شماره مقاله : ۱۲۳۱

انتخاب معیارهای مؤثر در محیط پروژه‌های احداث سبز با در نظر گرفتن ابزار گسترش کارکرد کیفیت فازی

زهرا مکارچیان[۱]، سید میثم موسوی[۲]، میلاد حیدری[۳]*

۱و۲و۳: گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شاهد، تهران

*نویسنده مسئول مکاتبات: heidari.m@shahed.ac.ir

چکیده:

با توجه به اینکه فعالیت‌های صورت گرفته و در حال انجام محیط پروژه های ساخت به چرخه محیط‌زیست آسیب می‌رسانند، در سال های اخیر توجه زیادی به تغییر و توسعه فعالیت‌ها شده است؛ به گونه ای که کمترین آسیب به محیط‌زیست وارد شود. لذا به دلیل کم بودن مطالعات با معیارهای جامع و فراگیر، به خصوص در زمینه پروژه‌های احداث، انجام چنین مطالعاتی جهت جلوگیری از آسیب‌های محیط‌زیستی ضروری می‌باشد. بنابراین در این تحقیق دسته‌بندی معیارهای جامع ارزیابی عملکرد پروژه‌های سبز انجام شده و با استفاده از روش گسترش کارکرد کیفیت و تئوری مجموعه‌های فازی، اهم معیارهای خروجی از این مرحله، با توجه وزن و ملاحظات دیگر وارد روش برنامه‌ریزی آرمانی شده و با بهینه‌سازی مسئله طراحی، به انتخاب معیارهایی که بیشترین تأثیر را در امتیازات سازه‌های سبز را دارند، پرداخته می‌شود. به‌منظور بررسی صحت و کارایی مدل ترکیبی پیشنهادی، این روش در انتخاب الزامات طراحی پروژه احداث یک سازمان، در یک پروژه به کار گرفته‌شده است.

کلمات کلیدی:
سازه‌های سبز، گسترش کارکرد کیفیت، تئوری مجموعه‌های فازی، عدم قطعیت در پروژه، برنامه‌ریزی آرمانی

۱. مقدمه

صنعت ساخت‌وساز دارای اثرات مهم زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی بر جامعه است. به‌عنوان یکی از خروجی‌های کلیدی صنعت ساخت‌وساز، ساختمان‌ها به‌طور وسیع این اثرات را طی چرخه عمرشان انعکاس می‌دهند. اثرات مثبت فعالیت‌های ساخت‌وساز عبارت‌اند از: تجهیز ساختمان‌ها و تسهیلات برای ارضای نیازهای مشتریان (رضایت مشتریان)، ارائه فرصت‌های شغلی مستقیم یا غیرمستقیم (از طریق دیگر صنایع مربوط به ساخت‌وساز) و کمک به اقتصاد ملی[۱]. برخی از آسیب‌های این حوزه عبارت‌اند از سروصدا، گرد غبار، ازدحام ترافیک، آلودگی آب و دفع زباله در طی مرحله ساخت‌وساز و حجم زیادی از منابع طبیعی و انسانی مصرف می‌شود؛ همچنان که پس از تکمیل ساختمان‌ها اثرگذاری بر محیط‌زیست را ادامه می‌دهند. غیر از مصرف انرژی، ساختمان‌ها گازهای گلخانه‌ای تولید و منتشر می‌کنند، که انتشار آن باعث گرم شدن کره زمین می‌شود. انتشار کربن ساختمان‌ها در کل دنیا به ۴۲/۴ میلیارد تن در سال ۲۰۳۵ خواهد رسید، که ۴۳٪ بیشتر از سال ۲۰۰۷ است. افزایش تقاضای زمین باعث ایجاد یک چالش جدید در کشورهایی که محدودیت زمین دارند؛ شده است. طبق پیش‌بینی آژانس بین‌المللی انرژی، ذکرشده که ساختمان‌های تجاری و سازمانی در سال ۲۰۵۰ دو برابر خواهند شد[۱].

با توجه به اینکه روند آسیب به محیط‌زیست به‌طور چشمگیری رو به افزایش است، دولت‌ها و سازمان‌ها درصدد کاهش این اثرات بر محیط‌زیست بوده و بدین ترتیب سازه‌های سبز، یکی از اقدامات مطرح‌شده برای کاهش چشم‌گیر تأثیرات سازه‌ها بر محیط‌زیست، جامعه و اقتصاد است. در دهه اخیر رشد سریع مطالعات در حوزه ساختمان‌های سبز قابل‌مشاهده است. با توجه به شرایط محیطی حاکم در دنیای واقعی و جدید بودن مسئله مطرح‌شده و همچنین در فضای پروژه‌ها؛ عدم قطعیت جزئی لاینفک می‌باشند؛ لذا محاسبات همراه با در نظر گرفتن این عدم قطعیت‌ها در این حوزه ضروری می‌باشد.

در مقایسه با ساختمان‌های معمولی، ساختمان‌های سبز به‌طورکلی عملکرد بالاتری با توجه به راندمان انرژی، راندمان و مصرف آب و انتشار گازهای گلخانه‌ای نشان داده‌اند. تحقیقات نشان داده‌شده که اگر ابزارهای رتبه‌بندی *LEED* در ساخت‌وسازهای جدید تصویب شود، حجم زیادی از گاز CO_2 کاهش می‌یابد (مشتق از راندمان انرژی). هم چنین تحقیقات نشان داده که ساختمان‌های تجاری بیشترین سود را از گواهینامه‌های*LEED* در رابطه با راندمان انرژی می‌برند[۲]. هرچند که هزینه‌های اولیه پروژه‌های احداث سبز ممکن است بالاتر از پروژه‌های سنتی باشد، از روش‌های مختلفی نشان

© International Conference on Industrial Engineering & Sustainable Management (IESM’16)
13-15 Dec. 2016, Islamic Azad University, Lenjan Branch, Isfahan, Iran.

داده می‌شود که صرفه‌جویی در هزینه‌های بلندمدت عملیات و کاهش هزینه‌های نگهداری و تعمیرات می‌تواند به بازیافتن هزینه اولیه کمک کند. لذا بسیار مهم است که مدیران پروژه راهبُردهایی برای تزریق سرمایه در فازهای اولیه پروژه در نظر بگیرند[۳].

ینگ و همکاران [۴] در تحقیق خود از فازی کلاسیک در محاسبات بهره برده‌اند. همچنین چن و ونگ[۵] نیز از برنامه‌ریزی آرمانی فازی کلاسیک برای ارزیابی مشخصات مهندسی در گسترش کارکرد کیفی استفاده کرده‌اند. لکوچر و همکاران[۶] از برنامه‌ریزی ریاضی در پروژه نفت و گاز و از اعداد خاکستری در تحقیق خود استفاده کرده‌اند. لایو و کائو [۷] از برنامه‌ریزی آرمانی و تصمیم‌گیری چند معیاره در خدمات لجستیک برای تعیین الزامات طراحی و رسیدن به رضایت مشتری بهره جسته‌اند.

هدف اصلی از انجام این پژوهش، ایجاد چارچوبی جامع و ساختاریافته از شاخص‌های مهم در اجرا، پیاده‌سازی و ارزیابی پروژه‌های سبز احداث می‌باشد. به‌نحوی‌که از این شاخص‌ها جهت ارزیابی و رتبه‌بندی سازه‌های سبز استفاده گردد. همچنین جهت بهبود شرایط اقتصادی و اجتماعی، روش بهینه‌سازی استفاده از مشخصات سبز با هزینه محدود و دستیابی به بهترین نتیجه ممکن ارائه خواهد گردید و همچنین ارائه مدل ترکیبی پیشنهادی دارای انعطاف‌پذیری بالا که الزامات طراحی پروژه‌ها را از دیدگاه‌های افراد خبره بررسی کرده و پاسخی ارائه می‌کند که در آن محدودیت‌های پروژه و رضایت مشتریان پروژه در نظر گرفته‌شده است.

۲. مدل پیشنهادی

۲،۱. گام‌های مدل

گام اول. تعریف محدوده کار

اعضای کمیته به‌عنوان گام اول الزامات مشتریان(CR^1) و الزامات طراحی (DR^2) را براساس محدوده پروژه تعریف می‌کنند.

گام دوم- ساخت خانه کیفیت محدوده کار

روش گسترش کارکرد کیفیت، خانه کیفیت به‌عنوان یک روش اثربخش برای تعریف عملیات لازم که به منجر به رضایت مشتری می‌گردد.

گام سوم- تهیه پرسشنامه و ایجاد ماتریس مقایسه الزامات مشتری

به‌وسیله اعداد فازی مثلثی تعریف‌شده در جدول ۱ تبدیل به اعداد می‌شوند.

گام دوم- ساخت خانه کیفیت محدوده کار

در فرآیند روش گسترش کارکرد کیفیت، خانه کیفیت به‌عنوان یک روش اثربخش برای تعریف عملیات لازم که به منجر به رضایت مشتری می‌گردد، به‌کاررفته است. الزامات مشتری و الزامات طراحی اولین بخش تکمیل‌شده می‌باشند. سپس روابط بین آن‌ها، اهمیت الزامات طراحی نسبت به همدیگر، اوزان و اهداف فرآیند پروژه احداث سبز مشخص می‌گردند.

گام سوم- تهیه پرسشنامه و ایجاد ماتریس مقایسه الزامات مشتری

پرسشنامه‌ای جهت مقایسه دوبه‌دو اهمیت الزامات مشتری جهت دستیابی به بهترین نتیجه رضایت‌بخش تهیه و فرمول‌بندی می‌گردد. با توجه به اینکه مقایسه بین الزامات مشتری با استفاده از کلمات صورت می‌پذیرد، جهت تبدیل کلمات به اعداد بایستی به هر یک از کلمات استفاده‌شده یک عدد فازی مثلثی اختصاص داده و نتیجه را بر این اساس محاسبه نمود. در این مرحله نظرات کمیته خبرگان جمع‌آوری‌شده و به‌وسیله اعداد فازی مثلثی تبدیل می‌شوند.

جدول ۱اعداد فازی مثلثی مقایسه الزامات مشتری

نوع ارتباط داخلی	عدد فازی مثلثی معادل
کم	(۳و۱و۱)
کم متوسط	(۵و۳و۱)
متوسط	(۷و۵و۳)
زیاد متوسط	(۹و۷و۵)
زیاد	(۹و۹و۷)

گام چهارم- محاسبه اوزان الزامات مشتری

نظرات کمیته خبرگان جمع‌آوری‌شده و ماتریس‌های مقایسه دوبه‌دو الزامات مشتری ساخته می‌شوند. اگر کمیته شامل k عضو باشد، بایستی مجموعاً تعداد k عدد ماتریس مقایسه دوبه‌دو وجود داشته باشند. ماتریس $\widetilde{M}$ نشان‌دهنده یک ماتریس مقایسه دوبه‌دو $n\times n$ به شرح زیر می‌باشد:

$$\widetilde{M} = [\widetilde{m}_{ij}] = \begin{bmatrix} 1 & \widetilde{m}_{12} & \dots & \widetilde{m}_{1n} \\ 1/\widetilde{m}_{12} & 1 & & \widetilde{m}_{2n} \\ \vdots & & \ddots & \vdots \\ 1/\widetilde{m}_{1n} & 1/\widetilde{m}_{2n} & \cdots & 1 \end{bmatrix} \quad i\,, j = 1, 2, \dots, n \tag{۱}$$

که n عداد الزامات مشتری و هر یک از آرایه‌ها یک عدد فازی مثلثی می‌باشد.

ماتریس‌های فازی مثلثی موجود، در یک ماتریس یکپارچه تجمیع شده و موردمطالعه قرار می‌گیرند. ماتریس S نشان‌دهنده ماتریس مقایسه دوبه‌دو تجمیع نظرات اعضاء کمیته خبرگان به‌صورت زیر می‌باشد:

$$\tilde{P} = [\tilde{p}_{ij}] = \begin{bmatrix} 1 & \tilde{p}_{12} & \dots & \tilde{p}_{1n} \\ 1/\tilde{p}_{12} & 1 & & \tilde{p}_{2n} \\ \vdots & & \ddots & \vdots \\ 1/\tilde{p}_{1n} & 1/\tilde{p}_{2n} & \cdots & 1 \end{bmatrix} \qquad i\,, j = 1, 2, \dots, n \tag{۲}$$

$$\tilde{p}_{ij} = \left(p_{ij}^{l}, p_{ij}^{m}, p_{ij}^{u}\right) \tag{۳}$$

$$P_{ij}^{l} = \sqrt[k]{\prod\nolimits_{k=1}^{k} P_{ijk}^{l}} \tag{۴}$$

$$P_{ij}^{m} = \sqrt[k]{\prod\nolimits_{k=1}^{k} P_{ijk}^{m}} \tag{۵}$$

$$p_{ij}^{u} = \sqrt[k]{\prod\nolimits_{k=1}^{k} p_{ijk}^{u}} \tag{۶}$$

که در آن هر یک از آرایه‌ها نشان‌دهنده وزن اهمیت از خبره شماره k و $i\,, j= 1\,, 2, \dots\,, n$ می‌باشند. حال برای به دست آوردن وزن نسبی هر الزام طراحی، تجمیع نظرات خبرگان با استفاده از رابطه ۳ انجام می‌پذیرد. اعداد فازی مثلثی حاصل در ماتریس $\tilde{P}_i$ قرار می‌گیرند.

$$\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m}\tilde{P}_i = \left(\sum_{i=1}^{n}P_{ij}^{l}, \sum_{i=1}^{n}P_{ij}^{m}, \sum_{i=1}^{n}P_{ij}^{u}\right) \qquad j = 1, 2, \dots, n \tag{۷}$$

اوزان قطعی[۳] جهت نمایش اهمیت الزامات مشتری با استفاده از فاصله فازی محاسبه می‌شود. بدین منظور با استفاده از رابطه ۳-۶ اوزان مربوطه به روش زیر با محاسبه فاصله هر یک از اعداد از مبدأ یعنی $\tilde{0} = (0,0,0)$ محاسبه می‌شوند و در ماتریس w_i' قرار می‌گیرند.

$$\boldsymbol{d(\tilde{p}_i)} = \sqrt{\frac{1}{3}\left((\tilde{\boldsymbol{p}}_i^{L})^2 + (\tilde{\boldsymbol{p}}_i^{m})^2 + (\tilde{\boldsymbol{p}}_i^{U})^2\right)} \tag{۸}$$

پس از نرمالیزه کردن به روش تقسیم اعداد بر حاصل جمع آن‌ها، ماتریس حاصل w_i، اوزان نرمال شده الزامات مشتری جهت استفاده در خانه کیفیت خواهد بود.

$$w_i = [w_1, w_2, \dots, w_n] \tag{۹}$$

گام پنجم- تعیین روابط بین الزامات مشتری و الزامات طراحی و روابط داخلی الزامات طراحی

در خانه کیفیت، میزان رابطه بین الزامات مشتری و الزامات طراحی با استفاده از اعداد فازی مثلثی مشخص می‌گردد و با استفاده از نظر هر یک از خبرگان عضو کمیته تصمیم‌گیری به‌عنوان ماتریس $\tilde{R}_{ij}$ تعریف می‌شوند. لذا به تعداد افراد عضو کمیته یعنی k عدد خانه کیفیت خواهیم داشت. لازم

به ذکر است که الزامات مشتری لزوماً با تمامی الزامات طراحی ارتباط ندارند. در این ماتریس می‌توانند آرایه‌هایی وجود داشته باشند که خالی از ارتباط باشند.

همچنین روابط بین الزامات طراحی نیز با استفاده از اعداد فازی مثلثی تعریف می‌شود که توسط هر یک از خبرگان عضو کمیته تصمیم‌گیری به‌عنوان ماتریس $\tilde{T}_{kj}$ مشخص می‌گردند. شایان ذکر است که به دلیل استقلال الزامات طراحی از هم، آرایه‌های بدون ارتباط (خالی) می‌توانند در این ماتریس وجود داشته باشند.

گام ششم- محاسبه اوزان اهمیت نسبی و اوزان اولویت الزامات طراحی

هدف از محاسبه این دو پارامتر، تعیین اثرات متقابل (اوزان اولویت) الزامات طراحی نسبت به همدیگر است. $\widetilde{RI}_j$ از حاصل‌ضرب ماتریسی عدد قطعی در عدد فازی مثلثی w_i و $\tilde{R}_{ij}$ به دست آورده می‌شود:

$$\widetilde{RI}_j = \sum_{i=1}^{n} w_i \otimes \tilde{R}_{ij} \quad , \quad j = 1,2,\dots,m \qquad (۱۰)$$

حال با استفاده از ماتریس ارتباطات داخلی الزامات طراحی $\tilde{T}_{kj}$ (که ارتباط بین الزام طراحی k ام با j ام را نمایش می‌دهد)، ماتریس $\widetilde{RI}_j^*$ را که مقادیر اوزان نسبی الزامات طراحی نسبت به همدیگر را نشان می‌دهد، به روش زیر به دست آورده می‌شود:

$$\widetilde{RI}_j^* = \widetilde{RI}_j \oplus \sum_{k=j} \tilde{T}_{kj} \otimes \widetilde{RI}_k \quad , \quad j = 1,2,\dots,m \qquad (۱۱)$$

گام هفتم- محاسبه و نرمال‌سازی اوزان اهمیت نسبی قطعی الزامات طراحی

جهت اولویت‌بندی الزامات مشتری نسبت به همدیگر، از روش مشابه گام چهارم استفاده می‌شود. بدین منظور تجمیع ماتریس $\widetilde{RI}_j^*$ هر یک از اعضای کمیته به روش FEAHP[4] محاسبه می‌گردد. سپس فاصله هر یک از آرایه‌های ماتریس تجمیع شده به‌عنوان اوزان نسبی الزامات مشتری از مبدأ به‌وسیله رابطه ۸ محاسبه می‌شود و در ماتریس v_j' قرار می‌گیرند. پس از محاسبه فواصل هر یک از اعداد به‌دست‌آمده تقسیم‌بر مجموع فواصل تمامی الزام‌های طراحی‌شده و بدین‌صورت نرمال‌سازی انجام می‌پذیرد. ماتریس حاصل بانام v_j اوزان اهمیت نسبی الزامات طراحی نسبت به یکدیگر و ضرایب تابع هدف اول برنامه‌ریزی آرمانی خواهد بود.

گام هشتم- تعیین اولویت اهداف مدل ترکیبی پیشنهادی

در این مرحله، با استفاده از برنامه‌ریزی آرمانی می‌توان بیش از یک تابع هدف جهت برآورد بهترین روش برای اجرای پروژه‌های احداث سبز در نظر گرفت. محدودیت‌های همچون هزینه، زمان و دیگر عوامل مؤثر بر اجرای پروژه یا محدودیت‌های اجرایی می‌توانند با در نظر گرفتن محدودیت‌های منابع وارد محاسبات شوند. همچنین به‌عنوان روشی دیگر برای تعیین سایر اهداف برنامه‌ریزی آرمانی، استفاده از روش FEAHP مطرح‌شده جهت تجمیع نظرات خبرگان در خصوص تأثیرات الزامات طراحی در مصرف منابع پروژه پیشنهاد می‌گردد. ماتریس مقایسه دوبه‌دو شامل توابع هدف تعریف‌شده، ایجاد می‌گردد که در آن اهمیت هر یک از آرمان‌ها نسبت به همدیگر مشخص‌شده و با استفاده از روش AHP اوزان اهداف محاسبه‌شده و در ماتریس W_y قرار می‌گیرند.

گام نهم- تعریف مدل برنامه‌ریزی آرمانی و حل مدل ترکیبی پیشنهادی

در این مرحله از یک مدل برنامه‌ریزی آرمانی چندهدفه به دلیل قابلیت محاسبه هم‌زمان چند تابع هدف جهت مینیمم سازی مجموع انحراف از بهینه هر یک از توابع هدف استفاده می‌شود. جهت به‌کارگیری روش برنامه‌ریزی آرمانی در این پایان‌نامه، می‌توان مدل ترکیبی پیشنهادی را به‌صورت زیر فرموله نمود:

) $d_y^+ + d_y^-$ میزان انحراف منفی و مثبت از تابع هدف می‌باشد. s_{yj} ضریب سطح انتظار ، $B_{yj}(b)$ میزان بودجه، g_y میزان هدف است که در حداکثر سازی ۱ و در حداقل سازی ۰ خواهد بود)

$$Minimize \sum_{y=1}^{p} W_y (d_y^+ + d_y^-) \qquad (۱۲)$$

$$Subject\ to:$$

$$\sum_{j=1}^{m} v_j \,.\, X_j - d_y^+ + d_y^- = g_y \qquad (۱۳)$$

$$\sum_{j=1}^{m} s_{yj}B_{yj}(b).X_j - d_y^+ + d_y^- = g_y \qquad , y = 1, 2, \dots, p \qquad (۱۴)$$

$$M\ \ s_{yj}B_{yj}(b) \in R_y(x) \qquad , j = 1,2, \dots, m \qquad (۱۵)$$

$$d_y^+, d_y^- \geq 0, \qquad , y = 1, 2, \dots, p$$

۳. به‌کارگیری مدل پیشنهادی در یک پروژه واقعی

به منظور بررسی کارایی مدل ترکیبی پیشنهادی بخش قبل، در این قسمت، مدل پیشنهادی در انتخاب الزامات طراحی مربوط به پروژه‌های ساختمانی یک سازمان در زمینه پروژه‌های احداث به روش EPC[۴] ایران به کار گرفته شده و عوامل تأثیرگذار بر نتایج آن‌ها جمع‌آوری، دسته‌بندی و مشخص گردیده‌اند. بدین منظور از کمیته‌ای متشکل از ۵ نفر خبره که آشنا با شرایط اجرای پروژه‌ها هستند، انتخاب شده و هر کدام از آنها ارتباطات ما بین الزامات مشتری که بدین صورت می‌باشد: نرخ بازگشت سرمایه، کیفیت مواد به کار رفته داخلی، عملکرد زیست محیطی، مصرف انرژی، تکنولوژی‌های سبز، قابلیت اطمینان و ریسک مالی می‌باشند را به شکل زبانی بیان می‌دارند که در شکل ۱ آمده و در ادامه این جداول به مقادیر متناظر فازی مثلثی تبدیل می‌گردد و توسط روش بیان شده به یک جدول تجمیع می‌گردد، بدین شکل که برای هر سلول از رابطه $\tilde{p}_{ij}$ استفاده شده و ۵ جدول به یک جدول تقلیل یافته تا وزن هر الزام بدست آید. به همین شکل ارتباطات ما بین الزامات طراحی و مشتری در خانه کیفیت، توسط خبرگان مشخص شده و مجدد تجمیع می‌گردد و همزمان همین شرایط برای ارتباطات داخلی الزامات طراحی در خانه کیفیت اعمال می‌گردد که شامل گزینه های: مواد به کار رفته (x_1)، هزینه (x_2)، قابلیت بازیافت (x_3)، مدیریت موجودی (x_4)، کیفیت داخلی(x_5)، سود دوران بهره‌برداری (x_6) و بهره‌وری (x_7) می‌باشد را تعیین می‌کنند و توسط روابط ۱۰ و ۱۱خروجی خانه کیفیت که وزنهای الزامات طراحی (نیازمندی‌های مهندسی) می‌باشند، وارد مرحله بعد می‌گردد.

Decision Maker No. 1	Return Ratio	Indoor Material Quality	Environmental Performance	Energy Consumption	Green Technologies	Reliability	Financial Risk
Return Ratio	1	High	1/Low	Medium High	1/Low	1/Medium	1/High
Indoor Material Quality	1/High	1	1/Medium High	1/Medium	High	Medium High	Medium Low
Environmental Performance	Low	Medium High	1	1/High	Medium High	1/Low	1/Low
Energy Consumption	1/Medium High	Medium	High	1	Medium High	1/Medium	1/Medium High
Green Technologies	Low	1/High	1/Medium High	1/Medium High	1	High	Medium High
Reliability	Medium	1/Medium High	Low	Medium	1/High	1	Medium
Financial Risk	High	1/Medium Low	Low	Medium High	1/Medium High	1/Medium	1

شکل ۱ مقایسه دو به دو الزامات مشتری توسط نفر اول کمیته خبرگان

در این مرحله در مدل‌سازی فنی هدف الزامات فنی حاصله از گسترش کارکرد کیفی، در کنار تابع هدف آرمانی دو هدف هزینه و سختی فنی قرار داده‌شده و نیز ماتریس اهمیت نسبی اهداف برنامه‌ریزی آرمانی تشکیل داده می‌شود، تا وزن آن‌ها در تابع هدف خطی برای حل قرار گیرد.

در هدف هزینه، محدودیت بودجه بدین گونه که حداقل مقدار بودجه ۵۰۰ واحد و حداکثر آن ۸۰۰ واحد برآورد شده است، در محدودیت متناظر قرار داده می‌شود.

۳،۱. نتایج حاصل‌شده

توسط نرم‌افزار لینگو مدل برنامه‌ریزی آرمانی فرموله و حل‌شده و نتایج بدین شکل به‌دست‌آمده است:

$$\begin{aligned} & x_1 = x_3 = x_7 = 1\,, \\ & x_2 = x_6 = x_4 = x_5 = 0\,, \\ & d_1^+ = 0, \qquad d_1^- = 0.354, \\ & d_2^+ = 0.336, \quad d_2^- = 0, \\ & d_3^+ = 0.267, \quad d_3^- = 0, \\ & b_1 = 0. \end{aligned} \qquad (۱۶)$$

از نتایج حاصل شده چنان بر می‌آید که الزامات ۱و۳و ۷ با در نظر گرفتن سایر اهداف و محدودیتها، با توجه به وزن متناظرشان، جهت اجرا و پیاده سازی انتخاب می‌گردد.

۴. نتیجه گیری

با توجه به حجم ساخت و ساز و گسترش روز افزون آن و تأثیری که این پروژه‌ها چه در حین ساخت و چه پس از آن بر محیط زیست دارند، و برای داشتن سازه های سبز که تسهیلات سالم طراحی و ساخته شده به شیوه مؤثر در منابع، با استفاده از اصول زیست‌محیطی می‌باشند؛ بنابراین در هر پروژه، نه تنها باید الزامات مشتری از نظر آسایش، راحتی و ... را به عنوان محور اصلی در نظر گرفت، بلکه بر حسب نوع پروژه، مواردی از قبیل بودجه و زمان اجرا نیز بر عملکرد آنها تأثیرگذار است. در این پژوهش با در نظر گرفتن موارد بیان شده، معیارها و گزینه هایی جهت برآورده ساختن این نیازها، ارائه گردیده است.

در مدل ترکیبی پیشنهادی، در گسترش کارکرد کیفیت پس از تعیین نیازمندی های مشتری توسط خبرگان برای پاسخگویی به آنها، نیازمندی‌های مهندسی را تعیین نموده و پس از محاسبه وزن نیازمندی های مهندسی به عنوان خروجی خانه کیفیت با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی توسعه یافته برای اعداد فازی (*FEAHP*) جهت کاهش عدم قطعیت و مراحل بیان شده در بخش ۲، وزن‌های خروجی از خانه کیفیت، به همراه دیگر اهداف، وارد تابع هدف برنامه ریزی آرمانی با در نظر گرفتن انحرافات مثبت و منفی برای اهداف حداکثر سازی یا حداقل سازی جهت انتخاب یا عدم انتخاب معیارها می‌گردد و با در نظر گرفتن محدودیت‌هایی همچون هزینه، زمان وارد محاسبات شده و در نهایت الزامات مهندسی جهت اجرا تعیین می گردد. سرانجام روش ارائه شده، در یک پروژه واقعی پیاده سازی شده است.

منابع:

[1] Jian Zuo, Z.-Y.Z., Green building research–current status and future agenda: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews 2014. 30: p. 271-281.
[2] C Turner, M.F., Energy performance of LEED for new construction buildings. New buildings institute , Vancouver, 2008.
[3] Lauren Bradley Robichaud, V.S.A., Greening project management practices for sustainable construction. Management in engineering, 2010. 27(1): p. 48-57.
[4] Yang, C.-L., R.-H. Huang, and W.-C. Ke, Applying QFD to build green manufacturing system. Production Planning & Control, 2012. 23(2-3): p. 145-159.
[5] Chen, L.-H. and M.-C. Weng, An evaluation approach to engineering design in QFD processes using fuzzy goal programming models. European Journal of Operational Research, 2006. 172 :(۱)p. 230-248.
[6] Castro-Lacouture, D., et al., Optimization Model for the Selection of Materials Using the LEED Green Building Rating System. 2009.
[7] Liao, C.-N. and H.-P. Kao, An evaluation approach to logistics service using fuzzy theory, quality function development and goal programming. Computers & Industrial Engineering, 2014. 68: p. 54-64.

تعاریف و مخفف ها

---

۱ *Customer requirements*
۲ *Design requirements*
۳ *Crisp*
۴ *Fuzzy extended analytical hierarchical process*
۵ *Engineering Procurement Construction*