Archive of SID

مدل بهینه‌سازی-مکان‌یابی چندهدفه چندمحصولی پویا با درنظرگرفتن قابلیت اطمینان

بابک فضلی بشلی[۱]، علی جهان[۲*]

۱. کارشناس ارشد مهندسی صنایع، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد سمنان

۲. دانشیار گروه مهندسی صنایع، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد سمنان

(تاریخ دریافت: ۹۵/۱۱/۱۸، تاریخ دریافت روایت اصلاح‌شده: ۹۶/۰۷/۲۹، تاریخ تصویب: ۹۷/۴/۳۱)

چکیده

یکی از حلقه‌های مهم در زنجیرهٔ تأمین شبکهٔ توزیع است. مسئلهٔ مکان‌یابی توزیع‌کنندگان نیز یکی از مسائل مهم زنجیرهٔ تأمین دربارهٔ تصمیم‌های سیستم توزیع محسوب می‌شود. همچنین یکی از مهم‌ترین اهداف زنجیرهٔ تأمین رضایت مشتریان است؛ بنابراین قابلیت اطمینان می‌تواند در ارسال محصولات کافی به مشتریان مؤثر باشد. در این پژوهش مدل غیرقطعی مکان‌یابی چهار هدفهٔ عدد صحیح مختلط غیرخطی، چندمحصولی و چنددوره‌ای با هدف کمینه‌سازی هزینه‌های کل، کمینه‌سازی فضای انبارش توزیع‌کنندگان، کمینه‌سازی زمان تأخیر و تعجیل در ارسال به توزیع‌کنندگان و افزایش قابلیت اطمینان مراکز توزیع در ارسال به مشتریان، همچنین مدل پیشنهادی مسئله برای زنجیرهٔ تأمین چهار سطحی ارائه شده است. حل مدل چندهدفه به‌کمک روش ریاضی E-محدودیت و تابع حددار صورت گرفته است. درنهایت برای بررسی کارایی مدل و عملکرد روش‌های پیشنهادی چندین مثال عددی طراحی و نتایج حاصل از آن‌ها مقایسه شده‌اند.

واژه‌های کلیدی: زنجیرهٔ تأمین، قابلیت اطمینان انبارها، مکان‌یابی، هزینهٔ موجودی‌ها

مقدمه

زنجیرهٔ تأمین به مجموعه فعالیت‌های مرتبط با جریان و تبدیل کالاها از مرحلهٔ مادهٔ خام تا تحویل به مصرف‌کننده نهایی و جریان‌های اطلاعاتی مرتبط با آن‌ها گفته می‌شود. افزایش روزافزون رقابت میان کارخانه‌ها و شرکت‌ها برای تولید محصولات باکیفیت و مطابق سلیقهٔ مشتری، به دیدگاهی جدید در میان تمامی سازندگان و تولیدکنندگان نیاز دارد. بسیاری از فعالیت‌های مرتبط با روابط بخش‌های گوناگون زنجیرهٔ تأمین، براساس انتقال و مدیریت موجودی صورت می‌گیرد. بسیاری معتقدند تمرکز زنجیرهٔ تأمین باید بر مدیریت موجودی باشد. هر زمان که شرکت‌ها دریافتند مشارکت در مدیریت موجودی کل زنجیره بهتر از مدیریت موجودی انفرادی است، مدل‌های جامع فروشنده-خریدار در زنجیرهٔ تأمین مدنظر قرار می‌گیرد.

زنجیره‌های دوسطحی را ابتدا کلارک و همکاران در سال ۱۹۶۰ بررسی کردند [۱]. در سال ۲۰۰۵ نیز هسیو و لین [۲] مدل مقدار اقتصادی سفارش در زنجیرهٔ تأمین را توسعه دادند که در آن کانال توزیع متشکل از یک تأمین‌کننده و یک خرده‌فروش درنظر گرفته شد. به‌منظور کامل‌ترکردن مدل‌های ارائه‌شده در دو سطح مربوط به خریدار-فروشنده، در بسیاری از پژوهش‌ها حالت چند خریدار-یک فروشنده، یک خریدار-چند فروشنده و چند خریدار-چند فروشنده ارائه شده است. نخستین پژوهش در دو سطح خریدار-فروشنده را جگلکار و تارتر در سال ۱۹۹۰ [۳] انجام دادند. سپس توسعهٔ این مدل از سوی بنرجی و بورتون در سال ۱۹۹۴ صورت گرفت [۴]. بعدها در بسیاری از پژوهش‌ها مدل‌هایی در این زمینه ارائه شد؛ برای مثال می‌توان به مطالعات بن دایا و هاریجا در سال ۲۰۰۴ [۵]، سیاجادی در سال ۲۰۰۶ [۶] و هوک در سال ۲۰۰۸ [۷] اشاره کرد. طالعی‌زاده و همکاران نیز در سال ۲۰۱۱ [۸] مدل چندمحصولی چند فروشنده-چند خریدار را پیشنهاد دادند. روتروی و کدالی در سال ۲۰۰۵ [۹] مدل موجودی سه‌سطحی تک‌محصولی را بررسی کردند که یک انبار، یک تولیدکننده و یک خرده‌فروش دارد. آزارون و همکاران در سال ۲۰۰۸ [۱۰]، شبکهٔ تأمین سه‌سطحی با پارامترهای غیرقطعی هزینه را با اهداف حداقل‌کردن

* نویسندهٔ مسئول، تلفن: ۰۲۳۳۳۳۲۲۰۳۴

Email: iranalijahan@yahoo.com

www.SID.ir

Archive of SID

مجموع هزینه‌های حال و مورد انتظار آتی، واریانس هزینه‌ها و میزان عدم اطمینان تحت بودجه معلوم ارائه دادند. ال‌سید و همکاران در سال ۲۰۱۰ مدلی را برای زنجیرهٔ لجستیک چنددوره‌ای سه‌سطحی تحت تقاضای نامعین در حرکت رفت و تقاضای قطعی مشتریان در حرکت برگشت به‌منظور حداکثرسازی سود ارائه دادند [۱۱]. در پژوهش ژو و همکاران در سال ۲۰۱۳ که به زنجیره‌های تأمین چندسطحی مربوط است [۱۲]، زنجیرهٔ سطوح زنجیرهٔ تأمین به‌صورت شبکه درنظر گرفته شده است.

به‌منظور نزدیک‌ترکردن مدل‌ها به دنیای واقعی و شرایط حاکم بر صنایع و زنجیرهٔ تأمین مربوط به آن‌ها، در بسیاری از پژوهش‌های به بررسی مسائل چندهدفه در حوزهٔ کنترل موجودی پرداخته شده است. در میان موضوعات گوناگون برای زنجیره‌های تأمین بسیاری از آن‌ها به مسائل مربوط به مکان‌یابی، کاهش سرمایهٔ درگیر در بخش انبارها و افزایش قابلیت اطمینان و ارسال به مشتریان در کنار حداقل‌کردن هزینهٔ کل زنجیره تأمین پرداخته‌اند.

یکی از مهم‌ترین تصمیم‌های مدیران عملیاتی، مکانیابی تسهیلات تولیدی جدید است. بطوریکه با ظهور مدیریت زنجیرهٔ تأمین به‌عنوان مهم‌ترین مرز رقابتی، این موضوع اهمیت بیشتری پیدا می کند. مسائل مکان‌یابی عموماً به‌دنبال کاهش هزینه و افزایش رضایت مشتریان هستند. تصمیم‌گیری دربارهٔ مکان تسهیلات از جمله تصمیم‌های راهبردی است که رابطه‌هایی را برای تصمیم‌گیری‌های دیگر زنجیره ایجاد می‌کند؛ بنابراین هرچقدر این تصمیم‌ها علمی‌تر و درست‌تر باشد، به همان میزان تصمیم‌گیری‌های دیگر اثربخشی بیشتری خواهد داشت. مکان‌یابی مراکز توزیع به‌دنبال انتخاب مراکز توزیع از مجموعه بالقوه است؛ به‌گونه‌ای که هزینه‌های مربوطهٔ کل کمینه شود. همچنین بسیاری از پژوهشگران به بررسی افزایش سطح خدمت‌رسانی به مشتریان از نظر زمان ارسال یا میزان ارسال در کنار حداقل‌کردن هزینه‌ها پرداخته‌اند. بدیهی است یکی از عوامل مهم رضایت مشتریان به‌عنوان هدف نهایی زنجیره‌های تأمین، دریافت محصول مورد نیاز آن‌ها به مقدار کافی است. درواقع زنجیره‌های تأمین به داشتن مراکز توزیع قابل‌اطمینان نیاز دارند که بتوانند حداکثر ارسال به مشتریان را امکان‌پذیر کنند.

آلتیپارمک و همکاران در سال ۲۰۰۶ [۱۳]، مدل سه‌هدفهٔ حداقل‌کردن هزینهٔ کل، حداکثرسازی سرویس مشتری و حداکثرسازی توازن ظرفیت بهره‌برداری را برای مراکز توزیع مدلی ارائه دادند. جعفری و همکاران [۱۴] نیز در سال ۲۰۱۰، به بررسی مدل مکان‌یابی چندتسهیلی پرداختند که هدف آن حداقل‌کردن هزینه بود. در مدل مسئله، تابع مطلوبیت به‌عنوان هدف دوم با اهداف حداقل‌کردن هزینهٔ کل و حداکثرکردن مطلوبیت درنظر گرفته شده که برای حل آن از روش LP-متریک استفاده شده است. یزدیان و همکاران در سال ۲۰۱۱ [۱۵] مدل برنامه‌ریزی را برای مراکز توزیع و تخصیص تقاضای مشتریان ارائه کردند که در آن به تعیین مکان تسهیلات و مقدار حمل‌ونقل میان هر دو لایهٔ متوالی از زنجیرهٔ تأمین پرداخته شده است. مکان‌یابی مراکز توزیع و حمل‌ونقل محصولات نیز تابع هدف این مدل است. همچنین بسیاری از مقالات به یکپارچه‌سازی سیستم خرید-تولید-توزیع پرداختند. پور روستا و همکاران در سال ۲۰۱۱ مدل برنامه‌ریزی چندمحصولی چنددوره‌ای خرید-تولید-توزیع را در زنجیرهٔ تأمین غیرقطعی در قالب برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط فازی به‌منظور نزدیک‌ترکردن مقادیر پارامترها به دنیای واقعی ارائه دادند. هدف این مدل، حداقل‌کردن هزینه‌های خرید، راه‌اندازی، تولید، نگهداری و حمل‌ونقل است [۱۶]. رزمی و همکاران در سال ۲۰۱۳ [۱۷]، مدل تک‌محصولی تک‌دوره‌ای را در زنجیرهٔ تأمین دوسطحی ارائه دادند که متشکل از تولید، انتقال و مکان مشتریان و مجموعه‌ای از انبارهای بالقوهٔ دردسترس است که در معرض اختلال و شکست قرار دارند. در این مسئله، چندین سناریو با احتمال مشخص براساس میزان تقاضا، شکست تسهیلات، هزینه‌های حمل و انبارش وجود دارد. از اهداف این مدل حداقل‌کردن هزینه‌ها و حداکثرکردن میزان پوشش‌دهی تقاضای مشتریان است. عرب‌زاد و همکاران در سال ۲۰۱۴ [۱۸] مدلی سه‌هدفه را برای شبکه‌های توزیع ارائه کردند که هدف از آن افزایش کارایی و پاسخگویی به مشتری بود. در این مسئله، زنجیرهٔ

www.SID.ir

Archive of SID

سه‌سطحی شامل یک مرکز تولیدی، چندین مرکز توزیع و چند مشتری نهایی درنظر گرفته شده است و فرض می‌شود میان مرکز تولیدی و گره‌های توزیع‌کنندگان، گزینه‌های حمل متفاوتی وجود دارد. مسئلهٔ انتخاب مراکز توزیع و تخصیص مقادیر حمل به گزینه‌های حمل متفاوت در این مدل درنظر گرفته شده است. درمورد تابع هدف زمان، تعجیل و تأخیر در این مدل، جریمه‌ای برای رسیدن زودهنگام یا دیرتر از زمان موردنظر است. همچنین توابع کیفیت و هزینهٔ موجودی نیز در مدل مدنظر قرار گرفته است. جیانگ و همکاران در سال ۲۰۱۴ [۱۹]، به‌کمک ترکیب روش‌های کیفی و کمی، مدلی برای مکان‌یابی ارائه دادند که در آن، طرح انتخاب مکان اولیه با استفاده از فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی از تجزیه و تحلیل عوامل مؤثر بر انتخاب مکان به‌دست می‌آید. درنهایت از مدل عدد صحیح مختلط برای انتخاب مکان نهایی استفاده شد. در مدل پیشنهادی، علاوه‌بر عوامل عمومی مؤثر، حفاظت از محیط، مدیریت مرکز توزیع و رضایت مشتری درنظر گرفته شد و تجزیه و تحلیل آن با استفاده از الگوریتم ژنتیک صورت گرفت. براساس نتایج، ترکیب روش کمی و کیفی می‌تواند مدل انتخاب سایت جامع‌تر و دقیق‌تر را به‌کمک مطابقت نزدیک با شرایط عملی ارائه دهد. احمدی و همکاران در سال ۲۰۱۵ [۲۰]، مسئلهٔ غیرخطی عدد صحیح مختلط چندمحصولی مکان‌یابی-موجودی را در شبکهٔ توزیع زنجیرهٔ تأمین ارائه کردند که مکان‌یابی-تخصیص حداکثرکردن سود کل ارائهٔ خدمت به مشتریان محسوب می‌شود. مرتضایی و همکاران در سال ۲۰۱۵ [۲۱] مدل چندمحصولی چنددوره‌ای را ارائه کردند که کمینه‌کردن هزینه‌ها و افزایش سطح تقاضای مشتری به‌کمک ماکزیمم‌کردن نسبت اختلاف تقاضا و کمبود به تقاضا از اهداف آن است. پسندیده و همکاران در سال ۲۰۱۵ [۲۳] مدلی چندمحصولی و چنددوره‌ای را برای زنجیره‌ای سه‌سطحی ارائه کردند که هزینه و قابلیت اطمینان انبار در آن درنظر گرفته شده است. یکی از توابع این مدل به‌صورت حاصل‌ضرب میزان محصول ارسالی از انبار در احتمال خرابی انبار از زمانی به بعد است که نشان‌دهندهٔ متوسط محصول ارسالی است. اهداف دوم این مدل نیز ماکزیمم‌کردن میزان ارسالی از انبار در کنار مینیمم‌کردن هزینه‌هاست. پسندیده و همکاران در سال ۲۰۱۵ [۲۴] مدل دوهدفه‌ای در زنجیرهٔ سه‌سطحی ارائه کردند که در آن قابلیت اطمینان انبارها مدنظر قرار گرفته است. یکی از مهم‌ترین اهداف زنجیرهٔ تأمین رضایت مشتریان است؛ بنابراین قابلیت اطمینان در ارسال محصولات کافی به مشتریان اهمیت بسیاری دارد.

افزون بر آنچه بیان شد، ارسال میزان مورد نیاز به مشتریان نباید سبب افزایش سطح موجودی‌های مراکز توزیع (انبارها) و افزایش سرمایهٔ درگیر در این مراکز شود. درنتیجه مدیریت سطح موجودی انبارها اهمیت می‌یابد. همچنین در صورتی که زنجیره‌ای بخواهد با سطح بهینه، موجودی ارسال کافی به مشتریان را درنظر داشته باشد، باید مسئلهٔ زمان را نیز مدنظر قرار دهد.

کمالی و همکاران در سال ۲۰۱۱ [۲۵] مدل چهارهدفه‌ای را برای زنجیرهٔ تأمین دوسطحی (خریدار-فروشنده) ارائه دادند. در این مدل، زمان تحویل در کنار اهداف کیفیت، ارزش خرید و هزینهٔ زنجیرهٔ تأمین درنظر گرفته شده است. محدودیت‌های مورد نظر در این مدل عبارت‌اند از: محدودیت تساوی کل تولید و تقاضا، ظرفیت تولید، مقدار سفارش و تخفیف. علاوه‌براین، الگوریتمی برای انتخاب تأمین‌کننده ارائه شده است. ازگن و گلسان در سال ۲۰۱۴ [۲۵]، مدل برنامه‌ریزی خطی احتمالی را به‌منظور بهینه‌کردن دو تابع هدف حداقل‌سازی هزینه و حداکثرسازی سود در زنجیرهٔ تأمین چهارسطحی شامل تأمین‌کننده، کارخانه‌ها، مراکز توزیع و مشتریان شبکهٔ زنجیره ارائه کردند. درنهایت کارایی مدل مسئله با مثال عددی نشان داده شده است. همان‌طور که پیش‌تر بیان شد، حجم سرمایهٔ درگیر در بخش انبار توزیع‌کنندگان بسیار اهمیت دارد و بهینه‌کردن میزان انبارش در این خصوص بسیار تأثیرگذار است. همچنین با بهینه‌کردن سطح انبارش، زمان ارسال و میزان خدمت‌دهی به مشتریان نیز باید مدنظر قرار بگیرد. صراف‌ها و همکاران در سال ۲۰۱۵ [۲۶] مدل شبکهٔ تولید-توزیع دوهدفهٔ چنددوره‌ای را ارائه کردند که برای سیستم تولید کارگاهی ارائه شده است. علاوه‌بر حداقل‌کردن هزینه‌ها، کمینه‌کردن زمان تأخیر نیز از اهداف این مدل است. صادقی و همکاران در سال ۲۰۱۵ [۲۷] مدل دوهدفهٔ موجودی تحت مدیریت

www.SID.ir

Archive of SID

فروشنده و تحت شرایط عدم قطعیت را ارائه دادند که در آن، عدم قطعیت تقاضا به‌صورت عدد فازی نشان داده شده است. این مدل به‌دنبال حداقل‌کردن فضای انبار در کنار کمینه‌کردن هزینه‌هاست. محدودیت‌های بودجه و تعداد سفارش‌ها نیز از جمله محدودیت‌های مسئلهٔ مذکور است.

بدیهی است در صورت ذخیرهٔ اضافی محصولات در بخش انبار، سرمایهٔ درگیر در این بخش زیاد می‌شود که به‌صرفه نیست. درواقع باید مقدار موجودی بخش انبار تا حد ممکن در سطح بهینه قرار داشته باشد؛ زیرا اضافهٔ موجودی منجر به افزایش هزینه‌ها می‌شود و کمبود آن نیز هزینه‌هایی را به‌دنبال خواهد داشت، اما در صورت انبارش به مقدار لازم می‌توان از مزایای نگهداری موجودی‌ها که بر همه آشکار است بهره برد. از سوی دیگر، کاهش فضای انبارش و میزان موجودی به هماهنگی و کنترل بیشتری در امر ارسال محصولات نیاز دارد که در اینجا مسئلهٔ زمان بسیار اهمیت دارد؛ زیرا ارسال همراه با تأخیر یا زودتر از موعد، مشکلاتی را برای سیستم به‌وجود می‌آورد؛ از این‌رو زمان ارسال یکی از مسائل مهم خواهد بود. همچنین مشتریان عناصر کلیدی زنجیره‌های تأمین هستند که علاقه دارند محصولات را به مقدار کافی و با کمترین هزینه دریافت کنند. به همین دلیل مقدار ارسال و هزینهٔ کل در زنجیره‌های تأمین اهمیت می‌یابد. با توجه به پیشینهٔ این مسئله، همهٔ این عوامل در کنار هم بررسی نشده است. در جدول ۱، شکاف پژوهش‌های مربوط آمده است.

جدول ۱. شکاف پژوهشی

مؤلفان	ویژگی‌های مسئله				اهداف مسئله					
	تعداد سطوح زنجیره	چندمحصولی	چنددوره‌ای	غیرقطعی	هزینهٔ موجودی	زمان	فضای انبارش	قابلیت اطمینان	مکان‌یابی	نرخ خرابی
صادقی و همکاران (۲۰۱۵)		■	■	■			■			
عرب‌زاد و همکاران (۲۰۱۵)		■			■	■			■	■
پسندیده و همکاران (۲۰۱۵)		■	■		■			■	■	
مدل پیشنهادی	■	■	■	■	■	■	■	■	■	

البته در برخی مطالعات، ظرفیت و زمان دردسترس محدود جزئی از محدودیت‌ها هستند. در این شرایط ظرفیت معینی وجود دارد و زمان‌های تولیدی درنظر گرفته می‌شوند، اما در پژوهش حاضر، با درنظرگرفتن ظرفیت و زمان‌های تولید و ارسال به‌عنوان توابع هدف در کنار مکان‌یابی انبار توزیع‌کنندگان، امکان انتخاب و برپایی مکان‌های توزیع با فضای انبارش بهینه و کنترل زمان ارسال محصولات در کنار برآورده‌کردن نیاز مشتریان با کمترین هزینه ایجاد می‌شود.

مدل پیشنهادی

در این بخش، مدل چندمحصولی چنددوره‌ای برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط غیرخطی پیشنهادی ارائه می‌شود.

فرضیه‌های مدل پیشنهادی

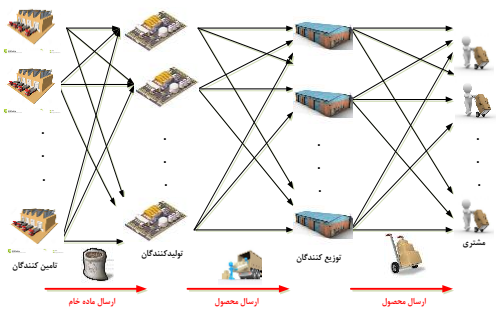
- در مدل مسئله فرض شده است که کارخانه‌های تولیدی چند محصول را تولید می‌کنند.
- برنامه‌ریزی مسئله برای چند دوره‌ای درنظر گرفته شده است.
- زنجیرهٔ تأمین مدل چهارسطحی درنظر گرفته شده است.
- زمان بین دو شکست متوالی انبار توزیع‌کنندگان در ارسال محصولات به مشتریان متغیر تصادفی است و از توزیع‌نمایی پیروی می‌کند.
- به‌دلیل محدودیت در فضای انبارش مسئله برای ارسال زودتر و دیرتر از موعد محصولات به توزیع‌کنندگان جریمه درنظر می‌گیرد.

www.SID.ir

Archive of SID

- در مسئله فرض می‌شود که مادهٔ خام به مقدار کافی در دسترس است و کمبود مادهٔ خام وجود ندارد، اما برای محصولات تولیدی که از سوی کارخانه‌ها به مراکز توزیع و از مراکز توزیع به مشتریان ارسال می‌شوند، کمبود از نوع پس‌افت وجود دارد.
- به‌منظور کاهش عدم اطمینان، ماکزیمم‌کردن حجم محصول ارسالی در زمان مناسب و به‌موقع و انتخاب مکان‌های مناسب برای توزیع‌کنندگان درنظر گرفته شده است.
- هزینهٔ خرید در دوره‌های مختلف برای محصول i و مادهٔ خام i' متفاوت است.
- هزینهٔ حمل گزینه‌های حمل در دوره‌های مختلف متفاوت است.
- مکان‌یابی توزیع‌کنندگان از میان مجموعهٔ مکان‌های بالقوه از تصمیم‌های راهبردی مسئلهٔ دردسترس است.
- مدل مسئله دربارهٔ میزان ماده خام ارسالی از سوی هر تأمین‌کننده، مقدار محصولی که در هر کارخانه در هر دوره باید تولید شود، موجودی محصولات در مراکز توزیع و کارخانه‌ها، مقدار کمبود مراکز توزیع در همهٔ دوره‌ها برنامه‌ریزی می‌کند.

در شکل ۱، مدل مفهومی مسئلهٔ پیشنهادی ارائه شده است. براین‌اساس، زنجیرهٔ تأمین مسئله چهار سطح تأمین‌کننده، تولیدکننده، توزیع‌کننده و مشتریان نهایی را شامل می‌شود.



شکل ۱. مدل مفهومی زنجیرهٔ تأمین مسئلهٔ پیشنهادی

شاخص‌ها

g: شاخص مورد استفاده برای محصولات تولیدی: $g = 1,2,\dots,G$

p: شاخص مورد استفاده برای کارخانه‌ها: $p = 1,2,\dots,P$

d: شاخص مورد استفاده برای مراکز توزیع: $d = 1,2,\dots,D$

s: شاخص مورد استفاده برای تأمین‌کننده: $s = 1,2,\dots,S$

t: شاخص مورد استفاده برای یک دورهٔ زمانی: $t = 1,2,\dots,T$

r: شاخص مورد استفاده برای مادهٔ خام مصرفی: $r = 1,2,\dots,R$

c: شاخص مورد استفاده برای مشتری نهایی: $c = 1,2,\dots,C$

j: شاخص مورد استفاده برای مکان‌های بالقوهٔ مراکز توزیع: $j = 1,2,\dots,J$

پارامترها

O_{pdt}^{g}: کل هزینهٔ سفارش‌دهی محصول g که از مرکز توزیع d به کارخانهٔ p در دورهٔ t سفارش داده می‌شود.

RP^{rg}: میزان مادهٔ خام r که برای تولید یک واحد محصول g استفاده می‌شود.

D_{pdt}^{g}: میزان تقاضای توزیع‌کنندهٔ d برای محصول g به کارخانهٔ p در دورهٔ t

D_{dct}^{g}: میزان تقاضای مشتری نهایی c برای محصول g به کارخانهٔ p در دورهٔ t

SC_{spt}^{r}: هزینهٔ حمل واحد مادهٔ خام r از تأمین‌کنندهٔ s به تولیدکنندهٔ p در دورهٔ t

SC_{pdt}^{g}: هزینهٔ حمل واحد محصول g از کارخانهٔ m به توزیع‌کنندهٔ d در دورهٔ t

SC_{dct}^{g}: هزینهٔ حمل واحد محصول g از مرکز توزیع d به مشتری c در دورهٔ t

PC_{pdt}^{g}: هزینهٔ خرید واحد محصول g از مرکز توزیع d برای مشتری c در دورهٔ t

PC_{spt}^{r}: هزینهٔ خرید واحد مادهٔ خام r از تأمین‌کنندهٔ s برای کارخانهٔ p در دورهٔ t

BC_{pdt}^{g}: هزینهٔ هر واحد کمبود محصول g که باید از کارخانهٔ p به مرکز توزیع d در دورهٔ t ارسال می‌شد

BC_{dct}^{g}: هزینهٔ هر واحد کمبود محصول g که باید از مرکز توزیع d به مشتری c در دورهٔ t ارسال می‌شد

MC_{pt}^{g}: هزینهٔ تولید هر واحد محصول g در کارخانهٔ p در دورهٔ t

W_{dt}^{g}: فضای انبارش لازم برای هر واحد محصول g در انبار توزیع‌کنندهٔ d در دورهٔ t

www.SID.ir

Archive of SID

HC_{pt}^{g}: هزینهٔ نگهداری واحد محصول g در مرکز تولیدی p در انتهای دورهٔ t

HC_{dt}^{g}: هزینهٔ نگهداری واحد محصول g در مرکز توزیع d در انتهای دورهٔ t

E_{pdt}^{g}: زمان تعجیل در رسیدن محصول g به مرکز توزیع d در دورهٔ t

λ_{dt}: نرخ خرابی انبار d در دورهٔ t

T_{pdt}^{g}: زمان تأخیر در رسیدن محصول g به مرکز توزیع d در دورهٔ t

COT_{pdt}^{g}: زمان ارسال واقعی محصول g از کارخانهٔ p به مرکز توزیع d در دورهٔ t

dd_{pdt}^{g}: موعد تحویل محصول g از کارخانهٔ p به مرکز توزیع d در دورهٔ t

α_{pdt}^{g}: جریمهٔ هر واحد زمان تعجیل در رسیدن محصول g از کارخانهٔ p به مرکز توزیع d در دورهٔ t

β_{pdt}^{g}: جریمهٔ هر واحد زمان تأخیر در رسیدن محصول g از کارخانهٔ p به مرکز توزیع d در دورهٔ t

F_{dj}: هزینهٔ ثابت برپایی مرکز توزیع d در مکان j

ε مقدار بسیار کوچک

متغیرها

q_{pdt}^{g}: میزان ارسال محصول g که از کارخانهٔ p به مرکز توزیع d در دورهٔ t ارسال می‌شود

q_{spt}^{r}: میزان ارسال مادهٔ خام r از تأمین‌کنندهٔ s به کارخانهٔ p در دورهٔ t

q_{dct}^{g}: میزان ارسال محصول g از مرکز توزیع d به مشتری c در دورهٔ t

q_{dct}^{g}: میزان ارسال محصول g از مرکز توزیع d به مشتری c در دورهٔ t

b_{pdt}^{g}: میزان کمبود در ارسال محصول g از کارخانهٔ p به مرکز توزیع d در دورهٔ t

b_{dct}^{g}: میزان کمبود در ارسال محصول g از مرکز توزیع d به مشتری c در دورهٔ t

I_{pt}^{g}: مقدار موجودی محصول g در کارخانهٔ p دورهٔ t

I_{dt}^{g}: سطح موجودی محصول g در مرکز توزیع d در انتهای دورهٔ t

P_{pt}^{g}: میزان تولید محصول g در کارخانهٔ p در دورهٔ t

y_{dj}: متغیر صفر و ۱، در صورتی که مرکز توزیع d در مکان j دایر شود، ۱ و در غیر این صورت صفر است.

مدل‌سازی

مدل پیشنهادی ارائه‌شده به‌دنبال کاهش سرمایهٔ درگیر در موجودی‌ها و افزایش اطمینان توزیع‌کننده‌ها در ارسال محصولات به مشتریان است. در این مدل قابلیت اطمینان انبار در ارسال محصولات کافی به مشتریان افزایش می‌یابد. از دیگر راه‌های کاهش عدم اطمینان در بخش توزیع‌کنندگان، مکان‌یابی درست مراکز توزیع از میان مکان‌های بالقوه است. به‌منظور کاهش سرمایهٔ درگیر و هزینه‌ها، توابع هدف حداقل‌کردن هزینه‌های موجودی و فضای انبار درنظر گرفته شده‌اند. به‌دلیل کمبود فضای نگهداری موجودی محصولات در بخش انبار توزیع‌کنندگان، مدل پیشنهادی سعی می‌کند با در نظرگرفتن جریمه برای ارسال زودتر و دیرتر از موعد، محصولات را در زمان کافی به توزیع‌کنندگان ارسال کند. مدل ر برنامه‌ریزی غیرخطی عدد صحیح مختلط چندهدفهٔ مسئلهٔ دردسترس به‌صورت زیر است.

$$
\begin{aligned}
MinZ_1 = & \sum_{d=1}^{D}\sum_{j=1}^{J}(F_{dj}y_{dj}) \\
& + \sum_{g=1}^{G}\sum_{p=1}^{P}\sum_{d=1}^{D}\sum_{t=1}^{T}(O_{pdt}^{g}\frac{q_{pdt}^{g}}{q_{pdt}^{g}+\varepsilon}) \\
& + \sum_{r=1}^{R}\sum_{s=1}^{S}\sum_{p=1}^{P}\sum_{t=1}^{T}(SC_{spt}^{r}q_{spt}^{r}) \\
& + \sum_{g=1}^{G}\sum_{p=1}^{P}\sum_{d=1}^{D}\sum_{t=1}^{T}(SC_{pdt}^{g}q_{pdt}^{g}) \\
& + \sum_{g=1}^{G}\sum_{d=1}^{D}\sum_{c=1}^{C}\sum_{t=1}^{T}(SC_{dct}^{g}q_{dct}^{g}) \\
& + \sum_{g=1}^{G}\sum_{p=1}^{P}\sum_{d=1}^{D}\sum_{t=1}^{T}(b_{pdt}^{g}BC_{pdt}^{g}) \\
& + \sum_{g=1}^{G}\sum_{d=1}^{D}\sum_{c=1}^{C}\sum_{t=1}^{T}(b_{dct}^{g}BC_{dct}^{g}) + \sum_{g=1}^{G}\sum_{p=1}^{P}\sum_{t=1}^{T}(MC_{pt}^{g}P_{pt}^{g}) \\
& + \sum_{g=1}^{G}\sum_{p=1}^{P}\sum_{d=1}^{D}\sum_{t=1}^{T}(PC_{pdt}^{g}q_{pdt}^{g}) \\
& + \sum_{r=1}^{R}\sum_{s=1}^{S}\sum_{p=1}^{P}\sum_{t=1}^{T}(PC_{spt}^{r}q_{spt}^{r}) \\
& + \sum_{g=1}^{G}\sum_{p=1}^{P}\sum_{t=1}^{T}(HC_{pt}^{g}I_{pt}^{g}) + \sum_{g=1}^{G}\sum_{d=1}^{D}\sum_{t=1}^{T}(HC_{dt}^{g}I_{dt}^{g})
\end{aligned}
\qquad (۱)
$$

$$
MinZ_2 = \sum_{g=1}^{G}\sum_{d=1}^{D}\sum_{t=1}^{T}[(\sum_{p=1}^{P}(q_{pdt}^{g}+I_{pdt}^{g}))\times W_{dt}^{g}] \qquad (۲)
$$

$$
\begin{aligned}
MinZ_3 = & [\sum_{g=1}^{G}\sum_{p=1}^{P}\sum_{d=1}^{D}\sum_{t=1}^{T}(\alpha_{pdt}^{g}\times E_{pdt}^{g}\times q_{pdt}^{g})] \\
& + [\sum_{g=1}^{G}\sum_{p=1}^{P}\sum_{d=1}^{D}\sum_{t=1}^{T}(\beta_{pdt}^{g}\times T_{pdt}^{g}\times q_{pdt}^{g})]
\end{aligned}
\qquad (۳)
$$

www.SID.ir

Archive of SID

$$MaxZ_4 = [\sum_{g=1}^{G}\sum_{d=1}^{D}\sum_{c=1}^{C}\sum_{t=1}^{T}(e^{-\lambda_{dt}X} \times q_{dct}^{g})] \quad (۴)$$

S.t:

$$I_{pt}^{g} + \sum_{d=1}^{D} q_{pdt}^{g} = P_{pt}^{g}, \quad \forall g,d,t \quad (۵)$$

$$\sum_{p=1}^{P}(q_{pdt}^{g} + b_{pdt}^{g}) = \sum_{p=1}^{P} D_{pdt}^{g}, \quad \forall g,d,t \quad (۶)$$

$$\sum_{c=1}^{C} q_{dct}^{g} \le \sum_{p=1}^{P} q_{pdt}^{g}, \quad \forall d,t \quad (۷)$$

$$q_{spt}^{r} \ge [RP^{rg} \times P_{pt}^{g}], \quad \forall r,s,p,t \quad (۸)$$

$$I_{pd,t-1}^{g} + \sum_{p=1}^{P} q_{pdt}^{g} = (\sum_{c=1}^{C} q_{dct}^{g}) + I_{dt}^{g}, \quad \forall g,d,t \quad (۹)$$

$$COT_{pdt}^{g} - dd_{pdt}^{g} \le T_{pdt}^{g}, \quad \forall g,p,d,t \quad (۱۰)$$

$$dd_{pdt}^{g} - COT_{pdt}^{g} \le E_{pdt}^{g}, \quad \forall g,p,d,t \quad (۱۱)$$

$$b_{dct}^{g} = b_{dc,t-1}^{g} + D_{dct}^{g} - q_{dct}^{g}, \quad \forall g,d,c,t \quad (۱۲)$$

$$b_{pdt}^{g} = b_{pd,t-1}^{g} + D_{pdt}^{g} - q_{pdt}^{g}, \quad \forall g,p,d,t \quad (۱۳)$$

$$\sum_{d=1}^{D}\sum_{j=1}^{J} y_{dj} = R \quad (۱۴)$$

$$\sum_{d=1}^{D} y_{dj} \le 1, \quad \forall j \quad (۱۵)$$

رابطهٔ ۱ تابع هدف هزینه‌های موجودی‌ها را درنظر می‌گیرد. این هزینه‌ها به‌ترتیب عبارت‌اند از: هزینهٔ ثابت برپایی مراکز توزیع، سفارش‌دهی، حمل مواد خام به مراکز تولیدی، حمل محصولات از کارخانه‌ها به مراکز توزیع و حمل از مراکز توزیع به مشتریان، هزینهٔ کمبود محصولات ارسالی در مسیر میان کارخانه‌ها و توزیع‌کنندگان و کمبود محصولات ارسالی به مشتریان، هزینهٔ خرید مواد خام از تأمین‌کنندگان و خرید محصولات از تولیدکنندگان توسط مراکز توزیع، هزینهٔ تولید محصولات در کارخانه‌ها و نگهداری محصولات در مراکز تولیدی و انبار توزیع‌کنندگان. تابع هدف دوم مسئله به‌دنبال حداقل‌کردن فضای انبارش توزیع‌کنندگان است که در رابطهٔ ۲ آمده است. همان‌طور که پیش‌تر بیان شد، به‌دلیل کمترشدن فضای انبارش به کنترل زمانی در ارسال محصولات نیاز است. برای این منظور رابطهٔ ۳ که حداقل‌کردن زمان تأخیر و تعجیل در ارسال محصولات از تولیدکنندگان به توزیع‌کنندگان محسوب می‌شود، سومین تابع هدف تعریف شده است. همچنین تابع هدف چهارم مدل پیشنهادی به‌دنبال افزایش قابلیت اطمینان در ارسال محصولات کافی به مشتریان است. این تابع زمان میان دو شکست انبار را متغیر تصادفی فرض می‌کند که توزیع نمایی دارد و در آن حجم ارسالی به مشتریان ماکزیمم می‌شود؛ با این فرض که توزیع‌کنندگانی که در طول بازهٔ هر دوره برنامه‌ریزی، احتمال بالاتری برای مواجه‌نشدن با مشکل دارند، امکان ارسال حجم بیشتری به مشتریان را داشته باشند. همچنین به‌منظور درنظرگرفتن برخی شرایط حاکم بر دنیای واقعی، محدودیت‌هایی در مدل درنظر گرفته شده است. براساس رابطهٔ ۵، میزان موجودی کارخانه و مقداری که در همان دوره به تمامی توزیع‌کنندگان ارسال می‌شود، برابر میزان تولید آن مرکز در آن دوره است. در محدودیت ۶، میزان ارسال‌ها به هر مرکز توزیع در هر دوره و میزان کمبود آن مرکز در همان دوره برابر میزان تقاضایی است که آن انبار از محصول g در آن دوره داشته است. براساس رابطهٔ ۷، مجموع میزان ارسال از مرکز توزیع d به مشتریان باید کوچک‌تر-مساوی مجموع مقادیر ارسال‌شده از کارخانه‌ها به همان مرکز توزیع باشد. رابطهٔ ۸ بیان می‌کند میزان ارسال مادهٔ خام از تأمین‌کنندهٔ s به کارخانهٔ p در دورهٔ t بیشتر از مقدار مورد نیاز است و کمبود مادهٔ خام وجود ندارد. معادلهٔ ۹، معادلهٔ تعادلی مربوط به مقادیر ارسال و موجودی‌های بین کارخانه و مراکز توزیع و مراکز توزیع و مشتریان را نشان می‌دهد. با توجه به رابطهٔ ۱۰، اختلاف‌زمان ارسال و موعد تحویل باید کمتر از مقدار تأخیر مجاز تعیین‌شده باشد. همچنین رابطهٔ ۱۱ نشان می‌دهد اختلاف موعد تحویل و زمان ارسال باید از تعجیل مجاز تعیین‌شده کمتر باشد. در روابط ۱۲ و ۱۳ معادلات تعادلی مربوط به کمبود در مسیر میان کارخانه‌ها و توزیع‌کنندگان و توزیع‌کنندگان و مشتریان مشخص‌شده است. رابطهٔ ۱۴ نشان می‌دهد تعداد R مرکز توزیع درمجموع دایر می‌شود. همچنین براساس معادلهٔ ۱۵ در هر مکان تنها یک مرکز توزیع دایر می‌شود.

بحث و یافته‌ها

در این پژوهش، از دو روش‌های پرکاربرد یعنی روش کلاسیک ε-محدودیت و تابع حددار برای حل مدل پیشنهادی استفاده شد. در این روش‌ها، یکی از اهداف مدل چهارهدفه، هدف اصلی درنظر گرفته شده است و سایر اهداف به محدودیت‌ها اضافه شده‌اند. مثال‌های عددی

www.SID.ir

Archive of SID

ارائه‌شده برای مدل پیشنهادی در نرم‌افزار GAMS 24.1.2 روی کامپیوتر پنج‌هسته‌ای با حافظهٔ 4G و 2.4GHz حل شد و در گام بعدی مقایسهٔ نتایج دو روش صورت گرفت.

روش اپسیلون محدودیت

استفاده از روش E-محدودیت به‌منظور کاهش مشکلاتی که روش مجموع وزنی در حل مسائل چندهدفه با فضای هدف غیرمحدب دارد، پیشنهاد شده است. در روش E-محدودیت با حفظ تنها یک تابع هدف و درنظرگرفتن سایر توابع به‌عنوان مجموعهٔ محدودیت‌ها با مقادیر سمت راست قابل‌تعریف توسط کاربر، مدل‌سازی جدیدی از مسئلهٔ بهینه‌سازی چندهدفه ایجاد می‌شود. هر بار براساس یکی از توابع هدف، مسئله حل شده و جواب بهینه ایجاد می‌شود. مهم‌ترین مزیت این روش کاربرد آن در مسائلی با فضای هدف محدب یا غیرمحدب است. همچنین با تغییر مقدار ε می‌توان جواب‌های بهینهٔ مختلفی یافت. درنتیجه این روش در مقایسه با روش وزن‌دهی قادر به یافتن مجموعهٔ متنوع‌تری از جواب‌های بهینهٔ پارتوست. در مدل پیشنهادی تابع هزینه‌ها به‌عنوان تابع هدف اصلی انتخاب شده است و سایر توابع به محدودیت‌های مدل اضافه می‌شوند.

روش تابع حددار

در این روش مانند روشε- محدودیت تابع هدف با اولویت بالاتر به‌عنوان هدف مدنظر قرار می‌گیرد و سایر اهداف در محدودیت‌ها گنجانده می‌شوند. حدود بالا و پایین محدودیت مربوط به هر هدف با استفاده از مقادیر بهینهٔ توابع هدف موجود به‌دست می‌آید.

حل مثال‌های عددی

به‌منظور بررسی عملکرد مدل پیشنهادی، مثال‌های عددی به‌صورت تصادفی در بازه‌هایی شدنی براساس مطالعات مشابه تولید شده است. جدول ۱ بازه پارامترهای مربوط به مثال‌های عددی تولیدشده را نشان می‌دهد.

در جدول ۳ ترکیبات مختلف εهای توابع مختلف و جواب‌های پارتوی حاصل از این ترکیبات برای مثال عددی دوم آمده است. به‌دلیل زیادبودن تعداد پاسخ‌ها و ترکیبات بخشی از نتایج در جدول ۳ آمده است.

جدول ۲. بازهٔ پارامترهای مثال عددی

پارامتر	بازه	پارامتر	بازه
BC^{θ}_{kct}:	[۳۰۰/۳۷۰]	O^{θ}_{jkdt}:	[۴۰۰/۵۱۰]
MC^{θ}_{jkt}	[۴۰۰/۵۰۰]	$RP^{t\theta}$:	[۴۰/۶۰]
W^{θ}_{dt}:	[۲۲۵۰/۲۴۰۰]	D^{θ}_{jkdt}:	[۷۲۰/۹۰۰]
HC^{θ}_{jkt}:	[۲۵۰/۴۰۰]	D^{θ}_{kct}	[۶۵۰/۸۵۰]
HC^{θ}_{dt}	[۲۵۰/۴۰۰]	SC^{t}_{sjst}	[۵۰۰/۹۰۰]
E^{θ}_{jkdt}	[۲/۳]	SC^{θ}_{jkdt}	[۵۰۰/۹۰۰]
λ_{dt}	[۴/۵]	SC^{θ}_{kct}	[۴۰۰/۵۸۰]
T^{θ}_{jkdt}	[۴/۶]	PC^{θ}_{jkdt}	[۵۰۰/۵۷۰]
β^{θ}_{jkdt}	[۳۰۰/۴۰۰]	α^{θ}_{jkdt}	[۲۰۰/۳۵۰]
ε	مقدار بسیار کوچک	F_{dij}	[۴۸۰۰,۶۰۰۰]
COT^{θ}_{jkdt}	[۶/۸]	PC^{t}_{sjst}	[۳۰۰/۳۶۰]
dd^{θ}_{jkdt}	[۵/۸]	BC^{θ}_{jkdt}	[۲۰۰/۲۷۰]

www.SID.ir

Archive of SID

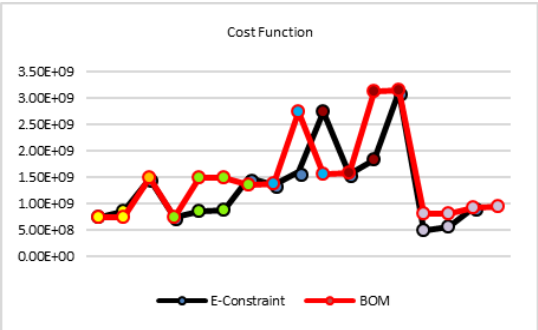
جدول ۳. مقادیر هزینهٔ مربوط به ترکیبات ε مختلف

نتایج حل						ε‌ترکیبات
تابع هدف چهارم	تابع هدف سوم	تابع هدف دوم	تابع هدف اول	تابع هدف چهارم	تابع هدف سوم	تابع هدف دوم
۱۱۰۵۱۹۰۰۰۰۰	۱۶۱۱۵۵۰۰	۱۵۰۰۷۰۰۰	۷۵۱۰۶۶۰۰۰	۰	۱۶۱۱۵۵۰۰	۱۵۰۰۷۰۰۰
۱۱۰۵۱۹۰۰۰۰۰	۱۶۱۱۵۵۰۰	۱۵۰۰۷۰۰۰	۷۵۱۰۶۶۰۰۰	۷۴۴۶۴۰۰۰۰۰	۱۶۱۱۵۵۰۰	۱۵۰۰۷۰۰۰
نشدنی	نشدنی	نشدنی	نشدنی	۱۴۸۹۲۸۰۰۰۰۰	۱۶۱۱۵۵۰۰	۱۵۰۰۷۰۰۰
نشدنی	نشدنی	نشدنی	نشدنی	۲۲۳۳۹۲۰۰۰۰۰	۱۶۱۱۵۵۰۰	۱۵۰۰۷۰۰۰
۱۱۰۵۱۹۰۰۰۰۰	۱۶۱۱۵۵۰۰	۱۵۰۰۷۰۰۰	۷۵۱۰۶۶۰۰۰	۰	۲۱۷۵۴۵۰۰	۱۵۰۰۷۰۰۰
۱۱۰۵۱۹۰۰۰۰۰	۱۶۱۱۵۵۰۰	۱۵۰۰۷۰۰۰	۷۵۱۰۶۶۰۰۰	۷۴۴۶۴۰۰۰۰۰	۲۱۷۵۴۵۰۰	۱۵۰۰۷۰۰۰
نشدنی	نشدنی	نشدنی	نشدنی	۱۴۸۹۲۸۰۰۰۰۰	۲۱۷۵۴۵۰۰	۱۵۰۰۷۰۰۰
نشدنی	نشدنی	نشدنی	نشدنی	۲۲۳۳۹۲۰۰۰۰۰	۲۱۷۵۴۵۰۰	۱۵۰۰۷۰۰۰
۱۱۰۵۱۹۰۰۰۰۰	۱۶۱۱۵۵۰۰	۱۵۰۰۷۰۰۰	۷۵۱۰۶۶۰۰۰	۰	۲۷۳۹۳۵۰۰	۱۵۰۰۷۰۰۰
۱۱۰۵۱۹۰۰۰۰۰	۱۶۱۱۵۵۰۰	۱۵۰۰۷۰۰۰	۷۵۱۰۶۶۰۰۰	۷۴۴۶۴۰۰۰۰۰	۲۷۳۹۳۵۰۰	۱۵۰۰۷۰۰۰
نشدنی	نشدنی	نشدنی	نشدنی	۱۴۸۹۲۸۰۰۰۰۰	۲۷۳۹۳۵۰۰	۱۵۰۰۷۰۰۰
نشدنی	نشدنی	نشدنی	نشدنی	۲۲۳۳۹۲۰۰۰۰۰	۲۷۳۹۳۵۰۰	۱۵۰۰۷۰۰۰
۱۱۰۵۱۹۰۰۰۰۰	۱۶۱۱۵۵۰۰	۱۵۰۰۷۰۰۰	۷۵۱۰۶۶۰۰۰	۰	۳۳۰۳۲۵۰۰	۱۵۰۰۷۰۰۰
۱۱۰۵۱۹۰۰۰۰۰	۱۶۱۱۵۵۰۰	۱۵۰۰۷۰۰۰	۷۵۱۰۶۶۰۰۰	۷۴۴۶۴۰۰۰۰۰	۳۳۰۳۲۵۰۰	۱۵۰۰۷۰۰۰
نشدنی	نشدنی	نشدنی	نشدنی	۱۴۸۹۲۸۰۰۰۰۰	۳۳۰۳۲۵۰۰	۱۵۰۰۷۰۰۰
نشدنی	نشدنی	نشدنی	نشدنی	۲۲۳۳۹۲۰۰۰۰۰	۳۳۰۳۲۵۰۰	۱۵۰۰۷۰۰۰
۱۱۰۵۱۹۰۰۰۰۰	۱۶۱۱۵۵۰۰	۱۵۰۰۷۰۰۰	۷۵۱۰۶۶۰۰۰	۰	۱۶۱۱۵۵۰۰	۵۰۳۸۵۰۰۰
۱۱۰۵۱۹۰۰۰۰۰	۱۶۱۱۵۵۰۰	۱۵۰۰۷۰۰۰	۷۵۱۰۶۶۰۰۰	۷۴۴۶۴۰۰۰۰۰	۱۶۱۱۵۵۰۰	۵۰۳۸۵۰۰۰

جدول ۴. ابعاد مثال‌های عددی طرح‌شده

اندیس	مسئلهٔ ۱	مسئلهٔ ۲	مسئلهٔ ۳	مسئلهٔ ۴	مسئلهٔ ۵	مسئلهٔ ۶
r	۲	۲	۴	۴	۴	۴
g	۲	۲	۲	۴	۴	۴
p	۲	۲	۲	۲	۳	۳
s	۲	۲	۲	۲	۲	۴
d	۲	۲	۲	۲	۲	۲
c	۲	۳	۳	۶	۶	۶
t	۲	۲	۲	۲	۲	۲
j	۲	۲	۲	۲	۲	۷

نمودارهای ۱ تا ۴ مقایسهٔ توابع هدف و زمان‌های حل حاصل از دو روش پیشنهادی به‌کار گرفته‌شده را نشان می‌دهد. در شکل ۴-۹ مقادیر تابع هدف هزینهٔ مثال‌های طراحی‌شده در دو روش پیشنهادی آمده است. نقاط هم‌رنگ در نمودار نشان‌دهندهٔ مقادیر تابع هدف در مثال عددی است. در بیشتر حل‌ها روش e-محدودیت تابع هزینهٔ کمتری ارائه می‌دهد. همچنین در برخی حل‌ها نتایج حاصل از این دو روش حل برابر است.

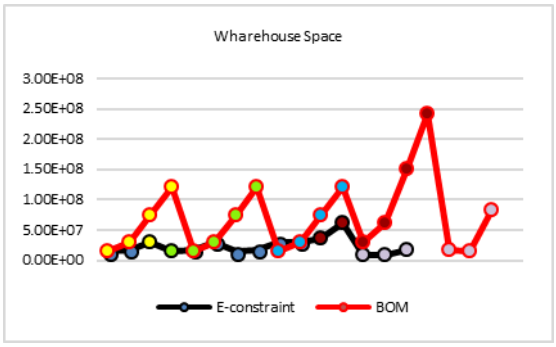


نمودار ۱. مقایسهٔ تابع هزینه در روش‌های E-محدودیت و تابع حدار

www.SID.ir

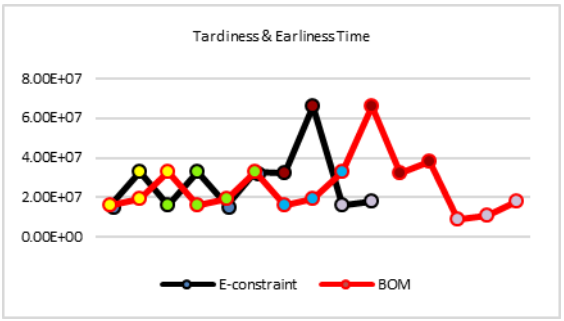
Archive of SID

با توجه به نمودار ۲، روش تابع حدار در ارائهٔ ترکیبات بیشتری از پاسخ کاراتر است، اما روش e-محدودیت در حداقل‌سازی فضای انبارش کاراتر به‌شمار می‌آید.



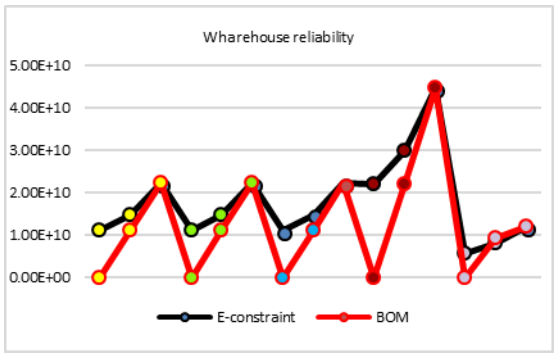
نمودار ۲. مقایسهٔ تابع حداقل‌سازی فضای انبارش در روش‌های E-محدودیت و تابع حدار

تابع زمان تأخیر و تعجیل تابع حداقل‌سازی است. در بیشتر نتایج روش E-محدودیت پاسخ کمتری ارائه شده است. همچنین در روش تابع حدار، ترکیبات بیشتری آمده است که البته در برخی از آن‌ها مقادیر زمان با اختلاف زیادی نسبت به مقادیر حاصل از روش اپسیلون محدودیت بزرگ‌تر است که این امر کاراتربودن روش اپسیلون محدودیت در حداقل‌سازی زمان را نشان می‌دهد.



نمودار ۳. مقایسهٔ تابع زمان تأخیر و تعجیل در روش‌های ε-محدودیت و تابع حدار

هدف چهارم در مدل پیشنهادی، تابعی غیرقطعی و مربوط به حداکثرکردن مقادیر ارسال به مشتریان به‌کمک حداقل‌کردن احتمال مواجه‌شدن انبار توزیع‌کنندگان با شکست است. نمودار ۴ مقایسهٔ نتایج حاصل از این تابع در دو روش e-محدودیت و تابع حدار را نشان می‌دهد. با توجه به این نمودار، مقادیر ارسال حاصل از روش اپسیلون محدودیت در مثال‌های عددی در سطوح بالاتری از روش BOM قرار دارد.



نمودار ۴. مقایسهٔ تابع شکست انبار در روش‌های E-محدودیت و تابع حدار

رویکردهای مقایسهٔ روش‌های حل پیشنهادی

استفاده از روش‌های علمی در تصمیم‌گیری موفق و منطقی بسیار اهمیت دارد. در روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره تکنیک‌هایی برای امتیازدهی به معیارهای وابسته به یک موضوع وجود دارد که درنهایت با استفاده از این امتیازها امکان رتبه‌بندی معیارها فراهم می‌شود. در این پژوهش، به‌منظور تعیین بهترین روش حل از رویکردهای MSI، SI، NOS برای مقایسهٔ جواب‌های حاصل از دو روش حل استفاده شده است.

جدول ۵. رویکردهای مقایسهٔ روش‌های حل

	ε-constraint			BOM		
Problem no.	MSI	CPU Time(s)	NOS	MSI	CPU Time(s)	NOS
۱	۱۰E+۱/۱۳۱۱۰۷۳۵۵	۰۰/۲۱۲:۰۰:۰	۴۴	۱۰E+۲/۲۳۵۱۶۶۳۵۳	۰۰/۴۱۳:۰۰:۰	۲۳
۲	۱۰E+۱/۱۳۱۱۰۶۴۳۲	۰۰/۲۸۶:۰۰:۰	۴۴	۱۰E+۲/۲۳۵۱۶۴۶۱۸	۰۰/۳۶۳:۰۰:۰	۲۳
۳	۷۵۷۱۸۰۰۸۲۴	۰۰/۲۶۷:۰۰:۰	۴۴	۱۰E+۲/۲۳۸۱۵۵۹۸۷	۰۰/۱۸۲:۰۰:۰	۲۴
۴	۱۰E+۲/۲۶۲۷۸۱۷۷	۰۰/۰۷۰:۰۰:۰	۴۴	۱۰E+۴/۴۷۰۶۶۸۳۹	۰۰/۰۷۶:۰۰:۰	۲۳
۵	۶۲۴۵۳۳۹۶۸۴	۰۰/۰۱۸:۰۰:۰	۴۷	۱۰E+۱/۲۰۲۵۲۰۱۷۸	۰۰/۰۸۱:۰۰:۰	۱۴

www.SID.ir

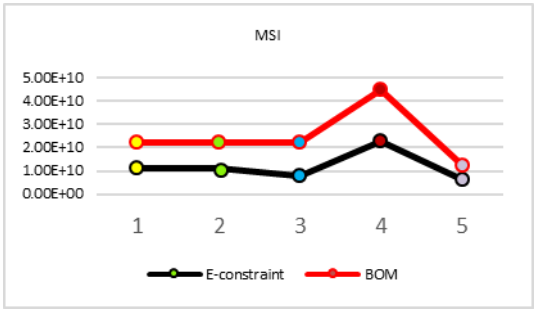
Archive of SID

معیار *MSI* گسترهٔ جواب‌های پارتو را نشان می‌دهد. هرچه این معیار بزرگ‌تر باشد، بهتر است [۲۸]. *NOS* تعداد جواب‌های پارتو را می‌شمارد که این معیار نیز هرچه بزرگ‌تر باشد، بهتر است [۲۹]. معیار *CPU Time* زمان پردازش را نشان می‌دهد که هرچه کمتر باشد بهتر است. جدول ۵، نتایج حاصل از این رویکردها را برای مقایسهٔ بین روش‌های حل ε-محدودیت و تابع حددار نشان می‌دهد.

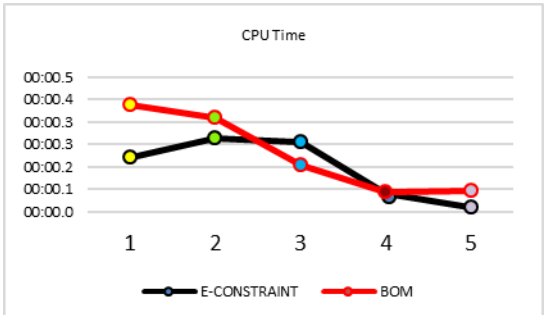
و روند معیارها در هریک از روش‌های پیشنهادی را نشان می‌دهد. براساس نمودار ۵، روش *BOM* از نظر معیار *MSI* برتر است و دامنهٔ گسترده‌تری از پاسخ‌ها را ارائه می‌دهد.

براساس نمودار ۶، زمان پردازش در بیشتر مسائل در روش اپسیلون محدودیت کمتر از زمان پردازش مربوط به روش *BOM* است.

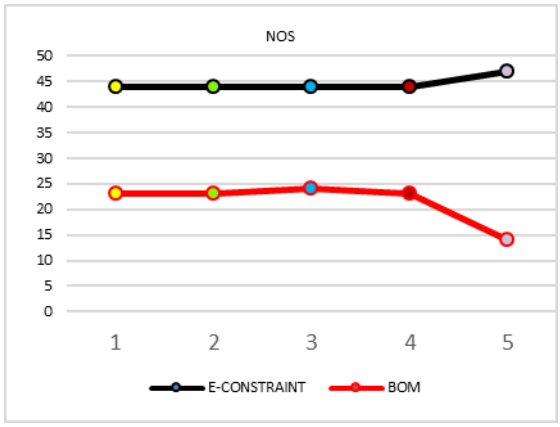
همچنین از نظر تعداد جواب‌های شدنی نیز روش اپسیلون محدودیت از روش *BOM* برتری دارد که این نتیجه در نمودار ۷ قابل‌مشاهده است.



نمودار ۵. معیار *MSI* در سنجش مقادیر توابع هدف روش‌های E-محدودیت و تابع حددار



نمودار ۶. معیار *CPU Time* در سنجش مقادیر زمان حل روش‌های E-محدودیت و تابع حددار



نمودار ۷. معیار *NOS* در سنجش مقادیر زمان حل روش‌های E-محدودیت و تابع حددار

با توجه به معیارهای مقایسه برای دو روش حل می‌توان نتیجه گرفت روش اپسیلون محدودیت از نظر زمان حل و تعداد جواب‌های شدنی برتر از روش *BOM* است، اما روش *BOM* از نظر معیار *MSI* بهتر است. درنتیجه با توجه به مطالعهٔ موردی واقعی در صورت استفاده از این مدل پیشنهادی و با توجه به نظر متخصصان می‌توان روشی کاراتر را برای مطالعهٔ واقعی خاص انتخاب کرد. با توجه به نتایج، هرچه بعد مسئله افزایش یابد، به‌دلیل پیچیدگی مسئله زمان پردازش اهمیت می‌یابد که از این نظر روش اپسیلون محدودیت نتایج بهتری ارائه داده است. همان‌طور که از ماهیت مسئلهٔ پیشنهادی و چندهدفه‌بودن آن مشخص است، در حل مثال‌ها از میان پاسخ‌ها انتخاب پاسخی مناسب است که هم برای توابع هدف مسئله مناسب باشد و هم متغیرهای مسئلهٔ مقادیر معقول و قابل قبولی داشته باشند. با توجه به نمودارها و نتایج حاصل برای مقادیر متغیرهای مسئله می‌توان دریافت که اگرچه روش تابع حددار پاسخ‌های متنوع‌تری ارائه داده است، از نظر مقادیر توابع هدف و مقادیر حاصل برای متغیرها، روش اپسیلون محدودیت نتایج بهتری در حل مثال‌های عددی مربوط به مسئلهٔ پیشنهادی ارائه داده است.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

هماهنگ‌کردن فعالیت‌های بخش‌های مختلف زنجیرهٔ تأمین و عدم جزئی‌نگری در برنامه‌ریزی‌های مؤسسات و سازمان‌ها در یک زنجیره، عامل اصلی بقا در بازارهای رقابتی است. در هر

www.SID.ir

Archive of SID

زنجیره تأمین هدف اصلی مدیریت، کنترل و برنامه‌ریزی برای جریان محصولات به‌منظور برآورده‌کردن تقاضای عنصر کلیدی زنجیره یعنی مشتریان است. در این پژوهش، مدل چهارهدفهٔ چندمحصولی پویا برای زنجیره‌های تأمین چهارسطحی تحت شرایط عدم قطعیت ارائه شده است. هدف و تمرکز اصلی این مدل حداکثرکردن محصولات ارسالی به مشتریان در کنار حداقل‌کردن هزینه‌ها و سرمایهٔ درگیر در بخش موجودی‌های انبار توزیع‌کنندگان است.

مدل ارائه‌شده در سطح راهبردی قابلیت انتخاب توزیع‌کننده‌ها و مکان انبار توزیع‌کننده‌ها را دارد. درنتیجه در سطح تاکتیکی تعیین می‌کند کدام مواد خام و محصولات به چه میزانی به کانال‌های توزیع تخصیص یابند. میزان ارسال مادهٔ خام از هر تأمین‌کننده به کارخانه‌ها، مقدار محصولی که در هر کارخانه در هر دوره تولید می‌شود، موجودی محصولات در مراکز توزیع و کارخانه‌ها و مقدار کمبود (کالاهای معیوب) مراکز توزیع در همهٔ دوره‌ها از جمله تصمیم‌هایی است که با حل این مدل مشخص می‌شود. به‌منظور نزدیک‌کردن مدل به واقعیت فرض می‌شود زمان میان هر دو مرتبهٔ متوالی که انبار توزیع‌کنندگان با مشکل در ارسال تقاضای مشتریان مواجه می‌شود، توزیع نمایی دارد. درنهایت مدل ایجادشده در قالب چند مثال عددی در نرم‌افزار *GAMS* به‌کمک روش E-محدودیت و تابع حددار حل شده است. براساس نتایج، مدل برنامه‌ریزی در بعد کوچک و متوسط به کمک روش‌های دقیق حل‌شدنی است. همچنین به‌منظور مقایسهٔ روش‌های حل پیشنهادی، نتایج حاصل به‌کمک رویکردهای *MSI*، *NOS* و *CPU Time* بررسی شدند. به‌دلیل پیچیدگی مدل برای مسائلی با ابعاد بزرگ پیشنهاد می‌شود از روش‌های حل فراابتکاری استفاده شود.

به‌منظور توسعهٔ آتی می‌توان حل مدل را به‌کمک سایر روش‌های دقیق ریاضی مانند *LP-metric*، *EBOM* و... و مقایسهٔ نتایج حاصل به‌منظور یافتن روش‌های حل کارا و مناسب را درنظر گرفت. همچنین طرح مثال در بعد بزرگ و بررسی روش‌های حل دقیق و فراابتکاری برای مدل ارائه شده پیشنهاد می‌شود. می‌توان از پارامترهای غیرقطعی برای نزدیک‌ترکردن مدل به دنیای واقعی با استفاده از بررسی شکاف‌های پژوهشی در پژوهش اردکانی و همکاران [۳۰] استفاده کرد. همچنین به‌منظور محاسبهٔ واقع‌بینانه هزینه‌ها می‌توان از تکنیک‌های اقتصاد مهندسی مانند ارزش زمانی پول، نرخ تورم و نرخ بهره در محاسبهٔ برخی پارامترهای کلیدی هزینه بهره برد. در مدل پیشنهادی می‌توان از تابع سود به‌جای تابع هزینه به‌منظور توجه به درآمد و ماکزیمم‌کردن سود حاصل در کنار سایر اهداف استفاده کرد.

منابع

1.Clark, A., and Scarf, H. (1960). "Optimal Policies for a Multi-Echelon Inventory Problem", Management Sciences, Vol. 6, No. 4, PP. 475-490.

2.Hsiao, J. M., Lin,C., (2005). "A Buyer-Vendor EOQ Model with Changeable Lead Time in Supply Chain", International Journal of Advanced Manufacturing and Technology, Vol. 26, No. 7-8, PP. 917–921.

3.Joglekar, P., and Tharthare, S., (1990). "The Individually Responsible and Rational Decision Approach to Economic Lot Sizes for One Vendor and Many Purchasers", Decision Sciences, Vol. 21, No. 3, PP. 492-506.

4.Banerjee, A., J. Burton, S., (1994). "Coordinated Vs. Independent Inventory Replenishment Policies for a Vendor and Multiple Buyers", International Journal of Production Economics, Vol. 35, No. 1-3, PP. 215–222.

5.Ben Daya, M., and Hariga, M., (2004). "Integrated Single Vendor Single Buyer Model with Stochastic Demand and Variable Lead Time", International Journal of Production Economics, Vol. 92, No. 1, PP. 75–80.

6.Siajadi, H., Ibrahim, R. N., and Lochert, P. B., (2006). "Joint Economic Lot Size in Distribution System with Multiple Shipment Policy", International Journal of Production Economics, Vol. 102, No. 2, PP. 302–316.

www.SID.ir

Archive of SID

7.Hoque, M. A., (2008). "Synchronization in the Single-Manufacturer Multi-Buyer Integrated Inventory Supply Chain", European Journal of Operational Research, Vol. 188, No. 3, PP. 811–825.
8.Taleizadeh, A. A., Niaki, S. T. A., and Barzinpour, F., (2011). "Multiple-Buyer Multiple-Vendor Multi-Product Multi-Constraint Supply Chain Problem with Stochastic Demand and Variable Lead-Time: A Harmony Search Algorithm", Applied Mathematics and Computers, Vol. 217, No. 22, PP. 9234-9253.
9.Routroy, S., and Kodali, R., (2005). "Differential Evolution Algorithm for Supply Chain Inventory Planning", Journal of Manufacturing Technology and Management, Vol. 16, No. 1, PP. 7–17.
10.Azaron, A. et al (2008). "A Multi-Objective Stochastic Programming Approach for Supply Chain Design Considering Risk", International Journal of Production Economics, Vol. 116, No. 1, PP. 129–138.
11.El Sayed, M., Afia, N., and El Kharbotly, A., (2010). "A Stochastic Model for Forward Reverse Logistics Network Design Under Risk", Computer and Industrial Engineering, Vol. 58, No. 3, PP. 423–431.
12.Zhou, W. Q., Chen, L., and Ge, H. M., (2013). "A Multi-Product Multi-Echelon Inventory Control Model with Joint Replenishment Strategy", Applied Mathematical Modeling, Vol. 37, No.14, PP. 2039-2050.
13.Altiparmak, M. et al. (2006), "A Genetic Algorithm Approach for Multi-Objective Optimization of the Supply Chain", Networking, Computing and Engineering, Vol. 51, No. 1, PP. 197-216
14.Jafari, A., Sharif Yazdi, M., and Jafarian, M., (2010). "A New Multi-Objective Approach in Distribution Centers Location Problem in Fuzzy Environment", Journal of Uncertain Systems, Vol. 4, No. 2, PP. 133-146.
15.Yazdian, A., and Shahanaghi, K., (2011). "A Multi-Objective Possibilistic Programming Approach for Locating Distribution Centers and Allocating Customers' Demands in Supply Chains", International Journal of Industrial Engineering Computations, Vol. 2, No. 1, PP. 193-202.
16.Pourroosta, A., Tvakoli Moghadam, R., and Ebrahimnezhad, S., (2011), "Multi-Product Multi-Period Manufacturing-Distribution Programming Model with Considering Fuzzy Parameters", Journal of Industrial Engineering, Vol. 46, No. 2, PP. 147-158.
17.Razmi, J., Zahedi Anaraki, A., and Zakerinia, M., (2013). "A Bi-Objective Stochastic Optimization Model for Reliable Warehouse Network Redesign", Mathematical and Computer Modelling, Vol. 58, No. 11-12, PP.1804–1813.
18.Arabzad, S. M., Ghorbani, M., and Tavakkoli Moghaddam, R., (2014). "An Evolutionary Algorithm for a New Multi Objective Location-Inventory Model in a Distribution Network with Transportation Modes and Third-Party Logistics Providers", International Journal of Production Research, Vol. 53, No. 4, PP. 1038-1050.
19.Jiang, L., and Cui, Y., (2014). "Study on Multi-Resolution and Multi- Objective Site Selection Model for Logistics Distribution Centre", Proceedings of the 17th International Symposium on Advancement of Construction Management and Real Estate, Springer, PP. 869-876.
20.Ahmadi Javid, A., and Hoseinpour, P., (2015). "Incorporating Location, Inventory and Price Decisions Into a Supply Chain Distribution Network Design Problem", Computers and Operations Research, Vol. 56, PP. 110–119.
21.Mortezaei, N., Zulkifli, N., and Nilashi, M., (2015). "Trade-Off Analysis for Multi-Objective Aggregate Production Planning", Journal of Soft Computing and Decision Support System, Vol. 2, No. 2, PP. 1-4.
22.Pasandideh, S. H. R., Niaki, S. T. A., and Asadi, K., (2015). "Optimizing a Bi-Objective Multi-Product Multi-Period Three Echelon Supply Chain Network with Warehouse Reliability", Expert Systems with Applications Vol. 42, No. 5, PP. 2615-2623.
23.Yu, M. C., and Goh, M., (2014). "A Multi-Objective Approach to Supply Chain Visibility and Risk", European Journal of Operational Research, Vol. 233, No. 1, PP. 125-130.

www.SID.ir

Archive of SID

24.Kamali, A., Fatemi Ghomi, S. M. T., and Jolai, F., (2011). "A Multi-Objective Quantity Discount and Joint Optimization Model for Coordination of a Single-Buyer Multi-Vendor Supply Chain", Computers and Mathematics with Applications, Vol. 62, No. 8, PP. 3251-3262.
25.Ozgen, D., and Gulsun, B., (2014). "Combining Possibilistic Linear Programming and Fuzzy AHP for Solving the Multi-Objective Capacitated Multi-Facility Location Problem", Information Science, Vol. 268, No. 1, PP. 185-201
26.Sarrafha, K. et al. (2015). "Bi-Objective Integrated Procurement, Production and Distribution Problem of a Multi-Echelon Supply Chain Network Design: A New Tuned MOEA", Computers and Operations Research, Vol. 54, PP. 35-51.
27.Sadeghi, J., and Niaki, S. T. A., (2015). "Two Parameter Tuned Multi-Objective Evolutionary Algorithms for a Bi-Objective Vendor Managed Inventory Model with Trapezoidal Fuzzy Demand", Applied Soft Computing, Vol. 30, PP. 567-576.
28.Zitzler, E., and Thiele, L., (1998). "Multiobjective Optimization Using Evolutionary Algorithms- A Comparative Case Study", Parallel Problem Solving from Nature, Germany, vol 1498. Springer, PP. 292-301.
29.Zitzler, E., Laumanns, M., and Thiele, L., (2001). "SPEA2: Improving the Strength Pareto Evolutionary Algorithm, Evolutionary Methods for Design", Optimization and Control with Applications to Industrial Problems, Greece, PP. 95-100 (2001).
30.Kahafi Ardakani, A., Seyedhosseini, S, M., and Tavakoli Moghadam, R., (2016). "Location-Routing Problems: An Overview on Concepts, Models, Solving Methods, Applications and Research Gaps", Journal of Industrial Engineering, Vol. 51, No. 2, PP. 223-250.

واژه‌های انگلیسی به ترتیب استفاده در متن

1. Clark
2. Hsiao
3. Lin
4. Joglekar
5. Tharthare
6. Banerjee
7. Burton
8. Ben-Daya
9. Hariga
10. Siajadi
11. Hoque
12. Routroy
13. Kodali
14. Azaron
15. El-Sayed
16. Zhou
17. Altiparmak
18. Jiang
19. Ozgen
20. Gulsun

www.SID.ir