

## مدلسازی مسئله زمانبندی جریان کارگاهی و حمل هوایی یکپارچه در زنجیره تامین

رضا سلطانی

عضو هیات علمی گروه مهندسی صنایع دانشگاه آزاد اسلامی واحد مسجدسلیمان

---

### چکیده

نبود برنامه ریزی هماهنگ و کارآمد تولید و حمل و نقل هوایی یک چالش برای شرکت های در کلاس جهانی است و باعث ایجاد مانع در روند توسعه آنها نسبت به ایجاد محیط مشارکتی و رقابتی بالاتر می شود. بنابراین، نیاز به ایجاد یک مدل هماهنگ یکپارچه برای تولید برنامه ریزی واقع بینانه با در نظر گرفتن تولید و توزیع در زنجیره تامین استفاده می شود وجود دارد. بدین منظور مدل برنامه ریزی ریاضی با در نظر گرفتن زمان آماده سازی وابسته به توالی در تولید جهت کمینه نمودن کل هزینه های زنجیره تامین که شامل هزینه های توزیع، زودکرد و دیرکرد تولید و تحویل می باشد، ارائه می شود.

**واژه های کلیدی:** زمانبندی، جریان کارگاهی، زنجیره تامین، یکپارچگی.

---

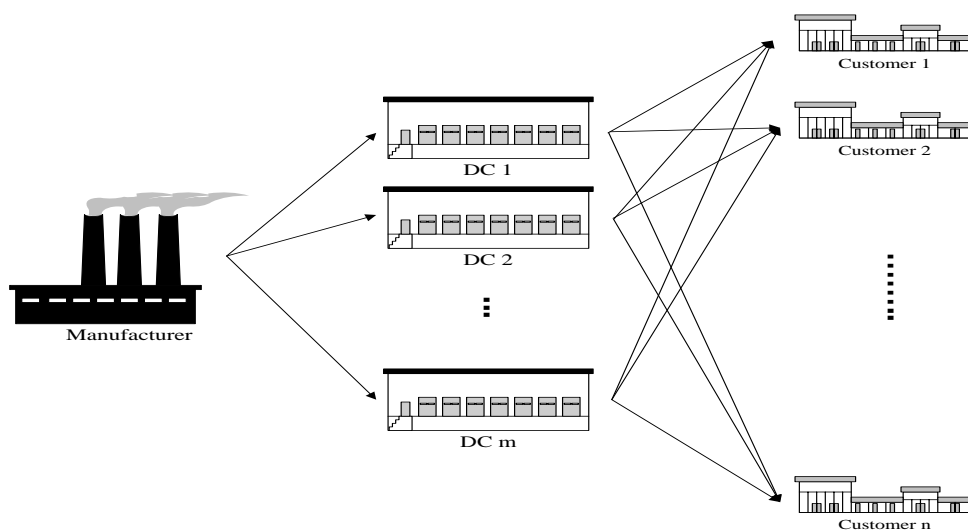
## مقدمه

در دودهه ۶۰ و ۷۰ میلادی، سازمان‌ها برای افزایش توان رقابتی خود تلاش می‌کردند تا با استاندارد سازی و بهبود فرایندهای داخلی خود محصولی با کیفیت بهتر و هزینه کمتر تولید کنند. در آن زمان تفکر غالب این بود که مهندسی و طراحی قوی و نیز عملیات تولید منسجم و هماهنگ، پیش‌نیاز دستیابی به خواسته‌های بازار و در نتیجه کسب سهم بازار بیشتری است. به همین دلیل سازمان‌ها تمام تلاش خود را بر افزایش کارایی معطوف می‌کردند. در دهه ۸۰ میلادی با افزایش تنوع در الگوهای مورد انتظار مشتریان، سازمان‌ها به طور فزاینده‌ای به افزایش انعطاف پذیرش در خطوط تولید و توسعه محصولات جدید برای ارضای نیازهای مشتریان علاقه مند شدند. در دهه ۹۰ میلادی، به همراه بهبود در فرایندهای تولید و به کارگیری الگوهای مهندسی مجدد، مدیران بسیاری از صنایع دریافتند که برای ادامه حضور در بازار تنها بهبود فرایندهای داخلی و انعطاف پذیری در توانایی‌های شرکت کافی نیست، بلکه تامین کنندگان قطعات و مواد نیز باید موادی با بهترین کیفیت و کمترین هزینه تولید کنند و توزیع کنندگان محصولات نیز باید ارتباط نزدیکی با سیاست‌های توسعه بازار تولید کننده داشته باشند. با چنین نگرشی، رویکردهای زنجیره تامین و مدیریت آن پا به عرصه وجود نهاد. از طرف دیگر با توسعه سریع فناوری اطلاعات در سال‌های اخیر و کاربرد وسیع آن در مدیریت زنجیره تامین، بسیاری از فعالیت‌های اساسی مدیریت زنجیره با روش‌های جدید در حال انجام است.

مدیریت زنجیره تامین<sup>۱</sup> توصیف کننده تحویل کالا، ارائه خدمات و فرستادن اطلاعات در زمان صحیح، مکان صحیح و با کیفیت مناسب می باشد. طراحی شبکه حمل در زنجیره تامین، یکی از مهمترین و اساسی ترین تصمیمات در مدیریت زنجیره تامین است که تاثیر زیادی بر برگشت سرمایه و عملکرد کلی زنجیره دارد. مشتریان و نیاز آن‌ها اجزاء اصلی زنجیره تامین هستند. هدف اصلی مدیریت زنجیره تامین حداقل کردن هزینه های سیستم در حین برآورده کردن سطح نیازمندیهای مشتریان است.

زنجیره تامین مورد مطالعه در شکل شماره ۱ نمایش داده شده است. در این زنجیره، قطعات به عنوان موجودی ذخیره می شوند. به محض رسیدن یک سفارش از مشتری، قطعات و مواد مورد نیاز به خط تولید منتقل شده و سپس محصولات تولید شده، با استفاده از حمل هوایی برای رسیدن به موعد تحویلشان به سوی مشتریان منتقل میشود. هماهنگی تولید و حمل هوایی مهم است، زیرا محموله‌هایی که پرواز زمانبندی شده شان را از دست دادن می دهند باید با پروازهای اختصاصی حمل شوند که هزینه حمل سنگینی را باید متحمل شد. در این مطالعه، هزینه های اضافی که به پروازهای اختصاصی مرتبط است را جریمه دیرکرد حرکت پروازها نامیده می شود. هزینه های زودکرد حرکت پروازها ناشی از نیاز به ذخیره کردن سفارشات در کارخانه تولیدییا هزینه انتظار و نگهداری در فرودگاه است. جریمه های تاخیر هنگامی اتفاق می افتد که یک سفارش دیرتر و یا زودتر از موعد مقرر به مشتریان می رسد. هزینه دیرکرد تحویل شامل نارضایتی مشتریان، جریمه های قرارداد، از دست دادن فروش، از دست دادن یا کاهش خوشنامی برای تولید کننده و خرده فروش است. اگر زمان ورود (زمان رسیدن) سفارشات تخصیص یافته در مدل حمل هوایی زودتر از موعد تحویلش باشد، خرده فروش دچار زودکرد در تحویل می شود. از این رو، هزینه زودکرد تحویل به عنوان هزینه انبارکردن سفارشات توسط خرده فروشان در نظر گرفته شده است.

<sup>1</sup> supply chain management



شکل ۱: مدل مسئله زمانبندی جریان کارگاهی و حمل هوایی یکپارچه

مسئله زمانبندی جریان کارگاهی یکی از مدل‌های زمانبندی در محیط‌های تولیدی است. در خطوط تولیدی جریان کارگاهی،  $m$  ماشین یا مراکز کاری وجود دارد که به صورت سری قرار گرفته‌اند و همه کارها روی این ماشین‌ها بر طبق توالی یکسان پردازش می‌شوند. زمان پردازش برای هر کار روی هر ماشین می‌تواند متفاوت باشد. فرض می‌شود که همه کارها در لحظه صفر در دسترس بوده و در یک مسیر یکسان جریان می‌یابند.

مسئله زمانبندی زنجیره تامین هماهنگ<sup>۱</sup> یکی از سخت‌ترین مسایل بهینه‌سازی ترکیبی می‌باشد. این مساله از دو جنبه تحقیقاتی مدیریت تولید و عملیات و بهینه‌سازی ترکیبی دارای اهمیت است و در سالهای اخیر، توجه بسیاری از محققان را به خود جلب کرده است. تحقیقاتی که در این زمینه وجود دارد بر حسب نوع وسایل حمل در بخش توزیع به دو دسته حمل توسط خودرو (حمل جاده ای یا خودرویی) و حمل توسط هواپیما (حمل هوایی) تقسیم بندی می‌شود.

اغلب تحقیقات گزارش شده در زنجیره تأمین مربوط به رویکرد استراتژیک و تاکتیکی برای بهینه کردن ساختار و مدیریت سیستم مطابق با اهداف اقتصادی آنها می‌باشد. (بلومنفلد و همکاران<sup>۲</sup>، بیمن<sup>۳</sup>، ایرنجوس و همکاران<sup>۴</sup>، سارمینتو و ناجی<sup>۵</sup>، گوئتسچالکس و همکاران<sup>۶</sup>). اخیراً توجه بیشتری به هماهنگی تولید و توزیع در سطح زمانبندی عملیات شده است، (چن<sup>۷</sup>، ۲۰۰۱). میلر<sup>۸</sup> نشان دادند که پتانسیل زیادی برای کاهش هزینه‌ها با هماهنگ کردن تصمیمات در زنجیره تأمین وجود دارد.

به دلیل نو ظهور بودن مساله زمانبندی هماهنگ تولید و حمل هوایی تحقیقات بسیار کمی راجع به این موضوع وجود دارد. لی و همکاران<sup>۹</sup> (۲۰۰۵) نخستین محققانی بودند که مساله همزمانی زمانبندی تک ماشین و حمل و نقل هوایی با یک مقصد را بررسی کردند. کل مساله به دو مساله زمانبندی حمل و نقل هوایی و زمانبندی تک ماشین تقسیم شده است. آنها این مساله

<sup>1</sup> Coordinated supply chain scheduling problem

<sup>2</sup> Blumenfeld et al.

<sup>3</sup> biman

<sup>4</sup> Erenguc

<sup>5</sup> Sarmiento & Nagi

<sup>6</sup> Goetschalckx et al.

<sup>7</sup> Chen

<sup>8</sup> miller

<sup>9</sup> Lee et al.

را فرموله بندی کرده و سپس یک الگوریتم ابتکاری رو به عقب برای زمانبندی تک ماشین ارائه کردند. لی و همکاران کار خودشان را با در نظر گرفتن چند مقصد در مساله حمل هوایی گسترش دادند. لی و همکاران نشان دادند که مساله تخصیص حمل هوایی دارای ساختار مسائل حمل منظم می باشد، در حالی که مساله زمانبندی تک ماشین NP-Hard ( غیر چند جمله ای سخت) است. آنها همچنین یک روش ابتکاری رو به جلو و یک روش ابتکاری رو به عقب برای تک ماشین پیشنهاد کردند (لی و همکاران، ۲۰۰۴). لی و همکاران (۲۰۰۵) کار خودشان را با در نظر گرفتن ماشین های موازی در تولید توسعه دادند. آنها مساله را به عنوان ماشینهای موازی با جریمه های زودکرد حرکت پروازها کردند و نشان دادند که مساله زمانبندی ماشین های موازی غیر چند جمله ای کامل است و یک الگوریتم ابتکاری بر پایه شبیه سازی تبرید برای ماشین های موازی ارائه کردند. آنها الگوریتم شبیه سازی تبرید را با یک روش عملیاتی در یکی از کارخانجات سنگاپور مقایسه کردند ( لی و همکاران، ۲۰۰۵). زندیه و ملا علی زاده زواردهی مدلهای برنامه ریزی ریاضی با در نظر گرفتن استراتژی های تحویل مجاز بودن دیر کرد و مجاز نبودن دیرکرد ارائه نمودند. زندیه و ملا علی زاده زواردهی مدلهای برنامه ریزی ریاضی خودشان را با در نظر گرفتن ظرفیت های مختلف حمل توسعه دادند. رستمیان دلور و همکاران یک روش فرا ابتکاری بر پایه الگوریتم ژنتیک برای مساله زمانبندی یکپارچه تولید و حمل هوایی در حالت تک ماشین ارائه کردند.

مرتضوی و همکاران برای به حداقل رساندن هزینه کل زنجیره تامین مدل یکپارچه ای ارائه دادند و با الگوریتم رقابت استعماری حل نمودند برای تنظیم پارامترها از طرح آزمایشات تاگوچی استفاده شد و کارائی الگوریتم پیشنهادی، با الگوریتم ژنتیک ارزیابی شد. در نهایت، با استفاده از آزمایش های عددی، خروجی الگوریتم پیشنهادی ارائه شده هم دارای کیفیت جواب و عملکرد مناسب بود.

نمادهای بکار گرفته شده در مدلهای ریاضی این تحقیق بصورت زیر است:

$$i = 1, 2, \dots, N; \text{ شاخص سفارش یا کار}$$

$$f, f'; \text{ شاخص پرواز}$$

$$k = 1, 2, \dots, K; \text{ شاخص مقصد}$$

$$t = 1, 2, \dots, T; \text{ شاخص نوع ظرفیت پروازها}$$

$$p = 1, 2, \dots, N; \text{ موقعیت یا توالی سفارش } i$$

پارامترهای ورودی شامل موارد زیر است:

$$D_f: \text{ زمان حرکت پرواز } f \text{ در فرودگاه محلی}$$

$$A_f: \text{ زمان ورود پرواز } f \text{ در مقصد}$$

$$des_f: \text{ مقصد پرواز } f$$

$$Q_i: \text{ مقدار سفارش } i$$

$$p_i: \text{ زمان سفارش } i$$

$$\alpha_i: \text{ هزینه جریمه زودکرد تحویل ( ساعت/ واحد) سفارش } i$$

$$\beta_i: \text{ هزینه جریمه دیرکرد تحویل ( ساعت/ واحد) سفارش } i$$

$$\alpha'_i: \text{ جریمه زودکرد هر ساعت سفارش یا کار } i \text{ برای تولید}$$

$$\beta'_i: \text{ هزینه حمل هر واحد از سفارش } i \text{ هنگامی که با یک پرواز اختصاصی حمل شود}$$

$$d_i: \text{ موعد تحویل سفارش } i$$

$$e_i: \text{ زودترین زمان ممکن تحویل سفارش } i$$

$l_i$ : دیرترین زمان ممکن تحویل سفارش  $i$

$Des_i$ : مقصد سفارش  $i$

$NCap_f$ : ظرفیت نرمال موجود پرواز  $f$

$SCap_f$ : ظرفیت خاص موجود پرواز  $f$

$Cap_{tf}$ :  $t$  امین نوع ظرفیت موجود پرواز  $f$  بطوری که  $t = 1, 2, \dots, T$ ;  $f = 1, 2, \dots, F$

$NC_f$ : هزینه حمل برای هر واحد محصول، زمانی که به ظرفیت نرمال پرواز  $f$  تخصیص یابد

$SC_f$ : هزینه حمل برای هر واحد محصول، زمانی که به ظرفیت خاص پرواز  $f$  تخصیص یابد

$Tc_{tf}$ : هزینه حمل هر واحد محصول وقتی که به ظرفیت نوع  $t$  ام پرواز  $f$  تخصیص یابد

$MD_i$ : حداکثر زمان حرکت پرواز اختصاصی برای سفارش  $i$  که با آن می تواند به همه موعدها تحویلش برسد

$MDE_i$ : حداکثر زمان حرکت پرواز اختصاصی سفارش  $i$  که می تواند به زودترین موعدها تحویلش برسد

$MDL_i$ : حداکثر زمان حرکت پرواز اختصاصی سفارش  $i$  که می تواند به دیرترین موعدها تحویلش برسد

$\lambda$ : هزینه هر ساعت کارگاه ( که در برگیرنده هزینه ماشین، دستمزد کارگران و دیگر هزینه های متغیر تولید که وابسته به طول مدت زمان تولید است)

$Cap_{(T+1)i}$ : اگر سفارش  $i$  می تواند با پرواز اختصاصی حمل شود، ۰ در غیر اینصورت

$\bar{d}_i$ : ضریب الاجل تحویل سفارش  $i$  (موعدها تحویلی که در آن دیر کرد مجاز می باشد)

$\overline{MD}_i$ : حداکثر زمان حرکت پرواز اختصاصی سفارش  $i$  که می تواند به ضرب الاجل تحویلش برسد

$\bar{LN}_i$ : اگر برای سفارش  $i$  دیرکرد تحویل مجاز باشد،  $d_i$  در غیر اینصورت

$\overline{MDL}_i$ : اگر برای سفارش  $i$  دیرکرد تحویل مجاز باشد،  $MD_i$  در غیر اینصورت

$\theta$ : یک عدد بین صفر و یک  $0 < \theta < 1$

$LN$ : یک عدد بزرگ مثبت

بدون از دست دادن کلی بودن، فرض شده است که  $D_1 \leq D_2 \leq \dots \leq D_F$ .

### متغیرهای تصمیم

متغیرهای تصمیم بکار گرفته شده در مدل ریاضی پیشنهادی بصورت زیر می باشد:

$X_{if}$ : مقدار قسمتی از سفارش  $i$  که ظرفیت نرمال پرواز  $f$  اختصاص می یابد

$Y_{if}$ : مقدار قسمتی از سفارش  $i$  که ظرفیت خاص پرواز  $f$  اختصاص می یابد

$q_{tif}$ : مقدار تخصیص یافته از سفارش  $i$  به ظرفیت نوع  $t$  ام پرواز  $f$

$q_{(T+1)i}$ : مقدار تخصیص یافته از سفارش  $i$  به پرواز اختصاصی

$u_{ip}$ : اگر سفارش  $i$  در موقعیت  $p$  باشد، ۰ در غیر این صورت

$c_i$ : زمان تکمیل سفارش یا کار  $i$

$I_i$ : زمان بیکاری قبل از سفارش  $i$  در زمانبندی

$C_{\max}$ : حداکثر زمان تکمیل سفارشات که برابر است با زمان تعطیلی کارگاه

## زمانبندی هماهنگ تولید و حمل هوایی

کل مساله به دو وظیفه مرتبط و هماهنگ در هر حالت تقسیم شده است. وظیفه اول برای تخصیص سفارشات به ظرفیتهای پروازهای در دسترس برای کمینه کردن کل هزینه حمل و جریمه های زودکرد و دیرکرد تحویل مطابق با شرایط و خط مشی های مورد نظر است. در این مرحله تخصیص به وسیله تولید محدود می شود، به طوری که تخصیص باید با ظرفیت تولید در هر شرایط و خطی مشی بالانس شود. سپس زمانبندی و توالی تولید با توجه نتایج بدست آمده از تخصیص سفارشات تعیین می شود.

## مساله تخصیص حمل هوایی در حالت دیرکرد تحویل مجاز، با پرواز اختصاصی

با این فرضیات تابع هدف، هزینه کل حمل که شامل هزینه پروازهای اختصاصی و جریمه های زودکرد و دیرکرد تحویل سفارشات تخصیص یافته به ظرفیت نوع اول تا  $T$  ام پروازها را کمینه می کند. تابع هدف جریمه های زودکرد و دیرکرد پروازهای اختصاصی را به دلیل اینکه زمان حرکتشان به زمان تکمیل سفارششان بستگی دارد، شامل نمی شود. چون ما پروازهای اختصاصی را در این مدل در نظر گرفتیم.

$$\begin{aligned} \min \quad & \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^N \sum_{f=1}^F Tc_{tif} q_{tif} + \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^N \sum_{f=1}^F \alpha_i * \max(0, d_i - A_f) * q_{tif} \\ & + \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^N \sum_{f=1}^F \beta_i * \max(0, A_f - d) * q_{tif} + \sum_{i=1}^N \beta'_i * q_{(T+1)i} \end{aligned} \quad (1)$$

s.t:

$$\sum_{t=1}^T \sum_{f=1}^F q_{tif} + q_{(T+1)i} = Q_i \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^N \left( \left( \frac{\max\left(0, \left(\sum_{t=1}^T \sum_{f'=1}^f q_{tif'}\right) - \theta\right)}{\left(\sum_{t=1}^T \sum_{f'=1}^f q_{tif'}\right) - \theta} \right) + \left( \left( \frac{\max\left(0, \left(\sum_{t=1}^T \sum_{f'=1}^f q_{tif'}\right) - \theta\right)}{\left(\sum_{t=1}^T \sum_{f'=1}^f q_{tif'}\right) - \theta} \right) \right) \right) \\ \left( \frac{\max(0, q_{(T+1)i} - \theta)}{q_{(T+1)i} - \theta} \right) \left( \frac{\min\left(0, MD_i - D_f - \frac{1}{LN}\right)}{MD_i - D_f - \frac{1}{LN}} \right) \right) p_i \leq D_f \quad f = 1, 2, \dots, F \end{aligned} \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^i \left( 1 - \frac{\left( \max \left( 0, \sum_{t=1}^T \sum_{f=1}^F \left( \frac{\min \left( 0, D_f - MD_i - \frac{1}{LN} \right)}{D_f - MD_i - \frac{1}{LN}} \right) q_{tif} \right) - \theta \right)}{\left( \sum_{t=1}^T \sum_{f=1}^F \left( \frac{\min \left( 0, D_f - MD_i - \frac{1}{LN} \right)}{D_f - MD_i - \frac{1}{LN}} \right) q_{tif} \right) - \theta} \right) \left( \frac{\max(0, q_{(T+1)i} - \theta)}{q_{(T+1)i} - \theta} \right) p_i +$$

$$\sum_{i=1}^N \left( \frac{\left( \max \left( 0, \sum_{t=1}^T \sum_{f=1}^F \left( \frac{\min \left( 0, D_f - MD_i - \frac{1}{LN} \right)}{D_f - MD_i - \frac{1}{LN}} \right) q_{tif} \right) - \theta \right)}{\left( \sum_{t=1}^T \sum_{f=1}^F \left( \frac{\min \left( 0, D_f - MD_i - \frac{1}{LN} \right)}{D_f - MD_i - \frac{1}{LN}} \right) q_{tif} \right) - \theta} \right) p_i \leq MD_i \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (۴)$$

$q_{(T+1)i}$  = Non-negative integer variable (۵)

$MD_i$  برابر است با موعد تحویل سفارش  $i$  منتهای زمان حمل پرواز اختصاصی برای سفارش  $i$ . همچنین بدون از دست دادن کلی بودن، ما فرض کردیم که سفارشات به ترتیب افزایشی  $MD$  شماره گذاری شده اند بطوری که  $MD_1 \leq MD_2 \leq \dots \leq MD_N$ .

کل هزینه مساله اصلی برابر با مجموعه تابع هدف مدل بالا و هزینه حمل پروازهای اختصاصی زمانبندی شده در مدل تخصیص حمل هوایی است و به صورت زیر می باشد:

$$\text{کل هزینه} = \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^N \sum_{f=1}^F \left( \left( \frac{\min \left( 0, c_i - D_f - \frac{1}{LN} \right)}{c_i - D_f - \frac{1}{LN}} \right) \left( (Tc_{tf} * q_{tif}) + (\alpha'_i * (D_f - c_i) * q_{tif}) \right) \right. \\ \left. + \left( (\alpha_i * \max(0, d_i - A_f) * q_{tif}) + (\beta_i * \max(0, A_f - d_i) * q_{tif}) \right) \right) \\ + \left( \left( 1 - \frac{\min \left( 0, c_i - D_f - \frac{1}{LN} \right)}{c_i - D_f - \frac{1}{LN}} \right) \left( (\beta'_i * q_{tif}) + (\min(\alpha'_i, \alpha_i) * \max(0, MD_i - c_i) * q_{tif}) \right) \right)$$

$$+ \left( \beta_i * \max(0, c_i - MD_i) * q_{tif} \right) \Bigg) + \sum_{i=1}^N \left( (\beta'_i * q_{(T+1)i}) \right) \\ + \left( \min(\alpha'_i, \alpha_i) * \max(0, MD_i - c) * q_{(T+1)i} \right) + \left( \beta_i * \max(0, c_i - MD_i) * q_{(T+1)i} \right) + \lambda C_{\max} \quad (6)$$

برای آزمودن صحت و درستی مدل‌های پیشنهادی، یک مساله کوچک مشترک با نرم افزار لینگو ۸ (Lingo 8) در همه مدلها حل شده است. یک مورد با ۲ سفارش ( $N=2$ ) با مقاصد مجزای ۱ و ۲ ( $Des_1=1$  و  $Des_2=2$ ) بطوری که هر سفارش می تواند با ۲ پرواز با زمانهای حرکت متفاوت حمل گردد ( $f=4$ )،  $T=2$ ،  $des_1=2$ ،  $des_2=1$ ،  $des_3=1$  و  $des_4=2$ ). پارامترهای دیگر در این مثال به شرح زیر است:

جدول ۱: پارامترهای مربوط به سفارشات

$i$	$Des_i$	$Q_i$	$P_i$	$d_i$	$\alpha_i$	$\beta_i$
1	1	10	2	11	2	4
2	2	8	2	12	3	5

جدول ۲: پارامترهای مربوط به پروازها

$f$	$des_f$	$D_f$	$A_f$	$Cap_{1f}$	$Cap_{2f}$	$Tc_{1f}$	$Tc_{2f}$
1	2	3	4	3	7	5	7
2	1	5	6.5	4	10	3	5
3	1	7	8.5	5	0	4	0
4	2	12	13	2	6	4	5

پارامترهای دیگر به شرح زیر می باشند:

$$\beta'_1 = 8, \quad \beta'_2 = 10, \quad MD_1 = 10, \quad MD_2 = 11.$$

جوابها نشان می دهد که سفارش ۱ به طور کامل به پرواز اختصاصی تخصیص یافته ( $q_{31}=10$ ) و مقدار تخصیص داده شده به پرواز اختصاصی مربوط به سفارش ۲ برابر با ۶ ( $q_{32}=6$ ) است. همچنین دیگر نتایج در جدول (۳) نشان داده شده است.

جدول ۳: نتایج حل مدل حمل هوایی در حالت دیرکرد تحویل مجاز، با پرواز اختصاصی

	$f=1$		$f=2$		$f=3$		$f=4$	
$i$	$q_{1i1}$	$q_{2i1}$	$q_{1i2}$	$q_{2i2}$	$q_{1i3}$	$q_{2i3}$	$q_{1i4}$	$q_{2i4}$



1	0	0	0	0	5	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	2	0

### نتیجه گیری و پیشنهادات

در این مقاله، مسئله هماهنگی زنجیره تامین را مورد مطالعه قرار دادیم. یک مدل با محدودیت های مختلف ارائه شد. نمونه ای عددی با استفاده از نرم افزار لینگو اجرا شد. از آنجایی که تحقیقات کمی در مورد هماهنگی حمل و نقل هوایی و برنامه ریزی تولید در زنجیره تامین وجود دارد، تحقیقات بسیاری می توان برای توسعه موضوع انجام داد. این تحقیقات می تواند با تغییر در مفروضات مسئله در برنامه ریزی تولید و نوع حمل و نقل کالا بررسی شود و یا تاثیر تخصیص تصادفی زمان پردازش، حمل و نقل یکبارہ محصول و غیره را به مدل ریاضی اولیه افزود، علاوه بر این، الگوریتمهای فراابتکاری را می توان برای حل مدل ارائه شده با توجه پیکربندی تولید مانند، تک ماشین، ماشین موازی، فروشگاه جریان، شغل مغازه، و غیره استفاده کرد.

### منابع

1. Biskup, D. and Feldmann, M., 2005. On scheduling around large restrictive common due windows. *European Journal of Operational Research*, 162, 740-761.
2. Blumenfeld, D.E., Burns, L.D. and Daganzo, C.F., 1991. Synchronizing production and transportation schedules. *Transportation Research*, 25B, 23-27.
3. Chang, Y.C. and Lee, C.Y., 2004. Machine scheduling with job delivery coordination. *European Journal of Operational Research*, 158, 470-487.
4. Chen, B. and Lee, C.Y., 2008. Logistic scheduling with batching and transportation. *European Journal of Operational Research*, 189, 871-876.
5. Chen, P., 2000. Integrating production and transportation scheduling in a make-to-order environment. PhD thesis, University of Cornell.
6. Chen, Z.L. and Vairaktarakis, G.L., 2005. Integrated scheduling of production and distribution operations. *Management science*, 51, 614-628.
7. Erenguc, S.S., Simpson, N.C. and Vakharia, A.j., 1999. Integrated production / distribution planning in supply chain: An invited review. *European Journal of Operational Research*, 115, 219-236.
8. Fumero, F. and Vercellis, C., 1999. Synchronized development of production, inventory and distribution schedules. *Transportation science*, 33, 330-340.
9. Goetschalckx, M., Vidal, C.J. and Dogan, K., 2002. Modeling and design of global logistics systems: A review of integrated strategic and tactical models and design algorithms. *European Journal of Operational Research*, 143, 1-18.
10. Lee, C.Y. and Chen, Z.L., 2001. Machine scheduling with transportation considerations. *Journal of scheduling*, 4, 3-24.
11. Li, C.L. and Ou, J., 2005. Machine scheduling with pickup and delivery. *Naval Research Logistics*, 52, 617-630.
12. Li, C.L., Vairaktarakis, G. and Lee, C.Y., 2005a. Machine scheduling with delivery. *Naval Research Logistics*, 52, 617-630.
13. Li, K.P, Sivakumar , A.I., Mathirajan. M. and Ganesan. V.K., 2004. Solution methodology for synchronizing assembly manufacturing and air transportation of consumer electronics supply chain. *International Journal of Business*, 9, 361-380.

14. Li, K.P., Ganesan, V.K. and Sivakumar, A.I. 2005. Synchronized scheduling of assembly and multi-destination air transportation in a consumer electronics supply chain. *International Journal of production Research*, 43, 2671-2685.
15. Li, K.P., Ganesan, V.K. and Sivakumar, A.I., 2006a. Scheduling of single stage assembly with air transportation in a consumer electronic supply chain. *Computer and Industrial Engineering*, 51, 264-278.
16. Li, K.P., Ganesan, V.K. and Sivakumar, A.I., 2006b. Methodologies for synchronized scheduling of assembly and air transportation in a consumer electronic supply chain. *International Journal of Logistics Systems and Management*, 2, 52-67.
17. Li, K.P., Sivakumar, A.I. and Ganesan, V.K., 2008. Complexities and algorithms for synchronized scheduling of parallel machine assembly and air transportation in consumer electronic supply chain. *European Journal of Operational Research*, 187, 442-455.
18. Rostamian Delavar, M., Hajiaghahi-Keshteli, M. & Molla-Alizadeh-Zavardehi, S. (2010). Genetic algorithms for coordinated scheduling of production and air transportation. *Expert Systems with Applications*, 37, 8255-8266.
19. Sarmiento, A.M. and Nagi, R., 1999. A review of integrated analysis of production-distribution systems. *IIE transactions*, 31, 1061-1074.
20. Soukhal, A., Oulmara, A. and Martineau, P., 2005. Complexity of flow shop scheduling problems with transportation constraints. *European Journal of Operational Research*, 161, 32-41.
21. Su, S., Zhan, D. and Xu, X., 2007. An extended state task network formulation for integrated production-distribution planning in supply chain. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 37, 1232-1248.
22. Vidal, C. and Goetschalckx, M., 1997. Strategic production- distribution models: A critical review with emphasis on global supply chain models. *European Journal of Operational Research*, 98, 1-18.
23. Wang, H. and Lee, C.Y., 2005. Production and transport logistics scheduling with two transport mode choices. *Naval Research Logistics*, 52, 796- 809.
24. Wang, X. and Cheng, T.C.E., 2006. Machine scheduling with an availability constraint and job delivery coordination. *Naval Research Logistics*, 54, 11-20.
25. Zandieh, M., & Molla-Alizadeh-Zavardehi, S. (2008). Synchronized production and distribution scheduling with due window. *Journal of Applied Sciences*, 8, 2752-2757.
26. Zandieh, M., & Molla-Alizadeh-Zavardehi, S. (2009). Synchronizing production and air transportation scheduling using mathematical programming models. *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 230, 546-558.
27. Zhong, W., Dosa, G. and Tan, Z., 2007. On the machine scheduling problem with job delivery coordination. *European Journal of Operational Research*, 182, 1057-1072.

# Modeling the Flow Workshop Scheduling Problem and Integrated Air Transportation in the Supply Chain

Reza Soltani

*Faculty Member, Department of Industrial Engineering, Islamic Azad University, Masjed Soleyman Branch*

---

## Abstract

The lack of coordinated and efficient production planning and air transportation is a challenge for companies in a world-class and creates obstacle in their development process to creating higher cooperative and competitive environments. So, creating a coordinated and integrated model to produce a realistic plan with regard to production and distribution in the supply chain is required. For this purpose, mathematical programming model is provided considering the time to prepare dependent on the sequence production in order to minimize total supply chain costs which includes the cost of distribution, production and earliness and tardiness of delivery.

**Keywords:** Scheduling, Flow Workshop, Supply Chain Integration.

---