

زمان بندی یکپارچه تامین، تولید و توزیع در یک زنجیره تامین

نگین جمیلی^{*}، دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، دانشگاه فردوسی مشهد، negin.jamili@stu.um.ac.ir

محمد رنجبر، عضو هیأت علمی دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد، m_ranjbar@um.ac.ir

چکیده: با توجه به اهمیت روز افزون مدیریت زنجیره تامین در راستای دستیابی به عملکرد بهینه سیستم، در این مقاله زمان-بندی یکپارچه تولید و توزیع در یک زنجیره تامین مورد مطالعه قرار گرفته است. در این مساله تولیدکننده ای با محیط تک ماشینی در نظر گرفته شده که سفارش های چندین مشتری را تولید می نماید. سفارشات آماده شده جهت ارسال به مشتری دسته بندی شده و محتویات هر بسته، برای تعیین ترتیب تحویل به مشتریان مسیریابی می گردد. هدف از این مساله حداکثرسازی سطح خدمت دهی به مشتریان و کاهش هزینه های حمل و نقل شرکت، ضمن لحاظ تامین کننده بوده و مدل خطی آن به همراه روش های حل ابتکاری ارائه شده است.

کلمات کلیدی: مدیریت زنجیره تامین، زمان بندی یکپارچه، مسیریابی.

۱. مقدمه

مدل های زمان بندی سنتی به تعیین زمان بندی تولید، بدون در نظر گرفتن سایر مراحل از جمله توزیع می پرداختند. در این قبیل مدل ها این فرض در نظر گرفته شده که وسایل نقلیه کافی جهت حمل و نقل محصولات به مشتریان موجود بوده و لذا سفارشات بدون تاخیر به دست مشتری خواهد رسید. حال آنکه در دنیای واقعی ممکن است تعداد وسایل محدود بوده و یا جهت افزایش بهره وری هر وسیله به بیش از یک مشتری خدمت رسانی کند. زمان بندی تولید و توزیع با فرضیات و تابع هدف های مختلف، در مقالات متعددی از جمله [۱] آورده شده است، در حالی که مسیریابی برای ارسال سفارشات، در تعداد محدودی از آنها همچون [۲] و [۳] لحاظ شده است. مطالعات دیگری که در زمینه ی زمان بندی در زنجیره تامین انجام شده، با در نظر گرفتن تامین کننده، مساله را سه مرحله ای مطرح نموده اند و علاوه بر تولید و توزیع، مرحله تامین مواد را نیز لحاظ نموده اند. برای مثال Wang و Cheng در [۴] مساله زمان بندی دریافت مواد خام، نحوه پردازش و ارسال آن ها را برای مشتریان ارائه دادند.

در این مقاله برای لحاظ نمودن تاثیر تامین کننده و محدودیت های ناشی از آن، برای هر سفارش زمان در دسترس بودن در نظر گرفته شده است. به عبارت دیگر، مواد لازم برای تولید یک محصول تنها در زمان هایی که تامین کننده قادر به ارسال آن هاست به دست ما می رسد، لذا هر سفارش تنها در زمانی پس از زمان در دسترس بودن آن قابل پردازش بر روی ماشین است.

۲. تعریف مساله و مدل سازی

در این بخش جزئیات تعریف مساله و مدل ارائه شده برای آن، بیان شده است. در این مساله تولیدکننده پس از آماده سازی سفارش های مشتریان در محیط تک ماشینی آن ها را دسته بندی و ارسال می کند. جهت لحاظ نمودن سطح خدمت به مشتری، تابعی از زمان تحویل کالا (میانگین زمان های تحویل کلیه سفارش ها به مشتریان) در نظر گرفته شده و هزینه توزیع در بردارنده هزینه ثابت برای ارسال هر بسته و همچنین هزینه وابسته به مسافت طی شده توسط وسایل حمل می باشد. به عبارت دیگر یافتن برنامه ریزی بهینه برای توالی پردازش کالاها بر روی ماشین، زمان ارسال بسته های محصولات نهایی و تعداد موجود در آن ها و همچنین مسیریابی مشتریان در هر سفر، جهت حداقل نمودن هزینه ها و زمان تحویل به مشتریان مدنظر می باشد.

پارامترهای به کار رفته در مدل به شرح زیر می باشد:

$$J = \{j_1, j_2, \dots, j_n\} : \text{مجموعه ی کلیه سفارش ها}$$

$$K = \{1, 2, \dots, k\} : \text{مجموعه ی بسته های بالقوه برای ارسال}$$

$$p_j : \text{زمان پردازش سفارش } j$$

$$r_j : \text{زمان در دسترس بودن سفارش } j$$

$$t_{ij} : \text{زمان سفر از } i \text{ به } j \quad c_{ij} : \text{هزینه سفر از } i \text{ به } j$$

$$w : \text{ظرفیت هر بسته ارسالی} \quad f : \text{هزینه ثابت ارسال}$$

α : ضریب تابع هدف جهت لحاظ نظر تصمیم گیرنده برای دو

تابع هزینه و میانگین زمان تحویل سفارش ها

متغیرهای به کار رفته در مدل به شرح ذیل می باشد:

*ارائه دهنده

$$\sum_{j \in J} u_{0jk} = \sum_{j \in J} x_{jk} \quad \forall k \in K \quad (18)$$

$$\sum_{i=0} u_{ijk} = \sum_{i=0} u_{jik} + 1 \times \sum_{i=0} z_{ijk} \quad \forall j \in J, k \in K \quad (19)$$

$$\sum_{j \in J} u_{j0k} = 0 \quad \forall k \in K \quad (20)$$

$$u_{ijk} \leq M \times z_{ijk} \quad \forall i, j \in J \cup \{0\}, k \in K \quad (21)$$

$$x_{jk} \in \{0, 1\} \quad \forall j \in J, k \in K \quad (22) \quad B_k \in \{0, 1\} \quad \forall k \in K \quad (23)$$

$$z_{ijk} \in \{0, 1\} \quad \forall i, j \in J \cup \{0\}, k \in K \quad (24) \quad s_{ij} \in \{0, 1\} \quad \forall i, j \in J \cup \{0\} \quad (25)$$

$$c_j, d_j \in \mathbb{Z}^+ \quad \forall j \in J \quad (26) \quad t_k \in \mathbb{Z}^+ \quad \forall k \in K \quad (27)$$

$$u_{ijk} \geq 0 \quad \forall i, j \in J \cup \{0\}, k \in K \quad (28)$$

تابع هدف (۱) مجموع هزینه ارسال بسته‌ها و حمل و نقل سفارشات و همچنین میانگین زمان تحویل کلیه کالاها را کمینه می‌کند. محدودیت (۲) برای اختصاص هر کار تنها به یک بسته بوده و محدودیت (۳) و (۴) جهت ارتباط دو متغیر x_{jk} و B_k آورده شده است. محدودیت (۵) مربوط به ظرفیت وسایل نقلیه بوده و محدودیت (۶) بیان می‌کند که بسته k تنها در صورتی می‌تواند فعال (دارای سفارش) محسوب گردد که بسته ماقبل آن نیز فعال باشد. زمان تحویل هر سفارش در محدودیت (۷) و (۸) لحاظ شده است، محدودیت (۹) و (۱۰) جهت ارتباط دو متغیر x_{jk} و z_{ijk} آورده شده است و محدودیت (۱۱) الزام می‌دارد که هر بسته غیرتهی تنها یک بار از کارگاه خارج شود. در محدودیت (۱۲) و (۱۳) زمان تکمیل هر سفارش بر روی ماشین حداقل برابر زمان تکمیل کار ماقبل آن به علاوه زمان پردازش در نظر گرفته شده است. زمان در دسترس بودن هر کار در محدودیت (۱۴) اعمال شده است. در محدودیت (۱۵) زمان ارسال یک بسته همواره بزرگتر مساوی زمان تکمیل کلیه سفارشات موجود در آن می‌باشد. دو محدودیت (۱۶) و (۱۷) نیز برای تعیین توالی فعالیت است. محدودیت‌های (۱۸) تا (۲۱) مانع به وجود آمدن زیرتور در جواب به دست آمده می‌گردد و سایر محدودیت‌ها نوع متغیرها را مشخص می‌نماید.

۳. روش حل ابتکاری

برای حل مسایلی با اندازه کوچک از نرم‌افزار CPLEX و برای مسایل بزرگ چندین روش ابتکاری ارایه و نتایج آنها با یکدیگر مقایسه شده است.

۴. مراجع

- [1] Pundoor, G., & Chen, Z. L. (2005). Scheduling a production-distribution system to optimize the tradeoff between delivery tardiness and distribution cost. *Naval Research Logistics (NRL)*, 52(6), 571-589.
- [2] Chen, Z. L., & Vairaktarakis, G. L. (2005). Integrated scheduling of production and distribution operations. *Management Science*, 51(4), 614-628.
- [3] Ullrich, C. A. (2012). Integrated machine scheduling and vehicle routing with time windows. *European Journal of Operational Research*.
- [4] Wang, X., & Cheng, T. C. E. (2009). Logistics scheduling to minimize inventory and transport costs. *International Journal of Production Economics*, 121(1), 266-273.

C_j : زمان اتمام تولید سفارش j
 d_j : زمان تحویل سفارش j
 t_k : زمان اعزام بسته k
 u_{ijk} : متغیر کمکی برای حذف زیرتور

$$x_{jk} = \begin{cases} 1; & \text{اگر کار } j \text{ در } k \text{ امین بسته از کارگاه خارج شود} \\ 0; & \text{در غیر این صورت} \end{cases}$$

$$B_k = \begin{cases} 1; & \text{امین بسته ارسال غیرتهی باشد} \\ 0; & \text{در غیر این صورت} \end{cases}$$

$$z_{ijk} = \begin{cases} 1; & \text{کار } j \text{ بلافاصله پس از کار } i \text{ در بسته } k \text{ به مشتری تحویل داده شود} \\ 0; & \text{در غیر این صورت} \end{cases}$$

$$z_{0jk} = \begin{cases} 1; & \text{کار } j \text{ اولین کار تحویل داده شده به مشتری در بسته } k \text{ باشد} \\ 0; & \text{در غیر این صورت} \end{cases}$$

$$s_{ij} = \begin{cases} 1; & \text{اگر کار } j \text{ پس از کار } i \text{ جهت تولید در کارگاه زمان‌بندی گردد} \\ 0; & \text{در غیر این صورت} \end{cases}$$

$$s_{0j} = \begin{cases} 1; & \text{اگر کار } j \text{ اولین کار انجام شده بر روی ماشین باشد} \\ 0; & \text{در غیر این صورت} \end{cases}$$

$$s_{j,n+1} = \begin{cases} 1; & \text{اگر کار } j \text{ آخرین کار انجام شده بر روی ماشین باشد} \\ 0; & \text{در غیر این صورت} \end{cases}$$

$$\text{Min } \alpha \left(\frac{1}{n} \sum_{j \in J} d_j \right) + (1 - \alpha) \times \left(F \times \sum_{k \in K} B_k + \sum_{i=0}^n \sum_{j \in J} c_{ij} \sum_{k \in K} z_{ijk} \right) \quad (1)$$

$$\text{subject to } \sum_{k \in K} x_{jk} = 1 \quad \forall j \in J \quad (2)$$

$$B_k \leq \sum_{j \in J} x_{jk} \quad \forall k \in K \quad (3)$$

$$\sum_{j \in J} x_{jk} \leq M \times B_k \quad \forall k \in K \quad (4)$$

$$\sum_{j \in J} x_{jk} \leq W \quad \forall k \in K \quad (5)$$

$$B_{k+1} \leq B_k \quad \forall k = 1, \dots, n-1 \quad (6)$$

$$d_j \geq d_i + \tau_{ij} - M(1 - z_{ijk}) \quad \forall i, j \in J, k \in K \quad (7)$$

$$d_j \geq t_k + \tau_{0j} - M(1 - x_{jk}) \quad \forall j \in J, k \in K \quad (8)$$

$$x_{jk} = \sum_{i=0}^n z_{ijk} \quad \forall j \in J, k \in K \quad (9)$$

$$x_{jk} = \sum_{i=0}^n z_{jik} \quad \forall j \in J, k \in K \quad (10)$$

$$B_k = \sum_{j \in J} z_{0jk} \quad k \in K \quad (11)$$

$$c_j \geq c_i + p_j - M(1 - s_{ij}) \quad \forall i, j \in J, i \neq j \quad (12)$$

$$c_j \geq s_{0j} \times p_j \quad \forall j \in J \quad (13)$$

$$c_j \geq r_j + p_j \quad \forall j \in J \quad (14)$$

$$t_k \geq c_j - M(1 - x_{jk}) \quad \forall j \in J, k \in K \quad (15)$$

$$\sum_{i=1}^{n+1} s_{ji} = 1 \quad \forall j \in J \cup \{0\} \quad (16)$$

$$\sum_{i=0}^n s_{ij} = 1 \quad \forall j \in J \quad (17)$$