

طراحی شبکه تقاضای چندکالایی پویا با در نظر گرفتن معیارهای چابکی و امنیت

طه حسین حجازی^{۱*} و مرتضی عباسی^۲

۱. دکتری مهندسی صنایع دانشگاه آزاد اسلامی واحد قزوین، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان

۲. استادیار مجتمع مدیریت و فناوری‌های نرم دانشگاه صنعتی مالک اشتر

(تاریخ دریافت ۹۳/۲/۶ - تاریخ دریافت روایت اصلاح شده ۹۳/۱۰/۱۱ - تاریخ تصویب ۹۳/۱۰/۲۹)

چکیده

پاسخگویی سریع به نیاز متغیر موجود و انعطاف‌پذیری لازم مرتبط با آن از مسائل مهم در صنایع پیچیده امروزی است. تصمیم‌گیری درباره نحوه به‌کارگیری تسهیلات ساخت در شبکه و تخصیص و طرح تحویل سفارش‌ها را می‌توان از تصمیم‌های مهم استراتژیک در این حوزه دانست. در این تحقیق یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی خطی مختلط عدد صحیح چندهدفه برای مکان‌یابی و تخصیص تقاضا با معیارهای چابکی و امنیت ارائه می‌شود. اهداف این مدل برنامه‌ریزی عبارت است از پراکندگی تسهیلات و هزینه حمل‌ونقل در شبکه همراه هزینه‌های ثابت و متغیر تأسیس در هر دوره. همچنین از یکی از روش‌های بسیار پرکاربرد تصمیم‌گیری چندمعیاره، به نام برنامه‌ریزی آرمانی، استفاده شد. تصمیماتی درباره فعال یا غیر فعال شدن هر تسهیل در یک افق چندین دوره‌ای و تخصیص بهینه تقاضا در این مدل گنجانده شد. در انتهای مقاله نیز، به منظور نمایش نحوه عملکرد مدل ارائه‌شده، یک مثال عددی تحلیل شده است.

کلیدواژه‌گان: برنامه‌ریزی آرمانی، برنامه‌ریزی ریاضی چندهدفه، شبکه‌های چنددوره‌ای و چندکالایی، طراحی چابک شبکه تقاضا.

مقدمه

استراتژیک در تصمیمات زنجیره تأمین می‌تواند ضامن بقای درازمدت سازمان در فضای رقابتی امروزی باشد. در مسائل واقعی برنامه‌ریزی در زنجیره‌های تأمین اغلب اهدافی متضاد-همچون حداقل‌سازی هزینه کل زنجیره، حداکثرسازی ارزش کل خرید مواد و قطعات، حداقل‌سازی اقلام معیوب، کمینه‌کردن تأخیر در تحویل محصولات، و ... مدنظر قرار می‌گیرند. این موضوع پیچیدگی مدل‌های برنامه‌ریزی زنجیره تأمین را موجب شده است. تصمیم‌گیری در زمینه جایابی تسهیلات عنصری حیاتی در برنامه‌ریزی استراتژیک برای دامنه گسترده‌ای از شرکت‌های خصوصی و دولتی است. هزینه‌های بسیار زیاد کسب‌داری و ساخت تسهیلات و پروژه‌های مکان‌یابی یا مکان‌یابی مجدد تسهیلات را به سرمایه‌گذاری بلندمدت مبدل کرده است.

در بخش‌های بعد، علاوه بر مرور پیشینه موضوع جایابی در شبکه‌های تقاضا، به شاخص چابکی و الزامات آن در سیستم‌های متفاوت تولید پرداخته می‌شود تا با تمرکز بر مبانی ارائه‌شده و نگاه به تصمیمات موجود در سطوح مختلف بتوان به سیستمی منعطف‌تر و چابک‌تر

مسئله تأمین و تولید و توزیع کالا سال‌هاست که عنصری مؤثر در حیات اقتصادی و صنعتی شمرده می‌شود. اما در سال‌های اخیر بیش از پیش به آن توجه شده است. این مسئله تابعی از زیرسیستم‌های بهم‌وابسته است که در گذشته فعالیت‌های مجزا به شمار می‌رفت. اکنون جامعه دانشگاهی و نیز جهان تجاری لزوم اتخاذ رویکردی کلی‌نگر به این فعالیت‌های متفاوت را با هدف در نظر داشتن چگونگی برقراری ارتباط و تعامل میان این فعالیت‌ها درک کرده است. با وسیع‌تر شدن این حوزه و افزایش اهمیت آن تحقیقات بسیاری نیز به منظور بهبود رویکردها و رفع نواقص آن‌ها صورت پذیرفته است.

توسعه روزافزون فضای رقابتی و جهانی شدن بازار محصولات موجب شده سازمان‌ها برای بقای خود تلاشی چشمگیر در جهت بهینه‌سازی زنجیره تأمین شرکت خود به کار گیرند تا بتوان پاسخگویی به نیازهای متنوع مشتریان را در حداقل زمان و با صرف حداقل هزینه داشته باشند. از این رو، می‌توان مدیریت زنجیره تأمین را یکی از حوزه‌های بسیار مهم و کاربردی مدیریت استراتژیک دانست. اتخاذ رویکرد کلی‌نگر و سیستمی و نیز لحاظ کردن عوامل

جهانی شدن بازارها، و تمایل به تخصصی شدن کمپانی‌ها ارائه می‌دهند (جدول ۱). این امکانات توانمندی‌ها و منابع شرکت‌ها را به آسانی در دسترس یکدیگر قرار می‌دهند و آن‌ها را از منطق سنتی «یا بساز یا بخر» دور می‌کنند؛ ولو اینکه این رویکرد ویژه در ساخت هنوز هم برای محققان در طراحی برخی مدل‌ها جذابیت دارد [۱ - ۳].

به‌علاوه دنیای مدیریت با تئوری‌هایی مواجه است که فقط برای برخورد با چالش‌های هم‌زمان برخی واحدهای اقتصادی کارآمد به نظر می‌رسند و نه برای بسیاری دیگر از مسائل [۴ و ۵]. تفکر مهارت‌های اصلی (قابلیت‌های کلیدی)^۴ و مفهوم تولید ناب^۵، تولید چابک^۶، تولید به کمک کامپیوتر^۷، تولید به‌هنگام^۸، و بعضاً تلفیقی از رویکردهای فوق تئوری‌هایی دانسته می‌شوند که به سؤالات مدیریت زنجیره تأمین^۹ در قالب شبکه‌های صنعتی صنعتی پاسخ می‌گویند. اما سؤال اینجاست که آیا این مفاهیم به‌راستی در رابطه با سازمان‌های شبکه‌ای کارایی دارند؟ کاپلو [۶]، با اشاره به اینکه اطلاعات اندکی در ارتباط با شکست شبکه‌ها در دست است، بیان فوق را تقویت می‌کند. بنابراین، نیاز شبکه‌های صنعتی به هماهنگ‌سازی تئوری‌های موجود با ویژگی‌های خاص خود هم‌زمان با توسعه تئوری‌های زمینه‌ای و بنیادی بنا شده بر ویژگی‌های منحصر به فردشان در همکاری صنعتی مطلبی است که باید بیشتر بررسی شود.

نزدیک شد. سپس، در بخش انتهایی تلاش خواهد شد مدلی ریاضی توسعه داده شود و یک مسئله واقعی از صنعت داخلی ارائه شود.

پیشینه موضوع

در این بخش، با تمرکز بر معیارهای چابکی و انعطاف‌پذیری، پیشینه تولید شبکه‌محور و رویکردهای مکان‌یابی در این سیستم‌ها بررسی می‌شود.

در گذشته به فرایند ساخت بیشتر به شکل یک کالا نگاه می‌شد تا یک توانایی منحصربه‌فرد که در فرایندهای تکنولوژی پایین^۲ در سطوح پایین دست^۳ شبکه صنعتی (مثلاً عملیات مونتاژ) کاربرد دارد. از طرفی، تمایل به تخصصی‌سازی سایر سطوح بالادست شبکه‌های صنعتی را ناگزیر کرد به فنون پیشرفته روی آورند تا در بازار به جایگاهی ویژه دست یابند. همچنین، بازار سرمایه برای سرمایه‌گذاری در ایجاد ظرفیت، نیز تجارت در ساخت و تولید به مثابه یک کالا، صرف منابع بیشتر نسبت به گذشته را اجتناب‌ناپذیر می‌کند. و سرانجام اینکه جریان پیوسته‌ای در امتداد اجزای حتی کم‌ارتباط، که شبکه‌های صنعتی ساخت را تشکیل می‌دهند، وجود دارد. در سال‌های اخیر محققان به کمپانی‌ها بیشتر به منزله عضو از شبکه‌ای که در قالب آن فعال‌اند نگرسته‌اند. این رویکرد بیشتر به دلیل مزایایی است که تکنولوژی اطلاعات و تبادل داده‌ها،

جدول ۱. تکامل فرم‌های سازمانی [۷]

دوره	استراتژی بازار- محصول	ساختار	مبدع یا پیشگام به کارگیری	فعالیت‌های هسته‌ای و مکانیزم‌های کنترلی
۱۸۰۰-	محصول و خدمات منفرد. بازار محلی/ منطقه‌ای	واسطه‌ای	بسیاری از شرکت‌های با حوزه فعالیت محدود	هدایت و کنترل فردی
۱۸۵۰-	ارائه محدود خدمات یا محصول استاندارد	تابعی	فولاد کارنگی ^{۱۰}	برنامه و بودجه مرکزی
۱۹۰۰-	ارایه خدمات و تولید محصولات متنوع و متغیر. بازار داخلی/ ...	چندقسمتی	جنرال موتورز ^{۱۱} ، سیرز ^{۱۲} ، ریباک ^{۱۳} ، هیولت- پکارد ^{۱۴}	سیاست‌های مشارکتی و مراکز تقسیم سود
۱۹۵۰-	خدمات و محصولات استاندارد و نوآورانه	ماتریسی	شرکت‌های فضایی و الکترونیکی متعدد	تیم‌های موقتی و ابزار تخصیص منابع جانبی؛ نظیر بازارهای داخلی، سیستم‌های برنامه‌ریزی متصل، و غیره
۲۰۰۰-	طراحی ارائه خدمات و تولید. بازارهای متغیر جهانی	شبکه‌های پویا	شرکت‌های بین‌المللی. کمپانی‌هایی با مصرف‌کنندگان جهانی. برخی شرکت‌های الکترونیک و کامپیوتر (نظیر IBM)	واسطه معاملات بازرگانی و ساختارهای موقتی با سیستم‌های اطلاعات اشتراکی به مثابه پایه اعتماد و هماهنگی

مدل‌های مکان‌یابی تسهیلات در صنایع و خدمات کاربردهای بسیار دارند. مثال‌هایی از این کاربردها عبارت‌اند از مکان‌یابی انبارها در زنجیره تأمین به منظور کمینه‌سازی مسافت حمل‌ونقل، مکان‌یابی سایت‌های مواد خطرناک با هدف کمینه‌سازی آثار بر مکان‌های عمومی، مکان‌یابی ایستگاه‌های راه‌آهن جهت کمینه‌سازی تغییرات در برنامه‌های زمانی تحویل، مکان‌یابی ماشین‌های پاسخگو در بانک‌ها به منظور بالا بردن سطح سرویس‌دهی، و مکان‌یابی ایستگاه‌های آتش‌نشانی یا اورژانس جهت ارائه سریع‌ترین خدمت به مجروحان و آسیب‌دیدگان [۱۳].

کارنت^{۱۵} و همکاران مدل‌های مکان‌یابی شبکه‌ای گسسته را مرور کردند که عبارت بودند از مسائل پوشش^{۱۶}، p-مرکز^{۱۷}، p-پخشی^{۱۸}، p-میان^{۱۹}، هزینه ثابت^{۲۰}، محور^{۲۱}، و مسئله بیشترین مجموع^{۲۲} [۱۴ و ۱۵]. در جدول ۲ خلاصه‌ای از مسائل مهم در پیشینه موضوع مکان‌یابی ارائه می‌شود که در آن توابع هدف استفاده‌شده به طور ویژه بررسی می‌شود.

تمرکز بر قابلیت‌های کلیدی و برون‌سپاری کلید تصمیم‌گیری در این زمینه است که زنجیره ارزش باید بر کدام حوزه تولید متمرکز شود و بر کدام حوزه‌ها باید برای کسب عملکرد بهینه تمرکز کرد [۸]. برخلاف مفهوم برون‌سپاری، رویکرد فرایند ساخت چابک بیشتر بر بهره‌گیری از شبکه‌هایی با اتصال ضعیف‌تر نسبت به مفاهیم پیشین، نظیر تولید ناب، تکیه دارد [۹ - ۱۱]. معیارهای فراوانی برای ساخت چابک ارائه شده است که از آن‌ها می‌توان به پاسخگویی، رقابت، انعطاف‌پذیری، قابلیت بازآرایی، ساخت سریع، مدیریت اطلاعات، نوآوری، بیش‌فعالی، و قدرت در بازار اشاره کرد [۱۲].

یکی از مسائل مهم در تولید تحت شبکه، که رابطه عمیقی با معیارهای چابکی دارد، آرایش شبکه است. آرایش شبکه از یک منظر می‌تواند به نحوه قرارگیری سایت‌های مختلف- نظیر توزیع، انبار کردن، تولید، و ... دلالت کند. از این رو، مدل‌های مکان‌یابی و چیدمان می‌توانند در نیل به این اهداف کمک شایانی بکنند.

جدول ۲. دسته‌بندی و مرور موضوعات مطرحه در مسئله مکان‌یابی با مقایسه توابع هدف

مسئله	تابع هدف	تحقیق
مسئله وبر	کشف نقطه کمینه مجموع، که در آن مجموع وزن‌دهی شده فواصل اقلیدسی از نقاط ثابت کمینه شود.	[۱۶]
مسائل مکان‌یابی- تخصیص	کمینه‌سازی مجموع فواصل، بهینه‌سازی هزینه تخصیص، ارسال کل تقاضاها	[۱۷]
مدل‌های مکان‌یابی- مسیر یابی	کمینه‌سازی مجموع وزن‌دهی شده مسافت‌ها و کمینه‌سازی بیشترین فاصله موجود بین مسیرهای ممکن	[۱۸]
مسئله p- میان	کمینه‌سازی مسافت‌های وزن‌دهی شده بین نقاط تقاضا و تسهیلاتی که تخصیص داده شده است.	[۱۹ و ۲۰]
مسئله p- مرکز	کمینه‌سازی بیشترین فاصله‌ای که تقاضای یک نقطه مشتری برآورده می‌شود.	[۱۹ و ۲۰ و ۲۱]
مسئله p- پخشی	بیشینه‌سازی کمترین فاصله موجود بین هر جفت از تسهیلات	[۱۴]
مسئله مکان‌یابی هزینه ثابت (مسئله مکان‌یابی تسهیلات ظرفیت‌دار)	کمینه‌سازی کل هزینه حمل‌ونقل و تأسیس تسهیلات؛ همچنین در این مسئله تعداد بهینه تسهیلات نیز همراه تقاضای قابل تأمین از طرف آن‌ها مشخص می‌شود.	[۱۵ و ۲۲]
مسئله مکان‌یابی تسهیلات بدون ظرفیت	کمینه‌سازی کل فواصل وزن‌دهی شده بین گره‌های تقاضا و تسهیلاتی که به آن‌ها اختصاص یافته است. همچنین تعداد تسهیلات قابل تأسیس ثابت نیست.	[۲۳ - ۲۵]
مدل‌های مکان‌یابی پوشش بیشینه	بیشینه‌سازی تقاضای قابل پوشش. این مدل فرض می‌کند که ممکن است نتوان همه تقاضاها را پوشش داد. پس باید میزان پوشش تقاضا را بیشتر و مکان آن‌ها را تعیین کرد.	[۲۶]
مدل‌های مکان‌یابی پوشش مجموعه	هدف آن است که با کمترین تعداد تسهیلات تقاضاهای یک شبکه را پوشش داد.	[۱۴]
مسئله مکان‌یابی تسهیلات-محور	کمینه‌کردن مجموع هزینه‌های ارسال آیت‌ها بین یک تسهیل غیر محوری و محوری، که به آن نقطه تقاضا تخصیص داده شده است.	[۲۷]
مدل‌های فشاری- کششی	به طور هم‌زمان توابع هدف کمینه- مجموع ^{۲۳} و کمینه- بیشینه ^{۲۴} را در نظر می‌گیرد.	[۲۸]
مدل پویای مکان‌یابی	در این مدل‌ها مکان‌یابی یا بازتخصیص آن‌ها همراه تصمیماتی در خصوص برآوردسازی تقاضا و حمل‌ونقل طی چند دوره زمانی اتخاذ می‌شود.	[۲۹ - ۳۱]
مدل پویای هزینه- امنیت	مدلی پویا شامل جایابی و بازجایابی تسهیلات، تخصیص و بازتخصیص تقاضا با هدف حفظ امنیت شبکه، و کمینه‌سازی هزینه	مطالعه حاضر

هزینه برآورده‌سازی تقاضا و تأسیس تسهیلات با در نظر گرفتن این موضوع که هر تسهیل در جایی قرار گیرد که نسبت به تسهیلات از پیش تأسیس شده پراکندگی مناسبی داشته باشد. به عبارت دیگر، حداقل فاصله بین تسهیلات موجود بیشینه شود. برای رسیدن به چنین اهدافی باید موارد زیر تعیین شود:

الف) تعداد تسهیلاتی که باید در هر دوره تأسیس یا غیر فعال شوند؛

ب) مکان هر تسهیل روی یک شبکه چندکالایی ساخت؛

ج) تخصیص مشتریان و مقاصد حمل و نقل کالاها به هر تسهیل تأسیس شده در هر دوره.

با این تفاسیر، اکنون به تعریف پارامترها، نمادگذاری‌ها، و متغیرهای دخیل در مدل بهینه‌سازی ریاضی پرداخته می‌شود.

مجموعه‌ها

$t(t \in T, t = 1, \dots, h)$	مجموعه دوره‌های زمانی در افق تصمیم‌گیری
$i(i \in I, i = 1, \dots, m)$	مجموعه مکان‌های بالقوه برای بازشدن بر شبکه
$j(j \in J, j = 1, \dots, n)$	مجموعه نقاط تقاضا بر شبکه
$k(k \in K, k = 1, \dots, p)$	مجموعه کالاها

پارامترها

f_i^t	هزینه ثابت راه‌اندازی سایت i در دوره t :
O_i^t	هزینه‌های عملیاتی سایت i در دوره t : درصدی از هزینه ثابت راه‌اندازی که هنگام بسته‌شدن سایت به دست خواهد آمد (ارزش اسقاطی)
α_k^t	هزینه واحد حمل و نقل کالای k در دوره t
b_{ik}^t	ظرفیت k امین کالا در سایت i در دوره t
D_{ij}	فاصله بین مشتری j و سایت i
$E_{ii'}$	فاصله بین دو سایت $(i, i') \in I$:
d_{jk}^t	تقاضای کالای k برای مشتری j در دوره t
M	مقدار ثابت بسیار بزرگ

متغیرها

Z_1	تابع هدف اول (هزینه کل)
Z_2	تابع هدف دوم (میزان پراکندگی)

سیر تکامل مفاهیم و مدل‌ها در سیستم‌های ساخت شبکه‌ای با معیارهای چابک مرور شد. آنچه از این مرور برمی‌آید بیانگر لزوم طراحی شبکه‌ها با در نظر گرفتن معیارهای چابکی است. البته باید دانست در سیستم‌های امنیتی و حساس وحدت تصمیم‌گیری برای کاهش هزینه کل شبکه در کنار افزایش امنیت سیستم ضروری به نظر می‌رسد. تحقیقات درباره مسئله p -پخشی بسیار اندک است؛ در حالی که ترکیب آن با سایر مدل‌های مکان‌یابی بسیار جالب خواهد بود. همچنین مدل‌های چندهدفه در مکان‌یابی شبکه‌ای در سال‌های اخیر اهمیتی ویژه یافته است.

در این تحقیق ترکیبی از دو مدل مهم و پرکاربرد در مسائل مکان‌یابی به کار می‌رود تا بتوان در سطح استراتژیک به تصمیم‌گیری درباره یک شبکه ساخت در کاربردهای دفاعی پرداخت. هدف در این مدل پخش کردن حداکثر تسهیلات در شبکه است تا در صورت کشف یک مرکز مراکز دیگر بیشترین فرصت و امکان را برای تجهیز و تدارک داشته باشند و از طرف دیگر کمترین آسیب و لطمه به مکان‌های عمومی مابین برسد. همچنین، به طور هم‌زمان سعی شد هزینه‌های حمل و نقل و برآورده‌سازی تقاضا در یک شبکه دارای چند کالا کمینه شود. در مقام مقایسه، این مدل نسبت به سایر مدل‌های موجود جنبه‌هایی منحصر به فرد دارد که در بخش‌های بعدی توضیح داده می‌شود.

از آنجا که یکی از معیارهای مهم در مدیریت چابک عملیات پاسخگویی به تغییرات تقاضاست، در این مدل یک مدل پویای چنددوره‌ای با تغییرات معنادار در تقاضا پیشنهاد می‌شود. در بخش بعدی به تعریف مسئله و مدل‌سازی آن پرداخته خواهد شد. ویژگی‌های اصلی مدل حاضر در قیاس با مطالعات موجود در پیشینه موضوع عبارت است از تصمیم‌گیری درباره جایابی و تغییرات مکان تسهیلات شبکه طی افق استراتژیک و تخصیص و بازتخصیص مناسب ظرفیت تسهیلات به نقاط تقاضا به طوری که امنیت شبکه در طول افق برنامه‌ریزی با حداقل هزینه انتقال حفظ شود. به منظور در نظر گرفتن هم‌زمان این دو هدف از برنامه‌ریزی آرمانی استفاده شد.

تعریف مسئله و مدل‌سازی

فرض کنید $I = \{1, 2, \dots, m\}$ مجموعه سایت‌های نامزد برای تأسیس تسهیلات شبکه و $J = \{1, 2, \dots, n\}$ مجموعه مقصدهای کالاها و افق زمانی شامل دوره‌های $T = \{1, 2, \dots, h\}$ باشند. هدف تصمیم‌گیری عبارت است از کمینه‌کردن

سطح شبکه است. بنابراین، کمترین فاصله موجود بین تسهیلات تأسیس شده را محاسبه و بیشینه‌سازی می‌کند. رابطه ۳ زوج سایتی را که کمترین فاصله را با هم دارند پیدا و فاصله آن‌ها را به منزله معیاری از پراکندگی ذخیره می‌کند. رابطه ۴ ظرفیت هر سایت را در برآورده‌سازی تقاضای مشتریان نشان می‌دهد. رابطه ۵ تضمین‌کننده برآورده‌شدن تقاضای هر مشتری در هر دوره است. مجموعه محدودیت‌های ۶ تا ۹ دوره زمانی مرتبط با تأسیس تسهیلات در سایت‌ها را تعیین می‌کند و محدودیت‌های ۱۰ تا ۱۳ زمان بسته‌شدن آن‌ها را برمی‌گرداند. یکی از فرضیات این مدل این است که هر سایتی که باز می‌شود حداقل برای سه دوره زمانی باید کار کند (رابطه ۱۴). سایر محدودیت‌ها نیز بازه تغییرات و نوع متغیرهای تصمیم را مشخص می‌کنند.

در این تحقیق یکی از روش‌های پرکاربرد بهینه‌سازی چندهدفه، به نام برنامه‌ریزی آرمانی، برای تجمیع دو تابع هدف مذکور استفاده شد. در این روش، اطلاعاتی پیش از حل مسئله در زمینه اهمیت نسبی اهداف و مقادیر آرمانی آن‌ها در اختیار تحلیلگر قرار می‌گیرد. سپس، با ایجاد تابع هدفی جدید، انحراف از آرمان‌ها را کمینه‌سازی می‌کند [۳۲]. بنابراین، مدل برنامه‌ریزی آرمانی به صورت زیر نوشته می‌شود:

Optimize [minimize/maximize]

$$\text{Minimize } Z = \frac{w_1(|f_1(x) - T_1|)}{S_1} + \dots + \frac{w_k(|f_k(x) - T_k|)}{S_k} \quad (19)$$

w و T به ترتیب وزن عددی نسبی و مقادیر مطلوب و آرمانی توابع هدف را نشان می‌دهند. همچنین پارامتر S به منظور هم‌بعدسازی اهداف استفاده می‌شود تا بتوان آن‌ها را با هم جمع کرد.

با این تعاریف، مدل برنامه‌ریزی آرمانی برای مسئله این تحقیق به صورت زیر قابل بیان است:

$$\text{Minimize } Z = w_1 \frac{d_1}{bo_1} + w_2 \frac{d_2}{bo_2} \quad (20)$$

S. t.

$$\sum_{i \in I} \sum_{k \in K} \alpha_k^t \sum_{j \in J} D_{ij} x_{ijk}^t + \sum_{i \in I} \sum_{i \in I} o_i^t y_i^t + \sum_{i \in I} \sum_{i \in I} f_i^t w_i^t - \sum_{i \in I} \sum_{i \in I} \beta f_i^t u_i^t - d_1 = bo_1 \quad (21)$$

$$L + d_2 = bo_2 \quad (22)$$

محدودیت‌های ۳ تا ۱۸

گفتنی است مدل فوق در حالت تک‌دوره‌ای ترکیبی از مدل مکان‌یابی ظرفیت‌دار با هزینه ثابت و مسئله p -

حداقل فاصله موجود بین سایت‌های باز شده
متغیر باینری با مقدار 1 وقتی سایت i در دوره t
فعال شود و برابر 0 در غیر این صورت
متغیر باینری با مقدار 1 وقتی یک تسهیل در
سایت i در دور t باز شود و 0 در غیر این صورت
متغیر باینری با مقدار 1 وقتی یک تسهیل در
سایت i در دوره t بسته شود و 0 در غیر این
صورت
تعدادی از کالای k که سایت i در دوره t به
مشتری j فرستاده می‌شود.

توابع

$$\text{Minimize } Z_1 = \sum_{i \in I} \sum_{k \in K} \alpha_k^t \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} D_{ij} x_{ijk}^t + \sum_{i \in I} \sum_{i \in I} o_i^t y_i^t + \sum_{i \in I} \sum_{i \in I} f_i^t w_i^t - \sum_{i \in I} \sum_{i \in I} \beta f_i^t u_i^t \quad (1)$$

$$\text{Maximize } Z_2 = L \quad (2)$$

$$L + (M - E_{ii}) y_i^t + (M - E_{ii}) y_i^t \leq \gamma M \quad (3)$$

$$-E_{ii} \forall t, i, i' \in I, i > i'$$

$$\sum_{j \in J} x_{ijk}^t \leq b_{ik}^t y_i^t \quad \forall i, k, t \quad (4)$$

$$\sum_{i \in I} x_{ijk}^t = d_{jk}^t \quad \forall j, k, t \quad (5)$$

$$y_i^t - y_i^{t-1} \leq w_i^t \quad \forall i, t \neq 1 \quad (6)$$

$$y_i^t \geq w_i^t \quad \forall i, t \neq 1 \quad (7)$$

$$\gamma - (y_i^{t-1} + y_i^t) \geq w_i^t \quad \forall i, t \neq 1 \quad (8)$$

$$y_i^t \leq w_i^t \quad \forall i, t = 1 \quad (9)$$

$$y_i^{t-1} - y_i^t \leq u_i^t \quad \forall i, t \neq 1 \quad (10)$$

$$y_i^{t-1} \geq u_i^t \quad \forall i, t \neq 1 \quad (11)$$

$$\gamma - (y_i^{t-1} + y_i^t) \geq u_i^t \quad \forall i, t \neq 1 \quad (12)$$

$$u_i^t = 0 \quad \forall i, t = 1 \quad (13)$$

$$y_i^{t+1} + y_i^{t+2} \geq y_i^t + w_i^t \quad \forall i, t \quad (14)$$

$$y_i^t \in \{0, 1\} \quad \forall i, t \quad (15)$$

$$w_i^t \in \{0, 1\} \quad \forall i, t \quad (16)$$

$$u_i^t \in \{0, 1\} \quad \forall i, t \quad (17)$$

$$x_{ijk}^t \geq 0 \quad \forall i, j, k, t \quad (18)$$

رابطه ۱ تابع هدف اول مسئله را نشان می‌دهد که در آن مجموع هزینه‌های تأسیس و بهره‌برداری تسهیلات همراه هزینه ارسال و برآورد تقاضاها کمینه‌سازی می‌شود. تابع هدف دوم (رابطه ۲) به دنبال پراکندگی تسهیلات در

جدول ۵. ظرفیت هر سایت در ارضای تقاضای کالاها

دوره زمانی							
۵	۴	۳	۲	۱			
۱۴۰	۱۴۰	۱۴۰	۱۲۰	۱۰۰	۱,۱		
۱۳۰	۱۳۰	۱۳۰	۱۳۰	۱۲۰	۱,۲		
۱۴۰	۱۴۰	۱۴۰	۱۲۰	۱۰۰	۲,۱		
۱۳۰	۱۳۰	۱۳۰	۱۳۰	۱۲۰	۲,۲		
۱۴۰	۱۴۰	۱۴۰	۱۲۰	۱۰۰	۳,۱		
۱۳۰	۱۳۰	۱۳۰	۱۳۰	۱۲۰	۳,۲		
۱۴۰	۱۴۰	۱۴۰	۱۲۰	۱۰۰	۴,۱		
۱۳۰	۱۳۰	۱۳۰	۱۳۰	۱۲۰	۴,۲		
۱۴۰	۱۴۰	۱۴۰	۱۲۰	۱۰۰	۵,۱		
۱۳۰	۱۳۰	۱۳۰	۱۳۰	۱۲۰	۵,۲		

جدول ۶. فاصله بین مشتریان و سایتها

مشتری							
۵	۴	۳	۲	۱			
۲۷	۱۱	۲۴	۲۵	۲۲	۱	مکانهای کاندیدا	
۲۳	۱۸	۱۴	۲۴	۲۳	۲		
۳۰	۳۰	۱۱	۱۱	۱۴	۳		
۳۰	۱۴	۲۲	۱۱	۱۳	۴		
۲۲	۱۳	۱۷	۱۹	۱۲	۵		

جدول ۷. مسافت جفتی بین سایتها

مکانهای کاندیدا							
۵	۴	۳	۲	۱			
۲۲	۲۱	۲۲	۲۲	۰	۱	مکانهای کاندیدا	
۲۵	۱۶	۲۳	۰	-	۲		
۱۸	۲۱	۰	-	-	۳		
۱۸	۰	-	-	-	۴		
۰	-	-	-	-	۵		

همچنین، اطلاعات هزینه‌ای نشان می‌دهد $(\alpha_1, \alpha_2) = (2, 4)$ در همه دوره‌ها برقرار است. در این مثال بزرگ‌ترین عنصر در جدول ۷. به منزله آرمان برای تابع هدف دوم، bo_2 ، در نظر گرفته می‌شود و فرض بر آن است که هر دو هدف برای تصمیم‌گیرنده اهمیت یکسان دارند. برای حل این مسئله از نرم‌افزار تجاری GAMS-V:23.5 و حلگر Cplex استفاده شد که نتایج بهینه آن در شکل‌های ۱ و ۲ می‌آید.

بخشی است. در این زمینه، باید توجه کرد که مدل اول فوق در کلاس NP-Hard قرار می‌گیرند [۳۳] و مدل دوم نیز در هر دو ویرایش (جمعی و ماکزیمم) همین شرایط را دارد [۳۴]. بنابراین، می‌توان انتظار داشت که مدل ترکیبی چنددوره‌ای ارائه‌شده نیز از لحاظ تعداد متغیرها و محدودیت‌ها رفتاری مشابه داشته باشد.

مثال عددی

به منظور شرح بیشتر مدل ارائه‌شده در بخش قبل، یک مسئله با داده‌های تاریخی در این بخش بررسی می‌شود. هدف آن است که ضمن حفظ چابکی در برآورده‌سازی تقاضا تسهیلات از لحاظ آرایش شبکه‌ای امنیت بالایی داشته باشند. ساختار مسئله مورد نظر از اجزای زیر تشکیل شده است:

تعداد نقاط کاندیدا در شبکه: ۵

تعداد مشتری: ۵

تعداد کالا: ۲

تعداد دوره‌های زمانی: ۵

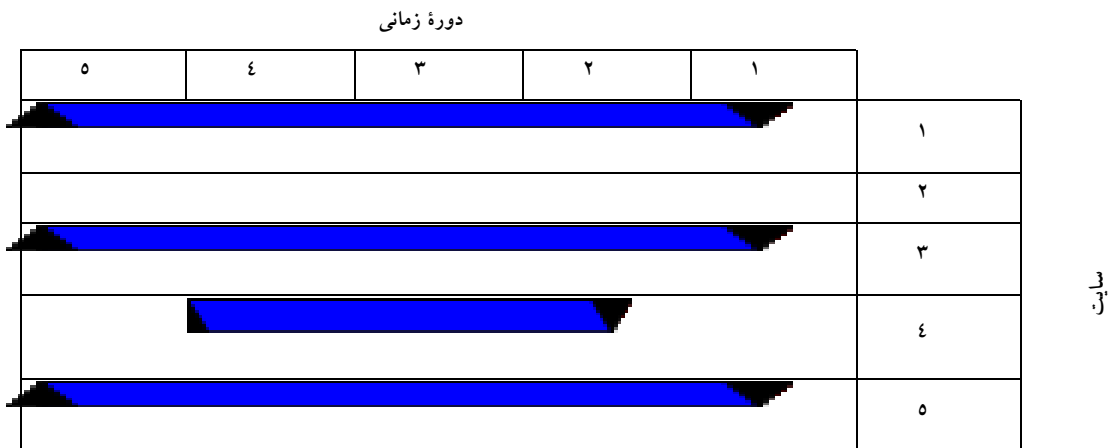
جدول‌های ۳ تا ۷ پارامترهای لازم را برای تشکیل مدل ارائه می‌دهند.

جدول ۳. هزینه ثابت راه‌اندازی در هر سایت

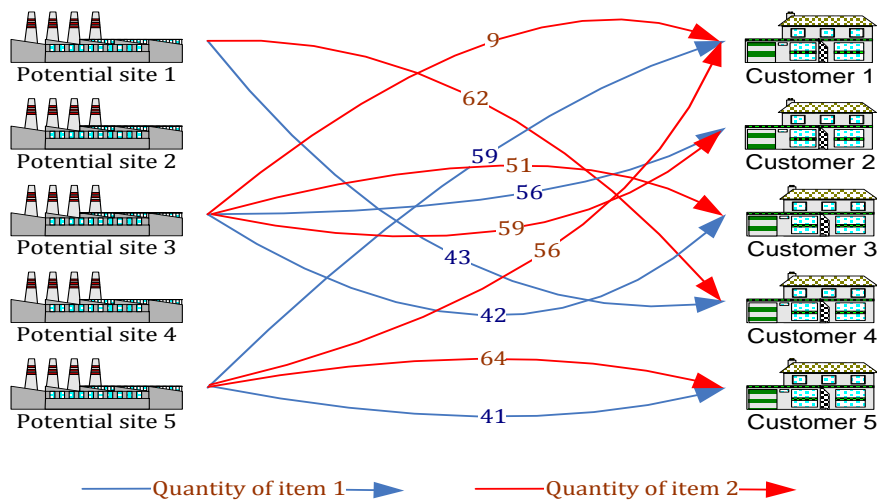
دوره زمانی							
۵	۴	۳	۲	۱			
۱۸۰	۱۶۵	۱۵۰	۱۳۵	۱۲۰	۱	مکانهای کاندیدا	
۱۵۵	۱۴۵	۱۳۰	۱۱۵	۱۰۰	۲		
۱۷۰	۱۵۵	۱۴۰	۱۳۰	۱۲۰	۳		
۱۶۰	۱۴۵	۱۳۵	۱۲۰	۱۱۰	۴		
۱۶۵	۱۴۵	۱۳۰	۱۱۵	۱۰۰	۵		

جدول ۴. تقاضای مشتریان در زمینه هر کالا

دوره زمانی							
۵	۴	۳	۲	۱			
۳۰	۳۰	۷۵	۷۰	۵۹	۱,۱	مشتری کالا	
۳۱	۳۵	۵۰	۶۷	۶۵	۱,۲		
۲۰	۲۷	۷۰	۸۳	۵۶	۲,۱		
۴۴	۴۰	۵۲	۶۵	۵۹	۲,۲		
۳۶	۳۴	۷۰	۷۶	۴۲	۳,۱		
۲۲	۲۴	۶۳	۷۹	۵۱	۳,۲		
۲۵	۲۰	۶۵	۸۰	۴۳	۴,۱		
۳۹	۳۴	۶۴	۶۶	۶۲	۴,۲		
۳۶	۳۵	۵۲	۷۷	۴۱	۵,۱		
۳۳	۳۴	۵۱	۸۹	۶۴	۵,۲		



شکل ۱. حالت بهینه هر سایت در طول افق برنامه ریزی



شکل ۲. طراحی بهینه شبکه تقاضا در دوره اول افق زمانی

کارهای انجام شده دارای ویژگی‌های زیر است:

- این مدل به طور هم‌زمان تصمیمات پراکنندگی تسهیلات تأمین کننده را در کنار کاهش هزینه‌های تأمین تقاضا در نظر می‌گیرد.
- به منظور ارضای شرایط چابکی، معیار پاسخگویی در مقابل تقاضای نوسانی از طریق یک مدل چنددوره‌ای پیشنهاد شد.
- امکان بازآرایی شبکه تأمین تقاضا نیز به منزله معیار انعطاف‌پذیری در زیرساخت‌های شبکه در نظر گرفته شد.
- هزینه‌های راه‌اندازی، عملیاتی، و حمل‌ونقل در یک شبکه چندکالایی مطالعه شد.
- یک مدل چندهدفه برنامه‌ریزی آرمانی جهت بهینه‌سازی توسعه داده شد.

نتایج نشان می‌دهد، به جز کاندیدای دوم، سایر کاندیداها در دوره‌های مختلف به کار رفته‌اند. در دوره اول سه سایت اول و سوم و پنجم باید افتتاح شوند و تا پایان افق برنامه‌ریزی فعالیت کنند. همچنین، یک تسهیل اضافی برای پوشش تغییرات تقاضا در سایت چهارم باز خواهد شد. البته، این تسهیل در دوره چهارم بسته می‌شود. شکل ۱ وضعیت بهینه پویایی و سایت‌ها را نشان می‌دهد. آرایش شبکه نیز همراه نحوه تخصیص مشتریان در اولین دوره زمانی در شکل ۲ قابل مشاهده است.

تحلیل نتایج

به منظور تصدیق مدل ارائه شده و نتایج آن باید اذعان کرد مدل از لحاظ فرضیات، با توجه به پیشینه موضوع، قابل تصدیق است. مدل ارائه شده در این تحقیق در مقایسه با

نتیجه گیری

در این مطالعه، اهم کارهای انجام شده در زمینه طراحی شبکه تقاضا، با در نظر گرفتن هزینه ثابت و پراکنده کردن تسهیلات، به دلایل امنیتی و دفاعی، در صورت وجود تقاضای غیر ثابت و نوسانی مرور شد. در چنین شبکه‌هایی چابکی و پخش شدن به منزله دو هدف مقابل هم قرار می‌گیرند. اگر رویکرد نوین هسته کوچک و شبکه بزرگ برای مدیریت شبکه ساخت مفروض باشد، به روشی نیاز است تا به طور هم‌زمان، ضمن برآورده کردن تقاضاها با کمترین هزینه و زمان، تصمیمات استراتژیک، نظیر باز و بسته کردن سایت‌ها در دوره‌های متفاوت افق استراتژیک و تخصیص تقاضاها به آن‌ها، را در نظر گیرد. بدین منظور یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط برای حل این مسئله توسعه داده شد که در آن تقاضایی همراه نوسان در یک افق چنددوره‌ای به کمک یک شبکه طوری پاسخ داده می‌شود که هزینه انتقال کالاها و امنیت شبکه مدنظر قرار گیرد. همچنین، برای تحلیل هم‌زمان چندین تابع هدف، از روش پرکاربرد برنامه‌ریزی آرمانی استفاده شد. هدف اصلی این تحقیق طراحی یک شبکه تقاضای چندکالایی به نحوی است که از طریق پراکندگی تسهیلات شبکه امنیت آن حفظ و از طریق جابجایی و توزیع مناسب کالاها هزینه آن بهینه‌سازی شود. اهرم‌های مدیریتی برای رسیدن به چنین اهدافی در مدل حاضر عبارت است از تصمیم‌گیری درباره باز یا بسته شدن یک تسهیل در شبکه و مقدار کالایی که با آن تسهیل به نقاط تقاضا ارسال شود. در ادامه این تحقیق و به منظور ارائه پیشنهاد برای مطالعات آتی می‌توان به ارائه روش‌های حل غیر کلاسیک برای این مدل در ابعاد بزرگ‌تر اشاره کرد. همچنین، در نظر گرفتن عدم قطعیت در مدل‌سازی از طریق پارامترهای فازی، تصادفی، یا فاصله‌ای می‌تواند تحقیق حاضر را توسعه دهد.

امنیت شبکه، چه از لحاظ فیزیکی (سخت‌افزاری) و چه از لحاظ اطلاعاتی (نرم‌افزاری)، در سیستم‌هایی که در صنایع نظامی مطالعه می‌شوند ضروری است. از این رو، در مدل پیشنهادی از معیار پراکندگی تسهیلات نسبت به هم (نه به نقاط تقاضا) استفاده شد. همچنین، برای در نظر گرفتن چابکی، تغییرات تقاضا در وضعیتی چنددوره‌ای مدنظر قرار گرفت. نتایج بهینه، که در بخش قبل بررسی شد، نیز به تصدیق نیاز دارد. از آنجا که مدل مشابه یا امکان اخذ نتایج اجرا، به دلیل طولانی بودن افق برنامه‌ریزی مدل، وجود ندارد، تحلیل حساسیت روی پارامترهایی نظیر تقاضا و هزینه بررسی شد. در این زمینه برای تقاضا و هزینه محدوده تغییر ۱۰ درصدی در نظر گرفته شد. نتایج تحلیل حساسیت در جدول ۸ می‌آید.

جدول ۸. تحلیل حساسیت روی پارامترهای تقاضا و هزینه‌ای سیستم

هزینه کل سیستم	سناریوی پارامتر	
	تقاضا	هزینه
۱۰۳۲۲۰	بالا	پایین
۱۱۴۶۰۰	بالا	بالا
۹۹۶۴۰	پایین	پایین
۱۰۵۴۱۰	پایین	بالا
۱۰۴۲۵۰	مدل پایه	
%۱۴	درصد تغییرات در تحلیل حساسیت	

همان‌طور که در جدول ۸ مشاهده می‌شود، با محدوده تغییر ۲۰ درصدی در پارامترها، هزینه سیستم ۱۴ درصد تغییر می‌کند. بنابراین، می‌توان با به‌کارگیری تدبیرهایی در سیاست‌های استراتژیک در زمینه تعیین بودجه و تأمین هزینه به این عدم قطعیت فائق شد.

REFERENCES

- Cáñez, L. E., Platts, K. W., and Probert, D. R. (2000). "Developing a framework for make-or-buy decisions." *Int J. of Oper & Prod Mgmt.*, Vol. 20, No. 11, 1313–1330.
- Humphreys, P., McIvor, R., and Huang, G. (2002). "An expert system for evaluating the make or buy decision." *Comp & Ind Eng*, Vol. 42, No. 2–4, 567–585.
- Probert, D. (1997). *Developing a make or buy strategy for manufacturing business*, Institution of Electrical Engineers, London.
- Fischer, D. and Hafen, U. (1997). "Immer wieder die gleichen Fehler." *io Management Zeitschrift Industrielle Organisation*, Vol. 66, No. 6, 38–45.
- Micklethwait, J. and Wooldridge, A. (1996). *The Witch Doctors - What the Management Gurus are Saying, Why it Matters and How to Make Sense of it*, Heinemann, London.
- Capello, R. (1996). "Industrial Enterprises and Economic Space: the Network Paradigm." *Euro Plann Stud*, Vol. 4, No. 4, 485–498.

7. Miles, R. E. and Snow, C. C. (1984). "Fit, Failure and the Hall of Fame." *California Mgmt. Rev.*, Vol. 26, No. 3, 11–28.
8. Friedrich, S. A. (2000). "Was ist "Core" und was ist "Non-Core"?" *io Management*, Vol. 69, No. 4, 18–23.
9. Nagel, R. N., Dove, R., Goldman, S., and Preiss, K. (1991). *21st Century Manufacturing Enterprise Strategy: An Industry Led View*, Iacocca Institute/Lehigh University, Bethlehem, PA.
10. Burgess, T. F. (1994). "Making the Leap to Agility: Defining and Achieving Agile Manufacturing through Business Process Redesign and Business Network Redesign." *Int J. of Oper & Prod Mgmt.*, Vol. 14, No. 11, 23–34.
11. Katayama, H. and Bennett, D. J. (1999). "Agility, Adaptability and Leanness: A Comparison of Concepts and a Study of Practice." *Int J. of Prod Econ*, Vol. 60–61 No. 1, 43–51.
12. Vinodh, S. (2011). "Axiomatic modelling of agile production system design." *Int J. of Prod Res*, 49:11, 3251-3269.
13. Hale, T. S. and Moberg, C. R. (2003). "Location science research: a review." *Annals of Oper Res*, 123, 21-35.
14. Current, J., Daskin, M., and Schilling, D. (2002). "Discrete network location models." in *Facility location: applications and theory*, Z. Drezner and H. Hamacher (Eds), Springer-Verlag, Berlin, 81-118.
15. Sridharan, R. (1995). "The capacitated plant location problem". *Euro J. of Oper Res*, 87: 203-21 3.
16. Drezner, Z., Klamroth, K., Schobel, A., and Wesolowsky, G. (2002). "The Weber problem". in *Facility Location: Applications and Theory*, Z. Deznar & H. W. Hamacher (Eds), Springer-Verlag, Heidelberg: 1-36.
17. Cooper, L. (1963). "Location-allocation problems." *Oper Res*, 11: 331-343.
18. Berman, O., Drezner, Z., and Wesolowsky, G. O. (2002). "The collection depots location problem on networks." *Naval Res Log*, 49:1 5-24.
19. Hakimi, S. L. (1964). "Optimum locations of switching centers and the absolute centers and medians of a graph." *Oper Res*, 12: 450-459.
20. Hakimi, S. L. (1965). "Optimum distribution of switching centers in a communication network and some related graph theoretic problems." *Oper Res*, 13: 462-475.
21. Mladenovic, N., Labbe, M., and Hansen, P. (2003). "Solving the p-center problem with tabu search and variable neighborhood search." *Networks*, 42 (1): 48–64.
22. Murray, A. T. and Gerrard, R. A. (1997). "Capacitated service and regional constraints in location-allocation modeling." *Location Sci*, 5 (2): 103-118.
23. Al-Sultan, K. S. and Al-Fawzan, M. A. (1999). "A tabu search approach to the uncapacitated facility location." *Annals of Oper Res*, 86: 91–103.
24. Zhou, J. (2000). "Uncapacitated facility layout problem with stochastic demands". *Proc. of the 6th National Conf of Oper Res Society of China*. Changsha, China, October 10-15, X. Hang, J. Wang, B. Liu & D. Liu. (Eds), Global-Link Publishing Company, Hong-Kong: 904-91 1. 131.
25. Ghosh, D. (2003). "Neighborhood search heuristics for the uncapacitated facility location problem." *Euro J. of Oper Res*, 150: 150-1 62.
26. Church, R. L. and ReVelle, C. S. (1976). "Theoretical and computational links between the p-median location set-covering and the maximal covering location problem." *Geo. Analysis*, 8: 406-415.
27. Campbell, J. F., Ernst, A. T., and Krishnamoorthy, M. (2002). "Hub location problems." in *Facility Location: Applications and Theory*, Z. Deznar & H. W. Hamacher (Eds), Springer-Verlag, Heidelberg: 81-118.
28. Krarup, J., Pisinger, D., and Plasria, F. (2002). "Discrete location problems with push-pull objectives." *Disc. Appl. Math.*, 123: 267-378.
29. Jena, S. D., Cordeau, J. F., and Gendron, B. (2013). *Dynamic Facility Location with Generalized Modular Capacities*. Technical Report, CIRRELT-2013-18.
30. Bolori Arabani, A. and Farahani, R. Z. (2012). "Facility location dynamics: An overview of classifications and applications." *Comp & Ind. Eng.*, 62(1), 408-420.
31. Wesolowsky, G. O. (1973). "Dynamic facility location." *Mgmt. Sci*, 19(11), 1241-1248.
32. Hwang, C. L., and Masud, Abu Syed Md. (1979). *Multiple objective decision making, methods and applications : a state-of-the-art survey*. Berlin ; New York: Springer-Verlag.
33. Venables, H. and Moscardini, A. (2006), *An Adaptive Search Heuristic for the Capacitated Fixed Charge Location Problem; Ant Colony Optimization and Swarm Intelligence*. Springer Berlin Heidelberg, 2006. 348-355.
34. Pisinger, D. (2006). "Upper bounds and exact algorithms for p-dispersion problems." *Comp & Oper Res*, 33(5), 1380-1398.

واژگان لاتین به ترتیب استفاده در متن

1. Supply Chain Planning (SCP)
2. Low-technology Approaches
3. Downstream Parts
4. Core Competencies
5. Lean Production
6. Agile
7. Computer Aided Manufacturing
8. Just-in-time
9. Supply Chain Management
10. Carnegie Steel
11. General Motors
12. Sears
13. Roebuck
14. Hewlett-packard
15. Current
16. Covering
17. P-center
18. P-dispersion
19. P-median
20. Fixed Charge
21. Hub
22. Maxisum
23. Minisum
24. Minimax