

ارائه مدلی برای سرمایه‌گذاری بهینه در ماشین‌آلات پیشرفته تولیدی براساس جریان نقدی تنزیل شده فازی

حسن حسینی نسب^۱

حسن رسایی^۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۰۱/۲۳

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۱۰/۰۹

چکیده

در این مقاله به ارائه مدلی برای سرمایه‌گذاری بهینه در ماشین‌آلات پیشرفته تولیدی با استفاده از برنامه‌ریزی خطی فازی پرداخته می‌شود. در مرحله اول، اهداف استراتژیک و بلندمدت شرکت و حداقل سطوح دستیابی به آنها در قالب مقادیر فازی، توسط تصمیم‌گیرندگان مشخص می‌شود. در مرحله بعد، گزینه‌های امکان‌پذیر برای دستیابی به این اهداف و تأثیر این گزینه‌ها در دستیابی به هر کدام از اهداف در قالب متغیرهای کلامی بیان می‌شود. تأثیر هر گزینه در دستیابی به اهداف استراتژیک به‌عنوان ضرایب تکنولوژیکی و حداقل سطوح دستیابی به اهداف به‌عنوان مقادیر سمت راست در محدودیت مربوط به حداقل سطوح دستیابی به اهداف لحاظ می‌شوند. علاوه بر این، محدودیت‌های مربوط به روابط متقابل بین ماشین‌آلات، گزینه‌های ناسازگار و محدودیت بودجه سرمایه‌گذاری در مدل لحاظ شده است. هدف از مدل حاضر، تعیین تعداد خرید از هر نوع ماشین است به‌طوری‌که ارزش فعلی سرمایه‌گذاری شرکت، تحت محدودیت‌های ذکر شده حداکثر شود. محاسبه ارزش فعلی براساس جریان نقدی تنزیل شده فازی انجام گرفته که در آن نرخ تورم، نرخ بهره، درآمد و هزینه‌های ماشین‌آلات به‌صورت فازی در نظر گرفته شده‌اند. نهایتاً با ارائه یک مثال، نحوه کاربرد این مدل تشریح شده است.

واژگان کلیدی: مدل‌های ریاضی، روش‌های بهینه‌سازی، هزینه سرمایه‌گذاری، آنالیز پروژه‌ها.

JEL: C02, C61, D24, O22.

۱. مقدمه

ماشین‌آلات پیشرفته تولید را می‌توان نوع خاصی از تکنولوژی‌های پیشرفته تولید دانست. تکنولوژی‌های پیشرفته تولید، به گستره‌ای از تکنولوژی‌ها اطلاق می‌شود که از کامپیوتر در فعالیت‌های تولیدی خود به‌طور

۱. دانشیار دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه یزد، Email:hhn@yazduni.ac.ir

۲. کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، دانشگاه یزد، Email:hasan.Rasay@gmail.com

مستقیم یا غیرمستقیم بهره میگیرند (Boyer et al, 1996). استفاده از تکنولوژی پیشرفته تولید مناسب، می‌تواند منجر به بهبود فرایند تولید، افزایش کیفیت، بهبود قابلیت اطمینان و افزایش انعطاف‌پذیری سیستم شود. با توجه به گستره وسیع ماشین‌آلات پیشرفته تولید که امروزه در دسترس است انتخاب ماشین‌آلات مناسب در مراحل طراحی و توسعه کارخانه از اهمیت زیادی برخوردار است. در حالیکه بسیاری از شرکت‌های تولیدی که در تکنولوژی‌های پیشرفته تولید سرمایه‌گذاری کرده‌اند به منافع سرشاری رسیده‌اند برخی دیگر از شرکت‌ها در این امر کمتر موفق بوده‌اند. این مطلب نشان می‌دهد که سرمایه‌گذاری در این نوع از تکنولوژی اگر چه جذاب اما دارای ریسک زیادی می‌باشد (Chen, 1995, Chu, 2009).

سرمایه‌گذاری در این سیستمها به‌خاطر ویژگی‌های متمایزی که با سیستمهای تولید سنتی دارد، غالباً با وسواس و دقت بیشتری همراه است. از مهمترین و بارزترین ویژگی تکنولوژیهای پیشرفته تولید عبارتند از: دوره عمر طولانی، نیاز به توسعه سرمایه‌گذاری در سال‌های متعدد، منافع متعدد غیر ملموس، افزایش بازگشت سرمایه با گذشت زمان، (Ordoobadi and Mulvaney, 2001). این ویژگی‌ها سبب شده است تا توجه سرمایه‌گذاری در سیستم‌های پیشرفته تولید، با استفاده از تکنیک‌های مرسوم اقتصاد مهندسی دشوار شود و اغلب اوقات کارشناسان برای توجه این سیستمها از دیگر روشهای توجه سرمایه‌گذاری نیز استفاده کنند. روش‌ها و تکنیک‌های مورد استفاده برای توجه سرمایه‌گذاری در تکنولوژی‌های پیشرفته تولید توسط دران و آگیلو مطرح گردیده است (Duran and Aguilo, 2008). آنها این تکنیک‌ها را به روشهای اقتصادی، استراتژیکی و تحلیلی دسته‌بندی و معایب و مزایا هر کدام را بیان کرده‌اند.

۲. مبانی نظری و پیشینه تحقیق

در مرحله توجه سرمایه‌گذاری در تکنولوژی‌های پیشرفته تولید، کمی کردن برخی از درآمدهای بالقوه، اگر غیرممکن نباشد، بسیار مشکل است. بسیاری از مدیران اعلام می‌کنند که رویکردهای حسابداری، پذیرش و استفاده از تکنولوژی‌های پیشرفته تولید را محدود می‌کنند و قادر نیستند که بسیاری از منافع حاصل از اجرای این نوع تکنولوژیها را کمی کنند. همچنین بسیاری از محققان به ناکافی بودن معیارهای توجه مالی مرسوم، مانند روشهای بازگشت سرمایه، دوره بازگشت و ارزش فعلی، اذعان داشته‌اند (Karsak and Tolga, 2001; Karsak and Kusgunkaya, 2002). به همین دلیل در برخی از مقالات، با ادغام منافع کمی و غیر کمی، از رویکردهای ترکیبی برای توجه سرمایه‌گذاری استفاده می‌شود.

زارع مهرجردی و همکاران (۱۳۸۹) یک مدل ترکیبی براساس تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی و برنامه‌ریزی خطی احتمالی برای توجیه سرمایه‌گذاری در تکنولوژی‌های پیشرفته تولید و انتخاب گزینه مناسب ارائه داده‌اند.

پرسیوال و کزارین، به بررسی این موضوع پرداخته‌اند که چرا اجرای برخی از تکنولوژی‌های پیشرفته تولید منجر به بازگشت سرمایه زیادی می‌شود. (Percival. and Cozzarin, 2010) چانگ و وانگ رویکردی را برای پیش‌بینی امکان موفقیت تکنولوژی‌های پیشرفته تولید بر مبنای تحلیل‌های فازی توسعه داده‌اند و ادعا کرده‌اند که رویکرد آنها عملکرد بهتری نسبت به AHP دارد (Chang and Wang, 2009). چو از یک مدل تصمیم‌گیری گروهی با استفاده از تحلیل چندمعیاره فازی برای توجیه تکنولوژی‌های پیشرفته تولید استفاده کرده است (Chu, 2009). دران و آجیلو یک رویکرد سلسله‌مراتبی AHP براساس روش‌های چندمعیاره‌فازی برای ارزیابی و توجیه تکنولوژی‌های پیشرفته تولید ارائه کرده و معیارهای اقتصادی و استراتژیکی را در مدل دخیل کرده‌اند. در رویکرد پیشنهادی آنها از یک مدل ترکیبی که هم متغیرهای عددی و هم متغیرهای کلامی را شامل می‌شود، استفاده شده است (Duran and Aguilo, 2008). برداکول از یک مدل ترکیبی تحلیل سلسله‌مراتبی AHP و برنامه‌ریزی آرمانی برای انتخاب مناسب‌ترین گزینه تکنولوژی‌های ساخت یکپارچه کامپیوتری (CIM) استفاده کرده و در مدل پیشنهادی خود هم معیارهای کمی و هم معیارهای کیفی را در نظر گرفته است (Yurdakul, 2004). کارساک و کسگانکایا رویکرد چند هدفه فازی را برای تصمیم‌گیری در مورد انتخاب سیستم‌های تولید انعطاف‌پذیر به کار برده‌اند و از تئوری مجموعه‌های فازی برای در نظر گرفتن ابهامات و عدم قطعیت، در محیط‌های سرمایه‌گذاری، استفاده کرده و هم معیارهای استراتژیکی و هم معیارهای اقتصادی را در نظر گرفته‌اند (Karsak and Kusgunkaya, 2002). کارساک و توگلا از الگوریتم تصمیم‌گیری فازی برای انتخاب مناسب‌ترین گزینه تکنولوژی پیشرفته تولید، از میان یک مجموعه گزینه‌های ناسازگار استفاده کرده و هم معیارهای اقتصادی و هم معیارهای استراتژیکی مانند انعطاف‌پذیری، بهبود کیفیت را در مرحله انتخاب در نظر گرفته‌اند (Karsak and Tolga, 2001). با توجه به مرور ادبیات می‌توان گفت که برخی از مدل‌های ارائه شده در این زمینه تنها از یکی از روش‌های اقتصادی، تحلیلی و استراتژیک استفاده کرده‌اند. هر چند در سال‌های اخیر تلاش‌هایی برای استفاده از تکنیک‌های ترکیبی، جهت بررسی موضوع فوق صورت گرفته است، اما در مدل‌های ارائه شده، فرض‌های ساده‌کننده متعددی در نظر گرفته شده است به طوری که عملاً کاربرد مدل را در محیط‌های صنعتی با متغیرها و عوامل ناشناخته فراوان، محدود می‌کند. مدل ارائه شده در این مقاله از چند لحاظ نقاط ضعف مدل‌های پیشنهادی را پوشش می‌دهد:

- ۱- فازی بودن کامل مدل؛ به‌طوریکه نیاز نیست سرمایه‌گذار هیچ‌کدام از پارامترهای مورد نیاز در مدل را به‌طور دقیق مشخص کند. بسیاری از پارامترها همانند نرخ بهره، نرخ تورم، درآمد و هزینه ناشی از یک نوع ماشین در یک دوره زمانی مشخص را می‌توان به‌صورت اعداد فازی وارد مدل نمود.
- ۲- برخی دیگر از پارامترهای مدل همانند اهمیت یک هدف خاص برای شرکت موردنظر و یا میزان تأثیر یک نوع ماشین تولیدی در دستیابی به یک هدف می‌تواند به صورت متغیرهای کلامی بیان شود که خود دامنه کاربرد مدل را وسیع‌تر می‌کند. ۳- استفاده از رویکرد تعاملی جیمenez (Jimenez et al, 2007).

۳. مدل تحقیق و روش عملکرد آن

هدف مقاله تعیین میزان سرمایه‌گذاری بهینه در ماشین‌آلات پیشرفته تولید است، یعنی تعیین نوع و تعداد ماشین‌آلاتی که باید خریداری شود، به‌طوریکه ارزش فعلی سرمایه‌گذاری شرکت حداکثر شود. لذا، در مرحله نخست مدیران ارشد، اهداف استراتژیک و بلندمدت شرکت و حداقل سطوح دستیابی به آنها را در قالب اعداد فازی بیان می‌کنند. در مرحله بعد یک‌سری از گزینه‌های امکان‌پذیر را با توجه به ویژگی‌ها و فرایند تولید کارخانه، معین کرده و تأثیر هر کدام از این گزینه‌ها را در رسیدن به اهداف شرکت در قالب متغیرهای کلامی بیان می‌کنند. هدف حداکثر کردن ارزش فعلی سرمایه‌گذاری شرکت است به‌طوریکه به حداقل سطوح مشخص شده اهداف دست پیدا کنیم. محدودیت مربوط به بودجه اولیه سرمایه‌گذاری، بودجه مربوط به هزینه‌های تعمیرات و نگهداری، محدودیت مربوط به گزینه‌های ناسازگار، روابط پیش‌نیازی و روابط متقابل بین ماشین‌آلات در این مدل در نظر گرفته شده است. مراحل مدل عبارتند از:

- ۱- مشخص کردن اهداف استراتژیک و حداقل سطوح دستیابی به آنها با توجه به نظرات کارشناسان و مدیران ارشد.
- ۲- مشخص کردن گزینه‌های امکان‌پذیر با توجه به نظر تصمیم‌گیرندگان در مورد فرایند تولید کارخانه و سایر الزامات سیستم تولیدی و تعیین میزان تأثیر هر کدام از گزینه‌ها در رسیدن به اهداف شرکت در قالب متغیرهای کلامی.
- ۳- تحلیل جریان نقدی تنزیل شده فازی، برای هر گزینه و بدست آوردن ارزش فعلی خالص هر کدام از گزینه‌ها.
- ۴- فرمول‌بندی برنامه‌ریزی خطی فازی.

۱.۳ رویکرد تعاملی جیمنز^۱ برای حل مدل برنامه‌ریزی خطی فازی

برنامه‌ریزی خطی فازی زیر را در نظر بگیرید.

$$\begin{aligned} \text{Min } Z &= \bar{c}x \\ \text{s.t. } x &\in N(\bar{A}, \bar{b}) = \{x \in R^n \mid \bar{a}_i x \geq \bar{b}_i, \quad i = 1, \dots, m, \quad x \geq 0\} \end{aligned} \quad (1)$$

درحالی‌که $\bar{c} = (c_1, \dots, c_n)$ و $\bar{A} = [\bar{a}_{ij}]_{m \times n}$ و $\bar{b} = (b_1, \dots, b_m)^t$ به‌عنوان یک راه‌حل برای این مسئله به‌صورت غیرفازی می‌باشد. در مورد حل این مدل باید به دو سوال زیر پاسخ داده شود:

۱- چگونه شدنی بودن بردار x را درحالی‌که ضرایب تکنولوژیکی و مقادیر سمت راست فازی هستند تعریف کنیم.

۲- چگونه بهینگی بردار x را در تابع هدف درحالی‌که ضرایب تابع هدف فازی هستند تعریف کنیم.

راه حل‌ها متعددی برای این مسئله ارائه شده است (Rommelfanger and Slwonski, 1994, Lai and Hwang, 1994). با توجه به مسئله مورد بحث در این مقاله، استفاده از رویکرد تعاملی جیمنز (۲۰۰۷) برای حل این نوع از مسائل برنامه‌ریزی خطی فازی در حالتی که پارامترها اعداد فازی دلخواهی باشند ترجیح داده شده است. در این رویکرد، تصمیم‌گیرنده در تمام مراحل تصمیم‌گیری به‌صورت تعاملی شرکت کرده و نظراتش را به‌صورت متغیرهای کلامی بیان می‌کند. استفاده از این رویکرد خود نقطه قوت دیگری در استفاده از مدل ارائه شده است. در این قسمت این روش برای حل رابطه ۱ و درحالی‌که کلیه اعداد فازی به صورت مثلثی باشند تشریح شده است.

اگر (c_{j1}, c_{j2}, c_{j3}) ضریب متغیر x_j در تابع هدف باشد، راه‌حل x را در درجه α شدنی می‌نامیم، آنرا با نماد $x^0(\alpha)$ نشان می‌دهیم و از حل مدل برنامه‌ریزی خطی عادی زیر به‌دست می‌آوریم.

$$\begin{aligned} \min \quad & \sum_{j=1}^n \frac{(c_{j1} + 2c_{j2} + c_{j3})}{4} x_j \\ \text{s.t.} \quad & \sum_{j=1}^n [(1 - \alpha)E_2^{a_{ij}} + \alpha E_1^{a_{ij}}] x_j \geq \alpha E_2^{b_i} + (1 - \alpha)E_1^{b_i}, \quad i = 1, \dots, m \\ & x_j \geq 0, \quad j = 1, \dots, n \end{aligned} \quad (2)$$

اگر $\bar{d} = (d_1, d_2, d_3)$ یک عدد فازی مثلثی باشد، آنگاه مقادیر E_1 و E_2 به‌صورت زیر تعریف می‌شود.

$$E_1^d = \frac{d_1+d_2}{2}, E_2^d = \frac{d_2+d_3}{2} \quad (۳)$$

برای درجات‌شدنی بودن جواب (α) در این مقاله از رویکرد کافمن و جولیا (Jimenez et al., 2007) استفاده شده است. البته واضح است که باتوجه به نظر تصمیم‌گیرنده مقیاس‌های دیگری نیز می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. ابتدا، رابطه (۲) را برای مقادیر مختلف α حل می‌کنیم و مقادیر تابع هدف را به صورت زیر به دست می‌آوریم.

$$\tilde{z}^0(\alpha_k) = \tilde{c}x^0(\alpha_k) \quad (۴)$$

پس از بدست آوردن مقادیر تابع هدف برای جواب‌های شدنی در سطوح مختلف، در مرحله بعد تصمیم‌گیرنده باید سطح دستیابی به هدفش \tilde{G} را مشخص کند. فرض کنید تصمیم‌گیرنده مشخص کرده که اگر $\tilde{G} \leq z \leq \bar{G}$ هدفش به طور کامل برآورده می‌شود، اما اگر $\tilde{G} \leq z \leq \bar{G}$ سطح دستیابی به هدفش صفر خواهد بود. بنابراین هدف را می‌توان توسط یک مجموعه فازی با تابع عضویت زیر مشخص کرد.

$$\mu_{\tilde{G}}(z^0(\alpha)) = \begin{cases} 0 & \text{if } z \geq G \\ \lambda \in [0,1] & \text{Decreasing on } G \leq z \leq \bar{G} \\ 1 & \text{if } z \leq \bar{G} \end{cases} \quad (۵)$$

در مرحله بعد باید درجه ارضاء هدف‌فازی \tilde{G} را توسط هر کدام از راه‌حل‌های بهینه در سطح α مشخص کنیم. درجه ارضاء هدف‌فازی \tilde{G} را توسط راه‌حل شدنی $x^0(\alpha)$ با استفاده از رابطه زیر می‌توان محاسبه کرد:

$$K_{\tilde{G}}(z^0(\alpha)) = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} \mu_{\tilde{z}^0(\alpha)}(z) \cdot \mu_{\tilde{G}}(z) dz}{\int_{-\infty}^{\infty} \mu_{\tilde{z}^0(\alpha)}(z) dz} \quad (۶)$$

$\mu_{\tilde{z}^0(\alpha)}(z)$ تابع عضویت جواب بهینه فعلی در سطح α می‌باشد.

با افزایش درجه‌شدنی بودن یک راه‌حل، درجه ارضاء هدف‌فازی \tilde{G} توسط آن راه‌حل کاهش می‌یابد. به عبارت دیگر با افزایش درجه‌شدنی بودن، با مقادیر تابع هدف بدتری مواجه می‌شویم. بنابراین تصمیم‌گیرنده باید راه‌حل متعادلی را بین دو هدف متناقض انتخاب کند. اگر \bar{D} را به صورت مجموعه فازی که تعادل بین میزان ارضاء محدودیت‌ها و درجه ارضاء تابع هدف را نشان می‌دهد، تعریف کنیم آنگاه درجه عضویت راه‌حل $x^0(\alpha)$ در این مجموعه از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$\mu_{\bar{D}}(x^0(\alpha_k)) = \alpha_k \times K_{\tilde{G}}(\tilde{z}^0(\alpha_k)) \quad (۷)$$

پس از محاسبه درجه عضویت راه‌حل‌های مختلف در مجموعه‌فازی \bar{D} ، راه‌حلی بایشتین درجه عضویت براساس رابطه زیر به‌عنوان راه‌حل بهینه رابطه (۱) انتخاب خواهد شد.

$$\mu_{\bar{D}}(x^*) = \text{Max}_{\alpha_k \in M} \{ \alpha_k \times K_{\bar{G}}(\bar{Z}^0(\alpha_k)) \} \quad (۸)$$

در رابطه فوق M مجموعه‌ای متشکل از مقادیر مختلف α موردبررسی در مدل می‌باشد.

۴. تعیین اهداف استراتژیک شرکت، حداقل سطوح دستیابی به آنها و گزینه‌های امکان‌پذیر

۴.۱. انتخاب اهداف و گزینه‌های امکان‌پذیر

فرض می‌کنیم که تصمیم‌گیرنده اهداف SC_i ($i=1,2,\dots,n$) را به‌عنوان اهداف استراتژیک و بلندمدت شرکت معرفی می‌کند و همچنین گزینه‌های Al_j ($j=1,2,\dots,m$) را به‌عنوان گزینه‌های امکان‌پذیر برای دستیابی به این اهداف مد نظر دارد. لازم به‌ذکر است که در مدل موردنظر در این مقاله فرض کرده‌ایم در تمام مراحل یک تصمیم‌گیرنده وجود دارد. بدیهی است که مدل ذکر شده را در حالتی که چند تصمیم‌گیرنده وجود دارد می‌تواند به‌راحتی با میانگین‌گیری از نظرات آنها توسعه داد (زارع مهرجردی و همکاران، ۱۳۸۹).

۴.۲. تعیین سطوح دستیابی به اهداف

برای تعیین سطح دستیابی به هر کدام از اهداف از دو رویکرد استفاده می‌کنیم. در رویکرد اول، فرض می‌کنیم که سطح دستیابی به هر کدام از اهداف، توسط تصمیم‌گیرنده و در قالب اعداد فازی بیان می‌شود. در رویکرد دوم فرض می‌کنیم که سطح دستیابی به هر هدف به‌صورت ضریبی از اهمیت آن هدف باشد. بنابراین در این حالت نخست باید اهمیت هر کدام از اهداف در قالب متغیرهای کلامی توسط تصمیم‌گیرنده مشخص شود.

در حالت اول تصمیم‌گیرنده، \bar{b}_i را به‌صورت یک عدد فازی و به‌عنوان حداقل سطح دستیابی به هدف A_m تعیین می‌کند. در رویکرد دوم، نخست باید اهمیت هر کدام از اهداف، معین شود. در این مرحله، تصمیم‌گیرنده نظر خود را در رابطه با اهمیت هر یک از اهداف، با استفاده از متغیرهای کلامی مجموعه $W = \{ VL, L, M, H, VH \}$ بیان می‌کند.

معادل فازی برای متغیر کلامی که توسط تصمیم‌گیرنده به هدف A_m نسبت داده شده را با W_i نشان می‌دهیم. در این صورت:

$$\bar{W}_i = (a_i, b_i, c_i), \forall i \quad (۹)$$

اگر فرض کنیم حداقل سطح دستیابی به هدف V_i برابر اهمیت آن هدف باشد، در این صورت حداقل سطح دستیابی به هدف V_i برابر است با

$$\tilde{b}_i = v_i \otimes \tilde{W}_i(v_i a_i, v_i b_i, v_i c_i), \forall i \quad (10)$$

۳.۴. تعیین تأثیر هر گزینه در دستیابی به اهداف

در این مرحله مجدداً تصمیم گیرنده با بررسی دقیق اطلاعات مربوط به هر یک از گزینه‌ها (ماشین‌ها) و مطالعه نقاط قوت و ضعف آنها، تأثیر هر کدام از گزینه‌ها را در دستیابی به اهداف مشخص شده به وسیله متغیرهای کلامی مجموعه $A = \{VP, P, F, G, VG\}$ بیان می‌کند.

معادل فازی برای متغیر کلامی که تصمیم گیرنده، برای تأثیر هر واحد از گزینه j ام را در دستیابی به هدف i ام بیان می‌کند با \tilde{A}_{ij} نمایش داده و به وسیله رابطه زیر بیان می‌شود.

$$\tilde{A}_{ij} = (a_{ij}, b_{ij}, c_{ij}), \forall i, j \quad (11)$$

بنابراین مقادیر \tilde{b}_i مشخص شده در این قسمت به عنوان مقادیر سمت راست محدودیت مربوط به سطوح دستیابی اهداف استراتژیک و مقادیر \tilde{A}_{ij} به عنوان ضرایب تکنولوژیکی در محدودیت سطوح دستیابی اهداف ظاهر خواهند شد.

۴.۴. تحلیل جریان نقدی تنزیل شده فازی

نمادهای مسئله را به صورت جدول ۱ تعریف می‌کنیم:

جدول ۱. نمادهای به کار گرفته شده در مسئله

| نماد | تعریف | نماد | تعریف |
|------------------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| $\tilde{C}_{jt} = (C_{jta}, C_{jtb}, C_{jtc})$ | هزینه‌های گزینه j ام در دوره t | $\tilde{i}_{rt} = (i_{rta}, i_{rtb}, i_{rtc})$ | نرخ بهره واقعی در دوره t ام |
| IC_j | هزینه‌های اولیه ماشین j ام | $\tilde{i}_{ct} = (i_{cta}, i_{ctb}, i_{ctc})$ | نرخ بهره ترکیبی در دوره t ام |
| TR | نرخ مالیات | $\tilde{f}_t = (f_{ta}, f_{tb}, f_{tc})$ | نرخ تورم عمومی در دوره t ام |
| D_{jt} | استهلاک ماشین j ام در دوره t | $\tilde{e}_{Rt} = (e_{Rta}, e_{Rtb}, e_{Rtc})$ | نرخ تورم درآمدها در دوره t ام |
| SV_j | ارزش اسقاط ماشین j | $\tilde{e}_{Ct} = (e_{Cta}, e_{Ctb}, e_{Ctc})$ | نرخ تورم هزینه‌ها در دوره t ام |
| L_j | عمر مفید گزینه j ام | $\tilde{R}_{jt} = (R_{jta}, R_{jtb}, R_{jtc})$ | درآمد حاصل از گزینه j ام در دوره t ام |

تحلیل جریان نقدی تنزیل شده فازی اخیراً توسط بسیاری از نویسندگان به‌عنوان جایگزینی برای مدل‌های جریان نقدی مرسوم که در آنها جریان‌های نقدی و نرخ بهره ثابت در نظر گرفته می‌شدند و یا توسط توزیع‌های احتمالی بیان می‌شدند، مورد استفاده قرار گرفته است (Karsak and Tolga, 2001; Perego and Rangone, 1998; Chui and Park, 1994). در این مقاله تحلیل جریان نقدی فازی، با در نظر گرفتن پارامترهای جدول ۵ انجام می‌گیرد و فرض می‌کنیم که کلیه اعداد فازی موردنظر، مثلثی باشند. اگر R_t و C_t درآمد و هزینه‌های یک فرایند مالی در دوره t ام و I_0 فرایند مالی در دوره اول باشد جریان مالی بعد از کسر مالیات یک طرح را در دوره‌های مختلف t ، می‌توان توسط رابطه زیر بیان کرد (سایر نمادهای این رابطه را می‌توان در جدول ۱ ملاحظه کرد).

$$CFAT_t = \begin{cases} -I_0 & t = 1 \\ (R_t - C_t)(1 - TR) + D_t \times TR & t = 1, 2, \dots, L - 1 \\ S.V + (R_N - C_N)(1 - TR) + D_N \times TR & t = L \end{cases} \quad (12)$$

باتوجه به این رابطه و فازی در نظر گرفتن پارامترهای مطرح شده در جدول ۵، ارزش فعلی خالص یک طرح را می‌توان توسط رابطه زیر محاسبه کرد. در این رابطه فرض کرده‌ایم که نرخ‌های بهره و تورم در هر دوره ثابت ولی از یک دوره به دوره دیگر متفاوت باشد.

$$\begin{aligned} \overline{NPW} = & -\overline{IC}_0 \oplus \overline{S.V} \otimes \prod_{t=1}^L (\tilde{1} \oplus \tilde{f}_t) \otimes (\tilde{1} \oplus \tilde{i}_{ct})^{-1} \oplus \sum_{t=1}^L ([\tilde{R}_t \otimes \\ & \prod_{k=1}^t (\tilde{1} \oplus \tilde{e}_{rk}) \theta \tilde{C}_t \times \prod_{k=1}^t (\tilde{1} \oplus \tilde{e}_{ck})] \otimes (1 - \overline{TR}) \oplus \tilde{D}_t \otimes \overline{TR}) \otimes \\ & \prod_{t=1}^L (\tilde{1} \oplus \tilde{i}_{ct})^{-1} \end{aligned} \quad (13)$$

\otimes و \oplus به ترتیب نمادهای ضرب، جمع و تفریق در محیط فازی هستند. برای تعاریف مربوطه ضرب و جمع فازی به پیوست ۱ مراجعه کنید. باتوجه به روابط مربوطه ضرب و جمع فازی می‌توان حاصل رابطه فوق را محاسبه کرد که در این قسمت در مورد آن به تفصیل صحبت خواهیم کرد. همچنین یادآور می‌شویم که عدد غیرفازی مانند a را می‌توان به صورت $\tilde{a} = (a, a, a)$ در نظر گرفت.

رابطه ۱۳ از سه قسمت تشکیل شده است. قسمت اول \overline{IC} هزینه اولیه طرح است و می‌توان آنرا به صورت (IC, IC, IC) نمایش داد و در واقع یک عدد غیر فازی می‌باشد. \tilde{i}_{ct} نرخ بهره ترکیبی در دوره t ام است به صورت زیر محاسبه می‌شود.

$$\tilde{i}_{ct} = \tilde{i}_{rt} \oplus \tilde{f}_t \oplus \tilde{i}_{rt} \otimes \tilde{f}_t \quad (14)$$

باتوجه به تعریف ضرب و جمع فازی می‌توانیم بنویسیم:

$$\tilde{i}_{ct} = (\tilde{i}_{rta} + \tilde{f}_ta + \tilde{i}_{rta} \times \tilde{f}_ta, \tilde{i}_{rtb} + \tilde{f}_tb + \tilde{i}_{rtb} \times \tilde{f}_tb, \tilde{i}_{rtc} + \tilde{f}_tc + \tilde{i}_{rtc} \times \tilde{f}_tc) \quad (15)$$

باتوجه به تعاریف جمع و ضرب فازی قسمت دوم رابطه ۱۳ را می‌توان براساس رابطه زیر محاسبه کرد.

$$\begin{aligned} \bar{S} \cdot \bar{V} \otimes \prod_{t=1}^N (1 \oplus \tilde{f}_t) \otimes (1 \oplus \tilde{i}_{ct})^{-1} = \\ \left(\frac{SV \times \prod_{k=1}^L (1+f_{ka})}{\prod_{k=1}^L (1+i_{ctc})}, \frac{SV \times \prod_{k=1}^L (1+f_{kb})}{\prod_{k=1}^L (1+i_{ctb})}, \frac{SV \times \prod_{k=1}^L (1+f_{kc})}{\prod_{k=1}^L (1+i_{cta})} \right) \end{aligned} \quad (۱۶)$$

قسمت سوم رابطه ۱۳ به صورت زیر محاسبه می‌شود. ابتدا درآمدها و هزینه‌ها در دوره t را به صورت زیر متورم می‌کنیم:

$$\begin{aligned} R_t \otimes \prod_{k=1}^t (1 \oplus e_{Rk}) = \\ (R_{ta} \prod_{k=1}^t (1 + e_{Rka}), R_{tb} \prod_{k=1}^t (1 + e_{Rkb}), R_{tc} \prod_{k=1}^t (1 + e_{Rkc})) \end{aligned} \quad (۱۷)$$

$$\begin{aligned} \tilde{C}_t \otimes \prod_{k=1}^t (1 \oplus \tilde{e}_{ck}) = \\ (C_{ta} \prod_{k=1}^t (1 + e_{cka}), C_{tb} \prod_{k=1}^t (1 + e_{ckb}), C_{tc} \prod_{k=1}^t (1 + e_{ckc})) \end{aligned} \quad (۱۸)$$

جریان مالی بعد از کسر مالیات در دوره tام برابر است با:

$$\widehat{CFAT}_t = (\bar{R}_t \otimes \prod_{k=1}^t (1 \oplus \tilde{e}_{rk}) \ominus C_t \otimes \prod_{k=1}^t (1 \oplus \tilde{e}_{ck})) \otimes (1 - TR) \oplus \bar{D} \otimes \bar{TR} \quad (۱۹)$$

$$\widehat{CFAT}_t = (CFAT_{ta}, CFAT_{tb}, CFAT_{tc}) \quad (۲۰)$$

$$\begin{aligned} CFAT_{ta} &= (R_{ta} \times \prod_{k=1}^t (1 + e_{Rka}) - C_{tc} \times \prod_{k=1}^t (1 + e_{ckc})) \times (1 - TR) + D \times TR \\ CFAT_{tb} &= (R_{tb} \times \prod_{k=1}^t (1 + e_{Rkb}) - C_{tb} \times \prod_{k=1}^t (1 + e_{ckb})) \times (1 - TR) + D \times TR \\ CFAT_{tc} &= (R_{tc} \times \prod_{k=1}^t (1 + e_{Rkc}) - C_{ta} \times \prod_{k=1}^t (1 + e_{cka})) \times (1 - TR) + D \times TR \end{aligned} \quad (۲۱)$$

اگر $CFAT_{ta} \geq 0$ ارزش فعلی جریان مالی بعد از کسر مالیات در دوره tام برابر است با:

$$\widehat{CFAT}_t \otimes \prod_{k=1}^t (1 + \tilde{i}_{ck})^{-1} = \left(\frac{CFAT_{ta}}{\prod_{k=1}^t (1+i_{ckc})}, \frac{CFAT_{tb}}{\prod_{k=1}^t (1+i_{ckb})}, \frac{CFAT_{tc}}{\prod_{k=1}^t (1+i_{cka})} \right) \quad (۲۲)$$

اگر $CFAT_{ta} \leq 0$ ارزش فعلی جریان مالی بعد از کسر مالیات در دوره tام برابر است با:

$$\widehat{CFAT}_t \otimes \prod_{k=1}^t (1 + \tilde{i}_{ck})^{-1} = \left(\frac{CFAT_{ta}}{\prod_{k=1}^t (1+i_{ckc})}, \frac{CFAT_{tb}}{\prod_{k=1}^t (1+i_{ckb})}, \frac{CFAT_{tc}}{\prod_{k=1}^t (1+i_{cka})} \right) \quad (۲۳)$$

بنابراین حاصل عبارت سوم در رابطه ۱۳ برابر می‌شود با:

$$\widetilde{pw} = \left(\sum_{t=1}^L \left[\frac{\text{Max}(CFAT_{ta,0})}{\prod_{k=1}^t (1+i_{ckc})} + \frac{\text{Min}(CFAT_{ta,0})}{\prod_{k=1}^t (1+i_{cka})} \right], \sum_{t=1}^L \frac{CFAT_{tb}}{\prod_{k=1}^t (1+i_{ckb})}, \left[\sum_{t=1}^L \frac{\text{Max}(CFAT_{ta,0})}{\prod_{k=1}^t (1+i_{cka})} + \frac{\text{Min}(CFAT_{ta,0})}{\prod_{k=1}^t (1+i_{ckc})} \right] \right) \quad (24)$$

با مشخص شدن نحوه محاسبه سه عبارت رابطه ۱۳، اکنون می‌توانیم با جمع فازی آنها حاصل رابطه ۱۳ را محاسبه کرده و ارزش فعلی خالص طرح را بدست آوریم. در قدم بعدی مدل ارائه شده، باید ارزش فعلی خالص هر کدام از گزینه‌ها محاسبه شود. مقادیر ارزش فعلی خالص هر گزینه به‌عنوان ضریب آن گزینه در تابع هدف مدل در نظر گرفته می‌شود.

۵. فرمول‌بندی برنامه‌ریزی خطی فازی

۱.۵. تابع هدف مدل

هدف مدل مورد بحث انتخاب و خرید یک سری از ماشین‌آلات است به‌طوری‌که ارزش فعلی خالص سرمایه‌گذاری حداکثر شود. برای هر گزینه امکان‌پذیر دو نوع هزینه را در نظر می‌گیریم. هزینه‌های اولیه که مربوط به خرید دستگاه و هزینه‌های نصب می‌باشد و آن‌را به‌صورت غیرفازی در نظر می‌گیریم و هزینه‌های سالیانه یک دستگاه، که می‌تواند شامل هزینه تعمیرات و نگهداری، به‌روز کردن نرم‌افزارهای یا سخت افزارهای مورد نیاز در صورت لزوم و سایر هزینه‌های سالیانه یک گزینه باشد که آن‌را به‌صورت یک عدد فازی مثلثی در نظر می‌گیریم. درآمدهای حاصل از هر ماشین در هر سال نیز یک عدد فازی مثلثی می‌باشد. فرض کرده‌ایم نرخ بهره و نرخ تورم در هر دوره زمانی ثابت است اما از یک دوره به دوره بعد متفاوت باشد. اگر X_j متغیر تصمیم X ، تعداد خرید از گزینه j ام باشد، تابع هدف مدل را می‌توان به‌صورت زیر نوشت.

$$\widetilde{NPW} = - \sum_{j=1}^m x_j \widetilde{IC}_j \oplus \sum_{j=1}^m x_j \widetilde{S.V}_j \otimes \prod_{t=1}^{L_j} (\widetilde{1} \oplus \widetilde{f}_t) \otimes (\widetilde{1} \oplus \widetilde{t}_{ct})^{-1} \oplus \quad (25)$$

$$\sum_{j=1}^m \sum_{t=1}^{L_j} x_j \left(\left[\widetilde{R}_t \otimes \prod_{k=1}^t (\widetilde{1} \oplus \widetilde{e}_{Rk}) \ominus \widetilde{C}_t \times \prod_{k=1}^t (\widetilde{1} \oplus \widetilde{e}_{ck}) \right] \otimes (1 - \widetilde{TR}) \oplus \widetilde{D}_t \otimes \widetilde{TR} \otimes \prod_{t=1}^{L_j} (\widetilde{1} \oplus \widetilde{t}_{ct})^{-1} \right)$$

۲.۵. محدودیت‌ها

الف- محدودیت مربوط به حداقل سطوح دستیابی به هر کدام از اهداف

در بخش ۴ اهداف استراتژیک و گزینه‌های مناسب برای دستیابی به این اهداف، توسط تصمیم‌گیرندگان مشخص شد. همچنین \bar{b}_i به عنوان حداقل سطح دستیابی به هدف i ام ($i=1, \dots, n$) و \bar{A}_{ij} به عنوان تاثیر هر واحد از گزینه j ام ($j=1, \dots, m$) در دستیابی به هدف i ام در قالب متغیرهای کلامی و توسط تصمیم‌گیرندگان مشخص گردید. بنابراین برای هر هدف باید محدودیت زیر را لحاظ کنیم:

$$\sum_{j=1}^m \bar{A}_{ij} x_j \geq \bar{b}_i, \quad \forall i \quad (26)$$

ب- محدودیت مربوط به گزینه‌های ناسازگار

گزینه‌های ناسازگار دو و یا چند گزینه امکان‌پذیر هستند که حداکثر یکی از این گزینه‌ها انتخاب خواهد شد. گزینه‌های ناسازگار در مسئله مورد بحث ما بدین صورت ظاهر می‌شوند که با انتخاب یک ماشین ممکن است نیاز به خرید ماشین‌های مشابه این دستگاه نباشد. اگر فرض کنیم یک مجموعه از گزینه‌های ناسازگار به نام MES داشته باشیم در این صورت محدودیت مربوط به ناسازگاری را می‌توان به صورت زیر در مدل در نظر گرفت.

$$x_j \leq M y_j, \quad j \in MES, \quad \sum_{j \in MES} y_j \leq 1 \quad (27)$$

y_j یک متغیر صفر و یک است که اگر از دستگاه j ام حداقل یک واحد خریداری شود مقدار یک و در غیر این صورت مقدار صفر می‌گیرد و M یک عدد به اندازه کافی بزرگ می‌باشد. این محدودیت یک محدودیت غیرفازی می‌باشد.

ج- محدودیت مربوط به روابط پیش‌نیازی

در بسیاری از موارد ممکن است استفاده از یک دستگاه، نیاز به بهره‌برداری و خرید یک سری از ماشین‌آلات دیگر را الزامی کند. این گونه روابط را نیز می‌توان به راحتی در مدل مزبور در نظر گرفت. به عنوان مثال در نظر بگیرید که بین گزینه‌های i و j روابط پیش‌نیازی برقرار باشد به این معنا که دستگاه j بدون استفاده از دستگاه i قابل بهره‌برداری نیست این محدودیت را می‌توان به صورت زیر در مدل در نظر گرفت:

$$y_j \leq y_i \quad (28)$$

این محدودیت نیز به صورت غیرفازی می‌باشد.

¹Mutually exclusive alternative

د- محدودیت مربوط به سرمایه‌گذاری اولیه روی ماشین‌آلات و هزینه‌های سالیانه

ممکن است شرکتی که در حال خرید ماشین‌آلات است با محدودیت بودجه برای خرید مواجه باشد. در نظر بگیرید که یک شرکت به میزان TIB بودجه به خرید ماشین‌آلات اختصاص داده باشد و می‌خواهد که هزینه‌های خرید تجهیزات تولیدی از این مقدار بیشتر نباشد. این محدودیت را می‌توان به صورت زیر در مدل منظور کرد.

$$\sum_{j=1}^n x_j IC_j \leq TIB \quad (29)$$

همچنین بودجه سالیانه در نظر گرفته شده برای هزینه‌های تعمیرات و نگهداری ماشین‌آلات و به روز کردن سخت‌افزار و یا نرم‌افزارهای آن و سایر هزینه‌ها ممکن است محدود باشد. فرض کنید که یک شرکت می‌خواهد که کل هزینه صرف شده در دوره t ام، توسط مجموع ماشین‌آلات خریداری شده، از مقدار TB_t کمتر باشد. این محدودیت را می‌توان به صورت زیر در مدل لحاظ کرد:

$$\sum_{j=1}^n x_j \tilde{c}_{jt} \leq TB_t, \quad \forall t \quad (30)$$

در نهایت با توجه به محدودیت‌های ذکر شده در این قسمت، فرمول‌بندی برنامه‌ریزی خطی فازی را می‌توان به صورت زیر نوشت.

$$\begin{aligned} \text{Max } \overline{NPW} = & - \sum_{j=1}^m x_j \tilde{I}C_j \oplus \sum_{j=1}^m x_j \tilde{S} \cdot \tilde{V}_j \otimes \prod_{t=1}^{L_j} (\tilde{I} \oplus \tilde{f}_t) \otimes (\tilde{I} \oplus \tilde{I}_{ct})^{-1} \\ & \oplus \sum_{j=1}^m \sum_{t=1}^{L_j} x_j ([\tilde{R}_t \otimes \prod_{k=1}^t (\tilde{I} \oplus \tilde{e}_{Rk}) \ominus \tilde{C}_t \times \prod_{k=1}^t (\tilde{I} \oplus \tilde{e}_{Ck})] \\ & \otimes (1 - \tilde{T}R) \oplus \tilde{D}_t \otimes \tilde{T}R) \otimes \prod_{k=1}^t (\tilde{I} \oplus \tilde{I}_{ck})^{-1} \\ \text{s. t. } & \\ & \sum_{j=1}^n \tilde{A}_{ij} x_j \geq \tilde{b}_j, \quad \forall i \\ & x_j \leq M y_j, \quad j \in \text{MES} \\ & \sum_{j \in \text{MES}} y_j \leq 1 \\ & \sum_{j=1}^n x_j \tilde{c}_{jt} \leq TB_t, \quad \forall t \end{aligned} \quad (31)$$

$$\sum_{j=1}^n x_j IC_j \leq TIB, \quad x_j \in \{0,1,2,\dots\}, \quad y_j \in \{0,1\}, \quad \forall j$$

این مدل را می‌توان براساس روش بخش ۳ حل کرد.

۶. داده‌ها و نتایج تجربی

یک شرکت تولیدی قصد دارد برای دستیابی به اهداف استراتژیک به شرحی که در جدول ۲ آمده است یک سری از ماشین‌آلات پیشرفته تولیدی را خریداری کند. مدیران این شرکت حداقل سطوح دستیابی به آنها چهار گزینه را به‌عنوان گزینه‌های امکان‌پذیر برای سرمایه‌گذاری مشخص کرده‌اند. گزینه‌های موردنظر و ویژگی‌های آنها را می‌توان در جدول ۳ ملاحظه کرد. کارشناسان تشخیص داده‌اند که از میان دو ماشین ۳ و ۲ تنها به خرید یکی نیاز است. همچنین این شرکت نمی‌خواهد بیشتر از ۷۰۰۰ واحد پولی (واحد پولی در این مثال میلیون ریال می‌باشد) در خرید تجهیزات جدید صرف کند. نرخ بهره (۲۵ و ۲۰ و ۱۸) درصد و نرخ تورم عمومی (۳۰ و ۲۰ و ۱۵) درصد و ثابت در هر دوره در نظر گرفته شده است. نرخ تورم هزینه‌ها و درآمدها به ترتیب (۱۸ و ۱۵ و ۱۳) و (۲۱ و ۱۷ و ۱۴) درصد و حداقل سطح دستیابی به هر هدف به صورت ۳ برابر اهمیت آن هدف در نظر گرفته شده است. سایر اطلاعات ورودی مسئله را می‌توان در جداول ۴ تا ۷ ملاحظه کرد.

جدول ۲. اهداف استراتژیک شرکت اهداف استراتژیک

| نماد | اهداف |
|------|------------------------------------------------------------------------|
| SC1 | افزایش کیفیت محصولات در حدی که قابل رقابت با تولیدکننده‌های معتبر باشد |
| SC2 | ورود به بازارهای منطقه (صادرات به کشورهای حوزه خلیج فارس) |
| SC3 | افزایش حجم و تنوع تولیدات و کاهش زمان پاسخ‌گویی به تقاضای مشتریان |

ماخذ: یافته‌های تحقیق

جدول ۳. گزینه‌های مورد نظر ویژگی آنها

| ماشین | هزینه اولیه (هزار ریال) | ارزش اسقاط | عمر مفید |
|-------|-------------------------|------------|----------|
| ۱ | ۲۰۰۰۰۰ | ۱۲۰۰۰۰۰ | ۴ |
| ۲ | ۱۵۰۰۰۰۰ | ۱۲۰۰۰۰۰ | ۵ |
| ۳ | ۱۵۰۰۰۰۰ | ۱۵۰۰۰۰۰ | ۵ |
| ۴ | ۳۰۰۰۰۰ | ۱۸۰۰۰۰۰ | ۶ |

ماخذ: یافته‌های تحقیق

جدول ۴. اهداف استراتژیک و اهمیت آنها

| وزن هدف | متغیر کلامی | هدف |
|---------------|-------------|-----|
| (۰/۸-۰/۵-۰/۲) | M | SC1 |
| (۱-۰/۷-۰/۵) | H | SC2 |
| (۱-۱-۰/۷) | VH | SC3 |

ماخذ: یافته‌های تحقیق

جدول ۵. هزینه‌های سالیانه ماشین‌آلات

| ماشین/سال | M1 | M2 | M3 | M4 |
|-----------|---------------|---------------|---------------|--------------|
| ۱ | (۸۵-۷۵-۶۵) | (۹۵-۸۵-۷۵) | (۹۵-۸۵-۶۵) | (۶۰-۵۵-۴۵) |
| ۲ | (۱۲۰-۱۰۵-۹۰) | (۱۱۰-۹۵-۹۰) | (۱۱۰-۹۵-۹۵) | (۷۵-۶۴-۵۵) |
| ۳ | (۱۷۵-۱۶۵-۱۴۵) | (۱۴۰-۱۲۰-۱۰۵) | (۱۱۵-۱۱۰-۱۰۵) | (۸۰-۷۵-۶۰) |
| ۴ | (۲۰۰-۱۸۵-۱۷۰) | (۱۶۵-۱۵۰-۱۳۵) | (۱۴۵-۱۳۵-۱۲۶) | (۹۵-۸۵-۷۵) |
| ۵ | - | (۱۸۵-۱۸۰-۱۵۵) | (۱۶۰-۱۴۸-۱۴۲) | (۹۵-۸۵-۷۵) |
| ۶ | - | - | - | (۱۲۰-۱۱۰-۸۰) |

ماخذ: یافته‌های تحقیق

جدول ۶. هزینه‌های سالیانه ماشین‌آلات

| ماشین | M1 | M2 | M3 | M4 |
|-------|---------------|---------------|---------------|--------------|
| ۱ | (۶۵-۷۵-۸۵) | (۶۵-۸۵-۹۵) | (۷۵-۸۵-۹۵) | (۴۵-۵۵-۶۰) |
| ۲ | (۹۰-۱۰۵-۱۲۰) | (۹۵-۹۵-۱۱۰) | (۹۰-۹۵-۱۱۰) | (۵۵-۶۴-۷۵) |
| ۳ | (۱۴۵-۱۶۵-۱۷۵) | (۱۰۵-۱۱۰-۱۱۵) | (۱۰۵-۱۲۰-۱۴۰) | (۶۰-۷۵-۸۰) |
| ۴ | (۱۷۰-۱۸۵-۲۰۰) | (۱۲۶-۱۳۵-۱۴۵) | (۱۳۵-۱۵۰-۱۶۵) | (۷۵-۸۵-۹۵) |
| ۵ | - | (۱۴۲-۱۴۸-۱۶۰) | (۱۵۵-۱۷۵-۱۸۰) | (۷۵-۸۵-۹۵) |
| ۶ | - | - | - | (۸۰-۱۱۰-۱۲۰) |

ماخذ: یافته‌های تحقیق

جدول ۷. درآمدهای سالیانه ماشین‌آلات

| ماشین | M1 | M2 | M3 | M4 |
|-------|-------------------|------------------|------------------|------------------|
| ۱ | (۱۱۰۰-۱۱۰۰-۱۱۰۰) | (۱۲۴۰-۱۳۵۰-۱۴۰۰) | (۱۱۰۰-۱۱۰۰-۱۱۰۰) | (۱۵۸۰-۱۶۵۰-۱۷۵۰) |
| ۲ | (۱۲۰۰-۱۱۲۵۰-۱۳۰۰) | (۱۴۵۰-۱۵۵۰-۱۶۵۰) | (۱۲۵۰-۱۲۷۰-۱۳۰۰) | (۱۶۹۰-۱۷۹۰-۱۸۷۰) |
| ۳ | (۹۵۰-۱۱۰۰-۱۱۵۰) | (۱۵۶۰-۱۶۷۰-۱۷۷۰) | (۱۱۳۰-۱۲۰۰-۱۲۵۰) | (۱۴۵۰-۱۵۵۰-۱۶۵۰) |
| ۴ | (۷۸۰-۸۹۰-۹۵۰) | (۱۴۵۰-۱۵۵۰-۱۶۶۰) | (۱۰۴۰-۱۱۰۰-۱۲۰۰) | (۱۲۵۰-۱۳۵۰-۱۴۰۰) |
| ۵ | - | (۱۱۰۰-۱۲۵۰-۱۳۰۰) | (۹۵۰-۱۰۵۰-۱۱۰۰) | (۱۰۵۰-۱۱۵۰-۱۱۲۰) |
| ۶ | - | - | - | (۱۰۵۰-۱۱۵۰-۱۱۲۰) |

ماخذ: یافته‌های تحقیق

فرض می‌کنیم تصمیم‌گیرنده هدفش در مورد حداکثر کردن ارزش فعلی سرمایه‌گذاری برای مقادیر بیشتر از ۱۴۵۰۰ به‌طور کامل برآورده شده و برای مقادیر کمتر از ۸۵۰۰ این هدف اصلاً حاصل نخواهد شد. به عبارت دیگر تابع عضویت هدف به صورت زیر خواهد بود.

$$\mu_{\bar{G}}(z^0(\alpha)) = \begin{cases} 0 & \text{if } z \leq 8500 \\ \frac{x-8500}{6000} & \text{decrising on } G \leq z \leq \bar{G} \\ 1 & \text{if } z \geq 14500 \end{cases} \quad (32)$$

ابتدا ارزش فعلی خالص هر کدام از طرح‌ها را براساس آنچه که در مورد جریان نقدی تنزیل شده فازی ذکر شد، محاسبه می‌کنیم. در این، مثال این کار به کمک نرم افزار Matlab9 انجام گرفته و نتایج آن در جدول ۸ نشان داده شده است.

جدول ۸. ارزش فعلی خالص هر کدام از گزینه‌های

| M4 | M3 | M2 | M1 |
|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| (۱۱۰۸-۲۷۶۷-۴۲۴۲) | (۹۴۳-۲۴۰۷-۳۹۲۰) | (۷۵۲-۱۷۸۰-۲۸۸۸) | (۴۸۲-۱۳۰۷-۲۱۱۷) |

مأخذ: یافته‌های تحقیق

مقادیر محاسبه شده در این قسمت، ضرایب تابع هدف در مدل برنامه‌ریزی خطی فازی خواهند بود. در مرحله بعد محدودیت‌های مدل را براساس شرایطی که در مثال ذکر شده تشکیل می‌دهیم در نهایت به مدل برنامه‌ریزی خطی فازی زیر می‌رسیم: اکنون به حل مدل برنامه‌ریزی خطی فازی می‌پردازیم. ابتدا مدل برنامه‌ریزی خطی فازی را براساس رابطه ۳ و در سطح شدنی α ، به یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح کامل تبدیل می‌کنیم (توجه داشته باشید که تعداد خرید از هر کدام از گزینه‌ها مقادیر صحیح می‌باشند). مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح حاصله به صورت زیر می‌باشد:

$$\begin{aligned} & \text{Max } 1303x_1 + 1804x_2 + 2419x_3 + 2792x_4; \\ \text{s. t. } & [0.4\alpha + (1 - \alpha)0.6]x_1 + [0.7\alpha + (1 - \alpha)0.9]x_2 + [0.9\alpha + (1 - \alpha)]x_3 + \\ & [0.4\alpha + (1 - \alpha)0.6]x_4 \geq 3 \times [0.35(1 - \alpha) + 0.65\alpha]; \\ & [0.4\alpha + (1 - \alpha)0.6]x_1 + [0.7\alpha + (1 - \alpha)0.9]x_2 + [0.7\alpha + 0.9(1 - \alpha)]x_3 + \\ & [0.7\alpha + (1 - \alpha)0.9]x_4 \geq 3 \times [0.6(1 - \alpha) + 0.85\alpha]; \\ & [0.7\alpha + (1 - \alpha)0.9]x_1 + [0.7\alpha + (1 - \alpha)0.9]x_2 + [0.9\alpha + 1(1 - \alpha)]x_3 + \\ & [0.1\alpha + (1 - \alpha)0.3]x_4 \geq 3 \times [0.85(1 - \alpha) + \alpha]; \quad (33) \\ & x_j \leq My_j \quad j = 1,2,3,4; \\ & y_2 + y_3 \leq 1; \\ & 1200x_1 + 1200x_2 + 1500x_3 + 1800x_4 \leq 7000; \\ & x_j \in \{0,1,\dots\}; \quad y_j \in \{0,1\}, \quad j = 1,2,3,4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & \text{Max } (482,1307,2117)x_1 + (754,1780,2888)x_2 + (943,2407,3920)x_3 + \\
 & \quad (1108,2767,4242)x_4; \\
 & \text{s.t } (0.3,0.5,0.7)x_1 + (0.6,0.8,1)x_2 + (0.8,1,1)x_3 + (0.3,0.5,0.7)x_4 \\
 & \quad \geq 3 \otimes (0.2,0.5,0.8); \\
 & (0.3,0.5,0.7)x_1 + (0.6,0.8,1)x_2 + (0.6,0.8,1)x_3 + (0.6,0.8,1)x_4 \\
 & \quad \geq 3 \otimes (0.5,0.7,1); \\
 & (0.6,0.8,1)x_1 + (0.6,0.8,1)x_2 + (0.8,1,1)x_3 + (0,0.2,0.4)x_4 \\
 & \quad \geq 3 \otimes (0.7,1,1); \\
 & x_j \leq My_j \quad j = 1,2,3,4; \\
 & y_2 + y_3 \leq 1; \\
 & 1200x_1 + 1200x_2 + 1500x_3 + 1800x_4 \leq 7000; \\
 & x_j \in \{0,1,\dots\}; \quad y_j \in \{0,1\}, \quad j = 1,2,3,4
 \end{aligned}$$

در مرحله بعد درجات‌شدنی بودن مختلف جواب، توسط تصمیم‌گیرنده مطابق آنچه که در ستون ۱ جدول ۱۳ آمده مشخص شده است. در هر سطح‌شدنی بودن، مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح این مثال را به کمک نرم‌افزار Lingo12 حل شده و نتایج در ستون ۲ جدول ۱۳ آورده شده است. به‌عنوان مثال در سطح‌شدنی بودن ۰/۶، جواب بهینه به‌صورت خرید سه واحد از ماشین ۳ و یک واحد از ماشین ۴ می‌باشد و خرید سایر ماشین‌ها در این سطح توصیه نمی‌شود. ستون سوم این جدول مقادیر تابع هدف بهینه متناظر با هر کدام از جواب‌ها شدنی در سطح α و $Z^0(\alpha)$ را نشان می‌دهد و می‌توان آنرا مطابق رابطه ۵ در هر سطح‌شدنی محاسبه کرد. $k_G(Z^0(a))$ ، درجه ارضای هدف فازی \tilde{G} توسط راه‌حل شدنی در سطح α ، براساس رابطه ۷ محاسبه شده است. همانطور که قبلاً نیز ذکر شد با افزایش α ، درجه ارضای هدف فازی تصمیم‌گیرنده، توسط آن راه‌حل کاهش می‌یابد (جدول ۹). ستون ۵ جدول $k_G(Z^0(a))$ درجه عضویت راه‌حل شدنی در سطح α در مجموعه \tilde{D} (مجموعه فازی متشکل از تابع هدف فازی و فضای شدنی محدودیت‌ها) را نشان می‌دهد. در این مثال به‌دلیل ویژگی‌های نسبتاً مشابه گزینه‌های مختلف مقادیر $k_G(Z^0(a))$ بسیار به هم نزدیک است. براساس رابطه ۹ جوابی با بیشترین درجه عضویت در مجموعه \tilde{D} ، به‌عنوان راه‌حل بهینه انتخاب خواهد شد. در این مثال این جواب متناظر با $\alpha = 1$ ، یعنی سطر آخر جدول ۹ می‌باشد. بنابراین خرید دو واحد از ماشین ۱ و سه واحد از ماشین ۳ به‌عنوان جواب بهینه این مثال توصیه می‌شود. با قرار دادن این جواب در محدودیت مربوط به سطوح دستیابی به اهداف، می‌توان میزان دستیابی به اهداف را در حالت بهینه بدست آورد. در جدول ۱۰ حداقل سطوح دستیابی به اهداف و سطح دستیابی به اهداف در جواب بهینه مشخص شده است. میزان هزینه‌های صرف شده برای خرید ماشین‌آلات ۶۹۰۰ واحد پولی و ارزش فعلی این سرمایه‌گذاری نیز (۱۵۹۹۴ و ۹۸۳۵ و ۳۷۹۳) می‌باشد. توجه

داشته باشید در حالیکه مقادیر $k_{\bar{G}}(z^0(\alpha))$ همواره با افزایش α کاهش می‌یابند (به توضیحات قسمت ۳ توجه کنید) اما مقادیر $\mu_{\bar{D}}(x^0(\alpha_k))$ الزاماً با افزایش α ، افزایش نمی‌یابد و در این مثال خاص این امر تنها به دلیل ویژگی‌های ماشین‌آلات مختلف رخ داده است.

جدول ۹. جواب‌های شدنی در سطوح مختلف و ویژگی آنها

| α | $x^0(\alpha)$ | $z^0(\alpha)$ | $K_{\bar{G}}(z^0(\alpha))$ | $\mu_{\bar{D}}(x^0(\alpha_k))$ |
|----------|-----------------|---------------------|----------------------------|--------------------------------|
| ۰/۶ | (۰ - ۰ / ۳ - ۱) | (۳۹۳۸-۹۹۸۷-۱۶۲۸۶) | ۰/۳۲۹ | ۰/۱۹۶۸ |
| ۰/۷ | (۰ - ۰ / ۳ - ۱) | (۳۹۳۸-۹۹۸۷-۱۶۲۸۶) | ۰/۳۲۹ | ۰/۲۳۰۳ |
| ۰/۸ | (۰ - ۰ / ۴ - ۱) | (۴۱۲۶-۹۸۸۶-۱۶۰۷۶) | ۰/۳۲۸ | ۰/۲۴۳ |
| ۰/۹ | (۰ - ۰ / ۴ - ۱) | ((۴۱۲۶-۹۸۸۶-۱۶۰۷۶)) | ۰/۳۲۸ | ۰/۲۸۰ |
| ۱ | (۲ - ۰ / ۳ - ۰) | (۳۷۹۳-۹۸۳۵-۱۵۹۹۴) | ۰/۳۰۵ | ۰/۳۰۵ |

ماخذ: یافته‌های تحقیق

جدول ۱۰. سطح دستیابی به اهداف در جواب بهینه و حداقل سطوح دستیابی مشخص شده

| هدف | سطح دستیابی به اهداف | حداقل سطح دستیابی |
|-----|----------------------|-------------------|
| SC1 | (۳/۴-۴-۴/۴) | (۱/۲-۹۸۹/۳-۳/۷) |
| SC2 | (۲/۴-۴/۴-۴/۴) | (۱/۲-۱/۹۸۹-۲/۹۷۹) |
| SC3 | (۴-۴/۵-۶/۳) | (۰/۹-۱/۷۰۱-۲/۶۰۱) |

ماخذ: یافته‌های تحقیق

۷. نکاتی در زمینه مدل پیشنهادی

در استفاده از مدل فوق باید نکات زیر را مورد توجه قرار داد:

۱- اندازه و تقاضای بازار تاثیر مستقیم در نوع و تعداد خرید ماشین‌آلات دارد و همواره باید این سوال در ذهن تصمیم‌گیرندگان باشد که آیا بازار مصرف، می‌تواند ظرفیت اضافی ناشی استفاده از تکنولوژی‌های جدید را جذب کند.

۲- روابط متقابل بین گزینه‌های مختلفی که خریداری می‌شوند باید به دقت مورد توجه قرار گیرد. ممکن است استفاده از یک نوع ماشین و یا تکنولوژی ویژه، نیاز به بهره‌برداری از ماشین‌آلات دیگری را الزامی کند.

۳- در تمام مقاله فرض شده است که تاثیر ماشین‌آلات در دستیابی به اهداف شرکت به صورت خطی است هر چند که می‌توان این مدل را براحتی در حالتی که تاثیر گزینه‌ها در دستیابی به اهداف شرکت به صورت غیر خطی باشد توسعه داد.

۸. نتیجه‌گیری

رشد فزاینده تقاضای مشتریان و افزایش رقابت، شرکت‌های تولیدی را به استفاده از ماشین‌آلات و تکنولوژی‌های پیشرفته تولید سوق داده است. سرمایه‌گذاری در تکنولوژی‌های پیشرفته تولید به دلیل ویژگی‌های متمایزی که با ماشین‌آلات سنتی تولید دارند غالباً با وسواس و دقت بیشتری پیگیری می‌شود. از طرف دیگر با توجه به گستره وسیع این ماشین‌آلات که امروزه در دسترس می‌باشد و هزینه‌های زیاد خرید این نوع تجهیزات، تعیین نوع ماشین‌آلات مناسب و تعداد خرید از آنها برای یک تولیدکننده اهمیت زیادی دارد. در این مقاله به ارائه مدلی برای تعیین تعداد ماشین‌آلات تولیدی پرداختیم که علاوه بر در نظر گرفتن معیارهای اقتصادی، اهداف استراتژیک و بلندمدت شرکت را نیز مدنظر قرار می‌دهد. هدف از مدل حاضر، حداکثر کردن ارزش فعلی سرمایه‌گذاری شرکت بر روی ماشین‌آلات پیشرفته است به طوری که به حداقل سطوح تعیین شده اهداف استراتژیک خود دست پیدا کند.

منابع و مآخذ

اسکونژاد، محمدمهدی (۱۳۷۹)، اقتصاد مهندسی، انتشارات دانشگاه امیرکبیر، صص ۳۵۵-۳۱۱.
زارع مهرجردی، یحیی؛ حسن رسایی و علی اکبر قاسمی گجوان (۱۳۸۹)، ارزیابی تکنولوژی‌های پیشرفته تولید با استفاده از مدل ترکیبی برنامه‌ریزی احتمالی و تصمیم‌گیری چند معیاره فازی. مدیریت تولید و مهندسی صنایع، ۲۱(۴)، ۱۱۸-۱۳۰.

Boyer, K.K., Ward, P.& Leong, G.K.(1996), "Approaches to the factory of the future: An empirical taxonomy", Journal of Operations Management, vol. 14, pp.297-314.

Chang, T. H. & Wang T.Ch(2009), "Measuring the success possibility of implementing advanced manufacturing technology by utilizing the consistent fuzzy preference relations", Expert System with Applications, vol.36, pp. 4313-4320.

Chen, S.M(1995), "Investment justification of advanced manufacturing technology: an empirical analysis" Journal of Engineering and Technology Management, vol.12, pp. 27-55.

Chiu, C.Y. & Park, .S.C(1994), "Fuzzy cash flow analysis using present worth criterion", The engineering economics, vol. 39(2), pp. 113-138.

Chu, S.J(2009), "Group decision-making model using fuzzy multiple attributes analysis for the evaluation of advanced manufacturing technology", Fuzzy Sets and Systems, vol. 160, pp. 586-602.

Duran, O. & Aguilo, J (2008), "Computer-aided machine-tool selection based on a fuzzy-AHP approach" Expert System with Application, vol. 34, pp. 1787-1794.

Jimenez.M, Arenas.M, Bilbao.A, Rodriguez.M.V(2007), "Linear programming with fuzzy parameters': An interactive method resolution". Vol.177, pp.1599-1609.

Karsak, E.E. & Tolga, E. (2001), "Fuzzy multi-criteria decision-making procedure for evaluating advanced manufacturing system investments", *International Journal of Production Economics*, vol. 69, pp. 49-64.

Karsak, E.E. Kuzgunkaya, O. (2002), "A fuzzy multiple objective programming approach for selection of a flexible manufacturing system", *International Journal of Production Economics*, vol. 79, pp. 101-111.

Lai, Y.-L., Hwang, C.-L. (1994), "Fuzzy Multiple Objective Decision Making", Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg.

Ordoobadi S.M., & Mulvaney N.J. (2001), "Development of a justification tool for advanced manufacturing technologies: system-wide benefits value analysis", *Journal of Engineering and Technology Management*, vol. 18, pp. 157-184.

Percival, J.C & Cozzarin, B.P. (2010), "Complementarities in the implementation of advanced manufacturing technologies" *Journal of High Technology Management Research*, vol 21, pp. 122-135.

Perego, A. & Angone, A. (1998), "A reference framework for the application of MADM fuzzy technique to selection AMTS" *International journal of production research*, vol. 36(2), pp. 437-458.

Rommelfanger, H. & Slowinski, R. (1994), "Fuzzy linear programming with single or multiple objective functions". In: Slowinski, R. (Ed.). *Fuzzy Sets in Decision Analysis, Operation Research and Statistics*. Kluwer Academic Publishers, Boston.

Yurdakul, M. (2004), "Selection of computer-integrated manufacturing technologies using a combined analytic hierarchy process and goal programming model", *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, vol. 20, pp. 329-340.