢٩١	٨٦٢٦٣٢
١	١-٢-٥-٨	٢/١٣E+٠٤	١/٤٩E+٠٤	٧٢٧٩٥	٧٥٢٠٨	٧٤١٩١	٧٤٨٨٦	٧٤٣٧٧	٧٤٢٩١	٨٦٢٦٣٢

همان‌طور که مشاهده می‌شود، با اینکه کل زمان سفر در گزینه‌های مختلف به ازای یک وزن ثابت مقدار عددی نزدیکی دارد، اما همچنان واریانس زمان سفر ٨ تا ١٠ برابر میانگین زمان سفر است و به‌ازای وزن‌های ٠/٢ تا ٠/٩٥ ترکیب پروژه‌های مشابهی به‌دست آمده است. از سوی دیگر، سهم یک درصدی واریانس، عملکردی مشابه طراحی بر اساس SP (طراحی بر اساس تابع هدف میانگین $\rho = 1$) دارد.

نتیجه طراحی جداگانه هر گزینه با طراحی استوار متفاوت بوده و برخلاف نزدیکی مقدار نهایی تابع هدف آنها، طراحی جداگانه هر گزینه نتایج مشابهی ایجاد نخواهد نمود. نکته قابل توجه اینکه، بر خلاف مطالعه موردی قبل، نتیجه طراحی در شرایط در نظر گرفتن اثر واریانس، مشابه نتیجه طراحی برای بدترین گزینه نیست و بر اساس نتایج طراحی جداگانه گزینه‌ها نمی‌توان به نتیجه طراحی استوار دست یافت.

٥- نتیجه‌گیری

طراحی شبکه‌های حمل و نقل یکی از مهم‌ترین مسائل در مهندسی برنامه‌ریزی حمل و نقل است که در حالت کلی یک مسئله غیر خطی غیر محدب بوده و حل آن با استفاده از روش‌های معمول بهینه‌سازی امکان‌پذیر نیست. وقوع عدم قطعیت‌ها، پیچیدگی این مسئله را بیشتر کرده و دست‌یابی به ترکیب بهینه پروژه‌های قابل احداث برای بهبود شبکه را دشوارتر می‌نمایند.

www.SID.ir

Archive of SID

در این مقاله از روشی بر پایه بهینه‌سازی استوار برای حل مسئله طراحی شبکه گسسته‌های حمل و نقل در شرایط وقوع تقاضای متغیر استفاده شده است. استفاده از این روش در حل مسئله طراحی شبکه سابقه اندکی داشته و در کشور بی‌سابقه بوده است. مجموعه عدم قطعیت تقاضا به‌صورت گزینه‌های مستقل در نظر گرفته شده و ترکیب بهینه پروژه‌های انتخاب شده برای بهبود شبکه بر اساس وقوع تمام گزینه‌های تقاضا به‌دست آمده است. برای این منظور از تابع هدف مجموع وزن داده شده میانگین و واریانس کل زمان سفر در گزینه‌های مختلف تقاضا برای طراحی به همراه محدودیت بودجه و جریان کمان‌های تعادلی استفاده شده است. وزن مورد نظر در واقع کنترل کننده سطح عدم قطعیت وارد شده در مسئله است. بنابراین، قابلیت ارزیابی نتایج طراحی بر اساس هر یک از گزینه‌های تقاضا، میانگین و مجموع وزن داده شده آنها فراهم شده است. همچنین در این مقاله، برای حل مسئله فوق از الگوریتم‌های ژنتیک و دسته مورچگان استفاده و نتایج آنها مقایسه شده است. استفاده از الگوریتم ژنتیک در حل مسایل مشابه در مطالعات پیشین در خارج از کشور سابقه داشته است اما استفاده از الگوریتم دسته مورچگان یکی از نوآوری‌های این مقاله بوده و با ایجاد تغییراتی در الگوریتم، برای اعمال آن روشی متناسب ارایه شده است.

برای پیاده‌سازی روش فوق بر یک شبکه متوسط، از دو مطالعه موردی استفاده شده است. در مطالعه موردی اول، الگوی تقاضا در گزینه‌های مورد نظر اختلاف قابل توجهی دارد. در این شرایط واریانس کل زمان سفر از میانگین آن به مراتب بزرگ‌تر بوده و اثر قابل توجهی در طرح نهایی خواهد داشت. در مطالعه موردی دوم، گزینه‌های تقاضا اختلاف بسیار اندکی داشته و اثر وزن داده شده به میانگین و واریانس در طراحی نمود بیشتری دارد. همچنین نتیجه طراحی جداگانه هر گزینه با نتایج بهینه‌سازی استوار مقایسه و ارزیابی لازم صورت گرفته است. با انجام این امر مشخص شد، که از طریق طراحی بر اساس بدترین گزینه و یا میانگین تقاضای گزینه‌ها، نمی‌توان به پاسخ بهینه مسئله طراحی شبکه در شرایط عدم قطعیت گزینه مبنای تقاضا دست یافت.

بخش دیگر نتایج این مقاله مربوط به مقایسه کارایی الگوریتم‌های ژنتیک و دسته مورچگان در حل مدل پیشنهادی مقاله است. بر اساس نتایج مطالعه موردی مشخص شد که تعداد دفعات محاسبه تابع هدف توسط الگوریتم دسته مورچگان حدود ۲۴۰ بار و الگوریتم ژنتیک ۷۰۰–۸۰۰ بار است. در نتیجه، الگوریتم دسته مورچگان زمان انجام محاسبات کمتری داشته و از سوی دیگر، مقدار بهینه تابع هدف کمتری از الگوریتم ژنتیک خواهد داشت. این امر به دلیل روند دست‌یابی به پاسخ بهینه در این الگوریتم‌ها است. پروژه‌های کارآمد بهبود شبکه در الگوریتم دسته مورچگان از طریق مقدار فرمون به جا مانده در هر گام، اولویت نسبی خواهند داشت در حالی که در الگوریتم ژنتیک، مزیت نسبی پروژه‌ها در فرایند همگرایی پاسخ، صرفاً از طریق انجام عملگر ترکیب تصادفی در نظر گرفته می‌شود.

در صورتی که تعداد گزینه‌های تقاضا افزایش یابد، محاسبه تابع هدف به‌ازای وقوع همه گزینه‌ها زمان محاسباتی قابل توجهی خواهد داشت. در این شرایط، می‌توان با استفاده از روش نمونه‌گیری تصادفی در هر دفعه محاسبه تابع هدف، حجم محاسبات را کاهش داد و از طریق طراحی‌های متعدد از دست‌یابی به پاسخ بهینه مطمئن شد. در مجموع، ورود عدم قطعیت تقاضا بر مسئله دو سطحی طراحی شبکه، پیچیدگی آن را افزایش خواهد داد. با توسعه روش‌های بهینه‌سازی در شرایط عدم قطعیت، حل مسئله طراحی شبکه در شرایط وجود سایر مجموعه‌های عدم قطعیت تقاضا نیز با استفاده از روش‌های تحلیلی امکان‌پذیر است. مزیت اصلی استفاده از بهینه‌سازی استوار، حل آسان مسایل بهینه‌سازی در شرایط عدم قطعیت بوده و سطح عدم قطعیت وارد شده در مسئله قابل کنترل خواهد بود. بنابراین استفاده از این روش در حل سایر مسایل بهینه‌سازی مانند مکان‌یابی و قیمت‌گذاری در شبکه‌های حمل و نقل نیز امکان‌پذیر است. با توجه به اینکه تا کنون انجام مطالعات عدم قطعیت در شبکه‌های حمل و نقل در برنامه‌ریزی آینده شهرها وارد نشده است، ارایه روش‌های مؤثر و آسان در حل مسایل بهینه‌سازی، زمینه را برای کاربردی نمون این زمینه تحقیقاتی فراهم می‌سازد.

٦- پی‌نوشت‌ها

1. Robust Optimization
2. Reliability-Based Optimization
3. Robust Design Optimization
4. Model Updating
5. Stochastic Programming
6. Sensitivity Analysis

www.SID.ir

Archive of SID

7. Post-Optimization
8. Branch and Bound
9. Leblance
10. Meta Heuristics
11. Tabu Search
12. Genetic
13. Simulated Annealing
14. Ant Colony
15. Maganti
16. Wong
17. Xioug
18. Schneider
19. Solanki
20. Hybrid
21. Al-Deek
22. Asakura
23. Chen
24. Watling
25. Lo
26. Ukkusuri
27. Travel Demand Reduction Reliability
28. Travel Demand Satisfaction Reliability
29. Marczyk
30. Yin
31. Mulvey
32. Goal Programming
33. Realization
34. Robust Counterpart Problem
35. Sim
36. Lawphongpanich
37. Demand Generation
38. Crossover
39. Mutation
40. Elite
41. Ant
42. Nest
43. Pheromone
44. Visibility
45. Evaporation
46. Stagnation

۷- مراجع

- افندی زاده، شهریار، معروف، نسترن و کلانتری، نوید (۱۳۹۰) "ارایه الگوریتم فراابتکاری ترکیبی برای حل مدل بهینه‌سازی همزمان طراحی شبکه اتوبوس‌رانی و مکان‌یابی پایانه"، ششمین کنگره ملی مهندسی عمران، اردیبهشت ماه ۱۳۹۰، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران.
- رحمانی، مهدی و سعیدیان طبرسی، ماشاا... (۱۳۸۸) "ارایه مدل مکان‌یابی امکانات پارک سوار و حل آن با استفاده از الگوریتم ژنتیک در محیط GIS"، پژوهشنامه حمل و نقل، سال ششم، شماره سوم، پاییز ۱۳۸۸، ص ۲۴۵-۲۵۵.
- Al-deek, H. and Emam B.E. (2006) "New methodology for estimating reliability in transportation networks with degraded link capacities", Journal of Intelligent Transportation Systems, Vol. 10, No. 3, pp. 117–129.
- 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.
- Bell, M.G.H. Cassir, C. (2000) "Reliability of transportation networks", Baldock, England: Research Studies Press Ltd. 2003.
- Ben-Tal, A. and Nemirovski, A. (1999) "Robust Solutions of Uncertain Linear Programs", Operations Research Letters, Vol. 25(1), pp. 1-13.
- Beyer, H.G. and Sendhoff, B. (2007) "Robust optimization-A Comprehensive survey", Comput. Methods Appl. Mech. Engrg, Vol. 196, pp. 3190-3218.
- Chen, A. Yang, H. Lo, H.K. Tang, W.H. (2002) "Capacity reliability of road network: an assessment methodology and numerical results", Transportation Research Part B, Vol. 36, No. 3, pp. 225-252.
- Chen, A. Z. Zhong, P. Chootinan, S.C. Wong, (2008) "A bi-objective reliable network design problem", 87nd Annual Meeting of the Transportation Research Board, January, Washington D.C.
- Du, Z. P. and Nicholson, A. (1997) "Degradable transportation systems: sensitivity and reliability analysis", Transportation Research Part B, Vol. 31, pp. 225–237.
- Heydecker, B. W. Lam, N. Zhang, (2008) "Use of travel demand satisfaction to assess road network reliability", Transportmetrica, Vol. 3, No. 2, pp. 139-171.

www.SID.ir

Archive of SID

- LeBlanc, L.J. (1975) "An Algorithm for the Discrete Network Design Problem", Transportation Science, Vol. 9, pp. 183-199.
- Lo, H. and Tung, Y. (2003) "Network with degradable links: capacity analysis and design", Transportation Research Part B, Vol. 37, pp. 345-363.
- 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.
- Marczyk, J. (2000) "Stochastic multidisciplinary improvement: beyond optimization", American Institute of Aeronautics and Astronautics, AIAA-4929.
- Mulvey, J.M. and Vanderbei, R.J. (1995) "Robust Optimization of large-scale systems", Operation Research, Vol. 43, No. 2, pp. 264-281.
- Park, G.J. Lee, T.H. Lee, K.H. Hwang, K.H. (2006) "Robust design: An overview", AIAA Journal 44, 2006, pp. 181–191.
- 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.
- Schueller, G.I. and Jensen, H.A. (2008) "Computational methods in optimization considering uncertainties – An overview", Comput. Methods Appl. Mech. Engrg., Vol. 198, pp. 2–13.
- Sim, M. (2004) "Robust Optimization", MIT PhD Dissertation.
- Soyster, A.L. (1973) "Convex Programming with Set-Inclusive Constraints and Applications to Inexact Linear Programming", Operations Research, Vol. 21, pp. 1154-1157.
- Solanki, R.S. Gorti, J.K. Southworth, F. (1998) "Using decomposition in large-scale highway network design with quasi-optimization heuristic", Transportation Research-B, Vol. 32, pp. 127–140.
- Ukkusuri, S. (2005) "Accounting for uncertainty, robustness and online information in transportation networks", Ph.D. Dissertation, The University of Texas at Austin.
- Ukkusuri, S. Tom, V.M. 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. Lawphongpanich, S. (2009) "A robust approach to discrete network designs with demand uncertainty", 88nd Annual Meeting of the Transportation Research Board, January, Washington D.C.
- Yin, Y. Madanat, S.M. Lu, X.Y. (2009) "Robust improvement schemes for road networks under demand uncertainty", European Journal of Operational Research, Vol. 198, pp. 470–479.
- Zang, C. Friswell, M.I. Mottershead, J.E. (2005) "A review of robust optimal design and its application in dynamics", Computers and Structures, Vol. 83, pp. 315–326.

www.SID.ir

Archive of SID

Robust Design of Transportation Networks in a Scenario-Based Demand Condition with Genetic and Ant Colony Algorithms

Sh. Afandizadeh, Associate professor, Department of Civil Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran.

A. Ghaffari, M.Sc. Student, Department of Civil Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran. Iran.

N. Kalantari, Ph.D. Student, Department of Civil Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran. Iran.

E-mail: zargari@iust.ac.ir

ABSTRACT

Transportation network design is one of the most important issues in transportation engineering, which is complicated by uncertainty. Uncertainty in demand is one of the most common types of uncertainty in traffic networks, which comes from various sources such as difficulties in forecasting of trip productions and attractions. In this paper, a method based on robust optimization for discrete network design in scenario-based variable demand conditions is used, in which the level of imposed uncertainty of that problem will depend on designer choice. For this reason, the objective functions of weighted mean and variance total travel time in several demand scenarios are implemented; and for solving that problem, genetic and ant colony algorithms are used. To examine the proposed model, two case studies are applied to an ordinary network. In the first one, the demand pattern in hypothetical scenarios has a high disparity, and the variance of total travel time is more important in the final design than the mean. In the second case study, the demand pattern has a low disparity, and the weight of the mean and variance is more significant in the design solution. Based on two conditions, the results of design in the condition of uncertainty are different with independent design of each scenario, which emphasizes the use of optimization methods in conditions of uncertainty to solve similar problems. Also, in comparison of genetic and ant colony algorithms in various weights of the objective function, the ant colony algorithm found better solutions with less calculation effort.

Keywords: Network Design, Variable Demand, Equilibrium Assignment, Genetic Algorithm, Ant Colony Algorithm

www.SID.ir