



ارائه روش شبیه‌سازی تبرید فازی^۱ بر پایه مدل برنامه‌ریزی شناس^۲ برای مسائل بودجه‌بندی

پگاه مرادیان بروجنی، سپیده فریدونی و یحیی زارع مهرجردی

چکیده:

با توجه به وجود ابهام در فرآیند مالی پژوهه‌ها، مفاهیم فازی مبنای این مقاله را به خود اختصاص داده است و از برنامه‌ریزی شناس و روش شبیه‌سازی آنلینگ به عنوان وسیله‌ای جهت تعیین ارزش خالص فعلی^۳ چند پژوهه و درنهایت انتخاب اقتصادی‌ترین آنها بهره گرفته شده است. در این مقاله، هزینه‌های سرمایه‌گذاری و فرآیند مالی خالص سالانه به صورت فازی براساس مقدار اعتبار^۴ درنظر گرفته شد. مدل با استفاده از شبیه‌سازی آنلینگ حل و سپس جهت اعتبارسنجی با نتایج حاصل از شبیه‌سازی فازی براساس الگوریتم زنتیک و روش شاخه و حد مقایسه گردید. نتایج نشان‌دهنده این موضوع است که الگوریتم زنتیک در ابعاد کوچک در مقایسه با شبیه‌سازی آنلینگ، دارای خطای کمتر و نتیجه بهتری است. لازم ذکر است که تمامی الگوریتم‌ها (شبیه‌سازی فازی و آنلینگ) با استفاده از نرم‌افزار MTLAB R2009a در کامپیوتر شخصی با 2.66GHz نوشته شده‌اند.

کلمات کلیدی:

بودجه‌بندی سرمایه‌ای،
ارزش خالص فعلی،
برنامه‌ریزی شناس،
شبیه‌سازی فازی،
شبیه‌سازی آنلینگ

پیشنهاد داد. تلاش‌های بعدی محققین بر این بود که ارتباط و کاربرد مدل پیشنهاد شده را در دنیای واقعی افزایش دهند^[۴]. در این راستا دو حالت بوجود آمد، در حالت اول، محققین براساس نظریه‌های احتمال از داده‌های گذشته به عنوان ابزاری مفید برای حل مسال بودجه‌بندی استفاده کردند^[۵-۷]. در حالت دوم اطلاعات نامعین و غیرکافی، محققین را برآن داشت که تئوری مجموعه‌های فازی را بکار گیرند، برای مثال، Avineri^[۸] میانگین وزنی فازی و یک مجموعه noncompensatory فازی روش‌های تصمیم را برای انتخاب پژوهه‌های حمل و نقل بکار گرفت. در حالاتی نیز از مفاهیم Fuzzy Simulated Annealing استفاده شده، به عنوان مثال ، Liu^[۹] درکتاب مفاهیم احتمالی استفاده شده، به عنوان مثال ، Liu & Iwamura^[۱۰] برنامه ریزی شناس احتمالی را با مفاهیم فازی توسعه داده و در مطالعات بعدی^[۱۱] Liu^[۱۱] برنامه ریزی شناس با مقدار اعتبار^۲ را برای مساله بودجه‌بندی سرمایه‌ای بکاربرد. در این مقاله نیز جهت حل مدل از برنامه‌ریزی شناس براساس مقدار اعتبار بهره‌گرفته شد. اعتبار، رویدادی فازی است که اولین بار

۱. مقدمه

در مسائل بودجه‌بندی سرمایه‌ای، هدف، انتخاب یک ترکیب مناسب از پژوهه‌های موجود جهت نمودن سود موسسه بازارگانی است [۲-۱]^[۳] یک مدل برنامه‌ریزی خطی با درنظر گرفتن متغیرهای باینری را به منظور انتخاب پژوهه‌هایی با ماکریم سود و با درنظر گرفتن محدودیت بودجه دردسترس

تاریخ وصول: ۸۹/۲/۱۸

تاریخ تصویب: ۸۹/۵/۲۶

پگاه مرادیان بروجنی، دانشجوی دوره کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی صنایع _دانشگاه بزد، pegah.moradian@gmail.com

سپیده فریدونی: دانشجوی دوره کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی صنایع _دانشگاه بزد، sepideh.fereidouni@gmail.com

دکتر یحیی زارع مهرجردی، استادیار دانشکده مهندسی صنایع _دانشگاه بزد، yazm2000@yahoo.com

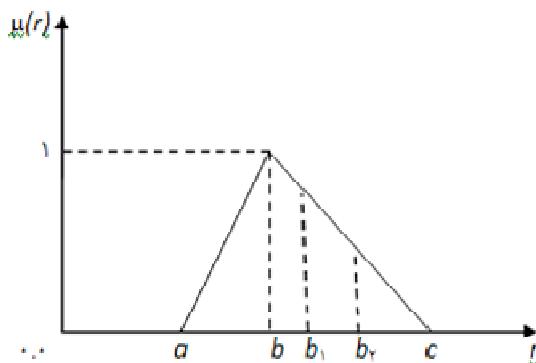
¹. Fuzzy Simulated Annealing

². Chance_Constrained Programming

³. Net Present Value

⁴. Credibility

دارد، بطوریکه عناصر این مجموعه‌ها به طور نسبی به مجموعه خود تعلق دارند [۱۵]. با توجه به استفاده از مفهوم اعتبار جهت مدلسازی، بیان مقدماتی جهت آشنایی با اندازه‌های دنیای فازی ضروری به نظر می‌رسد. در دنیای فازی،^۳ اندازه مهم وجود دارد: امکان، الزام^۲ و اعتبار. چنانچه متغیرهای موردنظر، فازی مثلثی با تابع عضویت $\mu(r)$ و سه تایی $(a, b, c) = \mu$ باشند، احتمال یک رویداد فازی، با r مشخص شده، به صورت زیر تعریف می‌شود [۱۶-۱۷]:



شکل ۱. یک متغیر فازی مثلثی $\xi = (a, b, c)$

$$Pos\{\xi \leq r\} = sup\mu(u) = \begin{cases} 0 & r \leq a \\ \frac{r-a}{b-a} & a \leq r \leq b \\ 1 & r \geq b \end{cases} \quad (1)$$

$$Nec\{\xi \leq r\} = 1 - Pos\{\xi > r\} = 1 - sup\mu(u) = \begin{cases} 0 & r \leq b \\ \frac{r-b}{c-b} & b \leq r \leq c \\ 1 & r \geq c \end{cases}, u > r \quad (2)$$

$$Cr\{\xi \leq r\} = \frac{1}{2}(Pos\{\xi \leq r\} + Nec\{\xi \leq r\}) = \begin{cases} 0 & r \leq a \\ \frac{r-a}{2(b-a)} & a \leq r \leq b \\ \frac{c-2b+r}{2(c-b)} & b \leq r \leq c \\ 1 & r \geq c \end{cases} \quad (3)$$

با توجه به خاصیت خود دوگانگی^۴ اعتبار و عدم وجود این خاصیت برای امکان و با درنظر داشتن اهمیت این موضوع در تئوری و عمل، اعتبار بر امکان ترجیح داده می‌شود. در واقع یک رویداد با

توسط Liu [۱۲] مطرح و پس از انجام تحقیقاتی مشخص گردید که جایگزین مناسبتری برای نشان دادن شانس امکان^۱ وقوع رویداد فازی است [۴] که این موضوع در قسمت دوم به طور خلاصه مورد بررسی قرار گرفته است. پس از توصیف مساله بودجه‌بندی و ارائه مدل جهت انتخاب ترکیب بهینه پژوهه‌ها در قسمت سوم، مدل برنامه‌ریزی شناس با پارامترهای مخارج سرمایه‌گذاری و فرآیندهای مالی خالص سالیانه فازی در قسمت چهارم آورده شده. در قسمت پنجم ضمن بیان مفاهیم شبیه‌سازی فازی و تبرید برای اثبات اعتبار مدل از داده‌های مثالی در مرجع شماره [۱] استفاده شده و مطابقت جواب بدست آمده از روش پیشنهادی در این تحقیق با نتایج حاصل از شبیه‌سازی فازی براساس الگوریتم ژنتیک و روش ساخته و حد موجود در مرجع [۱] اعتبار مدل را اثبات کرده است. لازم بذکر است که به علت احتمالی بودن مسئله جواب‌ها مقداری با یکدیگر متفاوتند.

دلیل دیگر این تفاوت را می‌توان در الگوریتم ارائه شده (SA) یافت. به عنوان مثال روش انتخاب جواب اولیه، ثابت بودن پارامترهای اولیه (ضریب کاهش دما، طول زنجیره مارکوف) و ابعاد کوچک مساله عامل‌های ایجاد تفاوت به حساب می‌آیند. و در پایان به بیان جمع‌بندی و نتیجه‌گیری، پرداخته شده است.

نوآوری مسئله

در این قسمت به طور مختصر نوآوری این مسئله بررسی شده است. در واقع مسئله‌ی جدید در اینجا درنظر گرفتن متغیرهای فازی در یک محیط احتمالی برای انتخاب اقتصادی‌ترین پژوهه با درنظر گرفتن یک مدل سرمایه‌گذاری با محدودیت برنامه‌ریزی شناس است که سپس با استفاده از روش شبیه‌سازی فازی براساس SA حل شده است. شاید بتوان نوآوری دیگر این مقاله را استفاده از شبیه‌سازی فازی در انتخاب اقتصادی‌ترین پژوهه‌ها دانست. اگرچه شبیه‌سازی فازی تنها یک محاسبه تخمینی را نتیجه می‌دهد اما برای زمانی که مقادیر تابع هدف و اعتبار با استفاده از روش‌های سنتی به راحتی قابل محاسبه نیستند روش مناسبی محاسبه می‌شود.

۲. مفاهیم پایه‌ای نظریه مجموعه‌های فازی

تئوری منطق فازی برای اولین بار توسط زاده [۱۲] در ۱۹۶۵ و گوگن در ۱۹۶۷ و ۱۹۶۹ ارائه شد. از کاربردهای این تئوری می‌توان به کنترل فازی اشاره کرد که اساس آن تعیین قوانینی است که متغیرهای ورودی را بر حسب متغیرهای زبانی (توصیفی) به متغیرهای کنترل ارتباط می‌دهد [۱۴]. عضویت گروه فازی با دوگانگی مطابقت نداشته و همواره درجه‌ی از عدم قطعیت وجود

². Necessity
³. Self_dual

¹. Possibility

۴. مدل برنامه‌ریزی شناس فازی

برنامه‌ریزی شناس یک رویکرد جهت حل مسائل احتمالی است و اولین بار توسط Cooper و Charnes (۱۹۵۹) [۱۸] تعریف شد. هدف اصلی این تکنیک تعیین معادلات قطعی محدودیت‌های احتمالی است. جزئیات برنامه‌ریزی شناس را می‌توانید در Birge و Louveaux (۱۹۹۷) ببینید [۱۹-۲۰].

چنانچه جریان‌های نقدینگی خالص پژوهه \bar{f} در پایان n سال و مخارج سرمایه‌گذاری آن را در آغاز m سال به ترتیب با η_{nj} و ζ_{mj} نشان دهیم، با توجه به حداقل سرمایه برگشت‌پذیر و f حداقل سطح اطمینان محدودیت بودجه در دست (β)، هدف را می‌توان ماکزیمم نمودن سود در سطح اطمینان a مطابق زیر تعریف کرد [۱۶، ۱۹]:

$$\max : \bar{f}$$

s.t :

$$Cr \sum_{j=1}^k \sum_{n=1}^v \frac{\eta_{nj}}{(1+i)^n} x_j \geq \bar{f} \geq a \quad (5)$$

$$Cr \sum_{j=1}^k \zeta_{mj} x_j \leq a_m \geq \beta_m, m = 1, 2, \dots, u$$

$$x_j \in \{0,1\}, j = 1, \dots, k$$

۵. شبیه‌سازی فازی براساس شبیه‌سازی آنلینگ

شبیه‌سازی آنلینگ یک روش جستجوی محلی متاهیوریستیک بر مبنای مدل مونت کارلو است که به طور گسترده در عرصه‌های گوناگون مسائل بهینه‌سازی ترکیبی مورد استفاده قرار گرفته می‌گیرد.

اساس این الگوریتم بر رابطه بین ساختار انتی، آنتروپی و دما در طول تبرید یک ماده و شباهت با پدیده فیزیکی آنلینگ است. این روش که اولین بار توسط کرک پاتریک و همکاران [۲۱-۲۴] در سال ۱۹۸۳ جهت حل مسائل بهینه‌سازی ارائه شد، به وسیله جستجو در مجموعه‌ای از جواب‌های شدنی برای یافتن جواب بهینه عمل می‌کند. در روند این جستجو، الگوریتم SA با یک T_0 (دمای اولیه) و S -S. در شروع این سال انتخاب کند به طوریکه سرمایه برگشت‌پذیر ماکزیمم شود. در این مدل (a_{mj}) نشان‌دهنده مخارج سرمایه‌گذاری پژوهه \bar{f} در آغاز m سال، $m = 1, \dots, u$ و d_{nj} نشان‌دهنده جریان نقدینگی خالص پژوهه \bar{f} در پایان n این سال، $n = 1, 2, \dots, v$ است. هدف، تعیین ماکزیمم مقدار سرمایه برگشت‌پذیر و متغیر تصمیم از نوع صفر و یک می‌باشد. بنابراین مدل نهایی مساله به صورت زیر است [۱۶، ۱۹]:

ماکزیمم Possibility (۱)، نباید اتفاق بیافتد در حالیکه یک رویداد با ماکزیمم Cridibility قطعاً با مقدار ۱ روی خواهد داد. علاوه، یک رویداد فازی با ماکزیمم Possibility بعضی اوقات هیچ اطلاعاتی به ما نمی‌دهد، در حالیکه یک رویداد فازی با ماکزیمم Cridibility بدين معنی است که رویداد با بالاترین شناس اتفاق خواهد افتاد. بنابراین معتقدیم که Cridibility برای نشان دادن شناس رویداد فازی مناسبتر از Possibility است. چنانچه متغیر فازی مثلثی را به عنوان حالت خاصی برای نشان دادن این موضوع بکار ببریم، طبق فرمولهای (۱) و (۳) وقتیکه $r \geq b$ باشد، آنگاه $Pos\{\zeta \leq r\} = 1$ است و مقدار possibility رویدادهای فازی $b_1 : \zeta \leq b_2$ و $b_2 : \zeta \leq b_1$ برابر یک می‌شود، در نتیجه اطلاعات متفاوتی در مورد این دو رویدارد فازی وجود ندارد.

با این وجود وقتی از Cribility استفاده می‌شود، $Cr\{\zeta \leq b_1\} \leq Cr\{\zeta \leq b_2\}$ ، این معنی را می‌دهد که رویداد فازی $b_1 : \zeta \leq b_2$ شناس کمتری از رویداد فازی $b_2 : \zeta \leq b_1$ برای اتفاق افتادن دارد. وقتیکه $r \geq c$ آنگاه $Cr\{\zeta \leq r\} = 1$ است. یعنی سطح اطمینان اگر و فقط اگر ۱۰۰٪ حالتی که رویدادهای Cridibility مطلوب اتفاق بیافتد، برابر ۱ است. در حقیقت مقدار هم در کاربرد (عمل) و هم در مطالعات تئوری بکار گرفته شده است [۱۷، ۱۸].

۳. ساخت مدل

شرکتی را درنظر بگیرید که k پروژه ناسازگار برای سرمایه‌گذاری دارد، مدت زمان سرمایه‌گذاری همه پروژه‌ها u و دوره بازگشت دوران سرمایه‌گذاری (a_m)، شرکت باید تصمیم بگیرد کدام پروژه را در شروع اولین سال انتخاب کند به طوریکه سرمایه برگشت‌پذیر ماکزیمم شود.

در این مدل (a_{mj}) نشان‌دهنده مخارج سرمایه‌گذاری پژوهه \bar{f} در آغاز m سال، $m = 1, \dots, u$ و d_{nj} نشان‌دهنده جریان نقدینگی خالص پژوهه \bar{f} در پایان n این سال، $n = 1, 2, \dots, v$ است. هدف، تعیین ماکزیمم مقدار سرمایه برگشت‌پذیر و متغیر تصمیم از نوع صفر و یک می‌باشد. بنابراین مدل نهایی مساله به صورت زیر است [۱۶، ۱۹]:

$$\begin{aligned} \max : & \sum_{j=1}^k \sum_{n=1}^v \frac{d_{nj}}{(1+i)^n} x_j \\ \sum a_{mj} x_j & \leq a_m \quad m = 1, 2, \dots, u \\ x_j & = 1, 0 \quad j = 1, 2, \dots, k \end{aligned} \quad (4)$$

چنانچه n_j متغیرهای فازی با توابع عضویت μ_j و x_j متغیرهای تصمیم ($j=1,2,\dots,k$) باشند، به منظور حل مدل پیشنهادی، باید دو نوع تابع غیرمعین زیر را بکار بربم:

$$U_1 : (x_1, x_2, \dots, x_k)$$

$$\max\{\bar{f} \mid Cr\{f(x_1, x_2, \dots, x_k, \eta_{1j}, \eta_{2j}, \dots, \eta_{kj}) \geq \bar{f}\} \geq \alpha\}$$

$$\max\{\bar{f} \mid Cr\left\{\sum_{j=1}^k \sum_{n=1}^v \frac{\eta_{nj}}{(1+i)^n} x_j \geq \bar{f}\right\} \geq \alpha\}$$

$$\max \bar{f}$$

s.t;

$$\begin{aligned} & Cr\left\{\sum_{n=1}^{10} \frac{\eta_1}{(1+0.06)^n} x_1 + \sum_{n=1}^{10} \frac{\eta_2}{(1+0.06)^n} x_2 \right. \\ & + \sum_{n=1}^{10} \frac{\eta_3}{(1+0.06)^n} x_3 + \sum_{n=1}^{10} \frac{\eta_4}{(1+0.06)^n} x_4 \\ & \left. + \sum_{n=1}^{10} \frac{\eta_5}{(1+0.06)^n} x_5 + \sum_{n=1}^{10} \frac{\eta_6}{(1+0.06)^n} x_6 \geq \bar{f}\right\} 0.09 \end{aligned}$$

$$U_2 : (x_1, x_2, \dots, x_k) -$$

$$Cr\{g(x_1, x_2, \dots, x_k, \xi_{m1}, \xi_{m2}, \dots, \xi_{mk}) \leq 0\} \geq \beta$$

$$\rightarrow Cr\left\{\sum_{j=1}^k \xi_{mj} x_j \leq a_m\right\} \geq \beta$$

$$Cr\{\xi_1 x_1 + \xi_2 x_2 + \xi_3 x_3 + \xi_4 x_4 + \xi_5 x_5$$

$$+ \xi_6 x_6 \leq 15\} \geq 0.95$$

$$x_j = 0,1$$

فرآیند شبیه‌سازی فازی جهت محاسبه $U_1 : (x_1, x_2, \dots, x_k)$ به طور خلاصه در زیر آمده است:

گام ۱_ اعداد حقیقی u_{ji} را که ε و $\mu_j(u_{ji}) \geq \varepsilon$, $j = 1, 2, \dots, k$

یک عدد بقدر کافی کوچک و N یک عدد بقدر کافی بزرگ است را به طور تصادفی تولید کنید.

$$\begin{aligned} D(\bar{f}) = & \frac{1}{2} (\max\{\min \mu_j(u_{ji}) \mid f(x_1, x_2, \dots, x_k, u_{1i}, u_{2i}, \dots, u_{ki}) \geq \bar{f}\} \\ & + 1 - \max\{\min \mu_j(u_{ji}) \mid f(x_1, x_2, \dots, x_k, u_{1i}, u_{2i}, \dots, u_{ki}) \geq \bar{f}\}) \\ & 1 \leq i \leq N, 1 \leq j \end{aligned}$$

گام ۲_ با آزمون دوطرفه ماکریم مقدار \bar{f} را پیدا کنید که $D(\bar{f}) \geq \alpha$

گام ۳_ به r بازگردید.

فرآیند شبیه‌سازی جهت محاسبه $U_2 : (x_1, x_2, \dots, x_k)$ نیز به صورت زیر است:

$$e^{\pm \frac{\Delta E}{T}} \geq \text{Random}[0,1] \quad (6)$$

در رابطه (1)، T دمای کنونی و $E_N - E_C \Delta E$ = است، چنانچه E_B از E_C بهتر باشد، S_C به عنوان S_B جدید پذیرفته می‌شود. در غیر اینصورت S_B بدون تغییر باقی می‌ماند. SA این فرآیند را به تعداد L_n (طول زنجیره مارکوف) در هر سطح از دما تکرار و پارامتر T به آرامی با استفاده از تابع کاهش دما تا هنگامیکه شرط توقف برقرار گردد کاهش می‌باید. لازم ذکر است که از علامت منفی برای مسائل مینیمم‌سازی و علامت مثبت برای مسائل ماکریم‌سازی استفاده می‌شود. در این روش باید یک الگوی سرد کردن^۱ شامل: دمای اولیه، شرط تعادل، تابع کاهش دما و معیار توقف تعیین کرد. همچنین، باید نحوه تعیین جواب اولیه و چگونگی حرکت به نقاط همسایه نیز مشخص شود. در الگوهای استاتیک، که کارایی بیشتری دارند پارامترها در طول اجرای الگوریتم ثابت هستند [۱۴-۲۳]. برای مطالعه بیشتر در این زمینه می‌توانید مراجع [۲۵-۲۷] را ببینید. گام‌های لازم جهت شبیه‌سازی SA به صورت زیر می‌باشد:

Step 1. Input parameters: T_0 ; T_{final} ; γ ; L_n , set $T = T_0$.

Step 2. Generate an S_0 and calculate E_0 .

Step 3. Set $S_c = S_0$; $S_B = S_0$; $E_C = E_0$; $E_B = E_0$; $iter = 1$:

Step 4. Generate an S_N from S_c and calculate E_N .

Step 5. Let $\Delta E = E_N - E_C$.

Step 6. If $\Delta E \leq 0$ then accept the neighbor solution as new current solution, set $S_c = S_N$; $E_C = E_N$ and go to Step 9.

Step 7. If $\Delta E > 0$ then generate a random value, rnd, in $[0, 1]$.

Step 8. If $\exp(-\Delta E / T) > rnd$ then accept the neighbor solution as new current solution, set $S_c = S_N$; $E_C = E_N$; otherwise, S_c and E_C remain unchanged and go to Step 10.

Step 9. If $E_C < E_B$ then $S_B = S_c$; $E_B = E_C$; otherwise, S_B and E_B remain unchanged.

Step 10. If $iter = IT$ then go to Step 11; otherwise, set $iter = iter + 1$ and go to Step 4.

Step 11. Set $T_{r+1} = \gamma T_r$ and $iter = 1$.

Step 12. If $T \geq T_{final}$ then go to Step 4; otherwise, report S_B and E_B and Stop[19].

۵-۱. شبیه‌سازی فازی

در این مقاله از شبیه‌سازی فازی تبرید برای بدست آوردن یک جواب عمومی استفاده شده است. ابتدا تکنیک شبیه‌سازی فازی برای محاسبه مقدار تابع هدف و مقدار اعتبار متغیرهای فازی بکار گرفته شده و سپس از الگوریتم شبیه‌سازی آنلینگ برای تولید الگوریتم هوشمند ترکیبی جهت حل مدل فازی بهره گرفته شده است.

^۱. Cooling Schedule

گام سوم – انتخاب دمای اولیه: انتخاب دمای اولیه تاثیر زیادی در جواب نهایی مسئله دارد، چنانچه دمای اولیه پایین باشد، احتمال پذیرش جواب‌های بدتر کاهش یافته و ممکن است سیستم در جواب بهینه محلی باقی بماند. اگر بخواهیم جواب نهایی مستقل از جواب شروع باشد، دمای اولیه باید به اندازه کافی زیاد درنظر گرفته شود، تا امکان تعویض تقریباً آزاد جواب‌های همسایگی وجود داشته باشد، در غیر اینصورت جواب نهایی به سمت جواب شروع نزدیک خواهد شد. وايت نظریه معادل بودن T_0 با انحراف استاندارد هزینه-های سیستم از میانگین هزینه را مطرح نمود [۲۸]. در این روش دمای اولیه را معادل انحراف استاندارد مقادیر ارزش تابع هدف به تعداد دفعات معین اجرای برنامه در حالت ناپایدار^۱ درنظر گرفته شده و در هر مرحله براساس ۵ نمونه دمای اولیه محاسبه شده است (رابطه ۱).

$$T_0 = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^N (obj(j) - Mean)^2}{N-1}} \quad (7)$$

گام چهارم – مکانیزم کاهش دما: ضابطه کاهش دما و حرکت به سمت سرد شدن سیستم، عموماً به صورت تابعی به شکل زیر نشان داده می‌شود. [۱۹] (Cooling Function):

$$T_{r+1} = \gamma T_r, 0.5 \leq \gamma \leq 0.99, \forall r = 1, 2, \dots, n \quad (8)$$

چنانچه γ مقدار بالایی داشته باشد، سیستم دیرتر سرد می‌شود و تعداد نقاط بیشتری از فضای جواب بررسی می‌شوند، که خود سبب افزایش زمان حل مساله خواهد شد. از این‌رو در این مثال γ برابر ۰.۹۵ درنظر گرفته شده است.

گام پنجم – طول زنجیره مارکوف: ساده‌ترین پیشنهاد برای تعیین مقدار طول زنجیره مارکوف انتخاب یک مقدار مبتنی بر اندازه مساله است [۲۳]. پیشنهاد دیگر این است که به صورت پویا تعداد تکرارها، با پیشروی الگوریتم تغییر یابد. در حل این مثال طول زنجیره مارکوف برابر ۶۰ درنظر گرفته شد.

گام ششم – مکانیزم پذیرش جواب‌های نامزد شده: فرض کنید حل جاری منجر به تابع هدفی معادل E_C شده و نیز جواب همسایگی ایجاد شده دارای مقدار تابع هدف E_N باشد. در حالت ماکریزم‌سازی اگر $E_N - E_C \geq 0 \Delta E$ باشد، جواب همسایگی جایگزین جواب جاری می‌شود و چنانچه $E_B < E_N$ باشد، قرار داده، در غیر اینصورت S_B و E_B بدون تغییر باقی می‌مانند.

گام ۱ – اعداد حقیقی u_{ji} را که $j = 1, 2, \dots, k$ و $i = 1, 2, \dots, N$ یک عدد بقدر کافی کوچک و N یک عدد بقدر کافی بزرگ است را به طور تصادفی تولید کنید.

$$D(\bar{f}) = \frac{1}{2} (\max \{ \min_j(u_{ji}) | g(x_1, x_2, \dots, x_k, u_{i1}, u_{i2}, \dots, u_{ik}) \leq 0 \} \\ + 1 - \max \{ \min_j(u_{ji}) | g(x_1, x_2, \dots, x_k, u_{i1}, u_{i2}, \dots, u_{ki}) > 0 \}) \\ 1 \leq i \leq N, 1 \leq j$$

گام ۲ – از طریق فرمول تخمینی به (x_1, x_2, \dots, x_k) بازگردید.

۲-۵. اجزاء و پارامترهای الگوریتم

پس از شبیه‌سازی فازی مدل، حال باید پارامترهای لازم جهت الگوریتم SA را مشخص کرد. تمامی گام‌ها جهت حل مسئله با توجه به مثال زیر و مدل قسمت سوم بیان شده‌اند.

مثال – فرض کنید که شش پروژه مستقل از هم با دوره سرمایه‌گذاری یکساله در دست باشد. ارزش اسقاط برای ۶ پروژه در پایان عمر اقتصادی آنها صفر و هزینه سرمایه‌گذاری هر پروژه در آغاز سال و جریان نقدینگی خالص سالیانه آن در پایان هر سال متغیرهای فازی مثلثی هستند که در جدول (۱) آورده شده‌اند. نرخ بهره ۶٪ در سال منظور شده است.

جدول ۱. مخارج سرمایه‌گذاری و جریان نقدینگی خالص فازی (میلیون دلار)

| سال | سرمایه (سال) | هزینه در آغاز هر گذاری (میلیون دلار) | جریان نقدینگی خالص (میلیون دلار) | مخارج سرمایه- |
|-----|---------------------------|--------------------------------------|----------------------------------|---------------|
| ۱ | $\zeta_1 = (3, 4, 5)$ | $\zeta_1 = (3, 4, 5)$ | $\zeta_1 = (3, 4, 5)$ | ۱ |
| ۲ | $\zeta_2 = (2.5, 4.5, 5)$ | $\zeta_2 = (2.5, 4.5, 5)$ | $\zeta_2 = (2.5, 4.5, 5)$ | ۲ |
| ۳ | $\zeta_3 = (2.5, 3, 5.5)$ | $\zeta_3 = (2.5, 3, 5.5)$ | $\zeta_3 = (2.5, 3, 5.5)$ | ۳ |
| ۴ | $\zeta_4 = (3, 4.5, 5.5)$ | $\zeta_4 = (3, 4.5, 5.5)$ | $\zeta_4 = (3, 4.5, 5.5)$ | ۴ |
| ۵ | $\zeta_5 = (3, 3.5, 4)$ | $\zeta_5 = (3, 3.5, 4)$ | $\zeta_5 = (3, 3.5, 4)$ | ۵ |
| ۶ | $\zeta_6 = (2.5, 3, 3.5)$ | $\zeta_6 = (2.5, 3, 3.5)$ | $\zeta_6 = (2.5, 3, 3.5)$ | ۶ |

گام اول – انتخاب جواب اولیه: انتخاب تصادفی یکی از جواب‌های موجود:

$$S_0 = [1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0]$$

گام دوم – مکانیزم ایجاد جواب همسایگی: در این مثال از مکانیزم ساده و تصادفی تبدیل یک به صفر و یا برعکس، استفاده شده است.

جدول ۳. نتایج حاصل از الگوریتم ژنتیک [1]

| اندازه خطای (%) | جمعیت | تقاطع | جهش | نرخ زایش | سود ۱ | سود ۲ | درصد |
|--------------------|-------|-------|-----|----------|-------|-------|------|
| ۰.۸۶ | ۳۰ | ۰.۱ | ۰.۳ | ۶۰۰۰ | ۷۸.۶۷ | ۷۸ | ۷۸ |
| ۱.۱۳ | ۳۰ | ۰.۳ | ۰.۲ | ۶۰۰۰ | ۷۸.۸۸ | ۷۸ | ۷۸ |
| ۱.۲۹ | ۳۰ | ۰.۳ | ۰.۵ | ۶۰۰۰ | ۷۹.۰۱ | ۷۸ | ۷۸ |
| ۱.۰۳ | ۵۰ | ۰.۱ | ۰.۳ | ۶۰۰۰ | ۷۸.۸۰ | ۷۸ | ۷۸ |
| ۱.۲۶ | ۵۰ | ۰.۱ | ۰.۵ | ۶۰۰۰ | ۷۸.۹۸ | ۷۸ | ۷۸ |
| ۰.۷۲ | ۵۰ | ۰.۳ | ۰.۵ | ۶۰۰۰ | ۷۸.۵۶ | ۷۸ | ۷۸ |

با توجه به شاخص خطای نسبی تعريف شده^۳، می‌توان نتیجه گرفت که خطاها نسبی روش GA در مقایسه با روش شاخه و حد از ۴٪ در روش SA از ۴٪ تجاوز ننموده است. این مطلب نشان‌دهنده این موضوع است که الگوریتم ترکیبی طراحی شده برای حل مسائل بودجه‌بندی سرمایه‌ای در مقایسه با روش GA در مسائل ابعاد کوچک قوی عمل نمی‌کند.

در روش SA $X^* = [1\ 0\ 0\ 1\ 1\ 0]$ با ماکریم اعتبار ۰.۹۱۸۹ و در GA $X^* = [1\ 0\ 0\ 1\ 1\ 0]$ با مقدار ماکریم اعتبار ۰.۹۷۹ مشابه روش شاخه و حد بدست آمده است [۱]. این تفاوت اعتبار الگوریتم‌های SA و GA می‌تواند ناشی از کوچک بودن ابعاد مساله باشد.

همانطور که گفته شد از نقاط قوت الگوریتم SA می‌توان به بررسی جواب‌های بدتر با احتمال مشخص اشاره کرد که این رویکرد در مسائل با ابعاد کوچک سبب قرار گرفتن در جواب بهینه محلی می‌گردد اما در مسائل با ابعاد بزرگ این دو الگوریتم تقریباً جواب‌های یکسانی تولید خواهند کرد و حتی شاید استفاده از SA بهتر از GA باشد (برای اثبات این موضوع می‌توانید به مرجع [۲۳] مراجعه کنید).

۶. نتیجه‌گیری

در این مقاله، براساس مقدار اعتبار، مسئله‌ی بودجه‌بندی با متغیرهای فازی مخارج سرمایه‌ای و جریان‌های نقدینگی خالص SA مورد مطالعه قرار گرفت. شبیه‌سازی فازی براساس الگوریتم

^۳. سودهای وارد شده در ستون سود ۱ ماکریم سودهای بدست آمده از روش GA و سودهای وارد شده در ستون سود ۲ ماکریم سودهای بدست آمده از روش شاخه و حد هستند.

^۴. $\{1 \times 100 - (1 - \text{مقدار سود بدست آمده از روش شاخه و حد}) / \text{مقدار سود بدست آمده از روش پیشنهادی}\}$

۲. $E_N - E_C < 0$ باشد، مقدار $e^{+\frac{\Delta E}{T}}$ با یک عدد تصادفی بین صفر و یک مورد مقایسه قرار می‌گیرد و اگر از آن عدد تصادفی بزرگتر بود، جواب همسایگی به عنوان S_C پذیرفته می‌شود، اما در غیر اینصورت جواب همسایگی دیگری تولید می‌شود.

گام هفتم – معیارهای توقف الگوریتم: معیار توقف، رسیدن به یک دمای نهایی از پیش تعیین شده در جهت پایان دادن به الگوریتم، پس از یافتن جواب‌هایی موثق با خطای پذیرفته شده پس از یک سری تکرارهای داخل الگوریتم می‌باشد. در این مثال جهت محاسبه دمای نهایی از رابطه زیر استفاده شده است، که مقدار β برابر ۰.۰۱ است [۲۳-۱۴]:

$$T_{final} = \beta T_0, \beta = 0.01 \quad (9)$$

گام هشتم – ارزیابی جواب‌های تولید شده: جهت ارزیابی کارایی الگوریتم ترکیبی هوشمند طراحی شده، آزمایش‌های عددی با مقادیر مختلف پارامترها در GA و SA انجام و با مقادیر بدست آمده از روش شاخه و حد مقایسه شدن.

با توجه به اینکه هدف سرمایه‌گذاری، ماکریم کردن سود با حداقل سطح اطمینان ۹۰٪ و محدودیت مخارج سرمایه‌گذاری به میزان ۱۵ میلیون دلار در سطح اطمینان ۹۵٪ است، مدل حل و نتایج زیر حاصل گردید (پارامترها و نتایج در جداول (۲) و (۳) نشان داده شده‌اند).

جدول ۲. نتایج حاصل از شبیه‌سازی تبرید

| دماه اولیه | کاهش دما نهایی (%) | ضریب سود ۱ | ضریب سود ۲ | دماه درصد |
|---------------|-----------------------|---------------|---------------|--------------|
| ۲.۹۲ | ۰.۱۹۵ | ۷۵.۷۲ | ۷۸ | ۱۹.۵ |
| ۲.۴۳ | ۰.۱۸۵ | ۷۶.۱ | ۷۸ | ۱۸.۵ |
| ۳.۴۵ | ۰.۲۱ | ۷۵.۳۱ | ۷۸ | ۲۱ |
| ۲.۱۸ | ۰.۲۵۵ | ۷۶.۳ | ۷۸ | ۲۵.۵ |
| ۱.۱۵ | ۰.۲۹ | ۷۷.۱ | ۷۸ | ۲۹ |
| ۱.۹ | ۰.۳۳ | ۷۶.۵۲ | ۷۸ | ۳۳ |
| | ۰.۰۵ | | | ۰.۰۵ |

^۱. سودهای وارد شده در ستون سود ۱ ماکریم سودهای بدست آمده از روش SA و سودهای وارد شده در ستون سود ۲ ماکریم سودهای بدست آمده از روش شاخه و حد هستند.

- Environments*", Journal of Oper. Res. Soc. 49, 1998, pp. 854–860.
- [12] Liu, B., Liu, Y.K., "Expected Value of fuzzy Variable and Fuzzy Expected Value Models", IEEE Trans. Fuzzy Systems 10, 2002, pp. 445–450.
- [13] Zadeh, L., "Fuzzy Sets", Information and Control 8, 338–353, 1965.
- [14]. Shahidi, L., Borhani Darian, A., "Application of fuzzy modeling and simulation annealing algorithm in the optimal utilization of water resources", First Joint Congress on Fuzzy & Intelligent Systems, Ferdosi University of Mashad, Iran, 29-31 Aug 2007.
- [15]. Azar, A., Faraji, H., "Fuzzy Management Science", Ejtema Press, Tehran, 2002.
- [16] Huang, X., "Optimal Project Selection with Random Fuzzy Parameters". International Journal of Production Economics 106, 2007, 513–522.
- [17] Liu, B., "Theory and Practice of Uncertain Programming", 2009.
- [18] Charnes, A., Cooper, W.W., "Chance-Constrained Programming", Management Science 6, 73-79,1959.
- [19] Ozcan, U., "Balancing Stochastic Two-Sided Assembly Lines: A Chance Constrained, Piecewise-Linear, Mixed Integer Program and a Simulated Annealing Algorithm", European Journal of Operational Research 205, 2010, pp. 81–97.
- [20] Birge, J.R., Louveaux, F., "Introduction to Stochastic Programming", Springer-Verlag, New York, 1997.
- [21] Kirkpatrick, S., Gelatt, C.D., and Vecchi, M.P., "Optimization by Simulated Annealing", Science, 220 , 1983, pp. 671-680.
- [22] Teegavarapu, R.S.V., Simonovic, S.P., "Optimal Operation of Reservoir Systems Using Simulated Annealing", Water Resource Research, 16(5), 2009, pp. 401-428.
- [23]. Taghavifard, M.T., Shahsavari, A., "Solving Multi-Objective Location-Allocation Problems Using Simulated Annealing", International Journal of Industrial Engineering & Production Research, 19(4), 2009, pp.93-105
- [24] Jeong, S.J., Kim, K.S., Lee, Y.H., "The Efficient Search Method of Simulated Annealing Using Fuzzy Logic Controller", Expert Systems with Applications 36, 2009, pp. 7099–7103.
- [25] Reeves C.R., "Modern Heuristic Techniques for Combinatorial Problems", Oxford, Blackwell Scientific Publications, 1993.

برای بدست آوردن جواب عمومی ارائه و سپس جهت اعتبارسنجی با GA و یکی از روش‌های سنتی (شاخه و حد) مقایسه گردید. بدست آمده نشان داد که جواب بدست آمده از الگوریتم GA در حل مسائل با ابعاد کوچک از جواب SA بهتر است. اگرچه شبیه‌سازی فازی تنها یک محاسبه تخمینی را نتیجه می‌دهد اما برای زمانی که مقادیر تابع هدف و اعتبار با استفاده از روش‌های سنتی به راحتی قابل محاسبه نیستند روش مناسبی محسوب می‌شود.

مراجع

- [1] Huang, X., "Chance_Constrained Programming Models for Capital Budgeting with NPV as Fuzzy Parameters", Journal of Computational and Applied Mathematics 198, 2007, pp. 149_159.
- [2] Oskunehjad, M.M., "Engineering Economic or Economic Evaluation of Industrial Projects", Amir Kabir University Press, 2006.
- [3] Weingartner, H.M., "Mathematical Programming and the Analysis of Capital Budgeting Problems", Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1963.
- [4] Bernhard, R.H., "Mathematical Programming Models for Capital Budgeting", Journal of Financial Quant. Anal. 4, 111–158, 1969.
- [5] De, P.K., Acharya, D., Sahu, K.C., "A Chance-Constrained Goal Programming Model for Capital Budgeting", Journal of Oper. Res. Soc. 33, 1982, pp. 635–638.
- [6] Keown, A.J., Martin, J.D., "A Chance Constrained Goal Programming Model for Working Capital Management", Eng. Econ. 22, 1977, pp. 153–174.
- [7] Keown, A.J., Taylor, B.W., "A Chance-Constrained Integer Goal Programming Model for Capital Budgeting in the Production Area", Journal of Oper. Res. Soc. 31, 1977, pp. 579–589.
- [8] Avineri, E., Prashker, J., Ceder, A., "Transportation Projects Selection Process Using Fuzzy Sets Theory", Fuzzy Sets and Systems 116, 2000, pp.35–47.
- [9]. Liu, B., Iwamura, K., "Chance Constrained Programming with Fuzzy Parameters", Fuzzy Sets and Systems 94, 2000, pp. 227–237.
- [10]. Liu, B., "Minimax Chance Constrained Programming Models for Fuzzy Decision Systems", Information. Sci. 112, 1998, pp. 25–38.
- [11]. Iwamura, K., Liu, B., "Chance Constrained Integer Programming Models for Capital Budgeting in Fuzzy

-
- [26] Aarts E.H.L., Lenstra, J.K., "*Local Search in Combinatorial Optimization*", New York, Wiley, 1997.
 - [27] Vasan, A., Komaragiri Srinivasa, R., "*Comparative Analysis of Simulated Annealing, Simulated Quenching and Genetic Algorithms for Optimal Reservoir Operation*", Applied Soft Computing 9, 274–281, 2009.
 - [28] White, S.R., "*Concept of Scale in Simulated Annealing*", Proceeding IEEE International Conference on Computer Design, Portchester, 1983