



پژوهش‌های نوین در تصمیم‌گیری

دوره ۵، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۹، صص ۶۳-۴۰

نوع مقاله: پژوهشی

ارائه مدل بهینه‌سازی ریاضی و الگوریتم‌های فرا ابتکاری

به منظور حل مسئله بلوک‌بندی مناطق جمعیتی

به صورت سلسله مراتبی

فروغ قلاسی مود^۱، حسن حسینی نسب^{۲*}، جواد طیبی^۳، محمد باقر فخرزاد^۴

۱- دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه یزد، یزد، ایران.

۲- استاد، گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه یزد، یزد، ایران.

۳- استادیار، گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی بیرجند، بیرجند، ایران.

۴- دانشیار، گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه یزد، یزد، ایران.

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۳/۱۷

تاریخ ارسال: ۱۳۹۸/۰۹/۲۱

چکیده

جمع‌آوری پسماند بیمارستانی یکی از موضوعات مهم در مدیریت خدمات شهری محسوب می‌شود. در این تحقیق یک مدل ریاضی به منظور بلوک‌بندی مناطق جمعیتی در سیستم خدمات بیمارستانی ارائه می‌شود. در این مدل مطابق با نیاز برخی از سازمان‌های متولی ارائه خدمات شهری، ساختار سلسله مراتبی بلوک‌ها مدنظر قرار گرفته است. بدین منظور در یک تصمیم‌گیری یکپارچه، مناطق جمعیتی به بلوک‌های اصلی تقسیم‌شده و سپس هر بلوک به تعدادی زیربلوک تقسیم شده است. هدف از این نوع تقسیم‌بندی، تهیه ساختار مناسب برای کنترل جریان خدمات از سطح عملیاتی به سطح مدیریتی است. با توجه به اینکه مسئله بلوک‌بندی از رده مسائل ان پی سخت است، جهت حل مثال‌های عددی در دنیای واقعی نیاز به استفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری است. در این تحقیق دو الگوریتم فراابتکاری ژنتیک و گرگ خاکستری جهت حل مسائل در ابعاد بزرگ به‌کاررفته است. طبق نتایج محاسباتی می‌توان مشاهده نمود که علیرغم وجود کارایی بالایی هر دو الگوریتم در حل نمونه‌های عددی در ابعاد کوچک، الگوریتم گرگ خاکستری توانایی بیشتری در حل نمونه‌های عددی در ابعاد بزرگ نسبت به الگوریتم ژنتیک دارد. نتایج این تحقیق می‌تواند به عنوان یک ابزار مدیریتی در حل مسئله بهینه‌سازی بلوک‌بندی مناطق جمعیتی از جمله در سیستم سلامت مورداستفاده مدیران قرار گیرد.

کلمات کلیدی: بلوک‌بندی سلسله مراتبی، الگوریتم گرگ خاکستری، الگوریتم ژنتیک



۱- مقدمه

در سال‌های اخیر مسئله مدیریت خدمات بیمارستانی تحت تأثیر فاکتورهای بسیاری از جمله محیط‌زیست، رضایت‌مندی اجتماعی، مالی و اقتصادی، سیاسی و فنی بوده که به‌طور مستقیم در توسعه مدیریت شهری مورد توجه مدیران قرار می‌گیرد [۱]. در این تحقیق تمرکز بر ایجاد ساختاری مناسب جهت مدیریت شهری در حوزه مدیریت پسماند بیمارستانی است. در این سیستم سطوح مدیریتی سعی دارند از طریق تخصیص سلسله مراتبی مناطق جمعیتی به بخش‌های مختلف، ساختار ارائه خدمات را تسهیل کنند. بدین منظور در ابتدا کل مناطق به چند بلوک اصلی تقسیم شده و سپس هر بلوک به زیر بلوک‌هایی افزای می‌شود. در دنیای واقعی منظور از بلوک‌های اصلی همان مناطق تحت پوشش بیمارستان‌های مرکزی بوده و زیربلوک‌ها مناطق تحت پوشش پیمانکاران طرف قرارداد با هر بیمارستان جهت جمع‌آوری پسماند تولیدشده در مراکز زیر نظر آن‌ها است. طبق بررسی‌های انجام‌شده تاکنون این مسئله به عنوان یک مسئله بهینه‌سازی ریاضی مورد بررسی قرار نگرفته است. بنابراین این تحقیق را می‌توان به عنوان نخستین پژوهش انجام‌شده در این حوزه قلمداد کرد.

تاکنون استفاده از مسئله بلوک‌بندی در تخصیص مناسب متقاضیان به مراکز احداث‌شده مورد توجه قرار نگرفته است. دلیل این امر را می‌توان در عدم طراحی مناسب محدودیت‌های تضمین پیوستگی و ایجاد تعادل در مسئله بلوک‌بندی دانست [۲]. با این وجود برخی از تحقیقات سعی بر منطقه‌بندی مشتریان از طریق استفاده از مدل‌های تخصیص داشتند که از این جمله می‌توان به مطالعه [۳] اشاره کرد. آن‌ها یک مدل عدد صحیح مختلط با هدف کمینه‌سازی انحرافات مثبت و منفی اندازه تقاضا از مقدار میانگین به منظور مدیریت خدمات سیستم سلامت ارائه دادند. مقاله [۴] مسئله مکان‌یابی و تخصیص را به عنوان یک مسئله غیریکپارچه به منظور جمع‌آوری پسماند در سیستم ارائه خدمات شهری مورد بررسی قرار داد. در مقاله [۵] مدل مکان‌یابی پوششی سلسله مراتبی با هدف ارائه مدلی برای مکان‌یابی و تخصیص بیمارستان‌ها و ماشین‌های واسطه شامل تخصیص بالگرد امداد و آمبولانس به نقاط تقاضا به منظور استقرار پوشش نقاط تقاضایی که در شعاع پوشش آن‌ها قرار دارد مورد بررسی قرار گرفته است. در جدول زیر برخی از جدیدترین تحقیقات ارائه شده در حوزه بهینه‌سازی ریاضی در حل مسئله مدیریت پسماند ارائه شده است.



جدول ۱- خلاصه‌ای از تحقیقات اخیر مدیریت پسماند

مرجع	مورد مطالعاتی	بلوک‌بندی	مکان‌یابی	مسیریابی	ساختار مدل		تعداد اهداف		روش حل		
					خطی	غیرخطی	کم‌هدف	چندهدف	دقیق	ابتکاری	فراابتکاری
[۳]	✓				✓		✓		✓		
[۶]	✓			✓	✓			✓		✓	
[۷]	✓		✓		✓		✓			✓	
[۸]	✓		✓	✓	✓			✓			✓
[۹]			✓	✓	✓		✓			✓	
[۴]		✓	✓		✓		✓			✓	
[۱۰]	✓		✓	✓	✓		✓		✓		
[۱۱]	✓			✓		✓				✓	
[۱۲]	✓	✓		✓	✓		✓				✓
[۱۳]	✓				✓		✓			✓	
[۱۴]	✓		✓		✓			✓		✓	
[۱۵]	✓		✓		✓			✓			✓
[۱۶]	✓		✓		✓			✓			✓
[۱۷]	✓		✓		✓		✓			✓	✓
[۱۸]	✓		✓		✓			✓			✓
[۱۹]	✓		✓		✓		✓			✓	
[۲۰]	✓		✓		✓		✓			✓	
[۲۱]				✓		✓		✓			✓
[۲۲]			✓	✓	✓			✓	✓		
[۲۳]	✓						✓				
تحقیق حاضر	✓	✓	✓		✓		✓				✓

با توجه به بررسی‌های انجام‌شده تاکنون مسئله بلوک‌بندی در حوزه مدیریت پسماند در کمتر تحقیقی موردبررسی قرار گرفته است. این در حالی است که این مسئله می‌تواند باعث



بهبود وضعیت مدیریت در کل سیستم شود. اما نکته قابل توجه این است که مسئله بلوک‌بندی چندسطحی تاکنون در هیچ پژوهشی مورد بررسی قرار نگرفته است. به عبارت دیگر می‌توان گفت که این تحقیق برای نخستین بار مسئله بلوک‌بندی را در قالب یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی به صورت سلسله مراتبی توسعه داده است. استفاده از این مدل می‌تواند به عنوان یک مدل پایه بلوک‌بندی سلسله مراتبی مورد استفاده قرار گیرد.

۲- بیان مسئله و مدل ریاضی

یکی از موضوعات بسیار مهم در امر ارائه خدمات در سیستم‌های بیمارستانی، طراحی ساختار بهینه سلسله مراتبی مبتنی بر تصمیمات مدیریتی است. در واقع سازمان‌ها تمایل دارند که سطح سازمانی خود را در سطح ارائه خدمات نیز پیاده‌سازی نمایند. مطابق با طرح اجرا شده در ساختار ارائه خدمات سیستم سلامت در ایران، سازمان‌های متولی باید مناطق تحت پوشش خود را به بخش‌های اصلی تقسیم کنند تا تصمیمات مدیریتی در این سطح انجام شود. در هر سطح نیز نیاز است که مجدداً تخصیصاتی مطابق با نظر مدیران صورت پذیرد تا در نهایت ختم به ارائه تصمیمات یکپارچه سلسله مراتبی گردد. در حقیقت تصمیمات باید به گونه‌ای باشد که در ابتدا یک بلوک اصلی تعیین شده و سپس در هر بلوک، زیربلوک‌هایی وجود داشته باشد. این موضوع باعث می‌شود که امور مدیریتی مربوط به سیستم به صورت مناسب‌تری صورت پذیرد، چراکه با تعیین یک مرکز مشخص برای هر زیر بلوک، تصمیم‌گیری‌های سطح عملیاتی در همان زیربلوک اتخاذ شده و مدیریت سطح کلان درگیر این نوع از مسائل نمی‌شود. البته از طریق ارسال گزارشات مربوطه، مراتب اجرای امور به اطلاع خواهد رسید و در صورت نیاز به اصلاح اساسی، تصمیمات لازم اتخاذ می‌شود. بنابراین تعیین مراکز محلی جهت ارائه خدمات به هر بیمارستان و سپس تعیین زیربلوک‌های تحت پوشش هر بیمارستان جهت جمع‌آوری پسماند تولید شده در مراکز زیرمجموعه آن‌ها مطلوب است. بدین منظور در این مدل تخصیصات چندسطحی مناطق جمعیتی به بلوک‌ها در قالب یک مدل ریاضی به صورت زیر ارائه می‌شود.



نمادها و مجموعه‌ها

$c, c', t, r \in \{1, 2, \dots, T\}$	نماد نقاط (مراکز درمانی محلی)	c, c', t, r
$l \in \{1, 2, \dots, L\}$	نماد سطوح موردنظر جهت بلوک‌بندی	l
مجموعه نقاط جمعیتی قرار گرفته بر روی کوتاه‌ترین مسیر ارتباطی مناطق c' و c		$H_{cc'}$
مجموعه نقاط بالقوه جهت احداث به عنوان مرکز بلوک سطح l		$Cand_l$
پارامترها		
برابر ۱ است اگر بین نقطه c و c' مسیر ارتباطی مستقیم وجود داشته باشد و در غیر این صورت برابر صفر خواهد بود		$D_{cc'}$
مسافت بین هر دو نقطه c و c'		$Dis_{cc'}$
تقاضای نقطه c		Inh_c
حداکثر تعداد نقاط قابل تخصیص به هر بلوک در سطح بلوک‌بندی l		$MaxPoP_l$
عددی مثبت و به اندازه کافی بزرگ		M
متغیرهای تصمیم		
مقدار ۱ می‌گیرد اگر نقطه c در بلوکی با مرکزیت t قرار گیرد و در غیر این صورت برابر صفر خواهد بود		X_{ct}

تابع هدف

$$Min Z = \sum_{l=1}^L \sum_{t \in Cand_l} \left| \sum_{c=1}^T Inh_c X_{ct} - \overline{INH} X_{tt} \right| \quad 1$$

محدودیت‌ها

تخصیص مناسب مناطق به بلوک‌ها

$$\sum_{t \in Cand_l} X_{ct} = 1 \quad \forall c, l \quad 2$$

$$\sum_{c=1}^T X_{ct} \leq M X_{tt} \quad \forall l, t \in Cand_l \quad 3$$



$$X_{tt} \leq \sum_{c=1}^T X_{ct} \quad \forall l, t \in \text{Cand}_l \quad ۴$$

$$\sum_{c=1}^T X_{ct} \leq \text{MaxPoP}_l \quad \forall l, t \in \text{Cand}_l \quad ۵$$

ایجاد بلوک‌هایی پیوسته

$$X_{ct} + X_{c't} - 1 \leq X_{rt} \quad \forall l, c \neq c' \in T, t \in \text{Cand}_l, r \in H_{cc'} \quad ۶$$

بلوک‌بندی چندسطحی

$$X_{ct} + X_{tr} - 1 \leq X_{cr} \quad \forall l < l', t \in \text{Cand}_l, r \in \text{Cand}_{l'}, c \in T \quad ۷$$

$$x_{ct} \in \{0,1\}$$

همان‌طور که بیان شد، یکی از مهم‌ترین معیارهای تعادل در بلوک‌بندی، ایجاد تعادل در تقاضای هر بلوک است. این معیار را می‌توان در ابعاد مختلف در نظر گرفت. بدین منظور تابع هدف به متعادل‌سازی میزان تقاضای موجود در هر بلوک می‌پردازد. این متعادل‌سازی از طریق کمیته‌سازی میزان اختلاف عدد موردنظر برای هر بلوک با میانگین جامعه برآورده می‌شود. برای این منظور میانگین معیارها از طریق فرمول ۸ محاسبه می‌شود.

$$\overline{INH} = \frac{\sum_{c=1}^T Inh_c}{T} \quad \text{فرمول ۸}$$

محدودیت (۲) تضمین می‌کند که هر منطقه جمعیتی در هر سطح تنها باید به یک بلوک تخصیص یابد. محدودیت‌های (۳) و (۴) تضمینی برای تشکیل مناسب بلوک‌ها است. این محدودیت‌ها باعث می‌شوند که در هر بلوک منطقه‌ای که به عنوان مرکز بلوک در نظر گرفته شده است، به بلوک مذکور تخصیص یابد. به بیان دیگر، اگر مرکز بلوک به آن بلوک تعلق ندارد، اصلاً آن بلوک تشکیل نمی‌شود. محدودیت (۵) حداکثر تعداد نقاطی که می‌توانند در یک بلوک قرار گیرند را محاسبه می‌کند. لزوم وجود این محدودیت در بالا بردن توانایی اداره بلوک‌ها توسط مدیران است. به عبارت دیگر با توجه به تصمیمات اتخاذ شده از طرف مدیریت سازمان، در هر بلوک تعداد مشخصی از مناطق می‌توانند قرار گیرند به طوری که بارکاری در هر بلوک از میزان مشخص تخطی نکند. محدودیت (۶) تضمینی برای وجود پیوستگی و عدم وجود تخصیص نامتعارف در بلوک‌ها است. به عبارت دیگر این محدودیت تضمین می‌کند که مناطق موجود در یک بلوک چه به صورت مستقیم و چه به صورت غیرمستقیم از طریق سایر نقاط



موجود در آن بلوک به یکدیگر مرتبط باشند. در پایان محدودیت (۷) تضمینی برای انجام بلوک‌بندی‌های چندسطحی ارائه می‌کند. در حقیقت مطابق این محدودیت، در هر بلوک، نقاطی را می‌توان به عنوان مرکز بلوک‌های سطح بعدی در نظر گرفت که آن نقاط در بلوک اولیه حضور داشته باشند.

۳- روش حل

با توجه به این که مسئله بلوک‌بندی از رده مسائل ان پی سخت است. بنابراین در این تحقیق به منظور حل مدل ریاضی در ابعاد کوچک از حل‌کننده سیمپلکس 12.1 استفاده می‌شود. همچنین جهت حل نمونه‌های عددی با ابعاد متوسط و بزرگ از الگوریتم‌های فراابتکاری استفاده می‌شود.

مطابق با مرور ادبیات تحقیق، استفاده از الگوریتم‌های مبتنی بر جمعیت که برگرفته از ساختارهای طبیعی هستند، دارای سطح کاربرد بیشتری نسبت به سایر الگوریتم‌ها در حل مسئله بلوک‌بندی هستند [۲۴]. معروف‌ترین آن‌ها، الگوریتم ژنتیک است که دارای سطح کارایی بسیار زیادی در حل مسائل بلوک‌بندی است. بنابراین در این پژوهش از این الگوریتم استفاده می‌شود. الگوریتم گرگ خاکستری به عنوان یکی از جدیدترین و درعین حال کاراترین الگوریتم‌های مبتنی بر جمعیت است که بر اساس ساختارهای طبیعی طراحی شده است. این الگوریتم دارای کارایی بسیار مناسبی در حل مسائل عددی مختلف است [۲۵] و در این پژوهش به منظور مقایسه نتایج عددی با الگوریتم ژنتیک، از الگوریتم گرگ خاکستری استفاده شده است.

۳-۱- ساختار نمایش پاسخ‌ها

با توجه به این که الگوریتم‌های فراابتکاری از ساختاری کاملاً تصادفی مبتنی بر تولید آرایه جهت نمایش پاسخ‌ها استفاده می‌کنند، نیاز است که رویه تولید پاسخ‌ها به گونه‌ای باشد که کمترین پیچیدگی محاسباتی را ایجاد نماید. بدین منظور در این تحقیق از ساختار ارائه شده توسط [۲۶] استفاده خواهد شد. در این ساختار، مقدار یک عضو از جواب برابر با تعداد بلوک‌هایی است که واحد پایه نشان داده‌شده به آن تعلق دارد. ساختار کروموزوم به صورت زیر نشان داده می‌شود.



۱	۴	۲	۲	۳	۲	۴	۳
---	---	---	---	---	---	---	---

هر ژن شماره یک بلوک را نشان می‌دهد و جایگاه هر ژن بیانگر یک واحد پایه در یک کروموزوم است. طول هر کروموزوم نشان‌دهنده تعداد واحدهای پایه است. برای مثال، کروموزوم بالا نشان‌دهنده یک جواب چهار بلوکی با واحدهای پایه‌ای زیر در هر بلوک است.

بلوک ۱: واحد پایه‌ای ۱.

بلوک ۲: واحدهای پایه‌ای ۳ و ۴ و ۶.

بلوک ۳: واحدهای پایه‌ای ۵ و ۸.

بلوک ۴: واحدهای پایه‌ای ۲ و ۷.

از آنجایی که برخی الگوریتم‌های فراابتکاری نیاز به نمایش پیوسته دارند، نمایش جواب بالا می‌تواند از فرم عدد صحیح به فرم پیوسته تبدیل گردد. بنابراین، در ابتدا یک عدد حقیقی تصادفی در بازه صفر تا $|P|$ تولید می‌گردد. که در آن $|P|$ بیانگر تعداد بلوک‌ها است. سپس این بازه به $|P|$ بخش تقسیم می‌گردد. اگر عدد تولیدی برای هر ژن میان دو مقدار صحیح باشد، آنگاه به بالاگرد می‌شود. بنابراین یک نمایش جواب قابل‌استفاده خواهیم داشت. برای مثال، $|P| = 5$ را در نظر بگیرید؛ نمایش مربوطه به صورت ذیل تولید خواهد شد.

۱,۱۵	۰,۲۸	۳,۷۵	۴,۱۹	۱,۸۷
Convert				
۲	۱	۴	۵	۲

از آنجایی که تعیین یک جواب شدنی برای مسئله بلوک‌بندی از طریق تخصیص تصادفی کاری دشوار است، یک الگوریتم حریصانه برای مقداردهی اولیه جواب الگوریتم‌ها اعمال می‌شود. همچنین اگر پس از اعمال برخی از عملگرهای الگوریتم، محدودیت پیوستگی بلوک‌ها برآورده نشود، توسط یک مکانیزم برچسب‌گذاری مبتنی بر روش ارائه شده در [۲۷] تصحیح خواهد شد. با این حال، ممکن است از دیگر محدودیت‌ها نیز در هر گام از مقداردهی اولیه با تولید یک جواب تخطی شود. بنابراین یک مکانیزم سازنده روی آن محدودیت‌ها تا جایی که امکان‌پذیر



است، اعمال می‌گردد. بدین‌صورت تضمین می‌شود که پاسخ‌های تولیدشده در هر تکرار الگوریتم دارای ساختاری موجه است.

۲-۳- الگوریتم ژنتیک^۱

ساختار الگوریتم ژنتیک بدین‌صورت است که در ابتدا به‌طور تصادفی مجموعه‌ای از راهل‌ها برای مسئله تولید می‌شوند. این مجموعه را جمعیت (یا نسل) اولیه و هر عضو آن‌که در واقع یک راهل است را یک کروموزوم می‌نامند. در هر تکرار الگوریتم، مجموعه‌ای از راهل‌های جدید که فرزندان نامیده می‌شوند، با استفاده از عملگرهای ژنتیک بر روی کروموزوم‌های نسل فعلی (والدین) تولید می‌شوند. این عملگرها به دو گروه عمده عملگر هم‌گذری و عملگر جهش تقسیم می‌شوند. نسل جدید با استفاده از عملگر انتخاب از میان والدین و فرزندان نسل فعلی انتخاب می‌شوند. عملگر انتخاب به‌گونه‌ای اعمال می‌شود که کروموزوم‌هایی که دارای تابع برازندگی بیشتری هستند، شانس بیشتری برای بقا دارند. در حلقه اصلی الگوریتم ژنتیک، تولید نسل‌های جدید تا رسیدن به معیار توقف ادامه می‌یابد و در نهایت بهترین کروموزوم در آخرین نسل به عنوان راهل منتخب، ارائه می‌شود.

در این تحقیق، هم‌گذری به عنوان عملگر اصلی و جهش به عنوان دومین عملگر اعمال خواهد شد. عملگر هم‌گذری مورداستفاده از نوع دو نقطه برش است. عملگر جهش نیز از طریق انتخاب چند ژن از کروموزوم و تعویض مقادیر آن‌ها، اعمال می‌شود. پس‌از این مرحله، عملگر جایگزینی اعمال می‌شود. در این تحقیق برای عمل جایگزینی از استراتژی نمونه تصادفی باقیمانده بدون جایگزینی استفاده می‌شود [۲۸]. شبه کد ۱، ساختار الگوریتم ژنتیک مورداستفاده در تحقیق را ارائه می‌دهد.

Input: fitness function, max iteration, Population size, Crossover rate, Mutation rate

Output: the elitist

Initialize a population randomly

Calculate the fitness of population and find elite

t = 0

While *t ≤ T do*

Perform crossover using two-point crossover operator

Perform Mutation

Carry out the replacement strategy and evaluate

Calculate the fitness and return elite



```
t = t + 1
End
Final solution ← elite
End
Return Final Solutions
```

شبهه کد ۱: الگوریتم ژنتیک

۳-۳- الگوریتم گرگ خاکستری^۲

الگوریتم گرگ خاکستری نخستین بار توسط میرجلیلی در سال ۲۰۱۴ ابداع شد [۲۹]. این الگوریتم دارای ۵ گام اصلی ذیل است:

- سلسله‌مراتب اجتماعی
- محاصره طعمه
- شکار
- حمله به شکار^۳
- جستجوی شکار^۴

شبهه کد ۲، ساختار الگوریتم گرگ خاکستری مورد استفاده در تحقیق را ارائه می‌دهد.

```
Input: { (n) Number of gray wolves in the pack
         (NIter) Number of iterations for optimization
Output: { (Xα) Optimal gray wolf position
         f(Xα) Best fitness value
Initialize a population of n gray wolves positions randomly.
Find the (α), (β) and (δ) solutions based on their fitness values.
While Stopping criteria not met Do
For each Wolfi ∈ pack do
Update current wolf's position according to equation (25)
End
I. Update a, A, and C.
II. Evaluate the positions of individual wolves.
III. Update (α), (β) and (δ)
End
```

شبهه کد ۲: الگوریتم بهینه‌سازی گرگ خاکستری



۴- نتایج محاسباتی

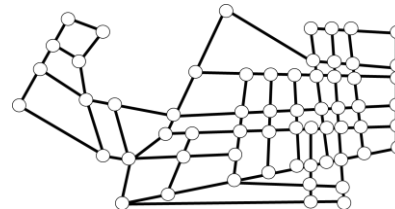
در این بخش تعدادی مثال عددی در ابعاد مختلف تولیدشده و نتایج موردبررسی قرار می‌گیرد. تمامی نمونه‌های عددی در سیستمی با قدرت پردازندگی ۲,۳ GHz با حافظه تصادفی در دسترس GB۸ حل شده است. در ابتدا نیاز است که صحت عملکرد مدل ریاضی موردسنجش قرار گیرد. بدین منظور یک مثال عددی در ابعاد کوچک ارائه و نتایج تشریح می‌گردد. لازم به ذکر است که رویه تولید پاسخ‌های عددی به صورت زیر است.

نحوه تولید مثال‌های عددی: به منظور ارزیابی کارایی مدل و الگوریتم ارائه شده، تعدادی مثال عددی مطابق با شرایط دنیای واقعی و بر طبق رویه زیر تولید می‌شود. در این مثال‌ها تعدادی نقطه جمعیتی $|V|$ و تعدادی بلوک $|P|$ مشخص می‌شود. نکته قابل‌توجه در این مثال‌ها میزان تقاضا و فاصله بین نقاط جمعیتی است که باید به شکل دقیق مشخص شود. برای تمامی مثال‌های تولیدی، ابعاد محیط مسئله از بازه (10,1000). به صورت یکنواخت انتخاب شده است. سپس به ازای هر بعد x و y ، تعداد $|V|$ عدد تصادفی غیرتکراری انتخاب شده به صورت مجموعه $\{i \in C \mid (x_i, y_i)\}$ در نظر گرفته می‌شود. اعضای این مجموعه، همان مختصات جغرافیایی مناطق جمعیتی هستند. نحوه ارتباط بین نقاط نیز بر اساس ساختار گراف مسطح در نظر گرفته می‌شود. مقدار تقاضای مناطق نیز در بازه (50,300) به صورت یکنواخت انتخاب می‌شود. مطابق با ساختار تشریح شده، تعدادی مثال عددی تصادفی تولیدشده و نتایج حاصل از حل توسط مدل و الگوریتم مقایسه می‌شود.

صحت‌سنجی مورد ریاضی: به منظور ارزیابی کارایی مدل پیشنهادی یک مثال عددی مطابق با ساختار شهری در شهرستان بیرجند واقع در شرق کشور ایران طراحی شده و نتایج حاصل از حل به کمک سیمپلکس موردبررسی قرار می‌گیرد. در این مثال دانشگاه علوم پزشکی به عنوان متولی توسعه خدمات بهداشتی و درمانی قصد دارد به منظور تسهیل در امور، شهر را به دو منطقه اصلی تقسیم کرده و در هر منطقه نیز زیربخش‌هایی به منظور مدیریت مناطق تحت پوشش ایجاد کند. هدف از این کار ایجاد سهولت در ساختار سلسه‌مراتبی مدیریت بهداشت و درمان شهری است. در شکل ۲ تعدادی از پرجمعیت‌ترین نقاط شهری تعیین‌شده تا بلوک‌بندی نهایی اعمال شود.



(الف)



(ب)

شکل ۲- نقشه شهرستان بیرجند در شرق ایران (الف) نشان‌دهنده ساختار شهری شهرستان بیرجند و شکل (ب) نحوه ارتباط بین نقاط تعیین‌شده

داده‌های مربوط به اطلاعات جغرافیایی نقاط در جدول ۲ ارائه شده است.

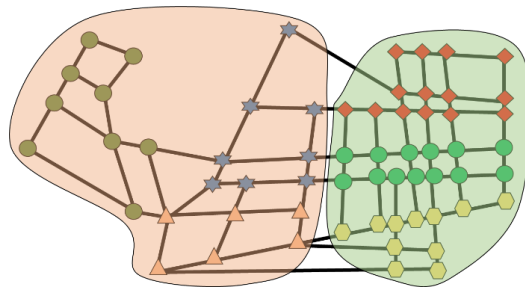
جدول ۲- داده‌های مربوط به موقعیت جغرافیایی و مقدار تقاضای نقاط متقاضی

نقاط	مختصات جغرافیایی		تقاضا	نقاط	مختصات جغرافیایی		تقاضا
	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی			طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	
1	3636539.9451	717409.5718	35	32	3639488.8724	715912.617	60
2	3637357.6819	716683.1431	37	33	3639035.6589	716468.8174	58
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
30	3639690.6862	713879.9804	58	61	3640672.4895	717924.9735	54
31	3639854.2979	713776.4745	62	62	3640242.3957	717810.9692	87

مطابق با جدول ۲، تقاضا مشخص شده است. سایر داده‌های لازم نیز از طریق انجام مصاحبه با مدیران مربوط و همچنین پایگاه‌های داده‌ای مسئول اخذ شده است. بخشی از داده‌هایی که در دسترس نبوده نیز به صورت تصادفی مطابق با نظر کارشناسان تولید شده است. فاصله بین نقاط نیز با استفاده از مختصات UTM آن‌ها و به کمک فاصله جاده‌ای موجود در نقشه GIS شهرستان بیرجند محاسبه می‌شود. پس از حل مسئله به کمک سیمپلکس مقدار تابع هدف برابر با ۱۷۴۸ شده است. همچنین

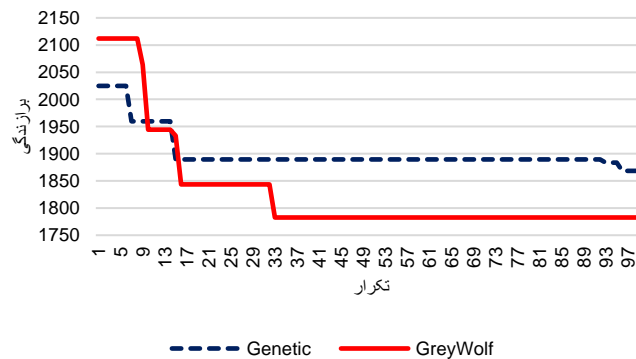


ساختار بلوک‌بندی بهینه نیز در شکل ۳ قابل مشاهده است. مطابق با ساختار بهینه ارائه شده، کل مناطق ۶۲ گانه به دو بلوک اصلی تقسیم شده است. در هر بلوک نیز زیربخش‌هایی وجود دارد که دارای بلوک‌بندی انحصاری است.



شکل ۳- ساختار بلوک‌بندی بهینه مناطق جمعیتی

همان‌طور که مشاهده می‌شود، ساختار بلوک‌بندی دقیقاً مطابق با محدودیت‌ها بوده و هیچ تخصیص نامتعارفی ایجاد نشده است. بنابراین می‌توان گفت که مدل ارائه شده دارای عملکرد مناسبی است اما به منظور بررسی عملکرد الگوریتم‌های ارائه شده در حل این مسئله، نتایج عددی حاصله در شکل ۴ ارائه می‌شود.



شکل ۴- مقایسه نمودار همگرایی الگوریتم‌های ژنتیک و گرگ خاکستری در حل نمود عددی به‌وضوح قابل مشاهده است که الگوریتم گرگ خاکستری قادر است در تعداد تکرارهای



کمتری به پاسخی به مراتب بهتر از پاسخ ارائه شده توسط الگوریتم ژنتیک دست یابد. در حقیقت عملگرهای موجود در این الگوریتم قادرند به خوبی در فضای پاسخ جستجو کرده و پس از یافتن فضای مناسب، از فاز تنوع‌گرایی وارد فاز تعمق‌گرایی شده و پاسخ نهایی را استخراج نمایند. در مورد رفتار الگوریتم‌ها می‌توان به این موضوع اشاره کرد که الگوریتم گرگ خاکستری از مقادیر تابع هدف بیشتری شروع به جستجو کرده است. این موضوع نشان‌دهنده این است که الگوریتم گرگ خاکستری در تکرارهای اولیه کاملاً در فضای پاسخ پخش شده و نقاط مختلفی را مورد بررسی قرار داده است. بعد از حدود ۱۰ تکرار موفق به یافتن حدود مناسبی از فضای پاسخ شده و تا حدودی از فاز تنوع‌گرایی فاصله گرفته و وارد فاز تعمق‌گرایی شده است. در نهایت پس از اجرای حدود ۳۳ تکرار به پاسخ نهایی همگرا شده است. اما الگوریتم ژنتیک در انتقال از فاز تنوع‌گرایی و تعمق‌گرایی به اندازه کافی موفق نبوده و حتی در تکرارهای انتهایی همچنان سعی در بهبود پاسخ داشته است. بنابراین می‌توان گفت که قطعاً الگوریتم گرگ خاکستری کارایی بالاتری را گزارش داده است. در ادامه به منظور بررسی دقیق‌تر رفتار الگوریتم‌های پیشنهادی، تعداد ۶۰ مثال عددی در ابعاد مختلف تشریح و نتایج مورد بررسی قرار داده شده است.

ارزیابی کارایی الگوریتم‌ها در مقایسه با پاسخ‌های بهینه سراسری: در این بخش تعدادی مثال عددی در ابعاد کوچک تولید و نتایج عددی حاصل از حل الگوریتم‌ها با پاسخ بهینه سراسری گزارش شده توسط مدل مقایسه می‌شود. قابل‌ذکر است که معیار مقایسه شامل زمان حل و مقدار تابع هدف است.

جدول ۳- نتایج حاصل از مقایسه الگوریتم‌های تحقیق با حل‌کننده سیمپلکس

نمونه‌های عددی	تعداد بلوک‌های اصلی	تعداد زیر بلوک‌ها	تعداد نقاط	Cplex		GWO			GA		
				زمان	تابع هدف	زمان	تابع هدف	گپ با Cplex	زمان	تابع هدف	گپ با Cplex
۱	۲	۳	۱۵	۴۷	۱۲۲۴	۱۲	۱۲۲۴	+0/00	۲۸	۱۴۷۵	+0/04
۲	۲	۳	۲۰	۵۹	۱۳۶۸	۱۳	۱۳۶۸	+0/00	۳۴	۱۵۴۲	+0/00
۳	۳	۳	۲۵	۷۸	۱۴۵۲	۱۴	۱۴۵۲	+0/00	۴۷	۱۵۱۹	+0/04
۴	۳	۴	۳۰	۶۶	۱۶۵۴	۱۶	۱۶۵۴	+0/02	۵۷	۱۷۹۴	+0/08
۵	۳	۴	۴۰	۹۴	۱۸۴۶	۱۸	۱۸۴۶	+0/03	۶۱	۲۰۲۷	+0/09



همان‌طور که مشاهده می‌شود، در نمونه‌های عددی ۱ تا ۳ الگوریتم گرگ خاکستری دقیقاً پاسخ‌های گزارش‌شده توسط سیمپلکس را ارائه داده است. در حقیقت در این مثال‌ها الگوریتم گرگ خاکستری توانسته پاسخ بهینه سراسری را کشف کند. این در حالی است که الگوریتم ژنتیک تنها در مثال اول پاسخ بهینه سراسری را گزارش کرده و در باقی نمونه‌های عددی پاسخ بهینه محلی (با گپ محاسباتی مثبت نسبت به سیمپلکس) را گزارش کرده است. البته در هیچ مثالی مقدار گپ از ۱۰ درصد تجاوز نکرده است که این خود نشان‌دهنده عملکرد مناسب الگوریتم ژنتیک است. اما در مثال‌های ۴ و ۵، هر دو الگوریتم دارای گپ محاسباتی مثبت هستند. در کل الگوریتم گرگ خاکستری پاسخ‌هایی به مراتب بهتر تولید کرده است؛ چراکه دارای گپ محاسباتی کمتری است. در مجموع می‌توان گفت که الگوریتم‌های پیشنهادی قادر به تولید پاسخ‌هایی به گپ محاسباتی کمتر از ۱۰ درصد نسبت به پاسخ بهینه سراسری بوده که نشان‌دهنده کارایی مناسب آن‌ها در حل مسئله تحقیق است. اما به منظور بررسی دقیق‌تر رفتار الگوریتم‌ها در کشف پاسخ‌های نهایی، چندین مثال عددی در ابعاد متوسط و بزرگ مورد بررسی قرار گرفته است.

ارزیابی کارایی الگوریتم‌ها در نمونه‌های عددی تصادفی: در این بخش به منظور بررسی کارایی الگوریتم‌های پیشنهادی در حل نمونه‌های عددی مختلف، تعداد ۶۰ مثال عددی با داده‌های تصادفی طراحی و حل شده است. قابل‌ذکر است که تمامی نمونه‌های عددی مطابق با ساختار ارائه شده برای تولید مثال‌های عددی تولیدشده است.



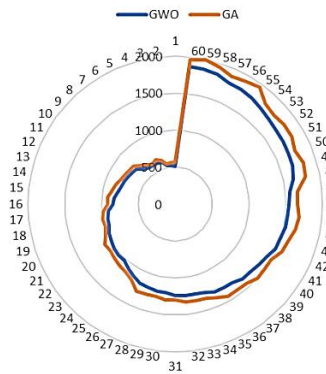
جدول ۴- مقایسه نتایج عددی الگوریتم ژنتیک و گرگ خاکستری در نمونه‌های تصادفی

نمود عددی	مشخصات مسئله			الگوریتم گرگ خاکستری		الگوریتم ژنتیک		
	تعداد نقاط	تعداد بلوک‌های اصلی	تعداد زیر بلوک‌ها	تابع هدف	زمان حل	تابع هدف	زمان حل	کپ محاسباتی
1	50	5	3	6471	516	6851	568	+5.87
2			4	5311	527	5557	564	+4.63
3			5	6638	531	7066	558	+6.44
4	60	5	3	8916	590	9487	620	+6.40
5			4	14011	599	14558	653	+3.90
6			5	12737	600	13341	630	+4.74
7	70	5	3	14910	604	15259	653	+2.34
8			4	19880	642	21815	707	+9.73
9			5	24850	707	25365	764	+2.07
10	80	7	3	18473	722	19722	773	+6.76
11			4	13855	740	15054	792	+8.65
12			5	15394	758	16036	812	+4.17
13	90	7	3	7784	773	7981	851	+2.53
14			4	9014	798	9718	878	+7.81
15			5	11475	833	11957	917	+4.20
16	100	7	3	14768	847	15399	915	+4.27
17			4	16408	912	17736	985	+8.09
18			5	14502	935	15696	1010	+8.23
19	120	7	3	7955	940	8776	997	+10.32
20			4	20754	977	21603	1036	+4.09
21			5	31774	999	33026	1099	+3.94
22	140	9	3	111463	1026	121484	1088	+8.99
23			4	95540	1031	102429	1104	+7.21
24			5	79616	1031	85530	1124	+7.42
25	160	9	3	79885	1083	84095	1138	+5.27
26			4	106514	1125	114897	1182	+7.87
27			5	88761	1178	91389	1296	+2.96
28	180	9	3	71414	1188	72886	1284	+2.06
29			4	95217	1204	98084	1277	+3.01
30			5	119008	1204	129743	1301	+9.02
31	200	9	3	150574	1235	163915	1297	+8.86
32			4	135517	1242	139068	1329	+2.62
33			5	150574	1244	157200	1332	+4.40
34	250	10	3	87106	1264	94937	1340	+8.99
35			4	136881	1307	142151	1386	+3.85
36			5	124437	1309	128258	1440	+3.07

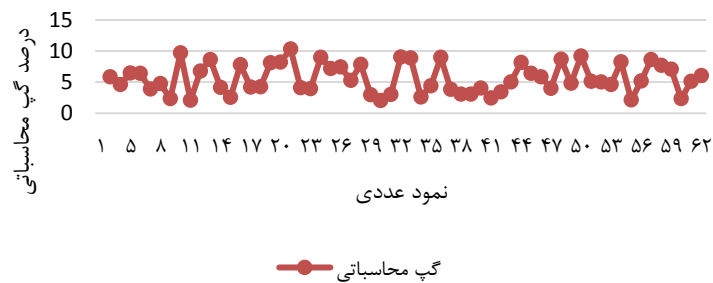


نمود عددی	مشخصات مسئله			الگوریتم گرگ خاکستری		الگوریتم ژنتیک		
	تعداد نقاط	تعداد بلوک‌های اصلی	تعداد زیر بلوک‌ها	تابع هدف	زمان حل	تابع هدف	زمان حل	گپ محاسباتی
37	300	10	3	134627	1314	138747	1433	+3.06
38			4	76930	1361	80039	1443	+4.04
39			5	96162	1376	98528	1500	+2.46
40	350	10	3	126490	1403	130816	1502	+3.42
41			4	231898	1433	243517	1505	+5.01
42			5	210816	1484	228040	1588	+8.17
43	400	10	3	186502	1497	198495	1617	+6.43
44			4	157810	1525	167042	1663	+5.85
45			5	143463	1537	149188	1691	+3.99
46	450	10	3	114984	1547	124965	1656	+8.68
47			4	197115	1563	206650	1673	+4.83
48			5	164262	1639	179391	1803	+9.21
49	500	10	3	14268	1677	14998	1828	+5.12
50			4	153992	1679	161707	1780	+5.01
51			5	139992	1688	146418	1824	+4.59
52	550	10	3	31756	1691	34376	1827	+8.25
53			4	57698	1711	58945	1797	+2.16
54			5	72122	1739	75844	1826	+5.16
55	600	12	3	119874	1773	130196	1951	+8.61
56			4	175140	1787	188644	1913	+7.71
57			5	145950	1797	156313	1887	+7.10
58	800	12	3	105587	1842	108037	1953	+2.32
59			4	178545	1862	187705	1993	+5.13
60			5	151403	4109	160605	1964	+6.07

در مقایسه انجام شده، می‌توان مشاهده نمود که اگر مسئله با الگوریتم ژنتیک حل شود، همواره به مقداری بین ۲ تا ۱۱ درصد از پاسخ ارائه شده توسط الگوریتم گرگ خاکستری فاصله خواهد داشت. این موضوع نشان‌دهنده تأثیر عملکرد عملگرهای قدرتمند الگوریتم گرگ خاکستری بر روی حصول پاسخ نهایی است. در شکل ۵، نمودار مقایسه زمان حل و گپ محاسباتی بین تابع هدف نمونه‌های عددی مختلف حاصل از حل الگوریتم ژنتیک و گرگ خاکستری ارائه می‌شود.



شکل ۵- مقایسه زمان حل مسئله در الگوریتم ژنتیک و گرگ خاکستری همان‌طور که مشاهده می‌شود، در تمام مثال‌ها الگوریتم ژنتیک زمان محاسباتی بیشتری را نسبت به الگوریتم گرگ خاکستری صرف کرده است. بنابراین از منظر زمان حل الگوریتم گرگ خاکستری دارای برتری مطلق است.



شکل ۶- گپ محاسباتی الگوریتم ژنتیک در مقایسه با گرگ خاکستری

گپ محاسباتی در تمامی مقادیر مثبت در نظر گرفته شده است که این موضوع خود نشان‌دهنده وجود فاصله پاسخ مسئله در حالت استفاده از الگوریتم ژنتیک از پاسخ ارائه شده توسط الگوریتم گرگ خاکستری است. بنابراین این نتیجه حاصل می‌شود که حل مسئله با استفاده از الگوریتم ژنتیک باعث می‌شود که نتوان به‌طور کامل به پاسخ مناسب دست یافت.

۴-۱- تحلیل حساسیت

همان‌طور که مشاهده شد، الگوریتم گرگ خاکستری در تمامی نمونه‌های عددی، مقادیر زمانی و برانزنگی بهتری نسبت به الگوریتم ژنتیک ارائه داده است. این موضوع خود دلیلی بر برتری این الگوریتم در حل نمونه‌های عددی است. در این بخش به منظور بررسی کارکرد الگوریتم در شرایط تغییر مقادیر تعداد نقاط (N)، تحلیل حساسیت مدل انجام می‌شود. این موضوع می‌تواند باعث ایجاد دیدگاهی مناسب‌تر از رفتار الگوریتم در شرایط مختلف شود. بدین منظور مقدار عددی N در ۵ سطح مختلف ۵۰۰، ۱۰۰۰، ۱۵۰۰، ۲۰۰۰ و ۲۵۰۰ در نظر گرفته می‌شود.

جدول ۵- مقایسه نتایج الگوریتم‌های پیشنهادی تحت مقادیر مختلف N

مثال عددی	$N=2500$		$N=2000$		$N=1500$		$N=1000$		$N=500$	
	ژنتیک	گرگ خاکستری	ژنتیک	گرگ خاکستری	ژنتیک	گرگ خاکستری	ژنتیک	گرگ خاکستری	ژنتیک	گرگ خاکستری
1	6471	6471	8690.4	6580	11921	8450	15603	10456	21099	12778
2	5311	5311	7052.6	5446	9551.6	6850	13288	8987	17801	11466
3	6638	6638	8688	6874	11748	8555	16246.6	12843	20856	14495
4	14910	14910	20162.8	15078	26389.6	17684	35502.4	26879	47761	29160
5	19880	19880	26811	20146	37300.4	25226	50091.4	32920	68715	45039
6	24850	24850	33431.2	25231	46229	36545	61383.2	40440	83131	58991
7	7784	7784	10764	7820	14481.5	10964	19582	14714	26520	16832
8	9014	9014	12366.4	9105	16607	10915	22397.2	16904	30286	20757
9	11475	11475	15541	11589	20636.2	13595	27762	21019	37440	28256
10	11146 3	111463	158690. 4	117323	214914. 2	140713	298989	217724	37492 1	280410
11	95540	95540	134664. 2	106452	182093. 5	136825	251799. 2	187767	34048 3	227940
12	79616	79616	110762. 2	80509	149374	112733	202298	151279	27973 8	190601
13	87106	87106	125677	90595	177142. 4	127047	238310. 2	180425	34076 0	198344
14	13688 1	136881	197273. 8	139964	274447	199853	368555. 2	242215	52471 2	294863
15	12443 7	124437	177933	129233	246046	183477	326700. 2	215230	43048 4	364013



مطابق با نتایج حاصله، مشاهده می‌شود که الگوریتم‌های پیشنهادی تا حد زیادی تحت تأثیر مقادیر مختلف N هستند، با افزایش مقدار N فاصله پاسخ‌های تولیدشده توسط الگوریتم ژنتیک و الگوریتم گرگ خاکستری از یکدیگر بیشتر می‌شود. در حقیقت با افزایش تعداد تکرارهای فاز شبیه‌سازی، الگوریتم‌ها قادر خواهند بود حالات بیشتری را بررسی کرده و پاسخ‌های دقیق‌تری را گزارش کنند. به عبارت دیگر افزایش تعداد N باعث بهبود کیفیت پاسخ‌ها خواهد شد البته الگوریتم ژنتیک در ارائه این سطح بهبود به اندازه الگوریتم گرگ خاکستری موفق نبوده است. بنابراین در یک جمع‌بندی می‌توان گفت که الگوریتم گرگ خاکستری هم در تحلیل پاسخ‌های حاصل از حل نمونه‌های عددی مختلف و هم در تحلیل حساسیت مسئله در مقادیر مختلف N دارای کارایی بالاتری نسبت به الگوریتم ژنتیک است. بنابراین پیشنهاد می‌شود در حل مسائل در ابعاد دنیای واقعی از این الگوریتم استفاده شود.

۵- بحث و نتیجه‌گیری

در این پژوهش مسئله مدیریت پسماند بیمارستانی به عنوان یک مسئله بهینه‌سازی ریاضی در قالب مدل بلوک‌بندی ارائه شده است. تابع هدف مسئله شامل ایجاد تعادل در بارکاری هر بلوک اصلی و زیربلوک‌های تخصیص‌یافته به آن است. محدودیت‌های مسئله نیز شامل محدودیت تضمین تخصیص منحصربه‌فرد برای هر نقطه به هر بلوک و همچنین ایجاد ساختار پیوسته بلوک‌ها است. با توجه به اینکه مسئله بلوک‌بندی از رده مسائل آن پی سخت است، بنابراین به منظور حل مسئله در ابعاد دنیای واقعی از دو الگوریتم فراابتکاری ژنتیک و گرگ خاکستری استفاده شده است. مطابق با اطلاعات موجود در جدول ۳ می‌توان مشاهده نمود که در نمونه‌های عددی ۱ تا ۳ الگوریتم گرگ خاکستری دقیقاً پاسخ‌های گزارش‌شده توسط سیمپلکس را ارائه داده است. در حقیقت در این مثال‌ها الگوریتم گرگ خاکستری توانسته است پاسخ بهینه سراسری را کشف کند. این در حالی است که الگوریتم ژنتیک تنها در مثال اول توانسته پاسخ بهینه سراسری را گزارش کرده و در باقی نمونه‌های عددی پاسخ بهینه محلی (با گپ محاسباتی مثبت نسبت به سیمپلکس) را گزارش کرده است. البته در هیچ مثالی مقدار گپ از ۱۰ درصد تجاوز نکرده که این خود نشان‌دهنده عملکرد مناسب الگوریتم ژنتیک است. اما در مثال‌های ۴ و ۵، هر دو الگوریتم دارای گپ محاسباتی مثبت هستند. اما باز هم الگوریتم گرگ



خاکستری پاسخ‌هایی به مراتب بهتر تولید کرده زیرا دارای گپ محاسباتی کمتری است. در مجموع می‌توان گفت که الگوریتم‌های پیشنهادی قادر به تولید پاسخ‌هایی با گپ محاسباتی کمتر از ۱۰ درصد نسبت به پاسخ بهینه سراسری بوده که نشان‌دهنده کارایی مناسب آن‌ها در حل مسئله تحقیق است. همچنین در مقایسه الگوریتم‌ها با یکدیگر در حل نمونه‌های عددی در ابعاد بزرگ می‌توان مشاهده نمود که الگوریتم گرگ خاکستری دارای کارایی به مراتب بالاتر بوده که این موضوع تضمینی بر استفاده از الگوریتم گرگ خاکستری در حل نمونه‌های عددی در ابعاد بزرگ است.

به منظور توسعه مدل پژوهش، پیشنهاد می‌شود که مدل ترکیبی مکان‌یابی-بلوک‌بندی سلسله مراتبی مورد بررسی قرار گیرد و جهت حل مثال‌های عددی از الگوریتم‌های فراابتکاری جدید بهره گرفته شود. همچنین در نظر گرفتن عدم قطعیت برخی پارامترها (مثل تقاضا) با توجه به شرایط واقعی پیشنهاد می‌شود.

۶- پی‌نوشت‌ها

1. GA
2. GWO
3. Exploitation
4. Exploration

۷- منابع

- [1] A. Pariatamby and M. Tanaka, "Municipal solid waste management in Asia and the Pacific Islands," *Environmental Science, Springer, Singapore*, 2014.
- [2] J. Kalcsics, "Districting problems," in *Location science: Springer*, 2015, pp. 595-622.
- [3] H.-Y. Lin and J.-J. Kao, "Subregion districting analysis for municipal solid waste collection privatization," *Journal of the Air & Waste Management Association*, vol. 58, no. 1, pp. 104-111, 2008.
- [4] G. Ghiani, A. Manni, E. Manni, and M. Toraldo, "The impact of an efficient collection sites location on the zoning phase in municipal solid waste management," *Waste management*, vol. 34, no. 11, pp. 1949-1956, 2014.



- [5] S. BabaeiMorad, H. Bagheri, and J. B. Behnamian, "A Hierarchical Covering Location Model with a Multi Period under Uncertainty," *Modern Research in Decision Making*, vol. 4, no. 1, pp. 25-53, 2019.
- [6] M. Faccio, A. Persona, and G. Zanin, "Waste collection multi objective model with real time traceability data," *Waste Management*, vol. 31, no. 12, pp. 2391-2405, 2011/12/01/ 2011.
- [7] Ş. Şener, E. Sener, and R. Karagüzel, "Solid waste disposal site selection with GIS and AHP methodology: a case study in Senirkent–Uluborlu (Isparta) Basin, Turkey," *Environmental monitoring and assessment*, vol. 173, no. 1-4, pp. 533-554, 2011.
- [8] F. Samanlioglu, "A multi-objective mathematical model for the industrial hazardous waste location-routing problem," *European Journal of Operational Research*, vol. 226, no. 2, pp. 332-340, 2013.
- [9] M. Mes, M. Schutten, and A. P. Rivera, "Inventory routing for dynamic waste collection," *Waste management*, vol. 34, no. 9, pp. 1564-1576, 2014.
- [10] S. Das and B. K. Bhattacharyya, "Optimization of municipal solid waste collection and transportation routes," *Waste Management*, vol. 43, pp. 9-18, 2015.
- [11] A. M. Niziolek, O. Onel, M. F. Hasan, and C. A. Floudas, "Municipal solid waste to liquid transportation fuels–Part II: Process synthesis and global optimization strategies," *Computers & Chemical Engineering*, vol. 74, pp. 184-203, 2015.
- [12] A. Louati, "Modeling municipal solid waste collection: A generalized vehicle routing model with multiple transfer stations, gather sites and inhomogeneous vehicles in time windows," *Waste Management*, vol. 52, pp. 34-49, 2016.
- [13] M. J. Cortinhal, M. C. Mourão, and A. C. Nunes, "Local search heuristics for sectoring routing in a household waste collection context," *European Journal of Operational Research*, vol. 255, no. 1, pp. 68-79, 2016.
- [14] H. Asefi and S. Lim, "A novel multi-dimensional modeling approach to integrated municipal solid waste management," *Journal of Cleaner Production*, vol. 166, pp. 1131-1143, 2017.
- [15] C. Hu, X. Liu, and J. Lu, "A bi-objective two-stage robust location model for waste-to-energy facilities under uncertainty," *Decision Support Systems*, vol. 99, pp. 37-50, 2017.
- [16] F. Habibi, E. Asadi, S. J. Sadjadi, and F. Barzinpour, "A multi-objective robust optimization model for site-selection and capacity allocation of municipal solid waste facilities: A case study in Tehran," *Journal of Cleaner Production*, vol. 166, pp. 816-834, 2017.



- [17] N. S. Sharif, M. S. Pishvae, A. Aliahmadi, and A. Jabbarzadeh, "A bi-level programming approach to joint network design and pricing problem in the municipal solid waste management system: A case study," *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 131, pp. 17-40, 2018.
- [18] G. M. Hoang, T. Fujiwara, T. S. P. Phu, and L. D. Nguyen, "Sustainable solid waste management system using multi-objective decision-making model: a method for maximizing social acceptance in Hoi An city, Vietnam," *Environmental Science and Pollution Research*, pp. 1-11, 2018.
- [19] V. Yadav, S. Karmakar, A. Dikshit, and A. Bhurjee, "Interval-valued facility location model: An appraisal of municipal solid waste management system," *Journal of Cleaner Production*, vol. 171, pp. 250-263, 2018.
- [20] C. Gambella, F. Maggioni, and D. Vigo, "A stochastic programming model for a tactical solid waste management problem," *European Journal of Operational Research*, 2018.
- [21] M. Notash, M. Zandieh, and B. Dorri Nokorani, "Using a Genetic Algorithm Approach for Designing Multi-objective Supply Chain Network," (in eng), *Management Research in Iran*, vol. 18, no. 4, pp. 183-203, 2015.
- [22] m. soltani tehrani, h. hassanpour, and S. Ramezani, "Two-objective optimization model of costs and carbon dioxide in closed loop supply chain," (in eng), *Management Research in Iran*, vol. 19, no. 1, pp. 169-189, 2015.
- [23] M. Modiri, "Ranking of hospital waste disposal outsourcing companies with the new fuzzy multiple criteria decision-making hybrid method and grey," *Modern Research in Decision Making*, vol. 5, no. 1, pp. 1-23, 2020.
- [24] H. Farughi, S. Mostafayi, and J. Arkat, "Healthcare Districting Optimization Using Gray Wolf Optimizer and Ant Lion Optimizer Algorithms (case study: South Khorasan Healthcare System in Iran)," *Journal of Optimization in Industrial Engineering*, vol. 12, no. 1, pp. 119-131, 2019.
- [25] H. Faris, I. Aljarah, M. A. Al-Betar, and S. Mirjalili, "Grey wolf optimizer: a review of recent variants and applications," *Neural computing and applications*, vol. 30, no. 2, pp. 413-435, 2018.
- [26] F. Ghollasimood, H. Hoseini-nasab, J. Tayyebi, and M. Fakhrazad, "Distribution Center Positioning and Territory Design in Supply Chain," *Industrial Management Journal*, vol. 11, no. 1, pp. 133-156, 2019.
- [27] M. T. A. Steiner, D. Datta, P. J. S. Neto, C. T. Scarpin, and J. R. Figueira, "Multi-objective optimization in partitioning the healthcare system of Parana State in Brazil," *Omega*, vol. 52, pp. 53-64, 2015.



- [28] Y. Deng, Y. Liu, and D. Zhou, "An improved genetic algorithm with initial population strategy for symmetric TSP," *Mathematical Problems in Engineering*, vol. 2015, 2015.
- [29] S. Mirjalili, S. M. Mirjalili, and A. Lewis, "Grey wolf optimizer," *Advances in engineering software*, vol. 69, pp. 46-61, 2014.