

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: ۱۳۹۱/۱۰/۹

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 به عنوان ضرایب تکنولوژیکی و حداقل سطوح دستیابی به اهداف به عنوان مقادیر سمت راست در محدودیت مربوط به حداقل سطوح دستیابی به اهداف لحاظ می‌شوند. علاوه‌بر 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 به طوریکه 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 به صورت 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 به طور

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 اگرچه جذاب اما دارای ریسک زیادی می‌باشد (Chen, 1995, Chu, 2009).

سرمایه‌گذاری در این سیستمها به حاطر ویژگی‌های متمایزی که با سیستمها تولید سنتی دارد، غالباً با وسوس 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 غیرملموس، افزایش بازگشت سرمایه با گذشت زمان، (Ordoobadi and Mulvaney, 2001). این ویژگی‌ها سبب شده است تا توجیه سرمایه‌گذاری در سیستم‌های پیشرفته تولید، با استفاده از تکنیک‌های مرسوم اقتصاد مهندسی دشوار شود و اغلب اوقات کارشناسان برای توجیه این سیستمها از دیگر روشهای توجیه سرمایه‌گذاری نیز استفاده کنند. روشهای و تکنیک‌های مورداستفاده برای توجیه سرمایه‌گذاری در تکنولوژی‌های پیشرفته تولید توسط دران و آجیلو مطرح گردیده است (Duran and Aguiló, 2008). آنها این تکنیک‌ها را به روشهای اقتصادی، استراتژیکی و تحلیلی دسته‌بندی و معایب و مزايا هر کدام را بیان کرده‌اند.

۲. مبانی نظری و پیشینه تحقیق

در مرحله توجیه 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 توجیه مالی مرسوم، مانند روشهای بازگشت سرمایه، دوره بازگشت و ارزش فعلی، اذعان داشته‌اند (Karsak and Tolga, 2001; Karsak and Kusgunkaya, 2002) بهمن دلیل در برخی از مقالات، با ادغام منافع کمی و غیرکمی، از رویکردهای ترکیبی برای توجیه 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 منجربه بازگشت سرمایه زیادی می‌شود. (Percival. and Cozzarin, 2010) چانگ و وانگ رویکردی را برای پیش‌بینی امکان موقوفت 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 Aguiló, 2008).

یرداکول از یک مدل ترکیبی تحلیل سلسله‌مراتبی AHP و برنامه‌ریزی آرمانی برای انتخاب مناسب‌ترین گزینه تکنولوژی‌های ساخت یکپارچه کامپیوتی (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 را 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؛ به طوریکه نیاز نیست سرمایه‌گذار هیچ کدام از پارامترهای مورد نیاز در مدل را به طور 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 به صورت 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 وسیع تر می‌کند. ۳- استفاده از رویکرد تعاملی جیمنتز (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، به طوریکه 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 به طوریکه 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 پیش نیازی و روابط مقابل 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 آورن ارزش فعلی خالص هر کدام از گزینه‌ها.
- ۴- فرمول‌بندی برنامه‌ریزی خطی فازی.

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

برنامه‌ریزی خطی فازی زیر را در نظر بگیرید.

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

در حالیکه $\tilde{c} = (c_1, \dots, c_n)$ اعداد فازی هستند و بردار $\tilde{A} = [\tilde{a}_{ij}]_{m \times n}$ و $\tilde{b} = (b_1, \dots, b_m)$ به عنوان یک راه حل برای این مسئله به صورت غیرفازی می‌باشد. در مورد حل این مدل باید به دو سوال زیر پاسخ داده شود:

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

۲- چگونه بهینگی بردار x را در تابع هدف در حالیکه 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 موردبحث در این مقاله، استفاده از رویکرد تعاملی جیمتر (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 به صورت تعاملی شرکت کرده و نظراتش را به صورت 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 در حالیکه کلیه اعداد فازی به صورت مثالی باشند تشریح شده است.

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

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

اگر $\tilde{d} = (d_1, d_2, d_3)$ یک عدد فازی مثالی باشد، آنگاه مقادیر E1 و E2 به صورت زیر تعریف می‌شود.

$$E_1^d = \frac{d_1+d_2}{2}, E_2^d = \frac{d_2+d_3}{2} \quad (3)$$

برای درجات شدنی بودن جواب (α) در این مقاله از رویکرد کافمن و جولیا (Jimeneze et al., 2007) استفاده شده است. البته واضح است که با توجه 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.

$$\tilde{z}^0(\alpha_k) = \tilde{c}x^0(\alpha_k) \quad (4)$$

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 $\tilde{G} \leq z$ هدفش به طور کامل برآورده می‌شود، اما اگر $\tilde{G} \leq z$ سطح دستیابی به هدفش صفر خواهد بود. بنابراین هدف را می‌توان توسط یک مجموعه فازی با تابع عضویت زیر مشخص کرد.

$$\mu_{\tilde{G}}(z^0(\alpha)) = \begin{cases} 0 & \text{if } z \geq \tilde{G} \\ \lambda \in [0,1] & \text{Decreasing on } \tilde{G} \leq z \leq \bar{G} \\ 1 & \text{if } z \leq \bar{G} \end{cases} \quad (5)$$

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

$$K_{\tilde{G}}(z^0(\alpha)) = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} \mu_{\tilde{z}^0(\alpha)}(z) \cdot \mu_{\tilde{G}}(z) dz}{\int_{-\infty}^{\infty} \mu_{\tilde{z}^0(\alpha)}(z) dz} \quad (6)$$

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

بالغایش درجه شدنی بودن یک راه حل، درجه ارضاء هدف فازی \tilde{G} توسط آن راه حل کاهش می‌یابد. به عبارت دیگر بالغایش درجه شدنی بودن، با مقادیر تابع هدف بدتری مواجه می‌شویم. بنابراین تصمیم‌گیرنده باید راه حل متعادلی را بین دو هدف متناقض انتخاب کند. اگر \tilde{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 راه حل $(\alpha)x^0$ در این مجموعه از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$\mu_{\tilde{D}}(x^0(\alpha_k)) = \alpha_k \times K_{\tilde{G}}(\tilde{z}^0(\alpha_k)) \quad (7)$$

پس از محاسبه درجه عضویت راه حل های مختلف در مجموعه فازی \tilde{D} ، راه حلی بایشترین درجه عضویت براساس رابطه زیر به عنوان راه حل بهینه رابطه (۱) انتخاب خواهد شد.

$$\mu_{\tilde{D}}(x^*) = \text{Max}_{\alpha_k \in M} \{\alpha_k \times K_{\tilde{G}}(\tilde{z}^0(\alpha_k))\} \quad (8)$$

در رابطه فوق M مجموعه‌ای مشکل از مقادیر مختلف α مورد بررسی 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 به عنوان اهداف استراتژیک و بلندمدت شرکت معرفی می‌کند و همچنین گزینه‌های Al_j ($j=1,2,\dots,m$) را به عنوان گزینه‌های امکان‌پذیر برای دستیابی به این اهداف مدنظر دارد. لازم به ذکر است که در مدل موردنظر در این مقاله فرض کردہ‌ایم در تمام مراحل یک تصمیم‌گیرنده وجود دارد. بدینهی است که مدل ذکر شده را در حالتی که چند تصمیم‌گیرنده وجود دارد می‌تواند به راحتی 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 به صورت ضربی 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، \tilde{b}_i را به صورت یک عدد فازی و به عنوان حداقل سطوح دستیابی به هدف آم 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 $\{W_i, VL_i, L_i, M_i, H_i, VH_i\}$ بیان می‌کند.

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

$$\widetilde{W}_i = (a_i, b_i, c_i), \forall i \quad (9)$$

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

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

۴. تعیین تأثیر هر گزینه در دستیابی به اهداف

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

معادل فازی برای متغیر کلامی که تصمیم‌گیرنده، برای تأثیرهای واحد از گزینه زام را در دستیابی به هدف آم بیان می‌کند با \tilde{A}_{ij} نمایش داده و به‌وسیله رابطه زیر بیان می‌شود.

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

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

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 زام در دوره آم	$\tilde{i}_{rt} = (i_{rta}, i_{rtb}, i_{rtc})$	نرخ بهره واقعی در دوره آم
IC_j	هزینه‌های اولیه ماشین زام	$\widetilde{i}_{ct} = (i_{cta}, i_{ctb}, i_{ctc})$	نرخ بهره ترکیبی در دوره آم
TR	نرخ مالیات	$\widetilde{f}_t = (f_{ta}, f_{tb}, f_{tc})$	نرخ تورم عمومی در دوره آم
D_{jt}	استهلاک ماشین ز در دوره t	$\widetilde{eR}_t = (eR_{ta}, eR_{tb}, eR_{tc})$	نرخ تورم در آمدها در دوره آم
SV_j	ارزش اسقاط ماشین j	$\widetilde{eC}_t = (eC_{ta}, eC_{tb}, eC_{tc})$	نرخ تورم هزینه‌ها در دوره آم
L_j	عمر مفید گزینه زام	$\widetilde{R}_{jt} = (R_{jta}, R_{jtb}, R_{jtc})$	در آمد حاصل از گزینه زام در دوره آم

تحلیل جریان نقدی تنزیل شده فازی اخیراً توسط بسیاری از نویسندها از جایگزینی برای مدل‌های جریان نقدی مرسوم که در آنها جریان‌های نقدی و نرخ بهره ثابت در نظر گرفته می‌شوند یا توسط توزیع‌های احتمالی بیان می‌شوند، مورد استفاده قرار گرفته است (Karsak and Tolga, 2001; Perego, 1994 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 آام 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.

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

و θ به ترتیب نمادهای ضرب، جمع و تفریق در محیط فازی هستند. برای تعاریف مربوط به ضرب و جمع فازی به پیوست ۱ مراجعه کنید. باتوجه به روابط مربوط به 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 $(a, a, a) = \tilde{a}$ در نظر گرفت.

رابطه ۱۳ از سه قسمت تشکیل شده است. قسمت اول \widetilde{IC} هرینه اولیه طرح است و می‌توان آنرا به صورت (IC, IC, IC) نمایش داد و در واقع یک عدد غیر فازی می‌باشد. نرخ بهره ترکیبی در دوره آام است به صورت زیر محاسبه می‌شود.

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

باتوجه به تعریف ضرب و جمع فازی می‌توانیم بنویسیم:

$$\widetilde{i}_{ct} = (i_{rta} + f_{ta} + i_{rta} \times f_{ta}, i_{rtb} + f_{tb} + i_{rtb} \times f_{tb}, i_{rtc} + f_{tc} + i_{rtc} \times f_{tc}) \quad (15)$$

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

$$\widetilde{S.V} \otimes \prod_{t=1}^N (1 + \tilde{f}_t) \otimes (1 + \tilde{\iota}_{ct})^{-1} = \left(\frac{SV \times \prod_{k=1}^L (1 + f_{ka})}{\prod_{k=1}^L (1 + i_{ctc})}, \frac{SV \times \prod_{k=1}^L (1 + f_{kb})}{\prod_{k=1}^L (1 + i_{ctb})}, \frac{SV \times \prod_{k=1}^L (1 + f_{kc})}{\prod_{k=1}^L (1 + i_{cta})} \right) \quad (16)$$

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

$$R_t \otimes \prod_{k=1}^t (1 + e_{Rk}) = (R_{ta} \prod_{k=1}^t (1 + e_{Rka}), R_{tb} \prod_{k=1}^t (1 + e_{Rkb}), R_{tc} \prod_{k=1}^t (1 + e_{Rkc})) \quad (17)$$

$$\tilde{C}_t \otimes \prod_{k=1}^t (1 + \tilde{e}_{ck}) = (C_{ta} \prod_{k=1}^t (1 + e_{cka}), C_{tb} \prod_{k=1}^t (1 + e_{ckb}), C_{tc} \prod_{k=1}^t (1 + e_{ckc})) \quad (18)$$

جريان مالی بعد از کسر مالیات در دوره t ام برابر است با:

$$\widehat{CFAT}_t = (\tilde{R}_t \otimes \prod_{k=1}^t (1 + \tilde{e}_{rk}) \theta C_t \otimes \prod_{k=1}^t (1 + \tilde{e}_{ck})) \otimes (1 - TR) \oplus \widetilde{D} \otimes \widetilde{TR} \quad (19)$$

$$\widehat{CFAT}_t = (CFAT_{ta}, CFAT_{tb}, CFAT_{tc}) \quad (20)$$

$$CFAT_{ta} = (R_{ta} \times \prod_{k=1}^t (1 + e_{Rka}) - C_{tc} \times \prod_{k=1}^t (1 + e_{ckc})) \times (1 - TR) + D \times TR$$

$$CFAT_{tb} = (R_{tb} \times \prod_{k=1}^t (1 + e_{Rkb}) - C_{tb} \times \prod_{k=1}^t (1 + e_{ckb})) \times (1 - TR) + D \times TR$$

$$CFAT_{tc} = (R_{tc} \times \prod_{k=1}^t (1 + e_{Rkc}) - C_{ta} \times \prod_{k=1}^t (1 + e_{cka})) \times (1 - TR) + D \times TR \quad (21)$$

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

$$\widehat{CFAT}_t \otimes \prod_{k=1}^t (1 + \tilde{\iota}_{ck})^{-1} = \left(\frac{CFAT_{ta}}{\prod_{k=1}^t (1 + i_{ckc})}, \frac{CFAT_{tb}}{\prod_{k=1}^t (1 + i_{ckb})}, \frac{CFAT_{tc}}{\prod_{k=1}^t (1 + i_{cka})} \right) \quad (22)$$

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

$$\widehat{CFAT}_t \otimes \prod_{k=1}^t (1 + \tilde{\iota}_{ck})^{-1} = \left(\frac{CFAT_{ta}}{\prod_{k=1}^t (1 + i_{ckc})}, \frac{CFAT_{tb}}{\prod_{k=1}^t (1 + i_{ckb})}, \frac{CFAT_{tc}}{\prod_{k=1}^t (1 + i_{cka})} \right) \quad (23)$$

بنابراین حاصل عبارت سوم در رابطه ۱۳ برابر می‌شود با:

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

با مشخص شدن نحوه محاسبه سه عبارت رابطه ۱۳، اکنون می‌توانیم با جمع فازی آها حاصل رابطه ۱۳ محاسبه کرده و ارزش فعلی خالص طرح را بدست آوریم. در قسم بعدی مدل ارائه شده، باید ارزش فعلی خالص هر کدام از گزینه‌ها محاسبه شود. مقادیر ارزش فعلی خالص هر گزینه به عنوان 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 آن را به صورت 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 آن را به صورت یک عدد فازی مثلثی در نظر می‌گیریم. درآمدهای حاصل از هر ماشین در هر سال نیز یک عدد فازی مثلثی می‌باشد. فرض کردۀایم 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 باشد، تابع هدف مدل را می‌توان به صورت زیر نوشت.

$$\begin{aligned} \widetilde{NPW} = & - \sum_{j=1}^m x_j \widetilde{IC}_j \oplus \sum_{j=1}^m x_j \widetilde{S.V}_j \otimes \prod_{t=1}^{L_j} (\widetilde{1} \oplus \widetilde{f}_t) \otimes (\widetilde{1} \oplus \widetilde{i_{ct}})^{-1} \oplus \\ & \sum_{j=1}^m \sum_{t=1}^{L_j} x_j \left(\left[\widetilde{R}_t \otimes \prod_{k=1}^t (\widetilde{1} \oplus \widetilde{e_{Rk}}) \theta \widetilde{C}_t \times \prod_{k=1}^t (\widetilde{1} \oplus \widetilde{e_{Ck}}) \right] \right. \\ & \quad \left. \otimes (1 - \widetilde{TR}) \oplus \widetilde{D}_t \otimes \widetilde{TR} \right. \\ & \quad \left. \otimes \prod_{t=1}^{L_j} (\widetilde{1} \oplus \widetilde{i_{ct}})^{-1} \right) \end{aligned} \quad (25)$$

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 \tilde{b}_i به عنوان حداقل سطح دستیابی به هدف A_m ($i=1,\dots,n$) و \tilde{A}_{ij} به عنوان تاثیر هر واحد از گزینه Z_m ($j=1,\dots,m$) در دستیابی به هدف A_m در قالب متغیرهای کلامی و توسط تصمیم‌گیرندگان مشخص گردید. بنابراین برای هر هدف باید محدودیت زیر را لحاظ کنیم:

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

ب- محدودیت مربوط به گزینه‌های ناسازگار

گزینه‌های ناسازگار^۱ دو و یا چند گزینه امکان‌پذیر هستند که حداقل 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.

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

зای یک متغیر صفر و یک است که اگر از دستگاه Z_m 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 پیش نیازی

در بسیاری از موارد ممکن است استفاده از یک دستگاه، نیاز به بهره‌برداری و خرید یک سری از ماشین آلات 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 A_i روابط پیش‌نیازی برقرار باشد به این معنا که دستگاه Z بدون استفاده از دستگاه A 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

۵- محدودیت مربوط به سرمایه‌گذاری اولیه روی ماشین‌آلات و هزینه‌های سالانه

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.

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

همچنین بودجه سالانه در نظر گرفته شده برای هزینه‌های تعمیرات و نگهداری ماشین‌آلات و بهروز 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 ، توسط مجموع ماشین‌آلات خریداری شده، از مقدار TB_t کمتر باشد. این محدودیت را می‌توان به صورت زیر در مدل لحاظ کرد:

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

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

$$\begin{aligned}
 Max \quad & \widehat{NPW} = - \sum_{j=1}^m x_j \widetilde{IC}_j \oplus \sum_{j=1}^m x_j \widetilde{S.V}_j \otimes \prod_{t=1}^{L_j} (\widetilde{I} \oplus \widetilde{f}_t) \otimes (\widetilde{I} \oplus \widetilde{\iota}_{ct})^{-1} \\
 & \oplus \sum_{j=1}^m \sum_{t=1}^{L_j} x_j [(\widetilde{R}_t \otimes \prod_{k=1}^t (\widetilde{I} \oplus \widetilde{e}_{Rk})) \theta \widetilde{C}_t \times \prod_{k=1}^t (\widetilde{I} \oplus \widetilde{e}_{Ck})] \\
 & s.t. \\
 & \sum_{j=1}^n \widetilde{A}_{ij} x_j \geq \widetilde{b}_j \quad , \quad \forall i \\
 & x_j \leq M y_j \quad , \quad j \in MES \\
 & \sum_{j \in MES} y_j \leq 1 \\
 & \sum_{j=1}^n x_j \widetilde{C}_{jt} \leq TB_t \quad , \quad \forall t \\
 & \sum_{j=1}^n x_j I C_j \leq TIB \quad , \quad x_j \in \{0,1,2,\dots\}, \quad y_j \in \{0,1\} \quad , \quad \forall j
 \end{aligned} \quad (31)$$

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 ماشین آلات پیشرفته تولیدی را خریداری کند. مدیران این شرکت حداقل سطوح دستیابی به آنها چهار گزینه را به عنوان گزینه‌های امکان‌پذیر برای سرمایه‌گذاری مشخص کرده‌اند. گزینه‌های موردنظر و پیشگویی‌های آنها را می‌توان در جدول ۳ ملاحظه کرد. کارشناسان تشخیص داده‌اند که از میان دو ماشین ۲ و ۳ تنها به خرید یکی نیاز است. همچنین این شرکت نمی‌خواهد بیشتر از ۷۰۰۰ 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 ۲۱٪ و ۱۷٪) 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 تولید کننده‌های معترض باشد
SC2	ورود به بازارهای منطقه (صادرات به کشورهای حوزه خلیج فارس)
SC3	افزایش حجم و تنوع تولیدات و کاهش زمان پاسخ گویی به تقاضای مشتریان

مانند: یافته‌های تحقیق

جدول ۳. گزینه‌های مورد نظر و پیشگوی آنها

ماشین	هزینه اولیه (هزار ریال)	ارزش اسقاط	عمر مفید
۱	۲۰.....	۱۲.....	۴
۲	۱۵.....	۱۲.....	۵
۳	۱۵.....	۱۵.....	۵
۴	۳۰.....	۱۸.....	۶

مانند: 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

مانند: یافته‌های تحقیق

جدول ۵. هزینه‌های سالیانه ماشین آلات

M4	M3	M2	M1	ماشین/سال
(۷۰-۵۵-۴۵)	(۹۵-۸۵-۶۵)	(۹۵-۸۵-۷۵)	(۸۵-۷۵-۶۵)	۱
(۷۵-۶۴-۵۵)	(۱۱۰-۹۵-۹۵)	(۱۱۰-۹۵-۹۰)	(۱۲۰-۱۰۵-۹۰)	۲
(۸۰-۷۵-۶۰)	(۱۱۵-۱۱۰-۱۰۵)	(۱۴۰-۱۲۰-۱۰۵)	(۱۷۵-۱۶۵-۱۴۵)	۳
(۹۵-۸۵-۷۵)	(۱۴۵-۱۳۵-۱۲۶)	(۱۶۵-۱۵۰-۱۳۵)	(۲۰۰-۱۸۵-۱۷۰)	۴
(۹۵-۸۵-۷۵)	(۱۶۰-۱۴۸-۱۴۲)	(۱۸۵-۱۸۰-۱۵۵)	-	۵
(۱۲۰-۱۱۰-۸۰)	-	-	-	۶

مانند: یافته‌های تحقیق

جدول ۶. هزینه‌های سالیانه ماشین آلات

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

مانند: یافته‌های تحقیق

جدول ۷. درآمدهای سالیانه ماشین آلات

M1	M2	M3	M4	ماشین
(۱۵۸۰-۱۶۵۰-۱۷۵۰)	(۱۲۴۰-۱۳۵۰-۱۴۰۰)	(۱۱۰۰-۱۱۰۰-۱۱۰۰)	(۱۱۰۰-۱۱۰۰-۱۱۰۰)	۱
(۱۶۹۰-۱۷۹۰-۱۸۷۰)	(۱۴۵۰-۱۵۵۰-۱۶۵۰)	(۱۲۵۰-۱۲۷۰-۱۳۰۰)	(۱۲۰۰-۱۱۲۵۰-۱۳۰۰)	۲
(۱۴۵۰-۱۵۵۰-۱۶۵۰)	(۱۵۶۰-۱۶۷۰-۱۷۷۰)	(۱۱۳۰-۱۲۰۰-۱۲۵۰)	(۹۵۰-۱۱۰۰-۱۱۵۰)	۳
(۱۲۵۰-۱۳۵۰-۱۴۰۰)	(۱۴۵۰-۱۵۵۰-۱۶۶۰)	(۱۰۴۰-۱۱۰۰-۱۲۰۰)	(۷۸۰-۸۹۰-۹۵۰)	۴
(۱۰۵۰-۱۱۵۰-۱۱۲۰)	(۱۱۰۰-۱۲۵۰۰-۱۳۰۰)	(۹۵۰-۱۰۵۰-۱۱۰۰)	-	۵
(۱۰۵۰-۱۱۵۰-۱۱۲۰)	-	-	-	۶

مانند: یافته‌های تحقیق

فرض می‌کنیم تصمیم‌گیرنده هدفش در مورد حداکثر کردن ارزش فعلی سرمایه‌گذاری برای مقادیر بیشتر از ۱۴۵۰۰ به طور 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.

$$\mu_{\bar{G}}(z^0(\alpha)) = \begin{cases} 0 & \text{if } z \leq 8500 \\ \frac{x-8500}{6000} & \text{decreasing on } G \leq z \leq \bar{G} \\ 1 & \text{if } z \geq 14500 \end{cases} \quad (۳۲)$$

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)

مانند: 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 می‌باشد). مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح حاصله به صورت زیر می‌باشد:

$$\begin{aligned}
 & \text{Max } 1303x_1 + 1804x_2 + 2419x_3 + 2792x_4; \\
 \text{s.t. } & [0.4\alpha + (1 - \alpha)0.6]x_1 + [0.7\alpha + (1 - \alpha)0.9]x_2 + [0.9\alpha + (1 - \alpha)]x_3 + \\
 & [0.4\alpha + (1 - \alpha)0.6]x_4 \geq 3 \times [0.35(1 - \alpha) + 0.65\alpha]; \\
 & [0.4\alpha + (1 - \alpha)0.6]x_1 + [0.7\alpha + (1 - \alpha)0.9]x_2 + [0.7\alpha + 0.9(1 - \alpha)]x_3 + \\
 & [0.7\alpha + (1 - \alpha)0.9]x_4 \geq 3 \times [0.6(1 - \alpha) + 0.85\alpha]; \\
 & [0.7\alpha + (1 - \alpha)0.9]x_1 + [0.7\alpha + (1 - \alpha)0.9]x_2 + [0.9\alpha + 1(1 - \alpha)]x_3 + \\
 & [0.1\alpha + (1 - \alpha)0.3]x_4 \geq 3 \times [0.85(1 - \alpha) + \alpha]; \\
 & x_j \leq My_j \quad j = 1, 2, 3, 4; \\
 & y_2 + y_3 \leq 1; \\
 & 1200x_1 + 1200x_2 + 1500x_3 + 1800x_4 \leq 7000; \\
 & x_j \in \{0, 1, \dots\}; \quad y_j \in \{0, 1\}, \quad j = 1, 2, 3, 4
 \end{aligned} \quad (۳۳)$$

$$\begin{aligned}
 & \text{Max } (482,1307,2117)x_1 + (754,1780,2888)x_2 + (943,2407,3920)x_3 + \\
 & \quad (1108,2767,4242)x_4; \\
 & \text{s.t } (0.3,0.5,0.7)x_1 + (0.6,0.8,1)x_2 + (0.8,1,1)x_3 + (0.3,0.5,0.7)x_4 \\
 & \quad \geq 3 \otimes (0.2,0.5,0.8); \\
 & (0.3,0.5,0.7)x_1 + (0.6,0.8,1)x_2 + (0.6,0.8,1)x_3 + (0.6,0.8,1)x_4 \\
 & \quad \geq 3 \otimes (0.5,0.7,1); \\
 & (0.6,0.8,1)x_1 + (0.6,0.8,1)x_2 + (0.8,1,1)x_3 + (0.0,0.2,0.4)x_4 \\
 & \quad \geq 3 \otimes (0.7,1,1); \\
 & x_j \leq My_j \quad j = 1,2,3,4; \\
 & y_2 + y_3 \leq 1; \\
 & 1200x_1 + 1200x_2 + 1500x_3 + 1800x_4 \leq 7000; \\
 & x_j \in \{0,1,\dots\}; \quad y_j \in \{0,1\}, \quad j = 1,2,3,4
 \end{aligned}$$

در مرحله بعد درجات شدنی بودن مختلف جواب، توسط تصمیم‌گیرنده مطابق آنچه که در ستون ۱ جدول ۱۳ آمده مشخص شده است. در هر سطح شدنی بودن، مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح این مثال را به کمک نرم‌افزار Lingo12 حل شده و نتایج در ستون ۲ جدول ۱۳ آورده شده است. به عنوان مثال در سطح شدنی بودن $\frac{1}{6}$ ، جواب بهینه به صورت 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 متاظر با هر کدام از جواب‌ها شدنی در سطح α و (α) z^0 را نشان می‌دهد و می‌توان آنرا مطابق رابطه ۵ در هر سطح شدنی محاسبه کرد. $(z^0(a), k_{\tilde{G}}(z^0(a)))$ درجه ارضای هدف فازی \tilde{G} توسط راه حل شدنی در سطح α ، براساس رابطه ۷ محاسبه شده است. همانطور که قبلاً نیز ذکر شد با افزایش α ، درجه ارضاء هدف فازی تصمیم‌گیرنده، توسط آن راه حل کاهش می‌یابد (جدول ۹). ستون ۵ جدول $(z^0(a), k_{\tilde{G}}(z^0(a)))$ درجه عضویت راه حل 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 به دلیل ویژگی‌های نسبتاً مشابه گزینه‌های مختلف مقادیر $k_{\tilde{G}}(z^0(a))$ بسیار به هم نزدیک است. براساس رابطه ۹ جواب با بیشترین درجه عضویت در مجموعه \tilde{D} ، به عنوان راه حل بهینه انتخاب خواهد شد. در این مثال این جواب متاظر با $\alpha = 1$ ، یعنی سطر آخر جدول ۹ می‌باشد. بنابراین خرید دو واحد از ماشین ۱ و سه واحد از ماشین ۳ به عنوان 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 باشد در حالیکه مقادیر $(z^0(a))_{\tilde{G}}$ همواره با افزایش α کاهش می‌یابند (به توضیحات قسمت ۳ توجه کنید) اما مقادیر $(x^0(\alpha_k))_{\tilde{D}}$ 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	$x^0(\alpha)$	$z^0(\alpha)$	$K_{\tilde{G}}(z^0(\alpha))$	$\mu_{\tilde{D}}(x^0(\alpha_k))$
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

مانند: یافته‌های تحقیق

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

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

مانند: 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 تصمیم‌گیرنده‌گان 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 بر احتی در حالتی که تاثیر گزینه‌ها در دستیابی به اهداف شرکت به صورت غیرخطی 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 وسوس 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 تولید کننده 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 طوریکه به حداقل سطوح تعیین شده اهداف استراتژیک خود دست پیدا کند.

منابع و مأخذ

اسکونزاد، 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. & Aguiló, 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, Rx(1994), " Fuzzy linear programming with single or multiple objective functions". In: Slowinski, R. (Ed.). Fuzzy Sets in Decision Analysis, Operation Research and Statistics. Kuwler 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.