مدیریت تولید و عملیات، دوره ششم، شماره (۱)، پیاپی(۱۰)، بهار و تابستان ۱۳۹٤

دریافت: ۹۲/۱/۱۵ پذیرش: ۹۳/٤/۹

صص:٦١– ۷۸

توسعه یک مدل برنامه‌ریزی تولید چند محصولی، چند پریودی و چند هدفه با پارامترهای فازی

مصطفی غلامرضایی[۱*]، حسن خادمی زارع[۲]

۱- کارشناس ارشد مهندسی صنایع، دانشگاه پیام نور، تهران

۲- دانشیار دانشکده صنایع، دانشگاه یزد، یزد

چکیده

برنامه ریزی تولید یکی از مهمترین وظایف مدیریت تولید و عملیات است و درباره تعیین مقدار بهینه تولید، نیروی کار و سطح موجودی برای هر دوره افق برنامه‌ریزی با در نظر گرفتن مجموعه منابع تولیدی و محدودیت‌ها، تصمیم‌گیری می‌کند. این پژوهش، یک مدل برنامه ریزی تولید چند محصولی و چند هدفه با پارامترهای فازی و ارزش زمانی پول را بر اساس سطح موجودی، سطح نیروی کار، ظرفیت ماشین آلات و فضای انبار معرفی می‌کند. مدل پیشنهادی سعی دارد که سود حاصل از فروش را حداکثر، هزینه نگهداری و سفارش‌های تأخیر شده و هزینه تغییر در سطوح نیروی انسانی را حداقل کند. مطالعه موردی انجام شده در کارخانه آلومینیوم، کارایی مدل پیشنهادی را نسبت به وضع موجود نشان می دهد.

واژگان کلیدی: برنامه‌ریزی تولید چند محصولی، اهداف چندگانه، پارامترهای فازی، ارزش زمانی پول.

* نویسنده مسؤول: mgholamrezaii@yahoo.com

۱- مقدمه

مسأله برنامه‌ریزی تولید چندمحصولی و چند دوره‌ای با اهداف چندگانه، یکی از مسائل مهم و در عین حال مشکل در تصمیمات مدیریت تولید است. تصمیمات مدیریت تولید به طور کلی به سه دسته بلند مدت، میان مدت و کوتاه مدت تقسیم می شوند (گلدرس و همکاران[1] ، ۱۹۸۱). یکی از مهمترین و بهترین روش‌های کنترل هزینه های برنامه ریزی تولید، تصمیم گیری در مورد تعیین زمان و میزان تولید هریک از محصولات است؛ زیرا هزینه نگهداری موجودی یکی از هزینه های اصلی و مهم در مسائل برنامه ریزی تولید است(سیمپسون[2]، ۲۰۰۱ ۲۰۰۱ ؛ کوناسکاران[3]، ۱۹۹۳). لذا کنترل میزان موجودی در مسائل برنامه ریزی تولید از اهمیت ویژه ای برخوردار است. براین اساس، تلفیق سیاست های کنترل موجودی وبرنامه ریزی تولید محصولات در دوره های مختلف با در نظر گرفتن ارزش زمانی پول باعث کاهش هزینه های کل سیستم می شود (کریمی، ۲۰۰۱؛ لی برد پولوس[4] ، ۲۰۰۳). برنامه‌ریزی تولید در مورد همه سطوح تولیدی، برای هر نوع محصول، برای روبه‌رو شدن با تغییرات و نوسان‌های تقاضا در آینده و همچنین، در مورد نیروی کار، اضافه‌کاری، سفارش‌های تأخیر شده، پیمانکاری و موجودی ها سیاستگذاری و تصمیم‌گیری می‌کند(جمالیان، ۲۰۰۹). بهترین برنامه‌ریزی تولید، هزینه تولید، موجودی و هزینه تنظیم سطح فعالیت ها، برای روبه‌رو شدن با تغییرات تقاضا را متعادل می کند. هدف اکثر برنامه ریزی های تولید، حداکثر کردن سود یا حداقل نمودن هزینه است. این موارد به کمک یک تابع هدف در برنامه‌ریزی خطی فرمول بندی می شود (مولا[5]، ۲۰۰۶).

هولت و همکاران[6] (۱۹۹۵) قوانین HMMS را پیشنهاد دادند. محققان نیز مدل‌های بیشماری برای کمک به مسائل برنامه‌ریزی تولید ارائه دادند. مطابق با نظر سد[7](۱۹۸۲) تمامی مدل‌های سنتی مسائل برنامه ریزی تولید می توانند به شش کلاس: ۱- برنامه ریزی خطی(LP)؛ ۲- قانون تصمیم گیری خطی(LDR)؛ ۳- روش های حمل ونقل؛ ٤- روش ضریب مدیریت؛ ۵- قانون جستجوی تصمیم(SDR)؛ ٦- شبیه سازی؛ تقسیم بندی شوند. در مسائل برنامه ریزی تولیددنیای واقعی، داده‌ها و پارامترهای ورودی مانند: تقاضا، هزینه منابع، ظرفیت ماشین‌آلات و توابع هدف نادقیق و فازی هستند؛ زیرا زمان انجام عملیات توسط ماشین‌آلات مختلف و نیروی کار متفاوت است و برای محاسبه زمان انجام عملیات از متوسط زمان انجام عمل توسط افراد و ماشین‌آلات متفاوت استفاده می شود، که این زمان همواره دارای مقداری انحراف نسبت به میانگین است. این عدد متوسط و مقدار انحراف آن در این مقاله به‌صورت یک عدد فازی مثلثی تعریف شده است. از طرفی، استفاده از محدودیت های سخت باعث کاهش انعطاف پذیری و امکان سنجی در مسائل عملی می شود. روش مناسب برای کاهش این کمبود، استفاده از نظریه مجموعه های فازی با معرفی داده های فازی به همراه محدودیت های نرم است. بر این اساس، این مقاله به دنبال یک روش حل برای مسائل برنامه ریزی تولید چند هدفه با پارامترهای فازی و محدودیت های نرم با در نظر گرفتن ارزش زمانی پول است. ساختار این مقاله در ادامه بدین شرح

است: بخش دوم به سابقه انجام تحقیق پرداخته؛ در قسمت سوم به طراحی مدل شامل فرضیات،تعریف پارامترها و ساختار مدل اشاره شده است؛ در بخش های چهارم و پنجم به ترتیب، روش حل مدل و مطالعه موردی بررسی و در بخش ششم تحلیل حساسیت صورت گرفته و در انتها نتایج بیان شده است.

۲- سابقه پژوهش

در طول سالهای گذشته، تحقیقات بسیاری به منظور فرمول بندی برنامه ریزی تولید در سیستم های تولیدی، انجام شده است و مقالات بسیار زیادی در زمینه برنامه ریزی تولید چند هدفه وجود دارد.همچنین، رویکردهای مختلفی برای مواجهه با فرم های مختلف عدم اطمینان پیشنهاد شده است.

زیمرمن[۸] (۱۹۷۶) نخستین بار از مجموعه های فازی در مسائل برنامه ریزی خطی استفاده کرد. وی مسائل برنامه ریزی خطی را با یک تابع هدف و محدودیت های فازی، مطالعه نمود. بر این اساس، روش برنامه ریزی خطی فازی برای حل مسائل برنامه ریزی تولید توسعه داده شد. او همچنین (۱۹۷۸) برای اولین بار رویکرد برنامه‌ریزی خطی فازی خود را به یک مسأله برنامه ریزی خطی چند هدفه متعارف گسترش داد و فرض کرد که برای هریک از توابع هدف مسأله، تصمیم گیرنده یک هدف فازی دارد. همچنین، توابع هدف باید به ناچار کمتر یا برابر با مقدار ارزش انتظاری باشند.

لی[۹] (۱۹۹۰) اجرای مجموعه های فازی را برای برنامه ریزی تولید میان مدت و روش های اندازه انباشته در برنامه ریزی احتیاجات مواد رسیدگی کرد و یک مدل برنامه‌ریزی خطی فازی، برای مدل و حل مسائل برنامه‌ریزی تولید میان مدت "یک هدفه" پیشنهاد داد.

تانگ و همکاران[۱۰] (۲۰۰۰) رویکرد جدیدی برای مدل برنامه ریزی تولید میان مدت"چند محصولی با تقاضای فازی" معرفی کردند. هدف از این مدل حداقل کردن هزینه های کل شامل هزینه های تولید به صورت درجه دوم و هزینه های نگهداری موجودی به صورت خطی بود. مسأله برنامه ریزی تولید میان مدت چند محصولی با تقاضای فازی به یک مدل برنامه ریزی درجه دوم فازی با اهداف مدل و محدودیت های فازی مدل شد.

وانگ و همکاران[۱۱] (۲۰۰۱)یک روش برنامه‌ریزی خطی فازی جدید برای حل مسأله برنامه‌ریزی تولید میان مدت دو هدفه پیشنهاد کردند،که در آنجا قیمت محصول، هزینه هر واحد تولید و تقاضا فازی هستند.

وانگ و همکاران (۲۰۰٤)یک مدل برنامه‌ریزی خطی سه هدفه با مقدار تابع هدف فازی، برای حل مسأله برنامه‌ریزی تولید میان مدت چند محصولی، توسعه دادند.

جمالیان و همکاران (۲۰۰۸) یک مدل برنامه‌ریزی غیر خطی چند هدفه فازی ترکیبی، با اولویت‌بندی اهداف مختلف برای مسأله برنامه ریزی تولید چند محصولی و چند دوره‌ای در یک محیط فازی توسعه دادند.

به طور معمول، مسائل برنامه‌ریزی ریاضی فازی می توانند به دوطبقه اصلی تقسیم شوند:

۱- برنامه‌ریزی ریاضی فازی با ابهام و انعطاف‌پذیری در مقدار توابع هدف به دست آمده و

محدودیت‌ها، که برنامه‌ریزی انعطاف‌پذیر نامیده می‌شود.

۲- برنامه‌ریزی ریاضی با ضرایب مبهم در توابع هدف و محدودیت‌ها که برنامه‌ریزی احتمال نامیده می شود (ترابی ، ۲۰۰۸).

با توجه به این که در مقالات مورد بررسی، ترکیب همزمان پارامترهای فازی و محدودیت های نرم (انعطاف پذیر) وجود ندارد، در این مقاله به دنبال توسعه یک مدل برنامه‌ریزی تولید چند محصولی و چند هدفه با ترکیبی از هر دو برنامه‌ریزی فازی ذکر شده هستیم؛ به طوری‌که مقادیر زمان انجام عملیات توسط ماشین‌آلات و تقاضای تولید به‌صورت اعداد فازی در نظر گرفته شده است و بر اثر این عمل ظرفیت تولید در سمت راست، هزینه تولید و درآمد حاصل از فروش در توابع هدف به‌صورت فازی ایجاد شده‌اند.

۳- طراحی مدل

۳-۱ پیش فرض های مسأله

پیش فرض های عمده‌ای که در این مدل در نظر گرفته شده اند، به شرح ذیل هستند:

شرکت N محصول متنوع را در طول افق برنامه ریزی T تولید می کند.

سطح موجودی، نیروی کار، ظرفیت ماشین آلات و فضای انبار از ماکزیمم سطح مجاز نمی‌تواند تجاوز کند.

فروش در یک دوره می‌تواند به صورت سفارش تأخیر شده باشد، اما این سفارش تأخیر شده باید در دروه بعد تأمین شود.

فاکتورهای افزایشی، در هر یک از T دوره برنامه‌ریزی معلوم است.

درآمد فروش، هزینه تولید، ظرفیت تولید و زمان تولید یک واحد محصول به صورت متغیرهای نامطمئن و نادقیق هستند.

۳-۲ تعریف پارامترها

n	تعداد محصولات تولیدی
t	دوره برنامه ریزی
S_{nt}	پیش بینی فروش برای n امین محصول در دوره t.
$\tilde{C}_{P_n}$	هزینه تولید زمان عادی برای هر واحد از محصول nام.
$\tilde{C}_{Y_n}$	هزینه تولید اضافه کاری برای هر واحد محصول nام.
C_{O_n}	هزینه پیمانکاری برای هر واحد محصول nام.
C_{I_n}	هزینه نگهداری موجودی برای هر واحد محصول nام.
C_{B_n}	هزینه سفارش تأخیر شده برای هر واحد محصول nام.
C_H	هزینه استخدام هر نفر نیروی انسانی.
C_L	هزینه اخراج هر نفر نیروی انسانی.
$\tilde{r}_n$	درآمد حاصل از فروش برای هر واحد محصول nام.
i_p	فاکتور افزایشی برای هزینه تولید در زمان عادی(٪)
i_y	فاکتور افزایشی برای هزینه تولید در زمان اضافه کاری(٪)
i_O	فاکتور افزایشی برای هزینه پیمانکاری(٪)

i_i	فاکتور افزایشی برای هزینه نگهداری موجودی(٪)
i_b	فاکتور افزایشی برای هزینه سفارش تأخیر شده(٪)
i_r	فاکتور افزایشی برای درآمد حاصل از فروش(٪)
$\tilde{b}_n$	ساعت به‌کارگیری ماشین برای تولید هر واحد محصول nام.
a_n	ساعت کاری نیروی انسانی برای تولید هر واحد محصول nام .
$\tilde{M}_t$	ظرفیت ماشین در زمان عادی در دوره t.
$\tilde{\hat{M}}_t$	ظرفیت ماشین در زمان اضافه کاری در دوره t.
v_n	فضای انبار مورد نیاز برای هر واحد محصول nام.
$V_{t\,max}$	حداکثر فضای انبار در دسترس در دوره t.
$S_{nt\,max}$	حداکثر میزان فروش، برای محصول nام در دوره t.
$S_{nt\,min}$	حداقل میزان فروش، برای محصول nام در دوره t.
I_{nt}	سطح موجودی برای محصول nام در دوره t.
B_{nt}	مقدار سفارش تأخیرشده برای محصول nام در دوره t.
P_{nt}	میزان تولید در زمان عادی برای محصول nام در دوره t
Y_{nt}	میزان تولید در زمان اضافه کاری برای محصول nام در دوره t.
O_{nt}	میزان پیمانکاری برای محصول nام در دوره t.
H_t	تعداد نیروی استخدام شده در دوره t.
L_t	تعداد نیروی اخراج شده در دوره t.
W_t	تعداد نیروی کار در دوره t

۳-۳. ساختار مدل

در این قسمت یک مدل برنامه‌ریزی به صورت چند هدفه برای حل مسأله برنامه ریزی تولید با بهره‌گیری از مرور ادبیات توسعه داده شده است. بنابراین، مدل برنامه‌ریزی تولید سه هدفه با پارامترهای فازی و محدودیت‌های نرم و در نظر گرفتن ارزش زمانی پول به شرح روابط (۵)- (۱) ارائه شده است:

$$\max z_1 = \left[\sum_{n=1}^{N}\sum_{t=1}^{T}\tilde{r}_n S_{nt}(1+i_r)^{t-1}\right] - \left[\sum_{n=1}^{N}\sum_{t=1}^{T}\left(\tilde{C}_{P_n}P_{nt}(1+i_p)^{t-1} + \tilde{C}_{Y_n}Y_{nt}(1+i_y)^{t-1} + C_{O_n}O_{nt}(1+i_o)^{t-1}\right)\right.$$
$$+C_{I_n}I_{nt}(1+i_i)^{t-1} + C_{B_n}B_{nt}(1+i_b)^{t-1}$$
$$+C_H H_t(1+i_H)^{t-1} + C_L L_t(1+i_L)^{t-1} \tag{۱}$$

$$\min z_2 = \sum_{t=1}^{T}\left(C_{I_n} I_{nt}(1+i_i)^{t-1} + C_{B_n} B_{nt}(1+i_b)^{t-1}\right) \quad (۲)$$

$$\min z_3 = \sum_{t=1}^{T}\left(C_H H_t(1+i_{H_t})^{t-1} - C_L L_t(1+i_{L_t})^{t-1}\right) \quad (۳)$$

$$I_{nt-1} - B_{nt-1} + P_{nt} + Y_{nt} + O_{nt} - I_{nt} + B_{nt} \cong S_{nt} \quad (۴)$$

$$S_{nt} = \widetilde{D}_{nt} \quad (۵)$$

$$P_{nt} + Y_{nt} + O_{nt} \geq B_{nt-1} \quad (۶)$$

$$B_{nt} I_{nt} = 0 \quad (۷)$$

$$\sum_{n=1}^{N} \tilde{b}_n(P_{nt}) \lesssim \widetilde{M}_t \quad (۸)$$

$$\sum_{n=1}^{N} \tilde{b}_n(Y_{nt}) \lesssim \tilde{\acute{M}}_t \quad (۹)$$

$$\sum_{n=1}^{N} a_n(P_{nt}) \leq \delta W_t \quad (۱۰)$$

$$\sum_{n=1}^{N} a_n(Y_{nt}) \leq \theta W_t \quad (۱۱)$$

$$\sum_{n=1}^{N} v_n I_{nt} \leq V_{t\ max} \quad (۱۲)$$

$$W_t = W_{t-1} + H_t - L_t \quad (۱۳)$$

$$H_t L_t = 0 \quad (۱۴)$$

$$P_{nt}, Y_{nt}, I_{nt}, B_{nt}, S_{nt}, H_t, L_t \geq 0 \quad (۱۵)$$

تابع هدف (۱) برای حداکثر نمودن سود حاصل از فروش استفاده می شود. هزینه های تولید شامل پنج عنصر زمان تولید عادی، زمان تولید اضافه کاری، پیمانکاری، سفارش تأخیر شده و نگهداری موجودی است. درآمد حاصل از فروش و هزینه تولید(عادی/اضافه کاری) به صورت فازی هستند و فاکتورهای افزایشی نیز برای درآمد حاصل از فروش و هر نوع از هزینه‌ها در نظر گرفته شده است.تابع هدف (۲) برای کمینه کردن هزینه های نگهداری و سفارش‌های تأخیر شده استفاده می شود. فاکتورهای افزایشی نیز برای آنها در نظر گرفته شده است. تابع هدف (۳) برای کمینه کردن هزینه تغییر در سطوح نیروی انسانی استفاده می‌شود. محدودیت چهار نشان می‌دهد که جمع سطح موجودی، تولید در زمان عادی، تولید در زمان اضافه کاری، پیمانکاری و سطح سفارش تأخیر شده، باید با میزان فروش برابر باشد. در این محدودیت معادله به صورت فازی است. محدودیت پنج نشان می‌دهد که میزان فروش در دوره T با میزان تقاضای بازار برابر است. در این معادله، تقاضا به صورت متغیر فازی است. محدودیت ٦ نشان می دهد که سفارش‌های تاخیر شده باید در دوره بعد تامین شوند. محدودیت ۷

نشان می دهد که در یک دوره نباید سفارش تأخیر شده و موجودی در دسترس با هم رخ دهند. محدودیت ۸ نشان می‌دهد که مدت زمان کار با ماشین در زمان عادی در هر دوره، نباید از ظرفیت ماشین در دسترس در آن دوره تجاوز کند. در این محدودیت پارامتر مدت زمان کار با ماشین و ظرفیت ماشین به صورت فازی هستند و اختلاف کمی با تلورانس مجاز است. محدودیت ۹ نشان می دهد که مدت زمان کار با ماشین در زمان اضافه کاری در هر دوره نباید از ظرفیت ماشین در دسترس در آن دوره تجاوز کند. در این محدودیت پارامتر مدت زمان کار با ماشین و ظرفیت ماشین به صورت فازی هستند و اختلاف کمی با تلورانس مجازاست. محدودیت ۱۰نشان می دهد که ساعات کار نیروی انسانی در زمان عادی در هر دوره نباید از ظرفیت ساعت کار نیروی در دسترس در آن دوره تجاوز کند. محدودیت ۱۱نشان می دهد که ساعات کار نیروی انسانی در زمان اضافه کاری در هر دوره نباید از ظرفیت ساعت کار نیروی انسانی در دسترس در آن دوره تجاوز کند. محدودیت ۱۲ نشان می‌دهد که میزان محصولات انبار شده نباید از ماکزیمم ظرفیت انبار تجاوز کند. محدودیت ۱۳ نشان می دهد که تعداد نیروی کار در دوره t با تعداد نیروی کار در دوره $t-1$ به علاوه تعداد نیروی استخدام شده، منهای نیروی کار اخراج شده برابر است. محدودیت ١٤ نشان می دهد که در یک دوره نباید نیروی استخدام شده و نیروی اخراج شده با هم رخ دهند و در پایان محدودیت ۱۵ غیر منفی بودن متغیرها را نشان می‌دهد.

٤- حل مدل

در حالت کلی، مسأله برنامه‌ریزی فازی ابتدا باید به یک مسأله معادل قطعی تبدیل شود و سپس با روش‌های استاندارد حل شده و جواب بهینه آن به دست می‌آید. در نتیجه، جواب نهایی مسأله قطعی خواهد بود که با توجه به ساختار فازی مسأله به دست آمده است. در این تحقیق، روش جدیدی برای حل مسأله برنامه‌ریزی تولید چند هدفه پیشنهاد شده است. رویکرد پیشنهاد شده چارچوبی سیستماتیک برای کمک به فرایند تصمیم‌گیری فراهم می‌کند. یک تصمیم‌گیرنده می‌تواند ابتدا سیستم را با استفاده از اطلاعات اولیه مدل کند و در مدت حل مسأله، تصمیم‌گیرنده متوجه می‌شود که چه اطلاعاتی باید کسب کند و چگونه می‌تواند سیستم را بهبود دهد. گام‌های حل مدل ارائه شده به شرح ذیل است:

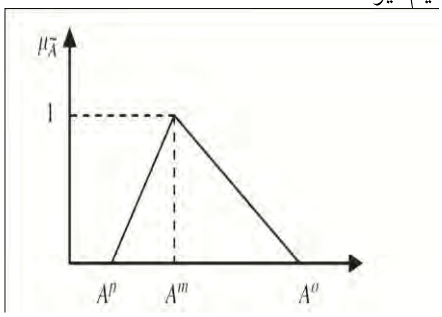
گام۱- فرمول‌بندی مسأله برنامه‌ریزی تولید

با استفاده از داده های فازی و ارزش زمانی پول، که در معادلات(۱) تا (۱۵) نشان داده شده است.

گام۲- تعریف مجموعه اعداد فازی.

تعریف توابع عضویت داده های فازی سخت است و تا حد زیادی به دستیابی اطلاعات بازار بستگی دارد (رول فنگر[١٢] ، ١٩٩٦). معمول‌ترین روش برای ساخت توابع عضویت، استفاده از فرم خطی است(زیمرمن،۱۹۷۷).به دلیل کارایی محاسباتی و سادگی در استفاده داده ها، فواصل مثلثی معمولی‌ترین ابزار برای مدل سازی با پارامترهای فازی است. بنابراین، در این تحقیق فرض می شود که پارامترهای فازی دارای فواصل مثلثی هستند. شکل (۱) یک توزیع امکان مثلثی با پارامترهای

نادقیق $\tilde{A} = (A^p, A^m, A^o)$ نشان می دهد که A^o, A^m, A^p به ترتیب خوش بینانه‌ترین، محتمل‌ترین و بدبینانه‌ترین مقادیر از $\tilde{A}$ تخمین زده شده به وسیله تصمیم‌گیرنده است.



شکل (۱) توزیع امکان مثلثی با پارامترهای نادقیق $\tilde{A} = (A^p, A^m, A^o)$

سایر داده های فازی، به شرح ذیل مدل شده‌اند:

$$\tilde{D}_{nt} = \{ y, \mu_{D_{nt}}(y) | y \in R \}, \tilde{D}_{nt} = (D^p_{nt}, D^m_{nt}, D^o_{nt}) \quad \forall t \ , \ \forall n$$

$$\tilde{C}_{P_n} = \{ y, \mu_{C_{P_n}}(y) | y \in R \}, \tilde{C}_{P_n} = (C^p_{p_n}, C^m_{p_n}, C^p_{p_n}) \quad \forall n$$

$$\tilde{C}_{y_n} = \{ y, \mu_{C_{y_n}}(y) | y \in R \}, \tilde{C}_{y_n} = (C^p_{Y_n}, C^m_{Y}, C^o_{Y_n}) \quad \forall n$$

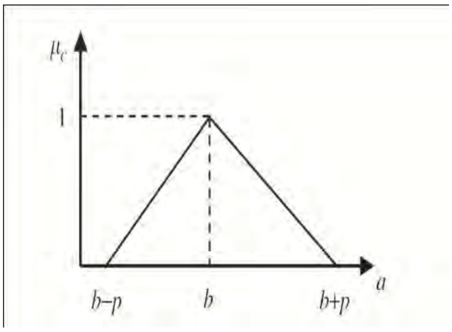
$$\tilde{r}_n = \{ y, \mu_{r_n}(y) | y \in R \}, \tilde{r}_n = (r^p_n, r^m_n, r^o_n) \quad \forall n$$

$$\tilde{M}_t = \{ y, \mu_{M_t}(y) | y \in R \}, \tilde{M}_t = (M^p_t, M^m_t, M^o_t) \quad \forall t$$

$$\tilde{b}_n = \{ y, \mu_{b_n}(y) | y \in R \}, \tilde{b}_n = (b^p_n, b^m_n, b^o_n) \quad \forall n$$

گام۳- تبدیل محدودیت و پارامترهای فازی به محدودیت و پارامترهای قطعی.

در مدل برنامه ریزی خطی بالا، محدودیت ٤، ۸ و ۹ دارای یک معادله/نامعادله مبهم هستند. در مرحله اول برای حل مدل باید این معادلات/نامعادلات را غیر فازی کرد. بنابر این، می‌توان به وسیله تعریف توابع عضویت این کار را انجام داد؛ برای مثال، در شکل (۲) یک نوع تابع عضویت برای معادله $a \cong b$ با تلورانس p نشان داده شده است.



شکل (۲): یک تابع عضویت برای معادله $a \cong b$ با تلورانس p.

فرض کنید $= \min \mu_c(v)$ برای کاهش سطح پذیرش تامین این محدودیت ها، برای به‌دست آوردن حل شدنی V است، که $\mu_c(v) \geq \quad ; \ \forall c$ است (لایی[۱۳]، ۱۹۹٤). بنابراین، می‌توان معادله (٤) را به‌وسیله نامعادلات (١٦) و (١٧) جایگزین کرد:

$$I_{nt-1} - B_{nt-1} + P_{nt} + Y_{nt} + S_{nt} - I_{nt} + B_{nt} \leq S_{nt} + (1-\alpha) q^1_{nt} \qquad (١٦)$$

$$I_{nt-1} - B_{nt-1} + P_{nt} + Y_{nt} + S_{nt} - I_{nt} + B_{nt} \geq S_{nt} - (1-\alpha) q^1_{nt} \qquad (١٧)$$

به همین روش، نامعادلات (۸) و (۹) به صورت روابط (١٨) و (١٩) ساخته می‌شوند.

$$\sum_{n=1}^{N} \tilde{b}_n(P_{nt}) \leq \tilde{M}_t + (1-\alpha)q_t^2 \qquad (۱۸)$$

$$\sum_{n=1}^{N} \tilde{b}_n(P_{nt}) \leq \tilde{\acute{M}}_t + (1-\alpha)q_t^3 \qquad (۱۹)$$

که در ایـن نامعـادلات q_{nt}^1 ، q_t^2 و q_t^3 تلـرانس مجاز را نشان می دهند.

دررابطه با محدودیت (۵) باید پارامتر فازی طرف راست را با پارامترهای قطعی طرف چپ مقایسه کرد. یک رویکرد مؤثر برای تبدیل معادله فازی به قطعـی، روش متوسط وزن دهی است (وانگ، ۲۰۰۵؛ ترابـی، ۲۰۰۹؛ لیانگ[۱۴]، ۲۰۰۶) که این رویکرد بـرای تبـدیل معادله فازی به قطعی روشی ساده و تواناست. در این ارتباط به تعیین مینیمم سطح پذیرش احتیـاج اسـت، که ، مینیمم سطح پـذیرش بـرای داده هـای فـازی متناظر را نشان می دهـد. بنـابر ایـن، معادلـه (۵)بـه وسیله معادله (۲۰) جایگزین می شود:

$$S_{nt} = w_1 D_{nt,\beta}^{o} + w_2 D_{nt,\beta}^{m} + w_3 D_{nt,\beta}^{p} \qquad (۲۰)$$

در اینجـا w_3, w_2, w_1 بـه ترتیـب وزن هـای خوش‌بینانه‌ترین، محتمل‌ترین و بدبینانه‌ترین مقادیر از $\tilde{D}$ تخمین زده شده به وسیله تصمیم گیرنده است. در رابطه بـا نامعـادلات (۱۸) و (۱۹)، بایـد پارامترهـای فازی طرف راست را با پارامترهای قطعی طرف چپ مقایســه کــرد. یــک رویکــرد مــؤثر بــرای بررســی نامعادلات فازی، جایگزینی آنها با سه معادله کمکـی است (وانگ، ۲۰۰۵). بر این اساس نامعادلـه (۱۸) بـا نامعادلات (۲۳)- (۲۱) جایگزین می شود:

$$\sum_{n=1}^{N} b_{nt,\beta}^{p}(P_{nt}) \leq M_{t,\beta}^{p} \qquad (۲۱)$$

$$\sum_{n=1}^{N} b_{nt,\beta}^{m}(P_{nt}) \leq M_{t,\beta}^{m} \qquad (۲۲)$$

$$\sum_{n=1}^{N} b_{nt,\beta}^{o}(P_{nt}) \leq M_{t,\beta}^{O} \qquad (۲۳)$$

همین رویکرد برای نامعادلـه (۱۹) بـه‌کـار بـرده می‌شود.

شایان ذکر است که در این مسأله همه توزیع‌های مثلثی محدودیت‌ها، متقارن فرض شده‌اند. بنابر ایـن، براساس مفهـوم بـرش در تئـوری مجموعـه هـای فازی:

$$\begin{aligned} D_{nt,\beta}^{p} &= (D_{nt}^{m} - D_{nt}^{p}) \times \beta + D_{nt}^{p} \\ D_{nt,\beta}^{m} &= D_{nt}^{m} \\ D_{nt,\beta}^{o} &= D_{nt}^{o} - (D_{nt}^{o} - D_{nt}^{m}) \times \beta \end{aligned} \qquad (۲٤)$$

معمولاً در عمل ارزش با توجـه بـه تجربـه و دانش تصمیم گیرنده انتخاب می‌شود.

گـام٤- تبـدیل ضـرایب فـازی توابـع هـدف بـه ضرایب قطعی:

سد (۱۹۹۵) راه حلی برای حل مسـائل چندگانـه با پارامترهای فازی ارائه داده است.

بر این اساس، پارامترهای فازی توابـع هـدف بـه پارامترهای قطعـی تبـدیل شـده و محـدودیت هـای (۲۷)- (۲۵) به مسأله اضافه می گردند.

$$r_n^p + \alpha(r_n^m - r_n^p) \leq r_n \leq r_n^O - \alpha(r_n^O - r_n^m) \qquad (۲۵)$$

$$C_{p_n}^p + \alpha(C_{p_n}^m - C_{p_n}^p) \leq C_{P_n} \leq C_{P_n}^O - \alpha(C_{P_n}^O - C_{p_n}^m) \qquad (۲٦)$$

$$C_{Y_n}^p + \alpha(C_{Y_n}^m - C_{Y_n}^p) \leq C_{y_n} \leq C_{Y_n}^O - \alpha(C_{Y_n}^O - C_{Y_n}^m) \qquad (۲۷)$$

بنابر این، مدل برنامه‌ریزی خطی چند هدفه فازی، به یک مدل برنامه‌ریزی پارامتریک چند هدفه تبـدیل می شود.

گام ۵- تعیین رابطه نامعادله و توابـع عضـویت بـرای به‌دست آوردن یک راه حل رضایت بخش

زیمرمن (۱۹۷۸) راه حلی برای بیان درجـه رضـایت تصمیم‌گیرنده برای مسائل چندگانه با اهـداف فـازی ارائه داده است.

بنابر این، می توان توابع عضویت خطی برای هـر یک از اهداف به شرحرابط (۳۰)- (۲۸) تعیین کرد:

$$\mu(Z_1) = \begin{cases} 1 & \text{if } Z_1 > Z_1^{PIS}, \\ \dfrac{Z_1 - Z_1^{NIS}}{Z_1^{PIS} - Z_1^{NIS}} & Z_1^{NIS} \le Z_1 \le Z_1^{PI} \\ 0 & \text{if } Z_1 < Z_1^{NIS}. \end{cases} \quad (۲۸)$$

$$\mu(Z_2) = \begin{cases} 1 & \text{if } Z_2 < Z_2^{PIS} \\ \dfrac{Z_2^{NIS} - Z_2}{Z_2^{NIS} - Z_2^{PIS}} & \text{if } Z_2^{PIS} \le Z_2 \le Z_2^{N} \\ 0 & \text{if } Z_2 > Z_2^{NIS} \end{cases} \quad (۲۹)$$

$$\mu(Z_3) = \begin{cases} 1 & \text{if } Z_3 < Z_3^{PIS} \\ \dfrac{Z_3^{NIS} - Z_3}{Z_3^{NIS} - Z_3^{PIS}} & \text{if } Z_3^{PIS} \le Z_2 \le Z_3^{N} \\ 0 & \text{if } Z_3 > Z_3^{NIS} \end{cases} \quad (۳۰)$$

تصمیم‌گیرنده می‌تواند حل ایده‌آل مثبت (PIS) و حـل ایـده آل منفـی (NIS)، را بـه شـرح روابـط (۳۳)- (۳۱) محاسـبه کنـد (عبدالواحـد[۱۵]، ۲۰۰٦؛ کومار و همکاران[۱٦]، ۲۰۰٦؛ سلیم[۱۷]، ۲۰۰۷)

$$Z_1^{PIS} = \max Z_1 \,, \quad Z_1^{NIS} = \min Z_1 \quad (۳۱)$$

$$Z_2^{PIS} = \min Z_2 \,, \quad Z_2^{NIS} = \max Z_2 \quad (۳۲)$$

$$Z_3^{PIS} = \min Z_3 \,, \quad Z_3^{NIS} = \max Z_3 \quad (۳۳)$$

گام٦- فرمول‌بندی مجدد و حل مسأله

براسـاس نتـایج مراحـل ۳، ٤ و ۵ مـی‌تـوان مسـأله برنامه‌ریزی خطی فازی را به یک مسأله قطعی تبدیل کرد. برای حل سیستم بالا، لطفـی‌زاده تـابع عملکـرد حداقل اپراتور را به کار گرفتـه اسـت. رضـایت کـل تصمیم‌گیرنده با حل مساله (۳٤)، توسـط تـابع چنـد هدفه رومال فنگر(۱۹۹٦) بیان شده است.

$$= \min \begin{matrix} (\mu(Z_1), \mu(Z_2), \mu(Z_3), \\ \mu(A(X)), \mu(M_t) \forall t) \end{matrix} \quad (۳٤)$$

در نتیجه:

(۳۵)

$$\begin{aligned}
&\max \lambda \\
&\text{s.t}: \quad \lambda \le \mu(Z_1) \\
&\lambda \le \mu(Z_2) \\
&\lambda \le \mu(Z_3) \\
&I_{nt-1} - B_{nt-1} + P_{nt} + Y_{nt} + S_{nt} - I_{nt} + B_{nt} \\
&\qquad \le S_{nt} + (1-\alpha) q_{nt}^1 \\
&I_{nt-1} - B_{nt-1} + P_{nt} + Y_{nt} + S_{nt} - I_{nt} + B_{nt} \\
&\qquad \ge S_{nt} - (1-\alpha) q_{nt}^1 \\
&S_{nt} = w_1 D_{nt,\beta}^{p} + w_2 D_{nt,\beta}^{m} + w_3 D_{nt,\beta}^{o} \\
&B_{nt} I_{nt} = 0 \\
&\sum_{n=1}^{N} (b_n^m - b_n^p) \times \beta + b_n^p (P_{nt}) \\
&\qquad \le (M_t^m - M_t^p) \times \beta + M_t^p + (1 \\
&\qquad - \alpha) q_t^2 \\
&\sum_{n=1}^{N} b_n^m (P_{nt}) \le M_t^m + (1-\alpha) q_t^2 \\
&\sum_{n=1}^{N} b_n^o - (b_n^o - b_n^m) \times \beta (P_{nt}) \\
&\qquad \le M_t^O - (M_t^O - M_t^m) \times \beta + (1 \\
&\qquad - \alpha) q_t^2 \\
&\sum_{n=1}^{N} (b_n^m - b_n^p) \times \beta + b_n^p (P_{nt}) \\
&\qquad \le (\acute{M}_t^m - \acute{M}_t^p) \times \beta + \acute{M}_t^p + (1 \\
&\qquad - \alpha) q_t^3 \\
&\sum_{n=1}^{N} b_n^m (P_{nt}) \le \acute{M}_t^m + (1-\alpha) q_t^3
\end{aligned}$$

$$\sum_{n=1}^{N} b_n^o - (b_n^o - b_n^m) \times \beta(P_{nt}) \leq \acute{M}_t^O - (\acute{M}_t^O - \acute{M}_t^m) \times \beta + (1 - \alpha) q_t^3$$

$$\sum_{n=1}^{N} a_n(P_{nt}) \leq \delta W_t$$

$$\sum_{n=1}^{N} a_n(Y_{nt}) \leq \theta W_t$$

$$\sum_{n=1}^{N} v_n I_{nt} \leq V_{t\ max}$$

$$W_t = W_{t-1} + H_t - L_t$$

$$H_t L_t = 0$$

$$r_n^p + \alpha\left(r_n^m - r_n^p\right) \leq r_n \leq r_n^O - \alpha(r_n^O - r_n^m)$$

$$C_{p_n}^p + \alpha\left(C_{p_n}^m - C_{p_n}^p\right) \leq C_{P_n} \leq C_{P_n}^O - \alpha(C_{P_n}^O - C_{p_n}^m)$$

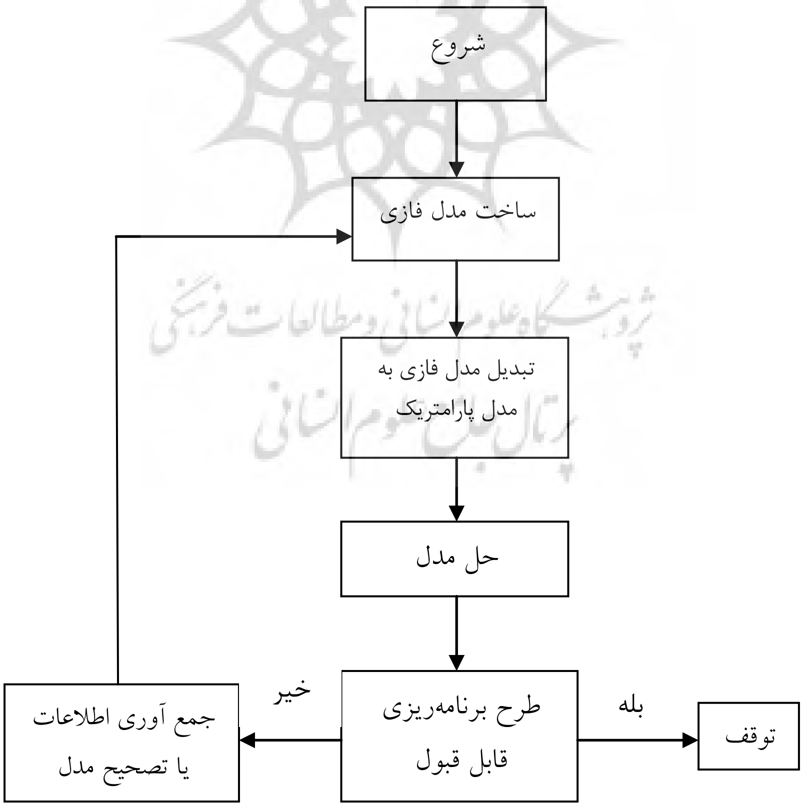
$$C_{Y_n}^p + \alpha\left(C_{Y_n}^m - C_{Y_n}^p\right) \leq C_{y_n} \leq C_{Y_n}^O - \alpha(C_{Y_n}^O - C_{Y_n}^m)$$

$$P_{nt}, Y_{nt}, I_{nt}, B_{nt}, S_{nt}, H_t, L_t \geq 0$$

بر این اساس، مدل برنامه‌ریزی تولید تک هدفه بالا را می‌توان براحتی با استفاده از نرم افزارLINGO حل نمود.

گام۷- اجرا فرایند تصمیم‌گیری

در صورت قابل قبول بودن طرح برنامه‌ریزی، فرایند تصمیم‌گیری به پایان می‌رسد. در غیر این‌صورت، تصمیم‌گیرنده می‌تواند با تغییر اعداد فازی به وسیله جمع‌آوری اطلاعات بازار یا اصلاح مدل، تا زمان به دست آوردن حل رضایت بخش ادامه دهد.



شکل(۲): دیاگرام الگوریتم حل مدل

٥- مطالعه موردی

برای اعتبار سنجی نتایج حاصل از این مقاله از یک مطالعه موردی در شرایط واقعی استفاده شده است. بنابر این، در این بخش امکان به‌کارگیری روش پیشنهاد شده با استفاده از یک مورد صنعتی بررسی می‌شود.

جدول شماره(۱) تا (٤) خلاصه داده های جمع آوری شده از شرکت را نشان می دهد.

همچنین، مطالعه موردی این مقاله دارای وضعیت‌هایی به شرح ذیل است:

۱- سه دوره برنامه ریزی و دو محصول برای تولید در نظر گرفته شده است.

۲- برای سادگی فرض شده است که دوره یک، اولین دوره ای است که تولید محصولات شروع شده است. بنابر این، موجودی اولیه و سفارش تأخیر شده در شروع دوره صفر است.

۳- فاکتور افزایشی برای تمامی هزینه‌ها یکسان و برابر با ۰/۱ در نظر گرفته شده است.

٤- برای این مطالعه موردی برابر با ۰/۲ در نظر گرفته شده است.

٥- تعداد نیروی کار اولیه، برابر ۳۵ نفر است.

شکل(۲)، دیاگرام الگوریتم حل مدل را نشان می‌دهد .

گام ۱و۲ – مدل‌سازی داده‌های فازی

فرمول‌بندی مسأله برنامه‌ریزی تولید چند هدفه با استفاده از معادلات (۱) تا (۱٥).

جدول (۱): زمان ماشین، هزینه تولید، درآمد فروش

پارامتر	محصول ۱	محصول ۲
زمان ماشین (ماشین-دقیقه/واحد)	(۰/۷٥ ، ۰/۷۲، ۰/٦۹)	(۰/٦، ۰/٥٥، ۰/٥)
هزینه تولید هر واحد در زمان عادی(ریال/واحد)	(۳٦۰۰۰، ۳۰۰۰۰، ۳۳۰۰۰)	(٥۰۰۰۰، ٤٥۰۰۰، ٤٤۰۰۰)
هزینه تولید هر واحد در اضافه کاری(ریال/واحد)	(٤۰۰۰۰، ۳۷۰۰۰، ۳٥۰۰۰)	(٥۲۰۰۰، ٤۹۰۰۰، ٤٦۰۰۰)
درآمد حاصل از فروش (ریال/واحد)	(٥۳۰۰۰، ٥۰۰۰۰، ٤۹۰۰۰)	(۸٥۰۰۰، ۸۱۰۰۰، ۸۰۰۰۰)

جدول (۲): هزینه نگهداری، هزینه سفارش‌های تأخیر شده، ساعت کار نیروی انسانی و فضای انبار

پارامتر	محصول ۱	محصول ۲
هزینه نگهداری موجودی(ریال واحد)	٥۰۰۰	۷٥۰۰
هزینه سفارش تأخیر شده(ریال/واحد)	۲۱٥۰۰۰	۳۰۰۰۰۰
ساعت کاری نیروی انسانی مورد نیاز(نفر-دقیقه/واحد)	٥	۷
فضای انبار(سانتیمتر مربع/واحد)	۲٦	۱٥

جدول (۳): فروش، ظرفیت ماشین و حداکثر فضای انبار در دسترس

دوره	D_{1t}(هزار)	D_{2t}(هزار)	$S_{2t\,max}$	$V_{t\,max}$	$\widetilde{M}_t$	$\widetilde{M}_t$
۱	(۲۷، ۳۰، ۳۳)	(۱۹، ۲۲، ۲۵)	۲۵۴۰۰	۲۴۰۰۰۰	(۲۲۰۰۰، ۲۸۰۰۰، ۲۵۰۰۰)	(۵۴۰۰، ۹۰۰۰، ۱۲۶۰۰)
۲	(۲۹، ۳۳، ۳۷)	(۲۰، ۲۴، ۲۸)	۲۸۰۰۰	۲۴۰۰۰۰	(۲۲۰۰۰، ۲۸۰۰۰، ۲۵۰۰۰)	(۵۴۰۰، ۹۰۰۰، ۱۲۶۰۰)
۳	(۲۹، ۳۴، ۳۹)	(۲۱، ۲۵، ۲۹)	۲۹۲۳۰	۲۴۰۰۰۰	(۲۲۰۰۰، ۲۸۰۰۰، ۲۵۰۰۰)	(۵۴۰۰، ۹۰۰۰، ۱۲۶۰۰)

جدول(٤): سایر داده ها

C_H	C_L	δ	θ	
۲۵۰۰۰	۵۰۰۰۰۰	۸۰۰۰	۲۰۰۰۰	۰/۵

گام۳- تبدیل محدودیت و پارامترهای فازی به محدودیت و پارامترهای قطعی

ارتباط نامعادله محصول ۱ در دوره ۱، در فرم‌های (۱۵) و (١٦) به‌شرح ذیل بیان می‌شود:

$$P_{11} + Y_{11} + S_{11} - I_{11} + B_{11} \le S_{nt} + (1 - 0.2)500$$
$$P_{11} + Y_{11} + S_{11} - I_{11} + B_{11} \ge S_{nt} - (1 - 0.2)500$$

در همین حال، محدودیت ظرفیت ماشین در دوره یک در فرم های (۲۱) تا (٢٤) به شرح ذیل بیان می‌شود:

$$b^{p}_{1,0/5}(P_{11}) + b^{p}_{2,0/5}P_{21} \le M^{p}_{1,0/5} + (1 - 0/2)0/05$$
$$b^{m}_{1,0/5}(P_{11}) + b^{m}_{2,0/5}(P_{21}) \le M^{m}_{1,0/5} + (1 - 0/2)0/05$$
$$b^{o}_{1,0/5}(P_{11}) + b^{o}_{2,0/5}(P_{21}) \le M^{O}_{1,0/5} + (1 - 0/2)0/05$$

به طوری‌که:

$$b^{p}_{1,0/5} = (0/72 - 0/69) \times 0/5 + 0/69$$
$$b^{m}_{1,0/5} = 0/72 b^{o}_{1,0/5} = 0/75 - (0/75 - 0/72) \times 0/5$$

ارتباط نامعادلات و سایر محدودیت‌های فازی نیز به همین روش می‌توانند ساخته شوند.

گام٤- تبدیل توابع هدف فازی به توابع هدف قطعی:

درآمد حاصل از فروش محصول یک در فرم ۲۵ به صورت زیر به‌دست می آید.

$$49000 + 0/2(50000 - 49000) \le r_1 \le 53000 - 0/2(53000 - 50000)$$

سایر پارامترها را نیز می‌توان بر همین اساس به پارامترهای قطعی تبدیل کرد.

گام ٥- تعیین رابطه نامعادله و توابع عضویت برای به‌دست آوردن یک راه حل رضایت بخش

برای به‌دست آوردن یک حل رضایت بخش برای تابع هدف سود، باید در ابتدا حل ایده‌آل مثبت وحل ایده‌آل منفی تابع هدف سود را تعیین کرد. بر این اساس، معادلات ۳۱، $Z_1^{PIS} = 6254304000$ و $Z_1^{NIS} = 1623248$ به‌دست می‌آید. بنابراین، تابع عضویت تابع هدف سود در معادله ۲۸ به شکل زیر تعریف می شود:

$$\text{غ}(Z_1) = \begin{cases} 1 & \text{if } Z_1 > 62543040 \\ \dfrac{Z_1 - 1623248}{64166288} & \text{if } 1623248 \le Z_1 \le 62543040, \\ 0 & \text{if } Z_1 < 1623248. \end{cases}$$

معادلـه بـالا نشـان مـی دهـد کـه تصـمیم گیرنـده بیشترین درجه رضـایت (۱=تـابع عضـویت) را دارد؛ هرگاه سود به‌دست آمده بیشتر از ٦۲٥٤۳۰٤۰ باشد. به علاوه، سود حاصـله نبایـد کمتـر از ١٦۲۳۲٤۸ باشـد. بر همین اساس، می توان حـل رضـایت بخـش بـرای تابع هدف کاهش هزینه نگهـداری و سـفارش تـأخیر شده و تابع هدف کـاهش هزینـه تغییـر را در سـطوح نیروی انسانی به‌دست آورد.

گام٦- فرمول‌بندی مجدد و حل مسأله

در نهایت، مدل برنامه‌ریزی چند هدفه بـا پارامترهـای فازی و محدودیت‌های نرم براسـاس مراحـل ۳، ٤ و٥ به یک مدل برنامه‌ریزی تک هدفه قطعی تبـدیل و بـا استفاده از نرم افـزارLINGO حـل مـی شـود. نتـایج به‌دست آمده از این مقاله باعث بهبود نتایج نسبت به شـرایط واقعـی شـده اسـت. ایـن بهبـود نتـایج در جدول(٥) قابل مشاهده است.

جدول(٥): نتایج حاصل از اجرای مدل

پارامتر	دوره ۱		دوره ۲		دوره ۳	
محصول ۱						
	موجود	پیشنهادی	موجود	پیشنهادی	موجود	پیشنهادی
میزان تولید در زمان عادی	٥۱۸٥۱	۱۸۷٦۷	١٦۳۷۹	۱۷۸۰٦	۱۱۸۲۸	۱۷٤۱۲
میزان تولید در اضافه کاری	۰	۹۷۹٦	۷۲۷٦	۱۲۷٥۲	۸۸۳۲	۱۲۷۱٦
میزان موجودی/کمبود	۸۰۷٥	۱۳٦۳	۷٥٦٥	٦٦٥	۸٤٦۸	۰
محصول ۲						
میزان تولید در زمان عادی	۱۰۹٥۹	۱۹٥٦۰	۱۷۷۹۸	۲۰۸٥۰	۱٥۹۸۷	۲۱۳۸۰
میزان تولید در اضافه کاری	۷۰٤۰	۰	۱۹٤٥	۰	۲۱۷۲	۰
میزان موجودی/کمبود	۱٥٦۱	۰	۱۱۰۷	۰	۱۹۲۱	۰
نیروی انسانی						
تعداد نیروی انسانی	۳۲	۳٥	۳۲	۳٤	۳۲	۳٥
تعداد نیروی انسانی استخدام شده	۰	۲	۰	۰	۰	۱
تعداد نیروی انسانی اخراج شده	۰	۰	۰	۱	۰	۰
مقدار تابع هدف(میلیون واحد پول)	٥٤٦	٦۹٦	٥۰۲۷	٦۸۲۰	۸۱٥٤	۹۹۳۳

٦- تحلیل حساسیت

انجـام تغییـرات در گزینـه‌هـای مختلـف و تحلیـل حساسیت پارامترهـای تصـمیم‌گیـری کـه مربـوط بـه شرایط مختلف است، بر پایه داده‌های ابتدایی صورت می‌گیرد. ایـن اجراهـا بـه سـه سـناریوی زیـر تقسـیم می‌شوند:

سناریوی ۱: α، q و ß

در روش حل برش برای بهبـود حـل نهـایی مـدل برنامه‌ریزی چند هدفه فازی از تنظیـم تـابع عضـویت محدودیت‌های نرم به وسیله تغییر تلرانس‌هـای قابـل کنترل برای به‌دست آوردن بهترین نتیجـه و همچنـین، رضایت مدیریت تلاش شد. بـر ایـن اسـاس، مینـیمم درجه قابل قبول محدودیت هـای نـرم( ) در مرحلـه اول ۰٫۱ تخمین زده شد و این مقدار مرحله به مرحله تا میزان ۰٫۰۱ کاهش پیدا کرد و با روش مشابه میـزان تا ۰٫۵ افزایش داده شد.

بنابراین، مشاهده شد کـه ناحیـه شـدنی مسـأله بـا افزایش کاهش می‌یابد. از طرف دیگـر، بـا افـزایش میزان q **وش** ناحیه شدنی افزایش مـی‌یابـد. مسـأله بـا مقادیر مختلفی از **وش** حل شد تـا **۰٫۵ش** و ۰٫۲= به عنوان یک درجه قابل قبـول بـرای تصـمیم‌گیرنـده به‌دست آمد.

سناریو ۲: فاکتور افزایشی(i)

به وسیله تغییرات در فاکتور افزایشی (i) برای هر یک از سطوح و شرایط تصمیم‌گیری مثـال عـددی اولیـه، تحلیل حساسیت انجام گرفته است و نتایج اجرای این سناریو نشان داده است که بـا تغییـر فـاکتور افزایشـی برای هر سطح هزینه، اهـداف و مقـدار دسـتخوش تغییرات شده‌اند. در عمل افزایش این فاکتورها باعـث افزایش هزینه‌های تولید شده، در حـالی کـه مقـدار کاهش یافته است.

سناریو ۳: هزینه های تولید

بر حسب داده های اولیه مثال عددی، هزینه های تولید برای هر واحد محصول تغییر یافته و تحلیل حسـایت انجام شده است و نتایج اجرای این سناریو نشان داده است که تغییرات در هر سطح هزینه باعث تحت تاثیر قرار گرفتن توابع هدف، مقدار و دیگر خروجی‌های حل مسأله می شـود. در نتیجـه ایـن موضـوع آشـکار می‌شود که تصمیم گیرنده باید مواد و تولیدات و منابع انسانی را اصلاح کند و بهبود دهد تا به طـور کـارا و مؤثر هزینه های تولیدی کاهش یابد.

۷- نتیجه گیری

در ایـن مقالـه، یـک مـدل برنامـه‌ریـزی تولیـد چنـد محصولی بـا اهـداف چندگانـه، پارامترهـای فـازی و محدودیت های نرم ارائه شده است. در این مدل سـه تابع هدف شامل حداکثر نمودن سود و حداقل نمودن هزینه نگهداری و سفارش تاخیر شده و هزینـه تغییـر در سطح نیروی انسانی در نظر گرفته شده است. کلیه پارامترهای درآمـد و هزینـه بـه صـورت فـازی مـدل شده‌اند. همچنین، مقادیر تقاضا، فروش، تولید و زمـان انجام عملیات نیز به صورت اعداد فازی مثلثی در نظر گرفته شده اند. در نهایت، با استفاده از مجموعه هـای فازی مدل مورد نظر به یک مدل برنامه ریـزی قطعـی تبدیل شده و در پایان با حل مـدل برنامـه‌ریـزی تـک هدفه، میـزان تولیـد هـر کـدام از محصـولات تعیـین شده‌اند. نتایج حاصل از این مقاله بیانگر جـواب‌هـای بهتر در شرایط واقعی است.

منابع

Abd El-Wahed.W.F, Lee.S.M(2006), Interactive fuzzy goal programming for multi objective transportation problems , Omega: Internal. J.Manage. Sci, 34, 158-166.

Cunasekaran, A. Goyal (1993), Multi level lot sizing in a Rayon Yarn company: a case study , *European Journal of Operational Research*, 2, 159-174.

Gelders, L.F, Wassenhove. L.N (1981), product planning a review , European hournal of OR, 2,101-110.

Holt, C, Modiglian (1995), Lianear decision rule for producthon and employment scheduling , *management science*,2,1-30.

Jamalnia.A, Soukhakian.M.A (2009), A hybrid fuzzy goal programming approach with different goal priorities to aggregate production planning , computer & industrial engineering, 56 ,1474-1486.

Karimi.B, Fatemi Ghomi.S (2003), The capucitated lot sizing problem: a review of models and algorithms , *omega*, 5, 365-378.

Kumar. M, Vrat.P, Shankar. R (2006), A fuzzy programming approach for vendor selection problem in a supply chain , *Internat. J. Prod. Econom*, 101, 273˚ 285.

Lai. Y, Hwang. C.L (1994), Fuzzy Multiple Objective Decision Making , *Methods and Applications*, Springer, Berlin.

Lee.Y.Y (1990), Fuzzy set theory approach to aggregate production planning and inventory control , PhD Dissertation Department of I.E, Kansas State University.

Liang. T.F (2006), Integrating production˚ transportation planning decision with fuzzy multiple goals in supply chains , *International Journal of Production Research*, 46, 1477˚ 1494.

Lieberopoulos.G, Dallery.Y (2003), comparative modeling of multi production-inventory control policies with lot sizing . International Journal of production research, Vol. 41, No.6, 1273-1298.

Mula. J , Poler.R (2006), Models for production planning under uncertainty : a review , *International journal of Production Economic*,103, 271-285.

Rommelfanger (1996), Fuzzy linear programming and applications , *Europran journal of operational research*,92, 512-527.

Saad. G (1982), An overview of production planning model, structure classification and empirical assessment , *International Journal of Production Research*, 20, 105-114.

Saad.O.M (1995), Stability on multi objective linear programming problems with fuzzy parameters , *Fuzzy sets and systems*, 74, 207-215.

Selim.H, Ozkarahan.I (2007), A supply chain distribution network design model: an interactive fuzzy goal programming-based solution approach , Internat. J. Adv. Manuf. Technol, in press.

Simpson.N.C (2001), Questioning the velative virtues of dynamic Lot sizing Rules , *computers and OR*, 9, 899-914.

Tang .J, Wang. D (2000), fuzzy formulation for multi product APP , *Production planning and control*, 11, 670-676.

Torabi. S. A, Hassini. E (2008), An interactive possibilistic programming approach for multiple objective supply chain master planning , *Fuzzy Sets and Systems*, 159, 193˚ 214.

Torabi. S. A, Hassini. E (2009), Multi-site production planning integrating procurement and distribution plans in multi-echelon supply chains : an Interactive fuzzy goal programming approach , *International Journal of Production Research*, 47, 5475˚ 5499.

Wang. R , Fang. H (2001), APP with multiple objective in a fuzzy environment , *European journal of operational research*,133, 521-536.

Wang. R, Liang. T (2004), application of fuzzy multi objective linear programming to APP , *computers and industrial engineering*, 46, 17-41.

Wang. R, Liang.T (2005), Applying possibilistic linear programming to aggregate production planning , *International Journal of Production Economics*, 98, 328˚341.

Zimmermen. H. J (1976), Description and optimization of fuzzy sets , *International Journal of General Systems*, 2, 209-215.

Zimmermen, H. J (1978), Fuzzy programming and linear programming with several objective functions , *Fuzzy Sets and Systems*, 1, 45-55.

پی‌نوشت

1- Geldresetal
2- Simpson
3- Cunasekaran
4- Lieberopoulos
5- Mula
6- Holt etal
7- Saad
8- Zimmermen
9- Lee
10- Tang etal
11- Wang etal
12- Rommelfanger
13- Lai
14- Liang
15- Abd el wahed
16- Kumar etal
17- Selim