فصلنامه علمی – پژوهشی مطالعات مدیریت صنعتی – سال شانزدهم، شماره ۴۸، بهار ۹۷
صفحات ۵۳-۳۱

طراحی زنجیره تأمین رقابتی با در نظر گرفتن اختلال در تأمین (مطالعه موردی: زنجیره تأمین سنگ‌های تزئینی)

میلاد یاری*، میر سامان پیشوایی**، آرمین جبارزاده***

تاریخ دریافت:۹۵/۲/۱۸
تاریخ پذیرش:۹۵/۹/۱

چکیده

هدف اصلی این پژوهش ارائه مدلی برای طراحی زنجیره تأمین سنگ‌های تزئینی در شرایط رقابتی و با درنظر گرفتن ریسک‌های اختلال می‌باشد. ابزار اصلی مورداستفاده در این پژوهش، استفاده از برنامه‌ریزی ریاضی و تئوری بازی‌ها می‌باشد که اغلب در مدلسازی مدل‌های رقابتی از بازی استکلبرگ استفاده می‌گردد. همچنین هدف در مدلسازی این مسئله مقابله با ریسک‌های احتمالی اختلال و در نظرگرفتن شرایط رقابتی بازار می‌باشد. با توجه به شرایط مسئله، از روش‌های فرا ابتکاری نظیر الگوریتم بهینه‌سازی انبوه ذرات و بهینه‌سازی مبتنی بر جغرافیای زیستی جهت حل مدل و اعتبارسنجی آن استفاده شده است. نتایج حاصل از این تحقیق نشان می‌دهد که بروز اختلال، تصمیمات مکان‌یابی استقرار مراکز تولیدی و توزیعی، قیمت محصولات و سود اجزای زنجیره را تحت تأثیر قرار می‌دهد.

کلمات کلیدی: *رقابت، اختلال، طراحی زنجیره تأمین، بازی استکلبرگ، بهینه‌سازی انبوه ذرات*

---

* دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت
** نویسنده مسئول، استادیار دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت (نویسنده مسئول)
pishvaee@iust.ac.ir
*** استادیار دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت

مقدمه

امروزه عرصه تولید و خدمات با تغییر الگوی رقابت مشتریان، منجر به تغییر نوع رقابت بازارها از حالت رقابت میان شرکت‌های مستقل به رقابت میان زنجیره‌های تأمین شده است (آقابزرگی و همکاران، ۱۳۹۴). بعلاوه، طراحی زنجیره تأمین دارای ادبیات گسترده‌ای می‌باشد که بیشتر ادبیات این موضوع مرتبط با زنجیره تأمین تکی (انحصاری) می‌باشد و وجود زنجیره تأمین‌های رقیب و ظهور آن‌ها در آینده را در نظر نگرفته‌اند. درهرصورت، زنجیره‌های تأمین برای به دست آوردن سهم بیشتری از بازار با یکدیگر رقابت می‌کنند. بنابراین، حتی اگر در یک زمان رقیبی وجود نداشته باشد، زنجیره‌های تأمین باید برای وضعیت رقابتی در آینده آماده باشند (فراهانی و همکاران، ۲۰۱۴). یکی از نقاط ضعف پژوهش‌های صورت گرفته این است که اکثر مدل‌های طراحی زنجیره تأمین شرایط رقابتی را که در آن رقابت میان زنجیره تازه وارد و رقبای موجود، باعث تغییر رفتار مشتریان می‌گردد، نادیده گرفته اند و زمانی که زنجیره تأمین رقیبی وجود ندارد، زنجیره تأمین موجود در بازار دارای انحصار[1] است که تمام سهم بازار را به دست می‌آورد (ژانگ و راستون، ۲۰۰۸).

همچنین در دهه‌های اخیر محققان و مراکز علمی به صورت فزاینده‌ای به موضوع اختلال[2] در زنجیره تأمین علاقه‌مند شده‌اند. عوامل اختلال هم از عوامل طبیعی و هم از فعالیت‌های انسانی ناشی می‌شوند و اختلال در زنجیره تأمین موضوعی است که از همان زمانی که مفهوم زنجیره تأمین بیان شده است، وجود داشته ولی در دهه‌های اخیر توجه بیشتری را به خود جلب کرده است (اشنایدر و همکاران، ۲۰۱۶). علاوه بر این مدیریت اختلال شامل مولفه‌هایی نظیر شناسایی ریسک‌های اختلال، ارزیابی ریسک‌های اختلال، تصمیمات مدیریتی در مورد ریسک‌های اختلال و پیاده‌سازی آن‌ها و نظارت بر ریسک‌های اختلال می‌باشد (فنگ و همکاران، ۲۰۱۱).

1. Monopoly
2. Disruption

در نظر گرفتن رقابت و اختلال به طور همزمان کمتر مورد توجه پژوهشگران حوزه زنجیره تأمین قرار گرفته است. شاید یکی از دلایل این امر، دشواری حل این گونه مسائل به دلیل رویکرد استفاده از تئوری بازی‌هاست که با ورود اختلال نیز دشواری حل این گونه مسائل دو چندان می‌گردد (فریز و همکارن، ۲۰۱۱). لذا، هدف اصلی این پژوهش ارائه مدلی برای طراحی زنجیره تأمین سنگ‌های تزئینی در شرایط رقابتی و با در نظر گرفتن ریسک‌های اختلال می‌باشد.

حداقل در دو دهه گذشته تمامی مسئولین و متولیان اقتصادی کشور بارها اعلام کرده‌اند که با توجه به شرایط اقتصادی و سیاسی دنیا اقتصاد کشور نباید تنها متکی به درآمدهای نفتی باشد. به گفته آنان ضروری است که با سرمایه‌گذاری در سایر استعدادهای نهفته اقتصادی، محورهای جدید تولیدی به وجود آید و سیاست صادرات محصولات صنعتی و معدنی به بازارهای جهانی و توسعه همه‌جانبه و پایدار کشور موردتوجه قرار گیرد. یکی از امکانات بالقوه نیل به این هدف بسیار مهم و اساسی برخورداری از انواع ذخایر معدنی است. علاوه بر این سؤالاتی که در این طرح درصدد پاسخگویی به آن‌ها هستیم عبارت‌اند از:

- زنجیره تأمین سنگ باید چگونه طراحی شود تا در مقابل اختلال مقاوم باشد؟
- اتخاذ چه استراتژی‌هایی برای حفظ مزیت رقابتی زنجیره تأمین سنگ مؤثر است؟
- در صورت بروز اختلال در منبع تأمین، تقاضای تولیدکنندگان به چه صورتی توسط سایر تأمین‌کنندگان پوشش داده می‌شود؟
- در صنعت سنگ برای کسب سهم بیشتری از بازار چه مشخصه‌های رقابتی باید مدنظر قرار گیرد؟

به طور خلاصه، توجه همزمان به رقابت و اختلال در منبع تأمین، تصمیمات مکان‌یابی مراکز تولید و توزیع، تصمیمات قیمت‌گذاری محصولات و تعریف تقاضا در قالب متغیری وابسته به کشش بازار از نوآوری‌های این تحقیق محسوب می‌گردد.

در ادامه به بررسی پیشینه و روش تحقیق می‌پردازیم. پس از تعریف مسئله و مدلسازی آن، به بیان روش حل، نتایج تحقیق، تحلیل یافته‌های تحقیق و اعتبارسنجی آن پرداخته و سرانجام نتیجه‌گیری و پیشنهادات آتی را مطرح می‌کنیم.

پیشینه تحقیق

سیفرت و لانگنبرگ (۲۰۱۱) در مقاله‌ای به بررسی این موضوع پرداختند که زنجیره‌های تأمین برای این که در شرایط رقابتی باقی بمانند باید نسبت به تغییرات محیط زنجیره خود حساس بوده و چگونگی انطباق خود با این تغییرات را بررسی کنند. بای و همکاران (۲۰۱۲) در مقاله خود به طراحی زنجیره تأمین سوخت‌های بیولوژیکی با استفاده از تئوری بازی‌ها پرداختند. در مدل آن‌ها یک بازی رقابتی دوسطحی رهبر-پیرو[1] ارائه شده است که خروجی آن تعداد و مکان بهینه کارخانه‌های تولید سوخت، هزینه خرید محصولات کشاورزی، چگونگی کاربری زمین‌های کشاورزی و هزینه حمل‌ونقل محصولات است و در حالت دیگری به مقوله همکاری بین طرفین بازی پرداخته شده است.

بر طبق نظر ایوانووا وسوکولو (۲۰۰۹) عدم قطعیت یکی از خواص عمومی محیطی هر سیستمی می‌باشد که برای هر نوع یا درجه از پیچیدگی قابل لمس است و ما می‌توانیم فضای عدم قطعیت را گشترش یا کاهش دهیم. در واقع می‌توان گفت که ریسک از عدم قطعیت آغاز می‌شود و با توجه به عوامل عدم قطعیت و به وجود آمدن ریسک می‌توان گفت اختلال ناشی از وجود ریسک است که می‌تواند عمدی(سرقت) و یا غیر عمدی(حوادث غیرمترقبه) باشد. مدیریت اختلالات و خرابی‌های زنجیره تأمین در سال‌های اخیر هم از جانب صنایع و هم از جانب مراکز علمی مورد توجه قرار گرفته است. شرکت‌ها دریافته‌اند که اختلالات در زنجیره تأمین تأثیر بسیار زیادی در توانایی مدیریت موفق زنجیره تأمین دارد (اشنایدر و همکاران، ۲۰۱۶).

1. Leader-Follower

گوپتا و همکاران (۲۰۱۵) در پژوهشی به بیان استراتژی‌های مقابله با پیامدهای ریسک اختلال در زنجیره تأمین پرداختند. آن‌ها زنجیره تأمینی متشکل از دو تأمین‌کننده و دو تولیدکننده رقیب در نظر گرفتند که در آن تأمین‌کننده اول غیرقابل اعتماد و دارای قیمتی ارزان و در مقابل تأمین‌کننده دوم قابل اعتماد و دارای قیمتی گران بود. آن‌ها نشان دادند که اختلال در تأمین و زمان تدارکات بر روی تصمیمات خرید تأثیر می‌گذارد و مقدار بهینه سفارش و سود مورد انتظار را در شرایط مختلف تعیین نمودند. ربانی و همکاران (۱۳۹۴) جهت اطمینان از سطح بالای عملکرد زنجیره تأمین در صورت بروز اختلال، از شاخص استواری با استفاده از رویکرد مدلسازی مبتنی بر سناریوها را بکار گرفتند.

علاوه بر این فلاح و همکاران (۲۰۱۵) در مقاله‌ای رقابت میان دو زنجیره تأمین حلقه بسته شامل تولیدکنندگان، خرده‌فروشان و مراکز بازیافت در شرایط عدم قطعیت را موردمطالعه قرار دادند. هدف اصلی این مقاله بررسی تأثیر رقابت همزمان و استکلبرگ بین زنجیره‌های تأمین حلقه بسته بر روی سود، تقاضا و میزان محصول برگشتی است. روش مورداستفاده در این تحقیق، استفاده از تئوری بازی‌ها به همراه به‌کارگیری تئوری احتمال می‌باشد.

با توجه به مطالب ذکرشده و نیز مطالعات صورت گرفته در حوزه مدیریت زنجیره تأمین سنگ، می‌توان مهم‌ترین انگیزه‌های پرداختن به این موضوع را به‌صورت عوامل زیر برشمرد:

- با توجه به مطالعات صورت گرفته، پژوهشی که اختلال و رقابت را برای طراحی زنجیره تأمین سنگ‌های تزئینی در نظر گرفته باشد یافت نشد و این امر را می‌توان به‌عنوان مهمترین نوآوری این پایان‌نامه قلمداد کرد که به نحوی آن را جزء اولین مطالعات از این حیث قرار می‌دهد.
- اکثر مدل‌های ارائه‌شده در مطالعات پیشین، اختلالات احتمالی مربوط به اجزای زنجیره تأمین را در نظر نگرفته‌اند که این امر موجب واقعی‌تر شدن مدل می‌گردد.
- در نظر گرفتن مبحث رقابت اغلب در قسمت پایین‌دست زنجیره موردتوجه قرار گرفته است و کمتر مقالاتی رقابت در تدارکات و منبع یابی را مدنظر قرار داده‌اند که در این

پژوهش شرایط دنیای واقعی صنعت سنگ به‌گونه‌ای است که می‌توان رقابت در بالادست زنجیره را بررسی نمود.

روش تحقیق

در تحقیق حاضر از مطالعه کتابخانه‌ای در زمینه زنجیره تأمین‌های رقابتی و بحث اختلال در زنجیره تأمین استفاده شده است. با مطالعه آمار و ارقام موجود در زمینه معادن سنگ‌های تزئینی سطح کشور و بررسی پتانسیل‌های موجود برای توسعه این صنعت، بر آن شدیم که با روشی علمی و با در نظر گرفتن واقعیات موجود در بازار این صنعت نظیر وجود رقبای مختلف داخلی و خارجی و همچنین ریسک‌های اختلال به بررسی شیوه طراحی زنجیره تأمین سنگ-های تزئینی بپردازیم.

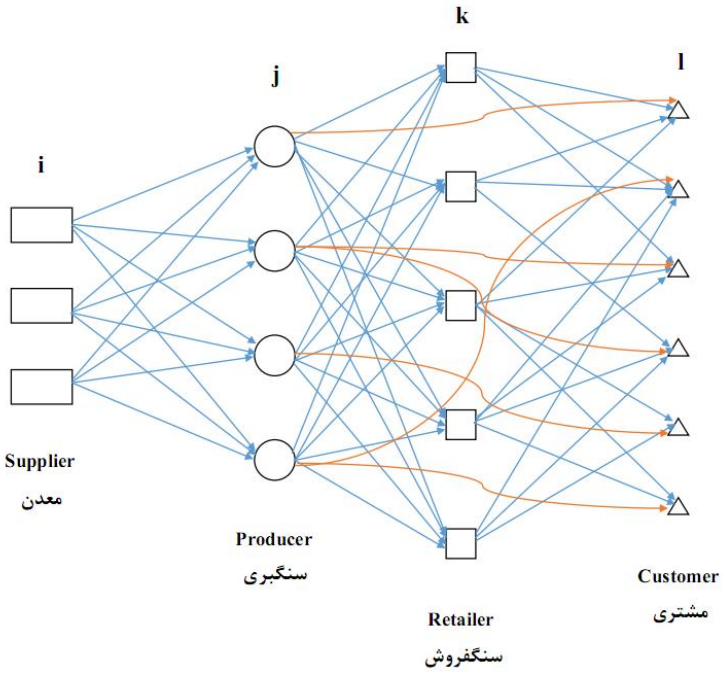
ابزار اصلی مدل‌سازی مسئله در این پژوهش، استفاده از تئوری بازی‌هاست که برای حل مدل پیشنهادی در قسمت بعدی از بازی استکلبرگ استفاده شده است. با توجه به ماهیت رقابت در زنجیره تأمین سنگ‌های رقابتی که رقابتی پویا و به صورت دو مرحله‌ای می‌باشد، ابزار مناسب استفاده از بازی استکلبرگ است. در این بازی ابتدا رهبر(سنگبری) اقدام به تصمیم‌گیری در خصوص قیمت فروش سنگ و محل استقرار واحدهای تولیدی می‌نماید و سپس در مرحله بعد پیرو(سنگفروش) با توجه به تصمیمات رهبر، تصمیمات مناسب خود را در خصوص محل احداث سنگفروشی و قیمت فروش محصول به مشتری نهایی اتخاذ می‌نماید. علاوه بر این، در نظر گرفتن بروز اختلال در منبع تأمین منجر به تغییر در شرایط تصمیم‌گیری برای هرکدام از بازیگران بازی استکلبرگ می‌گردد. به طوریکه با بروز اختلال در منبع، تغییراتی اساسی در خصوص محل احداث سنگبری توسط رهبر صورت می‌گیرد و همچنین قیمت‌های پیشنهادی دستخوش تغییر قرار می‌گیرد و به تبع آن تصمیمات پیرو نیز تحت تأثیر قرار خواهد گرفت.

در این پژوهش قصد داریم تا به کمک مطالعه موردی بر روی صنعت سنگ در کشور، اطلاعات موردنیاز، برای ورود به مدل ارائه‌شده را جمع‌آوری نماییم. بنابراین این اطلاعات از وزارت صنعت، معدن و تجارت و انجمن سنگ ایران قابل اخذ می‌باشد. علاوه بر این، بعضی

از اطلاعات با استفاده از نظرات خبرگان این صنعت بدست آمده است. پس دو روش اصلی جمع‌آوری اطلاعات این پایان‌نامه، استفاده از داده‌های موجود در سازمان‌های مرتبط با معادن و استفاده از نظر خبرگان و تجارب شخصی محقق می‌باشد.

تعریف مسئله

زنجیره تامین صنعت سنگ‌های ساختمانی و تزئینی به صورت زیر در نظر گرفته شده است و تعریف مفروضات، پارامترها و متغیرهای تصمیم در ادامه ارائه می‌گردد. همچنین مدلسازی مسئله با بهره‌گیری از بازی استکلبرگ صورت پذیرفته است که در آن سنگبری‌ها به عنوان رهبر و سنگفروشی‌ها در نقش پیرو، دو بازیگر اصلی خواهند بود که هر کدام با هدف کسب سود بیشتر وارد بازی می گردند.



شکل 1: زنجیره تامین صنعت سنگ

مفروضات مسئله

- سنگبری‌ها بعنوان تولیدکننده، موادخام را از معادن تهیه می‌کنند.
- سنگفروشی‌ها به عنوان خرده فروش، کالا را از سنگبری‌ها تهیه می‌کنند.
- مشتریان برای تهیه سنگ به سنگفروشی و یا مستقیماً سنگبری مراجعه می‌کنند.
- هزینه حمل کالا از سنگبری و سنگفروشی بر عهده خریدار است.
- معادن سنگ در محل‌های مشخصی استقرار یافته است.
- بروز اختلال در منبع بصورت درصد خرابی در عرضه سنگ معدن می‌باشد.
- رقابت میان سنگبری‌ها و سنگفروشی‌ها بر روی کسب سود بیشتر است.
- در مسئله با محدودیت بودجه احداث سنگبری و سنگفروشی روبرو هستیم.
- بعلت فرآوری بر روی سنگ قیمت ارائه شده توسط سنگبری بالاتر از معدن است.
- تقاضا کالا تابعی از حداکثر نیاز بالقوه بازار و قیمت می‌باشد.
- هزینه حمل کالا به نوع کالا بستگی ندارد.

مدلسازی مسئله

در این قسمت به ارائه مدل دوسطحی برای طراحی شبکه زنجیره تأمین صنعت سنگ‌های تزئینی و ساختمانی می‌پردازیم. رقابت در نظر گرفته‌شده بین سنگبری‌ها و سنگفروشی‌ها با استفاده از بازی استکلبرگ مدل‌سازی شده است. در ادامه نمادهای استفاده‌شده در مدل ریاضی معرفی می‌شود و مدل ریاضی بیان می‌گردد.

I : مجموعه مکان‌های معادن سنگ $i \in \{1,2,3...,\mathrm{I}\}$

J : مجموعه مکان‌های کاندید جهت احداث سنگبری $j \in \{1,2,3...,J\}$

K : مجموعه مکان‌های کاندید جهت احداث سنگفروشی $k \in \{1,2,3...,K\}$

L : مجموعه مکان‌های مشتریان $l \in \{1,2,3...,L\}$

متغیرهای تصمیم

میزان کالای ارسالی نوع n از معدن i به سنگبری j Xm_{ij}^{n}

میزان کالای ارسالی نوع n از سنگبری j به سنگ فروشی k Xp_{jk}^{n}

میزان کالای ارسالی نوع n از سنگ فروشی k به مشتری l Xr_{kl}^{n}

میزان کالای ارسالی نوع n از سنگبری j به مشتری l Xc_{jl}^{n}

متغیر صفر و یک احداث سنگبری در مکان j Zp_{j}

متغیر صفر و یک احداث سنگ فروشی در مکان k Zr_{k}

قیمت کالای نوع n در معدن i Pm_{i}^{n}

قیمت کالای نوع n در سنگبری j Pp_{j}^{n}

قیمت کالای نوع n در سنگ فروشی k Pr_{k}^{n}

پارامترها

هزینه احداث سنگبری j Fp_{j}

هزینه احداث سنگفروشی k Fr_{k}

هزینه حمل کالا از معدن i به سنگبری j Tm_{ij}

هزینه حمل کالا از سنگبری j به سنگفروشی k Tp_{jk}

حداکثر ظرفیت معدن i برای سنگ نوع n $Capm_{i}^{n}$

حداکثر ظرفیت سنگبری برای سنگ نوع n $Capp_{j}^{n}$

حداکثر ظرفیت سنگفروشی برای سنگ نوع n $Capr_{k}^{n}$

میزان تقاضای سنگبری j از سنگ نوع n Dp_{j}^{n}

میزان تقاضای سنگفروشی k از سنگ نوع n Dr_{k}^{n}

میزان تقاضای مشتری l از سنگ نوع n Dc_{l}^{n}

بودجه دردسترس جهت احداث سنگبری B

بودجه در دسترس جهت احداث سنگفروشی $B^{'}$

درصد خرابی معدن i λ_i

حداکثر تقاضای بالقوه در بازار برای سنگ n از معادن α_n

حداکثر تقاضای بالقوه در بازار برای سنگ n از سنگبری‌ها $\alpha_n^{'}$

حداکثر تقاضای بالقوه در بازار برای سنگ n از سنگفروشی‌ها $\alpha_n^{''}$

کشش تقاضا سنگ نوع n نسبت به قیمت معادن θ_n

کشش تقاضا سنگ نوع n نسبت به قسمت سنگبری‌ها $\theta_n^{'}$

کشش تقاضا سنگ نوع n نسبت به قیمت سنگفروشی‌ها $\theta_n^{''}$

مدل بازی استکلبرگ: پیشرو (سنگبری) – پیرو (سنگفروشی)

$$Follower: \quad Max \sum_k \sum_n Pr_k^n Dr_k^n - \sum_k Fr_k Zr_k - \sum_j \sum_k \sum_n Tp_{jk} Xp_{jk}^n \qquad (۱)$$

$$Leader: \quad Max \sum_j \sum_n Pp_j^n Dp_j^n - \sum_j Fp_j Zp_j - \sum_i \sum_j \sum_n Tm_{ij} Xm_{ij}^n \qquad (۲)$$

$$s.t.$$

$$\sum_k Xr_{kl}^n + \sum_j Xc_{jl}^n = Dc_l^n \qquad \forall l,n \qquad (۳)$$

$$\sum_j Xm_{ij}^n \le \lambda_i Capm_i^n \qquad \forall i,n \qquad (۴)$$

$$\sum_k Xp_{jk}^n + \sum_l Xr_{jl}^n \le Capp_j^n Zp_j \qquad \forall j,n \qquad (۵)$$

$$\sum_l Xr_{kl}^n \le Capr_k^n Zr_k \qquad \forall k,n \qquad (۶)$$

$$\sum_j Dp_j^n = \alpha_n - \theta_n \sum_i Pm_i^n \qquad \forall n \qquad (۷)$$

$$\sum_k Dr_k^n = \alpha_n^{'} - \theta_n^{'} \sum_j Pp_j^n \qquad \forall n \qquad (۸)$$

$$\sum_l Dc_l^n \geq \alpha_n'' - \theta_n' \sum_j Pp_j^n - \theta_n'' \sum_k Pr_k^n \qquad \forall n \qquad (۹)$$

$$Pp_j^n < Pr_k^n \qquad \forall i, j, n \qquad (۱۰)$$

$$\sum_j Fp_j Zp_j \leq B \qquad (۱۱)$$

$$\sum_k Fr_k Zr_k \leq B' \qquad (۱۲)$$

$$Pp_j^n < Zp_j M \qquad \forall j, n \qquad (۱۳)$$

$$Pr_k^n < Zr_k M \qquad \forall k, n \qquad (۱۴)$$

$$\sum_i Xm_{ij}^n = \sum_k Xp_{jk}^n + \sum_l Xc_{jl}^n \qquad \forall j, n \qquad (۱۵)$$

$$\sum_j Xp_{jk}^n = \sum_l Xr_{kl}^n \qquad \forall k, n \qquad (۱۶)$$

$$0 \leq \lambda_i \leq 1 \qquad \forall i \qquad (۱۷)$$

$$Zp_j, Zr_k \in \{0,1\} \qquad \forall j, k \qquad (۱۸)$$

$$Xm_{ij}^n, Xp_{jk}^n, Xr_{kl}^n, Xc_{jl}^n \geq 0 \qquad \forall i, j, k, l, n \qquad (۱۹)$$

$$Pm_i^n, Pp_j^n, Pr_k^n \geq 0 \qquad \forall i, j, k, n \qquad (۲۰)$$

روابط (۱) و (۲) به ترتیب توابع هدف (سود) پیرو و رهبر را نشان می‌دهند که تفاضل میزان درآمد حاصل از فروش و هزینه‌های احداث و حمل‌ونقل می‌باشد. رابطه (۳) برآورده سازی تقاضای مشتری را توسط سنگبری‌ها و سنگفروشی‌ها نشان می‌دهند. در رابطه (۴) بروز اختلال در منبع را در برآورده سازی تقاضا نشان می‌دهد. در روابط (۵) و (۶) محدودیت‌های ظرفیت تولیدکننده و توزیع‌کننده در برآورده‌سازی تقاضا مشتریان لحاظ شده است. روابط (۷)، (۸) و (۹) توابع تقاضا را براساس کشش تقاضا نسبت به قیمت در نظر گرفته‌اند. رابطه (۱۰) اصل منطقی قیمت تمام‌شده برای خرده‌فروش و تولیدکننده را اعمال می‌کند. روابط (۱۱) و (۱۲)

بودجه در دسترس جهت احداث سنگبری و سنگفروشی را نشان می‌دهد. روابط (۱۳) و (۱۴) موجب می‌گردد در صورت احداث سنگبری و سنگفروشی رابطه فعال گردد. رابطه (۱۵) و (۱۶) مربوط به روابط تعادلی جریان کالا می‌باشد. رابطه (۱۷) درصد اختلال در منبع را نشان می‌دهد و رابطه (۱۸) متغیرهای تصمیم باینری است. روابط (۱۹) و (۲۰) متغیرهای تصمیم پیوسته مثبت می‌باشند.

حل مدل و یافته‌های پژوهش

در ادبیات، روش‌های دقیقی که برای حل مسائل دوسطحی که به‌صورت عدد صحیح مختلط خطی می‌باشند بسیار کم و محدود می‌باشد. البته برای حل مسائل دوسطحی که متغیر عدد صحیحی در مسئله سطح پایین (پیرو) وجود ندارد روش‌های زیادی پیشنهاد شده است که به‌صورت کلی می‌توان این روش‌ها را به دو دسته کلی روش‌های شمارشی[1] و روش‌های تغییر ساختاری[2] تقسیم کرد (کندلر و تونسلی، ۱۹۸۲). با توجه به شرایط مسئله ازجمله ابعاد مسئله در دنیای واقعی، دومرحله‌ای بودن مدل و وجود متغیرهای تصمیم باینری در هر دوسطح و همچنین با بررسی ادبیات این نوع مسائل و استناد به مقاله‌ای مشابه گنگ . همکاران (۲۰۱۵)، به این نتیجه رسیدیم که حل دقیق[3] برای این مسئله نمی‌توان ارائه داد. لذا برای حل مدل فوق از روش‌های فرا ابتکاری[4] استفاده می‌کنیم که در این تحقیق با توجه به ادبیات موجود، الگوریتم بهینه‌سازی انبوه ذرات[5] به کار گرفته شده است.

این الگوریتم جزء الگوریتم‌های مبتنی بر جمعیت می‌باشد و بر شبیه‌سازی رفتار اجتماعی پرندگان و زنبورها و ماهی‌ها منطبق است. این الگوریتم اولین بار توسط ابرهات و کندی معرفی شد. در این الگوریتم هر ذره در گروه با استفاده از موقعیت و سرعت خود تعریف می‌شود. به‌طورکلی، موقعیت یک ذره نشان‌دهنده یک جواب برای مسئله بهینه‌سازی و

1. Enumeration
2. Reformulation
3. Exact
4. Meta heuristic
5. Particle Swarm Optimization(PSO)

سرعت نشان‌دهنده‌ی جهت جست‌وجو و حرکت یک ذره در تکرار بعدی می‌باشد. برای یافتن جواب بهینه، هر ذره حرکت خود را بر اساس دانش خود و همسایگانش تنظیم می‌کند (ابرهارت و کندی، ۱۹۹۵).

مدل‌سازی مسئله با توجه به محدودیت‌ها و مفروضات آن مطرح و روشی فرا ابتکاری تحت عنوان بهینه‌سازی انبوه ذرات برای حل مدل پیشنهاد گردید. ساختار کلی حل مسئله دومرحله‌ای رهبر و پیرو به این صورت است که در مرحله اول رهبر با توجه به پارامترهای ورودی مسئله اقدام به تصمیم‌گیری در مورد انتخاب محل احداث سنگبری و تعیین قیمت سنگ می‌کند. پس از او پیرو با در نظر گرفتن قیمت‌های ارائه‌شده و محل‌های احداث‌شده برای سنگبری‌ها تصمیم می‌گیرد در چه نقاطی سنگفروشی احداث نماید. بنابراین با دو الگوریتم بهینه سازی انبوه ذرات تودرتو مواجه هستیم و این فرآیند ادامه می‌یابد تا شرط توقف الگوریتم برقرار گردد.

شرط توقفی که برای الگوریتم در مدلمان در نظر گرفته‌ایم وقوع شروط زیر است:

- تعداد تکرار الگوریتم
- رسیدن به حداقل سود موردنظر بازیگران
- بیشتر بودن اختلاف میزان سود رهبر و پیرو از یک حد موردنظر

نحوه نمایش جواب[1]

چگونگی کدگذاری جواب‌ها در ارتقاء کیفیت جواب‌ها و همچنین افزایش سرعت اجراها تاثیر اساسی خواهد داشت. بدین منظور ما از کدگذاری بر پایه ترتیب[2] که عملکرد قابل قبولی در ایجاد جواب‌ها و افزایش سرعت اجرای الگوریتم‌های مختلف دارد، استفاده می‌نماییم. برای کدگذاری جواب‌ها در این مسئله پنج رشته[3] عدد استفاده شده است که این پنج رشته عبارتند از رشته مربوط به معادن، سنگبری‌ها، سنگفروشی‌ها، مجموع سنگبری و سنگفروشی‌ها و رشته تعیین قیمت.

1. Solution representation
2. Order based representation
3. String

همچنین به جای استفاده از رشته‌ها و ماتریس‌های چندبعدی تودرتو که کار محاسبات و کدنویسی را دشوار می‌کند، از چهار رشته یک بعدی و یک رشته دوبعدی استفاده شده است. این کار موجب افزایش سرعت محاسبات و فهم راحت مدل نیز می‌گردد. شکل زیر نمونه‌ای از رشته‌های ذکر شده و چگونگی بکارگیری آن در حل مسئله را نشان می‌دهد.

۰,۱۲۳	۰,۲۲۲	۰,۸۰۹	۰,۴۳۷	۰,۰۱۱	۰,۹۴۳

شکل ۲: مثالی از نمایش جواب

همانطور که در جدول زیر نشان داده شده است، این رشته که دارای ۶عنصر می‌باشد ابتدا به ترتیب اعداد ۱ تا ۶ را به آن تخصیص داده‌ایم. سپس بر اساس اعداد تصادفی هر رشته بصورت نزولی، رتبه هر سلول مشخص گشته است و سرانجام ترتیب نهایی یا اولویت نهایی مشخص می‌گردد.

جدول ۱: نمونه‌ای از مرتب‌سازی جواب‌ها

Assigned number	۱	۲	۳	۴	۵	۶
Random real numbers	۰.۱۲۳	۰.۲۲۲	۰.۸۰۹	۰.۴۳۷	۰.۰۱۱	۰.۹۴۳
Numbers rank	۵	۴	۲	۳	۶	۱
Resulted order	۶	۳	۴	۲	۱	۵

شبه کد[1] الگوریتم

1. Generate random permutation for customers, retailers, production centers and Mines
2. Define.

$\gamma(k,n,r)$ = all demands of stone type n assigned to route r from retailer k

θ_{kr} = set of customers assigned to route r from retailer k

Φ = set of unassigned customers

3. k=1.

1. Pseudo code

4. Start from retailer k

5. If$_1$ demand(first customer, stone type n) + $\gamma(k,n,r) \leq \Omega_n$

5.1. Insert the first customer to θ_{kr}.

5.2. Delete the first customer from customers order and from Φ.

5.3. For all types of stone : $\gamma(k,n,r) = \gamma(k,n,r)$ + demand (first customer, stone type n)

5.4. If$_2$ $\Phi = \{\}$

5.4.1. Go to step 8.

5.5. end if$_2$

6. else$_1$

6.1. $k=k+1$.

6.1.1. If$_3$ $k>$ number of retailers

6.1.1.1. $k=1$, $r=r+1$.

6.1.1.2. Go to step 4.

6.1.2. end if$_3$

6.2. Go to step 4.

7. end if$_1$

8. r=1, j=1.

9. Start from route r

9.1. If$_4$ production center j was compatible for all stones of route r && $Tr_j \geq \sum_n \gamma(k,n,r)$

9.1.1. Assign production center j to route r

9.1.2. $Tr_j = Tr_j - \sum_w \gamma(k,n,r)$

9.1.3. j= 1, r=r+1

9.2. else$_4$

9.2.1. j=j+1, and go to step 9.1

9.3. end if$_4$

10. Calculate the volume of stone residue must be transported to Mine from each production center as Trans(j)

11. for$_1$ every production center j in production center order

11.1. for$_2$ every Mine i in Mines order

11.1.1. if$_5$ Dis(i) >0

11.1.1.1. transportation(j,i)=min {Dis(i), Trans(j)}

11.1.1.2. Dis(i)=Dis(i)-transportation(j,i).

11.1.1.3. Trans(j)=Trans(j)-transportation(j,i)
11.1.2. endif$_5$
11.1.3. if Trans(j)=0
11.1.3.1. Break main loop.
11.2. end for$_2$
12. end for$_1$

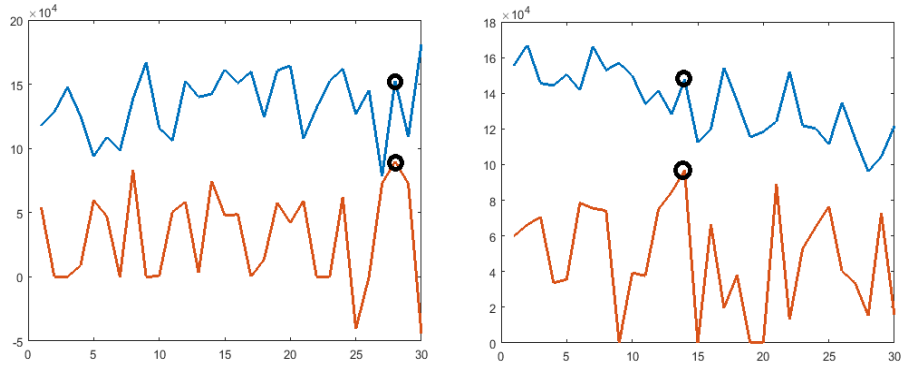
تحلیل نتایج

در این قسمت مدل ارائه‌شده در حالتی که اختلال وجود ندارد باحالتی که اختلال وارد مدل می‌گردد، مقایسه می‌شود و نتایج حاصله مورد بررسی و تجزیه‌وتحلیل قرار می‌گیرد. موضوعاتی همچون سود رهبر، سود پیرو، زمان محاسباتی و تغییر در نقاط احداث مراکز تولید و توزیع در حالتی که اختلال وارد مدل می‌گردد در جدول زیر موردبررسی قرار گرفته است. مدل ارائه‌شده از طریق کد نویسی الگوریتم بهینه‌سازی انبوه ذرات در نرم‌افزار متلب[1] با استفاده از یک لپ‌تاپ سه هسته‌ای با ۲,۲۷ گیگاهرتز سرعت پردازنده حل‌شده است.

جدول ۲: مقایسه جواب در شرایط عادی و بروز اختلال

	بدون اختلال	با اختلال
سود رهبر	۱۵۲۸۱۸	۱۴۷۴۹۱
سود پیرو	۸۹۹۴۰	۹۶۷۹۷
زمان حل	۲۷۸۹	۲۲۹۹۷
بهترین تکرار	۲۸	۱۴
نقاط احداث	۲ و ۹	۱۵

1. Matlab



شکل ۳: نمودار سود رهبر (آبی) و پیرو (نارنجی) در شرایط عادی (چپ) و بروز اختلال (راست)

در شکل فوق نقاطی که به‌صورت دایره مشکی مشخص‌شده است، بهترین تکرار الگوریتم در به دست آوردن جواب مناسب برای مسئله می‌باشد. همان‌طور که مشاهده می‌شود نقاط موردنظر زمانی رخ داده است که سود دو بازیگر در شرایط مطلوبشان قرار دارد و همچنین شرطی منطقی که همواره سود رهبر بالاتر از پیرو است رعایت شده است. همچنین بهترین تکرار در حالتی رخ داده است که هردو سود بالایی به نسبت دارند و علاوه بر این اختلاف سودشان نسبت به حالات دیگر کمتر شده است که طبق گفته قبلی ما یکی از شروط توقف همین اختلاف سود است.

همچنین از منظری دیگر به مقایسه دو حالت فوق می‌پردازیم. در جدول زیر زمان محاسباتی الگوریتم بهینه‌سازی انبوه ذرات در شرایط عادی و بروز اختلال برای سه سایز مختلف مسئله موردنظر نمایش داده شده است.

جدول۳: زمان حل الگوریتم PSO در حالت‌ها و اندازه‌های مختلف

		اندازه مسئله		
		کوچک	متوسط	بزرگ
زمان حل مسئله	بدون اختلال	۸۴۲	۱,۹۶۳	۲,۷۸۹
	با اختلال	۵,۷۳۱	۱۶,۹۲۴	۲۲,۹۹۷

اعتبارسنجی راه حل

برای بررسی اعتبار و تصدیق روش حل از الگوریتم دیگری به نام الگوریتم بهینه‌سازی مبتنی بر جغرافیای زیستی[1] که توسط سیمن ارائه شده است، استفاده می‌کنیم و به تجزیه‌وتحلیل جواب‌های حاصل از این الگوریتم و مقایسه آن با الگوریتم بهینه سازی انبوه ذرات می‌پردازیم (سایمون، ۲۰۰۸).

از نظر قیمت‌های پیشنهادی توسط تولیدکننده و خرده‌فروش جواب‌های دو الگوریتم را با یکدیگر مورد مقایسه قرار دادیم که نتایج در جدول زیر به‌طور خلاصه ارائه شده است. همچنین زمان حل الگوریتم‌ها در سطر آخر ارائه شده است که نشان می‌دهد الگوریتم بهینه‌سازی مبتنی بر جغرافیای زیستی سرعت بهتری دارد.

جدول ٤: مقایسه قیمت‌های پیشنهادی در الگوریتم PSO و BBO

	نوع سنگ	PSO	BBP
قیمت رهبر	۱	٤٨٢	۱۰۷۸
	۲	۲۱۸	۹٤۰
	۳	۳٦۳	۳۱۱
	٤	٥٧٦	۸۲۱
	٥	۸۲۳	۱۹۹
قیمت پیرو	۱	۱۳۰۰	۱۹٦۲
	۲	۱۰۹۰	۱٥۹۱
	۳	۱٤٥۲	۲۰۸۷
	٤	۱٥٦۱	۱۲۰٥
	٥	۱۷٤۷	۲۲۰۱
زمان حل مدل		٦٥۲۱	۱۸٤۰

1. Biogeography Based Optimization

علاوه بر این، شاخصی با عنوان درصد انحراف مقادیر تابع هدف برای مقایسه دو الگوریتم مورد نظر در نظر گرفته‌ایم که این شاخص را در پانزده تست مختلف برای اندازه‌های کوچک، متوسط و بزرگ مسئله مورد بررسی قرار می‌دهیم. همانطور که در جدول زیر مشاهده می‌گردد افزایش اندازه مسئله و نزدیک شدن اندازه مسئله به اندازه دنیای واقعی سبب گردیده است که جواب‌ها نزدیکی بیشتری پیدا کنند و لذا درصد انحراف از مقادیر تابع هدف عمدتاً کاهش یابد.

جدول۵ : درصد انحراف تابع هدف در ابعاد مختلف مسئله

اندازه مسئله	شماره آزمون	مقدار تابع هدف PSO	مقدار تابع هدف BBO	درصد انحراف مقادیر تابع هدف
کوچک	۱	۱۹۹,۳۱۱	۱۲۷,۱۹۸	۰.۳۶۲
	۲	۲۴۳,۱۴۳	۱۸۵,۷۲۷	۰.۲۳۶
	۳	۲۴۶,۸۳۶	۱۶۲,۶۹۲	۰.۳۴۱
	۴	۲۶۱,۶۷۱	۱۶۲,۲۵۵	۰.۳۸۰
	۵	۲۳۵,۴۳۲	۱۸۳,۸۹۸	۰.۲۱۹
میانگین		۲۳۷,۲۷۹	۱۶۴,۳۵۴	۰.۳۰۷
متوسط	۶	۶۳۶,۰۲۳	۴۴۸,۸۵۴	۰.۲۹۴
	۷	۵۳۹,۵۴۱	۴۳۹,۴۲۹	۰.۱۸۶
	۸	۶۰۴,۶۸۵	۵۲۳,۲۵۳	۰.۱۳۵
	۹	۶۹۰,۶۱۴	۶۲۴,۳۰۸	۰.۰۹۶
	۱۰	۵۴۳,۳۹۸	۵۱۵,۰۹۳	۰.۰۵۲
میانگین		۶۰۲,۸۵۲	۵۱۰,۱۸۷	۰.۱۵۴
بزرگ	۱۱	۷۳۱,۵۲۲	۶۵۲,۰۹۸	۰.۱۰۹
	۱۲	۸۳۹,۳۵۴	۷۶۳,۹۰۳	۰.۰۹۰
	۱۳	۷۸۳,۴۷۰	۷۴۰,۹۸۰	۰.۰۵۴
	۱۴	۹۷۰,۳۲۸	۹۱۲,۰۸۷	۰.۰۶۰
	۱۵	۱,۰۸۴,۲۳۱	۹۹۴,۲۷۶	۰.۰۸۳
میانگین		۸۸۱,۷۸۱	۸۱۲,۶۶۹	۰.۰۷۸

نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر، موضوع طراحی شبکه زنجیره تأمین با در نظر گرفتن دو معیار مهم رقابت و اختلال بررسی‌شده است. رقابت در بین دو عضو اصلی زنجیره یعنی تولیدکننده و توزیع‌کننده در نظر گرفته‌شده و اختلالات احتمالی نیز تأمین منبع موردتوجه قرارگرفته است. طراحی شبکه زنجیره تأمین با در نظر گرفتن این دو موجب شده است که زنجیره تأمین طراحی‌شده در برابر این عوامل انعطاف‌پذیری بیشتری داشته باشد. تصمیماتی که با استفاده از مدل پیشنهادی قادر به اخذ آن‌ها هستیم شامل تصمیمات مکان‌یابی مراکز توزیع به‌عنوان یک تصمیم استراتژیک و تصمیماتی از قبیل قیمت محصولات، نحوه تخصیص مراکز تولیدی به مراکز توزیع، جریان محصولات در شبکه زنجیره تأمین و ... می‌باشند. از بازی استکلبرگ برای بررسی رقابت در زنجیره تأمین استفاده شده است که در آن تولیدکننده به‌عنوان رهبر و خرده‌فروش به‌عنوان پیرو در نظر گرفته شده‌اند.

با اجرای مدل و با استفاده از داده‌های کسب‌شده مکان مراکز توزیع جدید برای احداث در کشور مشخص گردیده و سپس نحوه تخصیص مراکز تولیدی به مراکز توزیع تعیین گردیده است. تأثیر رقابت بر روی اهداف بازیگران زنجیره تأمین موردبررسی قرارگرفته و نتایج آن تحلیل گردیده است، علاوه بر این نحوه تأثیر اختلالات بر روی زنجیره تأمین و اهداف بازیگران زنجیره مورد بررسی قرارگرفته است. در پایان کارآیی الگوریتم بهینه‌سازی مبتنی بر جغرافیای زیستی که دارای سرعت همگرایی بیشتری است نیز نشان داده شده است.

پیشنهادات آتی

برای ادامه و توسعه تحقیقات درزمینه طراحی شبکه زنجیره تأمین رقابتی، پیشنهادهای بسیاری را با توجه به جنبه‌های مختلف این نوع مسائل می‌توان مطرح نمود که در اینجا به ذکر مهم‌ترین آن‌ها می‌پردازیم.

- تصمیمات قیمت‌گذاری در زنجیره‌های تأمین رقابتی از اهمیت فراوانی برخوردارند که در این تحقیق با تعیین قیمت محصولات، مقدار آن‌ها به‌صورت متغیر تصمیم‌گیری مطرح‌شده است و می‌توان با استفاده از مدل‌های قیمت‌گذاری موجود در ادبیات دقت بیشتری را در این زمینه اتخاذ نمود.
- برخی از پارامترهای موجود در مسئله از قبیل هزینه احداث مراکز توزیع جدید، زمان تأمین کالا از تأمین‌کننده اصلی و سایر فروشندگان و ... معمولاً دارای عدم قطعیت می‌باشند که می‌توان از رویکردهای مختلف از قبیل برنامه‌ریزی فازی برای مدل‌سازی آن‌ها استفاده نمود.
- توجه به مبحث اختلال از منظری دیگر که چنان چه تسهیلی در یک دوره دچار اختلال شود در دوره‌های بعد قادر به سرویس‌دهی به زنجیره می‌باشد. در قسمت اختلال در مراکز توزیع می‌توان در نظر داشت که هزینه‌های بازیابی تسهیلی که دچار خرابی شده است نیز بر عهده تأمین‌کننده اصلی می‌باشد، لذا هزینه‌های بازیابی تسهیل نیز می‌تواند در مدل‌سازی مسئله موردتوجه قرار بگیرد.
- رقابت در نظر گرفته‌شده در این تحقیق از نوع رقابت استکلبرگ بوده است که می‌توان برای دقت بیشتر از مفاهیم بازی نش و بازی‌های پویا نیز برای مدل‌سازی مسئله پیشنهادی استفاده نمود.
- استفاده از روش‌های سرعت‌دهنده برای افزایش سرعت همگرایی الگوریتم برای حل مسائل با ابعاد بسیار بزرگ نیز می‌تواند موردتوجه قرار بگیرد.

منابع

آقابزرگی، ن. سجادی، م. علینقیان، م.، (۱۳۹۴) ارائه مدلی پایدار جهت مکانیابی-موجودی زنجیره تامین سه سطحی تک دوره ای شرکت‌های کوچک و متوسط با تقاضای غیرقطعی، فصلنامه مطالعات مدیریت صنعتی، سال سیزدهم، شماره۳۸، پاییز۹۴، صفحه۹۹-۱۳۲.

ربانی، م. معنوی زاده، ن. فرشباف گرانمایه، ا.، (۱۳۹۴). طراحی چندهدفه زنجیره تامین بادرنظر گرفتن ریسک اختلال تسهیلات، عرضه و تقاضا در شرایط غیرقطعی بودن پارامترهای اقتصادی، فصلنامه مطالعات مدیریت صنعتی، سال سیزدهم، شماره۳۷، تابستان۹۴، صفحه۵-۳۵.

Farahani, R. Z., Rezapour, S., Drezner, T., & Fallah, S. (2014). Competitive supply chain network design: An overview of classifications, models, solution techniques and applications. Omega, 45, 92-118.3.

Zhang, L., & Rushton, G. (2008). Optimizing the size and locations of facilities in competitive multi-site service systems. Computers & Operations Research, 35(2), 327-338.

Snyder, L. V., Atan, Z., Peng, P., Rong, Y., Schmitt, A. J., & Sinsoysal, B. (2016). OR/MS models for supply chain disruptions: A review. IIE Transactions, 48(2), 89-109.

Feng, L., L. Yu, and L. Mei. Disruption risks in the supply chain. in Emergency Management and Management Sciences (ICEMMS), 2011 2nd IEEE International Conference on. 2011. IEEE.

Friesz, T. L., Lee, I., & Lin, C. C. (2011). Competition and disruption in a dynamic urban supply chain. Transportation Research Part B: Methodological, 45(8), 1212-1231.

Seifert, R. W., & Langenberg, K. U. (2011). Managing business dynamics with adaptive supply chain portfolios. European Journal of Operational Research, 215(3), 551-562.

Bai, Y., Ouyang, Y., & Pang, J. S. (2012). Biofuel supply chain design under competitive agricultural land use and feedstock market equilibrium. Energy Economics, 34(5), 1623-1633.

Ivanov, D., & Sokolov, B. (2009). *Adaptive supply chain management.* Springer Science & Business Media.

Gupta, V., He, B., & Sethi, S. P. (2015). *Contingent sourcing under supply disruption and competition.* International Journal of Production Research, 53(10), 3006-3027.

Fallah, H., Eskandari, H., & Pishvaee, M. S. (2015). *Competitive closed-loop supply chain network design under uncertainty.* Journal of Manufacturing Systems, 37, 649-661.

Candler, W., & Townsley, R. (1982). *A linear two-level programming problem. Computers & Operations Research,* 9(1), 59-76.

Gang, J., Tu, Y., Lev, B., Xu, J., Shen, W., & Yao, L. (2015). *A multi-objective bi-level location planning problem for stone industrial parks.* Computers & Operations Research, 56, 8-21.

Eberhart, R., & Kennedy, J. (1995). *A new optimizer using particle swarm theory In: Proceedings of the sixth international symposium on micro machine and human science,* vol 43 IEEE. New York.

Simon, D. (2008). *Biogeography-based optimization.* IEEE transactions on evolutionary computation, 12(6), 702-713.