Archive of SID

2th International Conference on Industrial Management
19 & 20 April 2017
دومین کنفرانس بین المللی مدیریت صنعتی
(30 و 31 فروردین 1396)

مدل ریاضی فازی مکان‌یابی-تخصیص سلسله‌مراتبی برای خدمات فوریت‌های پزشکی با به-کارگیری الگوریتم NSGA-II

حمید شاه‌بندرزاده[1]، مهرناز منصوری[2]

[1]عضو هیئت علمی، دانشگاه خلیج فارس بوشهر؛ shahbandarzadeh@pgu.ac.ir
[2]مدرس، دانشگاه خلیج فارس بوشهر؛ mehrnazmansouri@yahoo.com

چکیده

مکان‌یابی-تخصیص تسهیلات به مکان‌یابی مجموعه‌ای از تسهیلات به‌منظور کمینه‌سازی هزینه پاسخ‌گویی به تقاضا می‌پردازد. مکان‌یابی-تخصیص تسهیلات در بخش‌های عمومی برای دستیابی به تعادل میان خدمات فراهم‌شده و کارایی منابع اهمیت فراوان دارد. از این‌رو، در سیستم خدمات فوریت‌های پزشکی که یک نوع خدمات عمومی و فراهم‌آورنده مراقبت‌های پزشکی پیش-بیمارستانی است، با توجه به معیار اساسی زمان پاسخ‌گویی بر اهمیت آن افزوده می‌شود. هدف پژوهش حاضر ارائه‌ی یک مدل مکان‌یابی-تخصیص با توجه به سه هدف بیشینه پوشش، بیشینه بقای افراد و کمینه‌سازی هزینه و محدودیت‌های کیفیت و ظرفیت برای تسهیلات سلسله‌مراتبی اورژانسی می‌باشد که از ترکیب تئوری فازی برای مدل بهینه‌سازی استفاده شد. در این پژوهش، پس از بازخوانی پژوهش‌های پیشین و شناسایی معیارهای عملکردی، پارامترها و متغیرها یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح محض ارائه گردید. همچنین، از تئوری فازی برای بازسازی برخی پارامترها و تابع هدف پیشینه پوشش استفاده شد. درنهایت، مدل ریاضی فازی مکان‌یابی-تخصیص سلسله‌مراتبی ارائه‌شده برای خدمات فوریت‌های پزشکی با استفاده از الگوریتم ژنتیک چندهدفه بر پایه مرتب‌سازی نامغلوب حل گردید. مدل مکان‌یابی-تخصیص با توابع هدف موردنظر منجر به جایابی و تخصیص تسهیلات با دقت بیش‌تری به‌منظور نجات جان بیماران در مأموریت‌های فوریتی و به‌خصوص در موارد خطرناک می‌شود.

واژگان کلیدی

مکان‌یابی، تخصیص، تئوری فازی، خدمات فوریت‌های پزشکی، الگوریتم ژنتیک چندهدفه

1- مقدمه

ازدحام و شلوغی در بخش‌های اورژانسی تبدیل به یک بحران بین‌المللی شده که تأثیر منفی بر امنیت جانی بیماران، کیفیت مراقبت‌های پزشکی و رضایت بیماران از خدمات دریافت شده می‌گذارد. بنابراین، مدیریت منابع محدود در این شرایط چالش بزرگی است که به‌وسیله سطح بالای عدم اطمینان در تقاضا ایجاد می‌شود. عدم اطمینان تقاضا منجر به عدم تعادل در به‌کارگیری منابع در دسترس و کاهش رضایت بیماران در دوره‌های بلندمدت شده و همچنین کاهش کیفیت خدمات دریافتی می‌شود. بنابراین برای مدیریت صحیح و به‌کارگیری بهینه منابع در بخش بهداشت و سلامت با توجه به فرایند پیچیده و در حال تغییر مراقبت از بیماران نیاز به ابزار دقیق و زمان‌مند است (Abo-Hamad & Arisha, 2013). خدمات فوریت‌های پزشکی سیستمی موثر و کارآمد برای کمینه کردن خسارت‌های جانی حاصل از بیماری‌ها و حوادث اورژانسی است که در این راستا برای ارائه خدمات پیش بیمارستانی

www.SID.ir

Archive of SID

ایجاد شده است. هدف این سیستم پاسخ‌گویی سریع برای زنده نگه‌داشتن بیماران و درصورت نیاز انتقال آن‌ها به مراکز درمانی می‌باشد.

طراحی شبکه‌های خدمات‌رسانی در حوزه خدمات فوریت‌های پزشکی و تخصیص گره‌های تقاضا به آنها نقش به‌سزایی در افزایش کیفیت خدمات قابل ارائه و پاسخگویی به‌هنگام دارد و همچنین از ایجاد ازدحام و بی‌نظمی در مناطق تحت پوشش می‌کاهد. بنابراین، پرداختن به این موضوع به‌خصوص در سیستم‌های دارای تقاضا تصادفی، غیر قابل ذخیره و ظرفیت ناکافی سیستم و در انتظار بودن خدمت‌گیرندگان برای دریافت خدمات پراهمیت می‌شود (Amiri, 1997). یکی از مسائل پر اهمیت حوزه مدیریت بحران و سیستم‌های خدمات فوریت‌های پزشکی، مکان‌یابی-تخصیص یا جایابی تسهیلات اورژانسی به منظور پوشش حداکثری مناطق و توزیع مناسب خدمت‌دهی به بیماران است که نقش اساسی در کاهش زمان پاسخ به تقاضا دارد (Wen & Iwamura, 2008). مکان‌یابی تسهیلات عمومی شرایط مناسب و عادلانه‌ای برای استفاده از خدمات عمومی شهری برای تمام افراد جامعه برقرار می‌سازد (سعیدیان, امینی زاده, & امینی زاده, 1390). به سخن دیگر، مدل مکان‌یابی در بخش عمومی به تعیین مکان‌های بهینه برای انواع مختلف تسهیلات با توجه به هدف یا اهداف متفاوتی همچون کمینه کردن هزینه، بیشینه‌سازی دسترس‌پذیری، بیشینه‌سازی پوشش جمعیت مورد تقاضا و غیره کمک می‌کند.

مسائل پوششی با وجود جدید نبودن یکی از مدل‌های محبوب و کاربردی در مکان‌یابی تسهیلات هستند که در دنیای واقعی کاربردهای متفاوتی برای خدمات و تسهیلات فوریتی دارند. پژوهش حاضر از مدل‌های پوششی و تسهیلات سلسله مراتبی استفاده کرده و مدل ریاضی با ترکیبی از تئوری صف را مبنای دستیابی به اهداف پژوهش قرار داده است. مدل پوششی HiQ-MCLP مدلی توسعه‌یافته از مدل MCLP بوده که برای پوشش حداکثری و افزایش کیفیت خدمات ارائه شده که این پژوهش جهت توسعه این مدل به ارائه مدل ریاضی فازی چندهدفه می‌پردازد.

در پژوهش حاضر، ابتدا به مدل‌سازی ریاضی مکان‌یابی-تخصیص سلسله‌مراتبی موجود در ادبیات پژوهشی پرداخته و سپس با استفاده از توابع هدف چندگانه مدل توسعه داده می‌شود. پس از ارائه مدل و بنابر چندهدفه بودن آن، روش پیشنهادی الگوریتم ژنتیک چندهدفه بر پایه مرتب‌سازی نامغلوب برای یافتن پاسخ بهینه به‌کار گرفته شده که افزون بر فرایندهای اصلی الگوریتم ژنتیک، فرایند رتبه‌بندی و فاصله ازدحامی مرتبط با رویکرد پارتو در الگوریتم شرح می‌گردد.

2- پیشینه تحقیق

مدل‌های مکان‌یابی–تخصیص برای مکان‌یابی تسهیلات موجود در سیستم و تخصیص درخواست‌کنندگان خدمات به مراکز خدماتی به‌کار گرفته می‌شود. به سخن دیگر، در این مدل‌ها تعدادی تسهیلات در بین تعدادی گره تقاضا در یک منطقه تحت بررسی مکان‌یابی می‌شود تا در نهایت به اهدافی همچون کمینه هزینه کل حمل‌ونقل یا بیشینه پوشش نقاط تقاضا و تعداد مراجعین دست یابد (Mousavi & Akhavan Niaki, 2013). مکان‌یابی تسهیلات اورژانسی در بخش درمان همچون آمبولانس یکی از سه گانه مسائل کاربردی مکان‌یابی در حوزه خدمات درمانی است. بنا به عبارتی مسائل مکان‌یابی مراکز خدماتی از دید نوع سرویس به دو گونه مسائل طراحی سیستم سرویس

www.SID.ir

Archive of SID

عمومی و طراحی سیستم سرویس اورژانسی تقسیم شده‌اند. گونه اول بر ظرفیت سرویس تسهیلات بدون محدودیت اورژانسی تأکید دارد، در حالی‌که در مسائل گونه دوم بیشتر بر قابلیت واحدهای سرویس‌دهی برای حرکت سریع به مکان‌های اورژانسی تمرکز دارد (امیری, خاتمی فیروزآبادی, & مبین, 1391). اولین مدل مکان‌یابی اورژانسی از نوع مدل بیشینه پوشش است که توسط چرچ و رول (Church & Revelle, 1974) برای مکان‌یابی p پایگاه با هدف بیشینه کردن جمعیت پوشش‌یافته ارائه شده است.

یکی از معیارهای اساسی مکان‌یابی، میزان و تراکم جمعیت است که بر نحوه استقرار تسهیلات و برنامه‌ریزی منابع برای خدمات‌رسانی تأثیر به‌سزایی دارد. تجربه و شواهد نشان‌دهنده این است که با افزایش تراکم جمعیت در هر منطقه از شهر احتمال وقوع حادثه را نسبت به مناطق با تراکم کمتر افزایش می‌دهد. افزون بر این، تراکم زیاد موجب قرارگیری تسهیلات عمومی دیگر مانند مدارس، بیمارستان‌ها، مراکز مذهبی و غیره در منطقه مورد نظر می‌شود که خود بار ترافیکی به‌همراه خواهد داشت (سعیدیان, امینی زاده, & امینی زاده, 1390).

در این میان، مدل‌های پوششی یکی از مدل‌های مکان‌یابی تسهیلات هستند که به‌صورت‌های گوناگون برای خدمات و تسهیلات به‌کار گرفته شده‌اند. در این مسائل، مجموعه‌ای از مشتریان یا درخواست‌کننده با تقاضای مشخص یا در مواردی نامعین برای کالا یا خدمت وجود دارد که باید توسط تعداد تسهیلات استقراریافته خدمت-رسانی شده و جمعیت یا تقاضای پوشش یافته حداکثر شود (زرین پور, شوندی, & باقری نژاد, 1390). نخستین مدل ریاضی تکمیل شده در مسائل پوششی به مدل تورگاز و همکاران (Toregas, Swain, Revelle, & Bergman, 1971) برمی‌گردد که محدودیت بیشینه زمان حرکت و مسئله پوشش کامل را ساختند که هرگره با حداقل یک مکان بالقوه پوشش داده می‌شد. مدل پوششی دیگری وجود دارد که نسخه اصلی و ابتدایی آن توسط چرچ و روله ارائه شده (Church & Revelle, 1974) و هدف آن شناخت مکان‌های بهینه به تعداد معین ایستگاه-های EMS جهت حداکثرسازی برآورد تقاضای مورد انتظار در زمان مشخص است. هدف پسین آن، اطمینان از وجود حداقل یک سرور در دسترس در پایگاه‌های امدادی در زمان یا فاصله استاندارد از نقطه تقاضا است که با توجه به روابط متفاوتی از جمله رابطه ارلانگ، میزان مورد نیاز سرور در هر پایگاه برای برآورد تقاضای نقاط در آن حوزه به-دست می‌آید (Revelle & Hogan, 1989). سپس، مدل مکان‌یابی پوشش احتمالی حداکثر پوشش مورد انتظار MEXCLP[1] در پژوهش (Daskin, 1983) و پس از آن مدل مکان‌یابی پوشش احتمالی بیشینه دسترسی MALP[2] در پژوهش دیگر (Revelle & Hogan, 1989) مطرح شد که نخستین مدل‌های احتمالی با استفاده از تئوری صف بودند. با توجه به تأکید پژوهش حاضر بر مسئله پوششی MCLP می‌توان به مدل مور و رول (Moore & Revelle, 1982) در جهت توسعه MCLP به اهمیت سطوح متفاوت تسهیلات در خدمات پزشکی اشاره کرد. پس از آن، مندل (Mandell, 1998) مدل پوششی دو سطحی برای مکان‌یابی سیستم‌های خدمات فوریت‌های پزشکی ارائه کرده که هدف آن بیشینه سازی تعداد تماس‌های خدمات‌رسانی است. در این پژوهش هم-چنین برای کنترل دسترس‌پذیری سرورهای اورژانسی مانند آمبولانس به محاسبه میزان دسترسی سرورها از روش مدل صف دو بعدی پرداخته شده است. ماریانو و سرا (Marianov & Serra, 2001) نیز از ترکیب تئوری صف برای مدل‌های مکان‌یابی-تخصیص سلسله‌مراتبی استفاده کرده و مسئله‌ای با عنوان «تخصیص مسئله صف‌بندی مکان‌یابی

[1]. Maximal Expected Covering Location Problem (MEXCLP)

[2]. Maximal Availability Location Problem (MALP)

www.SID.ir

Archive of SID

دسترسی بیشینه (QMCLAM[3])» جهت توسعه مدلMCLP ارائه دادند که با مدل پایه دو تغییر اساسی دارد: 1) تخصیص گره‌های تقاضا تحت زمان یا فاصله استاندارد به سرویس‌دهنده‌ها؛ 2) استفاده از نظریه صف با سطح ریسک α. البته شیوه‌ی دیگری، یعنی استفاده از شرایط فازی هم برای دقت در برآورد و دستیابی به مدل واقعی وجود دارد که در پژوهش (Shavandi & Mahlooji, 2006) برای سیستم‌های خدماتی مانند سیستم خدمات فوریت‌های پزشکی و در پژوهش (Araz, Selim, & Ozkarahan, 2007) مدل چندهدفه فازی برای خدمات فوریت‌های پزشکی به‌کارگماشته شده است. در دو دهه اخیر پژوهش‌هایی برای ترکیب تئوری فازی با مدل‌های مکان‌یابی مطرح شده در بالا انجام گرفته است. شوندی و محلوجی (Shavandi & Mahlooji, 2006) مدل مکان‌یابی-تخصیص با رویکرد فازی برای سیستم‌های انبوه مانند خدمات اورژانسی، آتش‌نشانی و امنیت اجتماعی ارائه دادند. در این پژوهش از رویکرد فازی مورد استفاده در (Shavandi & Mahlooji, 2006) برای توسعه مدل‌های صف مکان‌یابی-تخصیص حداکثر پوششی استفاده شده و محدودیت‌های مبتنی بر فازی به مدل‌ها اضافه شده است. در جدول(1) به برخی پژوهش‌های ترکیبی انجام‌گرفته MCLP برای مکان‌یابی-تخصیص خدمات فوریت‌های پزشکی اشاره شده است.

جدول (1): برخی پژوهش‌های ترکیبی انجام‌گرفته MCLP برای مکان‌یابی-تخصیص خدمات فوریت‌های پزشکی

مدل	مشخصات	توضیحات	ماهیت مدل			
			قطعی	احتمالی	پویا	فازی
MCLP	اسچیلینگ و همکاران (Schilling, Elzinga, Cohon, Church, & Revelle, 1979)	به‌کارگرفتن چند نوع سرور، فرایند سلسله‌مراتبی	*			
	بسر و همکاران (Basar, Catay, & Unluyurt, 2009)	به‌کارگرفتن چند نوع سرور، فرایند سلسله‌مراتبی	*			
	دسوکی (Dessouky, 2006)	ترکیب سطح چندگانه کیفیت و سطح چندگانه کمیت	*			
	جیا و همکاران (Jia, Lin, & Song, 2012)	ترکیب سطح چندگانه کیفیت و سطح چندگانه کمیت	*			
	هوگان و رول (Hogan & Revelle, 1986)	مدل پشتیبانی پوشش با دو تسهیلات، الزام به پوشش تمام گره-ها	*			
	اسچیلینگ (Schilling, 1980)	رویکرد تابع چندهدفه، تسهیلات چنددوره‌ای			*	
	السلوم و رند (Alsalloum & Rand, 2003)	برنامه‌ریزی آرمانی	*			
	السلوم و رند (Alsalloum & Rand, 2006)		*			
	ارکوت و همکاران (Erkut, Ingolfsson, & Erdogan, 2007)	افزودن تابع هدف بقا به مدل و تبدیل آن به مکان‌یابی بیشینه بقا	*			
	ین و مو (Yin & Mu, 2012)	ارائه دو مدل بدون محدودیت ظرفیت مشخص و با محدودیت ظرفیت‌دار، ترکیب با GIS	*			

[3] Queuing Maximal Covering Location Allocation Model (QMCLAM).

www.SID.ir

Archive of SID

مدل	مشخصات	توضیحات	ماهیت مدل			
			قطعی	احتمالی	پویا	فازی
	راتیک و همکاران (J.ratick, P.Osleeb, & Hozumi, 2009)	توسعه HMCLP، سرور چندگانه، افزودن هزینه‌های ثابت و متغیر	*			
	سیام (S. Syam, 2008)	مکان‌یابی تخصیص، افزودن هزینه-های ثابت و متغیر	*			
	مندل (Mandell, 1998)	افزودن محدودیت کیفیت، تسهیلات سلسله‌مراتبی دوسطحی	*			
	شوندی و محلوجی (Shavandi & Mahlooji, 2006)	ارائه مدل مکان‌یابی تخصیص فازی، پارامترها و محدودیت‌های فازی				*
	استوربک (Storbeck, 1989)	برنامه‌ریزی آرمانی، بیشینه پوشش چندگانه و کمینه تقاضا پوشش‌نیافته			*	
	سعیدیان و همکاران (سعیدیان, امینی زاده, & امینی زاده, 1390)	ترکیب MCLP و GIS	*			
	لیم و برانل (Lim, Mamat, & Braunl, 2011)	مکان‌یابی مجدد پویا با استفاده از رویه‌های توزیع، تعیین تعداد آمبولانس به‌صورت دوره‌ای			*	

الگوریتم ژنتیک توسط جان هولند و همکاران برای نخستین بار در 40 سال گذشته توسعه یافته است. الگوریتم ژنتیک یک روش کلی است که می‌تواند برای مسائل مختلفی به‌کار گرفته شود. این الگوریتم برای نخستین بار برای مسئله مکان‌یابی-تخصیص توسط هوساج و گودچیلد در سال 1986 به‌کار گرفته شده است (d. A. Correa & A. N. Lorena, 2006). پس از آن برای مکان‌یابی تسهیلات چندمعیاره و به‌ویژه برای مسئله میانه‌محور کاربرد فراوان یافت (C. Teixeira & P. Antunes, 2008). با توجه به شباهت مسئله مکان‌یابی-تخصیص بیشینه پوشش با مسئله میانه‌محور از این الگوریتم برای حل مسئله موردنظر استفاده می‌شود. کاربرد الگوریتم ژنتیک در مسائل مکان-یابی-تخصیص به وفور قابل مشاهده است که جدول(2) بیانگر برخی پژوهش‌های انجام‌شده می‌باشد.

جدول(2).موارد کاربرد الگوریتم ژنتیک در مکان‌یابی-تخصیص

ردیف	مشخصات	توضیحات
1	دیاز و همکاران (Toro-Diaz, E. Mayorga, Chanta, & A. McLay, 2013)	توسعه چارچوب بهینه‌سازی بر پایه الگوریتم ژنتیک مکان‌یابی وسایل نقلیه اورژانسی
2	یانگ و همکاران (Yang, F. Jones, & Yang, 2007)	استفاده از الگوریتم ژنتیک برای برنامه‌ریزی چندهدفه جهت مکان‌یابی ایستگاه‌های آتش-نشانی
3	کامبر و همکاران (J. Comber, Sasaki, Suzuki, & Brunsdon, 2010)	الگوریتم ژنتیک گروهی اصلاح‌یافته در خصوص مکان‌یابی پایگاه‌های آمبولانس
4	شوندی و محلوجی (Shavandi & Mahlooji, 2006)	الگوریتم ژنتیک برای مدل مکان‌یابی صف فازی

www.SID.ir

Archive of SID

3- روش‌شناسی

مکان‌یابی تسهیلات خدمات درمانی به دلیل وجود ذی‌نفعان متفاوت همچون مشتریان، فراهم آورندگان خدمات و جوامع عمومی به‌طور معمول از مدل‌های چندهدفه برخوردار است. بنابراین با توجه به وجود ذی‌نفعان اولویت‌ها و توابع هدف گوناگونی در این راستا شکل می‌گیرد. اهداف متمایز و مهم در قالب اهداف کمینه‌سازی هزینه دسترسی برای مشتریان، بیشینه‌سازی جمعیت با دسترسی به تسهیلات خدماتی یا تقاضای پوشش‌یافته و بیشینه‌سازی برابری در دسترسی نمایان می‌شود. در پژوهش حاضر، سه تابع هدف بیشینه‌سازی پوشش، بیشینه‌سازی احتمال بقای بیماران و کمینه‌سازی هزینه برای ارائه مدل ریاضی به‌کار گرفته شده که در ادامه شرح داده می‌شود.

اولین تابع هدف، بیشینه‌سازی پوشش با رویکرد تئوری صف است که با تعریف این هدف، دیگر این مسئله به برآورد کامل تقاضا نپرداخته و با حداکثر پوشش تقاضای هر گره با توجه به جمعیت گره i تخصیص انجام می‌گیرد. پوشش براساس دو عامل نرخ تقاضا و نرخ سرویس تغییر می‌یابد. به‌گونه‌ای که در این مسئله با نرخ تقاضای کاهشی و یا نرخ سرویس افزایشی، درصد پوشش افزایش می‌یابد. تابع بقا، تابع هدفی دیگر است که برای تقریب احتمال زنده ماندن افراد با شرایط بحرانی استفاده می‌شود و این پژوهش در پی به‌کارگیری این تابع در مدل ریاضی است. برخی پژوهش‌ها، تابعی به‌نام احتمال بقا برای اعمال کیفیت در مدل‌های مکان‌یابی به‌کار گرفتند که کیفیت خدمات سیستم را به‌طور مستقیم در ارتباط با بازده بیماران (نسبت بیماران بهبود یافته) دانسته‌اند (Chanta, E. Mayorga, & A. McLay, 2014). تابع بقا، یک تابع یکنواخت، کاهشی و نیز تابعی از زمان پاسخ‌گویی است که برای تقریب احتمال زنده ماندن بیماران حساس همچون موارد ایست قلبی و حوادث خطرناک دیگر در سیستم EMS استفاده می‌شود. رابطه (1) بیانگر روش محاسبه احتمال بقا و تابعی از زمان پاسخ‌گویی T_r می‌باشد.

$$P(T_r) = \frac{1}{1+\exp(-0.26+0.139*T_r)} \quad (1)$$

بنابراین، با استفاده از تقاضای خدمات سطح بالا و رابطه (1) برای محاسبه احتمال بقا می‌توان هدف بیشینه‌سازی مجموع احتمال بقا برای تمام گره‌ها به مدل افزود. و در نهایت، تابع هدف سوم مرتبط با کمینه‌سازی هزینه ساخت و عملیات پایگاه‌های اورژانسی در سطح شهر نیز می‌باشد.

در ادامه متغیرو پارامترهای موردنیاز مدل و سپس مدل نهایی برای مدل ریاضی فازی مکان‌یابی-تخصیص سلسله‌مراتبی ارائه شده:

I	گره‌های تقاضا $I = ۱,۲,...,n$
J	پایگاه‌های سطح پایین $J = ۱,۲,...,m$
K	پایگاه‌های سطح بالا $K = ۱,۲,...,w$
x_{ijk}	اگر جمعیت گره تقاضای i به سرور سطح پایین در مکان j و سپس به سرور سطح بالا در گره k تخصیص یابد، مقدار 1و در غیر این‌صورت صفر.
w_j	متغیر مکان‌یابی سرورهای سطح پایین است که اگر سروری در آن جایابی شده باشد، مقدار 1 و در غیر این‌صورت مقدار صفر.
z_k	متغیر مکان‌یابی سرورهای سطح بالا است که اگر سروری در آن جایابی شده باشد، مقدار 1 و در غیر این‌صورت مقدار صفر.
C_j	هزینه باز و عملیاتی بودن مراکز خدماتی سطح پایین در گره j

www.SID.ir

Archive of SID

K_k هزینه باز و عملیاتی بودن مراکز خدماتی سطح پایین در گره k

p_l تعداد مراکز سطح پایین که باید مکان‌یابی شود.

p_h تعداد مراکز سطح بالا که باید مکان‌یابی شود.

a_i جمعیت در گره تقاضای i

d_i^k تعداد تقاضای خدمات سطح بالا K در گره i

f_i نرخ ظهور درخواست برای خدمات در گره i

λ_j^L نرخ ورود درخواست به سرور سطح پایین j

λ_k^H نرخ ورود درخواست به سرور سطح بالای j

μ_j^L نرخ سرویس در سرور سطح پایین j

μ_k^H نرخ سرویس در سرور سطح بالای k

ρ_j^L λ_j^L / μ_j^L

ρ_k^H λ_k^H / μ_k^H

β_j درصدی از درخواست‌های گره‌های سطح پایین j که درخواست خدمات سطح بالا را هم دارند.

مدل ریاضی فازی:

(2) $$Max\ Z_1 = \sum_i \sum_j \sum_k a_i\, x_{ijk}$$

(3) $$Max\ Z_2 = \sum_i \sum_j \sum_k d_i^k P_{ijk} x_{ijk}$$

(4) $$Min\ Z_3 = \sum_j C_j\, w_j + \sum_k K_k\, z_k$$

(5) $$\sum_{j,k} x_{ijk} = 1 \qquad \forall i$$

(6) $$x_{ijk} \le w_j \qquad \forall i, j, k$$

(7) $$x_{ijk} \le z_k \qquad \forall i, j, k$$

(8) $$\sum_{i,k} f_i x_{ijk} \le \mu_j^L \sqrt[b+2]{1-\alpha} \qquad \forall j$$

(9) $$\sum_{i,j} \beta_j f_i x_{ijk} \le \mu_k^H \rho_{\alpha k}^H \qquad \forall k$$

(10) $$\sum_j w_j = p_l$$

www.SID.ir

Archive of SID

$$\sum_k z_k = p_h \quad (11)$$

$$x_{ijk},\ w_j,\ z_k = 0,\ 1 \qquad \forall i, j, k \quad (12)$$

رابطه(5) بیانگر این است که هر گره تقاضا به یک پایگاه سطح پایین و یک پایگاه سطح بالا تخصیص یابد. رابطه(6) تخصیص هر گره را تنها به پایگاه سطح پایینی محدود می‌کند که باز باشد. رابطه(7) نیز مشابه محدودیت قبل را برای تخصیص گره به پایگاه سطح بالا ایجاد می‌کند. رابطه(8) و (9) شرط کیفیت برای ارائه خدمات در مراکز خدماتی است که بیانگر احتمال وجود کمتر از b تعداد در صف انتظار برای هر نوع مراکز خدماتی با حداقل α می‌باشد که با استفاده از تئوری صف، پارامترهای پایه نرخ تقاضا و نرخ سرویس و ارتباط میان دو پارامتر در رابطه‌های صف در دو سطح کیفیت خدمات توسعه یافتند که جزئیات آن در پژوهش (Marianov & Serra, 2001) و (Shavandi & Mahlooji, 2006) به تفصیل بیان شده است. رابطه(10) و (11) بیانگر محدودیت ظرفیت جایابی تعداد معینی از تسهیلات اورژانسی است که بدین ترتیب تنها به همان تعداد پایگاه سطح پایین و بالا را برای خدمات‌رسانی انتخاب می‌کند.

جهت حل مدل ریاضی و یافتن پاسخ بهینه از الگوریتم ژنتیک NSGA-II[4] استفاده شده است. الگوریتم ژنتیک با مرتب‌سازی نامغلوب اولین بار توسط اسرینیواس و دب (1995) مطرح شده که با وجود پیچیدگی محاسباتی بالا، نبود نخبه‌گرایی و نیاز به تعیین پارامترهای مشترک، پس از آن نسخه توسعه‌یافته آن با نام NSGA-II توسط دب و همکاران (Deb, Pratap, Agarwal, & Meyarivan, 2002) ارائه شد. این نسخه نسبت به الگوریتم‌های ابتکاری دیگر از سرعت بالاتر و پیچیدگی پایین‌تری برخوردار است. همچنین، دارای فاصله ازدحامی برای دستیابی به جبهه جواب یکنواخت‌تری نسبت به سایر الگوریتم‌ها و تخمین دانسیته نقاط پیرامون پاسخ می‌باشد. مرتب‌سازی در الگوریتم ژنتیک چندهدفه براساس دو عامل مهم کیفیت و نظم انجام می‌گیرد و کیفیت پاسخ‌ها بر نظم مقدم است (A. Rahmati, Hajipour, & A. niaki, 2013).

- **رمزنگاری:**

بنا به تعریف مسئله برای رمزنگاری، در اینجا از ماهیت الگوریتم ژنتیک پیوسته برای کدنویسی کروموزوم‌ها استفاده شده، به‌گونه‌ای که هر ژن از کروموزوم‌ها با تولید عددی تصادفی میان صفر و یک کدگذاری می‌شوند.

- **تولید جمعیت آغازین:**

تولید جمعیت آغازین و حجم آن جهت ایجاد پاسخ‌های بهینه در مجموعه جواب‌های شدنی و با استفاده از اپراتورهای الگوریتم اهمیت فراوان دارد. یکی از روش‌های انتخاب جمعیت ورودی، روش تصادفی است که در این پژوهش به‌کار گرفته شده است.

- **برازندگی کروموزوم‌ها:**

گام بعدی، تعیین برازندگی کروموزوم‌های تولیدشده است که در هر گردش از الگوریتم هر یک از آن‌ها رمزگشایی و ارزش تابع هدف آن تعیین می‌شود. میزان برازندگی تعیین‌کننده احتمال انتخاب کروموزوم است که با استفاده از توابع هدف مسئله مکان‌یابی-تخصیص سلسله‌مراتبی محاسبه می‌شود.

[4] .Non-dominate Sorting Genetic Algorithm-II

www.SID.ir

Archive of SID

- **انتخاب زاینده:**

گام بعدی برای انتخاب زاینده، انواع گوناگونی از فرایندهای انتخاب وجود دارد که درخور مسئله و یا انتخاب پژوهشگر برای الگوریتم به‌کار گرفته می‌شود. در این‌جا از روش تصادفی برای فرایند انتخاب استفاده می‌گردد.

- **تقاطع:**

اپراتور تقاطع با استفاده از انتخاب دو والد، فرزندان جدیدی ایجاد می‌کند که تعداد آن‌ها pc درصد از جمعیت پیشین است. در فرایند تقاطع به تعداد جمعیت تولیدشده، زاینده انتخاب و با استفاده از کدهای ژنتیکی کروموزوم هر دو والد، فرزندان جدید ایجاد می‌شوند. در اینجا یک تقاطع حسابی که نوع خاصی از اپراتور تقاطع پیوسته می‌باشد، به‌کار گرفته شده است. در این روش با استفاده از مقداردهی به متغیر دیگری با نام α با رشته‌ای متناسب با کروموزوم مطابق با رابطه(13) ژن‌های جدید برای فرزندان ایجاد می‌شود. حال اگر فرض شود دو زاینده انتخابی x_1 و x_2 وجود دارد و با تقاطع دو فرزند y_1 و y_2 ایجاد می‌شود، بنابراین طبق رابطه(14) و رابطه(15) مقدار α جایگزین و دو فرزند با کروموزوم‌های تغییریافته تولید می‌شود. اپراتور تقاطع کمک می‌کند تا عضوهای جدیدی حاصل شود که بیان‌گر تغییر در گره‌های پوشش‌یافته و نیز مکان‌های انتخاب‌شده برای جایابی پایگاه‌های اورژانس است.

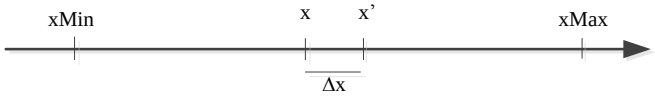
(13) $\alpha = (\alpha_1, \alpha_2, ..., \alpha_n) \qquad 0 \le \alpha \le 1$

(14) فرزند اول $\qquad y_{1i} = \alpha_i x_{1i} + (1-\alpha_i) x_{2i}$

(15) فرزند دوم $\qquad y_{2i} = \alpha_{1i} x_{2i} + (1-\alpha_i) x_{1i}$

- **جهش:**

اپراتور جهش، اپراتور دیگری است که به الگوریتم ژنتیک کمک می‌کند تا پاسخ‌های متفاوت را در نقاط گوناگون فضای شدنی جست‌وجو کند. تعداد جمعیت جهش برابر با pm درصد از جمعیت ابتدایی است. روشی برای جهش الگوریتم پیوسته انتخاب شده که مقدار x برخی از ژن‌ها را در بین یک مقدار بیشینه xMax و کمینه xMin قرار داده و برای ایجاد مقدار جدید برای ژن‌های کروموزوم مقداری به میزان Δx به آن می‌افزاید. مقدار Δx را می‌توان به‌طور تقریبی، توزیعی نرمال با میانگین صفر و واریانس $\Delta x \sim N(0,\sigma^2)$ دانست. بدین ترتیب، مقدار جدید برابر خواهد بود با $x' = x + \Delta x \sim N(x, \sigma^2)$. مقدار انتخابی برای افزایش به ژن نمی‌تواند بسیار بزرگ باشد، چون پراکندگی ژنتیکی را افزایش می‌دهند. به‌همین دلیل از یک مقدار کوچک وابسته به محدوده مقدار ژن به‌صورت تصادفی انتخاب و یا برای الگوریتم تعریف می‌شود. شکل(1) نمایی از فرایند تغییر مقدار x و انجام جهش را بر روی هر ژن از کروموزوم نشان می‌دهد.



شکل(1). نمایی از فرایند تغییر مقدار x

- **انتخاب جمعیت آینده:**

با توجه به فرایندهای ایجاد جمعیت ابتدایی، تقاطع و جهش، اکنون سه نوع جمعیت وجود دارد که می‌بایست از این میان به میزان جمعیت ابتدایی نگه‌داشته و مابقی از الگوریتم حذف شوند. بنابراین، هر سه مجموعه جمعیتی با

www.SID.ir

Archive of SID

هم ادغام شده و براساس ارزش برازندگی که برای هر کدام از افراد جمعیت از پیش محاسبه شده، مرتب می‌شوند. به‌منظور رتبه‌بندی جمعیت در الگوریتم ژنتیک چندهدفه (NSGA-II)، دو اپراتور مرتب‌سازی نامغلوب و فاصله ازدحامی با استفاده از رویکرد پارتو به‌کار گرفته می‌شوند.

- **رتبه‌بندی (مرتب‌سازی نامغلوب):**

اپراتور رتبه‌بندی، نخست حل‌های شدنی دو به دو مقایسه می‌کند تا از برآیند آن تعداد حل‌هایی که بر دیگر حل‌ها غالب بوده و یا تعداد دفعاتی که مغلوب می‌شوند، تعیین شود. به ازای تمام اعضای جمعیت مجموعه S_p و تعداد n_p به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

- اگر p بر q غلبه کند، q به S_p افزوده می‌شود؛
- اگر q بر p غلبه کند، n_p به میزان یک واحد افزایش می‌یابد.

سپس، عضوهایی از جمعیت که دارای $n_p=0$ باشند، به جبهه اول F_1 انتقال پیدا می‌کنند. در غیر این‌صورت، با چشم‌پوشی از اعضای جبهه اول و اثرگذاری آن‌ها، به‌همین شیوه اعضای جبهه‌های بعد مشخص می‌شوند. این فرایند تا زمانی‌که جبهه تمام اعضای جمعیت تعیین شود، تکرار می‌یابد. در این‌جا، k شمارنده جبهه در نظر گرفته می‌شود که در ابتدا k=1 خواهد بود. مجموعه Q به‌عنوان پیش‌نویسی از F_{k+1} درنظر گرفته می‌شود. به‌ازای هر عضو از جمعیت S_p مانند q، یک واحد از n_q کاهش می‌یابد. حال، اگر $n_q=0$ شود، q به مجموعه Q اضافه می‌شود و هر زمان که مجموعه Q خالی باشد، فرایند مرتب‌سازی به انتها رسیده است (Deb, Pratap, Agarwal, & Meyarivan, 2002).

تا زمانی‌که رتبه‌بندی تعیین‌کننده باشد، تنها از اپراتور اول برای انتخاب جمعیت آینده استفاده می‌شود. به‌گونه‌ای که اعضای جمعیت با جبهه پایین‌تر به نسل بعد انتقال پیدا می‌کنند. اما در جایی‌که می‌بایست در یکی از جبهه‌ها تنها چند عضو برگزیده شود، دیگر رتبه‌بندی تأثیرگذار نیست و اپراتور فاصله ازدحامی[5] به‌کار گرفته می‌شود.

- **فاصله ازدحامی:**

اپراتور فاصله ازدحامی نسبت فاصله پوشش‌یافته توسط حل شدنی در فضای برداری دو تابع هدف را با رابطه(16) محاسبه می‌کند. در نهایت، فاصله ازدحامی هر پاسخ با استفاده از حاصل‌جمع فاصله ازدحامی به‌ازای هر کدام از توابع هدف مطابق با رابطه(17) به‌دست می‌آید. هر چه فاصله ازدحامی یک پاسخ بیشتر باشد به معنای پوشش بیشتری از یک فضای خالی و تنوع بیشتر پاسخ‌ها می‌باشد.

$$d_i^j = \frac{\left| f_j^{i+1} - f_j^{i-1} \right|}{f_j^{\max} - f_j^{\min}} \quad (16)$$

$$d_i = d_i^1 + d_i^2 + \ldots + d_i^m = \sum_{j=1}^{m} d_i^j \quad (17)$$

در نهایت، با استفاده از دو اپراتور بیان شده جمعیت برای انتقال به نسل آینده انتخاب می‌گردد. اگر فرض شود، P(t) جمعیت کنونی و Q(t) جمعیت جدید برآمده از دو اپراتور تقاطع و جهش است. برای انتخاب جمعیت جدید، این دو با هم ترکیب شده و ابتدا با رتبه‌بندی نامغلوب، رتبه‌بندی می‌شوند. بنابراین اعضای با رتبه بالاتر به مرحله بعد

[5] .Crowding Distance

www.SID.ir

Archive of SID

راه پیدا می‌کنند، اما اعضایی از جمعیت در جبهه سوم به دلیل محدودیت تعداد جمعیت نمی‌توانند به‌طور کامل به جمعیت افزوده شوند. اعضای جبهه سوم چون از یک رتبه برخوردارند، دیگر رتبه‌بندی عامل موثری برای انتخاب اعضای بهتر آن نیست و بنابراین با استفاده از محاسبه فاصله ازدحامی هر عضو به انتخاب اعضای با فاصله ازدحامی بیشتر به میزان لازم برای تعداد جمعیت مبادرت می‌شود (A. Rahmati, Hajipour, & A. niaki, 2013).

- **دستور پایان الگوریتم:**

فرایند حل مدل توسط الگوریتم ژنتیک با تعیین تعداد گردش‌های آن پایان می‌یابد.

4- موردمطالعه و یافته‌ها

در این بخش از پژوهش، مکان‌یابی-تخصیص پایگاه‌های آمبولانس شهر بوشهر به‌عنوان نمونه‌ای واقعی از مسئله برای کاربرد مدل ریاضی مکان‌یابی-تخصیص سلسله‌مراتبی انتخاب شده است. شهر براساس آمارهای سال 1391 دارای جمعیتی بالغ بر 188405 نفر است. با توسعه شهری و شکل‌گیری بخش‌های حاشیه، جمعیت نیز افزایش یافته است به‌گونه‌ای که با وجود تفکیک شدن ناحیه‌ها، هر کدام از توزیع جمعیتی و تراکم متفاوت برخوردار است.

اکنون شهر بوشهر دارای 3 ایستگاه آمبولانس است که در این میان یک پایگاه مرکزی با دو آمبولانس و بقیه ایستگاه‌هایی با ظرفیت یک آمبولانس می‌باشند. اغلب آمبولانس‌های مورد استفاده از نوع B بوده و کمتر از آمبولانس سطح بالاتر و یا حتی سطح دیگر استفاده می‌شود. با بررسی داده‌های موردنظر در مرکز فوریت‌های پزشکی شهر بوشهر، تعداد مأموریت‌ها و میانگین مأموریت‌ها در واحد زمان برای هر پایگاه کنونی به‌دست آمد که در جدول(3) بیان شده است. همچنین، جهت دستیابی به درصد تماس(مأموریت)هایی که از حساسیت بالاتری برخوردار هستند و نیاز است به سطح بالاتر ارجاع داده شوند، تعداد آن‌ها در داده‌های اورژانسی تفکیک شده است. میانگین آن‌ها 118 مأموریت در طول ماه بوده که دربرگیرنده 20/18 درصد از میانگین کل مأموریت‌های فوریتی می‌باشد.

جدول(3). میانگین تعداد مأموریت‌ها

پایگاه	میانگین تعداد مأموریت (30روز)	میانگین تعداد مأموریت (1روز)
1	341	11
2	210	7
3	135	5
4	79	3

در این پژوهش به‌منظور مکان‌یابی پایگاه‌های آمبولانس و تخصیص آن‌ها به بخش‌های متفاوت تقاضا در بوشهر، شهر به ناحیه‌های مختلفی افرازبندی شده است. تراکم جمعیتی و خیابان‌های اصلی عوامل موثر بر افرازبندی شهر می‌باشند که در اینجا پوشش جمعیتی و یا به عبارتی تراکم جمعیت برای افرازبندی شهر مدنظر قرار گرفته است. در نهایت، به‌طور کلی شهر به 10 بخش تقاضا برای پوشش خدمات اورژانسی تفکیک شده که مرکز هر بخش به‌عنوان گره تقاضا تعیین شد.

بدین ترتیب جهت یافتن ارزش پارامتر جمعیت a_i مدل در مسئله واقعی، ابتدا جمعیت گره‌ها بازیابی شده است. در همین راستا، اندازه جمعیت با استفاده از نقشه افرازبندی‌شده و آمار جمعیتی در ناحیه‌های مختلف شهر محاسبه شده که جدول(4) بیانگر جمعیت در هر گره می‌باشد.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول(4). جمعیت هر گره

گره	جمعیت (هزار نفر)
1	35850
2	39875
3	15796
4	13711
5	2919
6	26614
7	9002
8	14661
9	20121
10	9857

10 گره تقاضا و 7 مکان بالقوه برای پایگاه فوریت‌های پزشکی در شهر بوشهر در نظر گرفته شد. شاخه‌های گراف مسیر شدنی میان گره‌ها و پایگاه‌ها است که با در نظر گرفتن تخصیص نزدیک‌ترین پایگاه، کوتاه‌ترین فاصله میان هر گره تا هفت پایگاه بالقوه محاسبه شد. فاصله میان گره‌ها و پایگاه‌های بالقوه براساس فاصله اقلیدسی نوع اول به‌دست آمده و در جدول(5) بیان شده است.

جدول(5). فاصله میان گره‌ها و پایگاه‌ها

پایگاه / گره	1	2	3	4	5	6	7
1	0	7030	2040	2350	1400	3840	3930
2	8630	0	6590	10030	9290	4900	4800
3	2620	4500	3700	2450	1200	5940	5840
4	2040	4990	0	3880	2800	1890	1790
5	1800	5850	1600	4060	1900	3490	3390
6	2350	5930	3880	0	2990	5330	5230
7	1400	7690	2800	2990	0	4590	4490
8	2100	5500	1960	1730	2700	2400	2300
9	3930	4200	1890	5330	4590	0	100
10	3830	3200	1790	5230	4490	100	0

سپس، با استفاده از افرازبندی شهر و داده‌های مرتبط با تماس‌های فوریت‌های پزشکی در مرکز اورژانس، تقاضای و نرخ تقاضای هر گره گردآوری و محاسبه شد. نرخ تقاضا، تعداد تقاضا در هر واحد زمان را نشان می‌دهد که در اینجا واحد زمانی برای نرخ تقاضا ساعت در نظر گرفته شده است. نرخ تقاضا پارامتری از نوع عدد فازی مثلثی است که با توجه به مقدارهای فازی، نرخ تقاضای دی‌فازی‌شده مرتبط با هر گره در جدول(6) قرار داده شده است. افزون بر نرخ تقاضا برای شناسایی تعداد تقاضای حساس و در سطح بالا، تعداد تقاضا برای بیشینه‌سازی تعداد بیماران نجات‌یافته در تابع هدف دوم مسئله با جداسازی تقاضای حساس از تقاضاهای عادی در هر گره و با واحد زمانی در هر روز به-

www.SID.ir

Archive of SID

دست آمده است.

جدول(6). تقاضای حساس و نرخ تقاضا

گره	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
نرخ تقاضا	0/154	0/058	0/071	0/154	0/063	0/058	0/104	0/104	0/033	0/038
تقاضا	1/49	1/01	0/56	1/49	0/6	0/56	0/69	1/01	0/32	0/36

به‌منظور مکان‌یابی-تخصیص پایگاه‌ها در دو سطح خدماتی، هفت پایگاه برای بوشهر به‌عنوان پایگاه‌های بالقوه در نظر گرفته شد. بنابراین، با استفاده از داده‌های مربوط به زمان سرویس در پایگاه‌های کنونی و با توجه به داده‌های تقاضا، میانگین زمان سرویس پایگاه‌های بالقوه به‌دست آمد. زمان سرویس تقاضا سطح پایین و تقاضا سطح بالا نرخ سرویس هر دو سطح از پایگاه یکسان در نظر گرفته شد. با توجه به عدد فازی مثلثی نرخ تقاضا در مسئله مکان‌یابی-تخصیص، نرخ سرویس دی‌فازی‌شده در جدول(7) نمایان است. زمان پاسخ‌گویی، فاصله زمانی میان اعزام واحد اورژانسی تا رسیدن آن به محل وقوع حادثه می‌باشد. در اینجا، سرعت آمبولانس 30کیلومتر در ساعت به‌صورت ثابت فرض شده و سپس، بر مبنای فاصله میان گره و پایگاه و سرعت ثابت، زمان پاسخ‌گویی به تقاضا به‌دست آمده است.

جدول(7). نرخ سرویس

پایگاه	1	2	3	4	5	6	7
نرخ سرویس	1/67	1/82	1/54	1/82	2/31	1/46	2/22

پارامترهای مرتبط با هزینه و فاصله استاندارد میان هر گره تا پایگاه اورژانسی در مسئله با استفاده از نظر کارشناسان برآورد و در جدول(8) بیان شده است.

جدول(8). پارامترهای دیگر مدل

پارامتر	مقدار
C_j	[200-500] میلیون (پایگاه‌های متفاوت)
K_k	[200-600] میلیون (پایگاه‌های متفاوت)
S_{dl}	[3000-5000] متر
S_{dh}	[4000-5500] متر
b	[2،1،0]
α	٪95
β	0/3

پارامترهای مورد نیاز الگوریتم ژنتیک چندهدفه بر پایه در جدول(9) مطرح شده است.

جدول(9).پارامترهای الگوریتم

پارامتر	تعداد تکرار	تعداد جمعیت	نرخ جهش	نرخ تقاطع
مقدار	100	100	/4	0/7

مدل فازی ریاضی مکان‌یابی-تخصیص سلسله‌مراتبی با روش حل الگوریتم ژنتیک چندهدفه بر پایه مرتب‌سازی

www.SID.ir

Archive of SID

نامغلوب در نرم‌افزار متلب نسخه R2015a کدنویسی و با استفاده از یک رایانه شخصی (Intel®coreTM i3 CPU-M350 @2.27GHz, 4.00GB RAM, Windows 7 64bit) حل گردید. الگوریتم ژنتیک در میانگین طول زمانی 120 ثانیه به پاسخ دست یافت.

مکان‌یابی و تخصیص پایگاه‌ها در سه سناریوی مختلف بررسی می‌شود تا الگوی بهینه به‌دست آید. اولین سناریو برای ایجاد 2 پایگاه سطح پایین و 2 پایگاه سطح بالا انتخاب شده که نتایج حاصل از آن در جداول(10)(11)(12) ارائه شده است.

جدول(10): مقدار توابع هدف (2 پایگاه سطح پایین، 2 پایگاه سطح بالا)

تابع هدف	بیشینه پوشش	بیشینه بقا	کمینه هزینه
سناریو اول	183230	3/71	1345

جدول (11): الگوی مکان‌یابی پایگاه در هر دو سطح (2 پایگاه سطح پایین، 2 پایگاه سطح بالا)

پایگاه	1	2	3	4	5	6	7
سطح پایین	1	1	-	-	-	-	-
سطح بالا	1	1	-	-	-	-	-

جدول(12): الگوی تخصیص پایگاه به گره تقاضا (2 پایگاه سطح پایین، 2 پایگاه سطح بالا)

گره / پایگاه	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
سطح پایین	1	2	1	1	1	1	1	1	1	2

سپس، سناریوی دیگری برای مسئله طرح شد که براساس آن، مدل ریاضی به مکان‌یابی 3 پایگاه سطح پایین و 2 پایگاه سطح بالا مبادرت می‌کند. مطابق با نتایج به‌دست آمده از سناریو دوم، 99/7٪ جمعیت شهر پوشش می‌یابد و 26/4٪ از تقاضا در زمان مناسب خدمت‌رسانی شده و نجات پیدا می‌کنند.

جدول (13): مقدار توابع هدف (3 پایگاه سطح پایین، 2پایگاه سطح بالا)

تابع هدف	بیشینه پوشش	بیشینه بقا	کمینه هزینه
سناریوی دوم	187910	3/97	1535

جدول(14): الگوی مکان‌یابی پایگاه در هر دو سطح (3 پایگاه سطح پایین، 2پایگاه سطح بالا)

پایگاه	1	2	3	4	5	6	7
سطح پایین	1	1	1	-	-	-	-
سطح بالا	1	1	-	-	-	-	-

جدول (15): الگوی تخصیص پایگاه به گره تقاضا (3 پایگاه سطح پایین، 2پایگاه سطح بالا)

گره / پایگاه	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
سطح پایین	1	2	1	3	3	1	1	1	3	2
سطح بالا	1	2	1	1	1	1	1	1	1	2

www.SID.ir

Archive of SID

سناریو سوم با 4 پایگاه سطح پایین و 3 پایگاه سطح بالا انجام گرفت و نتایج حاصل از آن در جداول(16)(17)(18) نشان داده شده است. سناریو سوم با پوشش کل جمعیت و 27/2٪ از تقاضا به مکان‌یابی پایگاه‌های اورژانسی و تخصیص آن‌ها پرداخته است.

جدول(16): مقدار توابع هدف (4 پایگاه سطح پایین، 3 پایگاه سطح بالا)

تابع هدف	بیشینه پوشش	بیشینه بقا	کمینه هزینه
سناریوی سوم	188405	4/08	2266

جدول(17): الگوی مکان‌یابی پایگاه در هر دو سطح (4 پایگاه سطح پایین، 3 پایگاه سطح بالا)

پایگاه	1	2	3	4	5	6	7
سطح پایین	1	1	1	-	-	1	-
سطح بالا	1	1	-	-	1	-	-

جدول(18): الگوی تخصیص پایگاه به گره تقاضا (4 پایگاه سطح پایین، 3 پایگاه سطح بالا)

گره / پایگاه	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
سطح پایین	1	2	1	3	3	1	1	1	6	6
سطح بالا	1	2	5	1	1	1	5	1	1	2

حال، با مقایسه سه سناریو و باتوجه به مقدار توابع هدف در جدول(10)، جدول(13) و جدول(16) می‌توان گفت که در هر سه سناریو تمام گره‌های تقاضا پوشش یافته‌اند. اما درجه عضویت‌های متفاوت، جمعیت پوشش‌یافته را تغییر می‌دهد. جمعیت پوشش‌یافته با افزایش ظرفیت پایگاه‌ها در سه سناریو به‌ترتیب افزایش یافته و همراه با آن بر ارزش بیشینه بقا نیز افزوده شده است. باتوجه به دو هدف اول بیشینه‌سازی با افزایش ظرفیت سیستم اورژانسی، مسئله به مقدار بهتری در دو تابع هدف دست پیدا می‌کند، اما با درنظرگرفتن افزایش هدف کمینه‌سازی هزینه می‌بایست میزان بهبودی پاسخ‌ها را با هم سنجید. ارزش توابع هدف پوشش و بقا نسبت به سناریو اول به‌ترتیب 2/7٪ و 1/7٪ بهبود پیدا کرده است. اما ارزش توابع هدف در سناریو سوم نسبت به سناریو دوم با تغییرات اندکی همراه بوده و در همین حال، هزینه افزایش قابل توجهی داشته است. بنابراین، سناریو دوم با پوشش بیشتر جمعیت و افزایش تقاضا و هزینه متوسط نسبت به دو سناریو دیگر می‌تواند به‌عنوان بهترین سناریو انتخاب شود. درنتیجه، سناریوی دوم که از تعداد تسهیلات کم‌تری استفاده کرده و در همین حال شهر را با 99/7٪ پوشش می‌دهد، مناسب‌تر است.

5- نتیجه‌گیری

مکان‌یابی-تخصیص به منظور پوشش حداکثری مناطق و خدمت‌دهی مطلوب به بیماران، یکی از مسائل پر اهمیت سیستم خدمات فوریت‌های پزشکی به‌شمار می‌آید. پژوهش حاضر در پی ارائه مدل ریاضی فازی به‌منظور مکان‌یابی-تخصیص تسهیلات سلسله‌مراتبی در حوزه خدمات فوریت‌های پزشکی بوده که در این راستا، از مدل‌های پوششی و تسهیلات سلسله مراتبی استفاده کرده و مدل ریاضی با ترکیبی از تئوری صف را مبنای دستیابی به اهداف پژوهش قرار داده است. مدل پوششی HiQ-MCLP مدلی توسعه‌یافته از مدل MCLP بوده که برای پوشش حداکثری و افزایش کیفیت خدمات ارائه شده است. با نظر به اهمیت زمان انتظار در سیستم‌های اورژانسی، میانگین

www.SID.ir

Archive of SID

زمان پاسخ‌گویی و تعداد افراد در حال انتظار به‌عنوان دو معیار عملکرد برای افزایش سرعت پاسخ‌گویی و کیفیت خدمات مورد استفاده قرار گرفت. همچنین، سه تابع هدف بیشینه کردن جمعیت پوشش‌یافته، بیشینه‌سازی تعداد بیماران نجات‌یافته در تقاضاهای حساس و کمینه کردن هزینه‌های راه‌اندازی برای ارائه مدل چندهدفه به‌کار گرفته شد. کاربرد این اهداف به‌صورت جداگانه در مسائل مکان‌یابی واقعی، مسئله را ملزم به نادیده گرفتن برخی از واقعیت-های موجود در سیستم می‌کند و گاهی اوقات تنها با تأکید بر یک هدف مانند هدف بیشینه‌سازی برابری در دسترسی پاسخ غیرمنطقی و غیرمعقولی به مسئله داده می‌شود.

در همین راستا، اعداد فازی برای نرخ تقاضا، نرخ سرویس و طول صف (محدودیت کیفیت در دو سطح) و مجموعه‌های فازی برای ضریب فازی تابع هدف بیشینه‌سازی جمعیت تحت پوشش به‌کار گرفته شد. کاربرد ماهیت فازی مسئله به انتخاب مسیر تخصیص برمی‌گردد که به مسئله کمک می‌کند تا مسیرهای گوناگونی با بیان درجه عضویت هر یک از آن‌ها برای هرگره و تسهیلات به آن‌ها تخصیص داده شود. در نهایت، با توجه به چندهدفه بودن مدل ریاضی ارائه‌شده، به‌کارگیری الگوریتم ژنتیک چندهدفه بر پایه مرتب‌سازی نامغلوب جهت حل مدل نتایج منطقی و مناسبی برای موردمطالعه شهربوشهر به همراه داشت.

بیان این نکته حائز اهمیت است که مسئله مسیریابی در خدمات‌رسانی فوریتی جهت پاسخ‌گویی سریع بسیار کارآ بوده و در تخصیص می‌تواند به‌کار گرفته شود. همچنین، اولویت بندی بیماران در خدمات فوریت‌های پزشکی کمک می‌کند تا در صورت ایجاد صف انتظار در سیستم، مدل به‌صورت هوشمندانه‌تری تخصیص بعدی را براساس اولویت رسیدگی به آن تعیین کند.

6- منابع

A. Rahmati, S., Hajipour, V., & A. niaki, A. (2013). A soft-computing pareto-based meta-heuristic algorithm for a multi-objective multi-server facility location problem. *Applied Soft Computing, 13*(4), 1728-1740.

Abo-Hamad, W., & Arisha, A. (2013). Simulation-based framework to improve patient experience in an emergency department. *European Journal of Operational Research, 224*(1), 154-166.

Alsalloum , O., & Rand, G. (2006). Extensions to emergency vehicle location models. *Computers & Operations Research*, 2725-2743.

Alsalloum, O., & Rand, G. (2003). A goal programming model applied to the ems system at riyadh city. *Management Science Working Paper Series*.

Amiri, A. (1997). Solution procedures for the services system design problem. *Computers & Operations Research, 24*(1), 49-60.

Araz, C., Selim, H., & Ozkarahan, I. (2007). A fuzzy multi-objective covering-based vehicle location model for emergency services. *Computers & Operations Research, 34*(3), 705–726.

Basar, A., Catay, B., & Unluyurt, T. (2009). A new model and tabu search approach for planning the emergency service stations. *Operations Research Proceedings*, 41-46.

C. Teixeira, J., & P. Antunes, A. (2008). A hierarchical location model for public facility planning. *European Journal of Operational Research, 185*(1), 92-104.

Chanta, S., E. Mayorga, M., & A. McLay, L. (2014). The minimum p-envy location problem with requirement on minimum survival rate. *Computers & Industrial Engineering, 74*, 228-239.

Church, R., & Revelle, C. (1974). The maximum covering location problem. *Papers Regiona Science Association, 32*(1), 101-118.

d. A. Correa, F., & A. N. Lorena, L. (2006). Using the Constructive Genetic Algorithm for Solving the Probabilistic Maximal Covering Location-Allocation Problem. *INTERNATIONAL JOINT CONFERENCE; WORKSHOP ON COMPUTATIONAL INTELLIGENCE*.

www.SID.ir

Archive of SID

Daskin, M. (1983). A maximum expected covering location model: Formulation, properties and heuristic solution. *Transportation Science, 17*(1), 48-68.

Deb, K., Pratap, A., Agarwal, S., & Meyarivan, T. (2002). A Fast and Elitist Multiobjective Genetic Algorithm:NSGA-II. *Evolutionary Computation, IEEE Transactions, 6*(2), 182-197.

Dessouky, M. (2006). Rapid distribution of medical supplies. In: Patient flow: reducing delay in healthcare delivery. *Springer USA*, 309-339.

Erkut, E., Ingolfsson, A., & Erdogan, G. (2007). Ambulance location for maximum survival. *Naval Research Logistics, 55*(1), 42-58.

Hogan, K., & Revelle, C. (1986). Concepts and applications of backup coverage. *Management Science, 32*(11), 1434-1444.

J. Comber, A., Sasaki, S., Suzuki, H., & Brunsdon, C. (2010). A modified grouping genetic algorithm to select ambulance site locations. *International Journal of Geographical Information Science, 25*(5), 807-823.

J.ratick, S., P.Osleeb, J., & Hozumi, D. (2009). Application and extension of the Moore and ReVelle hierarchical maximal covering model. *Socio-Economic Planning Sciences, 43*(2), 92-101.

Jia, C., Lin, Z., & Song, Y. (2012). research on emergency resource dispatching model based on cost-benefit analysis. *Systems Engineering Procedia, 5*, 295 – 300.

Lim, C., Mamat, R., & Braunl, T. (2011). Impact of Ambulance Dispatch Policies on Performance of Emergency Medical Services. *Intelligent Transportation Systems, IEEE Transactions, 12*(2), 624 - 632.

Mandell, M. (1998). Covering models for two-tiered emergency medical services systems. *Location Science, 6*(1), 355-368.

Marianov, V., & Serra, D. (2001). Hierarchical location–allocation models for congested systems. *European Journal of Operational Research, 135*(1), 195-208.

Moore, G., & Revelle, C. (1982). The hierarchical services location problem. *Managemen Science, 28*(7), 48-70.

Mousavi, S., & Akhavan Niaki, S. (2013). Capacitated location allocation problem with stochastic location and fuzzy demand: A hybrid algorithm. *Applied Mathematical Modelling, 37*(7), 5109-119.

Revelle, C., & Hogan, K. (1989). The maximum reliability location problem and alpha reliable p-center problems: derivatives of the probabilistic location set covering problem. *Annals Operations Research, 18*(1), 155-174.

S. Syam, S. (2008). A multiple server location–allocation model for service system design. *Computers & Operations Research, 35*(7), 2248 – 2265.

Schilling, D. (1980). Dynamic location modeling for public-sector facilities: a multicriteria approach. *Decsion Science*, 714-724.

Schilling, D., Elzinga, D., Cohon, J., Church, R., & Revelle, C. (1979). The teem/fleet models for simultaneous facility and equipment sitting. *Transportation Scince, 13*(2), 163-175.

Shavandi, H., & Mahlooji, H. (2006). A Fuzzy Queuing Location Model with a Genetic Algorithm for Congested Systems. *Applied Mathematics and Copmutation, 181*(1), 440-456.

Storbeck, J. (1989). Slack, natural slack and location covering. *Socio-Economic Planning ScienceS, 16*(3), 99-105.

Toregas, C., Swain, R., Revelle, C., & Bergman, L. (1971). The location of emergency service facilities. *Operations Research, 19*(6), 1363-1373.

Toro-Diaz, H., E. Mayorga, M., Chanta, S., & A. McLay, L. (2013). Joint location and dispatching decisions for Emergency Medical Services. *Computers & Industrial Engineering, 64*(4), 917-928.

Wen, M., & Iwamura, K. (2008). Facility location–allocation problem in random fuzzy environment: Using (α,β) -cost minimization model under the Hurewicz criterion. *Computers & Mathematics with Applications, 55*(4), 704-713.

Yang, L., F. Jones, B., & Yang, S.-H. (2007). A fuzzy multi-objective programming for optimization of fire station locations through genetic algorithms. *European Journal of Operational Research, 181*(2), 903-915.

Yin, P., & Mu, L. (2012). Modular capacitated maximal covering location problem for the optimal siting of emergency vehicles. *Applied Geography, 34*, 247-254.

امیری, م., خاتمی فیروزآبادی, س., & مبین, م. (1391). تخصیص ایستگاه های امداد جاده ای با استفاده از مدل صف هایپرکوب در طول بزرگراه تهران-قم. *چشم انداز مدیریت صنعتی*, 45-70.

زرین پور, ن., شوندی, ح., & باقری نژاد, ج. (1390). توسعه مدل مکان یابی-تخصیص حداکثر پوشش با امکان ایجاد ازدحام در محیط رقابتی مبتنی بر انتخاب مشتری. *نشریه بین المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید, 22*(4), 393-404.

www.SID.ir

Archive of SID

سعیدیان, م., امینی زاده, ج., & امینی زاده, م. (1390). مکان یابی ایستگاه های اورژانس شهری با استفاده از GIS و بهینه سازی شبکه خدمات امدادی. *اولین کنفرانس ملی عمران و توسعه*. زیباکنار، ایران.

Abstract

Location-Allocation Problem located set of facilities in order to minimize responsibility costs to demands. This problem has great importance in public sectors in order to achieve a balance between provided services and resources efficiency. The aim of this study is to provide a hierarchical location-allocation model according to the three objectives of maximum covering, maximum survival and minimum costs and quality and capacity constraints. In this regard, fuzzy theory is used to rebuilding maximal covering objective and quality constraints. Then, it was implemented in EMS system in boushehr and was solved by Non-dominated Sorting Genetic Algorithm II. After the presentation of the parameters of demand, service rate and population, the mathematical model was solved in three different scenarios. In order to decision-making for optimal solution, results of three scenarios were compared. According to the results, it can used to serve patients in just time and to increase the survival probability of patients.

www.SID.ir