

ارائه مدل مکان‌یابی-تخصیص چندهدفه در زنجیره تأمین جهانی (مطالعه موردی: صنعت کاشی و سرامیک)

فاطمه پایدار^۱، مرضیه امینی‌رانی^۲، محمدسعید جبل‌عاملی^{۳*}

۱. دانشجوی کارشناسی‌ارشد، گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه علم و صنعت، تهران، ایران
۲. دانشجوی کارشناسی‌ارشد، گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه علم و صنعت، تهران، ایران
۳. استاد گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه علم و صنعت، تهران، ایران

خلاصه

صنعت کاشی و سرامیک یکی از مشاغل قدیمی ایرانیان است که در هر دوره‌ی تاریخی به اشکال متفاوت به‌کار گرفته شده است. ایران یکی از پنج کشور بزرگ تولیدکننده‌ی کاشی و سرامیک است که با دارا بودن ظرفیت بسیار زیاد در این صنعت توانسته است به‌عنوان بزرگترین صادرکننده‌ی این محصولات در غرب آسیا شناخته شود. در سال‌های اخیر صادرات کاشی و سرامیک یکی از مهم‌ترین دادوستدهای خارجی کشور شده است. لذا برای دستیابی به بخش بزرگتری از سهم صادرات، فضای رقابتی بر این صنعت حاکم شده است. از سوی دیگر امروزه مدیریت زنجیره تأمین به دلیل افزایش جهانی شدن صنایع و رقابت‌های بین‌المللی بیش از پیش مورد توجه واقع شده است. بسیاری از شرکت‌ها ترجیح می‌دهند، بخش‌های تدارکات، تأمین، تولید و توزیع خود را به‌صورت مجزا در چندین کشور قرار دهند و مدیریت کنند. بنابراین در برخورد با رقابت‌های جهانی، چگونگی طراحی یک شبکه زنجیره تأمین با حداقل هزینه و با تأکید بر ملاحظات مالی، بیمه و هزینه‌های گمرکی به یک مسأله مهم برای شرکت‌های چندملیتی تبدیل شده است. در این مقاله با به‌کارگیری روش برنامه‌ریزی مختلط عدد صحیح، یک مدل مکان‌یابی جهانی چهار سطحی چندهدفه با در نظر گرفتن محدودیت آب مصرفی در خطوط تولید ارائه شده و با استفاده از نرم‌افزار گمز حل و مورد بررسی قرار گرفته است. مدل پیشنهادی در یکی از صنایع تولیدی کاشی و سرامیک استان یزد جهت صحت‌سنجی مدل و بررسی تأثیر پارامترهای مهم بر تصمیمات استراتژیک مکان‌یابی به‌کار گرفته شده است که منجر به مکان‌یابی دو انبار داخلی و سه مرکز توزیع خارجی در کشورهای مجاور شد.

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:

دریافت ۱۴۰۰/۳/۳

پذیرش ۱۴۰۰/۵/۲۴

(مقاله پژوهشی)

کلمات کلیدی:

طراحی شبکه زنجیره تأمین جهانی

مکان‌یابی تسهیلات بین‌المللی
زنجیره تأمین کاشی و سرامیک
برنامه‌ریزی مختلط عدد صحیح

۱. مقدمه

لعاب‌کاری بوده است. روش و دانش لعاب‌کاری از بابل به نقاط دیگر ایران رواج یافت که از زمان آغاز لعاب‌کاری، امکان ضد آب کردن، نقاشی کردن و زیباسازی ظروف و تهیه کاشی مقدور شد. بعد از اسلام با تشویق استفاده از ظروف سفالی و سرامیکی به‌جای ظروف فلزی، طلا و نقره، صنعت سفال‌گری رشد تازه‌ای یافت و از صنعت سفال‌سازی و کاشی‌سازی برای آرایش محراب مسجد، ضدآب کردن دیوار حمام‌ها،

سفال‌گری از جمله باستانی‌ترین هنرهای بشری و در واقع سرمنشاء هنر تولید کاشی و سرامیک است که نخستین آثار این هنر در ایران به حدود ۱۰۰۰۰ سال قبل از میلاد می‌رسد. پیشرفت در صنعت سفال‌گری منجر به تغییراتی در روش تولید مانند تغییر کوره‌ها، اختراع چرخ کوزه‌گری و نیز کیفیت مواد سفال‌گری نظیر رنگ‌آمیزی و

* نویسنده مسئول: محمدسعید جبل‌عاملی

تلفن: ۰۵۲-۷۳۲۲۵۰۲۱؛ پست الکترونیکی: jabal@iust.ac.ir

تقاضای پس‌افت را در نظر می‌گیرد [۵]. یک مدل دوهدفه به‌منظور مکان‌یابی و تخصیص مراکز توزیع و بازار در پژوهش شانکار و همکاران (۲۰۱۳) پیشنهاد شده است. در این پژوهش چهار سطح تأمین‌کننده، کارخانه، مراکز توزیع و بازار برای زنجیره‌تأمین در نظر گرفته شده که هدف اول حداقل‌سازی هزینه‌ها و هدف دوم حداکثر رساندن برآورد تقاضای مشتری می‌باشد. جهت حل مسأله الگوریتم ازدحام ذرات به کار برده شده است [۶]. وانگ و همکاران (۲۰۱۵) به مکان‌یابی و تخصیص تسهیلات با در نظر گرفتن عدم قطعیت تقاضا پرداختند. روش مقابله با عدم قطعیت، روش تصادفی مبتنی بر سناریو است و برای حل از الگوریتم مورچگان استفاده شده است. مجموعه‌ای از آزمایش‌های محاسباتی به‌منظور ارزیابی دقیق پارامترهای الگوریتم و همچنین ارزیابی عملکرد آن برای حل مسأله نیز پیشنهاد شده است [۷]. برای مقابله با ریسک‌های احتمالی اختلال و در نظر گرفتن شرایط رقابتی بازار، پیشوایی و همکاران (۱۳۹۵) یک مدل مکان‌یابی استقرار مراکز تولیدی و توزیعی تک‌هدفه ارائه کرده‌اند. مدل‌سازی رقابتی براساس برنامه‌ریزی ریاضی و تئوری بازی‌ها (بازی استکلبرگ) می‌باشد و الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات و بهینه‌سازی مبتنی بر جغرافیای زیستی جهت حل مدل به‌کار گرفته شده است [۱]. فتاحیان و همکاران (۲۰۲۰) یک مدل تصادفی دومرحله‌ای را برای طراحی شبکه‌ی زنجیره‌تأمین تحت اختلال پیشنهاد کرده‌اند که تصمیمات مدل شامل مکان‌یابی، تخصیص، موجودی و تعیین اندازه‌ی سفارش است [۸].

در ارتباط با حوزه‌ی زنجیره‌تأمین جهانی، یک مدل ریاضی چندهدفه با در نظر گرفتن عوامل بین‌المللی نظیر نرخ ارز و عوارض گمرکی برای شبکه‌های زنجیره‌تأمین بسته تحت تقاضای نامشخص توسط حسن‌زاده و همکاران (۲۰۱۶) ارائه شده است. تابع هدف اول تحویل به‌موقع محصولات خریداری شده را بیشینه می‌کند و تابع هدف دوم نیز سعی بر حداکثر کردن سود کل حاصل از فروش دارد. در این مقاله از رویکرد برنامه‌ریزی فازی به‌منظور حل مدل استفاده شده است [۹]. ملکی و همکاران (۲۰۱۷) یک مدل تک‌هدفه به‌منظور انتخاب تأمین‌کننده‌ها و مکان‌یابی مراکز توزیع و تخصیص این مراکز به خرده‌فروش‌ها توسعه دادند. تابع هدف در نظر گرفته شده حداقل رساندن هزینه‌های کل سیستم می‌باشد. همچنین برای حل مدل ارائه‌شده از سه الگوریتم فراابتکاری ژنتیک، تبرید شبیه‌سازی شده و جست‌وجوی ممنوع به‌طور مجزا استفاده شده است [۱۰]. یک مدل مکان‌یابی بین‌المللی پویا توسط کچو بوژلبن و همکاران (۲۰۱۷) ارائه شد که به‌دنبال یافتن مکان‌های بهینه‌ی مراکز توزیع می‌باشد. در این مدل نرخ مالیات، نرخ تبدیل ارز، تعرفه‌های گمرکی و نرخ‌های تخفیف لحاظ شده است. از دیگر مزایای این مدل توجه بیش از پیش به عدم قطعیت‌های دنیای واقعی می‌باشد به‌طوری‌که تقاضا، نرخ تبدیل ارز، هزینه‌های متغیر و قیمت فروش محصولات نهایی همگی غیرقطعی در نظر گرفته شده‌اند. به‌منظور حل مدل از رویکرد برنامه‌ریزی تصادفی دومرحله‌ای استفاده شده است [۱۱]. راجش سینق و همکاران (۲۰۱۸) انتخاب بهترین مرکز توزیع در یک شبکه زنجیره‌تأمین جهانی با استفاده

ایجاد حوض و آب‌نما و همچنین شیب‌بندی بام‌ها استفاده شد. فراوانی مواد اولیه و سهولت ساخت کاشی موجب شده است که صنعت کاشی و سرامیک به یکی از صنایع اصلی و سودآور ایران تبدیل شود. از سوی دیگر با توجه به اوضاع اقتصادی کشور و شرایط تحریمی پیش‌رو، لزوم و اهمیت ارزآوری بیش از پیش نمایان شده است. به گزارش ماهنامه سراسری اقتصادی، اجتماعی اصفهان صنعت، استان یزد با اختصاص ۴۵٪ از سهم تولید کاشی و سرامیک کشور رتبه‌ی نخست را در بین استان‌های دیگر دارد. این امر درحالی است که بیش از نیمی از تولیدکنندگان کاشی در کشور، در استان یزد متمرکز شده‌اند.

باتوجه به گسترش صنعت، رفاه انسان‌ها و استفاده روزافزون بشر از انرژی و امکانات زمین، نقش کلیدی آب در کره زمین پررنگ‌تر شده و استفاده‌ی بهینه و بازیافت آن در کانون توجه صنایع مختلف از جمله صنایع کاشی و سرامیک قرار گرفته‌است. استان یزد به‌علت موقعیت جغرافیایی خود همیشه با معضلاتی نظیر کم‌آبی روبه‌رو بوده است که این امر به‌علت وجود صنایع پر آب‌خواه در چند سال اخیر شدت گرفته است. بنابراین توجه به اهداف اقتصادی در مدل‌های برنامه‌ریزی به‌تنهایی نیاز جوامع بشری را برطرف نخواهد کرد و لزوم توجه به ذخایر آبی در دسترس بیش از پیش احساس می‌شود.

ادامه‌ی تحقیق به‌ترتیب زیر سازمان یافته است. در بخش ۲ مقاله با استفاده از مقالات داخلی و خارجی جمع‌آوری شده ابتدا به بررسی و بازبینی مبانی نظری حاکم بر زنجیره‌تأمین کاشی و سرامیک (کالای مشابه) پرداخته و سپس مقالات مرتبط با طراحی زنجیره‌تأمین جهانی مورد بررسی قرار گرفته است.

بخش ۳ به تعریف مسأله، بیان مفروضات و توضیح مدل ریاضی مکان‌یابی-تخصیص چندهدفه در زنجیره‌تأمین جهانی خواهد پرداخت. در بخش ۴ به بررسی و تحلیل نتایج مدل مسأله پرداخته خواهد شد و در نهایت بخش ۵، به نتیجه‌گیری اختصاص یافته‌است.

۲. مروری بر ادبیات موضوع

مانزینی و بیندی (۲۰۰۹) یک چارچوب اصلی برای طراحی و بهینه‌سازی یک سیستم چندسطحی با ترکیب مدل‌سازی برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط، تحلیل خوشه‌ای، الگوریتم‌های اکتشافی و قوانین حمل‌ونقل برای یک شرکت کاشی و سرامیک مطرح کرده‌اند [۳]. یک مدل برنامه‌ریزی خطی مختلط عدد صحیح برای ایجاد یک الگوی تأمین، تولید و توزیع متمرکز برای زنجیره‌های عرضه‌ی کاشی و سرامیک توسط آلمانی و همکاران (۲۰۱۰) ارائه شده است. در این مقاله فرض شده که زنجیره‌تأمین دارای چندین تأمین‌کننده، انبار، مراکز توزیع چندمحصولی می‌باشد. مدل ارائه شده با استفاده از برنامه‌ریزی چنددوره‌ای هدف حداکثر رساندن سود خالص را دنبال می‌کند [۴]. پیدرو و همکاران (۲۰۱۲) مسأله‌ی برنامه‌ریزی زنجیره‌تأمین کاشی و سرامیک ارائه شده توسط آلمانی و همکاران را در حالت عدم قطعیت فازی بیان کرده‌اند. مدل آن‌ها سه تابع هدف حداکثرسازی سود، به حداقل رساندن زمان بیکاری و حداقل کردن

شده است. هدف دنبال شده در این مدل حداکثر سازی سود پس از مالیات می‌باشد که تحت محدودیت‌های احداث تسهیلات، تولید، نگهداری، حمل‌ونقل محصولات و محدودیت‌های مالی بررسی شده است. پارامتر بین‌المللی در نظر گرفته شده در این مطالعه، نرخ تبدیل ارز می‌باشد که به صورت غیرقطعی مورد مطالعه قرار گرفته است [۱۵].

الیوارس و همکاران (۲۰۱۸) با در نظر گرفتن شاخص‌های خطر جهانی برای سطوح تأمین‌کننده، تولیدکننده و توزیع‌کننده مدلی را با تابع هدف حداقل کردن ریسک وقوع بلابای طبیعی ارائه کرده‌اند. متغیرهای تصمیم مدل ارائه شده مکان کارخانه و مراکز توزیع، میزان مواد اولیه خریداری شده و میزان تولید خانواده محصولات و تعیین میزان حمل‌ونقل در سطوح مختلف شبکه می‌باشد. شبکه‌ی در نظر گرفته شده شامل ۴ سطح و تمامی پارامترها پیش‌بینی شده‌اند [۱۶].

در ادبیات موضوع بررسی شده، عدم توجه کافی به صنایع کاشی و سرامیک در سطح جهانی به وضوح دیده می‌شود. به طوری که تنها ۳ تا از مقالات بررسی شده نگاهی به این صنعت مهم داشته و آن‌ها نیز مسائل پیرامون صادرات را در نظر نگرفته‌اند. علاوه بر آن به انرژی و اهداف زیست محیطی به ویژه ذخایر آبی اهمیت کمتری نشان داده شده است. این امر در حالی است که در صنایع کاشی و سرامیک‌های ساختمانی، آب در بخش‌های لعاب‌سازی، شست‌وشوی روزانه تجهیزات لعاب، انگوب و سیلندر، شست‌وشوی بال‌میل‌ها، در قسمت تینومتر و شست‌وشوی مخازن رنگ، شست‌وشوی اسپری درایرها و بال‌میل‌ها به وفور استفاده می‌شود. استان یزد به علت موقعیت جغرافیایی خود همیشه با معضلاتی نظیر کم‌آبی روبه‌رو است که به علت وجود صنایع نیازمند آب در چند سال اخیر این امر شدت گرفته است. لذا طراحی شبکه‌ی زنجیره‌تأمین جهانی صنایع کاشی و سرامیک با در نظر گرفتن میزان آب مصرفی در این صنعت بسیار حائز اهمیت می‌باشد که در هیچ‌یک از مطالعات صورت گرفته به آن توجه نشده است. بنابراین هدف از این پژوهش، ارائه‌ی یک مدل مکان‌یابی-تخصیص جهانی چندهدفه می‌باشد که توامان با اهداف اقتصادی، صرفه‌جویی آب مصرفی در خط تولید را نیز دنبال کند.

۳. تعریف مسأله مکان‌یابی-تخصیص چند هدفه در

زنجیره‌تأمین جهانی

در این پژوهش شبکه‌ی زنجیره‌تأمین صنعت کاشی و سرامیک با چهارسطح کارخانه، انبار، مرکز توزیع و بازار به گونه‌ای طراحی شده است که محصولات از واحد تولیدی به انبارها، از انبارها به مراکز توزیع ارسال می‌شوند تا از آنجا به بازارهای خارجی عرضه شوند. شرکت تولیدی مورد مطالعه به دنبال مکان‌یابی انبارهای داخلی و مراکز توزیع بین‌المللی به گونه‌ای می‌باشد که سود پس از مالیات شرکت در افق زمانی برنامه‌ریزی حداکثر گردد و بیش‌ترین میزان رضایت‌مندی از صرفه‌جویی آب مصرفی در خطوط تولید حاصل شود. با توجه به اهمیت صادرات در صنعت مورد نظر، یک مدل مکان‌یابی جهانی چند دوره‌ای ارائه شده است و بنابر سیاست‌های صنعت تولیدی بایستی انبارها در

از رویکرد AHP Fuzzy را بررسی کرده‌اند. نزدیک بودن به ایستگاه‌های راه‌آهن، فرودگاه و بندرگاه، در دسترس بودن آب و برق، سیاست‌های مالیاتی، ضمانت نامه‌های قانونی، مشوق‌های دولتی، هزینه‌ی زمین و نزدیک بودن به بازار از جمله شاخص‌های تصمیم‌گیری در نظر گرفته شده می‌باشد [۱۲]. یک مدل عدد صحیح مختلط به منظور طراحی شبکه زنجیره‌تأمین جهانی توسط جوری ریچ و همکاران (۲۰۱۹) ارائه شد و سپس با استفاده از تکنیک تصمیم‌گیری AHP حل مدل صورت گرفت. اهداف دنبال شده در این مقاله اهداف اقتصادی یا همان حداقل کردن هزینه‌های شبکه می‌باشد. همچنین با استفاده از تکنیک تصمیم‌گیری به اهداف زیست‌محیطی نیز توجه داشته‌اند. بدین صورت که اهداف زیست‌محیطی و غیرمالی را به سه دسته‌ی محیط زیست، ظرفیت، عملکرد در گذشته تقسیم‌بندی می‌کند. هر کدام از این دسته‌ها به تعدادی زیرمجموعه تقسیم شده و میزان وزن آن‌ها برآورد می‌شود. زنجیره‌تأمین در نظر گرفته شده شامل ۳ سطح کارخانه، مراکز توزیع و مشتری می‌باشد و تمامی پارامترها به صورت قطعی تخمین زده شده است [۱۳].

قاسم‌زاده و همکاران (۲۰۲۰) با ارائه‌ی یک مدل مکان‌یابی برنامه‌ریزی مختلط عدد صحیح به طراحی یک شبکه‌ی حلقه بسته‌ی جهانی با در نظر گرفتن اهداف حداکثر کردن سود کل شبکه و حداقل کردن شاخص Eco-indicator 99 پرداخته‌اند. زنجیره‌تأمین در نظر گرفته شده شامل سطوح مختلف از قبیل تأمین‌کنندگان داخلی و خارجی، کارخانه، فروشنده، کارخانه‌ی بازیافت، سایت جمع‌آوری کالاهای برگشتی و مرکز توزیع می‌باشد که برای محصول لاستیک مورد مطالعه قرار گرفته شده است. حقوق و تعرفه‌ی گمرکی و نرخ تبدیل ارز از جمله پارامترهای بین‌المللی در نظر گرفته شده در این مطالعه می‌باشد [۱۴].

کلانتری و همکاران (۱۳۹۵) با ارائه‌ی یک مدل هیبرید برنامه‌ریزی اصلی استوار به طراحی زنجیره‌تأمین دارو در سطح بین‌المللی پرداخته‌اند. اهداف در نظر گرفته شده حداقل کردن هزینه و حداکثر کردن کارایی تأمین‌کنندگان می‌باشد که مقدار کارایی هر یک از تأمین‌کنندگان در مرحله‌ی اول توسط مدل تحلیل پوششی داده‌ها محاسبه می‌شود و این خروجی به عنوان ورودی مرحله‌ی دوم یعنی مدل برنامه‌ریزی اصلی در نظر به کار گرفته می‌شود. در این مطالعه علاوه بر در نظر گرفتن طیف گسترده‌ای از پارامترهای جریان‌های مالی نظیر هزینه‌ی ناشی از وجود بانک‌ها و صرافی‌های واسطه، پارامترهای بین‌المللی همچون نرخ تبدیل ارز، مالیات بر درآمد، حقوق و تعرفه گمرکی، بیمه حمل‌ونقل و نرخ مالیات بر ارزش افزوده مورد مطالعه واقع شده است [۲].

وانگ و همکاران (۲۰۱۹) با ارائه‌ی یک مدل مکان‌یابی برنامه‌ریزی مختلط عدد صحیح به طراحی شبکه‌ی زنجیره‌تأمین جهانی چندمحصولی و چنددوره‌ای با در نظر گرفتن استراتژی‌های مالی پرداخته‌اند. مدل ارائه شده در سه سطح تأمین‌کنندگان، کارخانه و خرده‌فروشان تحت عدم قطعیت سناریو محور مورد بررسی قرار گرفته

<p>داخل و مراکز توزیع در خارج از کشور احداث شوند.</p> <p>۳-۱. مدل ریاضی مسأله مکان‌یابی-تخصیص چند هدفه در زنجیره تأمین جهانی</p> <p>- مفروضات مسأله</p> <ul style="list-style-type: none"> • نرخ تعرفه‌ی واردات به نوع کالا بستگی ندارد و شناخته شده است. مقادیر تقاضای هر بازار پیش‌بینی شده است. • هزینه‌های حمل و نگهداری به نوع کالا بستگی ندارند. • نرخ تخفیف برای جریمه‌ی کمبود پیش‌بینی شده و برای هر کالا متفاوت است. • نرخ تخفیف مالیات بر درآمد شرکت، در کشورهای کاندید احداث مراکز توزیع شناخته شده است و به نوع کالا بستگی ندارد. • میزان آب‌مصرفی در جریان تولید به نوع کالا بستگی ندارد. • واحد کالا متر مربع در نظر گرفته شده است. <p>- مجموعه‌های مدل</p> <p>I مجموعه‌ی کارخانه‌ها $I = 1, \dots$</p> <p>P مجموعه‌ی انبارها $P = 1, \dots$</p> <p>J مجموعه‌ی مراکز توزیع‌ها $J = 1, \dots$</p> <p>K مجموعه‌ی بازارها $K = 1, \dots$</p> <p>T مجموعه‌ی دوره‌های زمانی $T = 1, \dots$</p> <p>S مجموعه‌ی کالاها $S = 1, \dots$</p> <p>- پارامترهای مدل</p> <p>bd بودجه در دسترس</p> <p>w میزان آب مصرفی هر واحد کالا</p> <p>mw کمترین میزان آب مصرفی کالا</p> <p>xw بیش‌ترین میزان آب مصرفی کالا</p> <p>ca_i حداکثر ظرفیت تولید کارخانه i</p> <p>$ca1_p$ حداکثر ظرفیت انبار p</p> <p>$ca2_j$ حداکثر ظرفیت مرکز توزیع j</p> <p>$ca3_t$ ظرفیت حداکثر صادرات در دوره t</p> <p>$fc1_p$ هزینه ثابت احداث انبار p</p> <p>$fc2_j$ هزینه ثابت احداث مرکز توزیع j</p> <p>G_j کمک هزینه‌های نقدی ارائه شده توسط دولت اگر مرکز توزیع j احداث شده باشد.</p> <p>N_{kst} جریمه اعمال شده هر واحد کمبود کالای s اگر تقاضا بازار k در دوره t ارضا نشود (با پول رایج کشور مادر بیان شده است)</p> <p>D_{kst} تقاضای بازار k برای کالای s در دوره‌ی زمانی t</p> <p>Pr_{kst} قیمت فروش هر واحد کالای s در بازار k در دوره زمانی t (با پول رایج کشور مادر بیان شده است)</p> <p>cI_{pit} هزینه حمل هر واحد کالا از کارخانه i به مرکز انبار p در دوره زمانی t (با پول رایج کشور مادر بیان شده است)</p> <p>$c2_{pjt}$ هزینه حمل هر واحد کالا از انبار p به مرکز توزیع j در دوره زمانی t (با پول رایج کشور مرکز توزیع j بیان شده است)</p>	<p>(است)</p> <p>هزینه حمل هر واحد کالا از مرکز توزیع j به بازار k در دوره زمانی t (با پول رایج کشور مرکز توزیع j بیان شده است)</p> <p>$c3_{jkt}$</p> <p>هزینه متغیر هر واحد کالای s در مرکز توزیع j در دوره زمانی t (با پول رایج کشور مرکز توزیع j بیان شده است)</p> <p>V_{jst}</p> <p>هزینه نگهداری هر واحد کالا در انبار p در دوره زمانی t (با پول رایج کشور مادر بیان شده است)</p> <p>h_{pt}</p> <p>نرخ تعرفه (مالیات بر واردات) برای واردات از کشور انبار p به کشور مرکز توزیع j در دوره زمانی t</p> <p>A_{pjt}</p> <p>نرخ تبدیل ارز (از پول رایج کشور مرکز توزیع j به پول رایج کشور مادر در دوره زمانی t)</p> <p>E_{jt}</p> <p>نرخ مالیات بر درآمد شرکت در کشور مرکز توزیع j در دوره t</p> <p>TI_{jt}</p> <p>نرخ تخفیف مالیات بر درآمد شرکت در کشور مرکز توزیع j در دوره زمانی t</p> <p>β_{jt}</p> <p>نرخ تخفیف جریمه‌ی کمبود اعمال شده بر کالای s در بازار k در دوره زمانی t</p> <p>βI_{kst}</p> <p>قیمت انتقال هر واحد کالا از انبار p به مرکز توزیع j در دوره t (با پول رایج کشور مادر بیان شده است)</p> <p>F_{pjt}</p> <p>- متغیرهای مدل</p> <p>y_j متغیر باینری است، اگر مرکز توزیع j احداث شود یک و در غیر این صورت صفر است.</p> <p>yy_p متغیر باینری است، اگر انبار p احداث شود یک و در غیر این صورت صفر است.</p> <p>x_{ist} تعداد واحد کالای s که در کارخانه i در دوره زمانی t تولید می‌شود.</p> <p>xI_{ipst} تعداد واحد کالای s که از کارخانه i به انبار p در دوره زمانی t منتقل می‌شود.</p> <p>$x2_{pjst}$ تعداد واحد کالای s که از انبار p به مرکز توزیع j در دوره زمانی t منتقل می‌شود.</p> <p>$x3_{jkst}$ تعداد واحد کالای s که از مرکز توزیع j به بازار k در دوره زمانی t منتقل می‌شود.</p> <p>q_{kts} تقاضای برآورده نشده کالای s در بازار k در دوره زمانی t</p> <p>II_{pst} موجودی کالای s در انبار p در انتهای دوره زمانی t</p> <p>TW_t میزان کل آب مصرفی در دوره زمانی t</p> <p>λ_t میزان رضایت‌مندی از صرفه‌جویی آب مصرفی در دوره زمانی t</p> <p>ω_{jst} متغیر کمکی سود کالای s از مرکز توزیع j در دوره زمانی t</p> <p>- توابع هدف مدل</p>
--	---

$$\sum_i x_{1ipst} = \sum_j x_{2pjst} \quad \forall p, s, t \quad (10)$$

$$\sum_p x_{2pjst} = \sum_k x_{3jkst} \quad \forall j, s, t \quad (11)$$

$$II_{pst} = II_{pst-1} + \sum_i x_{1ipst} - \sum_j x_{2pjst} \quad \forall p, s, t \quad (12)$$

$$\sum_p fc1_{p yy p} + \sum_j (fc2_j - G_j) y_j \leq bg \quad (13)$$

$$Tw_t = w \sum_s x_{ist} \quad \forall i, t \quad (14)$$

$$\lambda_t = \begin{cases} 1 & Tw_t \leq mw \\ 1 - \frac{Tw_t - mw}{xw - mw} & mw < Tw_t < xw \\ 0 & Tw_t \geq xw \end{cases} \quad (15)$$

$$x_{ist}, x_{1ipst}, x_{2pjst}, x_{3jkst}, q_{kst}, II_{pst}, Tw_t, \omega_{jst} \geq 0 \quad (16)$$

$$y_j, yy_p \in \{0, 1\}$$

محدودیت (۳) شامل متغیر کمکی سود برای تابع هدف اول می‌باشد. محدودیت (۴) امکان برآورده نشدن همه‌ی تقاضای بازار را با اعمال جریمه در تابع هدف اول به‌وجود می‌آورد. محدودیت‌های (۵) تا (۷) بیان‌کننده‌ی حداکثر ظرفیت برای تسهیلات تولید، انبار، مراکز توزیع هستند. محدودیت (۸) حداکثر ظرفیت صادرات را در هر دوره‌ی زمانی t نشان می‌دهد. محدودیت‌های (۹) تا (۱۱) تعادل جریان در انبارها، مراکز توزیع و بازارها را تضمین می‌کنند. محدودیت (۱۲) تعادل موجودی در هر انبار را نشان می‌دهد. محدودیت (۱۳) حداکثر بودجه برای احداث مراکز توزیع با درنظر گرفتن کمک‌ها و مشوق‌های مالی دولت را نشان می‌دهد. محدودیت (۱۴) میزان کل آب مصرفی در هر دوره را تعیین می‌کند. در محدودیت (۱۵) متغیر $\lambda_t \in [0, 1]$ با تعریف میزان رضایت‌مندی از صرفه‌جویی آب مصرفی در دوره زمانی t به‌گونه‌ای فرمول‌بندی شده است که اگر میزان مصرف آب از مقدار حداقل آن کوچکتر باشد میزان رضایت‌مندی مقدار ۱ و اگر از حداکثر مجاز آب مصرفی بیشتر باشد مقدار ۰ می‌گیرد و اگر مقدار مصرفی آب مابین حداقل و حداکثر مصرف آب قرار گیرد با فرمول گفته شده میزان رضایت‌مندی محاسبه و عددی بین صفر و یک می‌شود. واضح است که هرچه صرفه‌جویی در مصرف آب بیشتر شود، میزان رضایت‌مندی مقدار بالاتری کسب می‌نماید. محدودیت (۱۶) نشان‌دهنده‌ی انواع متغیر تصمیم می‌باشد.

همان‌طور که مشاهده می‌شود محدودیت (۱۵) به‌علت چندضابطه‌ای بودن غیرخطی است. این رابطه به‌صورت زیر خطی‌سازی می‌شود:

$$\lambda_t = 1 - \frac{Tw_t - mw}{xw - mw} \quad (17)$$

$$\lambda_t \leq 1 \quad (18)$$

$$\lambda_t \geq 0 \quad (19)$$

$$Max \psi 1 = \sum_j \sum_t \frac{1 - T1_{jt}}{(1 + \beta_{jt})^t} \sum_s \omega_{jst} - \sum_j (fc2_j - G_j) y_j - \sum_p fc1_{p yy p} - \sum_p \sum_s \sum_t h_{pt} II_{pst} \quad (1)$$

$$Max \psi 2 = \sum_t \lambda_t \quad (2)$$

تابع هدف (۱) سود کل پس از مالیات را نشان می‌دهد که از اختلاف درآمد حاصل از فروش با هزینه‌های ثابت و متغیر به‌دست آمده است. هزینه‌های ثابت شامل سرمایه‌گذاری‌های انجام شده در ابتدای افق برنامه‌ریزی برای احداث مراکز توزیع و انبار است. هزینه‌های متغیر مالیات بر درآمد شرکت‌ها، جریمه‌های ناشی از عدم برآورد تقاضا، هزینه‌های حمل‌ونقل داخلی از کارخانه به انبارها و هزینه‌های حمل‌ونقل برون مرزی از انبارها به مراکز توزیع و از این مراکز به بازار محلی، هزینه‌های نگهداری و موجودی و هزینه‌های عملیات سفارشی‌سازی را دربر می‌گیرد. تابع هدف (۲) میزان رضایت‌مندی از صرفه‌جویی آب مصرفی را حداکثر می‌کند. طبق استانداردهای موجود در رابطه با مصارف انرژی در فرآیندهای تولید کاشی و سرامیک، حدود مجاز برای انرژی‌های مصرفی از جمله میزان مصرف آب جهت تولید هر واحد کاشی و سرامیک وجود دارد. بنابراین با توجه به ظرفیت بالفعل کارخانه‌ی مورد مطالعه، بیشترین و کمترین میزان آب مصرفی استخراج شده است. لازم به ذکر است که نظرات و سلاقی افراد در تعیین پارامترهای ذکر شده و متغیر میزان رضایت‌مندی از مصرف آب اثرگذار نمی‌باشد. در ادامه نحوه‌ی محاسبه‌ی متغیر میزان رضایت‌مندی از آب مصرفی در محدودیت شماره (۱۵) ارائه شده است. رابطه‌ی ارائه شده از رویکرد برنامه‌ریزی فازی ایده گرفته شده است.

– محدودیت‌های مدل

$$\omega_{jst} = \sum_k (Pr_{kst} - E_{jt} c3_{jkt} - E_{jt} V_{jst}) x3_{jkst} - \sum_p \left((1 + A_{pjt}) F_{pjt} + E_{jt} c2_{pjt} \right) x2_{pjst} - \sum_i \sum_p c1_{ipt} x1_{ipst} \quad (3)$$

$$\forall j, s, t$$

$$\sum_j x3_{jkst} + q_{kst} = D_{kst} \quad \forall k, s, t \quad (4)$$

$$\sum_s x_{ist} \leq ca_i \quad \forall i, t \quad (5)$$

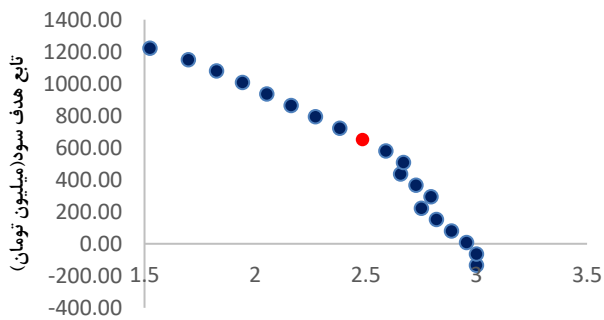
$$\sum_i \sum_s x1_{ipst} \leq ca1_{p yy p} \quad \forall p, t \quad (6)$$

$$\sum_p \sum_s x2_{pjst} \leq ca2_{j y j} \quad (7)$$

$$\sum_p \sum_j \sum_s x2_{pjst} \leq ca3_t \quad \forall t \quad (8)$$

$$x_{ist} = \sum_p x1_{ipst} \quad \forall i, s, t \quad (9)$$

از طریق سه مرکز توزیع واقع شده در کشورهای ترکمنستان، افغانستان و تاجیکستان با مشتریان خارجی برقرار می‌گردد.

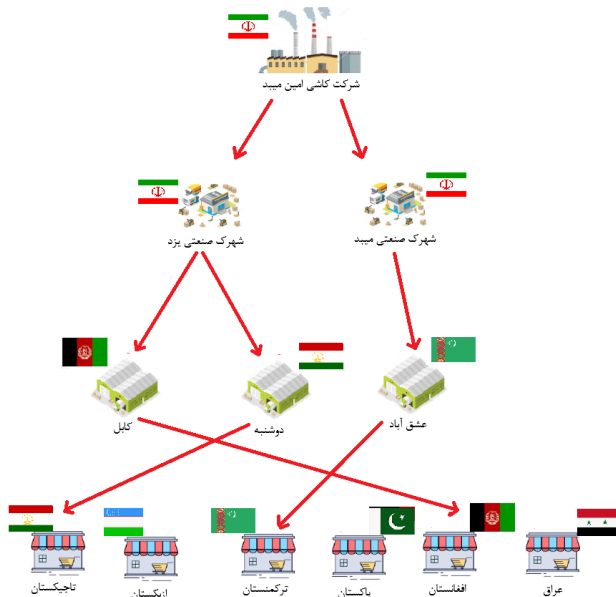


تابع هدف رضایت‌مندی از صرفه جویی آب

شکل (۱): تعارض بین اهداف

جدول (۱): بخشی از پارامترهای ورودی مسأله

بازارهای خارجی	مکان‌های بالقوه احداث مراکز توزیع	مکان‌های بالقوه احداث انبار
عراق	ترکمنستان	شهرک صنعتی میبد
افغانستان	تاجیکستان	شهرک صنعتی اردکان
پاکستان	ترکمنستان	شهرک صنعتی یزد
ترکمنستان	افغانستان	
ازبکستان		
تاجیکستان		



شکل (۲): خروجی نرم‌افزار برای نقطه‌ی میانی

۴-۱. تحلیل حساسیت

از آنجاکه پارامترهای مسأله بر روی عملکرد کلی تأثیرگذار می‌باشد، در این قسمت تحلیل حساسیت بر روی پارامترهای مهم تقاضا، حداکثر آب مصرفی و ظرفیت تولید مهم صورت گرفته است. تحلیل حساسیت روشی برای صحت‌سنجی مدل‌های ریاضی محسوب می‌شود.

اکنون به‌جای رابطه‌ی (۱۵)، روابط (۱۷) تا (۱۹) جایگزین می‌شود.

۴. نتایج محاسباتی مدل پیشنهادی

جهت حل مدل پیشنهادی ابتدا باید مسأله دوهدفه را به تک‌هدفه تبدیل کرد. یکی از این روش‌های تبدیل چندهدفه به تک‌هدفه، روش تبدیل قید است. روش تبدیل به قید یا محدودیت جزئی^۲ اولین بار در سال ۱۹۷۱ توسط هایمس و همکاران ارائه شده است. این رویکرد مزیت‌های بسیاری نسبت به سایر روش‌های مواجهه با مدل‌های چندهدفه دارد. روش محدودیت افسیلون با تغییر دادن فضای شدنی اولیه قادر است جواب‌های غیرگوشه‌ای تولید کند و تقریباً در هر اجرا جواب کارای متفاوتی تولید می‌شود. در روش وزن‌دهی نرمال کردن توابع هدف تأثیر به‌سزایی بر نتایج به‌دست آمده دارد، بنابراین نیازمند یک مقیاس مشترک قبل از تشکیل مجموع وزنی است. درحالی‌که در روش محدودیت افسیلون ضروری نمی‌باشد [۱۷]. در این روش یکی از توابع هدف برای بهینه‌سازی انتخاب می‌شود و سایر توابع هدف تبدیل به محدودیت با یک حد بالای ϵ می‌شوند.

$$\text{Min } f_i(x)$$

$$s.t \ f_j(x) \leq \epsilon_j \quad \forall j \neq i$$

برای پیدا کردن هرچه بیشتر جواب‌های پارتو باید مقادیر ϵ ها را به تدریج افزایش داده و مسأله دوباره حل شود.

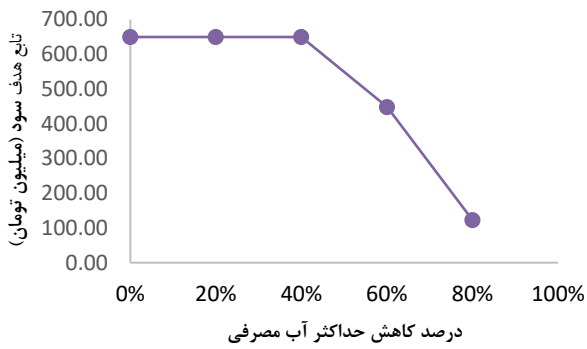
در این مقاله تابع هدف میزان رضایت‌مندی از صرفه‌جویی آب مصرفی به‌عنوان تابع هدف اصلی در نظر گرفته‌شده و تابع سود پس از مالیات به محدودیت تبدیل شده است. برای تعیین مقدار ϵ لازم است برای تابع سود پس از مالیات یک حد پایین و حد بالا مشخص شود. سپس اختلاف این دو حد را بر تعداد تکرارهای موردنظر تقسیم کرد. مسأله با مقدار ϵ برابر حد پایین تابع سود پس از مالیات، در تکرار اول اجرا می‌شود. در تکرارهای بعد هر بار به اندازه بازه‌ی گفته شده به ϵ اضافه می‌گردد تا در نهایت به حد بالا برسد.

مدل ریاضی ارائه شده در نرم‌افزار GAMS 23.5 کدنویسی شده و سپس توسط حل‌کننده CPLEX با استفاده از رایانه شخصی با مشخصات پردازنده Core i4 و حافظه داخلی GB 8 و سیستم عامل Windows 7 حل شده است. ۲۰ نقطه پارتو یافت شده و یک نقطه میانی جهت نمایش خروجی مدل و تحلیل حساسیت تعیین شده است (شکل (۱)).

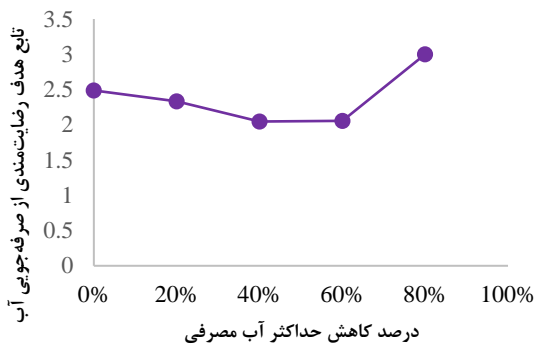
فرموله‌سازی زنجیره‌تأمین تشریح شده تعداد زیادی پارامترهای قطعی را شامل می‌شود که نمایش تمامی پارامترها به واسطه‌ی محدودیت فضا امکان‌پذیر نمی‌باشد. بنابراین به‌منظور درک عمیق‌تر مسأله موقعیت بازارهای این شرکت و مکان‌های بالقوه احداث مراکز توزیع و انبارها به‌عنوان بخشی از پارامترهای ورودی مسأله در جدول شماره (۱) ارائه گردیده‌است.

مطابق خروجی نرم‌افزار (شکل (۲)) دو انبار در شهرک صنعتی میبد و شهرک صنعتی یزد می‌بایست احداث شود و جریان محصولات

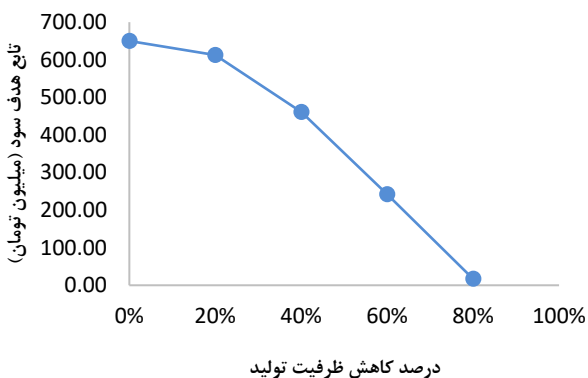
2. ϵ -constraint



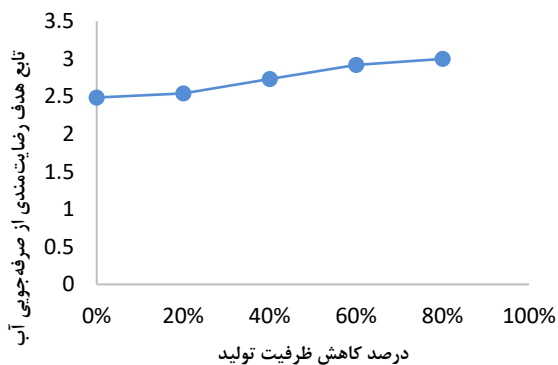
شکل (۵): تحلیل حساسیت حداکثر آب مصرفی (تابع سود)



شکل (۶): تحلیل حساسیت حداکثر آب مصرفی (تابع رضایت‌مندی)



شکل (۷): تحلیل حساسیت ظرفیت تولید (تابع سود)



شکل (۸): تحلیل حساسیت ظرفیت تولید (تابع رضایت‌مندی)

اگر تقاضا به صورت درصدی زیاد شود:

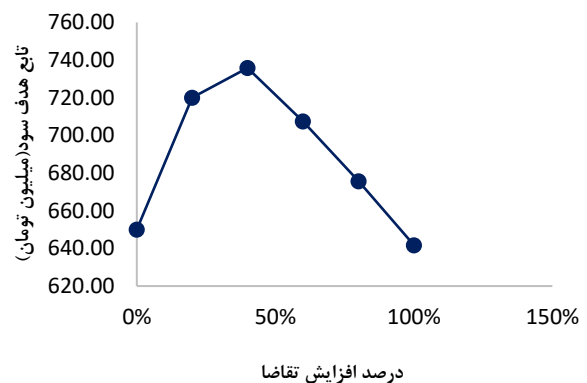
با افزایش تقاضا تا ۴۰٪، میزان سوددهی بالا رفته و از آن پس به دلیل افزایش هزینه‌های کمیوم، ثابت ماندن ظرفیت تولید و ظرفیت مراکز توزیع میزان سوددهی کاهش می‌یابد. این بدین معناست که با شرایط و امکانات فعلی، شرکت حداکثر افزایش ۴۰٪ تقاضا را می‌تواند برآورد کند و از آن پس باید در راستای افزایش ظرفیت تولید تلاش کند (شکل (۳)). همچنین، میزان تولید نیز بالا رفته و بالطبع آن مقدار آب مصرفی افزایش می‌یابد. بدیهی است با افزایش میزان آب مصرفی، رضایت‌مندی و صرفه‌جویی در مصرف آب کاهش می‌یابد (شکل (۴)).

اگر حداکثر آب مصرفی در دسترس کم شود:

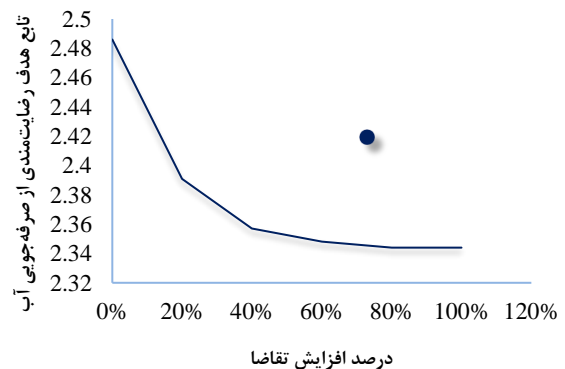
با کاهش حداکثر آب مصرفی، میزان تولید کاهش یافته و در نتیجه سودآوری کم می‌شود (شکل (۵)). از طرفی با کاهش میزان تولید، میزان آب مصرفی کم شده و میزان رضایت‌مندی از آن افزایش می‌یابد (شکل (۶)).

میزان ظرفیت تولید مطالعه موردی پاسخ‌گوی نیاز مسأله است و افزایش آن تغییری ایجاد نمی‌کند. اگر بنا به دلایلی این میزان ظرفیت کاهش یابد:

واضح است که با کاهش ظرفیت تولید میزان سوددهی کاهش می‌یابد (شکل (۷)). همچنین با کاهش میزان تولید، میزان آب مصرفی نیز کاهش و به دنبال آن میزان رضایت‌مندی از صرفه‌جویی آب افزایش می‌یابد (شکل (۸)).



شکل (۳): تحلیل حساسیت تقاضا (تابع سود)



شکل (۴): تحلیل حساسیت تقاضا (تابع رضایت‌مندی)

۵. جمع‌بندی

به‌دنبال شرایط تحریمی و اقتصادی کشور اهمیت صنعت کاشی در ارزآوری و بهبود شرایط اقتصادی کشور پررنگ‌تر شده است و همچنین توجه به مفاهیمی هم‌چون طراحی شبکه‌ی زنجیره‌تأمین و لجستیک جهانی به‌منظور کسب بازارهای بیشتر در فضای رقابتی امروز حیاتی می‌باشد. لذا در این پژوهش با ارائه‌ی یک مدل مکان‌یابی-تخصیص جهانی چنددوره‌ای با درنظر گرفتن گستره‌ای از پارامترهای بین‌المللی و اهداف افزایش سوددهی و صرفه‌جویی در میزان آب مصرفی در جریان تولید، سعی بر آن شده است تا قدمی هرچند اندک در جهت افزایش سهم صادراتی و مدیریت بحران آب استان برداشته شود. مدل ارائه شده بر روی اطلاعات یک شرکت تولیدی کاشی پیاده‌سازی و مورد بررسی واقع شده است و نتایج حاصل حاکی از احداث دو انبار داخلی و سه مرکز توزیع در خارج از کشور می‌باشد. پیشنهادهای آتی جهت پژوهش آیندگان به شرح زیر است:

- توجه به منابع آلوده‌کننده‌ی هوا و درنظرگرفتن اهداف زیست محیطی و شناسایی تأثیرات آن‌ها بر مدل ارائه شده
- توجه به عدم قطعیت نرخ ارز و رویکردهای بهینه‌سازی تحت عدم قطعیت
- توجه به بازارهای داخلی کشور توأمان با بازارهای خارجی

مراجع

- [6] Shankar, B.L, Basavarajappa, S.B, Chen, J, Kadadevaramath, R. (2013). "Location and allocation decisions for multi-echelon supply chain network A multi-objective evolutionary approach", *Expert Systems with Applications*, 40, 551–562 .
- [7] Wang, K, Lee, C.H. (2015). " A revised ant algorithm for solving location-allocation problem with risky demand in a multi-echelon supply chain network", *Applied Soft Computing*, 32, 311–321.
- [8] Fattahi, M, Govindan, K, Maihami, R. (2020), "Stochastic optimization of disruptiondriven supply chain network design with a new resilience metric", *International Journal of Production Economics*.
- [9] Hassanzadeh, Amin, Baki, F. (2016). " A facility location model for global closed-loop supply chain network design", *Applied Mathematical Modelling*, doi: 10.1016/j.apm.2016.08.030.
- [10] Malikia, F, Souiera, M. (2017). " The Use of Metaheuristics as the Resolution for Stochastic Supply Chain Design Problem: A Comparison Study", *International Journal of Supply and Operations Management*, Volume 4, Issue 3, 193-201.
- [11] Boujelben, K, Boulaksila, Y. (2017). "Modeling international facility location under uncertainty: a review", *analysis and insights, IISE Transactions*.
- [12] Singh, R.K, Chaudhary, N, Saxena, N. (2018). " Selection of warehouse location for a global supply chain :A case study" *IIMB Management Review*, 30, 343-356.
- [13] Reich, J, Kinra, A, Kotzab, H. (2019). "strategic decision-making in global supply chain network design -how a Decision Support System Combining MILP and AHP on a Pareto front can alleviate decision making", *IFAC Papers Online*, 52-13,2285–2290.
- [14] Ghasemzadeh, Z, Sadeghieh, A, Shishebori, D. (2020). " A stochastic multi-objective closed-loop global supply chain concerning waste management: a case study of the tire industry" *Environment, Development and Sustainability volume 23*, pages 5794–5821.
- [15] Wang, M, Huang, H. (2019). "The Design of a Flexible Capital-constrained Global Supply Chain by Integrating Operational and Financial Strategies", *Omega*, Elsevier, vol. 88(C), pages 40-62.
- [16] Jessica, O, Waguish, E. (2018). "simultaneous global supply chain and product architecture design considering natural hazard exposure and geographical facility location ", *51st CIRP Conference on manufacturing system*, 72:533-538.
- [17] Mavrotas, G, "Effective implementation of the ϵ -constraint method in multi-objective mathematical programming problems," *Appl. Math. Comput.*, vol. 213, no. 2, pp. 455–465, 2009.
- [1] یاری، م، پیشوایی، م، جبار زاده، ا، "طراحی زنجیره‌تأمین رقابتی با درنظر گرفتن اختلال در تأمین (مطالعه موردی: سنگ‌های تزئینی)"، فصلنامه علمی، پژوهشی مطالعات مدیریت صنعتی، سال شانزدهم، شماره ۸۴، بهار ۹۷.
- [۲] کلاتری، م، پیشوایی، م، "مدل برنامه‌ریزی استوار مکانی برای برنامه‌ریزی اصلی زنجیره‌تأمین دارو"، نشریه پژوهش‌های مهندسی صنایع در سیستم‌های تولید، سال چهارم، شماره هفتم، بهار و تابستان ۱۳۹۵، صفحه ۴۹-۶۷
- [3] Manzini, R, Bindi, F. (2009). "Strategic design and operational management optimization of a multi stage physical distribution system", *Transportation Research, Part E*, 45: 915–936.
- [4] Alemany, M.M.E, Boj, J.J. (2010). "Mathematical programming model for centralised master planning in ceramic tile supply chains", *International Journal of Production Research*, 48:17, 5053-5074.
- [5] Peidro, D, Mula, J, Alemany, M.M.E, Lario, F. (2012). "Fuzzy multi-objective optimization for master planning in a ceramic supply chain", *International Journal*



DOI: 10.22084/IER.2021.24326.2027

A Multi-objective Location-allocation Model in the Global Supply Chain (Case Study: Ceramic and Tile Industry)

F. Paydar^{1*}, M. Amini R², M. Jabalameli^{3*}

1. M. A. Student, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, University of Science and Technology, Tehran, Iran
2. M. A. Student, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, University of Science and Technology, Tehran, Iran
3. Professor, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, University of Science and Technology, Tehran, Iran

ARTICLE INFO

Article history:

Received 24 May 2021

Accepted 15 August 2021

Keywords:

Global supply chain design
International facility location
Ceramic and tile supply chain
Mixed integer programming

ABSTRACT

The ceramic and tile industry is one of the traditional Iranian jobs used in every historical period of different forms. Iran is one of the five largest producers of tiles and ceramics, which have been able to become the biggest exporter of these products in Western Asia by having a huge capacity in the industry. In recent years, ceramics and tiles exports have become one of the country's most important foreign trade. Therefore, to achieve a larger part of the export share, the competitive environment has dominated the industry. On the other hand, supply chain management is considered more and more attention due to the increasing globalization of industries and international competition. Many companies prefer to supply and manage their procurement, production and distribution sectors separately in several countries. Therefore, in dealing with global competitiveness, how to design a supply chain network with minimum cost and with emphasis on financial considerations, insurance and customs, has become an important issue for multinational companies. In this paper, using mixed integer programming method, a four-level global positioning model is proposed considering the limitation of water consumption in the production line using GAMS software. The proposed model was used in one of the ceramic tile manufacturing industries in Yazd province to validate the model and investigate the effect of important parameters on strategic location decisions, which led to the location of two domestic warehouses and three foreign distribution centers in neighboring countries.

* Corresponding author. M. Jabalameli
Tel.: 021-73225052; E-mail address: jabal@iust.ac.ir