

ارائه یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی برای بهبود اثربخشی TPM^۱

بهر روز بهمردی^۲

خیابان بهشتی - خیابان بخارست - کوچه دوم - پلاک ۱۴

b_behmardi@yahoo.com

چکیده

ایتکار محوری و اساسی در اصول TPM درگیر نمودن کلیه بخش‌های مرتبط با موضوع می‌باشد. یکی از اهداف TPM حداکثر نمودن اثربخشی تجهیزات می‌باشد که با کاهش یا حذف شش ضایعه بزرگ ممکن می‌باشد. با توجه به این موضوع که قابلیت دسترسی تجهیزات عامل مؤثری در کاهش ضایعات و افزایش اثربخشی می‌باشد، در این مقاله سعی شده است تا مدل برنامه‌ریزی ریاضی ارائه شود که قابلیت دسترسی تجهیزات را با توجه به زمان و هزینه نت هر دستگاه افزایش دهد. هدف اصلی، تعیین حجم بهینه جریان مواد بین سطوح مختلف عملیاتی با توجه به مشخصات فنی دستگاه‌ها می‌باشد. در قسمت مطالعاتی یک مورد فرضی را با استفاده از نرم افزار Lingo6 حل کرده و نتایج در انتها ارائه شده است.

واژه‌های کلیدی: TPM - مدل برنامه‌ریزی ریاضی - زنجیره تأمین

۱- مقدمه

پس از جنگ جهانی دوم، صنایع ژاپن به این نتیجه رسیدند که به منظور رقابت موفقیت آمیز در بازار جهانی، لازم است که کیفیت محصولات خود را بهبود بخشند. در این راستا، ژاپنی‌ها تکنیک‌های ساخت و تولید و مدیریت را از آمریکا به کشور خودشان وارد کرده و آنها را با شرایط خود سازگار نمودند. بیش از ۳۰ سال پیش، ژاپن در جهت بهبود سیستم نگهداری و تعمیرات

^۱) Total Productive Maintenance

^۲ کارشناس ارشد مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

تجهیزات، فرضیات و ذهنیت‌های نت پیشگیرانه (PM^1) را از ایالات متحده وارد نمود. واردات بعدی شامل نت بهره‌ور (که این نیز به PM^2 مشهور شد)، محصول بی‌نیاز از تعمیر (MP^3) و مهندسی قابلیت اطمینان و غیره بود. آنچه که امروزه تحت عنوان TPM مطرح است، در حقیقت همان سیستم نت بهره‌ور به شیوه آمریکا است که در جهت سازگاری با شرایط صنعتی ژاپن در آن بهبودهایی داده شده است.

ابتکار محوری و اساسی در اصول TPM این است که اپراتورها خودشان به امور اصلی و اولیه نگهداری و تعمیرات ماشین‌های خودشان می‌پردازند. آنها ماشین‌ها را در شرایط مناسب و مطلوب برای بهره‌برداری نگهداری نموده و توانایی‌ها و آگاهی‌های خود را در دستیابی به مسائل و مشکلات بالقوه موجود در تجهیزات، قبل از آنکه این تجهیزات دچار خرابی و رکود شوند، افزایش می‌دهند.

TPM، نوعی نت بهره‌ور است که توسط کلیه کارکنان به صورت فعالیت‌های گروهی، در گروه‌های کوچک اعمال می‌شود. واژه نگهداری و تعمیرات بهره‌ور جامع (TPM) در سال ۱۹۷۱ توسط مدیران فنی ژاپن ($JJPE^4$) با پنج هدف اصلی زیر تعریف شده است:

- ۱- حداکثر نمودن (بیشینه نمودن) اثر بخشی تجهیزات (بهبود راندمان کل)
- ۲- توسعه دادن یک سیستم نت بهره‌ور برای کل دوره عمر تجهیزات
- ۳- درگیر نمودن کلیه بخش‌های صنعت که به امور برنامه‌ریزی، طراحی، بهره‌برداری یا نگهداری و تعمیرات دستگاه‌ها در امور TPM (مهندسی و طراحی، تولید، نگهداری و تعمیر) می‌پردازند.
- ۴- درگیر نمودن فعالانه کلیه کارکنان، از مدیریت رده اول تا کارکنان سطح کارگاه
- ۵- توسعه دادن TPM از طریق مدیریت انگیزه‌ای: فعالیت گروه‌های کوچک خود ساخته و مستقل

کلمه Total (فراگیر) در عبارت نت بهره‌ور فراگیر، سه مفهوم اساسی را در ارتباط با سه ویژگی مهم TPM در بر می‌گیرد :

- اثر بخشی فراگیر: توسعه و بهبود راندمان اقتصادی یا سودمندی
- پیشگیری فراگیر: طراحی دستگاه‌های بی‌نیاز از تعمیر و همچنین تعمیرات پیشگیری جامع
- همکاری و اشتراک مساعی فراگیر: انجام عملیات نگهداری و تعمیرات به صورتی خود ساخته و مستقل توسط کارگران بهره‌برداری (اپراتورها)، در گروه‌های کوچک در هر یک از بخش‌های صنعت و همچنین توسط سایر سطوح کارکنان به صورتی مشابه.

همانطوریکه ملاحظه می‌شود یکی از عامل‌های مهم در TPM اثر بخشی فراگیر یا به عبارتی حداکثر نمودن اثر بخشی تجهیزات می‌باشد. این اثر بخشی با بهبود اجزاء و فرآیندها قابل دستیابی است. منظور از اجزاء همان ماشین آلات و تجهیزات می‌باشند. نوسازی سیستم موجود یکی از روش‌های کاهش هزینه‌های نت بوده و اثر بخشی کل سیستم را افزایش می‌دهد. در خصوص فرآیندها، برنامه‌ریزی‌های منظم انجام نت، آموزش کارکنان و مواردی از این قبیل می‌باشند. در این مقاله سعی شده است تا مدل برنامه‌ریزی ریاضی برای بهبود فرآیندها ارائه شود. هدف تعیین حجم بهینه جریان بین بخش‌های مختلف یک سیستم

¹) Preventive Maintenance

²) Productive Maintenance

³) Maintenance Preventive

⁴) Japan Institute of Plant Maintenance

تولیدی با توجه به هزینه‌های نت دستگاه‌ها می‌باشد. در ادامه ابتدا مسأله به طور کامل تعریف شده و سپس نحوه بالابردن اثر بخشی سیستم توضیح داده می‌شود.

۲- تعریف مسأله

شاخص اثر بخشی تجهیزات یک نوع سنجش برای تعیین ارزش افزوده تولید از طریق تجهیزات می‌باشد. در یک بیان ساده ارزش افزوده عبارت از تفاوت بین درآمد حاصل از فروش محصول و هزینه‌های منابع مصرف شده (مواد و نیروی انسانی) برای تولید محصول است. ارزش افزوده یک محصول که از طریق تجهیزات ایجاد می‌شود به نحو قابل توجهی بر اثر ضایعات تولیدی و شش ضایعه اصلی مرتبط با تجهیزات کاهش می‌یابد. ارزش افزوده با ارتقاء قابلیت دسترسی دستگاه‌ها افزایش می‌یابد.

TPM از طریق دو نوع فعالیت به شرح ذیل، اثر بخشی تجهیزات را بهبود می‌بخشد:

کمی: افزایش قابلیت دسترسی کل تجهیزات و بهبود عامل بهره‌وری تجهیزات در یک فاصله زمانی مشخص بهره‌برداری
کیفی: کاهش تعداد (حجم) محصولات معیوب، تثبیت و بهبود در کیفیت.

هدف TPM بالابردن عامل اثر بخشی تجهیزات است، به نحوی که هر تجهیز را بتوان با توجه به توان بالقوه آن به طور کامل مورد بهره‌برداری قرار داد و در همین سطح نگهداری و تعمیر نمود. عملکرد کارگران و ماشین آلات باید هر دو در شرایطی بهینه به صورت یکنواخت و استوار ادامه یابد و میزان خرابی ماشین آلات و ضایعات محصول به صفر برسد.
شش ضایعه بزرگ که باعث محدودیت اثر بخشی تجهیزات می‌شوند عبارتند از :

- ۱- ضایعات خرابی‌های اضطراری
- ۲- ضایعات آماده‌سازی و تنظیم
- ۳- ضایعات حرکت بدون تولید یا توقفات جزئی و کوتاه‌مدت
- ۴- ضایعات کاهش سرعت
- ۵- ضایعات کیفیت و دوباره‌کاری
- ۶- ضایعات آغاز تولید

۱-۲- اندازه‌گیری اثر بخشی تجهیزات

اثر بخشی تجهیزات با کاربرد فرمول ذیل قابل اندازه‌گیری است.

$$(۱) \quad \text{نسبت کیفیت} \times \text{نسبت کارایی} \times \text{قابلیت دسترسی} = \text{اثر بخشی کلی تجهیزات}$$

- ۱- قابلیت دسترسی (نسبت بهره‌برداری) : این عامل با حذف خرابی‌های اضطراری، ضایعات آماده‌سازی و تنظیم و سایر ضایعات توقف بهبود می‌یابد.
- ۲- کارایی : این عامل با حذف ضایعات کاهش سرعت و ضایعات حرکت بدون تولید و توقف‌های جزئی و کوتاه مدت افزایش می‌یابد.

۳- کیفیت (میزان محصولات سالم) : این عامل با حذف اشکالات کیفیت در فرآیند و در زمان راه‌اندازی تولید بهبود می‌یابد.
در جدول ذیل اهداف بهبود بخشی ارائه شده است.

جدول ۱: اهداف بهبود بخشی در ضایعات

ردیف	نوع ضایعات	هدف	توضیحات
۱	خرابی رکورد اضطراری	•	برای همگی تجهیزات به صفر برسد.
۲	ضایعات آماده‌سازی و تنظیم	کمینه (حداقل)	زمان آماده‌سازی و تنظیم به کمتر از ۱۰ دقیقه برسد.
۳	ضایعات کاهش سرعت	•	سرعت عملی تولید به سرعت طراحی شده (اسمی) برسد و آنگاه از سرعت اسمی نیز تجاوز نکند.
۴	ضایعات کیفیت و دوباره‌کاری	•	وجود ضایعات در حد بسیار کم قابل قبول است (مثال: ۳۰ تا ۱۰۰ PPM)
۵	ضایعات حرکت بدون تولید یا توقفات جزئی	•	برای همگی تجهیزات به صفر برسد.
۶	ضایعات آغاز تولید	کمینه (حداقل)	----

عوامل بهره‌برداری، کارایی و کیفیت محصول در هر کارگاهی قابل تعیین است. ولی اهمیت هر یک از این عوامل بستگی به خصوصیات محصول، تجهیزات و سیستم تولیدی مورد مطالعه دارد. برای مثال، در صورتیکه زمان صرف شده برای تنظیم‌ها و زمان خرابی‌های اضطراری زیاد باشد، سطح بهره‌برداری پایین خواهد بود و در صورتیکه تعداد خرابی‌های جزئی و کوتاه مدت زیاد باشد، میزان کارایی کم خواهد بود. دسترسی به یک سطح اثر بخشی مطلوب تنها در شرایطی که سطوح هر سه عامل بالا باشد، امکان‌پذیر می‌گردد.

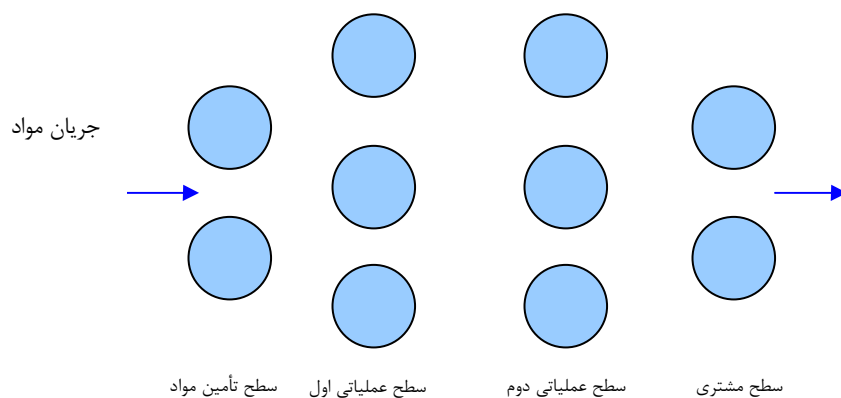
در کاهش یا حذف شش ضایعه بزرگ که در جدول یک نشان داده شده است، طراحی یک فرآیند برنامه‌ریزی شده بر مبنای سه عامل معرفی شده در رابطه یک، مؤثر می‌باشد. به عنوان مثال زمانیکه خرابی یک دستگاه به دلیل فرسوده بودن یا استفاده نادرست اپراتور بیش از اندازه بوده یا ضایعات کیفیت و دوباره‌کاری یک دستگاه زیاد می‌باشد، می‌توان با تعیین حجم بهینه ورودی به دستگاه بهره‌وری کل سیستم را افزایش داد. فرض کنید حالتی را در نظر می‌گیریم که فرآیند تولید شامل سطوح مختلف عملیاتی بر روی ماده اولیه می‌باشد. ماشین‌آلات و تجهیزات هر سطح، عملیات یکسانی را انجام می‌دهند. هدف تعیین فرآیند بهینه تولید با توجه به هزینه‌های نت هر دستگاه می‌باشد. مدل برنامه‌ریزی که در ادامه ارائه می‌شود برای طراحی بهینه حجم جریان بین بخش‌های مختلف یک سیستم می‌باشد که هدف کاهش هزینه با توجه به واقعیات مسأله می‌باشد. مدل به صورت چند سطحی و چند محصولی ارائه شده و یک مورد مطالعاتی را با نرم‌افزار Ling06 حل کرده و نتایج در انتها مورد بررسی قرار گرفته است.

۳- معرفی مدل

در این قسمت یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی برای طراحی بهینه سطح کارخانه با توجه به اجزاء موجود در سیستم ارائه شده است. مدل به صورت کامل و از پایه ارائه می‌شود اما برای دوباره طراحی کردن سیستم موجود با حذف برخی از اجزاء تابع هدف و محدودیت‌های مدل، می‌توان از آن استفاده کرد. در ابتدا مفروضات مدل ارائه می‌شود.

- ۱- مدل چهار سطحی است.
- ۲- مدل دو محصولی است.
- ۳- پارامترهای مدل قطعی است.
- ۴- پارامترهای مدل در طول زمان‌های مختلف تغییر نمی‌کند.

منظور از چند سطحی بودن، عملیات مختلفی است که روی ماده اولیه انجام می‌شود تا محصول نهایی تولید شود. یعنی فرض کنید اگر برای تولید یک محصول از چند ماده اولیه سه عمل صورت گیرد مدل سه سطحی نامیده می‌شود. البته علاوه بر سطوح عملیات روی محصول، سطوح تأمین و سطح تحویل محصول به مشتری را نیز داریم که به موارد مذکور اضافه می‌شود. فرض کنید i تعداد محصولاتی باشد که در نهایت تولید می‌شوند. j نیز نشان دهنده تعداد سطوح مدل می‌باشد. در شکل ذیل نمایی از یک مدل پنج سطحی (با احتساب سطوح تأمین و مشتری) ارائه شده است.



شکل ۱: ساختار سطوح مختلف و جریان بین آنها

۳-۱- پارامترهای استفاده شده در مدل

- i = نوع خانواده محصول
- j = محل تأمین
- m = سطح عملیاتی اول
- k = سطح عملیاتی دوم
- l = سطح مشتری

۳-۲- متغیرهای صفر و یک

$$Y_m = \begin{cases} 1 & \text{اگر تجهیزات در محل } m \text{ قرار داده شود.} \\ 0 & \text{در غیر اینصورت} \end{cases}$$

$$Y_k = \begin{cases} 1 & \text{اگر تجهیزات در محل } k \text{ قرار داده شود.} \\ 0 & \text{در غیر اینصورت} \end{cases}$$

۳-۳- متغیرهای پیوسته

- Q_{ijm} حجم جریان از محل تأمین j به سطح عملیاتی m
- Q_{imk} حجم جریان از سطح عملیاتی m به سطح عملیاتی k
- Q_{ikl} حجم جریان از سطح عملیاتی k به مشتری l
- D_{il} میزان تقاضای مشتری برای محصول i
- C_m هزینه ثابت ایجاد تجهیزات سطح m
- C_k هزینه ثابت ایجاد تجهیزات سطح k
- C_{ijm} هزینه حمل و نقل بین محل تأمین کننده j ام و سطح عملیاتی m برای محصول i
- C_{imk} هزینه حمل و نقل بین سطح عملیاتی m و سطح عملیاتی k برای محصول i
- C_{ikl} هزینه حمل و نقل بین سطح عملیاتی k و مشتری l برای محصول i
- C_{ij} هزینه تأمین قطعه i ام در محل تأمین کننده j
- S_{ij} حجم تأمین قطعه i ام در تأمین کننده j
- C_m^H هزینه نیروی انسانی و نگهداری و تعمیرات در سطح عملیاتی m
- C_k^H هزینه نیروی انسانی و نگهداری و تعمیرات در سطح عملیاتی k
- K_{im} ظرفیت تجهیزات سطح عملیاتی m برای محصول i
- K_{ik} ظرفیت تجهیزات سطح عملیاتی k برای محصول i

۳-۴- تابع هدف

تابع هدف شامل هزینه‌های سالیانه ایجاد و اداره کردن می‌باشد که به ترتیب سرمایه‌گذاری ثابت و عملیاتی نامیده می‌شود. هزینه‌های سرمایه‌گذاری ثابت در رابطه با ایجاد سطوح عملیاتی می‌باشد که شامل خرید و نصب تجهیزات می‌باشد. هزینه‌های

عملیاتی در رابطه با هزینه‌های تأمین مواد در محل‌های تأمین‌کننده، نیروی انسانی و تعمیرات و نگهداری در هر سطح عملیاتی و هزینه‌های حمل و نقل بین سطوح مختلف عملیاتی می‌باشد. اجزای هزینه‌ای تابع هدف در ذیل ارائه شده است:

۳-۵- هزینه‌های ایجاد

هزینه‌های ساختاری ایجاد در رابطه با خرید و نصب تجهیزات در محل‌های مورد نظر می‌باشد که به شکل ذیل نشان داده می‌شود.

$$\sum_m C_m Y_m + \sum_k C_k Y_k \quad (2)$$

۳-۵-۱- هزینه‌های تأمین

هزینه‌های تأمین در محل تأمین‌کننده j در ذیل آمده است.

$$\sum_{ij} C_{ij}^S S_{ij} \quad (3)$$

۳-۵-۲- هزینه‌های نیروی انسانی و نت

هزینه‌های مذکور نسبت مستقیم با نرخ جریان ورودی به سطوح عملیاتی دارند که در ذیل آمده است.

$$\sum_{i,m} C_{im}^{CH} (\sum_j Q_{ijm}) + \sum_{i,k} C_{ik}^{CH} (\sum_j Q_{imk}) \quad (4)$$

۳-۵-۳- هزینه‌های حمل و نقل بین سطوح عملیاتی

هزینه‌های حمل و نقل مرتبط با نرخ جریانی است که بین دو سطح در شبکه منتقل می‌شود و به صورت ذیل تعریف می‌شود.

$$\sum_{i,j,m} C_{ijm} Q_{ijm} + \sum_{i,m,k} C_{imk} Q_{imk} + \sum_{i,k,l} C_{ikl} Q_{ikl} \quad (5)$$

۳-۶- تابع هدف نهایی

با ترکیب عبارات هزینه‌ای به دست آمده از مراحل قبل کل تابع هزینه به این صورت می‌باشد.

$$\sum_m C_m Y_m + \sum_k C_k Y_k + \sum_{ij} C_{ij}^S S_{ij} + \sum_{i,m} C_{im}^{CH} (\sum_j Q_{ijm}) + \sum_{i,k} C_{ik}^{CH} (\sum_j Q_{imk}) + \sum_{i,j,m} C_{ijm} Q_{ijm} + \quad (6)$$

$$\sum_{i,m,k} C_{imk} Q_{imk} + \sum_{i,k,l} C_{ikl} Q_{ikl}$$

۳-۷- محدودیت‌های مدل

جریان بین سطح عملیاتی اول و سطح عملیاتی دوم در صورتی وجود دارد که سطح عملیاتی اول موجود باشد. این مورد برای بقیه سطوح نیز صادق است، یعنی جریان بین سطح عملیاتی سوم و دوم در صورتی وجود دارد که سطح دوم موجود باشد و الی آخر. محدودیت‌های مرتبط به صورت ذیل ارائه می‌شود.

$$X_{mk} \leq Y_m \quad (۷)$$

$$X_{kl} \leq Y_k \quad (۸)$$

سطح عملیاتی دوم باید حداقل توسط یکی از تجهیزات در سطح عملیاتی اول تحت پوشش قرار گیرد.

$$\sum_k X_{mk} = Y_k \quad (۹)$$

$$\sum_l X_{kl} = 1 \quad (۱۰)$$

جریان مواد از محل تأمین کننده j به سطح عملیاتی m و از سطح عملیاتی m به k و از سطح عملیاتی k به مشتری l در صورتی وجود دارد که پردازنده در سطوح مختلف وجود داشته باشد. یعنی:

$$Q_{ijm} \leq Q_{ijm}^{\max} Y_m \quad (۱۱)$$

$$Q_{imk} \leq Q_{imk}^{\max} X_{mk} \quad (۱۲)$$

$$Q_{ikl} \leq Q_{ikl}^{\max} X_{kl} \quad (۱۳)$$

حدود ماکزیمم جریان در ادامه توضیح داده می‌شوند.

نرخ تأمین قطعه در محل تأمین j باید برابر جریان خروجی از آن محل باشد. به عبارتی داریم:

$$S_{ij} = \sum_m Q_{ijm} \quad (۱۴)$$

جریان خروجی قطعه از محل تأمین j به تجهیزات سطح عملیاتی m باید برابر جریان خروجی از سطح عملیاتی m به سطح عملیاتی k باشد.

$$\sum_j Q_{ijm} = \sum_k Q_{imk} \quad (۱۵)$$

جریان خروجی قطعه از تجهیزات سطح عملیاتی m به سطح عملیاتی k باید برابر جریان خروجی از سطح عملیاتی k به مشتری l باشد.

$$\sum_m Q_{imk} = \sum_l Q_{ikl} \quad (۱۶)$$

همچنین جریان خروجی از سطح k به مشتری l باید برابر میزان تقاضای مشتری باشد.

$$\sum_k Q_{ikl} = D_{il} \quad (۱۷)$$

در روابط ۱۷ و ۱۸ محدودیت‌های ظرفیت برای ماشین آلاتی که در خط استفاده می‌شود ارائه شده است.

$$K_{im} \geq \sum_k Q_{imk} \quad (۱۸)$$

$$K_{ik} \geq \sum_l Q_{ikl} \quad (۱۹)$$

۳-۷-۱- محاسبه حدود بالا برای جریان‌های شبکه

با اعمال محدودیت‌های مناسب، محدودیت‌های ذیل را اعمال می‌کنیم.

$$Q_{ijm}^{\max} = \text{Min}(S_{ij}, \sum_m Q_{imk}) \quad (20)$$

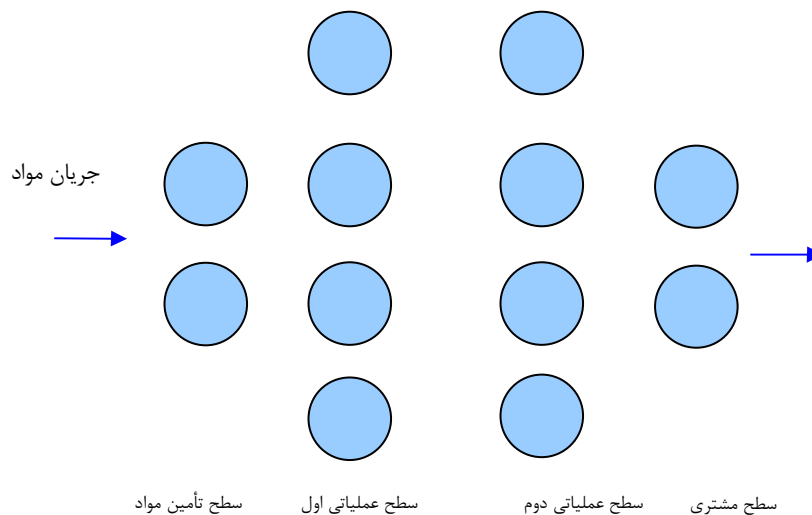
$$Q_{imk}^{\max} = \text{Min}(\sum_j Q_{ijm}, \sum_k Q_{ikl}) \quad (21)$$

$$Q_{ikl}^{\max} = \text{Min}(\sum_m Q_{imk}, D_{il}) \quad (22)$$

در قسمت‌های قبل با تعریف روابط ۲۱ گانه مدل برنامه‌ریزی ریاضی برای بهبود فرآیند اثربخشی TPM در سطح کارگاه ارائه شد. در ادامه یک مورد مطالعاتی با استفاده از نرم‌افزار Lingo 6 حل شده و نتایج در انتها ارائه شده است.

۴- حل مورد مطالعاتی

در قسمت مورد مطالعاتی با استفاده از روابط به دست آمده کارایی مدل ارائه شده، بررسی می‌شود. فرآیند تولید دو مرحله‌ای را در نظر بگیرید. فرض کنید در هر مرحله فضا برای قرار دادن چهار ماشین وجود دارد. دو محل تأمین نیز در محل ورودی کارخانه در نظر بگیرید. خروجی خط دو محصولی می‌باشد. فرآیند تأمین و تولید در شکل ذیل نشان داده شده است.



شکل ۲: ساختار مورد مطالعاتی

هدف از حل مدل تعیین محل‌های قرار دادن تجهیزات، حجم جریان عبوری بین بخش‌های مختلف با توجه به ظرفیت و هزینه‌های عملیاتی می‌باشد. در جدول ذیل پارامترهای استفاده شده در مدل نشان داده شده است.

جدول ۲: پارامترهای استفاده شده در مدل

ردیف	شرح	مبلغ (هزار ریال)
۱	هزینه تأمین قطعات	۱- ۴۰۰ ۲- ۵۰۰
۲	هزینه‌های حمل و نقل بین مرحله اول و دوم	۴۵
۳	هزینه‌های حمل و نقل بین مرحله دوم و سوم	۳۵
۴	هزینه‌های حمل و نقل بین مرحله سوم و مشتری	۴۰
۵	هزینه‌های عملیاتی و نیروی انسانی در مرحله اول	۵۵
۶	هزینه‌های عملیاتی و نیروی انسانی در مرحله دوم	۵۰

علاوه بر موارد ذکر شده هزینه‌های نگهداری و تعمیرات نیز باید در مدل منظور شود. این هزینه‌ها باید برای هر تجهیزات به صورت جداگانه ارائه شود. چون طبق مطالب گفته شده، هزینه نت هر ماشینی متفاوت از ماشین دیگر می‌باشد. هزینه‌های نت با توجه به سطح عملیاتی و نوع ماشینی که استفاده می‌شود به شرح ذیل می‌باشد.

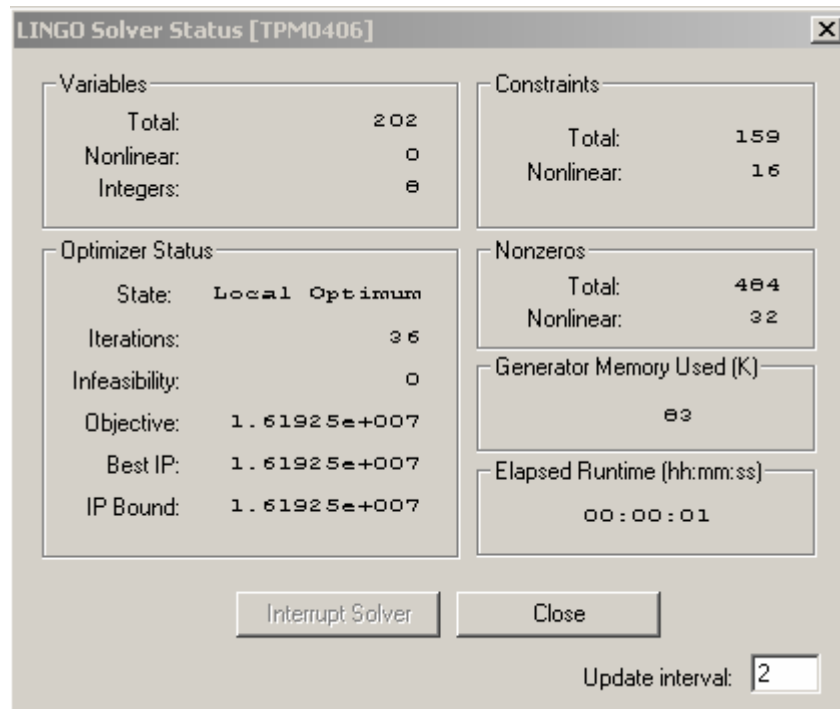
جدول ۳: مشخصات ماشین آلات در سطوح مختلف عملیاتی

ردیف	شرح	هزینه خرید (میلیون ریال)	هزینه نت (هزار ریال)		ماکزیمم ظرفیت سالیانه (هزار عدد)	
			قطعه اول	قطعه دوم	قطعه اول	قطعه دوم
۱	ماشین اول	۱۵۰۰	۴	۳	۳۰۰۰	۵۰۰۰
۲	ماشین دوم	۱۸۰۰	۳	۵	۵۰۰۰	۲۰۰۰
۳	ماشین سوم	۱۲۰۰	۳،۵	۴،۲	۷۰۰۰	۴۰۰۰
۴	ماشین چهارم	۱۷۰۰	۴،۲	۳	۴۰۰۰	۳۰۰۰
۵	ماشین اول	۱۴۰۰	۳	۴	۸۰۰۰	۶۰۰۰
۶	ماشین دوم	۱۳۰۰	۳،۷	۳،۲	۳۰۰۰	۵۰۰۰
۷	ماشین سوم	۲۰۰۰	۴،۲	۵،۵	۷۰۰۰	۸۰۰۰
۸	ماشین چهارم	۱۹۰۰	۴	۳	۹۰۰۰	۷۰۰۰

تقاضای مورد نیاز سیستم برای قطعه اول ۱۰۰۰۰ و برای قطعه دوم ۱۵۰۰۰ عدد می‌باشد. مدل ارائه شده به همراه داده‌های مورد مطالعاتی را با نرم افزار Lingo 6 حل می‌کنیم. در جدول ذیل مشخصات مدل ارائه شده است.

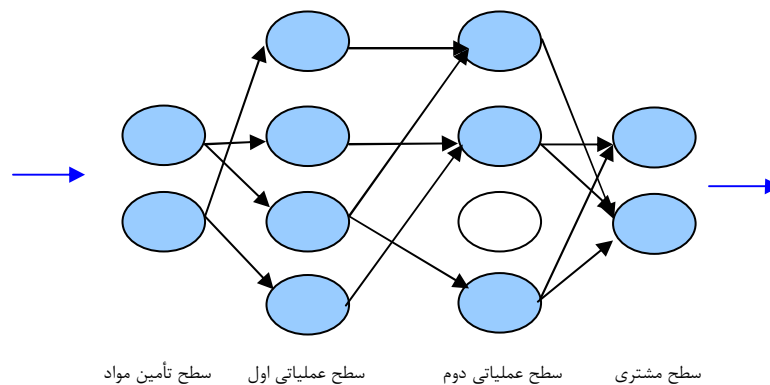
جدول ۴: مشخصات مدل Lingo6

شرح	مشخصات	شرح	مشخصات
تعداد کل متغیرها	۲۰۲	تعداد محدودیت‌های غیرخطی	۱۶
تعداد کل محدودیت‌ها	۱۵۹	تعداد دفعات تکرار	۳۶
تعداد متغیرهای صفر و یک	۸	حد بالایی تابع هدف	۱۶۱۹۲۵۰



شکل ۳: اجرای مدل با نرم‌افزار Lingo6

نمای خروجی مدل در شکل ذیل نشان داده شده است. جزئیات دقیق‌تر حل مدل به پیوست ارائه شده است.



۵- نتیجه گیری

همانطوریکه عنوان شد، TPM از ابتدا با پنج هدف اصلی تعریف شد. یکی از اهداف بالابردن اثربخشی تجهیزات می باشد که با حذف شش ضایعه بزرگ امکان پذیر می باشد. سه عامل مؤثر در اثربخشی تجهیزات، قابلیت دسترسی، نسبت کارایی و نسبت کیفیت بوده که علاوه بر روش های معمول غلبه بر شش ضایعه بزرگ، طراحی فرآیند بهینه تولید که حجم بهینه جریان را بین بخش های عملیاتی مختلف مشخص کند، یکی از روش های بهبود سیستم می باشد. تعیین حجم بهینه جریان مواد ورودی تجهیزات بر مبنای هزینه های نت دستگاه می باشد که بدین ترتیب از کارافتادگی سیستم کمتر شده و راندمان افزایش می یابد. در مدل ارائه شده حالت ساده ای از سیستم عملیاتی تولید تعریف شد که در آن مواد اولیه تنها یک مسیر را برای تبدیل شدن به کالای نهایی طی می کنند. ماشین آلات هر سطح یکسان بوده و تنها هزینه های نت و عملیات آنها با توجه به حجم ورودی قطعه برای تأمین نیاز مشتری تغییر می کند. در توسعه و بهبود مدل مذکور استفاده از BOM مواد و همچنین فرآیندهای مختلف تولید می تواند جزء تحقیقات آتی در این زمینه باشد.

۶- مراجع

- [۱] علی حاج شیر محمدی، نگهداری و تعمیرات بهره ور فراگیر، چاپ اول
- [2] Ehap H.Sabri, Benita M.Beamon, A Multi-Objective Approach to Simultaneous Strategic Operational Planning in Supply Chain Design, OMEGA 2000, pp 581-598,
- [3] P.Tsiakis, N.Shah and C. C. Pantelides, Design of Multi echelon Supply Chain Network under Demand uncertainty, Industrial Engineering res.2001, 3585-3604
- [4] Alain Martel, The design of Production-distribution networks: A mathematical programming approach, Network Organization Technology Research Center, August 2004
- [5] Santosa.T, Ahmed. S, Geotschalckx. M, Shapiro. A, A stochastic programming approach for supply chain network design under uncertainty, School of Industrial and system Engineering, June,2003

۷- ضمائم

۱-۷ مدل برنامه ریزی در محیط Lingo

MODEL :

! TPM Optimization Process;

SETS:

```
Supplier / S1,S2/: Sj;
Operator1 /M1,M2,M3,M4/: FCostm, Ym;
Operator2 /E1,E2,E3,E4/: Fcostk, Yk;
```

```

Customer1 /L1,L2/: Dem1;
Product/P1,P2/: P1;
SuppProd( Product, Supplier): Sijmax, Sij, Cij;
CoorProd( Product, Operator1): Capmaxim, Capminim, Capim;
EmerProd( Product, Operator2): Capmaxik, Capminik, Capik;
CustProd1( Product, Customer1): Dem1;
Arcsijm( Product, Supplier, Operator1): costijm, Qijm, Qijmmax, Handijm;
Arcsimk( Product, Operator1, Operator2): costimk, Qimk, Qimkmin, Qimkmax, Handimk;
Arcsiml( Product, Operator2, Customer1): costikl, Qikl, Qiklmin, Qiklmax;
Assignmk( Operator1, Operator2): Xmk;
Assignkl( Operator2, Customer1): Xkl;

```

ENDSETS

!The objective;

```

[TTL_COST] MIN
@=SUM( Operator1: Fcostm * Ym(
@+SUM( Operator2: Fcostk * Yk(
@+SUM( SuppProd( Product, Supplier): Cij * Sij(
@+SUM( Arcsijm( Product, Supplier, Operator1): Handijm * Qijm(
@+SUM( Arcsimk( Product, Operator1, Operator2): Handimk * Qimk(
@+SUM( Arcsijm( Product, Supplier, Operator1): costijm * Qijm(
@+SUM( Arcsimk( Product, Operator1, Operator2): costimk * Qimk(
@+SUM( Arcsiml( Product, Operator2, Customer1): costikl * Qikl;(

```

!Binary Variables;

```

@For( Operator1: @BIN( Ym;((
@For( Operator2: @BIN( Yk;((
@For( Assignmk( Operator1, Operator2): @BND( 0,Xmk,1;((
@For( Assignkl( Operator2, Customer1): @BND( 0,Xkl,1;((

```

!The Network Structure constraints;

```

@For( Operator1( m : (
@For( Operator2( k : (
    Xmk( m, k) <= Ym( m;(((
@For( Operator2( k: (
@Sum( Operator1( m : (
    Xmk( m, k)) = Yk( k;((
@For( Operator2( k: (
@For( Customer1( l: (
    Xkl( k, l) <= Yk( k;(((
@For( Customer1( l: (
@Sum( Operator2( k: (
    Xkl( k,l)) = 1;(

```

!The Material Balance;

```

@For( Product( i):
@For( Supplier( j):
    Sij( i, j)<= Sijmax( i, j)));
@For( Product( i: (
@For( Supplier( j: (
    Sij( i, j)>0;((
@For( Product( i : (
@For( Supplier( j: (
@Sum( Operator1( m: (
    Qijm( i, j, m)= Sij( i, j;(((
@For( Product( i : (
@For( Operator1( m : (
@Sum( Supplier( j: (
    Qijm( i, j, m =((
@Sum( Operator2( k: (
    Qimk( i, m, k;(((
@For( Product( i: (
@For( Operator2( k : (
@Sum( Operator1( m: (
    Qimk( i, m, k =((
@Sum( Customer1( l: (

```

```

Qikl( i, k, l;(((
@For( Product( i:(
@For( Customerl( l : (
@Sum( Operator2( k:(
Qikl( i, k, l))= Demil( i, l ;(((

```

! The Capacity of Operator1 and Operator2 Centers;

```

@For( Product( i):
@For( Operator1( m):
Capim( i, m)>= @Sum( Operator2( k):
Qimk( i, m, k))));
@For( Product( i):
@For( Operator1( m):
Capim( i, m)<= Capmaxim( i, m)* Ym( m));
@For( Product( i):
@For( Operator1( m):
Capim( i, m)>= Capminim( i, m)* Ym( m));
@For( Product( i):
@For( Operator2( k):
Capik( i, k)<= Capmaxik( i,k)* Yk( k));
@For( Product( i):
@For( Operator2( k):
Capik( i, k)>= Capminik( i, k)* Yk( k));
@For( Product( i):
@For( Operator2( k):
Capik( i, k)>= @Sum( Customerl( l):
Qikl( i, k, l))));

```

! Logical Constraints For Transportation;

! Upper Bound

```

@For( Product( i):
Qijmmax( i, j, m)= @MIN( SuppProd( i, j): Sijmax( i, j,(
@Sum( Arcsimk( Product, Operator1, Operator2):
Qimkmax( i, m, k,(((
@For( Product( i : (
Qiklmax( i, k, l)= @MIN( CustProd1( Product, Customerl): Demil( i, l),
@Sum( Arcsimk( Product, Operator1, Operator2:(Qimkmax
( i, m, k)))),
@For( Product( i):
Qimkmax( i, m, k)= @MIN( @Sum( Arcsijm( Product, Operator1, Operator2:(
Qijmmax( i, j, m)), @Sum( Arcsikl( Product, Operator2, Customerl:(
Qiklmax( i, k, l;(((

```

! Lower Bound;

```

@For( Product( i:(
@For( Operator1( m:(
@For( Operator2( k:(
Qimkmin( i, m, k)=0;(((
@For( Product( i:(
@For( Operator2( k:(
@For( Customerl( l : (
Qiklmin( i, k, l)=0;(((
@For( Product( i:(
@For( Operator1( m : (
@For( Operator2( k:(
Qimk( i, m, k)>= Qimkmin( i, m, k)* Xmk( m,k;(((
@For( product( i:(
@For( Operator2( k:(
@For( Customerl( l:(
Qikl( i, k, l)>= Qiklmin( i, k, l)* Xkl( k,l;(((

```

END

Local optimal solution found at step:

36

Objective value:

0.1619248E+08

Variable	Value	Reduced Cost
YM(M1)	1.000000	-2500.000
YM(M2)	1.000000	-1280.000
YM(M3)	1.000000	0.0000000
YM(M4)	1.000000	-2020.000
YK(E1)	1.000000	-5860.000
YK(E2)	1.000000	-2270.000
YK(E4)	1.000000	190.0000
SIJ(P1, S1)	5000.000	0.0000000
SIJ(P1, S2)	5000.000	0.0000000
SIJ(P2, S1)	6000.000	0.0000000
SIJ(P2, S2)	8000.000	0.0000000
CAPIM(P1, M1)	3000.000	0.0000000
CAPIM(P1, M2)	1000.000	0.0000000
CAPIM(P1, M3)	4000.000	0.0000000
CAPIM(P1, M4)	3750.894	0.0000000
CAPIM(P2, M1)	5000.000	0.0000000
CAPIM(P2, M2)	2000.000	0.0000000
CAPIM(P2, M3)	4000.000	0.0000000
CAPIM(P2, M4)	3000.000	0.0000000
CAPIK(P1, E1)	7000.000	0.0000000
CAPIK(P1, E2)	3000.000	0.0000000
CAPIK(P2, E1)	6000.000	0.0000000
CAPIK(P2, E2)	5000.000	0.0000000
CAPIK(P2, E4)	3000.000	0.0000000
QIJM(P1, S1, M2)	1000.000	0.0000000
QIJM(P1, S1, M3)	4000.000	0.0000000
QIJM(P1, S2, M1)	3000.000	0.0000000
QIJM(P1, S2, M4)	2000.000	0.0000000
QIJM(P2, S1, M2)	2000.000	0.0000000
QIJM(P2, S1, M3)	4000.000	0.0000000
QIJM(P2, S2, M1)	5000.000	0.0000000
QIJM(P2, S2, M4)	3000.000	0.0000000
QIMK(P1, M1, E1)	3000.000	0.0000000
QIMK(P1, M2, E2)	1000.000	0.0000000
QIMK(P1, M3, E1)	4000.000	0.0000000
QIMK(P1, M4, E2)	2000.000	0.0000000
QIMK(P2, M1, E1)	5000.000	0.0000000
QIMK(P2, M1, E4)	0.1000000	0.1953542
QIMK(P2, M2, E2)	2000.000	0.0000000
QIMK(P2, M3, E1)	1000.000	0.0000000
QIMK(P2, M3, E4)	3000.000	0.0000000
QIMK(P2, M4, E2)	3000.000	0.0000000
QIKL(P1, E1, L1)	0.1000	0.0000000
QIKL(P1, E1, L2)	7000.000	0.0000000
QIKL(P1, E2, L1)	3000.000	0.0000000
QIKL(P1, E2, L2)	0.1000	0.12214
QIKL(P2, E1, L1)	0.10000	0.0000000
QIKL(P2, E1, L2)	6000.000	0.0000000
QIKL(P2, E2, L1)	3501.235	0.12218
QIKL(P2, E2, L2)	1498.765	0.0000000
QIKL(P2, E4, L1)	2998.765	0.0000000
QIKL(P2, E4, L2)	1.234719	0.0000000
XMK(M1, E4)	0.9641113	0.0000000
XMK(M3, E2)	0.5791988	0.0000000
XMK(M4, E1)	1.000000	0.0000000
XMK(M4, E2)	0.4208012	0.0000000
XMK(M4, E4)	0.3588867	0.0000000
XKL(E1, L1)	0.5714286	0.0000000
XKL(E2, L2)	0.5714286	0.0000000
XKL(E4, L1)	0.4285714	0.0000000
XKL(E4, L2)	0.4285714	0.0000000