

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 به طور ذاتی به یکدیگر وابسته‌اند. انتخاب فناوری قفسه‌بندی به عنوان 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. به منظور حل مدل دوسطحی، از الگوریتم ژنتیک تودر تو 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 به شدت به یکدیگر وابسته‌اند و اتخاذ آن‌ها به صورت مستقل می‌تواند منجر به ناکارآمدی سیستم شود.

برداشت سفارش به عنوان یکی از پر هزینه ترین فعالیت های انبار داری، سهم قابل توجهی از هزینه های عملیاتی را به خود اختصاص می دهد. انتخاب فناوری قفسه بندی مناسب می تواند مسیر های 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 دو سطحی 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 دو سطحی

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 موردنیاز در دوره های زمانی به عنوان خروجی کلیدی مدل پیرو تعیین می شود

۲-۳. روش حل

از آنجا که مدل دو سطحی به صورت مستقیم قابل حل نیست، از یک الگوریتم ژنتیک تودر تو استفاده شده است. الگوریتم ژنتیک سطح رهبر، متغیرهای تخصیص مساحت را جستجو می‌کند و برای هر راه حل پیشنهادی، مدل سطح پیرو حل شده و مقدار هزینه عملیاتی و ظرفیت موردنیاز محاسبه می‌شود. خروجی سطح پیرو به عنوانتابع برآش سطح رهبر مورد استفاده قرار می‌گیرد. این فرآیند به صورت تکرارشونده ادامه می‌یابد تا مقدار ظرفیت و تصمیمات طراحی به همگرایی برسند

۳. نتایج محاسباتی و تحلیل حساسیت

۱-۳. تحلیل همگرایی

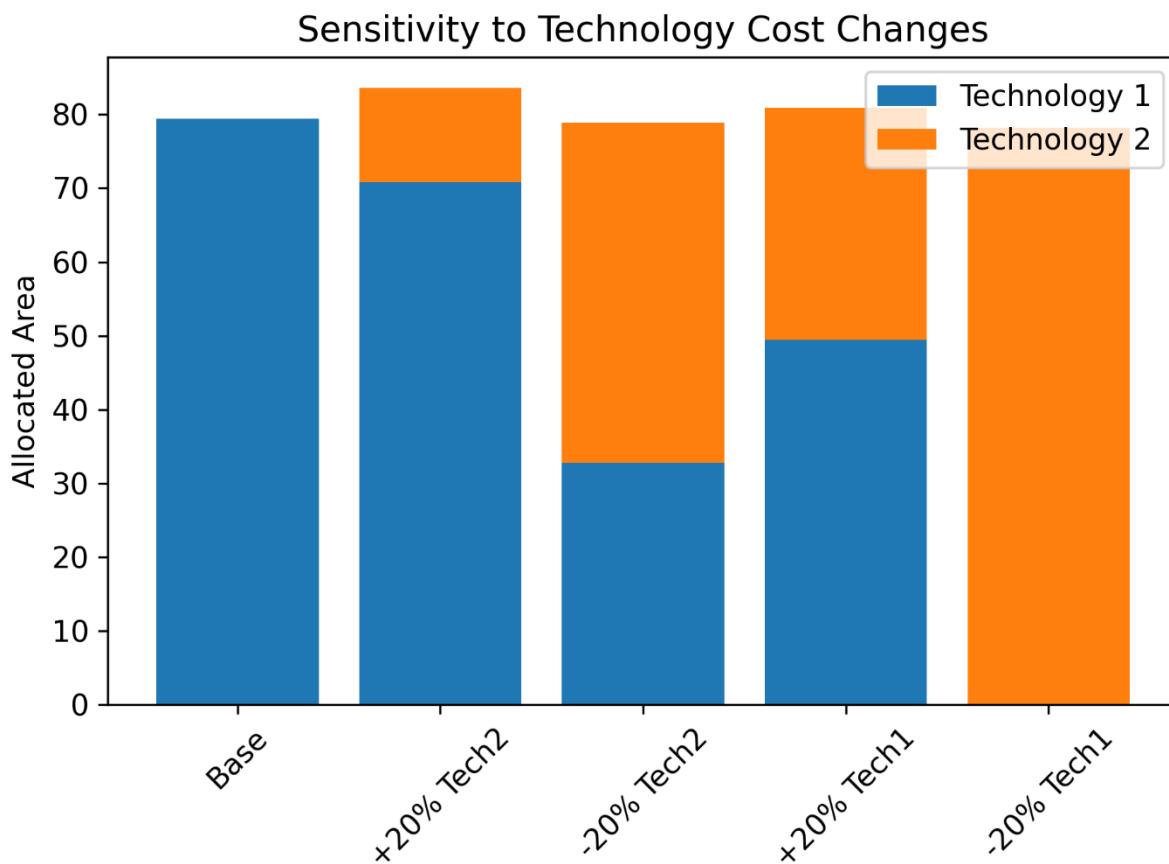
نتایج نشان می‌دهد که مکانیزم تکرار بین سطح رهبر و پیرو در تعداد محدودی از تکرارها به همگرایی می‌رسد. پس از چند تکرار اولیه، مقدار ظرفیت محاسبه شده ثابت شده و تغییرات تخصیص مساحت به فناوری‌ها ناچیز می‌شود. این امر بیانگر پایداری و کارایی روش حل پیشنهادی است

۲-۳. نتایج انتخاب فناوری قفسه‌بندی

در سناریوی پایه، مدل تمایل به انتخاب ترکیبی از فناوری‌ها دارد که تعادل مناسبی میان هزینه ساخت و عملکرد عملیاتی ایجاد می‌کند. تغییر هزینه هر فناوری باعث جابه‌جایی مساحت تخصیص یافته میان فناوری‌ها می‌شود، به‌گونه‌ای که فناوری‌های کم‌هزینه‌تر سهم بیشتری از فضای انبار را به خود اختصاص می‌دهند

۳-۳. تحلیل حساسیت نسبت به هزینه فناوری‌ها

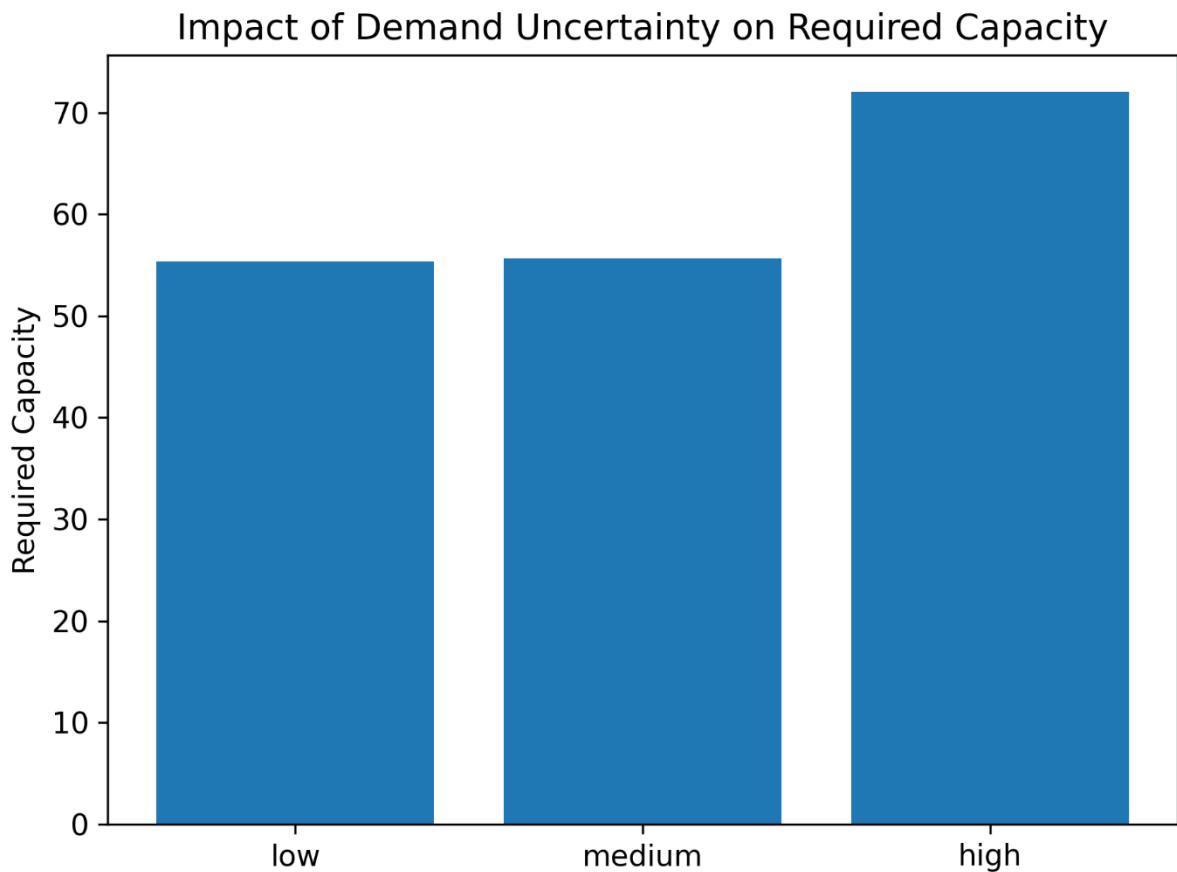
با تغییر در هزینه‌های سرمایه‌گذاری، مدل به‌طور هوشمند مساحت تخصیص یافته را جابه‌جا می‌کند.



شکل ۱. حساسیت انتخاب فناوری نسبت به تغییرات هزینه.

۳ - ۴. تحلیل اثر عدم قطعیت تقاضا

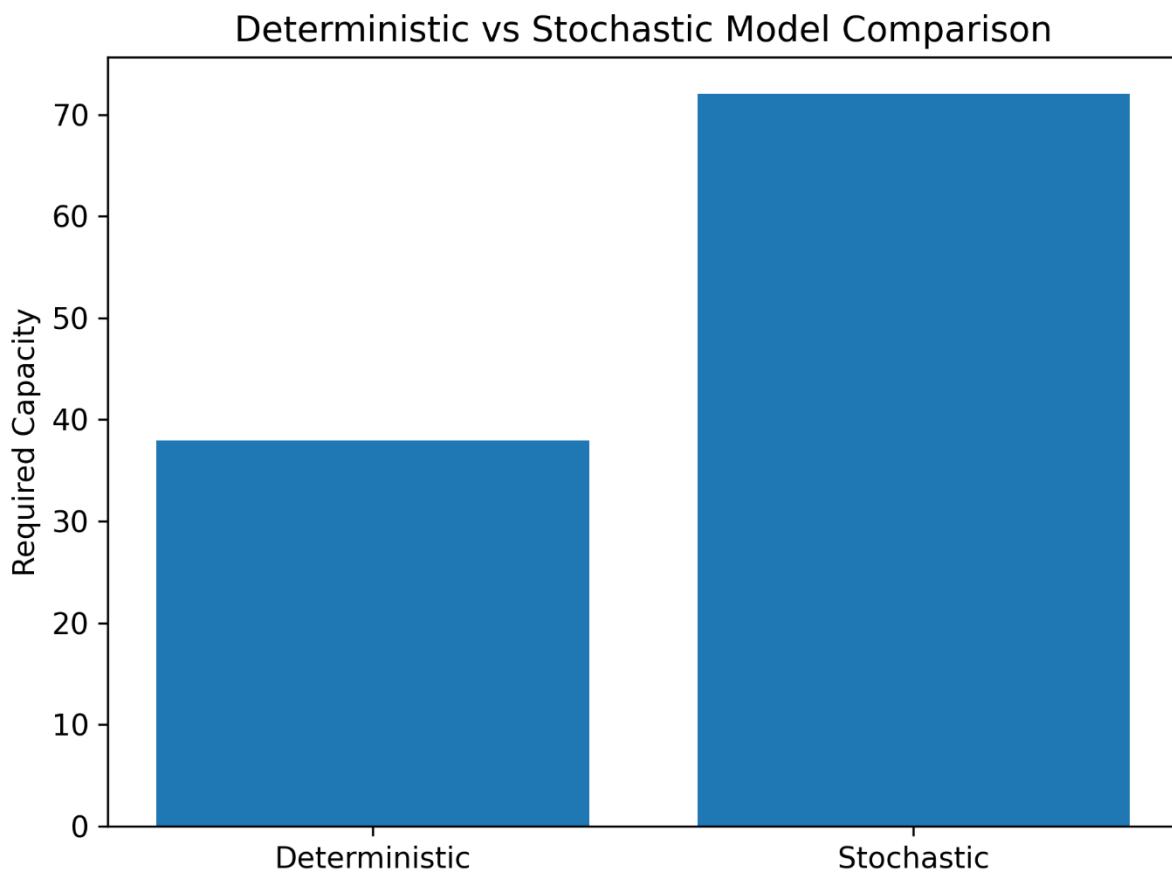
افزایش واریانس تقاضا مستقیماً منجر به افزایش ظرفیت مورد نیاز اثبات می‌شود تا ریسک کمبود موجودی پوشش داده شود.



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 غیربهینه شود. مدل دوستخی 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 دوستخی 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 به عنوان یک ابزار تصمیم‌گیری برای مدیران انبار و زنجیره تأمین در پروژه‌های طراحی و توسعه انبار مورد استفاده قرار گیرد