فصلنامه مدیریت صنعتی دانشکده علوم انسانی، دانشگاه آزاد اسلامی
واحد سنندج – سال پانزدهم/ شماره ۵۳ / پاییز ۱۳۹۹

طراحی شبکه لجستیک دارو بر اساس مسئله مسیریابی ناوگان حمل ونقل به کمک الگوریتم گرگ خاکستری بهبود یافته

فرزاد محمودی
دانشجوی دکترای مدیریت صنعتی– گرایش سیستم‌ها، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران
فرزاد پویان فر (نویسنده مسؤول)
دانشجوی دکترای مدیریت صنعتی– گرایش تحقیق در عملیات، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران
Email: farzad.pouyan@gmail.com

تاریخ دریافت: ۹۹/۰۳/۱۱ * تاریخ پذیرش ۹۹/۰۸/۱۷

چکیده

حمل و نقل مواد دارویی به عنوان یکی از پیچیده‌ترین نوع حمل و نقل‌ها همواره مورد بررسی محققان بوده است. این مسئله که زیرمجموعه یک مسئله کلیدی به نام حمل‌ونقل مواد خطرناک می‌باشد، یکی از فعالیت‌های جدایی‌ناپذیر و پرخطر در چرخه فعالیت‌های صنعتی محسوب می‌شود. تلاش برای یافتن جواب بهینه این مسئله، یکی از موضوعات بسیار کاربردی در لجستیک می باشد. بر همین مبنا، در این تحقیق به بهینه‌سازی مسئله طراحی شبکه لجستیک دارو پرداخته شد. در این راستا از مسئله مسیریابی وسایل نقلیه الهام گرفته شده است. به همین منظور، ابتدا یک مدل مفهومی برای این مسئله بیان و یک مدل ریاضی جدید در جهت مسیریابی وسایل نقلیه حمل دارو با در نظر گرفتن نقش حساسیت مسیر و عدم قطعیت پنجره زمانی ارائه شده است. به منظور حل مسئله، از الگوریتم فرا ابتکاری گرگ خاکستری به عنوان یک الگوریتم جدید و کارامد استفاده شده است. برای بررسی کارایی الگوریتم ارائه شده، این الگوریتم با روش حل دقیق و الگوریتم های ژنتیک و ازدحام ذرات مقایسه شده و نتایج بررسی کارایی الگوریتم گرگ خاکستری نشان می‌دهد که این الگوریتم با صرف زمان بسیار اندکی، جواب‌هایی با حداقل خطای ممکن را ارائه می‌کند.

کلمات کلیدی: حمل و نقل مواد خطرناک، لجستیک دارو، مسیریابی ناوگان حمل و نقل، الگوریتم گرگ خاکستری.

۱-مقدمه

همزمان با افزایش میزان هزینه‌های ناشی از حمل و نقل در کسب و کارها، مسئله مسیریابی وسیله نقلیه به عنوان یک راه حل کاربردی و موثر مورد توجه قرار گرفته است. چه از نظر آکادمیک (به صورت نظری) و چه در صنعت (به صورت کاربردی)، این مسئله به دنبال توسعه روش‌های جدید به منظور کاهش هزینه‌های حمل و به صورت همزمان به دنبال حداکثر نمودن سودهای حاشیه‌ای شرکت‌هایی است که فرایند توزیع جزئی جدانشدنی از ساختارهای کاری آن‌ها است. به کارگیری این روش ها منجر به کاهش هزینه های تحویل کالاها و خدمات برای مشتریان و در نتیجه بهبود مزایای رقابتی این دسته شرکت‌ها می گردد (Soleimani et al., 2017).

حمل و نقل مواد دارویی به عنوان یکی از پیچیده‌ترین نوع حمل و نقل، همواره مورد بررسی محققان بوده است. این مسئله که زیرمجموعه یک مسئله کلیدی به نام حمل و نقل مواد خطرناک می‌باشد، یکی از فعالیت‌های جدایی‌ناپذیر و پرخطر در چرخه فعالیت‌های صنعتی محسوب می‌شود. این موضوع می‌تواند منجر به اختلالات ترافیکی، خسارات زیست‌محیطی و حتی مرگ‌ومیر شود. هدف مدیریت حمل‌ونقل این گونه مواد را می‌توان کاهش تصادفات احتمالی و جلوگیری از عواقب مضرّ آن‌ها دانست. در این رابطه توجه به سه عامل اهمیت دارد: (۱) حساسیت مسیر جمع‌آوری (۲) در نظر گرفتن موارد اقتصادی در فرایند جمع‌آوری و (۳) عدم قطعیت‌های زمانی در مقاطع مختلف از دوره زمانی مورد مطالعه. در مطالعات موجود در ادبیات اگرچه به بحث پنجره‌های زمانی پرداخته شده است اما براساس دانش موجود بررسی عوامل ایجاد عدم قطعیت[1] در مسیرهای شبکه در هر پنجره‌های زمانی نظیر تغییرات شرایط جوی، ترافیک و تغییرات کارایی نیروی انسانی در فرایند حمل‌ونقل بررسی نشده است.

برای پاسخ‌دهی به تقاضای این نقاط، مجموعه از وسایل نقلیه از مرکز توزیع دارو شروع به حرکت کرده و به جمع‌آوری دارو در هر گره می‌پردازند. با توجه به آنکه مسیرهای موجود در مراکز شهری یا مناطق مورد نظر از لحاظ جمعیت متفاوت می‌باشند، ضریبی تحت عنوان حساسیت مسیر تعریف می‌گردد. به نحوی که در مسیرهای مشخص و خاص باتوجه به ظرفیت متمرکز در آن منطقه حساسیت انتقال بار در آن مسیر بالا می‌رود و هزینه انتقال افزایش می‌یابد. به منظور کنترل این پدیده، مفهومی تحت عنوان ضریب حساسیت مسیر معرفی می‌گردد. همچنین با توجه به آنکه میزان بار برداشت شده در هر مسیر بر روی هزینه‌های انتقال آن تاثیر می‌گذارد و با افزایش میزان بار می‌توان از صرفه جویی‌های اقتصادی ناشی از اشتراک هزینه‌های ثابت بین مقدار بیشتر بار استفاده نمود. ضریبی تحت عنوان صرفه‌جویی اقتصادی در زمان انتقال بار معرفی می‌شود. در این شرایط وسیله نقلیه به محض آنکه به حد مشخصی از میزان بار برسد، این ضریب صرفه جویی اقتصادی فعال می‌گردد. اما بایستی توجه نمود که میزان باری که یک وسیله نقلیه می‌تواند انتقال دهد دارای محدودیت است. یعنی محدودیت ظرفیت برای وسایل نقلیه وجود دارد.

در کنار عوامل تشریح شده فرض بر آن است که پنجره‌های زمانی مشخص برای زمان برداشت وجود دارد و در زمان‌های مختلف شرایط محیطی و ترافیکی، مسیرها متفاوت است که این مسئله عدم قطعیت زمان حرکت را ایجاد می‌کند. این امر با توجه به حساسیت‌های انتشار مواد خطرناک وآلودگی‌های ناشی از آن در طول مسیرها، بیش از پیش اهمیت می‌یابد. در نتیجه طراحی مسیرها و زمان‌های جمع‌آوری باید به‌شیوه‌ای باشد که فرایند جمع‌آوری و حمل‌ونقل دارو تا حد ممکن در برابر عدم قطعیت پنجره‌های زمانی، مقاوم عمل کند.

براساس آنچه گفته شد طراحان شبکه لجستیک دارو باید به نحوی مسیرهای ایجاد شده بین مرکز توزیع دارو با هر یک از مراکز مصرف دارو (داروخانه‌ها) را طراحی نمایند که ضمن رعایت محدودیت‌های مرتبط با پنجره‌های زمانی و عدم قطعیت آن ، محدودیت ظرفیت وسیله نقلیه و ظرفیت مسافت به‌کمینه‌سازی هزینه‌های انتقال و همچنین هزینه‌های ناشی از ایجاد آلودگی بپردازند.

[1] Uncertainty

از اینرو برای اولین بار در این تحقیق در ادبیات موضوع مسیریابی وسایل نقلیه[۲] (VRP) به منظور حمل‌ونقل مواد دارویی خطرناک با توجه به مفهوم حساسیت مسیر، اقتصاد مقیاس[۳] و عدم قطعیت پنجره‌های زمانی مطرح و بهینه‌سازی می‌شود. همچنین از الگوریتم گرگ خاکستری به‌عنوان روش بهینه‌سازی استفاده خواهد شد.

در ادامه به برخی از پژوهش‌های انجام شده در ارتباط با موضوع و هدف پژوهش اشاره می‌گردد.

مسئله مسیریابی وسیله نقلیه یکی از موضوعاتی است که به طور گسترده در علم حمل و نقل مورد بررسی قرار گرفته است. این امر به دلیل اثرات بالقوه در کاهش هزینه و فراهم آوردن امکانات در بهبود خدمات برای شرکت‌هایی است که در زمینه توزیع فیزیکی کالا مشغول به فعالیت هستند (Zhang et al., 2019). مسئله مسیریابی وسیله نقلیه نخستین بار توسط دانتسینگ و رامسر[۴](۱۹۵۹) معرفی گردید. مسئله مسیریابی وسیله نقلیه در واقع مسئله طراحی مسیرهای بهینه برای ناوگانی از وسائل نقلیه یکسان می‌باشد که هدف آن خدمت رسانی به مجموعه‌ای از مشتریانی است که در مناطق مختلف جغرافیایی به صورت پراکنده واقع شده‌اند و در این راستا باید هزینه‌های عملیاتی کل حداقل گردد.

در سال های اخیر مسئله مسیریابی وسیله نقلیه سبز حوزه جذابی برای بسیاری از پژوهشگران بوده است که دلیل اصلی به کارگیری این موضوع توسط بسیاری از پژوهشگران نیز مزیت بالقوه آن برای محیط زیست و مزایای مادی حاصل از آن می‌باشد. مسئله مسیریابی وسیله نقلیه شامل روش‌های مشخصی به منظور حداقل کردن دی اکسید کربن منتشر شده از وسایل نقلیه است.

سیبی و اگلسه[۵] (۲۰۰۷)، پخارل و موتا[۶] (۲۰۰۹)، گاویندان و همکاران[۷] (۲۰۱۵)، پژوهش هایی را در زمینه های پنجره های زمانی سخت و نرم، اثر ترافیک اطلاعاتی و جلوگیری از تراکم در مسئله مسیریابی وسیله نقلیه انجام دادند. در چنین رویکردی، زمان و سرعت جز الزامات محاسبه مصرف سوخت و انتشار گازهای گلخانه‌ای به حساب می آید. در نتیجه توسعه این دسته از مفاهیم، دو حوزه اصلی پدیدآمد که اولین حوزه در رابطه با لجستیک معکوس در بارگیری و توزیع محصولاتی است که تاریخ انقضا آن‌ها گذشته است و حوزه دوم در رابطه با توزیع و بار گیری همزمان محصولات دست دوم است. با لحاظ کردن هزینه های درونی در مسئله عمومی مسیریابی وسیله نقلیه، بکتاش و لاپرته[۸] (۲۰۱۱)، مفهوم مسئله مسیریابی–آلودگی[۹] را مطرح نمودند. آن‌ها در پژوهش خود توازن‌های مهم بین چند عامل از قبیل بار وسیله نقلیه، سرعت و هزینه آن را شناسایی کردند. آن‌ها در پژوهش خود پیشنهاد دادند که با بزرگ‌تر شدن مسئله مسیریابی وسیله نقلیه، حل آن نیز پیچیده‌تر می‌شود، اما با این حال امکان ذخیره سازی‌های بالقوه در هزینه کل وجود دارد. شیائو و همکاران[۱۰] (۲۰۱۶)، پژوهشی را در رابطه با حداقل سازی هزینه-های وسائل نقلیه و کارایی مسئله مسیریابی وسیله نقلیه سبز انجام دادند. مدل مربوط به پژوهش آن ها به دنبال کنترل منابع آلودگی، بهینه سازی مسیریابی و اثرگذاری مثبت بر روی مسیریابی سبز بود.

جابیر و همکاران[۱۱] (۲۰۱۵) به‌اندازه‌گیری دی اکسید کربن منتشر شده از وسایل نقلیه پرداختند. برای این‌منظور، مسئله مسیریابی وسیله نقلیه با ظرفیت محدود و مدل بهینه سازی چند هدفه پیشنهاد گردید. علاوه بر این کاظمیان و عارف[۱۲] (۲۰۱۵) یک دیدگاه سبز در رابطه با مسئله مسیریابی وسیله نقلیه با ظرفیت محدود و با در نظر گرفتن پنجره های زمانی پیشنهاد دادند. مدل پیشنهاد شده توسط آن‌ها در یک پیکربندی توزیع واقعی توسعه داده شد در حالیکه محدودیت های سرعت متفاوت برای بازهای

---

[2] Vehicle Routing Problem
[3] Economic of Scale
[4] Dantzig and Ramser
[5] Sbihi and Eglese
[6] Pokharel et al.
[7] Govindan et al.
[8] Bekats and Laporte
[9] Pollution-routing problem
[10] Xiao et al.
[11] Jabir et al.
[12] Kazemian and Aref

زمانی در آن در نظر گرفته شده است. پس از پژوهش انجام گرفته توسط آنها، مادانکومار و راجندران[۱۳] (۲۰۱۶) حالتی از مسئله مسیریابی وسیله نقلیه را مورد بررسی قرار دادند که حوزه مربوط به مسیریابی آن در قالب یک زنجیره تامین نیمه هادی در نظر گرفته شد. در این پژوهش از دو مدل برنامه ریزی خطی عدد صحیح ترکیبی به منظور حل مسئله مسیریابی سبز که در آن جمع آوری و تحویل در نظر گرفته شده بود، پیشنهاد گردید. شیائو و کناک[۱۴] (۲۰۱۶) مسئله مسیر یابی وسیله نقلیه سبز را با در نظر گرفتن برنامه ریزی زمان، مورد مطالعه قرار دادند. در پژوهش انجام گرفته شده توسط آنها پژوهشگران به دنبال حداقل سازی گازهای گلخانه ای منتشر شده از وسایل نقلیه در یک سیستم لجستیک بودند.

اثر انتشار کربن ناشی از یکپارچه سازی حمل و نقل بر روی کامیون ها مربوط به یک وضعیت از مسئله مسیریابی وسیله نقلیه توسط تارکنستین و هالسه[۱۵] در سال ۲۰۱۷ بررسی گردید که بر اساس آن هنگامی که وسایل نقلیه کوچک برای مکان های تحویل و باربرداری در نظر گرفته شده اند که نسبتا در فواصل دور از یکدیگر قرار گرفته اند، میزان صرفه جویی انتشار کربن بیشتر است. همچنین در این پژوهش اثبات گردید که هنگامی که یک وسیله نقلیه قبل از آنکه به بار انداز برگردد توسط نقاط تامین و تقاضای زیادی فراخوانده شود، ذخیره سازی انتشار کربن به میزان زیادی نخواهد بود و حتی میزان انتشار برای مسیرهایی که به صورت یکپارچه می باشند، افزایش خواهد یافت.

در پژوهش انجام گرفته توسط سلیمانی و همکاران (۲۰۱۷) یک مدل برنامه‌ریزی غیرخطی چند هدفه برای مسئله مسیریابی وسیله نقلیه سبز[۱۶] برای فعالیت‌های مربوط به تحویل و باربرداری برای محصولات نو و محصولاتی که مجددا تولید گردیده‌اند و در انتهای چرخه عمر[۱۷] خود قرار دارند، پیشنهاد گردیده است. مدل پیشنهاد شده در این پژوهش از طریق به کارگیری یک روش فازی مناسب خطی سازی، اعتبار سنجی وحل گردیده است.

به دلیل افزایش آگاهی عمومی از گرم شدن جهانی و نتایج مضر حاصل از انتشار گازهای گلخانه‌ای، پژوهش‌های بیشتری در سال‌های اخیر به در نظر گرفتن عوامل زیست محیطی به عنوان فاکتورهای مربوط به بهینه‌سازی مسیریابی وسایل نقلیه تاکید کرده اند (Wang et al., 2018). ژانگ و همکاران[۱۸] (۲۰۱۴)، مسئله مسیریابی وسیله نقلیه محیطی[۱۹] را به منظور بررسی اثرات محیطی ناشی از انتشار کربن ارائه نمودند.

در همین رابطه وانگ و همکاران[۲۰] (۲۰۱۸)، مدل ریاضی دو هدفه متشکل از توابع اقتصادی و محیطی را ارائه نمودند. آن‌ها همچنین در پژوهش خود نشان دادند که با در نظر گرفتن اعتبار سنجی می‌توان تناقض موجود میان عوامل محیطی و اقتصادی را تنظیم نمود. همچنین از دیدگاه اقتصادی، شرکت‌هایی که فعالیت‌های لجستیکی انجام می‌دهند، با افزایش هزینه‌های عملیاتی به دلیل مسافت‌های طولانی حمل و نقل مواجه می‌شوند و یا به دلیل کمبود منابع حمل و نقل موجود، نمی توانند ظرفیت شبکه توزیع را تامین کنند.

در پژوهش انجام گرفته توسط تورو و همکاران[۲۱] (۲۰۱۷)، یک مدل ریاضی برای مسئله مکان‌یابی مسیریابی با ظرفیت محدود با در نظر گرفتن اثرات محیطی سیستم توزیع، پیشنهاد گردید. آنها براساس یک مسئله برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح ترکیبی دوهدفه، پیشنهاد نمودند که به کارگیری بیشتر وسایل نقلیه بالقوه منجر به ذخیره سازی بیشتر سوخت در دراز مدت و بنابراین کاهش سطح انتشار می‌گردد. در پژوهش انجام گرفته توسط آن‌ها هرچقدر میزان وسایل نقلیه‌ای که در یک توزیع از مسیرهای کوتاه به کار می‌رود، بیشتر باشد، آلودگی کمتری ایجاد می‌گردد در حالیکه مشتریان با تقاضای بالاتر را در الویت بیشتری قرار

[13] Madanakumar and Rajendran
[14] Xiao and Konak
[15] Turkensteen and Hasle
[16] Green Vehicle routing problem(GVRP)
[17] End of life(EOL)
[18] Zhang et al.
[19] EVRP
[20] Wang et al.
[21] Toro et al.

می دهد.

با افزایش روزافزون جمعیت بشر، پایداری برنامه‌ریزی و اجرای فرآیندها چه در تولید چه در خدمات عمومی و یا چه در به کارگیری از زمین اهمیت دارد. چرا که پایداری منجر به ایجاد تعادل میان انسان و زیستگاه اطرافش می‌گردد. به منظور دستیابی به فاکتورهای پایداری در چنین فعالیت‌هایی، شاخص‌های گوناگونی در نظر گرفته شده‌اند، به عنوان مثال جوانا و همکاران[۲۲] (۲۰۱۲)، شاخص های مبتنی بر ارزیابی میزان پایداری آب را مورد بررسی قرار دادند که در آن منابع آبی به عنوان یک برآورد مهم به حساب می آمدند. در پژوهش انجام گرفته توسط ایبارا رجاس و همکاران[۲۳] (۲۰۱۷)، مفهوم در دسترس بودن (دسترس پذیری) به منظور بهینه سازی فرآیندهای توزیع در قالب یک مسئله مسیریابی وسیله نقلیه بررسی گردید که در این پژوهش شاخص های مربوط به پوشش دهی به عنوان بخشی از یک شاخص جهانی درنظر گرفته شدند. به طور کلی بهبود دسترسی به معنای تضمین بهتر و بیشتر فرصت‌های تخصیص داده شده برای افراد به منظور دستیابی به یک خدمت و یا برآورده شدن یک نیاز بدون نیاز به اتکا به جابه‌جایی برای دستیابی به یک خدمت و یا برآورده شدن یک نیاز است و بنابراین مفهوم قابلیت در دسترس بودن از نقطه نظر اجتماعی–اقتصادی اهمیت زیادی پیدا می کند.

یکی از مهم‌ترین مسائل مطرح در بحث مسیریابی کالاها و اقلام، بحث مسیریابی مواد خطرناک است. در این راستا، یک ماده خطرناک می‌تواند شامل هر نوع از مواد شیمیایی، رادیولوژیکی و یا بیولوژیکی باشد که می‌تواند منجر به طیف وسیعی از خطرات برای سلامتی انسان از جمله سوزش، حساسیت و سرطان گردد. همچنین مواد خطرناک می‌توانند خطرات فیزیکی از قبیل اشتعال، زنگ زدگی و واکنش پذیری بیش از اندازه را در پی داشته باشند؛ از این رو دستورالعمل‌های خاصی برای حمل و نقل مواد خطرناک باید تعریف گردد. لسجیتک دارو یکی از مصادیق دقیق حمل و نقل مواد خطرناک به حساب می آید. در این گونه مسائل محدودیت زمانی مختلفی از جمله محدودیت زمانی سخت و نرم دیده می شود.

در مسئله مسیریابی وسایل نقلیه با پنجره زمانی سخت, مشتری با تقاضای مشخص به وسیله یک ناوگان حمل ونقل همگن که ظرفیت هر وسیله نقلیه محدود می‌باشد, سرویس‌گیری می‌کند . ابتدا و انتهای هر مسیر به انبار منتهی شده و سرویس‌دهی به مشتری در بازه زمانی خاصی انجام می‌پذیرد و انجام سرویس‌دهی خارج از این بازه زمانی امکانپذیر نمی‌باشد. در اینجا نیز هدف, کمینه کردن فاصله سفر می‌باشد. مشتری‌ها در بازه مشخص شده سرویس دریافت می‌کنند یعنی زودتر و دیرتر از زمان مشخص سرویس‌دهی نمی‌شوند برای سرویس‌دهی به هر مشتری یک پنجره زمانی سخت تعریف شده است یعنی وسیله نقلیه در بازه خاصی اجازه سرویس‌دهی به مشتری را دارا می‌باشد به این معنا که کالا باید در محدوده زمانی مشخص به مشتری تحویل داده شود به طور مثال در مورد غذاهای فاسدشدنی، دیر کرد و زود کرد بیش از موعد مورد نظر، ممنوع می‌باشد. مسئله مسیریابی وسایل نقلیه نشان دهنده محدودیت زمانی در یک بازه می باشد. این بازه دارای زودترین و دیرترین زمان شروع سرویس‌دهی می‌باشد. در صورت رعایت نکردن این بازه زمانی, هزینه رعایت نکردن پنجره زمانی به هزینه‌های دیگر اضافه می‌شود

به‌طورکلی مسائل مسریابی وسایل نقلیه به منظور حمل و نقل مواد خطرناک[۲۴] بر روی دو نوع مسئله تمرکز دارند: که شامل مسئله مسیریابی وسایل نقلیه (توزیع بار با کامیون کمتر از ظرفیت کامل) و مسئله کوتاهترین مسیر (توزیع بار با ظرفیت کامل کامیون) می‌شود. ترانتیلیس[۲۵] (۲۰۰۱) و کیرانودیس[۲۶] (۲۰۰۱) در مطالعه‌ای به مسئله حمل‌ونقل وسایل نقلیه[۲۷] برای خدمت‌دهی به تقاضاس مواد خطرناک پرداختند. هدف آن‌ها در این مطالعه حداقل کردن در معرض گرفتن افراد با مواد خطرناک با حل مسئله مسیریابی وسایل نقلیه است. در بیشتر موارد، فاصله محل تولید مواد خطرناک با محل مصرف آن بسیار زیاد است، به همین جهت، از مسئله مسیریابی وسایل نقلیه به منظور حمل مواد خطرناک با در نظر گرفتن کمینه کردن طول مسیر و هزینه-های حمل‌ونقل استفاده می‌شود. علاوه بر جنبه‌های اقتصادی حمل‌ونقل مواد خطرناک، شاخص‌های انسانی و زیست محیطی نیز

[22] Juwana et al.
[23] Ibarra-Rojas et al
[24] Hazardous Materials (HazMat)
[25] Tarantilis
[26] Kiranoudis
[27] Vehicle Routing Problem (VRP)

می به منظور حمل‌ونقل این نوع مواد در نظر گرفته می‌شود. اگرچه درصورت وقوع هر نوع حادثه‌ای، خسارت‌های غیرقابل جبرانی به محیط زیست و انسان‌ها وارد می‌شود (Zografos and Androutsopoulos, 2004). به‌دلیل همین نگرانی‌ها، در تابع هدف مسئله مسیریابی وسایل نقلیه مواد خطرناک علاوه بر کمینه کردن هزینه‌ها کاهش ریسک حمل و نقل مواد خطرناک نیز در نظر گرفته شد (List et al., 1991). درنظرگیری مفهوم ریسک در مسیریابی بهینه منجر به ایجاد یک مسئله چندهدفه با اهداف متناقص می‌شود، زیرا کاهش ریسک مسیرها باعث افزایش هزینه‌های حمل‌ونقل می‌شود. مفهوم ریسک در حمل‌ونقل مواد خطرناک، احتمال وقوع حوادث در بازه‌های زمانی متوالی است. بنابراین، در حمل و نقل مواد خطرناک باید احتمال وقوع حوادث نیز در نظر گرفته شود. کازانتری[۲۸] و همکاران (۲۰۱۱) یک چارچوب سیستماتیک برای توسعه مدل حمل و نقل مواد خطرناک به گونه‌ای که هزینه حمل‌ونقل به کمترین میزان برسد، در حالی که خطرات احتمالی در سطوح تعیین شده کاهش یابد، ارائه کردند. کارا[۲۹] و ورتر[۳۰] (۲۰۰۴) مدل دو مرحله‌ای ارائه کردند که به کمینه کردن ریسک حمل‌ونقل مواد خطرناک و بهینه کرد طول مسیر می‌پردازد. بریوب[۳۱] و همکاران (۲۰۰۹) به بررسی حمل‌ونقل مواد خطرناک چند هدفه و بررسی حل آنها به وسیله روش محدودیت اپسیلون پرداختند و آن را با ارائه روش‌های فراابتکاری سریع در حالت چند هدفه حل کردند در مطالعه آراپ[۳۲] (۲۰۱۲) محاسبه ریسک حمل‌ونقل مواد اشتعال پذیر از سه جنبه احتمال وقوع حادثه در هنگام حمل‌ونقل، تاثیر جریمه وقوع حادثه و در معرض قرار گرفتن افراد با مواد مورد بررسی قرار گرفته است.

در پژوهش انجام گرفته توسط ارجمند و همکاران[۳۳] (۲۰۱۵)، یک الگوریتم ژنتیک به منظور حل مدل تصادفی دو هدفه و برای حمل و نقل، مکان یابی و تخصیص مواد خطرناک به کار برده شد. مدل به کارگرفته شده در این پژوهش، بر اساس تحویل یک محصول به مشتری توسعه یافته است و تنها در یک دوره زمانی تعریف می‌گردد که در آن، هر مشتری و هر تسهیل تنها به یک مرکز دفن زباله (مواد خطرناک) تخصیص می‌یابند. نتایج به‌دست آمده نشان داد که مدیریت حمل و نقل مواد خطرناک و مکانیابی مناسب مراکز زباله برای این دسته از مواد می تواند ریسک ناشی از تصادفات و جنبه های اجتماعی مربوط به آن را به طور قابل توجهی کاهش دهد. در پژوهشی دیگر سنر آکپینار[۳۴] (۲۰۱۶)، یک الگوریتم جستجوی همسایگی ترکیبی به همراه الگوریتم بهینه سازی کلونی مورچگان برای مسئله مسیریابی وسیله نقلیه با ظرفیت محدود، تعریف کردند.

وین‌یوان[۳۵] و همکاران (۲۰۱۷) یک مدل دوهدفه برای مسئله مسیریابی وسایل نقلیه برای حمل‌ونقل مواد خطرناک توسعه دادند. آن‌ها در مدل خود به معرفی متغیرهای تصمیم جدید برای توصیف توالی و ترتیب مشتریان پرداختند. به‌علاوه، اندازه‌گیری ریسک مدل آن‌ها باتوجه به ماهیت مواد خطرناک انتقالی، تغییر بارگیری را مدنظر قرار می‌دهد. هائوهو[۳۶] و همکاران (۲۰۱۷) یک مدل زنجیره تامین سه سطحی با موجودی موادخطرناک، حمل‌ونقل بین تامین کنندگان و کارخانه‌ها و مصرف‌کنندها را ارائه کردند. هدف از پژوهش آن‌ها برقرار کردن تعادل بین ریسک و هزینه با فرض فازی بودن تقاضای مصرف کنندگان است. هیوچای[۳۷] و همکاران (۲۰۱۷) پژوهشی تحت عنوان بهینه‌سازی برنامه‌ریزی مسیر و زمان‌بندی وسایل نقلیه برای توزیع مواد خطرناک ارائه کردند. مدل آن‌ها دارای دو مرحله کلی است. در مرحله اول یک الگوریتم بهینه‌سازی دوسطحی برای طراحی برنامه‌ریزی مسیر طراحی شده است. که در سطح اول یک مجموعه جواب غالب از مسیرهای مراکز توزیع و مقصد هر کدام به دست می‌آید و در سطح بعدی با یک روش بهینه‌سازی چندهدفه برمبنای الگوریتم NSGA-II ، مسیرهای حمل‌ونقل به دست می‌آید.

---

[28] Kazantzi
[29] Kara
[30] Verter
[31] Berube
[32] Arup
[33] Ardjmand et al.
[34] Sener Akpinar
[35] Wenyan Yuan
[36] Hao Hu
[37] Huo Chai

علاوه بر عوامل ذکرشده، در نظر گرفتن عدم قطعیت در مقاطع مختلف از طول روز می تواند منجر به کاهش عدم قطعیت در مدیریت حمل و نقل مواد خطرناک گردد. در همین راستا هوگبوم و دلارت[۳۸] (۲۰۱۸) در پژوهش خود، مسئله مسیریابی وسیله نقلیه را با در نظر گرفتن پراکندگی زمان ارائه نمودند. آن‌ها در پژوهش خود الگوریتم‌هایی را به منظور حداقل نمودن مدت استفاده از یک مسیر با در نظر گرفتن زمان سفر بهینه از بارانداز و در پنجره‌های زمانی متفاوت و با فرض آنکه زمان انتظار برای مشتریان مجاز است، ارائه نمودند. همچنین در پژوهش مربوط به آن‌ها زمان رسیدن هر یک از مشتریان با یکدیگر به صورت متفاوت در نظرگرفته شده است.

ژانگ و همکاران[۳۹] (۲۰۱۹)، یک مسئله چندهدفه برای مسیریابی وسیله نقلیه با در نظر گرفتن پنجره‌های زمانی انعطاف پذیر و بر اساس الگوریتم ترکیبی کلونی مورچگان ارائه دادند. پنجره های زمانی انعطاف پذیر، پنجره‌هایی هستند که در آن‌ها مشتریان می‌توانند قبل از زودترین زمان خدمت‌دهی و یا بعد از دیرترین زمان خدمت‌دهی، در یک بازه زمانی مشخص خدمت دریافت کنند. در پژوهش آنها پنجره‌های زمانی انعطاف پذیر با در نظر گرفتن روش پارتو براساس الگوریتم بهینه‌سازی کلونی مورچگان با هدف کمینه کردن هزینه‌های مسیریابی و حداکثر کردن رضایت مشتریان ارائه شد.

بوزیان و همکاران[۴۰] (۲۰۲۰) به طراحی شبکه لجستیک دارو به عنوان یک مسئله حمل و نقل مواد خطرناک پرداخته اند. در این تحقیق از پنجره زمانی نرم برای تحویل دارو استفاده شده است. برای حل این مسئله دو الگوریتم فراابتکاری به نام های جستجوی همسایگی متغیر و جستجوی همسایگی بزرگ مورد استفاده قرار گرفته است. نتایج این تحقیق حاکی از کیفیت بالای روش های حل ارائه شده می باشد.

نوروزی و همکاران (۲۰۱۲) به مدل سازی ریاضی جدید مسئله مکان یابی تسهیلات و مسیریابی وسایل تقلیه پرداختند و روشی برمبنای الگوریتم رقابت استعماری تلفیقی ارائه نمودند. در ادامه سرگردان و همکاران (۱۳۹۴) به مدل‌سازی مسئله مسیریابی وسیله نقلیه با در نظر گرفتن چند انبار، تحویل و بار برداری همزمان، پنجره زمانی سخت و نرم، هزینه و استهلاک وابسته به میزان بار موجود در وسیله نقلیه و نوع مسیر پرداختند. سبحانی و همکاران (۱۳۹۵) الگوی مدیریت ایمنی رانندگان و متصدیان بارگیری مواد خطرناک را برای حمل و نقل جاده‌ای مطرح و به‌عنوان مورد مطالعه موردی سیستم حمل و نقل پالایشگاه شرکت نفت ایران را بررسی نمودند. جدول شماره یک به بررسی و مرور ادبیات حمل و نقل مواد خطرناک می‌پردازد.

جدول شماره (۱): بررسی و مرور ادبیات حمل و نقل مواد خطرناک

مقاله	مسیریابی	صرفه جویی اقتصادی	مدلسازی خطی	مدلسازی غیرخطی	ناوگان همگن	تک هدفه	چن هدفه	محدودیت ظرفیت	عدم قطعیت	روش حل
بریوب و همکاران (۲۰۰۹)	√				√		√			روش محدودیت اپسیلون
روجه (۲۰۱۰)	√			√		√		√		کلونی مورچگان
کازانتری و همکاران (۲۰۱۱)	√				√		√	√		مطالعه میدانی
آناند (۲۰۱۲)	√	√				√		√		جستجوی محلی با جستجوی همسایگی سلسله
آراپ (۲۰۱۲)	√		√			√		√	√	مطالعه میدانی

[38] Hoogeboom and Dollaert
[39] Zhang et al.
[40] Bouziyane et al.

کونستاتینوس (۲۰۱۲)	√		√		√	√		مطالعه میدانی
هائوهو و همکاران (۲۰۱۷)	√		√		√			حل دقیق
هیوچای و همکاران (۲۰۱۷)	√		√		√			NSGA-II
وین‌یوان و همکاران (۲۰۱۷)	√	√			√			مطالعه میدانی
هوگبوم و دلارت (۲۰۱۸)	√		√		√	√	√	حل دقیق
ژانگ و همکاران (۲۰۱۹)	√		√		√	√		الگوریتم مورچگان
بوزیان و همکاران (۲۰۲۰)	√		√		√	√		الگوریتم جستجوی همسایگی متغیر
نوروزی و همکاران (۱۳۹۴)	√		√		√			الگوریتم رقابت استعماری
سرگردان و همکاران (۱۳۹۴)	√		√		√			حل دقیق
سبحانی و همکاران (۱۳۹۵)	√		√		√			حل دقیق
تحقیق حاضر	√	√	√		√	√	√	الگوریتم گرگ خاکستری

براساس جدول شماره یک و مرور ادبیات صورت گرفته در این بخش، می‌توان نتیجه گرفت که در زمینه بهینه سازی حمل و نقل مواد دارویی مطالعه‌ای که به طور همزمان از سه دیدگاه اقتصادی، حساسیت مسیر و عوامل ایجادکننده عدم قطعیت در زمان جمع‌آوری و ارسال مواد خطرناک مسئله را بررسی کرده باشد، وجود ندارد. از اینرو برای اولین بار در ادبیات، موضوع مسیریابی وسایل نقلیه به منظور حمل‌ونقل مواد خطرناک با توجه به مفهوم حساسیت مسیر، اقتصاد مقیاس و عدم قطعیت پنجره‌های زمانی مطرح می‌شود.

۲- روش شناسی تحقیق

حمل و نقل مواد دارویی خطرناک یکی از فعالیت‌های جدایی‌ناپذیر و پرخطر در چرخه فعالیت‌های صنعتی محسوب می‌شود. ایجاد مشکل در انتقال این گونه مواد می‌تواند تاثیر زیانباری بر جمعیت و محیط بگذارد. چنین مشکلاتی می‌تواند منجر به اختلالات ترافیکی، خسارات زیست‌محیطی و حتی مرگ‌ومیر شود. هدف مدیریت حمل‌ونقل این گونه مواد را می‌توان کاهش تصادفات

احتمالی و جلوگیری از عواقب مضرر آن‌ها دانست. در این رابطه سه عامل حساسیت مسیر جمع‌آوری، اقتصادی مقیاس در فرایند جمع‌آوری، عدم قطعیت‌های زمانی در مقاطع مختلف از طول دوره زمانی اهمیت دارد. براساس آنچه گفته شد طراحان شبکه حمل‌ونقل مواد خطرناک باید به‌نحوی مسیرهای ایجاد شده بین مرکز دریافت دارو با هر یک از مراکز توزیع دارو را طراحی نمایند که ضمن رعایت محدودیت‌های مرتبط با پنجره‌های زمانی، عدم قطعیت و محدودیت ظرفیت وسیله نقلیه و مسافت در به‌کمینه‌سازی هزینه‌های سیستم بپردازد.

الف) مفروضات مدل

- زمان‌های حرکت دارای توزیع نرمال است.
- برای هر راننده حداکثر یک شیفت باید زمان بندی شود.
- هر شیفت باید دقیقا به یک مسیر جمع‌آوری تخصیص یابد.
- یک مرکز توزیع دارو وجود دارد.
- مجموعه‌ای از مراکز درمانی جهت دریافت دارو در سیستم موجود است.
- واحد زمانی، روزهای هفته است.
- مجموعه مسیرهای حرکت از پیش مشخص هستند.

ب) اندیس‌ها

$d \in D$ دوره زمانی مورد مطالعه بر اساس روزهای هفته

$w \in W$ وسایل نقلیه در دسترس

$i \in I$ مجموعه مراکز درمانی

$r \in R$ مجموعه مسیرهای شدنی

$t \in T$ مجموعه شیفت‌ها

ج) پارامتر ها

$C_{t,d,w}$ هزینه برنامه‌ریزی شیفت نوع t در روز d برای کامیون w

$V_{i,r}$ متغیر باینری که اگر مرکز درمانی i در مسیر r بازدید شود یک و در غیر اینصورت صفر می‌شود

θ^{max} حداکثر میانگین زمان کار روزانه

د) متغیرهای تصمیم

$x_{t,d,w}$ متغیر باینری که اگر شیفت نوع t در روز d برنامه ریزی شود یک و در غیر اینصورت صفر است.

$\lambda_{r,d,w}$ متغیر باینری که اگر مسیر r در روز d برای وسیله نقلیه w استفاده شود یک و در غیر اینصورت صفر است.

$r_{t,r,d,w}^{route}$ زمان مورد نیاز برای خدمت به مسیر r در روز d با وسیله نقلیه w در شیفت t

ه) مدل ریاضی مسئله پیشنهادی به شرح زیر می‌باشد.

$$\min \sum_{t\in T}\sum_{d\in D}\sum_{w\in W} C_{t,d,w}x_{t,d,w} \qquad (۱)$$

$Subject\ to$:

$$\sum_{t\in T} x_{t,d,w} \le 1 \qquad \forall d \in D, \forall w \in W \qquad (۲)$$

$$\sum_{r\in R} \lambda_{r,d,w} - \sum_{t\in T} x_{t,d,w} = 0 \qquad \forall d \in D, \forall w \in W \qquad (۳)$$

$$\sum_{\acute{t}\in T\setminus t} x_{\acute{t},d+1,w} \le 1 - x_{t,d,w} \qquad \forall t \in T, \forall w \in W, \forall d \in \{1,2,3,4\} \tag{۴}$$

$$\sum_{d\in D}\sum_{w\in W}\sum_{r\in R} V_{i,r}\lambda_{r,d,w} \ge 1, \qquad \forall i \in I \tag{۵}$$

$$\sum_{t\in T}\sum_{r\in R} r^{route}_{t,r,d,w}\,\lambda_{r,d,w}x_{t,d,w} \le \theta^{max}, \qquad \forall d \in D, \forall w \in W \tag{۶}$$

$$r^{route}_{t,r,d,w} = \mu^{driving}_{t,r} + \mu^{collection}_{r,d} + \mu^{drop-off}_{t,r} + z_\alpha\sqrt{\sigma^{2\,driving}_{t,r} + \sigma^{2\,collection}_{r,d} + \sigma^{2\,drop-off}_{t,r}} \tag{۷}$$

$$\forall\, t \in T, \forall r \in R, \forall d \in D, \forall w \in W$$

رابطه (۱) تابع هدف مدل ریاضی را نشان می دهد که این تابع هدف به‌دنبال کمینه کردن مجموع هزینه برنامه‌ریزی هفتگی است. لازم به‌ذکر است تعداد کل شیفت‌های مورد نیاز به‌عنوان تعداد روزهای کار وسایل نقلیه نیز لحاظ می‌شود. معادلات (۲) و (۳) نشان‌دهنده مسئله زمان‌بندی شیفت است. محدودیت (۲) اطمینان حاصل می‌کند که حداکثر یک شیفت در هر روز برای هر راننده لحاظ شود. محدودیت (۳) نشان می‌دهد که هر شیفت دقیقا باید به یک مسیر جمع‌آوری تخصیص یابد. مجموعه R بیان-کننده تمامی مسیرهای ممکن است. لازم به‌ذکر است که هر مسیر $r \in R$ یک زیر تور است که محل ابتدا و انتهای آن محل استقرار وسایل نقلیه است. همچنین یک مسیر جمع آوری شدنی شامل حداقل یک مرکز درمانی است. محدودیت (۴) بیان کننده توالی شیفت است. توالی شیفت تنها در روزهای کاری برقرار است. محدودیت آنکه هر مرکز درمانی بایستی حداقل یکبار در هفته بازدید شود در محدودیت (۵) نشان داده شده است. محدودیت (۶) بیان کننده آن است که میانگین زمان کار برای یک روز و وسیله نقلیه در طول تمامی هفته‌ها در افق زمانی صدق کند. زمان مورد نیاز برای خدمت به مسیر r در روز d با کامیون w در شیفت t یک متغیر تصادفی است که دارای توزیع نرمال با میانگین $\mu^{driving}_{t,r} + \mu^{collection}_{r,d} + \mu^{drop-off}_{t,r}$ و واریانس $\sigma^{2\,driving}_{t,r} + \sigma^{2\,collection}_{r,d} + \sigma^{2\,drop-off}_{t,r}$ است. در این شرایط، با احتمال $1-\alpha$، مقدار متغیر $r^{route}_{t,r,d,w}$، توسط محدودیت (۷) حاصل می‌شود.

و) الگوریتم گرگ خاکستری

الگوریتم گرگ خاکستری GWO[۴۱] یک الگوریتم فرا ابتکاری الهام گرفته از طبیعت است که رفتار گرگ های خاکستری و سلسله مراتب رهبری و روش شکار آنها را تقلید می‌کند. الگوریتم گرگ خاکستری توسط میرجلیلی و همکاران ایشان در سال ۲۰۱۴ بر مبنای شکار دسته جمعی گرگ‌ها ارائه شده است. گرگ خاکستری از خانواده گرگهای کشور کانادا است. گرگهای خاکستری در بالای زنجیره غذایی قرار دارند و ترجیح می‌دهند به صورت گروهی زندگی کنند. بطور میانگین، گروه‌های آن‌ها ۱۲–۵ نفر است جالب توجه است که آنها حکومت حاکم اجتماعی خیلی سختگیرانه‌تری دارند. به این صورت که گرگ آلفا، گرگ حاکم در گروه نامیده می‌شود، چرا که دستورات او باید توسط گروه، پیروی شود. گرگهای آلفا اساساً مسئول تصمیم‌گیری درباره شکار، جای خواب، زمان حرکت و مانند آن هستند. دومین سطح درجه‌بندی گرگهای خاکستری، بتا است، گرگهای بتا تحت امر آلفا هستند که به آلفا در تصمیم گیری و دیگر فعالیت‌های گروه کمک می‌کنند. گرگ بتا، احتمالاً بهترین کاندیدا برای آلفا شدن بوده و نقش یک معاون را برای آلفا و ناظم را برای گروه بازی می‌کند. پایین‌ترین طبقه نیز، گرگ خاکستری امگا است. گرگ-های امگا نقش قربانی را برای سایر اعضای گروه دارند. آنها آخرین گرگ‌هایی هستند که اجازه خوردن غذا را دارند. اگر گرگی آلفا، بتا یا امگا نباشند او فرمانبردار (یا دلتا) نامیده می‌شود. گرگهای دلتا از آلفاها و بتاها تبعیت می‌کنند و به امگاها حکمرانی می-کنند. برای مدلسازی ریاضی حکومت اجتماعی گرگ‌ها هنگام طراحی الگوریتم گرگ خاکستری، شایسته‌ترین راه حل را گرگ

[41] Grey Wolf Optimizer

α، نامگذاری می‌کنند.

در نتیجه، دومین و سومین راه حل‌های بهتر به ترتیب گرگ β و δ نامیده شدند. راه حل‌های باقیمانده فرض می‌شود که ω هستند. لذا در الگوریتم گرگ خاکستری بهینه سازی با α ، β و δ رهبری می‌شود و گرگ‌های ω از این سه دسته پیروی می‌کنند. گرگهای خاکستری در طول شکار طعمه را دور می‌زنند. برای مدلسازی ریاضی رفتار دور زدن، معادلات ۸ و ۹ پیشنهاد شده است.

$$\vec{D} = \left|\vec{C}.\overrightarrow{X_P}(t) - \vec{X}(t)\right| \quad (۸)$$

$$\vec{X}(t+1) = X_P(t) - \vec{A}.\vec{D} \quad (۹)$$

که t نشان دهنده تکرار جریان، A و C ضریب بردار، $\overrightarrow{X_p}$ بردار موقعیت شکار، و X نشاندهنده بردار موقعیت یک گرگ خاکستری است. بردارهای A و C مطابق روابط ۱۰ و ۱۱ محاسبه می‌شوند:

$$\vec{A} = 2\vec{a}.\overrightarrow{r_1} - \vec{a} \quad (۱۰)$$

$$\vec{C} = 2.\overrightarrow{r_2} \quad (۱۱)$$

عناصر $\vec{a}$ به طور خطی از ۲ به ۰ تحت مسیر تکرارها کاهش می‌یابند و r_1 و r_2 بردارهای تصادفی در بازه $[0,1]$ هستند.

گرگهای خاکستری توانایی تشخیص موقعیت طعمه و دور زدن آنها را دارند. شکار کردن معمولاً توسط آلفا راهنمایی می‌شود. همچنین بتا و دلتا ممکن است بعضی اوقات در شکار مشارکت کنند. بنابراین، در یک فضای جستجوی مطلق هیچ راه‌حلی درباره موقعیت بهینه (شکار) نداریم. برای شبیه سازی ریاضی رفتار شکار گرگ‌های خاکستری فرض می‌کنیم که آلفا (بهترین حل کاندیدا)، بتا و دلتا آگاهی کافی درباره موقعیت بالقوه شکار دارند. بنابراین، سه حل بهتر بدست آمده تا اینجا ذخیره شده و عامل‌های دیگر جستجو (امگاها) مجبور می‌شوند تا موقعیت خودشان را مطابق موقعیت بهترین عامل‌های جستجو به روز کنند. این عملیات مطابق روابط ۱۲ تا ۱۴ انجام می شود.

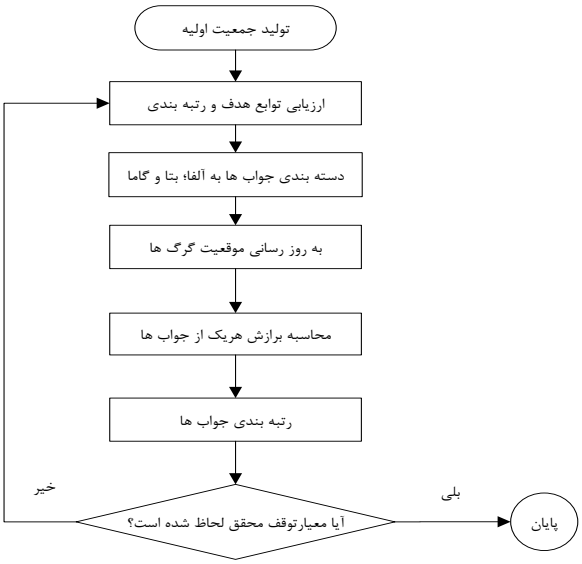
$$\overrightarrow{D_\delta} = \left|\overrightarrow{C_3}.\overrightarrow{X_\delta} - \vec{X}\right|, \quad \overrightarrow{D_\beta} = \left|\overrightarrow{C_2}.\overrightarrow{X_\beta} - \vec{X}\right|, \qquad \overrightarrow{D_\alpha} = \left|\overrightarrow{C_1}.\overrightarrow{X_\alpha} - \vec{X}\right|, \quad (۱۲)$$

$$\vec{X}_3 = \overrightarrow{X_\delta} - \overrightarrow{A_1}.\left(\vec{D}_\delta\right), \vec{X}_2 = \overrightarrow{X_\beta} - \overrightarrow{A_1}.\left(\vec{D}_\beta\right), \qquad \vec{X}_1 = \overrightarrow{X_\alpha} - \overrightarrow{A_1}.\left(\vec{D}_\alpha\right), \quad (۱۳)$$

$$\vec{X}(t+1) = \frac{\vec{X}_1 + \vec{X}_2 + \vec{X}_3}{3} \quad (۱۴)$$

به طور خلاصه در الگوریتم گرگ خاکستری فرایند جستجو با ایجاد یک جمعیت تصادفی از گرگ های خاکستری (راه حل های کاندید) شروع می شود. در طول دوره تکرار، گرگ های آلفا و بتا و دلتا، موقعیت احتمالی شکار را برآورد می کنند. در هر راه حل کاندید، فاصله جواب با طعمه به روز رسانی می شود. پارامتر a از مقدار ۲ تا ۰ کاهش پیدا می کند تا فرایند شناسایی و حمله به طعمه را تقویت نماید. زمانی که $|A|>1$ باشد، راه حل های کاندید، واگرا می شوند و زمانی که $|A|<1$ باشد راه حل های کاندید، همگرا می گردند.

به منظور بهبود الگوریتم گرگ خاکستری، در این تحقیق از رتبه‌بندی جواب‌ها استفاده می‌شود. این رتبه‌بندی بر حسب کیفیت جواب ها انجام می‌شود. در الگوریتم گرگ خاکستری بهبود یافته، کیفیت هر جواب بر حسب مقدار تابع هدف آن سنجیده شده و سپس مرتب‌سازی انجام می‌شود. این کار کمک می‌کند تا در هر تکرار، جواب‌های با کیفیت بیشتر در اولویت قرار گرفته و توسعه و بهبود آنها با عملکرد قویتری انجام شود. فلوچارت الگوریتم گرگ خاکستری بهبود یافته در شکل شماره ۱ ارائه شده است.



شکل شماره (۱): فلوچارت الگوریتم گرگ خاکستری بهبود یافته

۳- نتایج و بحث

الف) اعتبارسنجی مدل ریاضی

در ابتدا لازم است تا با حل یک مثال عددی در ابعاد کوچک نشان داده شود که خروجی مدل ریاضی شامل مسیرهای تشکیل شده، از نظر منطقی و نیز محدودیت های مدل صحیح هستند. برای این منظور مثالی با شرایط زیر تولید شده است:

شبکه‌ای مدنظر است که دارای یک مرکز توزیع و شش مرکز درمانی جهت بازدید است. دو وسیله نقلیه با ظرفیت چهل واحد وظیفه تحویل کالاهای دارویی از شش مشتری را بر عهده دارند. هر مشتری به اندازه ۱۰ تقاضا دارد. میانگین حد پایین و حد بالای پنجره زمانی هر مشتری ۱ و ۱۰۰ می‌باشد. انحراف معیار این پنجره زمانی معادل ۰.۵ واحد زمانی می باشد. مدت زمان سرویس دهی به هر مشتری ۰.۵ واحد زمانی براورد شده است. سایر پارامتر ها به صورت تصادفی و از توزیع یکنواخت پیوسته به صورت جدول ۲ تولید شده است.

جدول شماره (۲): ورودی های مدل در مثال اعتبار سنجی

پارامتر	حد پایین	حد بالا
زمان سفر	۲	۴
هزینه سفر بین مراکز درمانی	۳	۷
هزینه سفر از مرکز توزیع تا مراکز درمانی	۴	۶
هزینه آلودگی زیست محیطی	۰/۵	۳/۵
حساسیت مسیر	۱	۲/۵

پس از وارد کردن این اطلاعات به عنوان ورودی مدل به نرم افزار بهینه ساز گمز، جواب بهینه مدل حاصل شده است. شکل ۲ خروجی نرم افزار گمز و شکل ۳ مسیرهای تشکیل شده در شبکه را نشان می دهد.

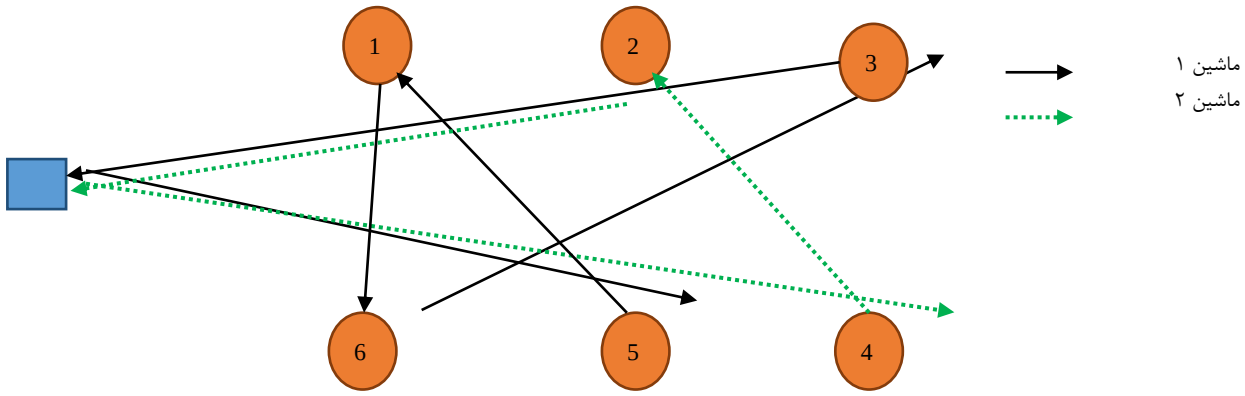
```
Proven optimal solution.

MIP Solution:           36.389569    (1391 iterations, 162 nodes)
Final Solve:            36.389569    (13 iterations)

Best possible:          36.389569
Absolute gap:            0.000000
Relative gap:            0.000000

--- Restarting execution
--- VRP code.gms(86) 0 Mb
--- Reading solution for model VRP
--- Executing after solve: elapsed 0:00:00.740
--- VRP code.gms(87) 3 Mb
*** Status: Normal completion
--- Job VRP code.gms Stop 08/11/19 12:48:43 elapsed 0:00:00.741
```

شکل شماره (۲): خروجی نرم افزار گمز از مثال اعتبار سنجی



شکل شماره (۳): مسیرهای تشکیل شده در جواب بهینه

همانطور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود، هر دو وسیله نقلیه به کار گرفته شده و مسیرهای تشکیل شده هر کدام یک تور مستقل بوده و هیچ زیرتوری تشکیل نشده است. لذا نتایج حاصل شده نشان از اعتبار مناسب مدل ریاضی می‌باشد.

ب) بررسی کارایی الگوریتم GWO

پس از اعتبار سنجی مدل ریاضی، لازم است تا کارایی روش های حل مورد استفاده ارزیابی شود. در این تحقیق ابتدا از حل دقیق مدل ریاضی در محیط گمز و از الگوریتم GWO در محیط متلب، به عنوان روش حل تقریبی استفاده شده است. در همین راستا ۲۰ مثال در ابعاد مختلف و با مقادیر داده‌هایی مطابق با مثال اعتبار سنجی تولید شده است. اطلاعات مثال های تولید شده در جدول شماره ۳ قابل مشاهده می باشد. این ۲۰ مثال یک بار با نرم افزار گمز و یک بار با الگوریتم GWO اجرا شده است. نتایج مربوطه در جدول ۴ ارائه شده است. لازم به ذکر است به دلیل اینکه مسئله مسیر یابی یک مسئله عملیاتی است، هر یک از روش های حل باید در یک زمان منطقی مقدار تابع هدف خود را گزارش کنند. لذا محدودیت زمان ۱ ساعت برای هر دو روش لحاظ شده است.

جدول شماره (۳): ابعاد مثال های تولید شده

شماره مثال	N	D	V
P1	۶	۱	۲
P2	۸	۲	۲
P3	۱۰	۲	۳
P4	۱۲	۴	۴
P5	۱۴	۴	۵

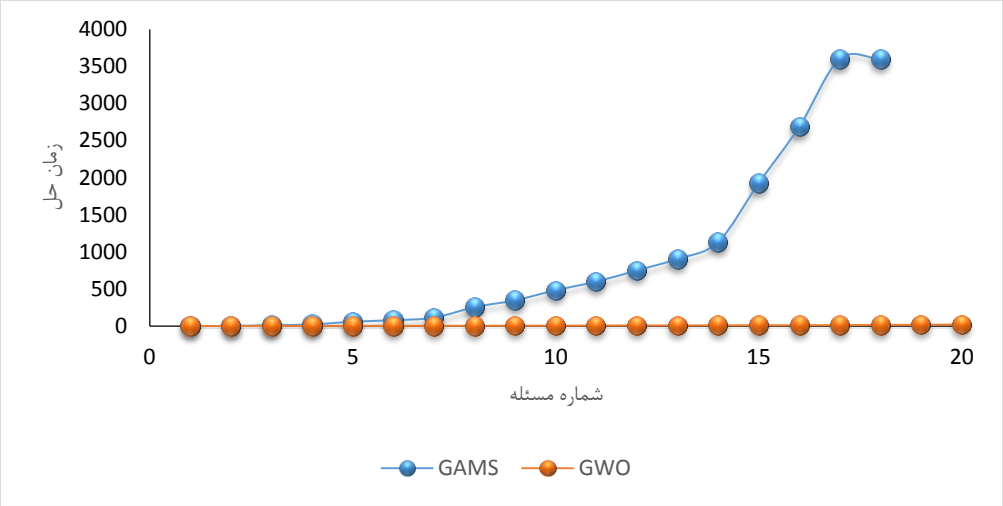
P6	۱۶	۶	۶
P7	۱۸	۶	۷
P8	۲۰	۸	۸
P9	۲۲	۸	۹
P10	۲۴	۱۰	۱۰
P11	۲۶	۱۰	۱۱
P12	۲۸	۱۲	۱۲
P13	۳۰	۱۲	۱۳
P14	۳۲	۱۴	۱۴
P15	۳۴	۱۴	۱۵
P16	۳۶	۱۶	۱۶
P17	۳۸	۱۶	۱۷
P18	۴۰	۱۸	۱۸
P19	۴۵	۱۸	۱۹
P20	۵۰	۲۰	۲۰

جدول شماره (۴): نتایج حاصل از اجرای مثال‌های تولید شده با نرم افزار گمز و الگوریتم GWO

شماره مثال	GAMS		GWO		
	Z	Time	Z	Time	GAP
۱	۳۶/۳۸	۰/۷۴	۳۶/۳۸	۰/۹۶	٪ ۰/۰۰
۲	۴۶/۹۳	۱/۷۹	۴۶/۹۳	۱/۲۳	٪ ۰/۰۰
۳	۵۸/۱۱	۱۲/۵۴	۵۸/۱۱	۱/۹۶	٪ ۰/۰۰
۴	۸۰/۲۴	۲۱/۶۸	۸۰/۲۴	۲/۱۶	٪ ۰/۰۰
۵	۱۱۰/۳۷	۵۸/۶۱	۱۱۰/۳۷	۲/۴۵	٪ ۰/۰۰
۶	۱۵۰/۹۶	۷۹/۳۳	۱۵۲/۷۷	۲/۸۸	٪ ۱/۲۰
۷	۱۶۱/۹۲	۱۱۳/۴۲	۱۶۴/۰۲	۳/۲۶	٪ ۱/۳۰
۸	۲۱۵/۹۹	۲۵۴/۸۵	۲۲۰/۱۰	۳/۶۴	٪ ۱/۹۰
۹	۳۱۷/۳۶	۳۴۷/۶۸	۳۲۴/۶۶	۴/۷۲	٪ ۲/۳۰
۱۰	۴۵۶/۲۶	۴۸۲/۵۱	۴۶۴/۴۷	۵/۱۹	٪ ۱/۸۰
۱۱	۶۲۵/۳۶	۵۹۹/۸۷	۶۴۲/۲۵	۶/۹۲	٪ ۲/۷۰
۱۲	۶۴۲/۵۰	۷۵۰/۱۳	۶۵۹/۲۱	۸/۰۷	٪ ۲/۶۰
۱۳	۶۵۷/۹۸	۹۰۴/۶۳	۶۸۰/۳۵	۸/۱۹	٪ ۳/۴۰
۱۴	۸۰۷/۱۹	۱۱۳۲/۱۱	۸۳۰/۶۰	۹/۷۳	٪۲/۹۰
۱۵	۹۶۷/۹۵	۱۹۲۴/۸۷	۱۰۰۳/۷۶	۱۰/۲۸	٪۳/۷۰
۱۶	۱۱۳۹/۷۶	۲۶۸۴/۱۴	۱۱۸۰/۸۰	۱۱/۴۵	٪۳/۶۰
۱۷	۱۵۱۳/۴۷	۳۶۰۰	۱۵۷۵/۵۲	۱۲/۸۶	٪۴/۱۰
۱۸	۲۰۰۸/۲۸	۳۶۰۰	۲۰۷۸/۵۷	۱۵/۱۲	٪۳/۵۰
۱۹	–	–	۲۴۵۱/۳۷	۱۷/۵۵	٪۴/۲۰
۲۰	-	-	۳۱۱۴/۹۲	۲۰/۷۱	٪ ۴/۸۰
متوسط	۵۵۵/۳۸۹۷۶۶۲	۹۲۰/۴۹۴	۷۹۳/۷۶۹۷۷۷۹	۷/۴۶۶۵	٪ ۲/۲۰

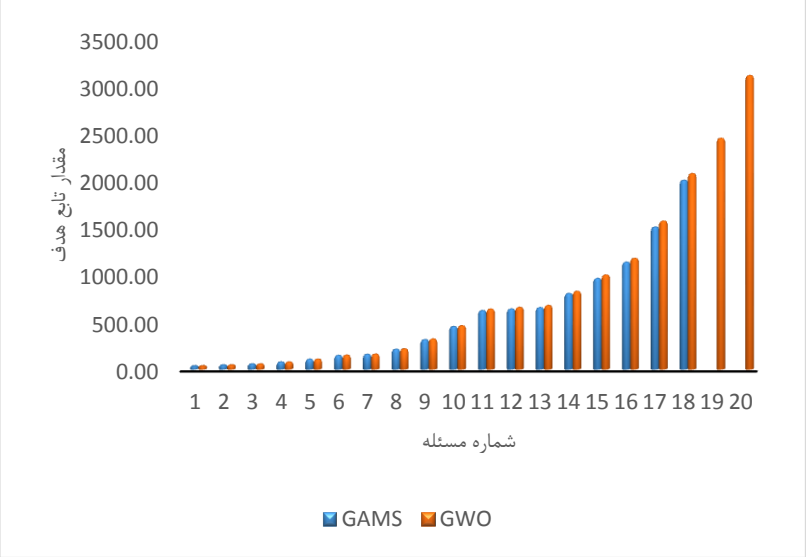
در جدول شماره سه، N معرف تعداد نقاط، D تعداد دپو ها و V تعداد وسایل نقلیه می باشد. در جدول ۴، Z معرف مقدار تابع هدف، Time زمان حل روش مورد نظر برحسب ثانیه و GAP خطای نسبی الگوریتم گرگ خاکستری می باشد.

نتایج حاصل شده نشان می دهد که الگوریتم گرگ خاکستری به طور متوسط ۲/۲ درصد خطا داشته است. حداکثر خطای این الگوریتم نسبت به جواب ۴/۸ درصد می باشد. این در حالی است که متوسط زمان حل الگوریتم گرگ خاکستری حدود۷/۴ ثانیه می باشد اما نرم افزار گمز دارای متوسط زمان حل ۹۲/۴۹ ثانیه بوده است. برای درک بهتر این موضوع در شکل شماره چهار، زمان حل دو روش مقایسه شده و در شکل شماره پنج مقدار تابع هدف روش گمز و الگوریتم گرگ خاکستری روی مثال های مختلف مشخص شده است.



شکل شماره (۴): مقایسه زمان حل دو روش

همانطور که در شکل شماره چهار مشاهده می شود، زمان حل گمز به صورت نمایی در حال افزایش است. دلیل این امر آن است که مسائل حوزه مسیریابی از رده مسائل NP-HARD می باشند. در این رده مسائل با افزایش ابعاد مسئله، زمان حل به شدت افزایش پیدا می کند. به همین دلیل نرم افزار گمز روش کارآمدی برای حل مدل ریاضی در ابعاد بزرگ نمی باشد. از طرفی الگوریتم گرگ خاکستری زمان حل بسیار کوتاهی داشته است و شیب افزایش زمان حل آن بسیار کم است.



شکل شماره (۵): مقایسه مقدار تابع هدف در حل مسئله با نرم افزار گمز و الگوریتم گرگ خاکستری

مطابق شکل شماره پنج، نرم افزار گمز به دلیل محدودیت زمانی یک ساعته قادر به حل دو مسئله آخر نبوده است. همچنین خطای الگوریتم گرگ خاکستری در ۵ مثال اول برابر ۰ می‌باشد. در سایر مثال‌ها نیز خطای بسیار کمی از الگوریتم گرگ

خاکستری دیده می شود. در مرحله بعدی مثال‌های فرضی ارائه شده در قسمت قبلی با دو الگوریتم ژنتیک و ازدحام ذرات حل و با جواب های حاصل از الگوریتم گرگ خاکستری در جدول شماره پنج وشش مقایسه شده است.

جدول شماره (۵): نتایج حاصل مقایسه حل مسئله با الگوریتم GWO و GA

شماره مثال	GA		GWO		
	Z	Time	Z	Time	GAP
۱	۳۶/۳۸	۰/۵۲	۳۶/۳۸	۰/۹۶	٪ ۰/۰۰
۲	۴۶/۹۳	۰/۵۹	۴۶/۹۳	۱/۲۳	٪ ۰/۰۰
۳	۵۸/۱۱	۱/۳۴	۵۸/۱۱	۱/۹۶	٪ ۰/۰۰
۴	۸۰/۲۴	۱/۷۲	۸۰/۲۴	۲/۱۶	٪ ۰/۰۰
۵	۱۱۰/۳۷	۲/۲۰	۱۱۰/۳۷	۲/۴۵	٪ ۰/۰۰
۶	۱۵۱/۸۵	۲/۶۷	۱۵۲/۷۷	۲/۸۸	٪ ۰/۶۶
۷	۱۶۳/۵۷	۳/۲۱	۱۶۴/۰۲	۳/۲۶	٪ ۰/۲۷
۸	۲۱۹/۵۰	۳/۷۱	۲۲۰/۱۰	۳/۶۴	٪ ۰/۲۷
۹	۳۲۳/۳۵	۴/۹۲	۳۲۴/۶۶	۴/۷۲	٪ ۰/۳۱
۱۰	۴۶۴/۳۶	۵/۳۱	۴۶۴/۴۷	۵/۱۹	٪ ۰/۰۲
۱۱	۶۴۱/۰۲	۷/۰۹	۶۴۲/۲۵	۶/۹۲	٪ ۰/۰۲
۱۲	۶۵۹/۶۷	۸/۰۵	۶۵۹/۴۸	۸/۰۷	٪ -۰/۰۲
۱۳	۶۸۱/۰۲	۸/۲۲	۶۸۰/۳۵	۸/۱۹	٪ -۰/۰۹
۱۴	۸۳۰/۲۱	۹/۹۵	۸۳۰/۶۰	۹/۷۳	٪ -۰/۰۴
۱۵	۱۰۰۴/۵۵	۱۰/۵۰	۱۰۰۳/۷۶	۱۰/۲۸	٪ -۰/۰۷
۱۶	۱۱۸۲/۰۱	۱۲/۱۴	۱۱۸۰/۸۰	۱۱/۴۵	٪ -۰/۱
۱۷	۱۵۷۵/۸۶	۱۳/۲۵	۱۵۷۵/۵۲	۱۲/۸۶	٪ -۰/۰۴
۱۸	۲۰۸۰/۳۳	۱۶/.۱	۲۰۷۸/۵۷	۱۵/۱۲	٪ -۰/۰۳
۱۹	۲۴۵۲/۱۰	۱۸/۹۶	۲۴۵۱/۳۷	۱۷/۵۵	٪ -۰/۰۳
۲۰	۳۱۱۴/۶۵	۲۰/۹۲	۳۱۱۴/۹۲	۲۰/۷۱	٪ -۰/۰۱

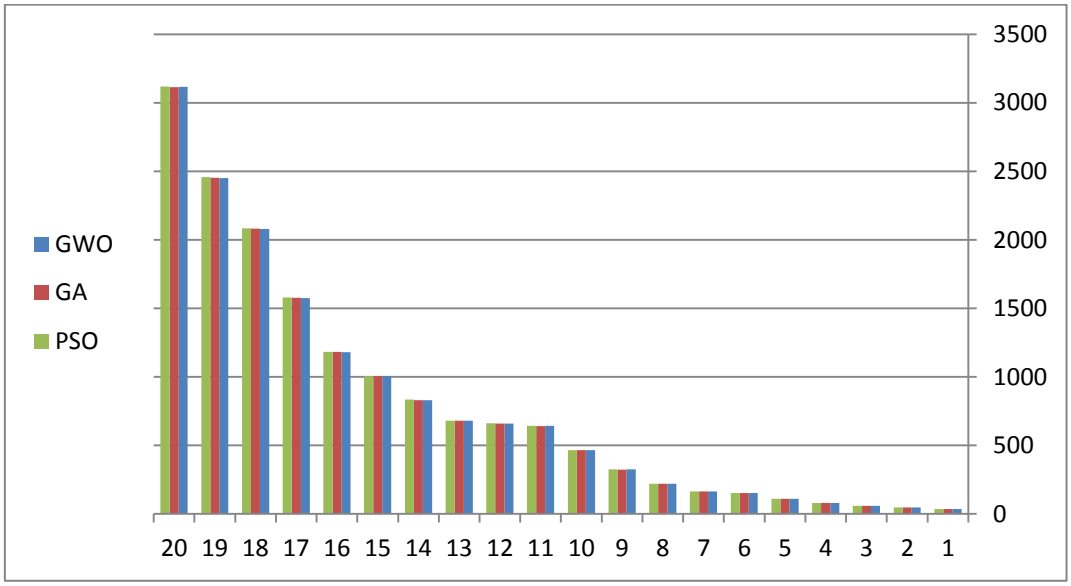
با توجه به جدول شماره پنج و مقایسه انجام شده بین الگوریتم ژنتیک و الگوریتم گرگ خاکستری، از لحاظ مقادیر تابع هدف و جواب به دست آماده، در ابعاد کوچک در مثال یک تا پنج، هر دو الگوریتم توانسته اند جواب دقیق و بهینه را به دست آورند ولی از مثال های بزرگتر از از مثال پنجم توانایی پیدا کردن جواب دقیق را نداشته اند. الگوریتم ژنتیک در ابعاد کوچک جواب های مناسب تری را پیدا کرده ولی از مثال شماره دوازده و با بزرگ شدن ابعاد مسئله، الگوریتم گرگ خاکستری جواب بهینه بهتر با مقادیر تابع هدف مناسبتری را پیدا کرده است. در تمامی مثال های ارائه شده، مقادیر انحراف جواب های به دست آمده از دو الگوریتم از ۰.۶۶ درصد کمتر بود که نشان دهنده کارایی الگوریتم گرگ خاکستری می باشد. ازلحاظ زمان نیز با افزایش ابعاد مسئله، زمان حل مسئله با الگوریتم گرگ خاکستری نسبت به الگوریتم ژنتیک کاهش پیدا می‌کند.

جدول شماره (۶): نتایج حاصل مقایسه حل مسئله با الگوریتم GWO و PSO

شماره مثال	PSO		GWO		
	Z	Time	Z	Time	GAP
۱	۳۶/۳۸	۰/۵۴	۳۶/۳۸	۰/۹۶	٪ ۰/۰۰
۲	۴۶/۹۳	۰/۶۲	۴۶/۹۳	۱/۲۳	٪ ۰/۰۰
۳	۵۸/۱۱	۱/۶۲	۵۸/۱۱	۱/۹۶	٪ ۰/۰۰
۴	۸۰/۲۴	۲/۰۹	۸۰/۲۴	۲/۱۶	٪ ۰/۰۰
۵	۱۱۰/۴۲	۲/۵۰	۱۱۰/۳۷	۲/۴۵	٪ -۰/۰۴

۶	۱۵۲/۸۵	۲/۹۳	۱۵۲/۷۷	۲/۸۸	٪ −۰/۰۵
۷	۱۶۳/۹۸	۳/۳۲	۱۶۴/۰۲	۳/۲۶	−۰/۰۵
۸	۲۱۹/۹۵	۳/۶۴	۲۲۰/۱۰	۳/۶۴	−۰/۰۶
۹	۳۲۴/۶۸	۴/۶۳	۳۲۴/۶۶	۴/۷۲	۰
۱۰	۴۶۴/۵۹	۵/۰۲	۴۶۴/۴۷	۵/۱۹	−۰/۰۲
۱۱	۶۴۲/۵۲	۶/۵۶	۶۴۲/۲۵	۶/۹۲	−۰/۰۴
۱۲	۶۶۱/۰۲	۷/۴۲	۶۵۹/۴۸	۸/۰۷	−۰/۰۴
۱۳	۶۸۱/۰۵	۷/۸۸	۶۸۰/۳۵	۸/۱۹	−۰/۱
۱۴	۸۳۳/۴۹	۹/۱۶	۸۳۰/۶۰	۹/۷۳	−۰/۳
۱۵	۱۰۰۴/۹۸	۹/۸۰	۱۰۰۳/۷۶	۱۰/۲۸	−۰/۱
۱۶	۱۱۸۳/۲۲	۱۰/۲۴	۱۱۸۰/۸۰	۱۱/۴۵	−۰/۰۲
۱۷	۱۵۷۸/۵۶	۱۰/۷۸	۱۵۷۵/۵۲	۱۲/۸۶	−۰/۲
۱۸	۲۰۸۳/۰۷	۱۱/۲۷	۲۰۷۸/۵۷	۱۵/۱۲	−۰/۲
۱۹	۲۴۵۷/۰۶	۱۲/۷۳	۲۴۵۱/۳۷	۱۷/۵۵	−۰/۲
۲۰	۳۱۱۸/۳۳	۱۴/۵۷	۳۱۱۴/۹۲	۲۰/۷۱	−۰/۱

با توجه به اطلاعات استخراج شده موجود در جدول شماره شش و مقایسه انجام شده بین الگوریتم گرگ خاکستری و ازدحام ذرات، این نتیجه استنباط می شود که، هرچند زمان حل مسئله با الگوریتم ازدحام ذرات کمتر از الگوریتم گرگ خاکستری می باشد ولی از لحاظ جواب به دست آمده، جواب الگوریتم گرگ خاکستری بهینه تر و دقیق تر از جواب های به دست آمده از الگوریتم ازدحام ذرات می باشد.



شکل شماره (۶): مقایسه مقدار تابع هدف حل مسئله با الگوریتم گرگ خاکستری و ژنتیک و ازدحام ذرات

لذا به طور خلاصه نتیجه می شود که الگوریتم GWO با صرف زمان بسیار کوتاهی می‌تواند جواب‌هایی بسیار نزدیک به جواب بهینه ارائه کند و لذا هم از نظر سرعت عملکرد و هم از نظر کیفیت جواب ها از کارایی بالایی برخوردار است.

در این پژوهش ابتدا جدیدترین و به روزترین مقالات حوزه مسیریابی وسایل نقلیه مطالعه شده و پس از بررسی مقالات، مشخص گردید که مهمترین شکاف تحقیقاتی این حوزه، در نظر گرفتن حساسیت مسیر، اقتصاد مقیاس و عدم قطعیت پنجره زمانی در حمل و نقل مواد دارویی می‌باشد. لذا با معرفی پیش‌فرض‌های لازم برای مسئله مورد بررسی، یک مدل مفهومی تعریف و بر اساس آن یک مدل ریاضی خطی جدید به منظور مسیریابی مواد دارویی معرفی شده است. مسئله به صورت چند دپویی و با

ظرفیت محدود به تعیین مسیر ناوگان حمل و نقل می‌پردازد. حساسیت مسیر و اقتصاد مقیاس در قالب پارامترها و محدودیت‌ها مدل لحاظ شده است. همچنین پنجره زمانی به صورت نرمال با میانگین و واریانس مشخص در نظر گرفته شده و این عدم قطعیت منجر به اصلاح برخی روابط مدل ریاضی گردیده است. در مرحله بعد برای بهینه‌سازی این مدل از حل دقیق در نرم افزار گمز و حل تقریبی و با الگوریتم GWO انجام شد. این الگوریتم به دلیل جستجوی محلی قوی می‌تواند فضای جواب را به خوبی جستجو کرده و بهترین جواب ممکن را پیدا کند. در ارائه نتایج عددی مدل مورد نظر اعتبار سنجی شده است. نتایج اعتبار سنجی نشان داد که روابط مدل از نظر ساختاری درست و منطقی بوده و می‌توان به نتایج آن اعتماد نمود. سپس ۲۰ مثال مختلف در ابعاد متفاوت تولید شده و در مرحله اول جواب های گمز و الگوریتم GWO با هم مقایسه شدند. مقدار متوسط خطای الگوریتم GWO نسبت به ومقدار دقیق به طور متوسط ۲.۲ درصد بوده که در ابعاد کوچک این خطا صفر بوده و با افزایش ابعاد مسئله این مقدار حداکثر به ۴.۸ درصد می‌رسد که مقادیر قابل قبولی می باشد. نکته مثبتی که الگوریتم GWO نسبت به حل مسئله با نرم افزار گمز دارد، زمان حل بسیار پایین‌تر مسئله توسط الگوریتم GWO است که این نتایج نشان می‌دهد الگوریتم GWO می‌تواند در زمان کوتاه، جوابی با مقدار خطای قابل قبول را ارائه کند. در مرحله بعد الگوریتم GWO با الگوریتم PSO و GA مقایسه شده است. از لحاظ دقت مسئله در ابعاد کوچک، الگوریتم ژنتیک عملکرد بهتری نسبت به الگوریتم GWO داشته ولی با بزرگ شدن ابعاد مسئله الگوریتم GWO جواب مناسب‌تر و با مقادیر تابع هدف کمتری را پیدا می‌کند. همچنین در مقایسه الگوریتم GWO با الگوریتم PSO، در اکثر موارد جواب الگوریتم GWO دارای مقادیر مناسب تری می‌باشد. الگوریتم GWO حتی در حالتی که مقادیر جواب نامناسبی نسبت به دو الگوریتم دیگر دارد، حداکثر اختلاف مقادیر جواب ۰.۷۷ درصد بوده که کاملا قابل قبول می‌باشد. در نهایت می‌توان گفت که الگوریتم GWO نسبت به الگوریتم PSO دارای جواب‌های کاملا بهتری بوده و در مقایسه با الگوریتم GA در ابعاد بزرگ دارای جواب‌های بهتر و زمان حل کمتری می‌باشد. با توجه به مطالب ذکر شده کارایی و درستی الگوریتم GWO به اثبات رسیده است. پیشنهادها برای تحقیقات آتی برای پژوهشگران بدین صورت بیان می-گردد:

- مدل ریاضی به صورت چند هدفه توسعه یابد.
- از رویکرد بهینه سازی استوار برای مواجهه با شرایط غیرقطعی در مدل ریاضی استفاده شود.
- الگوریتم‌های فرا ابتکاری جدید دیگر مانند؛ الگوریتم خفاش و الگوریتم کرم شب تاب در راستای بهینه‌سازی این مسئله به کار گرفته شود.

٤-منابع

1. Androutsopoulos, K. N., & Zografos, K. G. (2012). A bi-objective time-dependent vehicle routing and scheduling problem for hazardous materials distribution. *EURO Journal on Transportation and Logistics*, 1(1-2), 157-183.

2. Ardjmand, E., Weckman, G., Park, N., Taherkhani, P., & Singh, M. (2015). Applying genetic algorithm to a new location and routing model of hazardous materials. *International Journal of Production Research*, 53(3), 916-928.

3. Bektaş, T., & Laporte, G. (2011). The pollution-routing problem. Transportation Research Part B: *Methodological*, 45(8), 1232-1250.

4. Bérubé, J. F., Gendreau, M., & Potvin, J. Y. (2009). An exact e-constraint method for bi-objective combinatorial optimization problems: Application to the Traveling Salesman Problem with Profits. *European journal of operational research*, 194(1), 39-50.

5. Bouziyane, B., Dkhissi, B., & Cherkaoui, M. (2020). Multiobjective optimization in delivering pharmaceutical products with disrupted vehicle routing problem. *International Journal of Industrial Engineering Computations*, 11(2), 299-316.

6. Chai, H., He, R., Ma, C., Dai, C., & Zhou, K. (2017). Path Planning and Vehicle

Scheduling Optimization for Logistic Distribution of Hazardous Materials in Full Container Load. Discrete Dynamics in Nature and Society,

7. Dantzig, G. B., & Ramser, J. H. (1959). The truck dispatching problem. *Management science*, 6(1), 80-91.

8. Darbari, J. D., Agarwal, V., & Jha, P. C. (2015). Fuzzy optimization approach to supply chain distribution network for product value recovery. In Proceedings of Fourth International Conference on Soft Computing for Problem Solving (pp. 491-504). Springer, New Delhi.

9. Das, A., Gupta, A. K., & Mazumder, T. N. (2012). A comprehensive risk assessment framework for offsite transportation of inflammable hazardous waste. *Journal of hazardous materials*, 227, 88-96.

10. Du, J., Li, X., Yu, L., Dan, R., & Zhou, J. (2017). Multi-depot vehicle routing problem for hazardous materials transportation: a fuzzy bilevel programming. *Information Sciences*, 399, 201-218.

11. Jabir, E, Panickera, V. V., & Sridharana, R. (2015). Multi-objective optimization model for a green vehicle routing problem. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 189, 33-39.

12. Govindan, K., Soleimani, H., & Kannan, D. (2015). Reverse logistics and closed-loop supply chain: A comprehensive review to explore the future. *European Journal of Operational Research*, 240(3), 603-626.

13. Hu, H., Li, J., & Li, X. (2018). A credibilistic goal programming model for inventory routing problem with hazardous materials. *Soft Computing*, 22(17), 5803-5816.

14. Ibarra-Rojas, O. J., Hernandez, L., & Ozuna, L. (2017). Accessibility Vehicle Routing Problem. *Journal of cleaner production*, 172, 1514-1528.

15. Juwana, I., Muttil, N., & Perera, B. J. C. (2012). Indicator-based water sustainability assessment—A review. *Science of the Total Environment*, 438, 357-371.

16. Kara, B. Y., & Verter, V. (2004). Designing a road network for hazardous materials transportation. *Transportation Science*, 38(2), 188-196.

17. Kazantzi, V., Kazantzis, N., & Gerogiannis, V. C. (2011). Risk informed optimization of a hazardous material multi-periodic transportation model. *Journal of Loss Prevention in the Process Industrie*s, 24(6), 767-773.

18. Kazemian, I., & Aref, S. (2017). A green perspective on capacitated time-dependent vehicle routing problem with time windows. *International Journal of Supply Chain and Inventory Management*, 2(1), 20-38.

19. Leung, S. C., Zhou, X., Zhang, D., & Zheng, J. (2011). Extended guided tabu search and a new packing algorithm for the two-dimensional loading vehicle routing problem. *Computers & Operations Research*, 38(1), 205-215.

20. List, G. F., Mirchandani, P. B., Turnquist, M. A., & Zografos, K. G. (1991). Modeling and analysis for hazardous materials transportation: Risk analysis, routing/scheduling and facility location. *Transportation Science*, 25(2), 100-114.

21. Madankumar, S., & Rajendran, C. (2018). Mathematical models for green vehicle routing problems with pickup and delivery: A case of semiconductor supply chain. *Computers & Operations Research*, 89, 183-192.

22. Nowruzi Narges, Reza Tavakoli Moghadam, Mohsen Sadegh Amel Nik, Sadegh Khaefi.(2012). New Mathematical Modeling The Problem of Locating Facilities and Routing the Connection Means and Solving It with Competition Algorithm, Integrated Colonialism, *Specialized Journal of Industrial Engineering*, No. 1.137 - Spring and Summer, Page 1.

23. Pokharel, S., & Mutha, A. (2009). Perspectives in reverse logistics: a review. *Resources, Conservation and Recycling*, 53(4), 175-182.
24. Sargordan Fard Arani, Vahid; Kia, Reza; Ghaffari, Mahdi 1394. Modeling the problem of vehicle routing by considering multiple warehouses, simultaneous delivery and loading, hard and soft time window, cost and depreciation depending on the amount of load in the vehicle and the type of route, International Conference on New Research in Management and Industrial Engineering, Tehran, Iran**.** (In Persian).
25. Sbihi, A., & Eglese, R. W. (2007). The relationship between vehicle routing and scheduling and green logistics-a literature survey.
26. Sobhani, Ramin; Ali Paydar and Hassan Zoghi.(2016) Safety Management Model for Drivers and Operators of Dangerous Materials Loading in Road Transport Case Study of Iran Oil Company Refinery Transport System, Third National Conference on Recent Innovations in Civil Engineering, Architecture and Urban Planning, Tehran, Nikan Institute of Higher Education (In Persian).
27. Soleimani, H., Chaharlang, Y., & Ghaderi, H. (201۷). Collection and distribution of returned-remanufactured products in a vehicle routing problem with pickup and delivery considering sustainable and green criteria. *Journal of Cleaner Production,* 172, 960-970. (In Persian).
28. Tarantilis, C. D., & Kiranoudis, C. T. (2001). Using the vehicle routing problem for the transportation of hazardous materials. *Operational Research*, 1(1), 67.
29. Toro, E. M., Franco, J. F., Echeverri, M. G., & Guimarães, F. G. (2017). A multi-objective model for the green capacitated location-routing problem considering environmental impact. *Computers & Industrial Engineering*, 110, 114-125.
30. Turkensteen, M., & Hasle, G. (2017). Combining pickups and deliveries in vehicle routing–An assessment of carbon emission effects. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 80, 117-132.
31. Wang, Y., Zhang, S., Assogba, K., Fan, J., Xu, M., & Wang, Y. (2018). Economic and environmental evaluations in the two-echelon collaborative multiple centers vehicle routing optimization. *Journal of Cleaner Production*, 197, 443-461.
32. Xiao, Y., & Konak, A. (2016). The heterogeneous green vehicle routing and scheduling problem with time-varying traffic congestion. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 88, 146-166.
33. Xiao, Y., Zhao, Q., Kaku, I., & Xu, Y. (2012). Development of a fuel consumption optimization model for the capacitated vehicle routing problem. *Computers & operations research*, 39(7), 1419-1431.
34. Yuan, W., Wang, J., Li, J., Yan, B., & Wu, J. (2017, September). Two-stage heuristic algorithm for a new model of hazardous material multi-depot vehicle routing problem. In UK Workshop on Computational Intelligence (pp. 362-366). Springer, Cham.
35. Zhang, H., Zhang, Q., Ma, L., Zhang, Z., & Liu, Y. (2019). A hybrid ant colony optimization algorithm for a multi-objective vehicle routing problem with flexible time windows. *Information Sciences*, 490, 166-190.
36. Zografos, K. G., & Androutsopoulos, K. N. (2004). A heuristic algorithm for solving hazardous materials distribution problems. *European Journal of Operational Research*, 152(2), 507-519.