

ارائه یک مدل ریاضی برای برنامه‌ریزی تولید انبوه بر اساس برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح ترکیبی

ابوالفضل روحانی

مربی، عضو هیات علمی گروه مهندسی صنایع دانشگاه پیام نور، صندوق پستی ۳۶۹۷-۱۹۳۹۵، تهران، ایران، دانشجوی دکتری مهندسی

صنایع دانشگاه تهران Abolfazl_rohani@yahoo.com

چکیده

در دنیای امروز برنامه‌ریزی تولید انبوه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است و نقش مهمی در راستای بهینه‌سازی، افزایش سود و کاهش اتلافات و هزینه‌ها دارد. این مقاله یک روش برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح ترکیبی توسعه یافته با استفاده از متغیرهای صفر و یک (۰-۱) را برای حل مساله برنامه‌ریزی تولید انبوه با معیارهای عملکرد ذیل ارائه می‌دهد: (۱) بیشینه‌کردن سود (۲) کمینه‌کردن هزینه‌ها. فعالیت‌های برنامه‌ریزی تولید زمانی که هم بیش از یک کالا تولید می‌شود و هم تقاضا به صورت دوره‌ای تغییر می‌کند، برنامه‌ریزی تولید انبوه نامیده می‌شوند. هدف برنامه‌ریزی تولید انبوه، فراهم آوردن برنامه‌های تفصیلی برای هر کالا نیست، بلکه برنامه‌ریزی برای کلیه کالاهای تولید شده در شرکت در کنار یکدیگر است. برنامه‌ریزی تولید انبوه یکی از وظایف و در عین حال از مهم‌ترین فعالیت‌های کاری است که یک مدیر انجام می‌دهد. هر چند تمامی بخش‌های سازمان همچون عملیات، بازاریابی، مالی و غیره برای اطمینان از اینکه در تناسب و هماهنگی با یکدیگر حرکت می‌کنند، باید با یکدیگر کار کنند. برنامه‌ریزی تولید انبوه روشی است که می‌تواند تمامی بخش‌های سازمان را در یک توازن مناسب به حرکت درآورد.

واژگان کلیدی: مدل ریاضی، برنامه‌ریزی تولید انبوه، متغیرهای ۰-۱، برنامه‌ریزی خطی، عدد صحیح ترکیبی

۱. مقدمه

برنامه‌ریزی تولید انبوه که ممکن است برنامه‌ریزی تولید کلان نیز نامیده شود، مساله تصمیم‌گیری پیرامون این است که شرکت باید چه تعدادی کارمند بکارگیرد، و برای یک شرکت تولیدی کمیت و ترکیب محصولاتی که باید تولید شوند چگونه باشد. روش برنامه‌ریزی تولید انبوه برای تبدیل پیشبینی‌های تقاضا به طرح اولیه‌ی برنامه‌ریزی نیروی انسانی و سطوح تولید شرکت در یک افق برنامه‌ریزی از پیش تعیین شده، طراحی شده است. مساله برنامه‌ریزی تولید انبوه از زمانی که برای نخستین بار در دهه ۱۹۵۰ تدوین شد، تا به حال به صورت گسترده‌ای مورد مطالعه قرار گرفته است. مورد توجه قرار گرفتن این مساله ریشه در قابلیت‌هایی دارد که این مدل‌ها برای کنترل تولید و هزینه‌های موجودی ارایه می‌دهند. هزینه‌های مربوط به مدیریت موجودی و برنامه‌ریزی تولید سهم اساسی را در هزینه کل شرکت‌های ساخت و تولید دارند. برنامه‌ریزی تولید انبوه تطبیق ظرفیت برای تحقق بخشیدن به تقاضای پیش بینی شده، و سفارشات در حال نوسان مشتری در میان مدت از ۳ تا ۱۸ ماه پیش روی است.

۲. هدف برنامه‌ریزی تولید انبوه

برنامه‌ریزی تولید انبوه و برنامه تولید غیر انبوه دو هدف دارند. برنامه‌ریزی انبوه در تلاش برای به حداکثر رساندن سود کل یا به حداقل رساندن هزینه کل با در نظر گرفتن متغیرهای تصمیم همچون سطوح تولید، سطوح نیروی کار، هزینه‌ی حمل موجودی و هزینه‌ی استخدام و تعدیل نیروی کار است. برنامه‌ریزی انبوه در POM ضروری است زیرا موارد زیر را مهیا می‌سازد:

تقسیم کامل بار کاری بر روی تمامی تسهیلات (ماشین آلات و نیروی کار) و به حداقل رساندن اضافه کاری یا کمبود کاری و در نتیجه کاهش هزینه‌های تولید؛

ظرفیت تولید کافی برای تحقق بخشیدن به تقاضای انبوه مورد انتظار؛

برنامه‌ای برای تغییر سیستماتیک و منظم در ظرفیت تولید برای پاسخگویی به قله‌ها و دره‌های (منظور همان نوسانات است) تقاضای مورد انتظار مشتری؛

گرفتن بیشترین خروجی از مقدار منابع موجود که در زمان کمبود منابع تولید اهمیت دارد.

۳. تکنیک‌های برنامه‌ریزی تولید انبوه

مدل‌های برنامه‌ریزی تولید انبوه متعدد با مقدار پیچیدگی متفاوتی در چهار دهه‌ی اخیر معرفی شده‌اند.

Holt و همکاران یکی از نخستین مدل‌های برنامه‌ریزی تولید انبوه را که به عنوان مدل LDR نیز شناخته می‌شود، ارائه دادند. این مدل برای ایجاد برنامه‌ی تولید با استفاده از تقریب درجه دوم به هزینه‌های عملیاتی واقعی شرکت، مورد استفاده قرار گرفت. Silva و همکاران مدل LDR را به منظور ایجاد یک قاعده‌ی تصمیم‌گیری که سطح ثبات استخدام را در طول کل دوره‌ی برنامه‌ریزی در نظر بگیرد، توسعه دادند.

Hanssman و Hess مدلی را بر مبنای روش برنامه‌ریزی خطی با استفاده از ساختار خطی هزینه‌ی متغیرهای تصمیم ارائه دادند. Haehling مدل پیشین را برای سیستم‌های تولید چند مرحله‌ای و چندمحصولی که در آن تصمیمات بهینه‌ی غیرانبوه بتواند تحت محدودیت‌های ظرفیت اتخاذ شود، توسعه دادند.

۱,۳. روش ریاضی

برنامه‌ریزی ریاضی (یا نظریه بهینه‌سازی) شاخه‌ای از ریاضیات است که با تکنیک‌های بهینه‌سازی با کمینه‌سازی یک تابع هدف با محدودیت‌های خطی، غیرخطی، و عدد صحیح از متغیرها سروکار دارد. یکی از مشکلات پیش روی برنامه‌ریزی ریاضی گسسته برای برنامه‌ریزی تولید انبوه، پیچیدگی ترکیبی است که بطور چشمگیری با (بزرگ شدن) اندازه‌ی مساله افزایش می‌یابد.

۲,۳. برنامه‌ریزی خطی

برنامه‌ریزی خطی با بهینه‌سازی یا کمینه‌سازی یک تابع هدف خطی با تعداد زیادی متغیر با فرض محدودیت‌های معادله یا نامعادله‌ی خطی ارتباط دارد. اگر فرض شود که هزینه‌های منابع مختلف که در برنامه انبوه استفاده شده‌اند، حالت خطی (تابع هدف خطی) داشته باشند، برنامه‌ریزی خطی (LP) می‌تواند در برنامه‌ریزی انبوه استفاده شود. LP می‌تواند در برنامه‌ریزی تولید برای یک محصول واقعی یا یک محصول ساختگی در یک افق زمانی مشخص مورد استفاده قرار گیرد. LP روشی است که می‌تواند برای تجزیه و تحلیل اثرات بلندمدت

برنامه‌های مالی، برنامه‌های به هم پیوسته، برنامه‌های تولید، نگهداری موجودی، مشکلات توزیع، تصمیم‌های مربوط به ارتقاء، سفارشات آتی، استفاده از اضافه‌کاری و استفاده از قرارداد فرعی به کار گرفته شود.

ممکن است برخی دلایل انتخاب برنامه‌ریزی خطی در مدیریت تولید به شرح ذیل باشد:

در برنامه‌ریزی تولید به منظور کمینه‌سازی هزینه‌های تولید و ذخیره‌سازی با هدف پوشش تقاضای محصول؛

تعیین خانواده تولید با استفاده از ماشین‌آلات و نیروی کار موجود، به منظور بیشینه‌سازی سود (منافع) شرکت؛

تعیین ترکیب مواد اولیه به منظور تولید با حداقل هزینه تولید؛

برنامه‌ریزی برای استقرار کارخانه (شرکت) به منظور به حداقل رساندن هزینه‌های تولید و توزیع؛

به منظور تخصیص نیروی کار به ماشین‌آلات.

۳،۳. برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح ترکیبی

یک مساله برنامه‌ریزی عدد صحیح معمولی یک مدل برنامه‌ریزی خطی است که همه یا بعضی از متغیرهای تصمیم تنها می‌توانند مقادیر عدد صحیح داشته باشند. برای مثال، این متغیرها می‌توانند بیانگر تعداد کارکنان برای استخدام، تعداد کامیون‌ها برای ساخت، یا تعداد نفت‌کش‌ها برای زمان‌بندی باشند. هنگامی که لازم است تمامی متغیرهای تصمیم عدد صحیح باشند، این مساله برنامه‌ریزی عدد صحیح محض نامیده می‌شود. اگر تنها لازم باشد بعضی از متغیرها مقادیر عدد صحیح داشته باشند (بنابراین فرض تقسیم پذیری برای مابقی برقرار است)، این مدل به برنامه‌ریزی عدد صحیح ترکیبی (MIP) اشاره دارد.

۴،۳. متغیرهای صفر و یک (۰-۱)

سه نوع اساسی از مدل‌های برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح وجود دارند: مدل عدد صحیح کامل، مدل عدد صحیح ۰-۱، و مدل عدد صحیح ترکیبی. در مدل عدد صحیح کامل لازم است تمامی متغیرهای تصمیم مقادیر عدد صحیح داشته باشند. در مدل عدد صحیح ۰-۱، تمامی متغیرهای تصمیم مقادیر عدد صحیح صفر یا یک دارند. در نهایت، در مدل عدد صحیح ترکیبی بعضی از متغیرهای تصمیم (نه همه‌ی آنها) لازم است مقادیر عدد صحیح داشته باشند.

زمانی که شرایط بیشتری بر مدل برنامه‌ریزی خطی اعمال گردد، معمولاً متغیرهای -1 و $+$ مطرح شده و برای نشان دادن وضعیت‌های خاص، به بعضی از متغیرهای پیوسته در مساله «مرتبط» می‌شوند. برای مثال، فرض کنید که X بیانگر تعداد عنصری است که باید در یک ترکیب (مخلوط) گنجانده شود. ممکن است برای نشان دادن تفاوت بین وضعیتی که $X=0$ است و وضعیتی که $X>0$ باشد، تمایل به استفاده از متغیر نشانگر δ داشته باشیم. با مطرح کردن محدودیت فوق، می‌توانیم δ را مجبور کنیم زمانیکه $X>0$ است مقدار ۱ باشد:

$$X - M\delta \leq 0$$

M ضریب ثابتی است که بیانگر مقدار حد بالا برای X است. بطور منطقی به این شرط دست یافته‌ایم:

$$X > 0 \rightarrow \delta = 1$$

که " \rightarrow " به معنی دلالت داشتن یا ایجاب کردن است.

در بسیاری از موارد کاربردی یک پیوند کافی بین X و δ ایجاد می‌کنند. در مورد کاربردی ما نیز این شرط برقرار است:

$$X = 0 \rightarrow \delta = 0$$

به عبارت دیگر راهی برای اظهار شرط زیر است:

$$\delta = 1 \rightarrow X > 0$$

و این دو شرط با یکدیگر می‌تواند به صورت زیر نوشته شود:

$$\delta = 1 \leftrightarrow X > 0$$

که " \leftrightarrow " «بیانگر اگر و فقط اگر» است.

$$\delta = 1 \leftrightarrow X > M$$

این شرط با اعمال محدودیت زیر برقرار است:

$$X - m\theta \geq 0$$

۵,۳. گزینه‌های نرم‌افزاری برای حل این مدل‌ها

تمامی بسته‌های نرم‌افزاری که در دروس OR شما مطرح می‌شوند (Excel ، LINDO/LINGO ، و MPL/CPLEX) شامل الگوریتمی برای حل مدل‌های BIP (محض یا ترکیبی) ، و نیز الگوریتمی برای حل مدل‌های IP (محض یا ترکیبی) معمول هستند که لازم است متغیرها عدد صحیح بوده و به صورت دودویی نباشند. هرچند، از آنجا که متغیرهای دودویی برای کار، تا حد زیادی آسان‌تر از متغیرهای عدد صحیح هستند، معمولاً الگوریتم اولی بطور قابل ملاحظه‌ای نسبت به الگوریتم دومی می‌تواند مسائل بزرگتر را حل کند.

هنگام استفاده از Excel Solver ، اساساً طرز کار (فرآیند) به مانند برنامه‌ریزی خطی است. زمانی که بر روی دکمه «Add» در جعبه محاوره Solver برای اضافه کردن محدودیت‌ها کلیک می‌کنید، اولین تفاوت مشخص می‌شود. علاوه بر آن، برای محدودیت‌هایی که با برنامه‌ریزی خطی تناسب دارند، نیاز به افزودن محدودیت‌های عدد صحیح دارید. در حالتی که متغیرها عدد صحیح بوده و دودویی نیستند، عمل فوق با انتخاب محدوده متغیرهای عدد صحیح در سمت چپ جعبه‌ی محاوره‌ای Add Constraint و سپس انتخاب «int» از منوی pop-up انجام می‌شود. در حالتی که متغیرها دودویی هستند، باید بجای آن گزینه «bin» از منوی pop-up انتخاب شود.

در یک مدل LINDO ، محدودیت‌های عدد صحیح یا دودویی پس از دستور END درج می‌شوند. با وارد کردن عبارت GIN X متغیر X به عنوان یک متغیر عدد صحیح محسوب می‌گردد. متناوباً برای هر مقدار عدد صحیح مثبت از n ، عبارت GIN n مشخص می‌کند که n متغیر اول، متغیرهای عدد صحیح هستند. متغیرهای دودویی نیز به همین شیوه بکار گرفته می‌شوند مگر برای جایگزینی کلمه‌ی INTEGER بجای GIN.

۴. بیان ریاضی مساله

۱,۴. نشان گذاری

نشانه‌ها

i = تعداد خانواده‌های مواد اولیه (خام)؛

j = تعداد خانواده‌های محصول؛

t = تعداد دوره‌ها (ماه‌ها) در افق برنامه‌ریزی.

پارامترهای ورودی

$a_{j,t}$: درآمد فروش محصول j در طول دوره t به ازای هر واحد (تن/دلار)

$d_{j,t}$: تقاضای محصول j در دوره t به ازای هر واحد (تن)

$C_{i,j,t}$: درصد محصولاتی که می‌توانند از ماده اولیه i در دوره t تولید شوند (تن/درصد)

$e_{j,t}$: درآمد فروش محصول صادر شده j در دوره t به ازای هر واحد (ماه/تن)

$o_{j,t}$: درآمد فروش محصول وارد شده j در دوره t به ازای هر واحد (ماه/تن)

$h_{i,t}$: مقدار ترکیبات شیمیایی به ازای ماده اولیه i در دوره t (تن)

$p_{i,t}$: مقدار ترکیبات مواد به ازای ماده اولیه i در دوره t (تن)

$b_{i,t}$: هزینه خرید هر واحد از مواد اولیه در دوره t (تن/دلار)

$r_{1,t}$: هزینه ترکیبات شیمیایی به ازای ماده اولیه در دوره t (تن/دلار)

$r_{2,t}$: هزینه ترکیبات مواد به ازای ماده اولیه در دوره t (تن/دلار)

$q_{i,t}$: هزینه نگهداری هر واحد ماده اولیه i در انبار در دوره t (تن/دلار)

$f_{j,t}$: هزینه نگهداری هر واحد محصول j در انبار در دوره t (تن/دلار)

متغیرهای تصمیم

$(X_{i,t})$ مقدار ماده اولیه i که در دوره t خریداری می شود (ماه/تن)

$(Y_{i,t})$ مقدار ماده اولیه i که در دوره t استفاده می شود (ماه/تن)

$(I_{i,t})$ مقدار ماده اولیه i در پایان دوره t (ماه/تن)

$(I_{i,t-1})$ مقدار ماده اولیه i در آغاز دوره t (ماه/تن)

$(S_{j,t})$ موجودی محصول j در پایان دوره t (ماه/تن)

$(m_{i,t})$ مقدار کالای j که می تواند در دوره t صادر شود (ماه/تن)

$(n_{i,t})$ مقدار کالای j که می تواند در دوره t وارد شود (ماه/تن)

محدودیت ها

برای هر دوره، محدودیت های زیر اعمال می شود:

میزان مواد خام خریداری شده، نباید بیشتر از ظرفیت موجود باشد:

u : ظرفیت مخزن اصلی مواد خام است.

$$\sum_{i=1}^{10} \sum_{t=1}^3 X_{i,t} \leq u$$

$$u = 1.110.531,69 \text{ (ماه/تن)}$$

حد بالای ظرفیت تولید

کنفرانس بین المللی

مهندسی صنایع و مدیریت

۶ خرداد ۹۵، تهران، ایران

International Conference on Industrial Engineering & Management

$$\sum_{i=1}^{10} \sum_{t=1}^3 c_{i,1,t} \leq 37.658$$

$$\sum_{i=1}^{10} \sum_{t=1}^3 c_{i,2,t} \leq 87.085$$

$$\sum_{i=1}^{10} \sum_{t=1}^3 c_{i,3,t} \leq 135.272$$

$$\sum_{i=1}^{10} \sum_{t=1}^3 c_{i,4,t} \leq 152.563$$

$$\sum_{i=1}^{10} \sum_{t=1}^3 c_{i,5,t} \leq 250.215$$

$$\sum_{i=1}^{10} \sum_{t=1}^3 c_{i,6,t} \leq 46.998$$

$$\sum_{i=1}^{10} \sum_{t=1}^3 c_{i,7,t} \leq 253.197$$

$$\sum_{i=1}^{10} \sum_{t=1}^3 c_{i,8,t} \leq 143.543$$

تولید نباید متوقف شود، نرخ تولید باید ۶۰٪ حد بالای ظرفیت باشد.

سطح موجودی مواد اولیه می تواند به صورت زیر نوشته شود:

$$I_{i,t-1} + X_{i,t} - Y_{i,t} = I_{i,t}$$

سطح موجودی ماده اولیه i در آغاز دوره t

$$I_{1,t-1} = 3.600 \text{ tone}$$

$$I_{3,t-1} = 156.100 \text{ tone}$$

$$I_{8,t-1} = 34.300 \text{ tone}$$

سطح موجودی خانواده‌های محصول می‌تواند به صورت زیر نوشته شود:

$$S_{j,t-1} + c_{i,j,t} - d_{j,t} - m_{j,t} + n_{j,t} = S_{j,t}$$

ظرفیت ذخیره‌سازی مجموع محصولات در پایان دوره t .

سطح موجودی محصولات (۴۰۰,۰۰۰ تن/ماه)

$$\sum_{j=1}^8 \sum_{t=1}^3 S_{j,t} \leq 400.000 \quad t=1,2,3$$

مقدار ماده اولیه (برای $i=7$) باید کمتر از ۲۵٪ مقدار کل تمامی مواد اولیه باشد.

$$X_{7,t} \leq 0.25 \sum_{i=1}^{10} X_{i,t}$$

محدودیت‌های غیر منفی

$$X_i, Y_i, I_i, S_j, n_j, m_j \geq 0$$

متغیر ۱-۰

پس از آنکه به تقاضا پاسخ داده شد، باقی مانده محصولات در صورت لزوم می تواند صادر شود.

$$W_{j,t} = 0 - 1 \text{ متغیر}$$

$$W_{j,t} = \begin{cases} 1 & \text{سطح محصول بیشتر از ظرفیت باشد} \\ 0 & \text{سطح محصول کمتر از ظرفیت باشد} \end{cases}$$

$$\sum_{i=1}^{10} c_{i,j,t} \geq k_{j,t} W_{j,t}$$

Q: محدودیت واردات که ۱۰۰,۰۰۰ (ماه/تن) است.

$$n_{j,t} \leq W_{j,t} Q$$

مقدار محصولات برای واردات باید بیش از ۱۰,۰۰۰ تن باشد. این محدودیت می تواند به صورت زیر نوشته شود:

$$n_{j,t} \geq 10.000 W_{j,t}$$

۲.۴. مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح ترکیبی برای تابع بیشینه‌سازی سود

$$\begin{aligned}
 \text{Max. } Z = & \underbrace{\sum_{j=1}^8 \sum_{t=1}^3 a_{j,t} d_{j,t}}_{\text{درآمد فروش}} + \underbrace{\sum_{j=1}^8 \sum_{t=1}^3 e_{j,t} m_{j,t}}_{\text{درآمد صادرات}} - \underbrace{\sum_{j=1}^8 \sum_{t=1}^3 o_{j,t} n_{j,t}}_{\text{هزینه‌های واردات}} \\
 & - \underbrace{\sum_{i=1}^{10} \sum_{t=1}^3 b_{i,t} X_{i,t}}_{\text{هزینه‌های خرید}} - \underbrace{\sum_{i=1}^{10} \sum_{t=1}^3 h_{i,t} Y_{i,t} r_{1,t}}_{\text{هزینه‌های شیمیایی}} - \underbrace{\sum_{i=1}^{10} \sum_{t=1}^3 p_{i,t} Y_{i,t} r_{2,t}}_{\text{هزینه‌های مواد}} \\
 & - \underbrace{\sum_{i=1}^{10} \sum_{t=1}^3 q_{i,t} I_{i,t}}_{\text{هزینه ذخیره‌سازی مواد اولیه}} - \underbrace{\sum_{j=1}^8 \sum_{t=1}^3 f_{j,t} S_{j,t}}_{\text{هزینه ذخیره‌سازی محصولات}}
 \end{aligned}$$

۳.۴. مثالی گویا

بر اساس نتایج برنامه‌ریزی تولید انبوه شرکت، در پایان دوره‌های برنامه‌ریزی، سود خالص شرکت ۱۱۴,۶۹۶,۷۹۱ دلار می‌شود. برای اولین دوره، سود شرکت ۵۷,۷۲۰,۳۱۰- دلار است، به این معنی که شرکت در این دوره ضرر می‌دهد. اما در دوره دوم، سود ۶۲,۵۷۵,۷۴۵ دلار می‌شود. در نهایت، برای آخرین دوره سوم، سود شرکت به ۱۰۹,۸۴۱,۳۵۶ دلار افزایش می‌یابد و در مجموع، سود دوره‌های برنامه‌ریزی ۱۱۴,۶۹۶,۷۹۱ دلار می‌شود. جدول سود/زیان شرکت با جزئیات مطابق جدول ۱ می‌باشد.

جدول ۱. سود / زیان شرکت

	دوره ۱.	دوره ۲.	دوره ۳.	مجموع
کل درآمد فروش (\$)	535.847.801	546.994.905	756.353.008	1.839.195.714
کل درآمد صادرات (\$)	265.181.878	178.186.676	165.034.696	608.403.250
هزینه واردات (\$)	121.219.308	120.945.200	94.550.557	336.715.065
هزینه خرید مواد اولیه (\$)	706.370.920	510.391.310	685.310.228	1.902.072.458
هزینه‌های شیمیایی (\$)	1.421.164	1.340.309	1.367.156	4.128.629
هزینه‌های مواد (\$)	1.629.360	1.536.660	1.567.440	4.733.460
هزینه‌های ذخیره‌سازی مواد اولیه (\$)	1.172.726	873.096	1.188.058	3.233.879
هزینه‌های ذخیره‌سازی محصولات (\$)	994.888	1.577.638	1.621.286	4.193.812
مجموع	-31.778.687	88.517.368	135.782.979	192.521.660
هزینه ثابت (\$)	25.941.623	25.941.623	25.941.623	77.824.869
سود و زیان (\$)	-57.720.310	62.575.745	109.841.356	114.696.791

بر اساس طرح جایگزین، در پایان دوره‌های برنامه‌ریزی، سود خالص شرکت مقدار ۸۷۵،۹۱۲،۰۷۶ دلار می‌شود. برای اولین دوره، سود شرکت ۴۷،۷۲۰،۵۰۷ دلار است، اما سود دوره دوم ۲۶،۶۳۴،۰۱۱ دلار می‌شود، به این معنی که شرکت در این دوره ضرر می‌کند. در نهایت برای دوره سوم آخر، سود شرکت به ۸۵۷،۸۲۵،۵۸۰ دلار افزایش می‌یابد، و در نهایت سود دوره‌های برنامه‌ریزی ۸۵۷،۹۱۲،۰۷۶ دلار است. جدول مقایسه‌ی سود و زیان شرکت در طرح اولیه و طرح توجیهی مطابق با جدول ۲ می‌باشد.

جدول ۲. سود و زیان طرح اولیه شرکت و طرح جایگزین

طرح جایگزین	طرح شرکت (اولیه)	
کل در آمد فروش	1.839.195.714	1.839.195.714
کل درآمد صادرات	608.403.250	1.012.267.746
هزینه واردات	336.715.065	298.833.443
هزینه خرید مواد اولیه	1.902.072.458	1.583.112.708
هزینه های شیمیایی	4.128.629	4.588.274
هزینه های مواد	4.733.460	5.260.441
هزینه های ذخیره سازی مواد اولیه	3.233.879	2.164.550
هزینه های ذخیره سازی محصولات	4.193.812	3.767.099
هزینه ثابت	77.824.869	77.824.869
سود و زیان	114.696.791	875.912.076

مطابق با نتایج برنامه ریزی تولید انبوه، سود خالص شرکت برای دوره های برنامه ریزی ۱۱۴,۶۹۶,۷۹۱ دلار است و در مجموع، شرکت ۵۶۱,۸۶۸,۶۷۶ دلار محصولات ارزشمند برای فروش و مواد اولیه برای اختصاص به تولید دارد. هنگامی که تمامی این تغییرات مفید مد نظر قرار گیرند، عایدی سود شرکت ۶۷۶,۵۶۵,۴۶۷ دلار می شود.

تفاوت سود بین برنامه ریزی تولید انبوه شرکت (اولیه) و برنامه ریزی تولید انبوه جایگزین (پیشنهادی) ۲۲۵,۲۸۴,۸۰۵ دلار می شود.

۵. نتیجه گیری

مقاله‌ی فوق، یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح ترکیبی چند معیاره برای حل مسائل برنامه‌ریزی تولید انبوه ارائه می‌دهد. این مدل به منظور بهینه‌سازی چهار معیار «میزان خرید مواد اولیه، میزان مواد اولیه که در تولید استفاده می‌شوند، میزان محصولات صادراتی، میزان محصولات وارداتی» ارائه شده است. به منظور افزایش کاربرد آن در عمل، یک سیستم پشتیبان تصمیم نیز مبتنی بر این مدل گنجانده شده است.

در این مطالعه از Excel Solver برای حل مدل استفاده شده است.

بر اساس مطالعه‌ی برنامه‌ی تولید انبوه جایگزین، مشخص شد که میزان مواد اولیه که خریداری می‌شوند نیز در مجموع کاهش یافته است، که به وضوح برای پوشش تقاضای پیشبینی شده‌ی تولید کافی است. در این پژوهش مشخص شد که میزان مواد اولیه باید ۲,۷۲۸,۴۶۶ تن باشد. اما در طرح برنامه‌ریزی شرکت، مقدار مواد اولیه ۲,۷۶۲,۱۰۰ تن بود. پس مشخص است که مقدار مواد اولیه ۳۳,۶۳۴ تن کاهش یافته است، و موجب افزایش سود می‌شود. در این مطالعه، کاهش مقدار مواد اولیه موجب افزایش سود شده، زیرا سطح تولید نیز افزایش یافته است. دلیل افزایش سطح تولید شرکت با نوع مواد اولیه ارتباط دارد. علاوه بر این، افزایش میزان صادرات، عامل دیگر افزایش سود است.

ذخایر محصول شرکت (برای تمام دوره‌های برنامه‌ریزی) برای انتقال به دوره بعد، در مجموع ۳۵۰,۸۰۰ تن می‌شود، اما برای پاسخ به این مورد در طرح جایگزین، مقدار ذخیره به ۳۰,۹۹۸ تن کاهش می‌یابد. از این نقطه نظر، میزان تقاضا پوشش داده شده است، و بطور همزمان ذخیره‌ی مازاد کاهش یافته است. زمانی که میزان فروش و هزینه‌های شرکت بررسی شد، مشخص شد که در پایان دوره‌های برنامه‌ریزی در جداول سود و زیان اختلاف مثبت (یعنی سود بیشتر می‌شود) اتفاق می‌افتد. اگر این سود و زیان‌ها مدنظر قرار گیرند، مقدار سود شرکت ۲۲۵,۲۸۴,۸۰۵ دلار افزایش می‌یابد.

با توجه به تجزیه و تحلیل حساسیت برای دوره‌ی اول افق برنامه‌ریزی؛ استفاده از متغیرها برای کاهش هزینه، مقدار مواد اولیه (برای همه متغیرها) خریداری شده، مقادیر مناسبی بوده و خرید دیگر، موجب کاهش تابع پیشینه‌سازی سود نمی‌شود.

با توجه به تجزیه و تحلیل حساسیت برای دوره‌ی دوم افق برنامه‌ریزی؛ با بکارگیری متغیرها برای کاهش هزینه‌ها، اگر برای متغیر $i=6$ خریدی انجام شود، ۲۳۹,۸۵ دلار کاهش برای هر واحد اتفاق می‌افتد.

با توجه به تجزیه و تحلیل حساسیت برای دوره‌ی سوم افق برنامه‌ریزی؛ با بکارگیری متغیرها برای کاهش هزینه‌ها، اگر برای متغیرهای $i=2,4,5,6$ خریدی انجام شود، به ترتیب 1,27، 1,19، 3,35، 221 و 15 دلار کاهش به ازای هر واحد ایجاد می‌شود.

مدل ارائه شده در این مطالعه بسیار انعطاف پذیر است و امکان یافتن راه‌حل‌های بهینه را در مطالعات آتی در این حوزه فراهم می‌کند. این مدل با انجام بعضی از اصلاحات در متغیرها و پارامترها می‌تواند در کارخانجات تولیدی متفاوت اعمال شود.

REFERENCES

- [1] Nahmias, S. (2005). *Production and Operation Analysis*. 5th Ed. New York: Irwin Mc Graw Hill.
- [2] Jain, A. & Palekar, U.S. (2005). Aggregate Production Planning for a Continuous Reconfigurable Manufacturing Process. *Computers & Operations Research*, 32(5), 1213-1236.
- [3] Wang, R.C. & Liang, T.F. (2005). Aggregate Production Planning with Multiple Fuzzy Goals. *International Journal of Adv. Manufacture Technologies*, 25(7), 589-587.
- [4] Yalçın, A. & Boucher, T.O. (2004). A Continuous-time for Disaggregation of Hierarchical Production Plans. *IIE Transactions*, 36(10), 1023-1035.
- [5] Gaither, N. (1996). *Productions and Operations Management*. 7th Ed. California: Duxbury Press.
- [6] Da Silva, C.G.; Figueria, J.; Lisboa, J. & Barman, S.

- (2006). An Interactive Decision Support System for an Aggregate Production Model Based on Multiple Criteria Mixed Integer Linear Programming. *The International Journal of Management Science*, 34(16), 166-167.
- [7] Dantzig, G.B. & Thapa, M.N. (1997). *Linear Programming*, California: Springer.
- [8] Singhvi, A.; Madhavan, K.P. & Shenoy, U.V. (2004). Pinch Analysis for Aggregate Production Planning in Supply Chains. *Computers and Chemical Engineering*, 28(10), 993-998.
- [9] Dilworth, J.B. (1993). *Production and Operations Management: Manufacturing and Services*. 5th Ed. New Jersey: Mc Graw Hill.
- [10] netimi Stratejik ۆretim İşlemler Y-reten, S. (2002). -[10] *Kararlar ve Karar Modelleri*. 3. Baskı. Ankara: Gazi Kitabevi,.
- [11] Pegels, C.C. & Lofti, V. (1996). *Decision Support Systems for Operations Management and Management Science*. 3rd Ed. New Jersey: Irwin.
- [12] Hillier, F.S. & Lieberman, G.J. (2005). *Introduction to Operations Research*. 8th Ed. New York: Tata Mc Graw Hill.
- [13] Taylor III, B.W. (1999). *Introduction to Management Science*. 6th Ed. Upper Saddle River, New Jersey: Prentice Hall.
- [14] Williams, H.P. (2003). *Model Building in Mathematical Programming*. 4th Ed. New York: John Wiley & Sons Ltd.