



پژوهش‌های نوین در تصمیم‌گیری

دوره ۸، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۲، صص ۹۸-۱۲۱

نوع مقاله: پژوهشی

ارائه یک مدل ریاضی برای طراحی شبکه زنجیره تامین با در نظر داشتن اعتبار تجاری تحت شرایط عدم قطعیت

آذر فتحی هلی آبادی^۱، عباس راد^{۲*}، علیرضا مؤتمنی^۳، داود طالبی^۴

۱. دانشجوی دکتری، گروه مدیریت صنعتی و فناوری اطلاعات، دانشکده میریت و حسابداری، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
۲. استادیار، گروه مدیریت صنعتی و فناوری اطلاعات، دانشکده میریت و حسابداری، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
۳. دانشیار، گروه مدیریت صنعتی و فناوری اطلاعات، دانشکده میریت و حسابداری، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
۴. استادیار، گروه مدیریت صنعتی و فناوری اطلاعات، دانشکده میریت و حسابداری، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۴/۱۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۲/۰۲

چکیده

تأمین منابع مالی برای بقای هر کسب‌وکاری ضرورت دارد. در شبکه‌های زنجیره‌تأمین علاوه بر سرمایه اولیه، وام‌های بانکی و تخصیص اعتبار تجاری در تأمین مالی نقش دارند. در شرایط عدم قطعیت که امروزه جهانی شده است شبکه‌های زنجیره‌تأمین همواره تحت تاثیر اختلال مالی قرار می‌گیرند لذا طراحی شبکه‌های زنجیره‌تأمین با در نظر گرفتن جریان‌های مالی منجر به بهبود سرمایه در گردش می‌شود. در این پژوهش شبکه زنجیره‌تأمین با در نظر گرفتن اعتبار تجاری طراحی و توسعه داده شده است که وجه تمایز این پژوهش در نظر داشتن اعتبار تجاری در تمامی سطوح در یک شبکه زنجیره‌تأمین سه سطحی شامل تأمین‌کنندگان، کارخانه و مراکز توزیع می‌باشد. علاوه بر این در نظر گرفتن زمانبندی برای باز پرداخت اعتبارهای تجاری دریافت شده توسط کارخانه‌ها و مراکز توزیع در شرایط عدم قطعیت دیگر چالش این پژوهش می‌باشد. با توجه به عدم قطعیت تقاضا، برنامه‌ریزی‌های زنجیره‌تأمین باید به گونه‌ای انجام شود که منابع مالی لازم برای انجام عملیات تولیدی در آن لحاظ شود در این راستا تقاضا در مدل تحت عدم قطعیت سناریو محور در نظر گرفته شده است که بیشینه‌سازی ارزش فعلی خالص و بیشینه سازی برآورد تقاضا از اهداف اصلی آن می‌باشد. برای حل مدل در ابعاد کوچک از سالور CPLEX و در ابعاد بالا از الگوریتم‌های فراابتکاری چند هدفه کلونی زنبور عسل و نهنگ استفاده شد. نتایج نشان می‌دهد چگونه اعتبار تجاری بر روی جریان فیزیکی تاثیر می‌گذارد؛ همچنین الگوریتم فراابتکاری نهنگ عملکرد بهتری دارد.

کلیدواژه‌ها: زنجیره تأمین، عدم قطعیت، اعتبار تجاری، تأمین مالی، بهینه سازی چند هدفه.



۱- مقدمه و بیان مسئله

طراحی شبکه زنجیره‌تأمین از اساسی‌ترین مسائل مطرح در سازمان‌هاست، به‌خصوص سازمان‌هایی که در سطح بین‌المللی فعالیت می‌کنند [۱]. در یک زنجیره‌تأمین مجموعه‌ای از شرکت‌ها برای برآورده ساختن نیاز مشتریان با یکدیگر همکاری می‌نمایند. در طراحی شبکه زنجیره‌تأمین، متغیرهای سطوح استراتژیک و تاکتیکی مورد بررسی قرار می‌گیرند. مدل‌های ترکیبی برنامه‌ریزی زنجیره‌تأمین در یک دهه گذشته مورد توجه قرار گرفته‌اند. در این مدل‌ها مراحل گوناگون به طور یکپارچه مدلسازی می‌شوند [۲]. طراحی زنجیره‌تأمین اثربخش نیازمند مدیریت صحیح جریان‌های آن، شامل جریان‌های مواد، مالی و اطلاعاتی می‌باشد. در حالی که جریان‌های مواد و اطلاعات در طراحی شبکه زنجیره‌تأمین به‌طور گسترده‌ای مطالعه شده است، جریان‌های مالی به ندرت در ادبیات نشان داده شده است [۳]. در مدیریت زنجیره‌تأمین، جریان مالی همانند جریان فیزیکی اما در جهت عکس وجود دارد. عملیات مالی تکمیل‌کننده جریان محصول فیزیکی می‌باشد و تأمین مالی عملیات لجستیکی را تضمین می‌نماید [۴]. از آنجایی که عملیات زنجیره‌تأمین به تصمیم‌های مالی بستگی دارد، تأمین مالی در زنجیره‌تأمین از اهمیت بالایی برخوردار است. یکپارچه نمودن تصمیم‌های مالی و لجستیکی، موجب بهبود عملکرد در کل شبکه می‌شود [۳]. در ادبیات جریان‌های مالی و جریان‌های فیزیکی به طور جداگانه مدلسازی شده‌اند. بهینگی هم‌زمان این جریان‌ها با توجه به اثرات متقابلی که بر روی یکدیگر دارند، کارایی زنجیره‌تأمین را بهبود می‌بخشد [۲]. در کشورهای در حال توسعه، شرکت‌های کوچک و متوسط با مشکل کمبود بودجه سرمایه مواجه هستند؛ این شرکت‌ها برای گرفتن وام‌های بانکی با سختی‌های زیادی رو به رو می‌شوند [۵]. مدیریت صحیح سرمایه در گردش برای شرکت‌های کوچک و متوسط اهمیت بیشتری دارد، زیرا نیاز به منابع مالی خارجی مانند اعتبار تجاری و وام را کمتر می‌کند. اعتبار تجاری تأمین‌کنندگان برای تولیدکنندگان و همچنین اعتبار تجاری تولیدکنندگان برای مشتریان و در نظر گرفتن تأخیر در این پرداخت‌ها، باعث می‌شود تا از سرمایه در گردش به درستی استفاده شود [۶]. پژوهش فعلی، از پژوهش‌های ترکیبی می‌باشد و در آن، مسائل مکان‌یابی، تولید، موجودی و توزیع جریان فیزیکی، به طور یکپارچه مدلسازی شده‌اند مدل طراحی شده، مدل چند دوره‌ای و تحت شرایط عدم قطعیت می‌باشد. با توجه به نرخ بالا و در حال تغییر تورم، در کشور ایران، قیمت مواد اولیه و



هزینه‌های مربوط به عملیات، از دوره‌ای به دوره‌ای دیگر تغییر می‌کنند و قدرت خرید و همکاری در سطح بالا بین سطوح زنجیره‌تأمین کاهش می‌یابد در نتیجه استفاده از اعتبار تجاری در شرکت‌ها از دو جهت می‌تواند مفید باشد از یک طرف شرکت‌ها می‌توانند بصورت اعتباری خرید کنند و از طرف دیگر بودجه‌ای که از این طریق آزادسازی شده است برای تأمین هزینه فعالیت‌های عملیاتی، مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۲- پیشینه پژوهش

تصمیمات مرتبط با مدیریت دارایی‌ها و بدهی‌ها و نیز نحوه و میزان تأمین مالی، همواره یکی از مهم‌ترین تصمیماتی است که هر بنگاه اقتصادی با آن مواجه است [۷]. نقش رویکرد مالی و ادغام رویکرد عملیاتی و مالی در راستای اهداف زنجیره‌تأمین و کسب مزیت رقابتی پایدار حائز اهمیت است [۸]. در دهه‌های اخیر موضوع طراحی شبکه زنجیره‌تأمین مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است [۹]. نیکل، سالدانهاگاما و زیگلر^۱ در سال ۲۰۱۲ مسئله طراحی شبکه زنجیره‌تأمین را با در نظر گرفتن تصمیم‌های مالی مطرح نمودند [۱۰]. کاردوسو، باربوساپوآو و سوسانا^۲ در سال ۲۰۱۳ یکپارچه‌سازی جریان‌های مالی و فیزیکی و همچنین یکپارچه‌سازی تصمیم‌های استراتژیک و تاکتیکی را در شبکه حلقه بسته تحت عدم قطعیت بررسی کردند [۱۱]. محمدی، عباسی، علی محمد لو، اقتصادی فرد و خلیفه در سال ۲۰۱۷، در چارچوب تفکر سیستمی و با استفاده از یک رویکرد یکپارچه مالی و عملیاتی، یک مدل جامع برای طراحی شبکه زنجیره‌تأمین ارائه نموده‌اند [۱۲]. ژانگ، شو، زی و ژو^۳ در سال ۲۰۱۸، اعتبار تجاری را با مدل WRND کلاسیک ترکیب کرده‌اند [۱۳]. در سال ۲۰۱۸، نوپیل، جلالی و اخوان نیکی، در طراحی ساختار زنجیره‌تأمین، برای تأمین سرمایه لازم جهت احداث کارخانه‌ها، از دو منبع وام و سرمایه‌دینفعان استفاده نموده‌اند [۱۴]. وفاآرانی و ترابی در سال ۲۰۱۸ با یکپارچه نمودن طرح‌های تاکتیکی، مالی و فیزیکی در زنجیره‌تأمین تحت شرایط عدم قطعیت فازی، اثرات متقابل جریان‌ات و توابع در زنجیره‌تأمین را مدلسازی نموده‌اند [۲]. در سال ۲۰۱۸، علوی و جبارزاده، اعتبار تجاری را برای یک شرکت بازرگانی در نظر گرفته‌اند [۳]. در خصوص اعتبار تجاری، به عنوان یک منبع تأمین مالی، استفاده از استراتژی‌های مالی و عملیاتی مناسب، برای تنظیم بودجه مورد نیاز، جهت تأمین هزینه‌های زنجیره‌تأمین، در مقاله



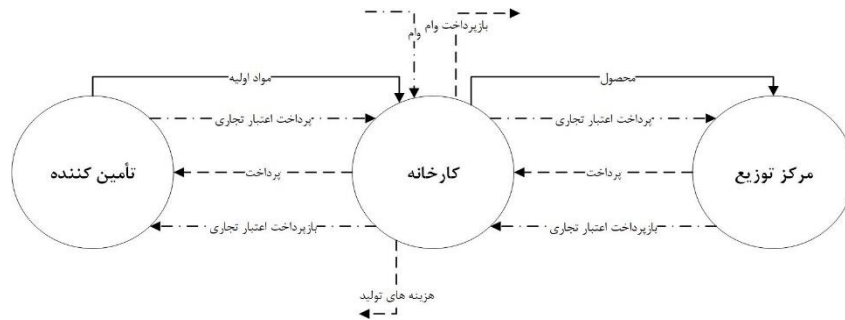
وانگ و هوانگ در سال ۲۰۱۹ مطرح شده است [۱۵]. پلو، پنا، مونز، کنن و اسکبار^۴ در سال ۲۰۱۹ نیز از معیارهای مالی استفاده کردند و از روش FePIA برای بررسی پایداری ساختارهای زنجیره تأمین بدست آمده استفاده کردند [۱۶]. در سال ۲۰۱۹، لیو، جیو و هوانگ^۵ برای تأمین مالی زنجیره تأمین یک سیستم مالی طراحی کردند [۱۷]. دارستانی و پوراسداللهی در سال ۲۰۱۹ با ارائه یک مدل حلقه بسته تحت شرایط عدم قطعیت برای مشتریان انگیزه مالی لازم برای بازگرداندن محصولات ایجاد کردند [۱۸]. رحیمی، قضاوتی و اسدی در سال ۲۰۱۹ مسئله طراحی شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته پایدار ریسک‌گریز را مدلسازی کردند که در مدل آنها نرخ تخفیف برای فروش محصول نهایی در نظر گرفته شده است [۱۹]. برهمی، حاج آلوانه و سبویی^۶ در سال ۲۰۲۰، مدلی را ارائه دادند که قراردادهای زنجیره تأمین به عنوان یک اهرم، ریسک‌های ناشی از عدم قطعیت‌های محیطی را پوشش می‌دهد [۶]. گلی، زارع، توکلی مقدم و صادقیه در سال ۲۰۲۰، با در نظر داشتن جریان مالی تقاضا و نرخ بازگشت محصول غیر قطعی مورد بررسی قرار دادند [۲۰]. طراحی مسئله زنجیره تأمین حلقه بسته با در نظر گرفتن مدیریت مالی برای افزایش اثربخشی زنجیره تأمین در سال ۲۰۲۰ توسط هوانگ، یانگ و تیو^۷ بررسی شده است و از برنامه‌ریزی محدودیت شانس برای بیشینه‌سازی سود استفاده کرده‌اند [۲۱]. در خصوص تأمین مالی در زنجیره تأمین، در سال ۲۰۲۱، تسائو، ژانگ، ژانگ و تی اچ لی و و^۸ مسئله طراحی شبکه زنجیره تأمین برای محصولات فاسد شدنی را بررسی نموده‌اند [۲۲]. دینگ، ژیانگ، وو و ژو^۹ در سال ۲۰۲۱ طراحی شبکه زنجیره تأمین شامل یک فروشنده خارجی، چندین مرکز توزیع و چندین خرده فروش را بررسی کرده‌اند که در آن فروشنده خارجی برای مراکز توزیع اعتبار تجاری در نظر گرفته است که در این مقاله، تأمین مالی از طریق اعتبار تجاری، هزینه کل را کاهش داده است [۲۳]. در جدول ۱، خلاصه‌ای از تحقیقات انجام‌شده در سال‌های ۲۰۱۸ تا ۲۰۲۳ در زمینه‌ی زنجیره‌های تأمین چندسطحی و استفاده از اعتبار تجاری در آن و همچنین در نظر گرفتن عدم قطعیت در چنین شبکه‌هایی آورده شده است. با توجه به ادبیات موضوع، طراحی شبکه‌های زنجیره تأمین با در نظر داشتن مسائل مالی مورد بررسی قرار گرفته است. می‌توان عنوان کرد که وجه تمایز این پژوهش با سایر پژوهش‌ها در نظر داشتن اعتبار تجاری دو طرفه (خرید اعتباری از تامین کنندگان-فروش اعتباری به مراکز توزیع) در یک شبکه زنجیره تأمین سه سطحی شامل تامین‌کنندگان، کارخانه و مراکز



توزیع می‌باشد. علاوه بر این در نظر داشتن زمانبندی برای باز پرداخت اعتبارهای تجاری دریافت شده توسط کارخانه‌ها و مراکز توزیع در شرایط عدم قطعیت دیگر چالش این پژوهش می‌باشد. در نتیجه یک مدل ریاضی با محدودیت‌ها و متغیرهای جدید نسبت به پژوهش‌های قبلی ارائه شده است. با توجه به اینکه مدل از پیچیدگی بالایی برخوردار است لذا با روش‌های الگوریتم فراابتکاری نهنگ و زنبور عسل چند هدفه شبیه‌سازی و حل شده است که در پژوهش‌های بکار گرفته نشده است.

۳- تعریف مسئله و مدل ریاضی

مدل ریاضی طراحی شبکه زنجیره تأمین سه سطحی با در نظر گرفتن اعتبار تجاری شامل تأمین‌کنندگان، کارخانه‌ها و مراکز توزیع می‌باشد. مدل تصادفی، چند دوره‌ای و چند محصولی است و برای مدلسازی عدم قطعیت در تقاضا از سناریوهای گسسته با احتمالات مشخص استفاده شده است. مدل تصادفی براساس رویکرد برنامه ریزی تصادفی دو مرحله‌ای می‌باشد که در آن متغیرهای تصمیم به دو دسته متغیرهای تصمیم مرحله اول (در این مدل Y_n) و متغیرهای تصمیم مرحله دوم (در این مدل همه متغیرهای تصمیم به جز Y_n) تقسیم می‌شوند. کارخانه‌ها و مراکز توزیع هزینه‌های خرید مواد اولیه و محصولات را با تأخیر پرداخت می‌کنند و اگر این تأخیر از دوره مجاز بیشتر شود برای آن جریمه در نظر گرفته شده است. در دوره اول برای احداث کارخانه‌ها و انجام عملیات تولیدی از منابع مالی وام و سرمایه اولیه استفاده می‌شود. زمانبندی بازپرداخت اعتبار تجاری دو طرفه و تخصیص منابع مالی برای احداث کارخانه‌ها در دوره اول از جمله تصمیم‌های مالی مدل می‌باشد. تعیین مکان کارخانه‌ها، جریان فیزیکی از تأمین‌کنندگان به کارخانه‌ها و همچنین از کارخانه‌ها به مراکز توزیع از جمله خروجی های عملیاتی مدل ریاضی مطرح شده می‌باشد.



شکل ۱. شمانیک زنجیره تأمین پژوهش

در ادامه مجموعه‌ها، پارامترها و متغیرهای مورد استفاده در مدل ریاضی مسئله ارائه شده است.

مجموعه‌ها و شاخص‌ها

S	مجموعه تأمین‌کنندگان با اندیس $s \in S$
I	مجموعه مواد اولیه با اندیس $i \in I$
T	مجموعه دوره‌ها با اندیس $t \in T$ و $\psi \in T$
F	مجموعه مشخص کننده نوع خرید مواد اولیه (نقدی یا اعتباری) و نوع خرید محصولات (نقدی یا اعتباری) با اندیس $f \in F$
N	مجموعه مکان‌های بالقوه کارخانه‌ها با اندیس $n \in N$

پارامترها

d_{vjt}^k	تقاضای محصول v توسط مرکز توزیع j در دوره t در سناریوی k
α_{-Sstk}	ظرفیت تأمین‌کننده s در دوره t در سناریوی k
α	نرخ بهره ترکیبی پیوسته برای محاسبه NPV
p_{isn}	قیمت مواد اولیه i که کارخانه n از تأمین‌کننده s می‌خرد.
pp_{vmj}	قیمت محصول v که مرکز توزیع j از کارخانه n می‌خرد.
cn_n	هزینه ثابت برای احداث کارخانه در مکان n
c_v^{pr}	هزینه تولید برای یک واحد محصول v
c_{vnj}^{tr}	هزینه حمل یک واحد محصول v از کارخانه n به مرکز توزیع j
icc_0	بیشترین میزان سرمایه اولیه در دسترس برای احداث کارخانه‌ها و انجام عملیات تولید.
L	بیشترین میزان وام در دسترس در دوره اول برای احداث کارخانه‌ها و انجام عملیات تولید.
α_{-iviv}	میزان مواد اولیه i که برای تولید یک واحد محصول v مصرف می‌شود.
$\alpha_{-vmvntk}$	ظرفیت تولید محصول v در کارخانه n در دوره t در سناریوی k .
R_{-Sis}	نرخ بهره جریمه تأخیر در بازپرداخت اعتبار تجاری که تأمین‌کننده s بابت خرید مواد اولیه i پرداخت کرده است.
W_{-nvnv}	نرخ بهره جریمه تأخیر در بازپرداخت اعتبار تجاری که کارخانه n بابت فروش محصول v پرداخت کرده است.



O_{ist} بیشترین میزان اعتبار تجاری که تأمین‌کننده S در دوره t برای خرید مواد اولیه i پرداخت می‌کند.
 Z_{vnt} بیشترین میزان اعتبار تجاری که کارخانه n در دوره t برای فروش محصول v پرداخت می‌کند.
 φ_{is} تأخیر مجاز در بازپرداخت اعتبار تجاری به تأمین‌کننده S که بابت خرید مواد اولیه i پرداخت کرده است.
 β_{nv} تأخیر مجاز در بازپرداخت اعتبار تجاری به کارخانه n که بابت خرید محصول v پرداخت کرده است.

جدول ۱: خلاصه تحقیقات انجام شده در زمینه نقش جریان مالی در زنجیره‌تأمین

محقق	جریان مالی	اعتبار تجاری	چند دوره‌ای	چند محصولی	عدم تقابلیت	تابع هدف	روش حل
[۱۴]	×		×			بیشینه‌سازی ارزش فعلی خالص جریان وجه نقد دوره‌ای و برآورده سازی تقاضا	MOBBO
[۴]	×	×	×	×	×	بیشینه‌سازی سود	آزادسازی لاگرانژی
[۱۵]	×		×	×	×	بیشینه‌سازی ارزش فعلی خالص دارایی سهامداران	روش‌های دقیق
[۱۶]	×		×		×	بیشینه‌سازی ارزش افزوده اقتصادی	روش‌های دقیق
[۱۸]	×		×	×	×	بیشینه‌سازی سود، کمینه‌سازی تأخیر در تحویل کالاها، کمینه‌سازی مواد خام برگشتی از تأمین‌کنندگان	روش‌های دقیق و NSGA-II
[۱۹]	×		×	×	×	بیشینه‌سازی سود و کمینه‌سازی هزینه کل	روش‌های دقیق
[۲۰]	×	×	×	×	×	بیشینه‌سازی افزایش در جریان نقد، بیشینه‌سازی کل شغل‌های به وجود آمده در زنجیره‌تأمین، بیشینه‌سازی قابلیت	بهینه‌سازی گرگ خاکستری، چند هدفه، شبیه‌سازی تبریید چند هدفه



روش حل	تابع هدف	عدم قطعیت	چند محصولی	چند دوره‌ای	اعتبار تجاری	جریان مالی	محقق
و بهینه سازی عرف هرز مهاجم چند هدفه	اعتماد مواد خام مصرف شده						
روش های دقیق	کمینه‌سازی هزینه کل				×	×	[۲۲]
polymatroid cutting-plane solution algorithm	کمینه‌سازی هزینه کل	×			×	×	[۲۳]
AEC_ Gams MOWOA & MOABC	بیشینه‌سازی ارزش فعلی خالص دارایی سهامداران و برآورده‌سازی تقاضا	×	×	×	×	×	تحقیق حاضر

متغیرهای تصمیم

متغیر تصادفی صفر و یک برای احداث کارخانه در مکان n	Y_n
مقدار مواد اولیه i که تأمین‌کننده S از کارخانه n در دوره t و در سناریوی k به شکل f (نقدی/اعتباری) می‌خرد	$Q_{isnt}^{m,k,f}$
مقدار محصول v که کارخانه n در دوره t و در سناریوی k تولید می‌کند	$Q_{vnt}^{pr,k}$
مقدار محصول v که مرکز توزیع Z از کارخانه n در دوره t و در سناریوی k به شکل f (نقدی/اعتباری) می‌خرد	$Q_{vnjt}^{tr,k,f}$
مقدار موجودی محصول v در کارخانه n در انتهای دوره t و در سناریوی k	$Q_{vnt}^{in,k}$
میزان سرمایه اولیه که به کارخانه n در ابتدای دوره اول در سناریوی k تخصیص یافته است	IC_n^k
میزان پول در دست در کارخانه n در انتهای دوره t و در سناریوی k	TC_{isnt}^k
مقدار اعتبار تجاری که تأمین‌کننده S به کارخانه n برای خرید مواد اولیه i در دوره t در سناریوی k می‌دهد	SC_{vnjt}^k
مقدار اعتبار تجاری که کارخانه n به مرکز توزیع Z برای خرید محصول v در دوره t و در سناریوی k می‌دهد	L_n^k
میزان وام که به کارخانه n در دوره اول و در سناریوی k تخصیص می‌یابد	$PT_{isn\psi t}^k$
میزان بازپرداخت اعتبار تجاری به تأمین‌کننده S در دوره ψ که به کارخانه n در دوره t برای خرید مواد اولیه i در سناریوی k پرداخت کرده است	$ST_{vnj\psi t}^k$
میزان بازپرداخت اعتبار تجاری به کارخانه n در دوره ψ که به مرکز توزیع Z در دوره t برای خرید محصول v در سناریوی k پرداخت کرده است	$C_{nt}^{op,k}$
هزینه عملیات برای کارخانه n در دوره t و سناریوی k	$C_{nt}^{tx,k}$
هزینه مالیات برای کارخانه n در دوره t و در سناریوی k	



Π_{nt}^k درآمد مشمول مالیات برای کارخانه n در دوره t و در سناریوی k
 PR_n^k پرداختی بابت اصل وام دریافت شده توسط کارخانه n در دوره اول و سناریوی k
 II_n^k پرداختی بابت سود وام دریافت شده توسط کارخانه n در دوره اول و سناریوی k
 توابع هدف مدل ریاضی در محدودیت‌های ۱ و ۲ ارائه شده است.

$$MaxEnpv = \sum_{k \in K} pb^k \left(\sum_{n \in N} e^{-(\alpha - \theta - \alpha\theta)T} (IC_{nt}^k + \left(\sum_{v \in V} c_v^{pr} Q_{vnt}^{in,k} \right) + cn_n - \sum_{t \in T} \frac{Y_n - t - 1}{Y_n(Y_n + 1)} (cn_n - \delta_n)) \right) \quad (1)$$

$$MaxEFR = \sum_{k \in K} pb^k \frac{\sum_{v \in V} \sum_{n \in N} \sum_{j \in J} \sum_{t \in T} \sum_{f \in F} Q_{vnjt}^{tr,k,f}}{\sum_{v \in V} \sum_{j \in J} \sum_{t \in T} d_{vjt}^k} \quad (2)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{s \in S} \sum_{t \in T} \sum_{k \in K} \sum_{f \in F} Q_{isnt}^{m,k,f} \leq B * Y_n \quad \forall n \in N \quad (3)$$

$$Q_{vnt}^{pr,k} \leq \alpha_{-v} m_{vntk} Y_n \quad \forall v \in V, n \in N, t \in T, k \in K \quad (4)$$

$$\sum_{n \in N} TC_{isnt}^k \leq O_{ist} Y_n \quad \forall i \in I, s \in S, t \in T, k \in K \quad (5)$$

$$\sum_{j \in J} SC_{vnjt}^k \leq Z_{vnt} Y_n \quad \forall v \in V, n \in N, t \in T, k \in K \quad (6)$$

$$\sum_{v \in V} \sum_{j \in J} \sum_{t \in T} \sum_{\psi \in T | \psi \geq t+1} \sum_{k \in K} ST_{vmjt\psi}^k \leq B * Y_n \quad \forall n \in N \quad (7)$$

$$\sum_{n \in N} L_{-k}^k \leq L * Y_n \quad \forall k \in K \quad (8)$$

$$\sum_{t \in T} \sum_{k \in K} IC_{nt}^k \leq B * Y_n \quad \forall n \in N \quad (9)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{n \in N} \sum_{f \in F} Q_{isnt}^{m,k,f} \leq \alpha_{-S} S_{stk} \quad \forall s \in S, t \in T, k \in K \quad (10)$$

$$\sum_{n \in N} \sum_{f \in F} Q_{vnjt}^{tr,k,f} \leq d_{vjt}^k \quad \forall v \in V, j \in J, t \in T, k \in K \quad (11)$$

$$\sum_{s \in S} \sum_{f \in F} Q_{isnt}^{m,k,f} \geq \sum_{v \in V} \alpha_{-iv} v_{iv} Q_{vnt}^{pr,k} \quad \forall i \in I, n \in N, t \in T, k \in K \quad (12)$$

$$Q_{vnt}^{in,k} = Q_{vn(t-1)}^{in,k} + Q_{vnt}^{pr,k} - \sum_{j \in J} \sum_{f \in F} Q_{vnjt}^{tr,k,f} \quad \forall v \in V, n \in N, t \in T, k \in K \quad (13)$$

$$Q_{vn,\cdot}^{in,k} = \cdot \quad \forall v \in V, n \in N, k \in K \quad (14)$$

$$Q_{isnt}^{m,k,\gamma} P_{isn} \leq TC_{isnt}^k \quad \forall i \in I, s \in S, n \in N, t \in T, k \in K \quad (15)$$

$$Q_{vnjt}^{tr,k,\gamma} P_{vnj} \leq SC_{vnjt}^k \quad \forall v \in V, n \in N, j \in J, t \in T, k \in K \quad (16)$$

$$TC_{isnt}^k \leq \sum_{\psi \in T | \psi \geq t+1} PT_{isnt\psi}^k / (\lambda + R_{-S_{is}})^{\max(\cdot, \psi - t - \varphi_{is})} \quad \forall i \in I, s \in S, n \in N, t \in T, k \in K \quad (17)$$



$$SC_{vnt}^k \leq \sum_{\psi \in T | \psi \geq t + \gamma} ST_{vnt\psi}^k / (\gamma + W_{nv} \beta_{nv})^{\max(\cdot, \psi - t - \beta_{nv})} \quad \forall v \in V, n \in N, j \in J, t \in T, k \in K \quad (18)$$

$$\sum_{v \in V} \sum_{n \in N} \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} ST_{vnt\psi}^k + \sum_{i \in I} \sum_{s \in S} \sum_{n \in N} \sum_{k \in K} PT_{isnt}^k = \cdot \quad \forall t \in T \quad (19)$$

$$C_{nt}^{op,k} = \sum_{i \in I} \sum_{s \in S} Q_{isnt}^{m,k,\gamma} p_{isn} + \sum_{v \in V} Q_{vnt}^{pr,k} c_v^{pr} + \sum_{v \in V} Q_{vnt}^{in,k} c_v^{in} + \sum_{v \in V} \sum_{j \in J} \sum_{f \in F} Q_{vntj}^{tr,k,f} c_{vntj}^{tr} \quad \forall n \in N, t \in T, k \in K \quad (20)$$

$$\sum_{n \in N} IC_n^k \leq icc \quad \forall k \in K \quad (21)$$

$$PR_n^k = \frac{\sum_{n \in N} L_n^k}{T} \quad \forall k \in k \quad (22)$$

$$II_n^k = L_n^k * R \quad \forall k \in k \quad (23)$$

$$\begin{aligned} \Pi_{nt}^k = & \sum_{v \in V} \sum_{j \in J} Q_{vntj}^{tr,k,\gamma} pp_{vntj} + \sum_{v \in V} \sum_{j \in J} \sum_{\psi \in T | \psi \geq t + \gamma} ST_{vnt\psi}^k \\ & - \sum_{i \in I} \sum_{s \in S} \sum_{\psi \in T | \psi \geq t + \gamma} PT_{isnt\psi}^k - C_{nt}^{op,k} - II_n^k \\ & - \frac{\gamma n - t - \gamma}{\gamma n (\gamma n + \gamma)} (cn_n - \delta_n) \end{aligned} \quad \forall n \in N, t \in T, k \in K \quad (24)$$

$$C_{nt}^{tx,k} = Tax \max\{\Pi_{nt}^k, \cdot\} \quad \forall n \in N, t \in T, k \in K \quad (25)$$

$$C_{nt}^{tx,k} \geq Tax \Pi_{nt}^k \quad \forall n \in N, t \in T, k \in K \quad (26)$$

$$IC_{nt}^k = \begin{cases} IC_n^k + L_n^k + \sum_{v \in V} \sum_{j \in J} Q_{vntj}^{tr,k,\gamma} pp_{vntj} - \gamma n cn_n - C_{nt}^{op,k} - C_{nt}^{tx,k} \\ \quad - II_n^k - PR_n^k \quad (t = \gamma) \\ IC_{n(t-\gamma)}^k + \sum_{v \in V} \sum_{j \in J} Q_{vntj}^{tr,k,\gamma} pp_{vntj} + \sum_{v \in V} \sum_{n \in N} \sum_{\psi \in T | \psi \leq t - \gamma} ST_{vnt\psi}^k \\ \quad - \sum_{i \in I} \sum_{s \in S} \sum_{\psi \in T | \psi \leq t - \gamma} PT_{isnt\psi}^k - C_{nt}^{op,k} - C_{nt}^{tx,k} \\ \quad - II_n^k - PR_n^k \quad (t > \gamma) \end{cases} \quad \forall n \in N, k \in K \quad (27)$$

$$Y_n cn_n + C_{n\gamma}^{op,k} \leq IC_n^k + L_n^k \quad \forall n \in N, k \in K \quad (28)$$

$$C_{n\gamma}^{tx,k} + PR_n^k + II_n^k \leq \sum_{v \in V} \sum_{j \in J} Q_{vntj}^{tr,k,\gamma} pp_{vntj} \quad \forall n \in N, k \in K \quad (29)$$

$$C_{nt}^{op,k} \leq IC_{n(t-\gamma)}^k \quad \forall t \geq \gamma, n \in N, k \in K \quad (29)$$



$$C_{nt}^{tx,k} + PR_n^k + II_n^k + \sum_{i \in I} \sum_{s \in S} \sum_{\psi \in T | \psi \leq t-1} PT_{vnj\psi t}^k \quad \forall t \geq 2, n \in N, k \in K \quad (30)$$

$$\leq \sum_{v \in V} \sum_{n \in N} \sum_{\psi \in T | \psi \leq t-1} ST_{vnj\psi t}^k + \sum_{v \in V} \sum_{j \in J} Q_{vnjt}^{tr,k,\lambda} pp_{vnj}$$

تابع هدف اول بیشینه‌سازی ارزش فعلی خالص دارایی سهامداران در انتهای افق برنامه‌ریزی می‌باشد. تابع هدف دوم بیشینه‌سازی برآورد تقاضا می‌باشد. محدودیت‌های شماره ۳ تا ۹ نشان می‌دهند که احداث کارخانه در مکان خاص بر روی تصمیم‌هایی مانند تدارکات، تولید و تأمین مالی تأثیر می‌گذارد. محدودیت شماره ۱۰ مربوط به ظرفیت تأمین‌کننده می‌باشد. طبق محدودیت شماره ۱۱ مجموع کالاهایی که از کارخانه‌ها به مراکز توزیع ارسال می‌شود از تقاضای مشتریان باید کمتر باشد. محدودیت شماره ۱۲ مجموع میزان مواد اولیه‌ای که از تأمین‌کنندگان خریداری می‌شود را تشریح می‌کند. محدودیت ۱۳ تعادل موجودی در مدل‌های چند دوره‌ای را نشان می‌دهد. محدودیت ۱۴ مربوط به صفر بودن موجودی در ابتدای افق برنامه‌ریزی می‌باشد. محدودیت ۱۵ نشان می‌دهد که خریدهای اعتباری مواد اولیه از طریق اعتبار تجاری که تأمین‌کننده به کارخانه پرداخت می‌کند فراهم می‌شود. محدودیت ۱۶ بیان می‌کند که فروش اعتباری محصولات از طریق اعتباری که کارخانه به مراکز توزیع پرداخت می‌کند، انجام می‌شود. محدودیت‌های ۱۷ تا ۱۹ مربوط به بازپرداخت اعتبار تجاری و زمانبندی بازپرداخت اعتبار تجاری دریافت شده از تأمین‌کنندگان و کارخانه‌ها می‌باشد. محدودیت ۲۰ مربوط به هزینه‌های تولید شامل هزینه تدارکات، تولید، موجودی و حمل‌ونقل را بیان می‌کند. محدودیت ۲۱ حد بالای میزان سرمایه در دسترس در دوره اول را نشان می‌دهد. محدودیت ۲۲ پرداخت دوره‌ای اصل وام را نشان می‌دهد. محدودیت ۲۳ پرداخت دوره‌ای سود وام را نشان می‌دهد. محدودیت ۲۴ درآمد مشمول مالیات را محاسبه می‌کند. محدودیت ۲۵ هزینه مالیات کارخانه در یک دوره را نشان می‌دهد. محدودیت ۲۶ خطی‌سازی محدودیت ۲۵ را نشان می‌دهد. محدودیت ۲۷ پول در دست در کارخانه در انتهای یک دوره و در یک سناریو را نشان می‌دهد. محدودیت ۲۸ بیان می‌کند که در دوره اول برای تأمین مالی هزینه‌های احداث کارخانه و عملیات از سرمایه اولیه تخصیص یافته به کارخانه و وام استفاده می‌شود. محدودیت ۲۹ نشان می‌دهد که در سایر دوره‌ها (به غیر از دوره اول) برای تأمین مالی هزینه‌های تولید از



پول باقی مانده از دوره قبل استفاده می‌شود. محدودیت ۳۰ چگونگی تامین مالی را نشان می‌دهد.

۴- روش‌های حل

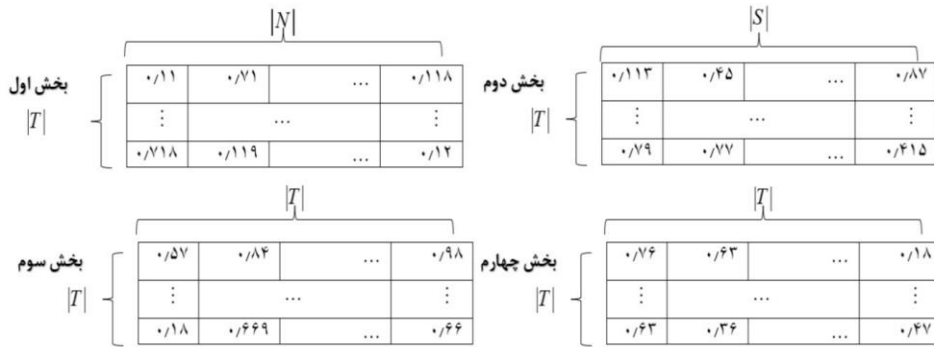
مدل ریاضی دو هدفه این پژوهش از جمله مدل‌های برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط می‌باشد و در دسته مسائل NP-hard است. بنابراین برای حل مدل در مقیاس بالا از الگوریتم‌های فراابتکاری MOABC و MOWOA استفاده می‌شود و برای اعتبارسنجی نتایج این الگوریتم‌ها، نتایج آن‌ها با نتایج حل مدل به روش اپسیلون محدودیت تقویت شده در نرم افزار گمز مقایسه شده است.

۴-۱- الگوریتم بهینه‌سازی نهنگ و زنبور عسل چند هدفه

الگوریتم بهینه‌سازی نهنگ، یک الگوریتم فراابتکاری جدید مبتنی بر جمعیت می‌باشد که توسط میرجلیلی و همکاران ارائه گردیده است، روند جستجوی الگوریتم بهینه‌سازی نهنگ شامل دو مرحله اکتشاف و بهره برداری می‌شود [۲۴]. الگوریتم زنبور عسل یک الگوریتم بهینه‌سازی است که برای یافتن جواب بهینه از رفتار جستجوی طبیعی زنبورهای عسل در طبیعت الهام گرفته شده است [۲۵].

۴-۲- شیوه نمایش جواب

برای ایجاد جمعیت اولیه باید مکانیزمی برای تولید پاسخ اولیه ایجاد کنیم. به این منظور کروموزم ۴ بخشی براساس متغیرهای تصمیم مدل ریاضی ساختاردهی شده است که مطابق شکل ۲ می‌باشد.



شکل ۲. ساختار کروموزوم ۴ بخشی برای تولید پاسخ اولیه در الگوریتم‌های فراابتکاری

اعضای کروموزوم به طور تصادفی در بازه حقیقی صفر و یک تولید می‌شوند. در شکل ۲، T تعداد دوره‌های زمانی، N تعداد مکان‌های بالقوه برای احداث کارخانه‌ها و S تعداد تأمین‌کنندگان را نشان می‌دهد. سائز کروموزوم مطابق عبارت ۳۱ می‌باشد.

$$\text{Chromosome Size} = [4 \times T, \text{Max}(T, \text{Max}(\text{Max}(N, S), T))] \quad (31)$$

در فرآیند ارزیابی، با استفاده از تکنیک مرتب‌سازی و قاعده پخش نرمال از کروموزوم، برای بدست آوردن متغیرهای تصمیم استفاده می‌شود. از بخش اول این کروموزوم برای بدست آوردن متغیرهای $Q_{vnt}^{tr,k,f}$ و Y_n ، $Q_{vnt}^{pr,k}$ ، $Q_{vnt}^{in,k}$ استفاده می‌شود. از بخش دوم این کروموزوم متغیر $Q_{isnt}^{m,k,f}$ محاسبه می‌شود. بخش سوم مربوط به بدست آوردن مقادیر متغیرهای $ST_{vnj\psi t}^k$ و $SC_{vnj\psi t}^k$ می‌باشد و از بخش چهارم مقادیر متغیرهای $PT_{isn\psi t}^k$ و TC_{isnt}^k حاصل می‌شود.

۵- مثال نمونه‌ای

برای بررسی اعتبار مدل ریاضی مطرح شده یک مثال نمونه شامل ۲ تأمین‌کننده، ۲ مکان بالقوه برای احداث کارخانه، ۲ مرکز توزیع، ۲ نوع مواد اولیه و محصول و تحت ۲ سناریو و ۵ دوره زمانی در نظر گرفته شده است. تقاضای مراکز توزیع به صورت تصادفی از بازه (۴۰، ۳۵) انتخاب می‌شود. مثال نمونه مطرح شده با نرم افزار گمز و سالور سیپلکس حل و نتایج حل و خروجی‌ها در قالب جداول و نمودارها ارائه می‌شود. مقدار هدف اول ۱،۱۵۸،۵۱۸،۸۱۵ و مقدار



هدف دوم برابر ۸۶۴/ می‌باشد. کارخانه‌ی n_2 جهت تولید محصولات در شبکه‌ی زنجیره‌تأمین احداث شده است. جدول ۳ مقدار مواد اولیه که از تأمین‌کنندگان به کارخانه منتقل می‌شود را نشان می‌دهد؛ سطر اول جدول ۲ مجموع میزان مواد اولیه i_1 که از تأمین‌کننده s_1 به کارخانه n_2 در همه دوره‌ها و در همه سناریوها منتقل می‌شود را نشان می‌دهد.

جدول ۲. مقدار مواد اولیه که از تأمین‌کنندگان به کارخانه

نوع خرید		سناریو		دوره		کارخانه		تأمین‌کننده		مواد اولیه	
اعتباری	نقدی	*	*	*	*	n_1	n_2	s_1	s_2	i_1	i_2
۱۵.۷۳۷	۲۰۳/۵۷	*	*	*	*			*		*	
۱۶.۰۷۲	۲۲.۸۶۱	*	*	*	*				*		*
۱۵/۹۸۲	۱۸۳/۹	*	*	*	*			*			*
۱۳/۱۱۲	۴۵/۲۴۶	*	*	*	*				*		*

جدول ۳ مقدار محصولاتی که از کارخانه به مراکز توزیع منتقل می‌شود را نشان می‌دهد. سطر اول جدول ۳ مجموع مقادیر محصول v_1 را که از کارخانه n_2 به مرکز توزیع j_1 در همه دوره‌ها و در همه سناریوها منتقل می‌شود را نشان می‌دهد. جدول ۵ مقادیر مربوط به اعتبار-های تجاری و بازپرداخت‌های اعتبار تجاری را نشان می‌دهد که کارخانه‌ها برای خرید مواد اولیه از تأمین‌کنندگان دریافت کرده بودند.

جدول ۳. مقدار محصولاتی که از کارخانه به مراکز توزیع منتقل می‌شود

نوع فروش		سناریو		دوره		مرکز توزیع		کارخانه		محصول	
اعتباری	نقدی	*	*	*	*	j_1	j_2	n_1	n_2	v_1	v_2
۱۱/۹۶۴	۳۴۴/۲	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
۵۸/۷۰۲	۲۵۳/۴	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
.	۲۹۹	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
۷۳/۶۱۸	۲۵۰/۳	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*

زمانبندی بازپرداخت اعتبارهای تجاری دریافت شده در جدول ۴ نشان داده شده است با توجه به اینکه زمان مجاز برای تاخیر در بازپرداخت اعتبار تجاری دریافت شده از تأمین‌کنندگان، یک دوره زمانی در نظر گرفته شده است؛ تمامی بازپرداخت‌ها بعد از یک دوره زمانی انجام شده است و جریمه‌ای دیرکرد برای بازپرداخت‌ها در نظر گرفته نشده است.



جدول ۴. مقادیر اعتبار تجاری و بازپرداخت اعتباری تجاری بین کارخانه و تأمین‌کنندگان

مواد اولیه		تأمین‌کننده		کارخانه		دوره		PT		TC	
i_1	i_2	s_1	s_2	n_1	n_2	پرداخت	بازپرداخت	سناریو		سناریو	
								۱	۲	۱	۲
						۱	۲	۳۳/۷۲۹	۳۳/۷۲۹	۳۳/۷۲۹	۳۳/۷۲۹
*		*		*		۲	۳	۳۷/۷۲		۳۷/۷۲	
						۳	۴	۳۳/۹۶۷	۳۳/۹۶۷	۳۳/۹۶۷	۳۳/۹۶۷
						۱	۲	۳۷/۳۵۵	۳۷/۳۵۵	۳۷/۳۵۵	۳۷/۳۵۵
*			*	*		۲	۳	۳۰/۵۵۴		۳۰/۵۵۴	
						۳	۴	۳۵/۷۶۳	۳۵/۷۶۳	۳۵/۷۶۳	۳۵/۷۶۳
						۱	۲	۳۴/۰۱۲	۳۴/۰۱۲	۳۴/۰۱۲	۳۴/۰۱۲
	*	*		*		۲	۳	۳۵/۱۹۹		۳۵/۱۹۹	
						۳	۴	۳۶/۲۸۹	۳۶/۲۸۹	۳۶/۲۸۹	۳۶/۲۸۹
						۱	۲	۳۲/۷۶	۳۲/۷۶	۳۲/۷۶	۳۲/۷۶
	*		*	*		۳	۴	۳۹/۳۶۳	۳۹/۳۶۳	۳۹/۳۶۳	۳۹/۳۶۳

جدول ۵ مقادیر مربوط به اعتبارهای تجاری و بازپرداخت‌های اعتبار تجاری را نشان می‌دهد که مراکز توزیع برای خرید محصولات از تأمین‌کنندگان دریافت کرده بودند. زمانبندی بازپرداخت اعتبارهای تجاری دریافت شده در این جدول نشان داده شده است و همانطور که مشخص است با توجه به اینکه زمان مجاز برای تاخیر در بازپرداخت اعتبار تجاری دریافت شده از کارخانه‌ها، یک دوره زمانی در نظر گرفته شده است. تمامی بازپرداخت‌ها در دوره زمانی آخر انجام شده است. با توجه به اینکه بخشی از تابع هدف مدل در جهت حداکثرسازی پول در دست در انتهای افق برنامه‌ریزی در کارخانه‌ها می‌باشد، این نحوه زمانبندی در جهت حداکثرسازی تابع هدف مدل می‌باشد.



جدول ۵. مقادیر اعتبار تجاری و بازپرداخت اعتباری تجاری بین مراکز توزیع و کارخانه

محصول	کارخانه		مرکز توزیع		دوره		ST		SC			
	v_1	v_2	n_1	n_2	j_1	j_2	پرداخت	بازپرداخت	سناریو ۱	سناریو ۲		
*			*		*		۱	۵	۲۳۶۵۷	۰	۱۰۷۶۷/۷۸	۰
							۱	۵	۰	۲۳۶۵۶/۸۱	۰	۱۰۷۶۷/۷۸
*			*		*		۲	۵	۱۷۹۹۵	۱۷۹۹۵/۴۴	۱۰۶۴۸/۱۹	۱۰۶۴۸/۱۹
							۳	۵	۱۳۵۰۰	۱۳۴۹۹/۵۵	۱۰۳۸۴/۲۷	۱۰۳۸۴/۲۷
							۱	۵	۲۴۶۳۹	۲۴۶۳۸/۶۶	۱۱۲۱۴/۶۸	۱۱۲۱۴/۶۸
	*		*		*		۲	۵	۱۸۱۲۵	۱۸۱۲۵/۲۸	۱۰۷۲۵/۰۲	۱۰۷۲۵/۰۲
							۳	۵	۱۴۵۴۵	۱۴۵۴۵/۵۸	۱۱۱۸۸/۱۴	۱۱۱۸۸/۱۴

۶- نتایج عددی و بحث

در مسائل بهینه‌سازی هرگاه یک مسئله تک هدفه باشد نحوه‌ی ارزیابی مشخص است اما در مسائل چند هدفه نحوه‌ی ارزیابی متفاوت است برای این مهم می‌بایست شاخص‌هایی مانند MID, SNS و زمان حل معرفی می‌شود [۲۶] که در ادامه مقایسه بین جواب‌های الگوریتم‌ها و نرم‌افزار گمز ارائه می‌شود.

۶-۱- مقایسه بین روش دقیق و الگوریتم‌ها

برای مقایسه‌ی جواب‌ها در این پژوهش ۳ مثال طراحی و با هر سه روش اجرا و نتایج در جدول ۷ گزارش می‌شود. با توجه به نتایج حاصل از مقایسه انجام شده جواب‌های ارائه شده توسط روش‌های فراابتکاری نزدیک به جواب گمز می‌باشد در نتیجه می‌توان از این روش‌ها جهت حل مدل ریاضی در ابعاد بالا استفاده کرد.

۶-۲- مقایسه الگوریتم‌های MOABC و MOWOA

برای مقایسه الگوریتم‌های فراابتکاری بر مبنای شاخص‌های عملکردی، ۲۰ مسئله طراحی شده است. سپس هر مسئله به ازای هر الگوریتم ۱۰ مرتبه اجرا و میانگین آن‌ها به عنوان جواب نهایی برای هر روش حل گزارش شده است که مقادیر همگی شاخص‌ها برای الگوریتم MOABC و MOWOA در جدول ۶ نشان داده شده است.



جدول ۶. مقادير شاخص‌هاي عملکردي براي مقايسه الگوريتم‌هاي فراابتنكاري

ID	Size $S \times N \times J \times I \times V \times K \times T \times F$	MOABC			MOWOA		
		MID	SNS	CPU Time	MID	SNS	CPU Time
۱	۲×۲×۲×۱×۱×۲×۳×۲	۰.۷۹۰۶	۲۱۱۶۲۰.۷	۴۲.۹	۰.۷۰۷۴	۱۹۱۲۷۰	۲۲.۳
۲	۲×۳×۲×۲×۱×۲×۴×۲	۰.۸۴۷۶	۱۸۰۴۲۱.۱	۵۸.۷	۰.۶۳۶۴	۲۳۹۳۲۳.۸	۲۱.۱
۳	۳×۳×۳×۲×۲×۲×۴×۲	۰.۷۹۰۶	۸۹۸۱۸۴.۵	۷۲.۲	۰.۷۷۶۱	۸۱۰۴۶۴.۳	۵۸.۹
۴	۴×۳×۴×۳×۲×۲×۴×۲	۰.۷۸۵۷	۱۰۸۱۳۶۵.۵	۸۳.۹	۰.۷۶۵۹	۹۷۹۳۳۳.۸	۵۷.۷
۵	۴×۴×۴×۳×۲×۲×۵×۲	۰.۷۹۰۸	۱۸۹۵۰۳۶.۲	۱۱۵.۳	۰.۵۷۳۷	۱۶۴۲۲۵۱.۶	۸۶.۵
۶	۵×۵×۴×۳×۲×۲×۵×۲	۰.۵۹۴۶	۲۵۵۰۳۰۷.۰	۱۶۰.۴	۰.۶۶۲۵	۲۴۰۹۱۳۱.۹	۱۰۴.۸
۷	۵×۵×۵×۳×۲×۲×۶×۲	۱.۰۵۱۸	۵۱۴۴۳۹.۳	۱۶۰.۴	۰.۹۶۸	۴۸۳۶۷۴۴.۷	۱۲۵.۷
۸	۶×۵×۵×۳×۴×۲×۶×۲	۰.۸۱۱۶	۶۴۳۹۷۱۳.۹	۲۵۷	۰.۷۳۳۱	۵۳۶۲۱۱۴.۱	۱۰۳.۲
۹	۶×۵×۵×۳×۴×۲×۷×۲	۰.۷۷۸۷	۹۱۴۲۹۷۳.۹	۲۹۲.۱	۰.۶۸۴۷	۸۱۳۵۵۱۰.۶	۱۶۶.۳
۱۰	۶×۵×۵×۴×۴×۲×۷×۲	۰.۸۲۸۴	۷۹۷۹۵۰۰.۲	۳۰۶	۰.۶۵۱۹	۷۸۳۷۳۹۴.۹	۲۲۷.۶
۱۱	۶×۶×۴×۴×۴×۲×۸×۲	۰.۸۸۶۲	۱۰۱۳۱۷۲۴.۰	۳۵۶.۲	۰.۶۲۵	۹۴۳۱۷۰۷.۹	۱۳۸.۵
۱۲	۷×۷×۴×۴×۵×۲×۸×۲	۰.۸۵۰۱	۹۲۹۰۴۴۸.۰	۴۵۵.۵	۰.۶۵۵۸	۹۳۵۷۶۳۱.۷	۱۶۴.۴
۱۳	۷×۷×۵×۴×۵×۲×۹×۲	۰.۸۲۰۴	۲۰۹۶۹۱۱۳.۳	۶۳۸.۱	۰.۸۵۴۷	۱۹۵۸۸۹۰۴.۱	۱۸۱.۵
۱۴	۸×۸×۵×۵×۵×۲×۱۰×۲	۱.۰۰۱۷	۲۴۳۱۴۲۸۸.۱	۶۵۰.۲	۰.۶۵۶۹	۲۱۵۰۵۴۶۶.۸	۳۱۷
۱۵	۸×۸×۶×۵×۶×۲×۱۰×۲	۰.۷۶۷۸	۴۷۳۰۹۳۱۹.۵	۷۹۸.۶	۰.۷۲۲۸	۴۴۶۴۷۷۳۱.۴	۵۰۵.۲
۱۶	۹×۹×۶×۵×۶×۲×۱۰×۲	۰.۸۳۰۴	۳۹۰۵۹۳۸۵.۶	۸۹۲.۸	۰.۹۱۵	۴۱۴۶۸۲۳۵.۲	۵۲۱.۹
۱۷	۹×۹×۷×۵×۷×۲×۱۱×۲	۱.۰۷۳۰	۸۵۴۹۰۵۸۵.۴	۱۱۳۶.۸	۰.۸۱۱۸	۷۶۶۲۹۸۵۴.۵	۵۷۰.۷
۱۸	۱۰×۹×۷×۵×۷×۲×۱۲×۲	۰.۹۹۱۴	۱۰۱۷۷۳۸۹۸.۷	۱۳۳۳.۳	۰.۸۱۴	۱۰۲۷۳۴۲۹۱.۹	۶۲۳.۱
۱۹	۱۰×۹×۸×۵×۸×۲×۱۲×۲	۰.۸۳۱۸	۱۳۱۳۰۲۴۰۰	۱۵۶۰.۸	۰.۷۴۱۶	۱۳۷۷۱۸۸۴۰	۷۴۰.۱
۲۰	۱۰×۹×۹×۵×۸×۲×۱۳×۲	۰.۹۲۵۳	۱۹۰۷۹۸۸۰۰	۱۶۲۹.۱	۰.۷۳۹	۱۶۴۶۴۱۳۲۰	۹۰۱.۳
Average		۰.۸۵۲۳	۳۴۷۷۸۰۸۰۰	۵۷۵.۲	۰.۷۳۴۷	۳۳۰۲۲۸۶۰.۳	۲۸۴.۹

با توجه به جدول ۷ که داده‌هاي مربوط به حل هر الگوريتم را نشان مي‌دهد به بررسي خروجي‌ها و تحليل آن مي‌پردازيم. ابعاد مسئله $[S * N * J] * I * V * K * T * F$ به ترتيب $۲ * ۳ * ۲ * ۲ * ۱ * ۲ * ۴ * ۲$ - $۲ * ۳ * ۲ * ۲ * ۱ * ۲ * ۴ * ۲$ - $۳ * ۳ * ۳ * ۲ * ۲ * ۲ * ۴ * ۲$ - $۴ * ۳ * ۴ * ۳ * ۲ * ۲ * ۴ * ۲$ - $۴ * ۴ * ۴ * ۳ * ۲ * ۲ * ۵ * ۲$ - $۵ * ۵ * ۴ * ۳ * ۲ * ۲ * ۵ * ۲$ - $۵ * ۵ * ۵ * ۳ * ۲ * ۲ * ۶ * ۲$ - $۶ * ۵ * ۵ * ۳ * ۴ * ۲ * ۶ * ۲$ - $۶ * ۵ * ۵ * ۳ * ۴ * ۲ * ۷ * ۲$ - $۶ * ۵ * ۵ * ۴ * ۴ * ۲ * ۷ * ۲$ - $۶ * ۶ * ۴ * ۴ * ۴ * ۲ * ۸ * ۲$ - $۷ * ۷ * ۴ * ۴ * ۵ * ۲ * ۸ * ۲$ - $۷ * ۷ * ۵ * ۴ * ۵ * ۲ * ۹ * ۲$ - $۸ * ۸ * ۵ * ۵ * ۵ * ۲ * ۱۰ * ۲$ - $۸ * ۸ * ۶ * ۵ * ۶ * ۲ * ۱۰ * ۲$ - $۹ * ۹ * ۶ * ۵ * ۶ * ۲ * ۱۰ * ۲$ - $۹ * ۹ * ۷ * ۵ * ۷ * ۲ * ۱۱ * ۲$ - $۱۰ * ۹ * ۷ * ۵ * ۷ * ۲ * ۱۲ * ۲$ - $۱۰ * ۹ * ۸ * ۵ * ۸ * ۲ * ۱۲ * ۲$ - $۱۰ * ۹ * ۹ * ۵ * ۸ * ۲ * ۱۳ * ۲$ مي‌باشد.



جدول ۷. مقایسه جواب‌های روش گمز و الگوریتم‌های MOABC و MOWOA

Size	GAMS			MOABC		MOWOA			
	FR	CPU(s)	NPV	Highest value of FR	Highest value of NPV	CPU(s)	Highest value of FR	Highest value of NPV	CPU(s)
۱	۱	۳.۱۲	۵۴۸,۷۸۵	۰.۹۷۲	۵۴۴,۳۱۰	۲۵.۳	۰.۹۸۳	۵۴۸,۳۱۸	۲۱.۱۴
۲	۱	۴.۰۱	۸۴۸,۶۴۰	۰.۸۹۳	۸۴۲,۵۸۰	۴۹.۸	۰.۸۶۸	۸۴۷,۵۴۸	۳۵.۱۲
۳	۱	۷.۹۳	۲,۵۹۴,۹۹۵	۰.۹۴۵	۲,۵۹۳,۱۵۳	۶۳.۱۲	۰.۹۵۴	۲,۵۹۳,۲۱۴	۴۹.۸
۳	Not found			۰.۸۴۱	۳۵۱,۷۳۹,۴۱۲	۱۶۲۹.۱۳	۰.۹۹۹	۳۵۲,۴۸۹,۱۰۶	۹۰۱.۲۵

۳-۶- تحلیل واریانس برای مقایسه کارایی الگوریتم‌ها

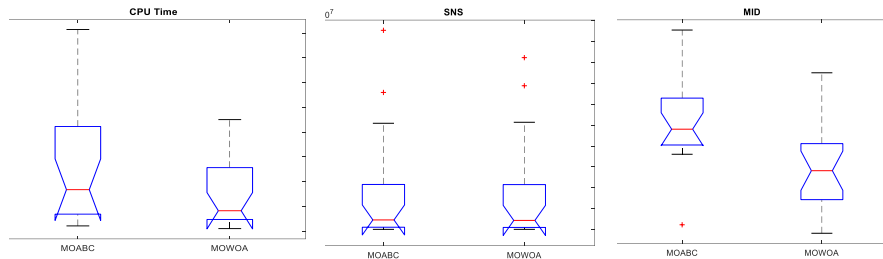
با توجه به اینکه دو جامعه وجود دارد که از نظر برخی شاخص‌ها با هم تفاوت دارند و کیفیت این تفاوت دارای اهمیت می‌باشد لذا می‌بایست مشخص شود آیا این تفاوت به شکل معناداری وجود دارد یا خیر چرا که اگر تفاوت معنادار نباشد تمایزی بین الگوریتم‌های پژوهش وجود نخواهد داشت و اساساً این الگوریتم‌ها نباید همزمان مورد بررسی قرار می‌گرفت چون یکی از اهداف فرعی پژوهش معرفی الگوریتم برتر می‌باشد. در نتیجه با توجه به مقالات [۲۶-۲۸] برای مقایسه الگوریتم‌ها از آزمون آنووا برای بررسی معناداری استفاده می‌شود. برای ارزیابی کارایی و عملکرد الگوریتم‌های پیشنهاد شده در این پژوهش از ۲۰ مسئله استفاده شده است. که از جدول ۶ استفاده می‌شود. با داشتن دو نوع الگوریتم، هدف یافتن تفاوت معنادار در کارایی الگوریتم‌هاست. حال با داشتن اطلاعات کافی در این قسمت تحلیل آماری انجام می‌شود. در این تحقیق از آزمون فرض برابری میانگین دو جامعه یکطرفه استفاده می‌شود. عامل‌ها در اینجا الگوریتم‌ها هستند که مورد بررسی قرار می‌گیرند. در این آزمون مقدار $\alpha = 0.05$ در نظر گرفته شده است.

۴-۶- جدول آنالیز واریانس برای شاخص‌ها

با توجه به شکل ۳ و آزمون فرض که اگر مقدار $\alpha \geq P - VALUE$ باشد اختلاف معنا دار بین الگوریتم‌ها وجود دارد و اگر خلاف این باشد فرض H_0 مبنی بر برابر بودن میانگین جامعه و نداشتن اختلاف معنا دار پذیرفته می‌شود؛ با توجه به خروجی نرم افزار MATLAB مقدار $P - VALUE$ برابر است با ۰/۰۱۲ که فرض H_0 رد و از نظر شاخص MID اختلاف معناداری



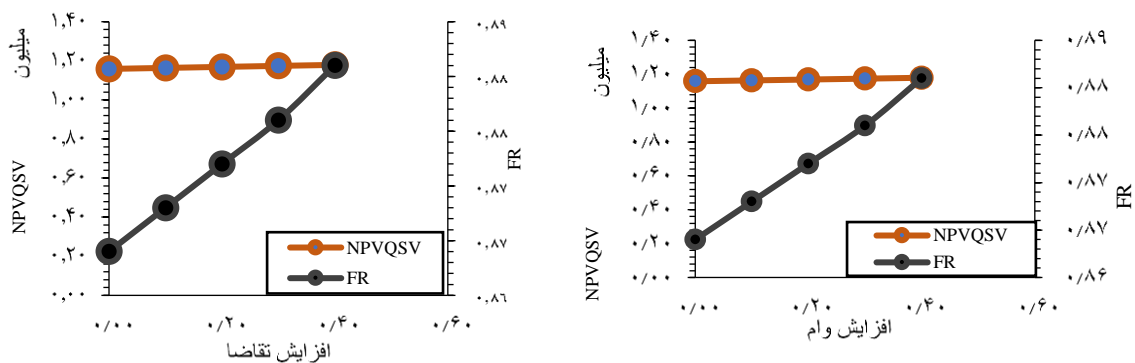
میان الگوریتم‌ها وجود دارد. همانطور که از شکل ۳ پیداست الگوریتم MOWOA عملکرد بهتری داشته است همچنین با توجه به شکل ۳ مقدار $P - VALUE$ برابر است با $0/9118$ است که فرض H_0 پذیرفته و از نظر شاخص SNS اختلاف معناداری میان الگوریتم‌ها وجود ندارد در نهایت برای شاخص زمان، با توجه به شکل ۳ مقدار $p - VALUE$ برابر است با $0/0447$ است که فرض H_0 رد و از نظر شاخص زمان اجرا اختلاف معناداری میان الگوریتم‌ها وجود دارد. در نتیجه الگوریتم MOWOA عملکرد بهتری داشته است.



شکل ۳. خروجی متلب برای شاخص

۵-۶- تحلیل حساسیت

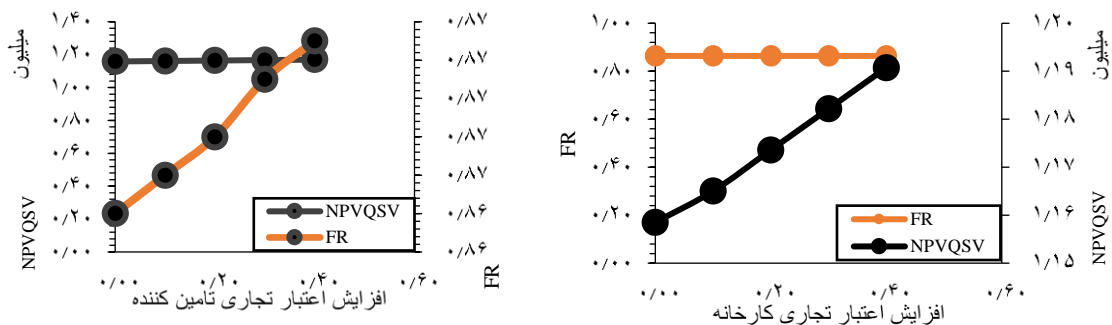
در طراحی شبکه‌های زنجیره‌تأمین بطور کلی پارامتر تقاضا یکی از پارامترهای تعیین‌کننده در مدل ریاضی می‌باشد. در این بخش پارامتر تقاضا از ۱۰ درصد تا ۴۰ درصد مقدار اولیه افزایش داده شده است. همچنین مقدار وام تعلق گرفته به کارخانه در دوره اول نیز در همین بازه افزایش داده می‌شود و نتایج حاصل از این تحلیل در شکل ۴ ارائه می‌شود.



شکل ۴. تأثیر افزایش تقاضا و افزایش وام بر روی توابع هدف



با توجه به شکل ۴ با افزایش مقدار تقاضا در بازه تعریف شده مقدار هدف ارزش فعلی خالص دارایی سهامداران در انتهای افق برنامه‌ریزی یا همان NPVQSV افزایش می‌یابد و تابع هدف برآورد تقاضا جهت رضایت مشتریان کاهش می‌یابد. با توجه به اینکه طراحی شبکه زنجیره تأمین با سرمایه محدود در این مطالعه در نظر گرفته شده است، تابع هدف برآورد تقاضا جهت رضایت مشتریان به علت کمبود منابع مالی به میزان اولیه ۰.۸۶ برآورده شده است. با افزایش پارامتر تقاضا با ثابت ماندن سایر پارامترهای مدل، میزان منابع مالی موجود می‌تواند کسر کمتری از تقاضای مشتریان را برآورده سازد ولی تابع هدف ارزش فعلی خالص دارایی سهامداران با افزایش منابع مالی و به دنبال آن تولید محصولات بیشتر و افزایش فروش، افزایش پیدا خواهد کرد. همچنین به منظور برآورد تأثیر اعتبار تجاری تأمین‌کننده به عنوان منبع تأمین مالی داخلی جهت تولید محصولات و اعتبار تجاری کارخانه به عنوان ابزار تشویقی جهت افزایش فروش، میزان پارامتر اعتبار تجاری تأمین‌کننده و اعتبار تجاری کارخانه از ۱۰ درصد تا ۴۰ درصد مقدار اولیه افزایش داده شده است و نتایج در شکل ۵ ارائه می‌شود.



شکل ۵. تأثیر افزایش اعتبار تجاری تأمین‌کننده و افزایش اعتبار تجاری کارخانه بر روی توابع هدف

با توجه به شکل ۵، با افزایش اعتبار تجاری تأمین‌کننده به کارخانه به جهت خرید مواد اولیه، با توجه به محدودیت موجود در منابع مالی، منابع مالی موجود که به جهت خرید مواد اولیه مصرف می‌شد آزاد سازی شده و در جهت سایر هزینه‌های تولید صرف خواهد شد و در نتیجه میزان تولید افزایش پیدا خواهد کرد و میزان هر دو تابع هدف افزایش پیدا می‌کند. با افزایش اعتبار تجاری کارخانه تابع هدف برآورد تقاضا جهت رضایت مشتریان ثابت می‌ماند و تابع



هدف ارزش فعلی خالص دارائی سهامداران افزایش می‌یابد. افزایش اعتبار تجاری کارخانه میزان تولید را افزایش نمی‌دهد بلکه نوع فروش محصولات را تغییر می‌دهد. در واقع با افزایش اعتبار تجاری کارخانه با توجه به تابع هدف مدل، ترجیح مدل این است که از اعتبار استفاده کند و فروش اعتباری را افزایش دهد که در واقع همان میزان فروش باعث تحقق درآمد بیشتری خواهد شد. البته میزان افزایش تابع هدف ارزش فعلی خالص دارائی سهامداران با افزایش نرخ بهره جریمه دیرکرد بازپرداخت اعتبار تجاری به کارخانه، افزایش بیشتری پیدا می‌کند.

۷- نتیجه‌گیری

همواره شرکت‌های کوچک و متوسط در کشورهای در حال توسعه با مشکل کمبود سرمایه مواجه هستند در این شرایط تصمیم‌های عملیاتی زنجیره‌تأمین تحت تاثیر محدودیت مالی قرار می‌گیرند. بنابراین در این پژوهش با در نظر گرفتن منابع تأمین مالی مانند اعتبار تجاری و وام، یک مدل طراحی شبکه زنجیره‌تأمین سه سطحی با محدودیت بودجه شامل تأمین‌کنندگان، کارخانه‌ها و مراکز توزیع توسعه داده شد. هدف اصلی بیشینه‌سازی ارزش فعلی خالص دارایی سهامداران و هدف دیگر بیشینه‌سازی برآورده‌سازی تقاضا مورد بررسی قرار گرفت. جنبه‌های مالی مانند تخصیص منابع مالی، زمان‌بندی پرداخت و بازپرداخت اعتبار تجاری، مالیات و نرخ تورم جهت یکپارچگی جریان مالی و فیزیکی شبکه اعمال شد. برای حل مدل در ابعاد بالا از الگوریتم‌های فراابتکاری چند هدفه کلونی زنبور عسل و الگوریتم فراابتکاری نهنگ استفاده شد. نتایج نشان داد که در نظر گرفتن مسائل مالی در یک زنجیره‌تأمین چگونه می‌تواند در تصمیم‌گیری‌های کمی و کیفی انتقال محصولات در تمامی سطوح موثر واقع شود، علاوه بر این افزایش وام و افزایش اعتبار تجاری منجر به افزایش ارزش فعلی خالص دارایی سهامداران نیز می‌شود. اعتبار تجاری به عنوان ابزار تأمین مالی مبتنی بر بدهی عملکرد تأمین‌کننده و خریدار اعتبار را افزایش می‌دهد در نتیجه شرکای زنجیره تأمین نباید نسبت به وضعیت سرمایه‌ای یکدیگر بی‌تفاوت باشند. نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل نشان می‌دهد که مقدار اعتبار تجاری کارخانه با افزایش تأخیر در بازپرداخت کاهش می‌یابد و با افزایش نرخ بهره جریمه تأخیر افزایش پیدا می‌کند. به عنوان مثال هنگامی که نرخ بهره جریمه تأخیر صفر در نظر گرفته شد، اعتبار تجاری کارخانه ۱۷ درصد کاهش پیدا کرد و در شرایطی که تأخیر مجاز بیشترین



میزان در نظر گرفته شد اعتبار تجاری با ۶۶ درصد کاهش همراه بود. از نظر روش‌های حل، نتایج نشان داد که الگوریتم فراابتکاری نهنگ از نظر شاخص MID و زمان اجرا عملکرد بهتری نسبت به الگوریتم فراابتکاری کلونی زنبور عسل دارد. در نهایت برای پژوهش‌های آتی در زمینه این پژوهش در نظر داشتن انواع دیگر قراردادهای اعتبار تجاری و بررسی مزایای آن‌ها می‌تواند مفید واقع شود. علاوه بر این با توجه به اهمیت مسائل زیست‌محیطی می‌توان مسیر معکوس شبکه نیز مورد بررسی قرار گیرد از طرفی با توجه به ظرفیت محدود تامین کنندگان می‌توان تامین کننده پشتیبان جهت بالا بردن تاب‌آوری شبکه بکار برد.

۸- پی‌نوشت‌ها

- | | |
|---|-----------------------------------|
| ۱- Nickel, Saldanha-da-Gama and Ziegler | ۶- Brahmi, Hadj-Alouane and Sboui |
| ۲- Cardoso, Barbosa-Póvoa and Relvas | ۷- Huang, Yang and Tu |
| ۳- Zhong, Shu, Xie, and Zhou | ۸- Tsao, Zhang, Zhang and Vu |
| ۴- Polo, Peña, Muñoz, Cañón and Escobar | ۹- Ding, Jiang, Wu and Zhou |
| ۵- Lu, Gu and Huang | |

۹- منابع

- [۱] Dorri Nokurani B, Zandiyeh M, and Notash M, "Multi-objective design of supply chain network with genetic algorithm approach," *Management Research in Iran*, vol. ۱۸, no. ۴, pp. ۱۸۳-۲۰۳, ۲۰۲۱, [in persian], doi: 20.1001.1.2322200.1393.18.4.9.6.
- [۲] Arani H. V, and Torabi S. A, "Integrated material-financial supply chain master planning under mixed uncertainty," *Inf. Sci. (Ny)*, vol. ۴۲۳, pp. ۹۶-۱۱۴, ۲۰۱۸, doi: ۱۰.۱۰۱۶/j.ins.۲۰۱۷.۰۹.۰۴۵.
- [۳] Alavi S. H, and Jabbarzadeh A, "Supply chain network design using trade credit and bank credit: A robust optimization model with real world application," *Comput. Ind. Eng.*, vol. ۱۲۵, no. August, pp. ۶۹-۸۶, ۲۰۱۸, doi: ۱۰.۱۰۱۶/j.cie.۲۰۱۸.۰۸.۰۰۵.
- [۴] Ramezani M, Kimiagari A. M, and Karimi B, "Closed-loop supply chain network design: A financial approach," *Appl. Math. Model.*, vol. ۳۸, no. ۱۵-۱۶, pp. ۴۰۹۹-۴۱۱۹, ۲۰۱۴, doi: ۱۰.۱۰۱۶/j.apm.۲۰۱۴.۰۲.۰۰۴.
- [۵] Chen X, and Wang A, "Trade credit contract with limited liability in the supply chain with budget constraints," *Ann. Oper. Res.*, vol. ۱۹۶, no. ۱, pp. ۱۵۳-۱۶۵, ۲۰۱۲, doi: ۱۰.۱۰۰۷/s۱۰۴۷۹-۰۱۲-۱۱۱۹-۰.
- [۶] Brahmi A, Hadj-Alouane A. B, and Sboui S, "Dynamic and reactive optimization of physical and financial flows in the supply chain," *Int. J. Ind. Eng. Comput.*, vol. ۱۱, no. ۱, pp. ۸۳-۱۰۶, ۲۰۲۰, doi:



- ۱۰.۵۲۶۷/j.ijiec.۲۰۱۹.۶.۰۰۳.
- [۷] Sadeghi Moghadam M. R, Karimi T, and Bandesi S, “Evaluating the risks of service supply chain with the rough set theory approach (case study: companies providing payment services to banks),” *Management Research in Iran*, vol. ۲۲, no. ۱, pp. ۶۹-۹۴, ۲۰۲۱, [in persian], dor: 20.1001.1.2322200.1397.22.1.4.3.
- [۸] Mohammadi A, Khalife M, Ali Mohammadlou A, Abbasi A, and Eghtesadifard M, “Operational and financial design of multi-level supply chain system in strategic and tactical decision-making levels,” *Modern researches in decision making*, vol. ۳, no. ۱, pp. ۲۶۷-۲۹۷, ۲۰۱۸, [in persian], doi: https://journal.saim.ir/article_31261.html.
- [۹] Khakbazan E, Chaharsoghi S. K, and Rafiei F, “Providing a value-based integrated supply chain model by considering financial ratios in financial decisions,” *Modern researches in decision making*, vol. ۳, no. ۳۱, pp. ۱۱۳-۱۳۶, ۲۰۱۸, [in persian], doi: https://journal.saim.ir/article_31248.html.
- [۱۰] Nickel S, Saldanha-da-Gama S, and Ziegler H. P, “A multi-stage stochastic supply network design problem with financial decisions and risk management,” *Omega*, vol. ۴۰, no. ۵, pp. ۵۱۱-۵۲۴, ۲۰۱۲, doi: ۱۰.۱۰۱۶/j.omega.۲۰۱۱.۰۹.۰۰۶.
- [۱۱] Cardoso S. R, Barbosa-Póvoa A. P. F. D., and Relvas S, “Design and planning of supply chains with integration of reverse logistics activities under demand uncertainty,” *Eur. J. Oper. Res.*, vol. ۲۲۶, no. ۳, pp. ۴۳۶-۴۵۱, ۲۰۱۳, doi: ۱۰.۱۰۱۶/j.ejor.۲۰۱۲.۱۱.۰۳۵.
- [۱۲] Mohammadi A, Abbasi A, Alimohammadlou M, Eghtesadifard M, and Khalifeh M, “Optimal design of a multi-echelon supply chain in a system thinking framework: An integrated financial-operational approach,” *Comput. Ind. Eng.*, vol. ۱۱۴, pp. ۲۹۷-۳۱۵, ۲۰۱۷, doi: ۱۰.۱۰۱۶/j.cie.۲۰۱۷.۱۰.۰۱۹.
- [۱۳] Zhong Y, Shu J, Xie W, and Zhou Y. W, “Optimal trade credit and replenishment policies for supply chain network design,” *Omega (United Kingdom)*, vol. ۸۱, pp. ۲۶-۳۷, ۲۰۱۸, doi: ۱۰.۱۰۱۶/j.omega.۲۰۱۷.۰۹.۰۰۶.
- [۱۴] Nobil A. H, Jalali S, and Niaki S. T. A., “Financially embedded facility location decisions on designing a supply chain structure: A case study,” *Syst. Eng.*, vol. ۲۱, no. ۶, pp. ۵۲۰-۵۳۳, ۲۰۱۸, doi: ۱۰.۱۰۰۲/sys.۲۱۴۵۲.
- [۱۵] Wang M, and Huang H, “The design of a flexible capital-constrained global supply chain by integrating operational and financial strategies,” *Omega (United Kingdom)*, vol. ۸۸, pp. ۴۰-۶۲, ۲۰۱۹, doi: ۱۰.۱۰۱۶/j.omega.۲۰۱۸.۱۱.۰۱۶.
- [۱۶] Polo A, Peña N, Muñoz D, Cañón A, and Escobar J. W., “Robust design of a closed-loop supply chain under uncertainty conditions integrating financial criteria,” *Omega (United Kingdom)*, vol. ۸۸, pp. ۱۱۰-۱۳۲, ۲۰۱۹, doi: ۱۰.۱۰۱۶/j.omega.۲۰۱۸.۰۹.۰۰۳.
- [۱۷] Lu Q, Gu J, and Huang J, “Supply chain finance with partial credit guarantee provided by a third-party or a supplier,” *Comput. Ind. Eng.*, vol. ۱۳۵, no. October



- ۲۰۱۸, pp. ۴۴۰-۴۵۵, ۲۰۱۹, doi: ۱۰.۱۰۱۶/j.cie.۲۰۱۹.۰۶.۰۲۶.
- [۱۸] Darestani S. A, and Pourasadollah F, "A multi-objective fuzzy approach to closed-loop supply chain network design with regard to dynamic pricing," *J. Optim. Ind. Eng.*, vol. ۱۲, no. ۱, pp. ۱۷۳-۱۹۴, ۲۰۱۹, doi: ۱۰.۲۲۰۹۴/joie.۲۰۱۸.۴۷۶.۰.
- [۱۹] Rahimi M, Ghezavati V, and Asadi F, "A stochastic risk-averse sustainable supply chain network design problem with quantity discount considering multiple sources of uncertainty," *Comput. Ind. Eng.*, vol. ۱۳۰, no. June ۲۰۱۸, pp. ۴۳۰-۴۴۹, ۲۰۱۹, doi: ۱۰.۱۰۱۶/j.cie.۲۰۱۹.۰۲.۰۳۷.
- [۲۰] Goli A, Zare H. K, Tavakkoli-Moghaddam R, and Sadegheih A, "Multiobjective fuzzy mathematical model for a financially constrained closed-loop supply chain with labor employment," *Comput. Intell.*, vol. ۳۶, no. ۱, pp. ۴-۳۴, ۲۰۲۰, doi: ۱۰.۱۱۱۱/coin.۱۲۲۲۸.
- [۲۱] Huang J, Yang W, and Tu Y, "Financing mode decision in a supply chain with financial constraint," *Int. J. Prod. Econ.*, vol. ۲۲۰, ۲۰۲۰, doi: ۱۰.۱۰۱۶/j.ijpe.۲۰۱۹.۰۷.۰۱۴.
- [۲۲] Tsao Y. C, Zhang Q, Zhang X, and Vu T. L, "Supply chain network design for perishable products under trade credit," *J. Ind. Prod. Eng.*, vol. ۳۸, no. ۶, pp. ۴۶۶-۴۷۴, ۲۰۲۱, doi: ۱۰.۱۰۸۰/۲۱۶۸۱۰۱۵.۲۰۲۱.۱۹۳۷۷۲۲.
- [۲۳] Ding Y, Jiang Y, Wu L, and Zhou Z, "Two-echelon supply chain network design with trade credit," *Comput. Oper. Res.*, vol. ۱۳۱, no. January, p. ۱۰۵۲۷۰, ۲۰۲۱, doi: ۱۰.۱۰۱۶/j.cor.۲۰۲۱.۱۰۵۲۷۰.
- [۲۴] Mirjalili S, and Lewis A, "The Whale Optimization Algorithm," *Adv. Eng. Softw.*, vol. ۹۵, pp. ۵۱-۶۷, ۲۰۱۶, doi: ۱۰.۱۰۱۶/j.advengsoft.۲۰۱۶.۰۱.۰۰۸.
- [۲۵] Mastrocinque E, Yuce B, Lambiase A, and Packianather M. S, "A multi-objective optimization for supply chain network using the bees algorithm," *Int. J. Eng. Bus. Manag.*, vol. ۵, no. ۱, pp. ۱-۱۱, ۲۰۱۳, doi: ۱۰.۵۷۷۲/۵۶۷۵۴.
- [۲۶] Behnamian J, Ghomi S. M. T. F, and Zandieh M, "Expert Systems with Applications A multi-phase covering Pareto-optimal front method to multi-objective scheduling in a realistic hybrid flowshop using a hybrid metaheuristic," *Expert Syst. Appl.*, vol. ۳۶, no. ۸, pp. ۱۱۰۵۷-۱۱۰۶۹, ۲۰۰۹, doi: ۱۰.۱۰۱۶/j.eswa.۲۰۰۹.۰۲.۰۸۰.
- [۲۷] Heidari A, Mohammad D, and Mohammad I, Green two - echelon closed and open location - routing problem: application of NSGA - II and MOGWO metaheuristic approaches, no. ۰۱۲۳۴۵۶۷۸۹. Springer Netherlands, ۲۰۲۲. doi: ۱۰.۱۰۰۷/s۱۰۶۶۸-۰۲۲-۰۲۴۲۹-w.
- [۲۸] Heidari A, Imani D. M., and Khalilzadeh M, "A hub location model in the sustainable supply chain considering customer segmentation," *J. Eng. Des. Technol.*, vol. ۱۹, no. ۶, pp. ۱۳۸۷-۱۴۲۰, ۲۰۲۱, doi: ۱۰.۱۱۰۸/JEDT-۰۷-۲۰۲۰-۰۲۷۹.