

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

میلاذ 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 در نظر گرفتن ریسک‌های اختلال می‌باشد. ابزار اصلی مورد استفاده 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 نظر گرفتن 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)

pishvae@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. در هر صورت، 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 گرفته‌اند و زمانی که زنجیره تأمین رقیبی وجود ندارد، زنجیره تأمین موجود در بازار دارای انحصار^۱ 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^۲ 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 همکاران، 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 مورد توجه 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 در صدد 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^۱ ارائه شده است که خروجی آن تعداد و مکان بهینه کارخانه‌های تولید سوخت، هزینه خرید محصولات کشاورزی، چگونگی کاربری زمین‌های کشاورزی و هزینه حمل و نقل محصولات است و در حالت دیگری به مقوله همکاری بین طرفین بازی پرداخته شده است.

بر طبق نظر ایوانووا و سوکولو (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 گسترش 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 عملی (سرقت) و یا غیر عملی (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).

گوپتا و همکاران (۲۰۱۵) در پژوهشی به بیان استراتژی‌های مقابله با پیامدهای ریسک اختلال در زنجیره تأمین پرداختند. آن‌ها زنجیره تأمین مشکل از دو تأمین کننده و دو تولیدکننده رقیب در نظر گرفتند که در آن تأمین کننده اول غیرقابل اعتماد و دارای قیمتی ارزان و در مقابل تأمین کننده 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 مورد مطالعه 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 مورد استفاده در این تحقیق، استفاده از تئوری بازی‌ها به همراه به کارگیری تئوری احتمال می‌باشد.

با توجه به مطالب ذکر شده و نیز مطالعات صورت گرفته در حوزه مدیریت زنجیره تأمین سنگ، می‌توان مهم‌ترین انگیزه‌های پرداختن به این موضوع را به صورت 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 به عنوان مهمترین نوآوری این پایان‌نامه قلمداد کرد که به نحوی آن را جزء اولین مطالعات از این حیث قرار می‌دهد.
- اکثر مدل‌های ارائه شده 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 پایین دست زنجیره مورد توجه 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 به گونه‌ای 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 رقبا مختلف داخلی و خارجی و همچنین ریسک‌های اختلال به بررسی شیوه طراحی زنجیره تأمین سنگ-های تزئینی پردازیم.

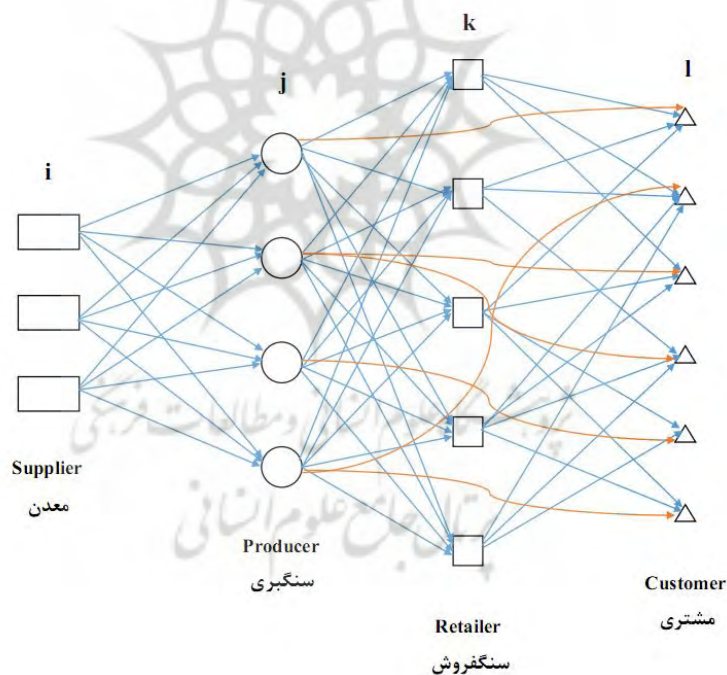
ابزار اصلی مدل‌سازی مسئله در این پژوهش، استفاده از تئوری بازی‌هاست که برای حل مدل پیشنهادی در قسمت بعدی از بازی استکلبرگ استفاده شده است. با توجه به ماهیت رقابت در زنجیره تأمین سنگ‌های رقابتی که رقابتی پویا و به صورت دو مرحله‌ای می‌باشد، ابزار مناسب استفاده از بازی استکلبرگ است. در این بازی ابتدا رهبر (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 هر کدام 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 مورد نیاز، برای ورود به مدل ارائه شده 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 جمع آوری اطلاعات این پایان نامه، استفاده از داده‌های موجود در سازمان‌های مرتبط با معادن و استفاده از نظر خبرگان و تجارب شخصی محقق می‌باشد.

تعریف مسئله

زنجیره تأمین 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 می‌گردند.



شکل 1: زنجیره تأمین 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 گرفته شده بین سنگبری‌ها و سنگفروشی‌ها با استفاده از بازی استکلبرگ مدل‌سازی شده است. در ادامه نمادهای استفاده شده در مدل ریاضی معرفی می‌شود و مدل ریاضی بیان می‌گردد.

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

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

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

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

متغیرهای تصمیم

Xm_{ij}^n	میزان کالای ارسالی نوع n از معدن i به سنگبری j
Xp_{jk}^n	میزان کالای ارسالی نوع n از سنگبری j به سنگ فروشی k
Xr_{kl}^n	میزان کالای ارسالی نوع n از سنگ فروشی k به مشتری l
Xc_{jl}^n	میزان کالای ارسالی نوع n از سنگبری j به مشتری l
Zp_j	متغیر صفر و یک احداث سنگبری در مکان j
Zr_k	متغیر صفر و یک احداث سنگ فروشی در مکان k
Pm_i^n	قیمت کالای نوع n در معدن i
Pp_j^n	قیمت کالای نوع n در سنگبری j
Pr_k^n	قیمت کالای نوع n در سنگ فروشی k

پارامترها

Fp_j	هزینه احداث سنگبری j
Fr_k	هزینه احداث سنگفروشی k
Tm_{ij}	هزینه حمل کالا از معدن i به سنگبری j
Tp_{jk}	هزینه حمل کالا از سنگبری j به سنگفروشی k
$Capm_i^n$	حداکثر ظرفیت معدن i برای سنگ نوع n
$Capp_j^n$	حداکثر ظرفیت سنگبری برای سنگ نوع n
$Capr_k^n$	حداکثر ظرفیت سنگفروشی برای سنگ نوع n
Dp_j^n	میزان تقاضای سنگبری j از سنگ نوع n
Dr_k^n	میزان تقاضای سنگفروشی k از سنگ نوع n
Dc_l^n	میزان تقاضای مشتری l از سنگ نوع n
B	بودجه در دسترس جهت احداث سنگبری

B' بودجه در دسترس جهت احداث سنگفروشی

λ_i درصد خرابی معدن i

α_n حداکثر تقاضای بالقوه در بازار برای سنگ n از معادن

α'_n حداکثر تقاضای بالقوه در بازار برای سنگ n از سنگبری‌ها

α''_n حداکثر تقاضای بالقوه در بازار برای سنگ n از سنگفروشی‌ها

θ_n کشش تقاضا سنگ نوع n نسبت به قیمت معادن

θ'_n کشش تقاضا سنگ نوع n نسبت به قسمت سنگبری‌ها

θ''_n کشش تقاضا سنگ نوع n نسبت به قیمت سنگفروشی‌ها

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

$$\text{Follower: } \text{Max} \sum_k \sum_n Pr_k^n Dr_k^n - \sum_k Fr_k Zr_k - \sum_j \sum_k \sum_n T p_{jk} Xp_{jk}^n \quad (1)$$

$$\text{Leader: } \text{Max} \sum_j \sum_n Pp_j^n Dp_j^n - \sum_j Fp_j Zp_j - \sum_i \sum_j \sum_n T m_{ij} X m_{ij}^n \quad (2)$$

s.t.

$$\sum_k Xr_{kl}^n + \sum_j Xc_{jl}^n = Dc_l^n \quad \forall l, n \quad (3)$$

$$\sum_j X m_{ij}^n \leq \lambda_i \text{Cap} m_i^n \quad \forall i, n \quad (4)$$

$$\sum_k Xp_{jk}^n + \sum_l Xr_{jl}^n \leq \text{Cap} p_j^n Zp_j \quad \forall j, n \quad (5)$$

$$\sum_l Xr_{kl}^n \leq \text{Cap} r_k^n Zr_k \quad \forall k, n \quad (6)$$

$$\sum_j Dp_j^n = \alpha_n - \theta_n \sum_i P m_i^n \quad \forall n \quad (7)$$

$$\sum_k Dr_k^n = \alpha'_n - \theta'_n \sum_j Pp_j^n \quad \forall n \quad (8)$$

$$\sum_l Dc_l^n \geq \alpha_n'' - \theta_n' \sum_j Pp_j^n - \theta_n'' \sum_k Pr_k^n \quad \forall n \quad (9)$$

$$Pp_j^n < Pr_k^n \quad \forall i, j, n \quad (10)$$

$$\sum_j Fp_j Zp_j \leq B \quad (11)$$

$$\sum_k Fr_k Zr_k \leq B' \quad (12)$$

$$Pp_j^n < Zp_j M \quad \forall j, n \quad (13)$$

$$Pr_k^n < Zr_k M \quad \forall k, n \quad (14)$$

$$\sum_i Xm_{ij}^n = \sum_k Xp_{jk}^n + \sum_l Xc_{jl}^n \quad \forall j, n \quad (15)$$

$$\sum_j Xp_{jk}^n = \sum_l Xr_{kl}^n \quad \forall k, n \quad (16)$$

$$0 \leq \lambda_i \leq 1 \quad \forall i \quad (17)$$

$$Zp_j, Zr_k \in \{0, 1\} \quad \forall j, k \quad (18)$$

$$Xm_{ij}^n, Xp_{jk}^n, Xr_{kl}^n, Xc_{jl}^n \geq 0 \quad \forall i, j, k, l, n \quad (19)$$

$$Pm_i^n, Pp_j^n, Pr_k^n \geq 0 \quad \forall i, j, k, n \quad (20)$$

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 حمل و نقل 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 برآورده سازی 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 به صورت 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 به صورت کلی می‌توان این روش‌ها را به دو دسته کلی روش‌های شمارشی^۱ و روش‌های تغییر ساختاری^۲ تقسیم کرد (کندلر و تونسلی، ۱۹۸۲). با توجه به شرایط مسئله از جمله ابعاد مسئله در دنیای واقعی، دو مرحله‌ای 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^۳ برای این مسئله نمی‌توان ارائه داد. لذا برای حل مدل فوق از روش‌های فرا ابتکاری^۴ استفاده می‌کنیم که در این تحقیق با توجه به ادبیات موجود، الگوریتم بهینه‌سازی انبوه ذرات^۵ 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. به طور کلی، 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 دو مرحله‌ای 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 بهینه‌سازی 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 مورد نظر بازیگران
- بیشتر بودن اختلاف میزان سود رهبر و پیرو از یک حد مورد نظر

نحوه نمایش جواب^۱

چگونگی کدگذاری جواب‌ها در ارتقاء کیفیت جواب‌ها و همچنین افزایش سرعت اجراها تاثیر اساسی خواهد داشت. بدین منظور ما از کدگذاری بر پایه ترتیب^۲ که عملکرد قابل قبولی در ایجاد جواب‌ها و افزایش سرعت اجرای الگوریتم‌های مختلف دارد، استفاده می‌نماییم. برای کدگذاری جواب‌ها در این مسئله پنج رشته^۳ 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 ۶ عنصر 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

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

شبه کد^۱ 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. If₁ 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 : $\gamma(k, n, r) = \gamma(k, n, r) + \text{demand (first customer, stone type } n)$
 - 5.4. If₂ $\Phi = \{ \}$
 - 5.4.1. Go to step 8.
 - 5.5. end if₂
6. else₁
 - 6.1. $k=k+1$.
 - 6.1.1. If₃ $k > \text{number of retailers}$
 - 6.1.1.1. $k=1, r=r+1$.
 - 6.1.1.2. Go to step 4.
 - 6.1.2. end if₃
 - 6.2. Go to step 4.
7. end if₁
8. $r=1, j=1$.
9. Start from route r
 - 9.1. If₄ 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. else₄
 - 9.2.1. $j=j+1$, and go to step 9.1
 - 9.3. end if₄
10. Calculate the volume of stone residue must be transported to Mine from each production center as $\text{Trans}(j)$
11. for₁ every production center j in production center order
 - 11.1. for₂ every Mine i in Mines order
 - 11.1.1. if₅ $\text{Dis}(i) > 0$
 - 11.1.1.1. $\text{transportation}(j, i) = \min \{ \text{Dis}(i), \text{Trans}(j) \}$
 - 11.1.1.2. $\text{Dis}(i) = \text{Dis}(i) - \text{transportation}(j, i)$.

```

11.1.1.3. Trans(j)=Trans(j)-transportation(j,i)
11.1.2. endif5
11.1.3. if Trans(j)=0
11.1.3.1. Break main loop.
11.2. end for2
12. end for1

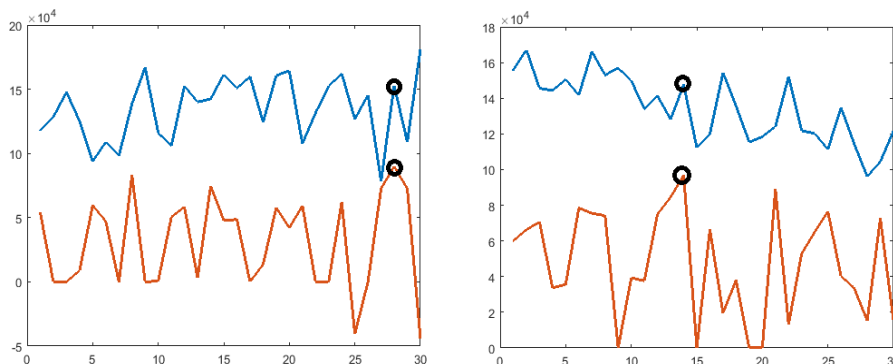
```

تحلیل نتایج

در این قسمت مدل ارائه شده در حالتی که اختلال وجود ندارد باحالتی که اختلال وارد مدل می‌گردد، مقایسه می‌شود و نتایج حاصله مورد بررسی و تجزیه و تحلیل 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 مورد بررسی قرار گرفته است. مدل ارائه شده از طریق کد نویسی الگوریتم بهینه‌سازی انبوه ذرات در نرم‌افزار متلب^۱ با استفاده از یک لپ‌تاپ سه هسته‌ای با ۲،۲۷ گیگاهرتز سرعت پردازنده حل شده 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	۹ و ۲	۱۵



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

در شکل فوق نقاطی که به صورت دایره مشکی مشخص شده است، بهترین تکرار الگوریتم در دست آوردن جواب مناسب برای مسئله می باشد. همان طور که مشاهده می شود نقاط مورد نظر 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 هر دو 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 می پردازیم. در جدول زیر زمان محاسباتی الگوریتم بهینه سازی انبوه ذرات در شرایط عادی و بروز اختلال برای سه سایز مختلف مسئله مورد نظر نمایش داده شده است.

جدول ۳: زمان حل الگوریتم PSO در حالت ها و اندازه های 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^۱ که توسط سیمن ارائه شده است، استفاده می‌کنیم و به تجزیه و تحلیل جواب‌های حاصل از این الگوریتم و مقایسه آن با الگوریتم بهینه‌سازی 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 ۴: مقایسه قیمت‌های پیشنهادی در الگوریتم PSO و BBO

	نوع سنگ	PSO	BBP
قیمت رهبر	۱	۴۸۲	۱۰۷۸
	۲	۲۱۸	۹۴۰
	۳	۳۶۳	۳۱۱
	۴	۵۷۶	۸۲۱
	۵	۸۲۳	۱۹۹
قیمت پیرو	۱	۱۳۰۰	۱۹۶۲
	۲	۱۰۹۰	۱۵۹۱
	۳	۱۴۵۲	۲۰۸۷
	۴	۱۵۶۱	۱۲۰۵
	۵	۱۷۴۷	۲۲۰۱
زمان حل مدل		۶۵۲۱	۱۸۴۰

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.

جدول ۵: درصد انحراف تابع هدف در ابعاد مختلف مسئله

درصد انحراف مقادیر تابع هدف	مقدار تابع هدف BBO	مقدار تابع هدف PSO	شماره آزمون	اندازه مسئله
۰.۳۶۲	۱۲۷,۱۹۸	۱۹۹,۳۱۱	۱	کوچک
۰.۲۳۶	۱۸۵,۷۲۷	۲۴۳,۱۴۳	۲	
۰.۳۴۱	۱۶۲,۶۹۲	۲۴۶,۸۳۶	۳	
۰.۳۸۰	۱۶۲,۲۵۵	۲۶۱,۶۷۱	۴	
۰.۲۱۹	۱۸۳,۸۹۸	۲۳۵,۴۳۲	۵	
۰.۳۰۷	۱۶۴,۳۵۴	۲۳۷,۲۷۹	میانگین	
۰.۲۹۴	۴۴۸,۸۵۴	۶۳۶,۰۲۳	۶	متوسط
۰.۱۸۶	۴۳۹,۴۲۹	۵۳۹,۵۴۱	۷	
۰.۱۳۵	۵۲۳,۲۵۳	۶۰۴,۶۸۵	۸	
۰.۰۹۶	۶۲۴,۳۰۸	۶۹۰,۶۱۴	۹	
۰.۰۵۲	۵۱۵,۰۹۳	۵۴۳,۳۹۸	۱۰	
۰.۱۵۴	۵۱۰,۱۸۷	۶۰۲,۱۵۲	میانگین	
۰.۱۰۹	۶۵۲,۰۹۸	۷۳۱,۵۲۲	۱۱	بزرگ
۰.۰۹۰	۷۶۳,۹۰۳	۸۳۹,۳۵۴	۱۲	
۰.۰۵۴	۷۴۰,۹۸۰	۷۸۳,۴۷۰	۱۳	
۰.۰۶۰	۹۱۲,۰۸۷	۹۷۰,۳۲۸	۱۴	
۰.۰۸۳	۹۹۴,۲۷۶	۱,۰۸۴,۲۳۱	۱۵	
۰.۰۷۸	۸۱۲,۶۶۹	۸۸۱,۷۸۱	میانگین	

نتیجه گیری

در تحقیق حاضر، موضوع طراحی شبکه زنجیره تأمین با در نظر گرفتن دو معیار مهم رقابت و اختلال بررسی شده است. رقابت در بین دو عضو اصلی زنجیره یعنی تولیدکننده و توزیع کننده در نظر گرفته شده و اختلالات احتمالی نیز تأمین منبع مورد توجه قرار گرفته است. طراحی شبکه زنجیره تأمین با در نظر گرفتن این دو موجب شده است که زنجیره تأمین طراحی شده در برابر این عوامل انعطاف پذیری 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 مورد بررسی قرار گرفته و نتایج آن تحلیل گردیده است، علاوه بر این نحوه تأثیر اختلالات بر روی زنجیره تأمین و اهداف بازیگران زنجیره مورد بررسی قرار گرفته است. در پایان کار آبی الگوریتم بهینه‌سازی مبتنی بر جغرافیای زیستی که دارای سرعت همگرایی بیشتری است نیز نشان داده شده است.

پیشنهادات آتی

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

- تصمیمات قیمت گذاری در زنجیره های تأمین رقابتی از اهمیت فراوانی برخوردارند که در این تحقیق با تعیین قیمت محصولات، مقدار آن‌ها به صورت متغیر تصمیم گیری مطرح شده است و می توان با استفاده از مدل های قیمت گذاری 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 تأمین کننده اصلی و سایر فروشنده گان و ... معمولاً دارای عدم قطعیت می باشند که می توان از رویکردهای مختلف از قبیل برنامه ریزی فازی برای مدل سازی آن‌ها استفاده نمود.
- توجه به مبحث اختلال از منظری دیگر که چنان چه تسهیلی در یک دوره دچار اختلال شود در دوره های بعد قادر به سرویس دهی به زنجیره می باشد. در قسمت اختلال در مراکز توزیع می توان در نظر داشت که هزینه های بازیابی تسهیلی که دچار خرابی شده است نیز بر عهده تأمین کننده اصلی می باشد، لذا هزینه های بازیابی تسهیل نیز می تواند در مدل سازی مسئله مورد توجه قرار بگیرد.
- رقابت در نظر گرفته شده در این تحقیق از نوع رقابت استکلبرگ بوده است که می توان برای دقت بیشتر از مفاهیم بازی نش و بازی های پویا نیز برای مدل سازی مسئله پیشنهادی استفاده نمود.
- استفاده از روش های سرعت دهنده برای افزایش سرعت همگرایی الگوریتم برای حل مسائل با ابعاد بسیار بزرگ نیز می تواند مورد توجه قرار بگیرد.

منابع

- آقابزرگی، ن. سجادی، م. علینقیان، م. (۱۳۹۴) ارائه مدلی پایدار جهت مکانیابی-موجودی زنجیره تامین سه سطحی تک دوره ای شرکت های کوچک و متوسط با تقاضای غیرقطعی، فصلنامه مطالعات مدیریت صنعتی، سال سیزدهم، شماره ۳۸، پاییز ۹۴، صفحه ۹۹-۱۳۲.
- ربانی، م. معنوی زاده، ن. فرشلاف گرانی، ا. (۱۳۹۴). طراحی چندهدفه زنجیره تامین بادر نظر گرفتن ریسک اختلال تسهیلات، عرضه و تقاضا در شرایط غیرقطعی بودن پارامترهای اقتصادی، فصلنامه مطالعات مدیریت صنعتی، سال سیزدهم، شماره ۳۷، تابستان ۹۴، صفحه ۵-۳۵.
- 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., & Pishvaei, 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.