

طراحی و بهره‌برداری یکپارچه سیستم انبارداری با رویکرد بهینه‌سازی دوسطحی تحت عدم قطعیت

چکیده

طراحی و بهره‌برداری سیستم‌های انبارداری مستلزم اتخاذ تصمیمات مرتبط در سطوح مختلف سازمانی است که به‌طور ذاتی به یکدیگر وابسته‌اند. انتخاب فناوری قفسه‌بندی به‌عنوان یک تصمیم استراتژیک بلندمدت، تأثیر مستقیمی بر تخصیص اقلام، عملیات برداشت سفارش و هزینه‌های عملیاتی انبار دارد. در این پژوهش، یک مدل بهینه‌سازی دوسطحی برای تصمیم‌گیری یکپارچه در طراحی فیزیکی و بهره‌برداری عملیاتی انبار ارائه شده است. در سطح رهبر، انتخاب فناوری قفسه‌بندی و تخصیص مساحت به هر فناوری با هدف حداقل‌سازی هزینه‌های ساخت انجام می‌شود. در سطح پیرو، مسئله تخصیص اقلام و بهینه‌سازی عملیات برداشت سفارش تحت عدم قطعیت تقاضا مدل‌سازی شده است. به‌منظور حل مدل دوسطحی، از الگوریتم ژنتیک تودرتو استفاده شده و یک مکانیزم تکرارشونده برای همگرایی ظرفیت بین دو سطح توسعه یافته است. نتایج عددی و تحلیل حساسیت نشان می‌دهد که در نظر گرفتن عدم قطعیت تقاضا منجر به تصمیمات طراحی پایدارتر و افزایش ظرفیت موردنیاز انبار می‌شود. همچنین، مدل پیشنهادی توانایی بالایی در تطبیق تصمیمات طراحی با تغییرات هزینه فناوری‌ها دارد.

مقدمه

انبارداری یکی از اجزای کلیدی زنجیره تأمین است که نقش مهمی در کاهش هزینه‌ها، افزایش سطح خدمت‌دهی و بهبود عملکرد لجستیکی ایفا می‌کند. تصمیمات مرتبط با طراحی سیستم انبارداری، از جمله انتخاب فناوری قفسه‌بندی و تخصیص فضای فیزیکی، معمولاً در افق‌های زمانی بلندمدت اتخاذ می‌شوند. در مقابل، تصمیمات عملیاتی مانند تخصیص اقلام و برنامه‌ریزی عملیات برداشت سفارش در بازه‌های زمانی کوتاه‌مدت انجام می‌گیرند. با وجود تفاوت در افق تصمیم‌گیری، این تصمیمات به‌شدت به یکدیگر وابسته‌اند و اتخاذ آن‌ها به‌صورت مستقل می‌تواند منجر به ناکارآمدی سیستم شود.

برداشت سفارش به عنوان یکی از پرهزینه ترین فعالیت های انبارداری، سهم قابل توجهی از هزینه های عملیاتی را به خود اختصاص می دهد. انتخاب فناوری قفسه بندی مناسب می تواند مسیرهای برداشت، نوع تجهیزات مورد استفاده و در نهایت هزینه های عملیاتی را تحت تأثیر قرار دهد. علاوه بر این، عدم قطعیت تقاضا و نوسانات ورود و خروج کالا، چالش های قابل توجهی در طراحی ظرفیت و بهره برداری انبار ایجاد می کند

در این پژوهش، با هدف ایجاد هماهنگی میان تصمیمات استراتژیک و عملیاتی، یک مدل بهینه سازی دوسطحی برای طراحی و بهره برداری یکپارچه انبار ارائه شده است که در آن، عدم قطعیت تقاضا به صورت سناریومحور لحاظ می شود

۲. روش کار و مدل ساز

۱- ۲. ساختار مدل دوسطحی

مدل پیشنهادی از دو سطح تصمیم گیری تشکیل شده است. در سطح رهبر، تصمیمات مربوط به انتخاب فناوری قفسه بندی و تخصیص مساحت زمین در دسترس به هر فناوری اتخاذ می شود. هدف این سطح، حداقل سازی هزینه های ساخت و سرمایه گذاری انبار با در نظر گرفتن نیاز ظرفیت است

در سطح پیرو، با فرض ثابت بودن تصمیمات رهبر، مسئله تخصیص اقلام به موقعیت های نگهداری و بهینه سازی عملیات برداشت سفارش مدل سازی می شود. هدف این سطح، حداقل سازی هزینه های عملیاتی شامل هزینه جابجایی و استفاده از تجهیزات حمل و نقل داخلی است

۲-۲. در نظر گرفتن عدم قطعیت

به منظور مدل سازی شرایط واقعی بازار، تقاضای محصولات به صورت احتمالی و از طریق مجموعه ای از سناریوها با سطوح مختلف واریانس در نظر گرفته شده است. در هر سناریو، میزان ورود، خروج و موجودی ایمنی محصولات محاسبه شده و بیشترین مقدار ظرفیت مورد نیاز در دوره های زمانی به عنوان خروجی کلیدی مدل پیرو تعیین می شود

۳-۲. روش حل

از آنجا که مدل دوسطحی به صورت مستقیم قابل حل نیست، از یک الگوریتم ژنتیک تودرتو استفاده شده است. الگوریتم ژنتیک سطح رهبر، متغیرهای تخصیص مساحت را جستجو می کند و برای هر راه حل پیشنهادی، مدل سطح پیرو حل شده و مقدار هزینه عملیاتی و ظرفیت مورد نیاز محاسبه می شود. خروجی سطح پیرو به عنوان تابع برازش سطح رهبر مورد استفاده قرار می گیرد. این فرآیند به صورت تکرارشونده ادامه می یابد تا مقدار ظرفیت و تصمیمات طراحی به همگرایی برسند

۳. نتایج محاسباتی و تحلیل حساسیت

۳-۱. تحلیل همگرایی

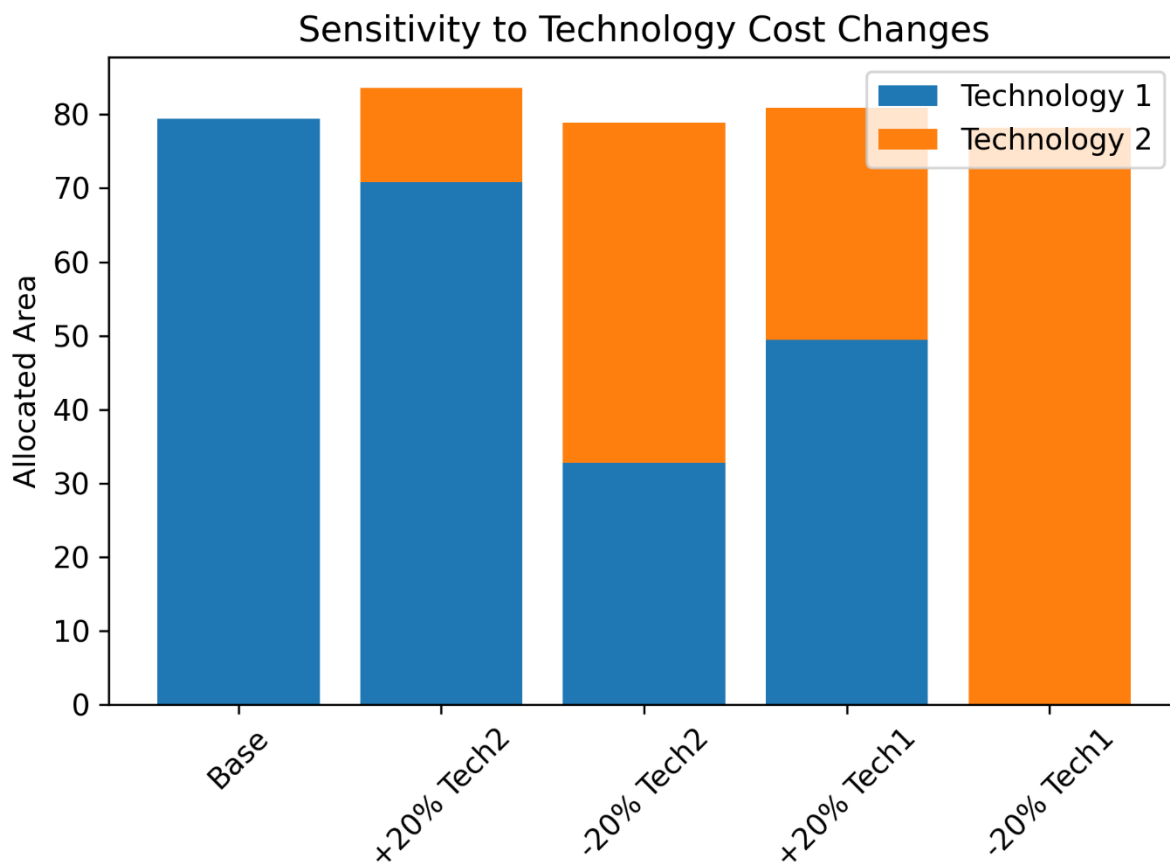
نتایج نشان می دهد که مکانیزم تکرار بین سطح رهبر و پیرو در تعداد محدودی از تکرارها به همگرایی می رسد. پس از چند تکرار اولیه، مقدار ظرفیت محاسبه شده تثبیت شده و تغییرات تخصیص مساحت به فناوری ها ناچیز می شود. این امر بیانگر پایداری و کارایی روش حل پیشنهادی است

۳-۲. نتایج انتخاب فناوری قفسه بندی

در سناریوی پایه، مدل تمایل به انتخاب ترکیبی از فناوری ها دارد که تعادل مناسبی میان هزینه ساخت و عملکرد عملیاتی ایجاد می کند. تغییر هزینه هر فناوری باعث جابه جایی مساحت تخصیص یافته میان فناوری ها می شود، به گونه ای که فناوری های کم هزینه تر سهم بیشتری از فضای انبار را به خود اختصاص می دهند

۳-۳. تحلیل حساسیت نسبت به هزینه فناوری ها

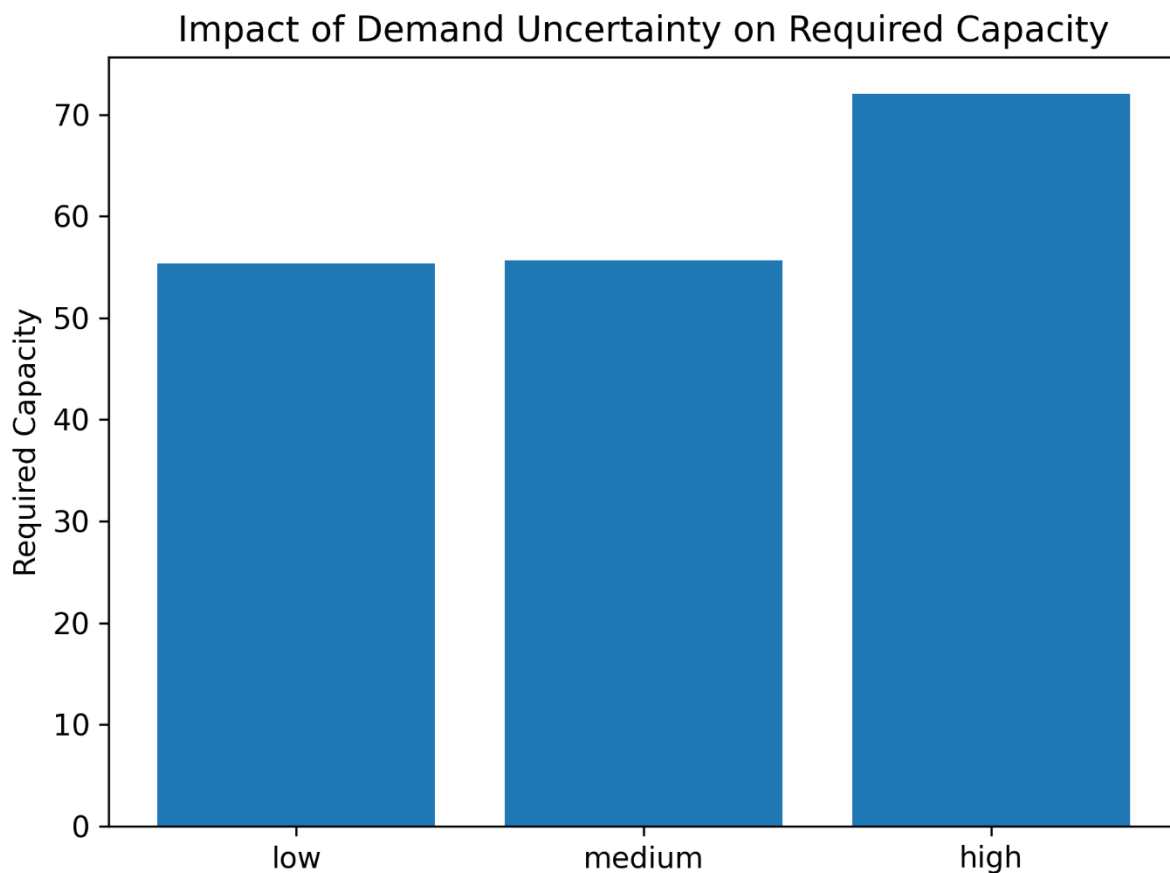
با تغییر در هزینه های سرمایه گذاری، مدل به طور هوشمند مساحت تخصیص یافته را جابه جا می کند.



شکل ۱. حساسیت انتخاب فناوری نسبت به تغییرات هزینه.

۳ - ۴. تحلیل اثر عدم قطعیت تقاضا

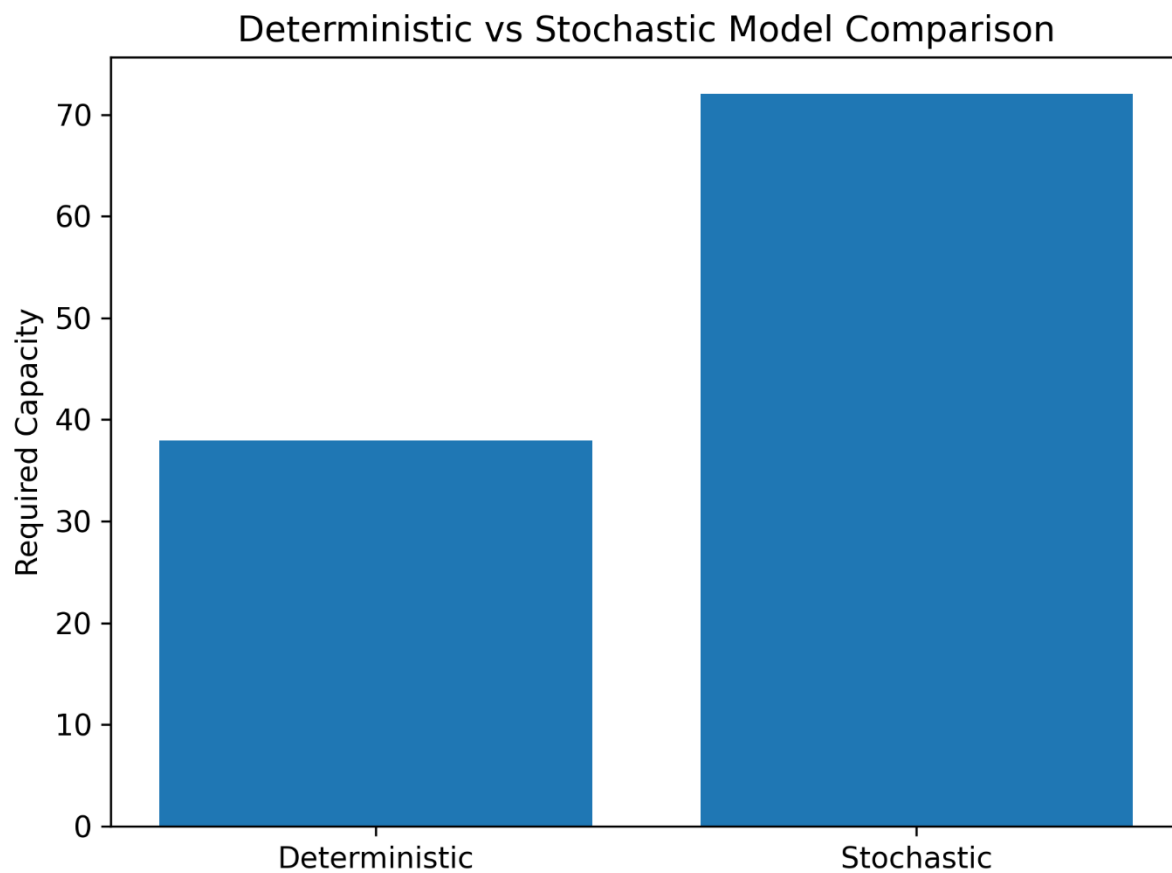
افزایش واریانس تقاضا مستقیماً منجر به افزایش ظرفیت مورد نیاز انبار می‌شود تا ریسک کمبود موجودی پوشش داده شود.



شکل ۲. ظرفیت مورد نیاز انبار در سطوح مختلف عدم قطعیت تقاضا.

۳-۵. مقایسه مدل قطعی و تصادفی

مقایسه نشان می‌دهد که مدل قطعی اگرچه در ابتدا کم‌هزینه‌تر به نظر می‌رسد، اما در مواجهه با نوسانات واقعی تقاضا دچار شکست می‌شود. مدل تصادفی با افزایش بهینه ظرفیت، پایداری سیستم را تضمین می‌کند.



شکل ۳. مقایسه عملکردی مدل قطعی در مقابل مدل تصادفی از نظر ظرفیت نهایی و تخصیص منابع.

نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که نادیده گرفتن وابستگی میان تصمیمات طراحی و بهره‌برداری می‌تواند منجر به انتخاب‌های غیربهبوده شود. مدل دوسطحی پیشنهادی با در نظر گرفتن این وابستگی، امکان تصمیم‌گیری هماهنگ و واقع‌بینانه را فراهم می‌کند. همچنین، لحاظ کردن عدم قطعیت تقاضا نقش مهمی در افزایش پایداری تصمیمات طراحی ایفا می‌کند و از دیدگاه مدیریتی، توجیه‌کننده سرمایه‌گذاری بیشتر برای کاهش ریسک عملیاتی است.

۵. نتیجه‌گیری

در این پژوهش، یک مدل بهینه‌سازی دوسطحی برای طراحی و بهره‌برداری یکپارچه سیستم انبارداری ارائه شد که امکان هماهنگی همزمان تصمیمات استراتژیک و عملیاتی را فراهم می‌کند. استفاده از الگوریتم ژنتیک تودرتو، حل مؤثر مدل پیچیده و همگرایی تصمیمات ظرفیت و طراحی را امکان‌پذیر ساخت. نتایج محاسباتی نشان داد که در نظر گرفتن عدم قطعیت تقاضا منجر به افزایش بهینه ظرفیت و پایداری عملکرد سیستم در شرایط واقعی بازار می‌شود.

از منظر مدیریتی، نتایج نشان می‌دهد که سرمایه‌گذاری آگاهانه در انتخاب فناوری قفسه‌بندی و طراحی ظرفیت، با لحاظ شرایط عدم قطعیت، می‌تواند ریسک‌های عملیاتی، کمبود موجودی و هزینه‌های ناشی از تصمیمات کوتاه‌نگرانه را به‌طور معناداری کاهش دهد. چارچوب پیشنهادی این پژوهش می‌تواند به‌عنوان یک ابزار تصمیم‌یار عملی برای مدیران انبار و زنجیره تأمین در پروژه‌های طراحی و توسعه انبار مورد استفاده قرار گیرد.