

# زمان بندی همزمان با تعیین میزان محصول قابل تعهد در سیستم های تولیدی پیش بینی محور

مسعود ربانی\*<sup>۱</sup>، فاطمه منشی<sup>۲</sup> و حامد رفیعی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> استاد دانشکده مهندسی صنایع - پردیس دانشکده های فنی - دانشگاه تهران

<sup>۲</sup> کارشناس ارشد مهندسی صنایع - پردیس دانشکده های فنی - دانشگاه تهران

<sup>۳</sup> دانشجوی دکتری مهندسی صنایع - پردیس دانشکده های فنی - دانشگاه تهران

## چکیده

گرفتن یک تصمیم معقول در رابطه با میزان ظرفیت تولید آزاد یک شرکت تولیدی و تخصیص بهینه آن به سفارش ها، نیازمند اطلاعات دقیق و گسترده در زمینه های مختلفی همچون زمان های برنامه ریزی نشده ماشین ها در ایستگاه های کاری مختلف و وضعیت موجودی مواد، قطعات و یا دیگر منابع ضروری در شرکت تولیدی و زنجیره تأمین مربوطه است. در این تحقیق، تلاش شده است تا اطلاعات مورد نیاز در یک سیستم تولیدی پیش بینی محور را از طریق ترکیب مکانیزم تعیین میزان محصول قابل تعهد پیشرفته و زمان بندی در محیط های تولیدی جریان کارگاهی، به دست آوریم. هدف در نظر گرفته شده، تعیین زمان بندی سفارش ها به طور همزمان، از طریق محاسبه ظرفیت آزاد سیستم به منظور تعیین میزان محصول قابل تعهد است. به این منظور محدودیت های مختلفی شامل ساعات در دسترس بودن ماشین ها و سطح موجودی مواد و قطعات، در نظر گرفته شده است. نتایج حاصله نشان می دهد که مدل ارائه شده، منجر به مقادیر مطلوبی در شاخص های عملکرد می شود.

**واژه های کلیدی:** استراتژی تولید پیش بینی محور، میزان محصول قابل تعهد، زمان بندی، سیستم تولیدی جریان کارگاهی

## مقدمه

که برنامه تولید آن در زمان بندی تولید باقی می ماند تا تعهد اختصاص دادن آن به سفارش مشتری را پشتیبانی کند [۴]. هدف اصلی مکانیزم ATP، یافتن پاسخ برای تقاضاهای مشتریان بر پایه میزان منابع در دسترس است. برای یافتن یک پاسخ قابل اطمینان برای سفارش یک مشتری، سیستم ATP باید اطمینان پیدا کند که میزان محصول خواسته شده از جانب مشتری، در موعد مقرر به مشتری تحویل داده می شود. بنابراین یک سیستم ATP باید شامل هر دو توانایی متعهد شدن سفارش و تکمیل آن باشد. علاوه بر این، یک سیستم ATP باید بتواند به صورت پویا مصرف منابع را به روزرسانی و سفارش مشتریان را اولویت بندی کند تا هماهنگی میان عرضه و تقاضا به گونه ای انجام گیرد که سود حاصله بیشینه شود [۵].

تا به امروز، کمبود یک استراتژی تولید برای بخش عظیمی از صنایع تولیدی در زمینه تئوری تولید در مدیریت عملیات، به طور کامل مشهود بوده است. برای تجهیزاتی مهندسی بزرگ، یک استراتژی تولید تقریباً نو، اما ساده ظهور کرده است که بهتر می تواند با فشارهای رقابتی

بدیهی است که در دنیای رقابتی امروز، مشتری مداری، یکی از مهم ترین شاخص های عملکرد در زنجیره تأمین است؛ فضایی که در آن تأمین کنندگان، تولید کنندگان، توزیع کنندگان و خرده فروشان تلاش می کنند تا با یک همکاری مؤثر و کارآ، مواد خام را به دست آورند، به محصول تبدیل کنند و در نهایت محصولات با کیفیتی را به دست مشتریان برسانند [۱]. بنابراین توانایی پاسخگویی سریع و مؤثر با هدف جلب رضایت مشتری در به دست آوردن مزیت رقابتی در میان سایر شرکت های تولید کننده، اهمیت ویژه ای دارد [۲]. اجرای یک مدل مناسب میزان محصول قابل تعهد، می تواند شرکت را قادر کند تا زمان تکمیل سفارش را به طور دقیق محاسبه کند و از ظرفیت های تولیدی خود به طور مؤثر استفاده کند تا مشتریان بتوانند سفارش های خود را در زمان مورد نظر تحویل بگیرند [۳].

به طور کلی، موجودی قابل تعهد<sup>۱</sup> به مقداری از موجودی یک شرکت گفته می شود که تعهد نشده است؛ به عبارتی به مشتری خاصی اختصاص نیافته است. در حالی

دنیای امروز در ارسال سریع تر محصولات تولیدی مطابق با نظر مشتری و البته بدون هزینه بیشتر برخورد کند. این استراتژی، ترکیبی از استراتژی های تولیدی سفارش محور و انبار محور است. به این صورت که تولیدکنندگان مدل های اصلی، محصول را بر اساس پیش بینی تقاضا تولید می کنند؛ یعنی بخشی که مشابه با استراتژی تولید انبار محور عمل می کند. سپس هنگامی که یک سفارش حقیقی از جانب مشتری وارد سیستم شود، محصولات شبه پایانی را مطابق با سفارش مشتری اصلاح می کنند؛ یعنی بخشی که مشابه با استراتژی تولید سفارش محور عمل می کند. این استراتژی تولید را تولید پیش بینی محور<sup>۲</sup> نامگذاری کرده اند.

همان طور که در توضیحات بالا نیز اشاره شد، استراتژی تولید MTF بیشتر در صنایع گران قیمتی همچون تولید پردازنده های اصلی کامپیوتر، مخزن فشار هسته ای، ابزارآلات ماشینی، تجهیزات سازه های خاکی، ماشین های قالب گیری تزریقی پلاستیک و دیگر صنایع مشابه به کار گرفته می شوند که جلب رضایت مشتریان و کسب سهم بازار، بیشتر از طریق کاهش زمان تحویل کالا و بالا بردن سطح اطمینان مشتریان نسبت به انجام به موقع تعهدات سازمان، بدون افزایش قیمت محصولات، می تواند سودآوری بسیار بالایی داشته باشد. همچنین کاهش میزان موجودی و کاهش حرکت های بازگشت به عقب در خط تولید نیز می تواند از هزینه های نگهداری موجودی و اصلاح محصولات بکاهد. نتایج مطالعات گذشته نشان می دهد که همه اهداف ذکر شده از طریق طراحی و اجرای یک مدل مناسب ATP، در سازمان قابل دستیابی است. هدف این تحقیق نیز تحلیل شرایط محیط های تولیدی MTF با در نظر گرفتن سیستم Flow shop و طراحی یک مدل مناسب ATP برای این سیستم های تولیدی است. در ادامه به مهم ترین کارهای انجام شده در این زمینه اشاره خواهیم کرد.

یکی از ابزارهای قدرتمند در زمینه تعیین ATP، مدل های برنامه ریزی ریاضی هستند. فلیشمن و میر [۶] پایه های تئوریک برآوردن تقاضا و تعیین ATP را بررسی و فعالیت های برنامه ریزی مربوط به ATP را طبقه بندی کرده اند و سیر تکامل استراتژی های تعهد تولید سفارش و ATP را با توجه به مدل های برنامه ریزی عدد صحیح خطی و ترکیبی مورد بررسی قرار داده اند. در سال های اخیر، مدل های برنامه ریزی ریاضی به عنوان ابزارهای کارآمد در طیف گسترده ای از فضاهای تولیدی شامل فضای تولیدی انبار محور<sup>۳</sup>، فضای تولیدی سفارش محور<sup>۴</sup> [۷]، فضای

تولیدی مونتاژ بر مبنای سفارش<sup>۵</sup> [۵]، [۸] و [۹]، پیکربندی بر مبنای سفارش<sup>۶</sup> [۱۰] و ساخت بر مبنای سفارش<sup>۷</sup> [۱۱] به کار گرفته شده اند. همچنین پیرنیک [۱۲] اطلاعات جامعی از این مکانیزم را گردآوری کرده و از این طریق توانسته است به خوبی جایگاه ATP پیشرفته را روشن کند و دسته بندی های کاربردی و مهمی از این مکانیزم را ارائه دهد. او مدل های ATP پیشرفته را بر پایه سه معیار دسته بندی کرده است، "سطح دسترسی" مورد بررسی که یا به بررسی موجودی نهایی اکتفا می کند و یا سطح مورد بررسی را به منابع موجود در زنجیره تأمین گسترش می دهد؛ "حالت عملیاتی" که بر اساس آن دو دسته ATP پیشرفته آنی و ATP پیشرفته دسته ای را معرفی می کند و "میزان تعامل با برنامه ریزی منابع تولیدی" که بر اساس آن نیز مدل های ATP پیشرفته به دو دسته فعال و غیر فعال تقسیم می شوند.

استراتژی تولید MTF برای نخستین بار توسط راتوری و همکاران [۱۳] مورد توجه قرار گرفت. سال ها بعد مردیت و اکینک در سال ۲۰۰۶ [۱۴] موضوع برنامه ریزی ظرفیت در سیستم های تولیدی MTF را مورد بررسی قرار داده اند، آنها برای انجام این کار، از شیوه تحلیل مارکوفی استفاده کرده اند. پس از مطالعه پیشین آنها، مردیت و اکینک [۱۵] در سال ۲۰۰۷ قوانین انطباق متفاوتی را برای سفارش ها ارائه کرده اند، با فرض اینکه زمان های تحویل همه سفارش ها باید در یک بازه زمانی از پیش مشخص شده، تعیین شود. تحلیل های آنها نشان می دهد که به کارگیری قوانین تخصیص بهینه موضعی بسیار پر فایده هستند. همچنین بیش از ۱۰ سناریوی مختلف در مثال های عددی برای بررسی عملکرد قوانین انطباق ارائه شده، در شرایط تولیدی مختلف، معرفی شده است. سپس اکینک و مردیت [۱۶] در مطالعه دیگری شرایط خاصی را در نظر گرفتند که در آن، یک محصول متروک وجود دارد. آنها یک مدل برنامه ریزی پویای احتمالی را برای نشان دادن یک دوراهی تصمیم گیری مدیریتی ارائه کردند که محصول متروک را برای سفارش جدید تغییر دهند و یا آن را برای یک سفارش سودآور احتمالی در آینده نگاه دارند.

### ارائه مدل ریاضی پیشنهادی

در این فصل می خواهیم مدلی برای اجرای مکانیزم ATP در سیستم های تولیدی MTF با در نظر گرفتن محیط تولیدی Flow shop، ارائه دهیم. خروجی های اصلی این مدل  $Z_{is}$  و  $Y'_{ist}$ ،  $Y_{ist}$ ،  $X'_{ism}$ ،  $X_{ism}$

هزینه تولیدی سفارش $\lambda_m$ در زمان $t$ و در ایستگاه کاری $\lambda_m$ در حرکت رو به عقب	$c'_{ist}$	هستند که می‌توان از طریق آنها همه اطلاعات مورد نیاز برای تعیین برنامه تولید و مسیر تولیدی هر یک از سفارش‌ها را به طور دقیق نشان داد. خروجی مهم دیگر این مدل که از متغیرهای تصمیم به دست می‌آید و در تصمیم‌گیری از آن استفاده خواهد شد، $Ct_{is}$ است که نشان‌دهنده زمان تکمیل سفارش $\lambda_m$ است.	
زمان پردازش سفارش $\lambda_m$ در ایستگاه کام و روی ماشین $m$	$t_{ism}$	متغیر باینری مرتبط با ماشین‌ها که اگر سفارش $\lambda_m$ در حرکت رو به جلوی خود از ماشین $m$ در ایستگاه کاری $\lambda_m$ استفاده کند، مقدار یک دارد و در غیر این صورت مساوی با صفر خواهد بود.	$X_{ism}$
زمان تکمیل مرحله کام از تولید سفارش $\lambda_m$ در حرکت رو به جلو	$Ct_{is}$	متغیر باینری مرتبط با ماشین‌ها که اگر سفارش $\lambda_m$ در حرکت رو به عقب خود از ماشین $m$ در ایستگاه کاری $\lambda_m$ استفاده کند، مقدار یک دارد و در غیر این صورت مساوی با صفر خواهد بود.	$X'_{ism}$
زمان تکمیل مرحله کام از تولید سفارش $\lambda_m$ در حرکت رو به عقب	$Ct'_{is}$	مقدار یک دارد و در غیر این صورت مساوی با صفر خواهد بود.	$Y_{ist}$
هزینه نگهداری موجودی بین خط برای سفارش $\lambda_m$	$WIPhold\ cost_i$	متغیر باینری که اگر سفارش $\lambda_m$ در حرکت رو به عقب خود از ماشین $m$ در ایستگاه کاری $\lambda_m$ استفاده کند، مقدار یک دارد و در غیر این صورت مساوی با صفر خواهد بود.	$Y'_{ist}$
زمان تحویل مقرر شده برای سفارش $\lambda_m$	$DueDate_i$	مقدار یک دارد و در غیر این صورت مساوی با صفر خواهد بود.	$Z_{is}$
جریمه هر روز دیرکرد سفارش $\lambda_m$	$tard\ cost_i$	مقدار یک دارد و در غیر این صورت مساوی با صفر خواهد بود.	
جریمه هر روز زودکرد سفارش $\lambda_m$	$earl\ cost_i$	مقدار یک دارد و در غیر این صورت مساوی با صفر خواهد بود.	
میزان موجودی بین خط در ایستگاه کاری کام	$I_s$	مقدار یک دارد و در غیر این صورت مساوی با صفر خواهد بود.	
ضریب مصرف سفارش $\lambda_m$ در ایستگاه کاری کام	$CCo_{is}$	مقدار یک دارد و در غیر این صورت مساوی با صفر خواهد بود.	
شماره ایستگاه انتخاب شده برای شروع عملیات تولید سفارش $\lambda_m$	$SS_i$	مقدار یک دارد و در غیر این صورت مساوی با صفر خواهد بود.	
شماره ایستگاهی که از آن به بعد مراحل تولیدی سفارش $\lambda_m$ با تولید معمول کارخانه متفاوت خواهد بود	$OPP_i$	مقدار یک دارد و در غیر این صورت مساوی با صفر خواهد بود.	
تعداد کل ایستگاه‌های کاری	$S$	مقدار یک دارد و در غیر این صورت مساوی با صفر خواهد بود.	
تعداد ماشین‌های موجود در ایستگاه کاری کام	$m_s$	مقدار یک دارد و در غیر این صورت مساوی با صفر خواهد بود.	
افق زمانی مورد بررسی	$T$	مقدار یک دارد و در غیر این صورت مساوی با صفر خواهد بود.	
میزان موجودی مواد در ایستگاه کاری کام در واحد زمانی $\lambda_m$	$Mat_{st}$	مقدار یک دارد و در غیر این صورت مساوی با صفر خواهد بود.	
زمان خالی ماشین $m$ در ایستگاه کاری کام در واحد زمانی $\lambda_m$	$Machine_{smt}$	مقدار یک دارد و در غیر این صورت مساوی با صفر خواهد بود.	
اندیس‌ها:			
تعداد سفارش‌ها	$i$	قیمت فروش در نظر گرفته شده برای سفارش $\lambda_m$	$p_i$
تعداد ایستگاه‌های کاری	$s$	درجه اهمیت در نظر گرفته شده برای سفارش $\lambda_m$	$pri_i$
تعداد واحدهای زمانی مورد بررسی	$t$	هزینه کل تولید سفارش $\lambda_m$ در حرکت رو به جلوی آن	$c_i$
تعداد ماشین‌ها	$m$		
مدل ارائه شده:			

پارامترها:

$$\max \sum_i \left[ \begin{aligned} & \left( (p_i \times pri_i - c_i) - \sum_{s=1}^S \sum_{t=0}^T Y'_{ist} \times c'_{ist} \right) - \left( \sum_{s=1}^{s-1} \sum_{m=1}^{m_i} (Ct_{i(s+1)} - t_{i(s+1)m} - Ct_{is}) \right) \\ & \times X_{ism} \times WIPhold\ cost_i - \max \{ (Ct_{is} - DueDate_i), 0 \} \times tard\ cost_i \\ & - \max \{ (DueDate_i - Ct_{is}), 0 \} \times earl\ cost_i \end{aligned} \right] \quad (1)$$

محدودیت‌ها:

$$\sum_{i=1}^I Z_{is} \leq I_s \quad \forall s \quad (2)$$

$$\sum_i \sum_{t=1}^T \left[ \begin{aligned} & \left( Y_{ist} \times CCo_{is} \times \left[ \frac{s - SS_i + 1}{S} \right] \times \left[ \frac{OPP_i - SS_i + 1}{S} \right] \right) + \\ & \left( Y_{ist} \times CCo_{is} \times \left[ \frac{s - OPP_i + 1}{S} \right] \times \left[ \frac{SS_i - OPP_i}{S} \right] \right) + \\ & \left( Y'_{ist} \times CCo_{is} \times \left[ \frac{s - OPP_i + 1}{S} \right] \times \left[ \frac{SS_i - OPP_i}{S} \right] \times \left[ \frac{SS_i - s}{S} \right] \right) \end{aligned} \right] \leq \sum_{t=1}^T Mat_{st} \quad \forall s \quad (3)$$

$$\sum_i \left[ \begin{aligned} & \left( Y_{ist} \times X_{ism} \times t_{ism} \times \left[ \frac{s - SS_i + 1}{S} \right] \times \left[ \frac{OPP_i - SS_i + 1}{S} \right] \right) + \\ & \left( Y_{ist} \times X_{ism} \times t_{ism} \times \left[ \frac{s - OPP_i + 1}{S} \right] \times \left[ \frac{SS_i - OPP_i}{S} \right] \right) + \\ & \left( Y'_{ist} \times X'_{ism} \times t_{ism} \times \left[ \frac{s - OPP_i + 1}{S} \right] \times \left[ \frac{SS_i - OPP_i}{S} \right] \times \left[ \frac{SS_i - s}{S} \right] \right) \end{aligned} \right] \leq Machine_{smt} \quad \begin{cases} \forall s \\ \forall m \\ \forall t \end{cases} \quad (4)$$

$$\sum_{t=0}^T \left( \left[ \frac{Y_{i(s+1)t}}{Y_{i(s+1)t} + 1} \right] \times t \right) > Ct_{is} \quad \begin{cases} \forall i \\ \forall t \\ s = 1, 2, \dots, (S - 1) \end{cases} \quad (5)$$

$$\sum_{t=0}^T \left( \left[ \frac{Y'_{ist}}{Y'_{ist} + 1} \right] \times t \right) > Ct'_{is} \quad \begin{cases} \forall i \\ \forall t \\ s = 1, 2, \dots, (S - 1) \end{cases} \quad (6)$$

$$Ct_{is} = \sum_{t=0}^T \left( \left[ \frac{Y_{ist}}{Y_{ist} + 1} \right] \times t \right) + X_{ism} \times t_{ism} \quad \begin{cases} \forall i \\ \forall s \end{cases} \quad (7)$$

$$Ct'_{is} = \sum_{t=0}^T \left( \left[ \frac{Y'_{ist}}{Y'_{ist} + 1} \right] \times t \right) + X'_{ism} \times t_{ism} \quad \begin{cases} \forall i \\ \forall s \end{cases} \quad (8)$$

$$\sum_{t=0}^T Y'_{ist} - \left[ \frac{s - OPP_i + 1}{S} \right] \times \left[ \frac{SS_i - OPP_i}{S} \right] \times \left[ \frac{SS_i - s}{S} \right] = 0 \quad \begin{cases} \forall i \\ \forall s \end{cases} \quad (9)$$

$$\sum_{t=0}^T X'_{ist} - \left[ \frac{s - OPP_i + 1}{S} \right] \times \left[ \frac{SS_i - OPP_i}{S} \right] \times \left[ \frac{SS_i - s}{S} \right] = 0 \quad \begin{cases} \forall i \\ \forall s \end{cases} \quad (10)$$

$$SS_i = \sum_{s=1}^S Z_{is} \times s \quad \forall i \quad (11)$$

$$\sum_{t=0}^T Y_{ist} = 1 \quad \begin{cases} \forall i \\ \forall s \end{cases} \quad (12)$$

$$\sum_{m=1}^{m_i} X_{ism} = 1 \quad \begin{cases} \forall i \\ \forall s \end{cases} \quad (13)$$

$$\sum_{t=0}^T Y'_{ist} \leq 1 \quad \begin{cases} \forall i \\ \forall s \end{cases} \quad (14)$$

$$\sum_{m=1}^{m_s} X'_{ism} \leq 1 \begin{cases} \forall i \\ \forall s \end{cases} \quad (15)$$

$$\sum_{s=1}^S Z_{is} = 1 \forall i \quad (16)$$

$$Y_{ist}, Y'_{ist} \in \{0,1\} \forall i, s, t \quad (17)$$

$$X_{ism}, X'_{ism} \in \{0,1\} \forall i, s, t \quad (18)$$

$$Z_{is} \in \{0,1\} \forall i, s \quad (19)$$

$$c_{ij}, c'_{ij} \geq 0 \forall i, j \quad (20)$$

$$p_i \geq 0 \forall i \quad (21)$$

جدول ۱: بررسی شاخص‌های عملکرد مختلف در حل مدل ارائه شده

N-M-I	تعداد مسائل حل شده /۱۰	میانگین هزینه	میانگین سفارش‌هایی که تولید آنها در همان تاریخ تحویل آنها به پایان رسیده است	میانگین سفارش‌هایی که دچار تأخیر شده‌اند	میانگین (نسبت زمان حضور در سیستم به زمان مورد نیاز برای تولید)	میانگین زمان حل (ثانیه)
۱۰×۱۰×۲۰	۱۰	۱۸۱۳	۹	۱	۱,۰۷	۱۱۳
۱۰×۱۰×۲۵	۱۰	۱۶۲۵	۹	۰	۱,۰۶	۱۲۵
۱۵×۱۰×۲۵	۱۰	۲۷۰۳	۸	۴	۱,۱۱	۲۳۴
۱۵×۱۰×۳۰	۹	۲۱۱۹	۹	۳	۱,۰۹	۲۶۶
۲۰×۱۰×۳۰	۸	۳۳۸۸	۹	۵	۱,۱۶	۴۲۹
۲۰×۱۰×۳۵	۸	۳۱۰۵	۱۱	۵	۱,۱۴	۴۸۲

(۱۱) شماره ایستگاه شروع‌کننده تولید سفارش‌ها را تعیین می‌کند.

### نتایج حاصل از حل مثال‌های عددی

در این بخش، نتایج حاصل از حل مدل در جدول شماره ۱ ارائه شده است. اولین شاخص مطرح‌شده در این جدول، تعداد مسائل حل شده است. هر خانه از جدول میانگین، شاخص مورد نظر در ابعاد تعیین شده (N-M-I) را برای ۱۰ مثال متفاوت نشان می‌دهد. N تعداد سفارش‌ها، M تعداد ماشین‌ها و I تعداد کل موجودی‌های بین خط در سیستم تولیدی را نشان می‌دهد. همان‌طور که در جدول ذکر شده نیز نشان داده شده است، با افزایش ابعاد مسئله، توانایی مدل ریاضی در حل مسائل کاهش می‌یابد. لازم به ذکر است هنگامی که عنوان می‌شود مدل ریاضی قادر به حل یک مثال نبوده است، منظور این است که نتوانسته مسئله را در مدت زمان ۶۰۰ ثانیه حل کند. شاخص بعدی، میانگین هزینه کل است که با افزایش تعداد سفارش‌ها در ظرفیت تولید ثابت، افزایش و با افزایش تعداد

تابع هدف مورد نظر، به دنبال افزایش سود است. هزینه‌های در نظر گرفته شده در این بخش، شامل هزینه دوباره کاری، هزینه نگهداری، هزینه دیرکرد و هزینه زودکرد است. محدودیت (۲) سطح موجودی بین خط در ایستگاه‌های کاری را بررسی می‌کند. محدودیت‌های (۳) و (۴) به ترتیب میزان مواد مصرفی در هر ایستگاه و محدودیت زمانی ماشین‌های موجود در هر ایستگاه را برای انجام عملیات‌های مربوط به هر سفارش در مراحل تولید عادی، مراحل تولیدی خاص سفارش و مراحل تولیدی که نیاز به دوباره کاری دارند را مورد بررسی قرار می‌دهند. محدودیت‌های (۵) و (۶) به ترتیب نبود تداخل در زمان خاتمه یک مرحله و شروع مرحله بعدی را در مراحل تولید رو به جلو و مراحل تولیدی که نیاز به دوباره کاری دارند، بررسی می‌کنند.

محدودیت‌های (۷) و (۸)، زمان‌های تکمیل هر یک از مراحل تولیدی سفارش‌ها را محاسبه می‌کنند. متغیرهای مربوط به ایستگاه‌های کاری که نیاز به دوباره کاری دارند، در محدودیت‌های (۹) و (۱۰) تعیین می‌شوند. محدودیت

### نتیجه‌گیری و تحقیقات بعدی

نتایج به دست آمده در بخش قبلی، نشان می‌دهد که مدل ارائه‌شده به خوبی توانسته است با سیستم تولیدی مورد نظر هماهنگی پیدا کند و هدف این تحقیق که جلب رضایت مشتری از طریق تحویل به موقع سفارش‌ها است را تا حد خوبی برآورده کرده است.

مدل ارائه‌شده، شروع زمینه جدیدی از تحقیقات در برنامه‌ریزی تولید است؛ چرا که از یک طرف به بررسی سیستم‌های تولیدی پیش‌بینی‌محور می‌پردازد که تا به امروز کار زیادی روی آنها انجام نشده است و می‌توان فرضیات بسیاری را برای نزدیک کردن مدل به فضای حقیقی به آن افزود و از طرف دیگر، ایده ترکیب مسئله زمان‌بندی و میزان محصول قابل تعهد را مطرح می‌کند که با توجه به گستردگی هر دو زمینه، می‌توان ترکیبات مختلف بسیاری از فرضیات موجود در این دو زمینه تحقیقاتی را در نظر گرفت و مسائل جدیدی را مطرح کرد.

موجودی‌های بین خط، اندکی کاهش می‌یابد. دو ستون بعدی به ترتیب بیان‌گر میانگین تعداد سفارش‌هایی هستند که تولید آنها در همان تاریخ تحویل به پایان رسیده است و سفارش‌هایی که حداقل یک روز دچار تأخیر شده‌اند. همان طور که از نتایج درج‌شده در جدول نیز مشخص است، با افزایش تعداد سفارش‌ها، درصد سفارش‌هایی که به موقع آماده شده‌اند، کاهش و درصد سفارش‌هایی که دچار تأخیر می‌شوند، افزایش می‌یابد. شاخص عملکرد دیگری که بررسی شده است، میانگین نسبت زمان حضور در سیستم به زمان مورد نیاز برای تولید است؛ هر قدر که مقدار این شاخص به یک نزدیک‌تر باشد، نشان‌دهنده کارکرد بهتر مدل است. طبق نتایج به دست آمده، افزایش تعداد سفارش‌ها، سبب افزایش مدت زمان حضور آنها در سیستم می‌شود.

### مراجع

- 1- Beamon, B. M. (1998). "Supply chain design and analysis: Models and methods." *Int. J. of Prod. Econ.*, Vol. 55, PP. 281-294.
- 2- Weng, Z. K. (1999). "Strategies for integrating lead time and customer-order decisions." *IIE Trans.*, Vol. 31, PP. 161-171,
- 3- Jeong, B., Sim, S. B., Jeong, H. S. and Kim, S. W. (2004). "An available-to-promise system for TFT LCD manufacturing in supply chain." *Comput. and Ind. Eng.*, Vol. 43, PP. 19-212.
- 4- *American Production and Inventory Control Society Dictionary* (2004). APICS Educational Society for Resource Management.
- 5- Zhao, Z., Ball, M. O. and Kotake, M. (2005). "Optimization-based available-to-promise with multi-stage resource availability." *Ann. of Oper. Res.*, Vol. 135, PP. 65-85.
- 6- Fleischmann, B. and Meyr, H. (2003). "Planning hierarchy, modeling and advanced planning systems." In: A.G. de Kok, S.C. Grave (Eds.), *Supply Chain Management: Design Coordination and Operation*. Series Handbooks in Operations Research and Management Science, North-Holland, Amsterdam.
- 7- Mestry, S., Damodaran, P. and Chen, C. S. (2011). "A branch and price solution approach for order acceptance and capacity planning in make-to-order operations." *Eur. J. of Oper. Res.*, Vol. 211, No. 3, PP. 480-495.
- 8- Tsai, K. M. and Wang, S. C. (2009). "Multi-site available-to-promise modeling for assemble-to-order manufacturing: An illustration on TFT-LCD manufacturing." *Int. J. of Prod. Econ.*, Vol. 117, PP. 174-184.
- 9- Lin, J. T., Hong, I. H., Wu, C. H. and Wang, K. S. (2010). "A model for batch available-to-promise in order fulfillment processes for TFT-LCD production chains." *Comput. and Ind. Eng.*, Vol. 59, PP. 720-729.
- 10- Ritzo, C., Ervolina, T., Harrison, T. P. and Gupta, B. (2011). "Component rationing for available-to-promise scheduling in configure-to-order systems." *Eur. J. of Oper. Res.*, Vol. 211, PP. 57-65.
- 11- Volling, T. and Spengler, T. S. (2011). "Modeling and simulation of order-driven planning policies in

- build-to-order automobile production.” *Int. J. of Prod. Econ.*, Vol. 131, PP. 183-193.
- 12- Pibernik, R. (2005). “Advanced available-to-promise: Classification, selected methods and requirements for operations and inventory management.” *Int. J. of Prod. Econ.*, Vol. 93, No. 94, PP. 239-252.
- 13- Raturi, A. S., Meredith, J. R., McCutcheon, D. M. and Camm, J. D. (1990). “Coping with the Build-to-Forecast Environment.” *J. of Oper. Manage.*, Vol. 9, No. 2., PP. 230-249.
- 14- Akinc, U. and Meredith, J. (2006). “Choosing the appropriate capacity for a make-to-forecast production environment using a Markov analysis approach.” *IIE Trans.*, Vol. 38, PP. 847-858.
- 15- Akinc, U. and Meredith, J. (2007). “Characterizing and structuring a new make-to-forecast production strategy.” *J. of Oper. Manage.*, Vol. 25, PP. 623-642. PP
- 16- Akinc, U. and Meredith, J. R. (2009). “Modeling the manager’s match-or-wait dilemma in a make-to-forecast production situation.” *Omega*, Vol. 37., 300-311.

### واژه‌های انگلیسی به ترتیب استفاده در متن

- 1- Available-to-Promise (ATP)
- 2- Make-to-Forecast (MTF)
- 3- Make-to-Stock (MTS)
- 4- Make-to-Order (MTO)
- 5- Assemble-to-Order (ATO)
- 6- Configure-to-Order (CTO)
- 7- Build-to-Order (BTO)