



اولین کنفرانس ملی پژوهش های کاربردی در مهندسی سازه و مدیریت ساخت دانشگاه صنعتی شریف



مروری بر کاربرد روش AHP در پروژه های طراحی، اجرا، تعمیر و نگهداری پل ها

علی مقصودی برمی^{۱*}، مهدی رمضانی^۲

۱- کارشناس ارشد، گروه پل و بزرگراه، سازمان مشاور فنی و مهندسی شهر تهران

Email: a.maghsoudibarmi@gmail.com

۲- مدیر گروه، گروه پل و بزرگراه، سازمان مشاور فنی و مهندسی شهر تهران

چکیده

اکثر تصمیمات مهندسی، اقتصادی، اجتماعی و صنعتی بر اساس مفاهیم صریح و روشن رفتار بهینه و همچنین انگیزه های ضمنی انسانی ایجاد می گردند. در چنین پروسه ای، بکار بردن داده های ملموس و یا ناملموس و همچنین ارضای معیارهای چندگانه برای موفقیت در تصمیم گیری ضروری می باشند. پلها نیز به عنوان یک المان از جنس زیرساختی، از شروع فاز طراحی تا مرحله اجرا و حتی در دوران بهره برداری جهت نگهداری و انجام تعمیرات لازم، تحت تاثیر معیار های مختلفی قرار دارند که لحاظ همه آنها در تصمیمات معموله بسیار تاثیرگذار خواهد بود. لذا، در مقاله پیش رو با رویکرد کاربرد در مهندسی پل، روشی برای انجام تصمیمات چند ضابطه ای تحت عنوان فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) ارائه شده است. در بخش اول برخی جزئیات محاسباتی روش AHP به طور خلاصه بیان گردیده است. در دو بخش بعد نیز دو روش AHP فازی و روش یکپارچه AHP-DEA که برای رفع معایب و تکمیل روش AHP ایجاد شده اند به همراه مطالعات موردی جهت مشاهده هرچه بهتر روش کار و نتایج بدست آمده معرفی و مقایسه خواهند گردید. به جهت نمایش وسعت کار هر دو بخش ساخت و نگهداری پلها مورد توجه قرار گرفته است.

کلمات کلیدی: تصمیم گیری چند معیاره، روش AHP، روش AHP فازی، روش یکپارچه AHP-DEA، مهندسی پل

۱- مقدمه

پلها به عنوان یک مولفه مهم شبکه بزرگراهی، به جهت نقش قابل توجهی که از نظر اقتصادی، اجتماعی و استراتژیکی دارند می بایست به طور ویژه مورد توجه قرار بگیرند. این توجه ویژه صرفاً مربوط به مرحله طراحی تفصیلی نبوده بلکه می بایست از طراحی مفهومی شروع و تا اتمام طراحی، ساخت و بعد از دوران ساخت در خصوص نحوه نگهداری و انجام تعمیرات لازم ادامه داشته باشد. لذا اتخاذ تصمیمات بهینه جهت صرفه جویی در سرمایه ها و همچنین خدمت رسانی در سطح بالاتر به اجتماع بسیار مورد توجه کارفرمایان و ذینفعان پروژه خواهد بود. برای مثال انتخاب سیستم مناسب برای پل می تواند تاثیر شگرفی بر بودجه لازم، زمان اجرا و سطح سرویس دهی مناسب داشته باشد.

امروزه اکثر تصمیمات مهندسی، اقتصادی، اجتماعی و صنعتی به مانند آنچه در مورد پلها مطرح شد بر اساس مفاهیم صریح و روشن رفتار بهینه و همچنین انگیزه های ضمنی انسانی ایجاد می گردند. در چنین پروسه ای، بکار بردن داده های ملموس و یا ناملموس و همچنین برقراری معیارهای چندگانه برای موفقیت در تصمیم گیری ضروری می باشند. بنابراین روش هاس سنتی تصمیم گیری برای مقابله با طبیعت مبهم و پیچیده مسائل موجود کافی نمی باشد.

لذا در مقاله پیش رو بر آن شد تا روشی برای انجام تصمیمات چند ضابطه ای تحت عنوان فرآیند تحلیل سلسله مراتبی^۱ (AHP) با رویکرد کاربرد در رشته مهندسی پل مورد واکاوی قرار گیرد. روش AHP توسط ساتی (۱۹۸۰) و برای تصمیم گیری های چندمعیاره^۲ (MCDM) ارائه

* نویسنده مسئول: علی، مقصودی برمی ، a.maghsoudibarmi@gmail.com

^۱ Analytic hierarchy process

^۲ Multi-criteria decision making



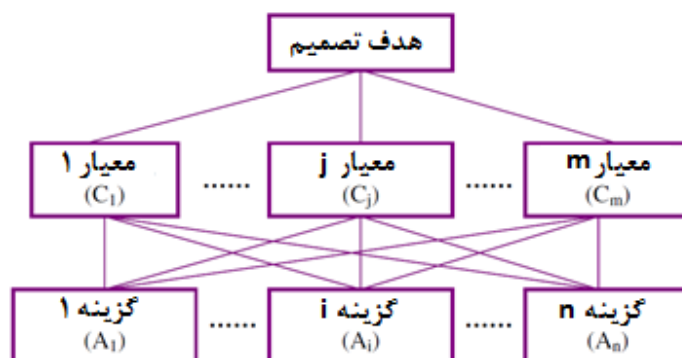
اولین کنفرانس ملی پژوهش های کاربردی در مهندسی سازه و مدیریت ساخت دانشگاه صنعتی شریف



شد. این روش، مسئله پیچیده MCDM را به یک سلسله مراتب، ارزیابی اهمیت نسبی معیار تصمیم گیری، مقایسه گزینه های تصمیم با توجه به هر معیار، و تعیین یک اولویت کلی برای هر گزینه و یک رتبه بندی کلی برای گزینه های تصمیم تجزیه می کند. در بخش اول این مقاله برخی جزئیات محاسباتی روش AHP به طور خلاصه بیان گردیده است. در دو بخش بعد نیز دو روش AHP فازی^۴ و روش یکپارچه^۵ AHP-DEA که برای رفع معایب و تکمیل روش AHP ایجاد شده اند به همراه مطالعه موردی معرفی خواهند گردید.

۲- معرفی متدولوژی AHP

همانطور که پیشتر نیز بیان گردید، روش AHP مسئله پیچیده MCDM را به یک سلسله مراتب، ارزیابی اهمیت نسبی معیار تصمیم گیری، مقایسه گزینه های تصمیم با توجه به هر معیار، و تعیین یک اولویت کلی برای هر گزینه و یک رتبه بندی کلی برای گزینه های تصمیم تجزیه می کند. سلسله مراتب مذکور همانطور که در شکل ۱ نیز نشان داده شده است به شکلی ساخته می شود که هدف کلی تصمیم در بالاترین تراز، معیارهای تصمیم گیری (و زیرمعیارها در صورت وجود) در تراز میانی، و گزینه های تصمیم در پائین قرار می گیرند. روش AHP یک چارچوب نظام مند برای تعیین اولویت در هر سطح از سلسله مراتب با استفاده از مقایسه دو به دو که با استفاده از مقیاس های ۱-۹ نشان داده شده در جدول ۱ کمی می شوند فراهم می کند.



شکل ۱: سلسله مراتب برای مسئله تیب سه سطحی MCDM.

جدول ۱: مقیاس های ۱-۹ برای مقایسه های دو به دو در AHP

تعریف	شدت اهمیت
اهمیت مساوی	۱
اهمیت متوسط یکی بر دیگری	۳
اهمیت نیرومند یکی بر دیگری	۵
اهمیت خیلی نیرومند یکی بر دیگری	۷
اهمیت حداکثری یکی بر دیگری	۹
مقادیر میانی	۲ و ۴ و ۶ و ۸
معکوس ها برای مقایسه متقابل	معکوس اعداد

فرض کنید C_1, \dots, C_m را m معیار تصمیم گیری و $W = (w_1, \dots, w_m)^T$ بردار وزن اهمیت نسبی نرمال شده آنها باشد که با استفاده از مقایسه دو به دو تعیین می شود و شرط نرمال سازی $\sum_{j=1}^m w_j = 1$ که در آن برای $w_j \geq 0, j=1, \dots, m$ خواهد بود را برقرار می نماید.

⁴ Fuzzy AHP approach

⁵ Integrated AHP-DEA methodology



اولین کنفرانس ملی پژوهش های کاربردی در مهندسی سازه و مدیریت ساخت دانشگاه صنعتی شریف



مقایسه های دو به دو بین m معیار تصمیم گیری می تواند با پرسش از تصمیم گیرنده و یا متخصص با سوالاتی نظیر اینکه با توجه به هدف تصمیم کدام معیار با چه مقیاسی (از ۱ تا ۹) از اهمیت بیشتری برخوردار خواهد بود انجام گردد. پاسخ به این سوالات ماتریس $m \times m$ مقایسه دو به دو را به فرم زیر تشکیل می دهد:

$$A = (a_{ij})_{m \times m} = \begin{matrix} C_1 & \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1m} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \cdots & a_{mm} \end{bmatrix} \\ C_2 \\ \vdots \\ C_m \end{matrix} \quad (1)$$

که در آن a_{ij} یک قضاوت کمی روی نسبت w_i/w_j با $a_{ii}=1$ و $a_{ij}=1/a_{ji}$ برای $i, j=1, \dots, m$ می باشد. اگر ماتریس مقایسه دو به دو $A=(a_{ij})_{m \times m}$ شرط $a_{ij}=a_{ik}a_{kj}$ را برای هر $i, j, k=1, \dots, m$ برقرار نماید، آنگاه آن را ماتریس سازگار کامل و در غیر اینصورت ناسازگار می گویند.

از ماتریس مقایسه دو به دو A ، بردار وزن W را می توان با حل معادله مشخصه زیر تعیین کرد:

$$AW = \lambda_{\max} W \quad (2)$$

که در آن λ_{\max} بزرگترین مقدار ویژه A می باشد. چنین روشی برای محاسبه بردار وزن یک ماتریس مقایسه دو به دو، روش بردار ویژه مستقیم اصلی^۶ (EM) نامیده می شود. [1]

ماتریس مقایسه دو به دو A باید از یک سازگاری قابل قبول برخوردار باشد، که توسط نسبت سازگاری (CR) به شرح زیر کنترل می گردد:

$$CR = \frac{(\lambda_{\max} - n)/(n-1)}{RI} \quad (3)$$

که در آن RI شاخص ناسازگاری تصادفی می باشد که مقادیر آن با درجه ماتریس مقایسه دو به دو تغییر می کند. جدول ۲ مقادیر RI برای ماتریس های مقایسه دو به دو از درجه ۱ تا ۱۰ را نشان می دهد. اگر CR کوچکتر یا مساوی ۰,۱ باشد ماتریس مقایسه از سازگاری قابل قبولی برخوردار است، در غیر اینصورت می بایست در آن بازنگری گردد.

جدول ۲: شاخص ناسازگاری تصادفی برای ماتریس مقایسه دو به دو از درجه ۱ تا ۱۰

n	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
RI	۰	۰	۰,۵۸	۰,۹	۱,۱۲	۱,۲۴	۱,۳۲	۱,۴۱	۱,۴۵	۱,۴۹

گزینه های تصمیم نیز می توانند دو به دو نسبت به هر معیار تصمیم به روشی مشابه مقایسه گردند. بعد از اینکه وزن معیار های تصمیم و وزن گزینه های تصمیم نسبت به هر معیار با استفاده از ماتریس های مقایسه دو به دو بدست آمد، وزن کل (یا اولویت) هر گزینه تصمیم نسبت به هدف تصمیم می تواند با استفاده از روش ساده وزن افزودنی (SAW) به شرح زیر محاسبه می گردد [2]:

$$w_{A_i} = \sum_{j=1}^m w_{ij} w_j, \quad i = 1, \dots, n \quad (4)$$

که w_j وزن معیار های تصمیم، w_{ij} وزن کلی گزینه های تصمیم می باشند. جدول ۳ نشان می دهد که چگونه وزن های کلی به کمک یک جدول به آسانی محاسبه می گردد. بر اساس وزن های کلی تصمیم، می توان تصمیم گیری را انجام داده و گزینه های تصمیم را اولویت بندی کرد. بهترین گزینه تصمیم، گزینه با بزرگترین وزن کلی نسبت به هدف تصمیم می باشد.

^۶ Principal right eigenvector method



اولین کنفرانس ملی پژوهش های کاربردی در مهندسی سازه و مدیریت ساخت دانشگاه صنعتی شریف



جدول ۳: محاسبه وزن های کلی

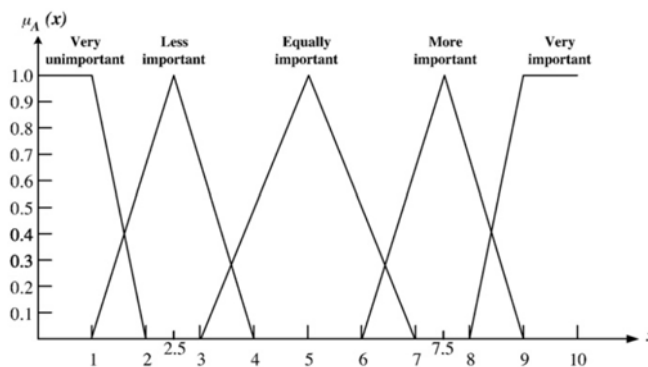
گزینه ها	معیارهای تصمیم					وزن کلی
	C_1	...	C_i	...	C_m	
	w_1	...	w_i	...	w_m	
A_1	w_{11}	...	w_{1j}	...	w_{1m}	$w_{A_1} = \sum_{j=1}^m w_{1j}w_j$
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
A_i	w_{i1}	...	w_{ij}	...	w_{im}	$w_{A_i} = \sum_{j=1}^m w_{ij}w_j$
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
A_n	w_{n1}	...	w_{nj}	...	w_{nm}	$w_{A_n} = \sum_{j=1}^m w_{nj}w_j$

۳- روش AHP فازی

روش تصمیم گیری سلسله مرتبی AHP به عنوان یک روش موثر در تصمیم گیری های چند معیاره در موارد مختلف مدیریت ساخت استفاده شده است. اما در هر حال این روش در اداره فعلیت ذاتی و ابهامی که در نگاشت ادراک یک فرد به یک عدد دقیق ناتوان بوده است. بنابراین، باکلی [3] مدل AHP فازی را برای رفع این مشکل ارائه نمود، که البته این مدل محاسبات پیچیده ای داشته و زمان طولانی ای را طلب می کند. بعد از او نیز تحقیقات متعددی در خصوص توسعه روش های AHP فازی و کاربردهای مختلف آن انجام گردید. [4] [5] [6] [7] [8] [9] در یکی از این تحقیقات، نانگ-فی پن [10] مدلی را ارائه کرد تا سختی های ناشی از محاسبات پیچیده روش های دیگر را اصلاح نماید. در اینجا، مدل مذکور را معرفی نموده و در یک مطالعه موردی کاربرد آن را در یک تصمیم گیری انتخاب سیستم ساخت پل مشاهده می نمایم.

۳-۱- متدولوژی

بعد از اینکه ساختمان سلسله مراتبی مسئله مشخص گردید، مقایسه دوجه دو صورت می گیرد. تمام معیار های در یک تراز سلسله مراتب نسبت به معیار تراز قبلی مقایسه می گردند. یک مقایسه دو به دو با استفاده از عبارات زبانی انجام می گردد. بر اساس اصلاحات تعریف چن [8] پنج عبارت خیلی بی اهمیت (VU)، کم اهمیت تر (LI)، اهمیت مساوی (EI)، مهم تر (MI) و خیلی با اهمیت تر (VI)، که از ۰ تا ۱۰ تغییر می کنند، برای توسعه ماتریس مقایسه فازی استفاده می گردد. این پنج عبارت با توابع عضویت مشابه آنچه در شکل ۲ نشان داده شده است توصیف می گردند. می توان مشاهده کرد که عبارات خیلی بی اهمیت و خیلی با اهمیت با توابع عضویت نیم دوزنقه ای قابل بیان هستند در حالیکه سایر عبارات با توابع عضویت مثلثی متقارن مشخص می گردند.



شکل ۲: توابع عضویت مقادیر مقایسه دو به دو



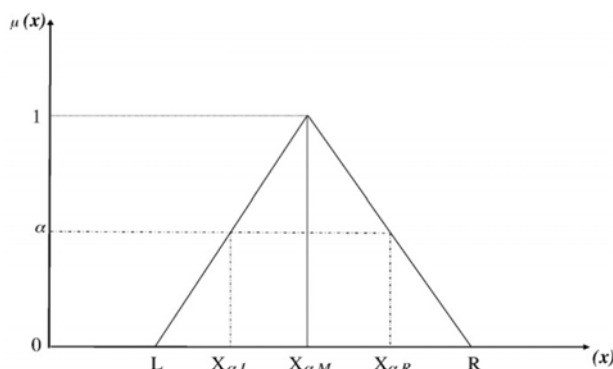
اولین کنفرانس ملی پژوهش های کاربردی در مهندسی سازه و مدیریت ساخت دانشگاه صنعتی شریف



ماتریس مقایسه فازی \tilde{A} ، که اهمیت فازی نسبی هر جفت المان را نشان می دهد به صورت زیر بیان می شود:

$$\tilde{A} = \begin{bmatrix} 1 & \tilde{r}_{12} & \tilde{r}_{13} & \cdots & \tilde{r}_{1n} \\ \tilde{r}_{21} & 1 & \tilde{r}_{23} & \cdots & \tilde{r}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \ddots & \vdots \\ \tilde{r}_{n1} & \tilde{r}_{n2} & \cdots & \cdots & 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

برای انعکاس درجات مشخصی از عدم قطعیت در پروسه تصمیم گیری، مفهوم برش α اعمال گردیده است. مقدار α بین ۰ و ۱ می باشد. مقدار صفر و مقدار یک به ترتیب عدم قطعیت حداکثر و حداقل را نشان می دهند. در موارد کاربردی، مقادیر ۰،۵ و ۱ به ترتیب برای دیدگاه های بدبینانه، متوسط و خوشبینانه بکار می روند. شکل ۳ نشان می دهد که عدد فازی مثلثی متناظر با یک مقدار داده شده می تواند با $(X_{\alpha,L}, X_{\alpha,M}, X_{\alpha,R})$ نشان داده شود. کمترین مقدار، کمترین مقدار و بیشترین مقدار عدد فازی را بیان می دارد.



شکل ۳: بازه های فازی مثلثی تحت برش α

پنج تابع عضویت نشان داده شده در شکل ۲ همچنین می توانند به فرم محاسباتی زیر از طریق معادلات ۶ تا ۱۰ نشان داده شوند.

$$X(\alpha)_{\text{Very unimportant}} = \begin{cases} X_{\alpha,L} = 0 \\ X_{\alpha,M} = \frac{0.5 + (X_{\alpha,L} - 1)[(X_{\alpha,L} - 1)(0.33 + 0.17\alpha) + 1]}{1 + (0.5X_{\alpha,L} - 0.5)(1 + \alpha)} \\ X_{\alpha,R} = 2 - \alpha \end{cases} \quad (6)$$

$$X(\alpha)_{\text{Less unimportant}} = \begin{cases} X_{\alpha,L} = 1 + 1.5\alpha \\ X_{\alpha,M} = 2.5 \\ X_{\alpha,R} = 4 - 1.5\alpha \end{cases} \quad (7)$$

$$X(\alpha)_{\text{Equally important}} = \begin{cases} X_{\alpha,L} = 3 + 2\alpha \\ X_{\alpha,M} = 5 \\ X_{\alpha,R} = 7 - 2\alpha \end{cases} \quad (8)$$

$$X(\alpha)_{\text{More important}} = \begin{cases} X_{\alpha,L} = 6 + 1.5\alpha \\ X_{\alpha,M} = 7.5 \\ X_{\alpha,R} = 9 - 1.5\alpha \end{cases} \quad (9)$$

$$X(\alpha)_{\text{Very important}} = \begin{cases} X_{(\alpha,L)} = 8 + \alpha \\ X_{(\alpha,M)} = 8 + \frac{1.5 + (9 - X_{(\alpha,L)})[(9 - X_{(\alpha,L)})(0.67 + 0.17\alpha) + 0.5]}{1 + (4.5 - 0.5X_{(\alpha,L)})(1 + \alpha)} \\ X_{(\alpha,R)} = 10 \end{cases} \quad (10)$$



اولین کنفرانس ملی پژوهش های کاربردی در مهندسی سازه و مدیریت ساخت دانشگاه صنعتی شریف



بنابراین یک ماتریس مقایسه ای فازی به فرم زیر می تواند تعریف گردد:

$$\tilde{A} = \begin{bmatrix} 1 & (X_{12,L}, X_{12,M}, X_{12,U}) & \dots & (X_{1n,L}, X_{1n,M}, X_{1n,U}) \\ (X_{21,L}, X_{21,M}, X_{21,U}) & 1 & \dots & (X_{2n,L}, X_{2n,M}, X_{2n,U}) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ (X_{n1,L}, X_{n1,M}, X_{n1,U}) & \dots & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad (11)$$

برای مثال، $(X_{12,L}, X_{12,M}, X_{12,U})$ مقادیر پائینی، میانی و بالایی المان شماره ۱ در مقایسه با المان ۲ در بالاترین تراز می باشد. برای ممکن ساختن محاسبات وزن فازی، ماتریس \tilde{A} به سه ماتریس جداگانه تقسیم می شود: ماتریس مقدار پائینی (A_L) ، ماتریس محتمل (A_M) ، و ماتریس مقدار بالایی (A_U) . برای مثال ماتریس A_U به فرم زیر تعریف می گردد:

$$A_U = \begin{bmatrix} 1 & X_{21,U} & \dots & X_{1n,U} \\ X_{21,U} & 1 & \dots & X_{2n,U} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ X_{n1,U} & \dots & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad (12)$$

به جهت محاسبه وزن المان ها، روش نرمال سازی میانگین هندسی مورد استفاده در مدل باکلی برای محاسبه وزن های موضعی به کار گرفته می شود:

$$w_i = \frac{g_i}{\sum_{i=1}^n g_i} \quad (13)$$

که در آن

$$g_i = \left(\prod_{j=1}^n r_{ij} \right)^{1/n} \quad (14)$$

در معادله بالا، g_i میانگین هندسی معیار i و r_{ij} مقدار مقایسه معیار i ام نسبت به معیار j ام می باشد. w_i وزن معیار i ام است بطوریکه $w_i > 0$ و $\sum_{i=1}^n w_i = 1$ می باشد.

برای ارزیابی گروهی، لازم است تا نظرات متعدد ارزیابان را به یکی جمع کرد. در مدل باکلی، جمع فازی و ضرب فازی برای محاسبه وزن های فازی از قضاوت گروهی استفاده می گردند، که پیچیده بوده و نیازمند محاسبات طولانی می باشد. در این روش اما از اپراتور فازی ماکزیمم - مینیمم و تکنیک های مرکز گرانش، به دلیل سادگی و کارآمدیشان استفاده می گردد. اپراتور فازی ماکزیمم - مینیمم با معادله زیر بیان می شود [11]:

$$\mu_A(x) = \max \{ \min [\mu_1(x), \mu_2(x), \dots, \mu_n(x)] \} \quad (15)$$

در رابطه فوق $\mu_A(x)$ مقدار عضویت المان x در زیرمجموعه تجمیع یافته A می باشد؛ و $\mu_1(x), \mu_2(x), \dots, \mu_n(x)$ درجات عضویت که به ترتیب نمایانگر قضاوت اول، دوم، ... و n ام ارزیاب می باشد. روش مرکز گرانش با عبارت زیر داده می شود:

$$z^* = \frac{\int \mu(z) \cdot z dz}{\int \mu(z) dz} \quad (16)$$

که $\mu(z)$ مقدار عضویت؛ z^* میانگین وزنی می باشد.

بنابراین، وزن کلی I امین زیر معیار S_i ، با رابطه زیر محاسبه می شود:

$$S_I = \sum_{i=1}^L w_k \times S_{Ik} \quad (17)$$



اولین کنفرانس ملی پژوهش های کاربردی در مهندسی سازه و مدیریت ساخت دانشگاه صنعتی شریف

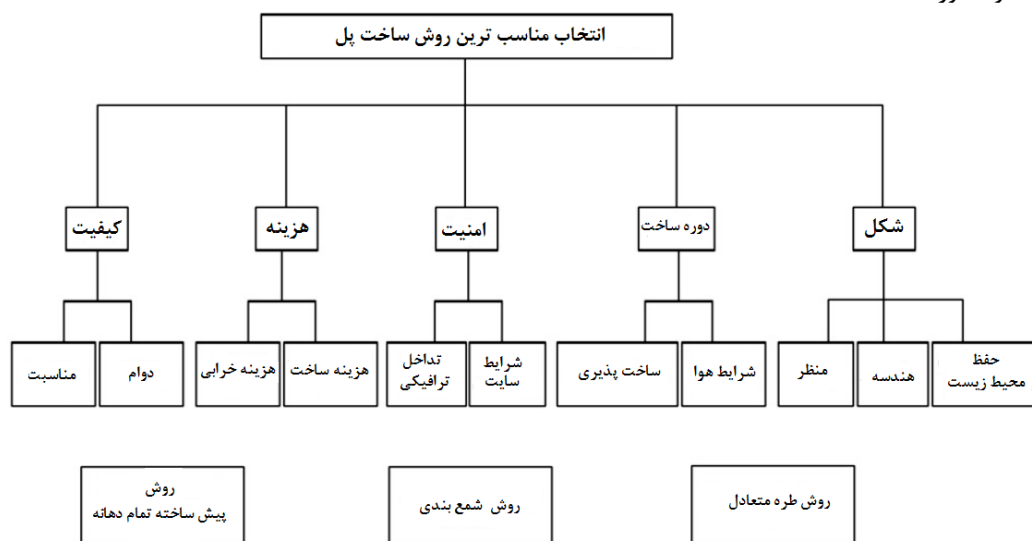


که در آن w_k وزن k امین معیار اصلی، S_{Ik} وزن موضعی k امین زیرمعیار نسبت به k امین معیار اصلی می باشد. به طور مشابه، وزن کلی m امین گزینه در خصوص k امین زیرمعیار، R_m ، با رابطه زیر بیان می شود:

$$R_m = \sum_{k=1}^M S_{Ik} \times R_{mk} \quad (18)$$

۳-۲- مطالعه موردی در استفاده از روش فازی AHP در انتخاب روش اجرای مناسب

در این قسمت به عنوان یک مطالعه موردی، پروژه احداث آزادراه درجه دوم ملی تایوان مورد بررسی قرار می گیرد [10]. کارفرمای پروژه، در نظر داشته تا مناسب ترین روش اجرا از میان روش های پیش ساخته تمام دهانه، شمع بندی و طره متعادل را انتخاب کند. در این راستا یک گروه تصمیم گیری هشت نفره شامل متخصصان خبره با سابقه حداقل ده سال کار مشابه تشکیل گردید. سلسله مراتب پایه تصمیم گیری با استفاده از روش دلفی و بر اساس پیشنهادات کارشناسان تهیه گردید. همانطور که در شکل ۴ هم نشان داده شده است پنج معیار اصلی کیفیت، هزینه، امنیت، طول دوره ساخت و شکل پل تعیین گردیدند. معیارهای اصلی به زیرمعیارهایی شکسته شدند که در شکل ۴ قابل مشاهده می باشد. پس از تعیین معیارهای اصلی، مقایسه دو به دو آنها توسط کارشناسان به وسیله پرسشنامه هایی که تهیه گردید انجام و نتایج آن به شرح جدول ۴ بدست آمد. به طور مشابه نتایج ارزیابی زیرمعیارهای مربوط به هر معیار اصلی و همچنین گزینه های تصمیم گیری نسبت به هر زیر معیار نیز انجام که نتایج آن در جداول ۵ و ۶ آورده شده است.



شکل ۴: سلسله مراتب انتخاب روش ساخت پل

جدول ۴: نتایج ارزیابی معیار اصلی با توجه به هدف کلی

	کارشناس ۱	کارشناس ۲	کارشناس ۳	کارشناس ۴	کارشناس ۵	کارشناس ۶	کارشناس ۷	کارشناس ۸
کیفیت در مقابل هزینه	VI	MI	VI	MI	VI	EI	EI	MI
کیفیت در مقابل ایمنی	MI	EI	EI	LI	EI	EI	EI	EI
کیفیت در مقابل دوره ساخت	VI	MI	VI	MI	EI	EI	MI	EI
کیفیت در مقابل شکل	VI	MI	MI	VI	MI	MI	MI	EI
هزینه در مقابل ایمنی	LI	LI	LI	VU	EI	EI	EI	LI
هزینه در مقابل دوره ساخت	MI	EI	EI	EI	EI	EI	EI	EI
هزینه در مقابل شکل	LI	MI	MI	EI	MI	MI	EI	LI
امنیت در مقابل دوره ساخت	VI	MI	MI	VI	EI	EI	MI	MI
امنیت در مقابل شکل	VI	MI	VI	VI	MI	VI	VI	EI



اولین کنفرانس ملی پژوهش های کاربردی در مهندسی سازه و مدیریت ساخت دانشگاه صنعتی شریف



دوره ساخت در مقابل شکل

جدول ۵: نتایج ارزیابی زیرمعیارهای نظیر معیارهای اصلی

	کارشناس ۱	کارشناس ۲	کارشناس ۳	کارشناس ۴	کارشناس ۵	کارشناس ۶	کارشناس ۷	کارشناس ۸
دوام در مقابل مناسبیت	EI	MI	EI	MI	MI	EI	EI	EI
هزینه خرابی در مقابل هزینه ساخت	EI	LI	EI	LI	EI	EI	EI	EI
تداخل ترافیکی در مقابل شرایط سایت	MI	EI	EI	EI	EI	VI	MI	EI
ساخت پذیری در مقابل شرایط آب و هوا	VI	EI	EI	VI	MI	MI	MI	MI
منظر در مقابل هندسه	VI	EI	EI	MI	MI	EI	MI	MI
منظر در مقابل حفظ محیط زیست	LI	EI	EI	EI	EI	EI	MI	EI
هندسه در مقابل حفظ محیط زیست	VU	LI	EI	LI	LI	EI	LI	EI

جدول ۶: نتایج ارزیابی گزینه ها نسبت به زیرمعیارها

	کارشناس ۱	کارشناس ۲	کارشناس ۳	کارشناس ۴	کارشناس ۵	کارشناس ۶	کارشناس ۷	کارشناس ۸
دوام*۱	LI	LI	EI	LI	EI	VU	EI	EI
دوام*۲	MI	EI	EI	MI	EI	VI	EI	EI
دوام*۳	MI	MI	EI	MI	MI	MI	EI	EI
مناسبیت*۱	LI	LI	EI	VU	EI	LI	EI	EI
مناسبیت*۲	EI	MI	LI	MI	EI	MI	EI	EI
مناسبیت*۳	MI	MI	MI	MI	EI	MI	MI	EI
هزینه خرابی*۱	VU	EI	LI	LI	EI	LI	LI	LI
هزینه خرابی*۲	LI	LI	EI	MI	EI	LI	EI	LI
هزینه خرابی*۳	MI	MI	MI	MI	EI	MI	VI	VI
هزینه ساخت*۱	VI	VI	MI	MI	MI	EI	MI	MI
هزینه ساخت*۲	VI	VI	MI	VI	MI	EI	LI	LI
هزینه ساخت*۳	LI	EI	EI	MI	MI	EI	EI	LI
تداخل ترافیکی*۱	LI	EI	EI	EI	EI	EI	MI	MI
تداخل ترافیکی*۲	MI	EI	LI	EI	EI	EI	MI	MI
تداخل ترافیکی*۳	VI	EI	MI	EI	EI	MI	EI	MI
شرایط سایت*۱	EI	MI	MI	EI	EI	EI	EI	EI
شرایط سایت*۲	EI	MI	MI	LI	LI	EI	MI	LI
شرایط سایت*۳	LI	MI	MI	LI	MI	EI	EI	LI
ساخت پذیری*۱	EI	LI	EI	EI	LI	LI	EI	LI
ساخت پذیری*۲	EI	MI	EI	EI	EI	EI	EI	EI
ساخت پذیری*۳	EI	MI	EI	EI	EI	MI	MI	EI
شرایط هوایی*۱	LI	LI	LI	VU	EI	EI	EI	EI
شرایط هوایی*۲	LI	EI	LI	LI	LI	EI	EI	MI
شرایط هوایی*۳	LI	MI	EI	MI	EI	EI	MI	EI
منظر*۱	LI	MI	EI	LI	EI	EI	MI	EI
منظر*۲	VU	EI	LI	VU	EI	EI	EI	LI
منظر*۳	VU	EI	LI	LI	EI	EI	EI	LI
هندسه*۱	LI	MI	EI	LI	EI	EI	EI	EI
هندسه*۲	VU	EI	LI	VU	EI	EI	EI	LI
هندسه*۳	VU	EI	LI	LI	EI	EI	EI	LI
حفظ محیط زیست*۱	VI	EI	EI	EI	EI	EI	MI	EI
حفظ محیط زیست*۲	MI	EI	EI	LI	EI	EI	MI	LI
حفظ محیط زیست*۳	VU	EI	LI	LI	EI	EI	EI	LI

توجه داشته باشید که 1* گزینه ۱ را با گزینه ۲، 2* گزینه ۱ را با گزینه ۲ و 3* گزینه ۲ را با گزینه ۳ مقایسه می نماید.



اولین کنفرانس ملی پژوهش های کاربردی در مهندسی سازه و مدیریت ساخت دانشگاه صنعتی شریف



به جهت بیان واضح تر روش مورد بحث، تنها ارزیابی کارشناس اول و دوم مثال زده می شود. ابتدا ماتریس مقایسه فازی بر اساس قضاوت کارشناس اول به شکل زیر محاسبه می شود:

$$\tilde{A}^1 = \begin{bmatrix} 1 & (8, 9, 10, 10) & (6, 7.5, 9) & (8, 9, 10, 10) & (8, 9, 10, 10) \\ (0, 0, 1, 2) & 1 & (1, 2.5, 4) & (6, 7.5, 9) & (1, 2.5, 4) \\ (1, 2.5, 4) & (6, 7.5, 9) & 1 & (8, 9, 10, 10) & (8, 9, 10, 10) \\ (0, 0, 1, 2) & (1, 2.5, 4) & (0, 0, 1, 2) & 1 & (1, 2.5, 4) \\ (0, 0, 1, 2) & (6, 7.5, 9) & (0, 0, 1, 2) & (6, 7.5, 9) & 1 \end{bmatrix}$$

بنابراین، ماتریس مقایسه کران بالا برابر خواهد بود با

$$A_U^1 = \begin{bmatrix} 1 & 10 & 9 & 10 & 10 \\ 2 & 1 & 4 & 9 & 4 \\ 4 & 9 & 1 & 10 & 10 \\ 2 & 4 & 2 & 1 & 4 \\ 2 & 9 & 2 & 9 & 1 \end{bmatrix}$$

در مرحله بعد میانگین هندسی معیار کیفیت (C₁) نسبت به هزینه (C₂)، امنیت (C₃)، طول دوره ساخت (C₄)، و شکل پل (C₅) می تواند با استفاده از رابطه ۱۴ به شکل زیر تعیین گردید

$$u_1 = (1 \times 10 \times 9 \times 10 \times 10)^{1/5} = 6.178$$

به روشی مشابه میانگین هندسی C₂، C₃، C₄ و C₅ به مقادیر ۳،۱۰۴، ۵،۱۴۳، ۲،۲۹۷ و ۳،۱۷۸ منتج گردید. بنابراین وزن نسبی C₁ با استفاده از معادله ۱۳ به مقدار زیر برآورد می گردد:

$$w_1 = 6.178 / (3.104 + 5.143 + 2.297 + 3.718) = 0.310$$

مشابهاً، وزن C₂ تا C₅ به ترتیب برابر مقادیر ۰،۱۵۶، ۰،۲۶۰، ۰،۱۱۵ و ۰،۱۶۱ بدست می آید. همچنین، درخصوص A_M¹ و A_L¹ وزن های C₁ تا C₅ به ترتیب منتج به (0.372, 0.144, 0.258, 0.096, 0.160) و (0.391, 0.112, 0.240, 0.078, 0.149) گردید. در نتیجه وزن حداقل، میانگین و حداکثر برای C₁ برابر (0.31, 0.372, 0.391) خواهد بود.

به روشی مشابه، وزن C₁ ناشی از قضاوت کارشناس دوم منتج به (0.248, 0.266, 0.307) خواهد شد. با استفاده از معادله ۱۵ تجمیع ارزیابی دو کارشناس مشابه آنچه در شکل ۵ نشان داده شده است بدست می آید. بنابراین، وزن نماینده معیار کیفیت (C₁)، Z*، می تواند با استفاده از معادله ۱۶ به شرح زیر بدست آید

$$\begin{aligned} Z_{\text{quality}}^* &= \left\{ \int_{0.310}^{0.372} \frac{1-0}{0.372-0.310} (x-0.310) dx + \int_{0.372}^{0.391} \left(\frac{0-1}{0.391-0.372} (x-0.372) + 1 \right) dx \right. \\ &+ \left. \int_{0.248}^{0.266} \frac{1-0}{0.266-0.248} (x-0.248) dx + \int_{0.266}^{0.307} \left(\frac{0-1}{0.307-0.266} (x-0.266) + 1 \right) dx \right\} \\ &\div \left\{ \int_{0.310}^{0.372} \frac{1-0}{0.372-0.310} (x-0.310) dx + \int_{0.372}^{0.391} \left(\frac{0-1}{0.391-0.372} (x-0.372) + 1 \right) dx \right. \\ &+ \left. \int_{0.248}^{0.266} \frac{0-1}{0.266-0.248} (x-0.248) dx + \int_{0.266}^{0.307} \left(\frac{0-1}{0.307-0.266} (x-0.266) + 1 \right) dx \right\} \\ &= 0.322 \end{aligned}$$

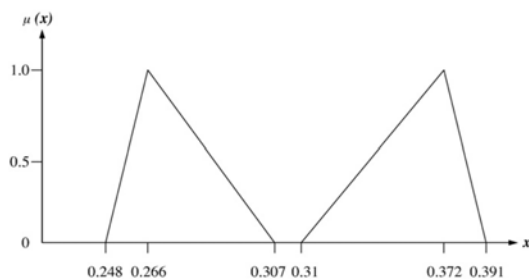
با استفاده از پروسه مطروحه و ارزیابی تمامی کارشناسان، وزن معیارهای کیفیت، هزینه، امنیت، دوره ساخت و شکل پل متناظر با مقادیر α برابر ۰،۵، ۰ و ۱ به ترتیب برابر خواهد بود با (0.297, 0.516, 0.294, 0.142, 0.139)، (0.298, 0.163, 0.293, 0.146, 0.124) و (0.276, 0.159, 0.277, 0.155, 0.133). نتایج نشان داد که کیفیت و ایمنی دو معیار با اهمیت در انتخاب روش ساخت بوده در حالیکه شکل پل از کمترین اهمیت برخوردار می باشد. بر اساس وزن معیارهای اصلی، وزن کلی زیرمعیارها با استفاده از جدول ۵ و معادله ۱۷ مطابق جدول ۷ برآورد می گردد. با استفاده از جدول ۵ و ۶ و معادله ۱۸ وزن گزینه ها مطابق جدول ۸ بدست می آید. در نهایت وزن روش های پیش ساخته تمام



اولین کنفرانس ملی پژوهش های کاربردی در مهندسی سازه و مدیریت ساخت دانشگاه صنعتی شریف



دهانه، با شمع بندی و طره متعادل نظیر مقادیر α برابر ۰، ۰.۵، و ۱ به ترتیب برابر (0.352, 0.38, 0.294)، (0.361, 0.387, 0.289) و (0.328, 0.370, 0.294) بدست آمد. نتایج فوق استفاده از روش شمع بندی را پیشنهاد می نمایند.



شکل ۵: تجمیع ارزیابی دو کارشناس در خصوص معیار کیفیت

جدول ۷: وزن کلی زیرمعیارها

α	دوام	مناسبت	هزینه خرابی	هزینه ساخت	تداخل ترافیکی	شرایط سایت	ساخت پذیری	شرایط آب وهوایی	منظر	هندسه	حفظ محیط زیست
۰	۰.۱۸۶	۰.۱۱۱	۰.۰۵۹	۰.۰۹۸	۰.۱۹۳	۰.۱۰۱	۰.۰۷۳	۰.۰۶۹	۰.۰۳۶	۰.۰۲۹	۰.۰۷۴
۰.۵	۰.۱۷۸	۰.۱۲۰	۰.۰۶۶	۰.۰۹۷	۰.۱۵۰	۰.۱۴۳	۰.۰۹۲	۰.۰۵۴	۰.۰۴۶	۰.۰۲۶	۰.۰۵۱
۱	۰.۱۵۵	۰.۱۲۱	۰.۰۷۲	۰.۰۸۶	۰.۱۵۸	۰.۱۱۸	۰.۰۹۲	۰.۰۶۴	۰.۰۵۱	۰.۰۳۲	۰.۰۵۱

جدول ۸ - وزن کلی گزینه ها

زیر معیار	روش			
	α	روش پیشساخته تمام دهانه	روش شمع بندی	روش طره متعادل
دوام	۰	0.055	0.077	0.045
	۰.۵	0.055	0.075	0.04
	۱	0.048	0.067	0.04
مناسبت	۰	0.033	0.048	0.026
	۰.۵	0.035	0.055	0.029
	۱	0.036	0.053	0.031
هزینه خرابی	۰	0.015	0.027	0.015
	۰.۵	0.016	0.031	0.017
	۱	0.018	0.035	0.02
هزینه ساخت	۰	0.047	0.024	0.033
	۰.۵	0.048	0.025	0.028
	۱	0.04	0.022	0.025
تداخل ترافیکی	۰	0.075	0.076	0.043
	۰.۵	0.063	0.057	0.033
	۱	0.057	0.058	0.043
شرایط سایت	۰	0.04	0.034	0.035
	۰.۵	0.059	0.047	0.045
	۱	0.042	0.036	0.04
ساخت پذیری	۰	0.021	0.03	0.018
	۰.۵	0.028	0.041	0.024
	۱	0.028	0.037	0.027
شرایط آب وهوایی	۰	0.018	0.03	0.018
	۰.۵	0.015	0.023	0.019
	۱	0.017	0.025	0.022
منظر	۰	0.009	0.01	0.018
	۰.۵	0.013	0.013	0.022
	۱	0.015	0.014	0.017
هندسه	۰	0.008	0.008	0.014



اولین کنفرانس ملی پژوهش های کاربردی در مهندسی سازه و مدیریت ساخت دانشگاه صنعتی شریف



	۰.۵	0.007	0.008	0.013
	۱	0.009	0.009	0.014
حفظ محیط زیست	۰	0.031	0.016	0.029
	۰.۵	0.022	0.012	0.019
	۱	0.018	0.014	0.015
مجموع وزن ها	۰	0.352	0.38	0.294
	۰.۵	0.361	0.387	0.289
	۱	0.328	0.37	0.294

۴- متدولوژی یکپارچه AHP-DEA (ترکیب AHP و تحلیل پوششی داده ها (DEA))

روش سنتی AHP که در بخش ۱ معرفی گردید تنها قادر است تعداد خیلی محدودی از گزینه های تصمیم (معمولا کمتر از ۱۵) را مقایسه کند. اما در مواردی که صدها و یا هزاران گزینه برای مقایسه وجود دارد، روش مقایسه دو به دو که با روش سنتی AHP فراهم می گردد عملی نخواهد بود. این نکته نقطه ضعف دیگری از روش AHP می باشد. در مهندسی پل نیز در مواردی نظیر ارزیابی ریسک پل ها که اغلب به منظور تعیین اولویت پل ها برای تعمیر و نگهداری انجام می گردد، با یک مسئله تصمیم گیری چند معیاره روبرو هستیم که با مسائلی نظیر امنیت، کارکرد، پایداری و غیره سروکار داشته و گزینه های متعددی را نیز برای مقایسه دارد. لذا کاربرد روش AHP سنتی برای آن ممکن نخواهد بود. در این قسمت در راستای رفع مشکل مذکور ترکیب AHP و تحلیل پوششی داده ها (DEA) (روش یکپارچه AHP-DEA) را معرفی می نماییم. ایده ترکیب AHP و DEA موضوع جدیدی نیست. تلاش های متعددی جهت ترکیب دو روش فوق در کارهای واقعی انجام شده است [12] [13][14][15][16]. از بررسی این تحقیقات مشاهده می گردد که روش های فوق اغلب نیازمند تشکیل ماتریس های مقایسه دو به دو بوده که در مواردی که تعدادی زیادی از واحد های تصمیم گیری وجود دارد دشوار و غیر کاربردی خواهد بود. جهت رفع مشکل فوق، وانگ و همکاران [17] روشی جدیدی را ارائه نمودند که در ادامه معرفی خواهد گردید.

۴-۱- متدولوژی

مسئله عمومی MCDM با m معیار و n گزینه تصمیم در شکل ۱ نشان داده شده است، که در صورت لزوم هر معیار می تواند به چند زیر معیار تقسیم شود. فرض می شود بردار وزن نرمال شده معیار تصمیم، $W = (w_1, \dots, w_m)^T$ از مقایسه دو به دو در AHP بدست آمده است. برای n گزینه تصمیم، هنگامیکه تعداد گزینه ها خیلی زیاد است (میکوییم $n > 15$) غیر ممکن است که بتوان یک ماتریس مقایسه دو به دو تشکیل داد. از یک طرف، تعداد زیاد مقایسه های دو به دو بار سنگینی برای متخصصان خواهد داشت و از طرف دیگر تعداد زیاد مقایسات سبب ایجاد پیچیدگی در قضاوت و بروز ناسازگاری می گردد.

برای مشخص کردن اهمیت هر گزینه نسبت به گزینه دیگر برای هر معیار مجموعه ای از نمرات ارزیابی را تعریف می کنیم: $G_j = \{H_{j1}, \dots, H_{jkj}\}$ ($j=1, \dots, m$)؛ که H_{j1}, \dots, H_{jkj} اهمیت را از بیشترین تا کمترین بیان می کنند و K_j تعداد درجات ارزیابی برای معیار j می باشد. این تعریف به ما اجازه می دهد تا برای معیار های مختلف از تعداد درجات ارزیابی مختلفی استفاده کنیم و شکل پذیری لازم برای استفاده از درجات زبانی را فراهم می کند. سپس ما از کارشناسان حوزه های مختلف می خواهیم تا گزینه های تصمیم گیری را ارزیابی کرده و آنها را در درجات ارزیابی متناظرشان بر اساس اهمیت نسبی شان نسبت به معیار تحت بررسی دسته بندی کنند. بدون از دست دادن کلیت موضوع، فرض کنید که معیار j توسط N_j متخصص ($j=1, \dots, m$) ارزیابی می گردد. بنابراین، نتایج ارزیابی می تواند با بردار های توزیع ارزیابی زیر مشخص شود:

$$R(C_j(A_i)) = \{(H_{j1}, NE_{ij1}), \dots, (H_{jkj}, NE_{ijkj})\}, \quad i = 1, \dots, n; \quad j = 1, \dots, m, \quad (19)$$



اولین کنفرانس ملی پژوهش های کاربردی در مهندسی سازه و مدیریت ساخت دانشگاه صنعتی شریف



که NE_{ijk} (k=1,...,K_j) تعداد متخصصانی می باشد که گزینه A_i را به درجه H_{jk} تحت معیار J ارزیابی می کنند. واضح است که:
 $\sum_{k=1}^{K_j} NE_{ijk} = N_j$ برای $i = 1, \dots, n$ و $j=1, \dots, m$. بردار توزیع ارزیابی فوق بردار فوق می تواند به فرم زیر نیز بیان گردد [18]:
 $B(C_j(A_i)) = \{(H_{j1}, b_{ij1}), \dots, (H_{jK_j}, b_{ijK_j})\}$, $i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, m$, (۲۰)

که $0 \leq b_{ijk} \leq 1$ و $b_{ijk} = NE_{ijk} / N_j$ برای $k=1, \dots, K_j$ و $j=1, \dots, m$ و $i = 1, \dots, n$ تمام بردارهای توزیع ارزیابی، ماتریس توزیع تصمیم را همانطور که در جدول ۹ نشان داده شده است ایجاد می کنند.

جدول ۹: ماتریس توزیع تصمیم برای گزینه های تصمیم

گزینه ها	معیارهای تصمیم										
	C ₁	C _j	C _m		
	H ₁₁	...	H _{1K₁}	...	H _{j1}	...	H _{jK_j}	...	H _{m1}	...	H _{mK_m}
A ₁	NE ₁₁₁	...	NE _{11K₁}	...	NE _{1j1}	...	NE _{1jK_j}	...	NE _{1m1}	...	NE _{1mK_m}
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
A _i	NE _{i11}	...	NE _{i1K₁}	...	NE _{ij1}	...	NE _{ijK_j}	...	NE _{im1}	...	NE _{imK_m}
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
A _n	NE _{n11}	...	NE _{n1K₁}	...	NE _{nj1}	...	NE _{njK_j}	...	NE _{nm1}	...	NE _{nmK_m}

فرض کنید $s(H_{jk})$ نمره درجه H_{jk} باشد. آنگاه، وزن موضعی هر گزینه نسبت به هر معیار می تواند به فرم زیر تعریف گردد:

$$v_{ij} = \sum_{k=1}^{K_j} s(H_{jk}) NE_{ijk}, \quad i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, m. \quad (۲۱)$$

برای تعیین وزن موضعی هر گزینه نسبت به هر معیار، هر گزینه را به عنوان واحد تصمیم گیری (DMU)^۷، $s(H_{jk})$ را به عنوان متغیر تصمیم و همچنین وزن تخصیص داده شده به خروجی NE_{ijk} نگاه می کنیم، و مدل DEA زیر را با وزن های معمول می سازیم [19]:

$$\begin{aligned} & \text{Maximize } \alpha, \\ & \text{Subject to } \alpha \leq v_{ij} = \sum_{k=1}^{K_j} s(H_{jk}) NE_{ijk} \leq 1, \quad i = 1, \dots, n, \\ & s(H_{j1}) \geq 2s(H_{j2}) \geq \dots \geq K_j s(H_{jK_j}) \geq 0, \end{aligned} \quad (۲۲)$$

که در آن $s(H_{j1}), \dots, s(H_{jK_j})$ متغیرهای تصمیم و $s(H_{j1}) \geq 2s(H_{j2}) \geq \dots \geq K_j s(H_{jK_j}) \geq 0$ شرط قوی رتبه بندی تحمیلی به درجات ارزیابی می باشد.

مدل بالا از مدل DEA ایجاد شده توسط وانگ و همکاران [19] به فرم زیر مطرح شده است:

$$\begin{aligned} & \text{Maximize } \alpha \\ & \text{Subject to } \alpha \leq Z_i = \sum_{j=1}^m v_{ij} w_j \leq 1, \quad i = 1, \dots, n, \\ & w_1 \geq 2w_2 \geq \dots \geq mw_m \geq 0, \end{aligned} \quad (۲۳)$$

که در آن w_j وزن اهمیت نسبی متصل به مرتبه رتبه بندی J ام v_{ij} ، $(j=1, \dots, m)$ ، i که i را در J امین جایگاه کاندیدا می کند، Z_i نمره کلی هر کاندیدای i ($i=1, \dots, n$)، و $w_1 \geq 2w_2 \geq \dots \geq mw_m$ ، $(i=1, \dots, n)$ ، روی متغیرات تصمیم، که از آنجایی که سبب می شود وزن ها شروط $w_1 > w_2 > \dots > w_m > 0$ و $w_1 - w_2 > w_2 - w_3 > \dots > w_{m-1} - w_m > 0$ را برقرار نماید معنی دار می باشد. معنای مدل بالا جستجوی یک مجموعه معمول وزن ها برای همه کاندیداها به نحوی که بتوانند بر یک پایه معمول ارزیابی شوند می باشد.

^۷ Decision making unit



اولین کنفرانس ملی پژوهش های کاربردی در مهندسی سازه و مدیریت ساخت دانشگاه صنعتی شریف



با حل مدل ۲۲ برای هر معیار، به ترتیب وزن های موضعی هر گزینه نسبت به m معیار تصمیم می تواند با معادله ۲۱ محاسبه شده و سپس با استفاده از روش SAW چنانچه در زیر نشان داده شده به وزن کلی تبدیل شود:

$$V(A_i) = \sum_{j=1}^m w_j v_{ij}^* = \sum_{j=1}^m w_j \left(\sum_{k=1}^{K_j} s^*(H_{jk}) NE_{ijk} \right), \quad i = 1, \dots, n, \quad (24)$$

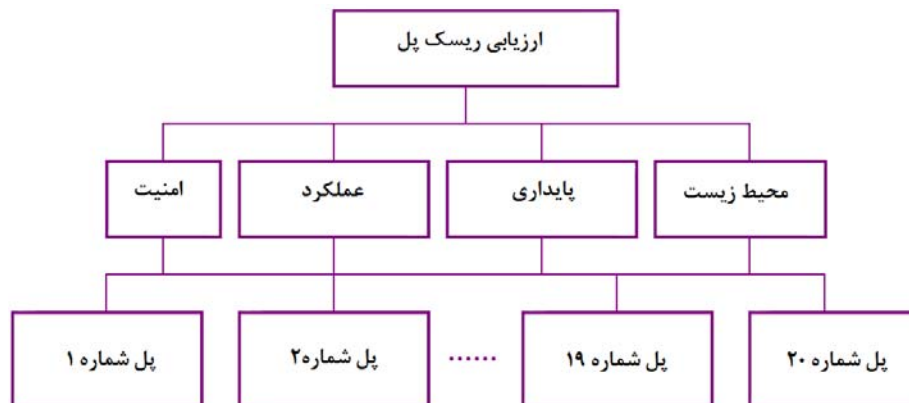
که در آن $w_j (j = 1, \dots, m)$ وزن معیارها که توسط روش AHP محاسبه شدند، $s^*(H_{jk}) (j=1, \dots, m; k=1, \dots, K_j)$ نمرات بهینه درجه های ارزیابی محاسبه شده توسط مدل ۲۲، و $V(A_i) (i=1, \dots, n)$ وزن های کلی n گزینه که براساس آنکه کدامیک از n گزینه می تواند اولویت داده شود می باشند.

۲-۴- کاربرد در ارزیابی خطر پذیری پل (مطالعه موردی)

در این قسمت در یک مثال کاربردی، ارزیابی ریسک پلهای بریتانیا مورد بررسی قرار می گیرد [17]. براساس آژانس بزرگراه های بریتانیا، اولویت های نگهداری سازه پل ها می تواند توسط ریسک های آنها تعیین شود. ریسک های پل آن دسته از اتفاقات یا خطر هایی هستند که حصول اهداف کارکردی پل را مختل می کنند، و می توان آنها را بر اساس معیار های زیر ارزیابی کرد:

- امنیت - امنیت عموم
- کارکرد - اثرات روی سطح سرویس و در دسترس بودن شبکه برای استفاده
- پایداری - پایداری در هزینه و حجم کار، که منظور رسیدن به یک حالت پایدار برای هزینه و حجم کار با انجام فعالیت های پیشگیرانه هدفمند و موثر می باشد.
- محیط زیست - اثرات روی محیط زیست شامل ظاهر سازه و مسائل زیبایی شتاختی.

از آنجایی که هزاران پل توسط آژانس بزرگراه های بریتانیا نگهداری می شوند، در اینجا تنها ۲۰ مورد مورد بررسی قرار می گیرد. شکل ۶ ساختمان سلسله مراتبی را برای این ۲۰ پل نمایش می دهد.



شکل ۶: سلسله مراتب مسئله ارزیابی ریسک پل ها

وزن معیارها باید توسط مدیر بالارته و یا تصمیم گیرنده پروژه های نگهداری پل ها تعیین گردد. ماتریس مقایسه دو به دو توسط آژانس بزرگراه های بریتانیا به شرح زیر تهیه گردید:

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 3 & 5 \\ 1/2 & 1 & 2 & 3 \\ 1/3 & 1/2 & 1 & 2 \\ 1/5 & 1/3 & 1/2 & 1 \end{bmatrix}$$



اولین کنفرانس ملی پژوهش های کاربردی در مهندسی سازه و مدیریت ساخت دانشگاه صنعتی شریف



که بزرگترین مقدار ویژه آن $\lambda_{max} = 4.014521$ و بردار ویژه نرمال شده نظیر آن برابر $W = (0.4829, 0.2720, 0.1570, 0.0882)^T$ خواهد بود. شاخص سازگاری برای ماتریس فوق $CI = 0.0048$ و نسبت سازگاری نظیر برابر $CR = 0.0054$ خواهد بود و با توجه به اینکه از ۰,۱ کمتر است از نظر سازگاری قابل قبول می باشد.

درجه بندی ارزیابی زیر برای چهار معیار مسئله به شرح زیر تعریف گردید:

$$G = \{High, Medium, Low, None\} = \{H, M, L, N\}$$

در صورت نیاز می توان برای معیار های مختلف از مجموعه ها و تعداد متفاوتی استفاده کرد.

در این مرحله، پل های مور دنظر باید یکی یکی در برابر معیار های تعریف شده ارزیابی گردند. این کار میتواند توسط متخصصان انجام گردد. برای مثال می توان از کارشناسان امنیت پلها دعوت کرد تا ریسک های پل ها را در مقابل معیار امنیت ارزیابی کنند. معیار های متفاوت می توانند تعداد کارشناسان مختلفی داشته باشند. نتایج ارزیابی ماتریس توزیع تصمیم را شکل خواهد داد.

جدول ۱۰ ماتریس توزیع تصمیم برای ۲۰ دستگاه پل که توسط ۱۰ کارشناس امنیت، ۱۵ کارشناس کارکرد، ۲۰ کارشناس پایداری و ۱۰ کارشناس محیط زیست در ۴ معیار ارزیابی گردیده اند را نشان می دهد.

جدول ۱۰: اطلاعات ارزیابی ریسک ۲۰ دستگاه پل

پل	معیارهای ارزیابی															
	ایمنی				کارکرد				پایداری				محیط زیست			
	H	M	L	N	H	M	L	N	H	M	L	N	H	M	L	N
BS1	۸	۲			۱۰	۳	۲		۱۵	۴	۱		۵	۴		۱
BS2	۴	۶			۲	۸	۵		۱۲	۳	۵		۶	۴		
BS3	۳	۴	۳		۳	۷	۴	۱	۵	۷	۸		۱	۳	۴	۲
BS4		۴	۶		۵	۵	۵		۶	۸	۵	۱	۲	۳	۵	
BS5		۳	۷		۴	۶	۳	۲	۷	۷	۶		۳	۴	۲	۴
BS6	۱	۴	۴	۱	۶	۵	۴		۸	۶	۴	۲	۴	۵	۱	
BS7	۲	۳	۵		۳	۶	۵	۱	۱۰	۱۰			۶	۴		
BS8	۳	۵	۲		۲	۱۱	۲		۹	۹	۲		۷	۳		
BS9	۴	۵		۱	۹	۵	۱		۴	۱۰	۶		۸	۱	۱	
BS10		۹	۱		۸	۷			۵	۱۰	۴	۱	۵	۴		۱
BS11	۷	۳			۹	۲	۲	۲	۷	۸	۵		۷	۲	۱	
BS12	۵	۴		۱	۷	۴	۴		۴	۹	۳	۴	۳	۱	۶	
BS13	۶	۲	۲		۶	۶	۳		۱	۹	۸	۲	۴	۴		۲
BS14	۵		۵		۱	۱۴			۵	۵	۵	۵	۵	۲	۲	۱
BS15		۸	۱	۱	۱۲		۳		۸	۹		۳	۶		۳	۱
BS16	۱	۶	۲	۱		۸	۷		۱۴		۶		۷			۳
BS17	۳	۳	۴			۶	۸	۱	۷	۹		۴	۸	۲		
BS18	۲	۴	۴		۳	۷	۵		۹	۹	۲		۱	۷	۲	
BS19	۱	۵	۴		۵	۲	۸		۱۱	۶	۳		۴		۴	۲
BS20	۴	۳	۳		۷	۳	۴	۱	۱۰	۸	۲		۵			۵

برای اطلاعات جدول ۱۰، با حل مدل ارائه شده در رابطه ۲۲ برای هر کدام از ۴ معیار موجود، امتیازات موضعی ۲۰ پل نسبت به ۴ معیار، به ترتیب به شرح زیر تعیین میگردد:

$$s^*(H) = 0.1111, s^*(M) = 0.0556, s^*(L) = 0.0373, s^*(N) = 0.0278, \alpha^* = 0.4259;$$

$$s^*(H) = 0.0769, s^*(M) = 0.0385, s^*(L) = 0.0256, s^*(N) = 0.0192, \alpha^* = 0.4551;$$

$$s^*(H) = 0.0577, s^*(M) = 0.0288, s^*(L) = 0.0192, s^*(N) = 0.0144, \alpha^* = 0.5;$$

$$s^*(H) = 0.1111, s^*(M) = 0.1111, s^*(L) = 0.1111, s^*(N) = 0.1111, \alpha^* = 0.4167;$$

بر اساس حل بهینه بالا، امتیاز ریسک موضعی ۲۰ پل مربوطه نسبت به هر کدام از ۴ معیار توسط رابطه ۲۱ محاسبه و در ستون ۲ الی ۵ جدول ۱۱ نشان داده شده است.



اولین کنفرانس ملی پژوهش های کاربردی در مهندسی سازه و مدیریت ساخت دانشگاه صنعتی شریف



همینکه امتیازات موضعی ریسک هر کدام از بیست پل بدست آمد، امتیاز کلی ریسک پل می تواند با تجمیع نسبت به وزن هر معیار بدست آید. مقادیر محاسبه شده در ستون یکی مانده به آخر جدول ۱۱ ارائه شده است.

هر چه امتیاز کلی ریسک یک پل کمتر باشد، آن پل در وضعیت بهتری قرار دارد و خطرات کمتری آنرا تهدید می کنند. بنابراین اولویت های با ریسک بالا باید به پل های با امتیاز کلی بزرگتر تخصیص یابد. بر این اساس اولویت بندی این بیست پل برای تعمیر و نگهداری مطابق ستون آخر جدول ۱۱ تعیین می گردد.

جدول ۱۱: امتیازات موضعی و کلی ۲۰ پل و رتبه بندی اولویت ریسک آنها

	امنیّت (۰,۴۸۲۹)	کارکرد (۰,۲۷۲۰)	پایداری (۰,۱۵۷۰)	محیط زیست (۰,۰۸۸۲)	امتیاز کلی ریسک	رتبه بندی اولویت ریسک
BS1	1	0.9359	1	0.4537	0.9344	1
BS2	0.7778	0.5897	0.875	0.4815	0.7158	7
BS3	0.6667	0.6218	0.6442	0.4815	0.6346	16
BS4	0.4444	0.7051	0.6875	0.5741	0.5649	19
BS5	0.4529	0.6538	0.7212	0.6574	0.5547	20
BS6	0.5093	0.7564	0.7404	0.7593	0.6348	15
BS7	0.5741	0.609	0.8654	0.8889	0.657	12
BS8	0.6825	0.6282	0.8173	0.9444	0.7133	8
BS9	0.75	0.9103	0.6346	0.9815	0.7959	3
BS10	0.537	0.8846	0.6683	0.8056	0.6758	11
BS11	0.9444	0.859	0.7308	0.4907	0.8477	2
BS12	0.8056	0.7949	0.6058	0.6111	0.7541	5
BS13	0.8519	0.7692	0.5	0.7222	0.7627	4
BS14	0.7407	0.6154	0.601	0.7685	0.6872	10
BS15	0.5093	1	0.7644	0.8056	0.7089	9
BS16	0.5463	0.4872	0.9231	0.8611	0.6171	18
BS17	0.6481	0.4551	0.7212	1	0.6381	13
BS18	0.5926	0.6282	0.8173	0.5741	0.6359	14
BS19	0.537	0.6667	0.8654	0.6481	0.6336	17
BS20	0.7222	0.7756	0.8462	0.4167	0.7293	6

۵- نتیجه گیری

پلها به عنوان الهامی از جنس زیرساخت، به جهت تاثیر قابل توجهی که در مسائل اقتصادی - سیاسی - اجتماعی و همچنین نقش استراتژیک و تعیین کننده ای که در مسائل نظامی دارند نیازمند توجه و تمرکز ویژه ای می باشند. لذا کلیه تصمیماتی که از شروع طراحی تا در مرحله بهره برداری و نگهداری، در خصوص این سازه های خاص گرفته می شود می بایست با دقت بالایی انجام پذیرد. هرچند که وجود عوامل تاثیرگذار متعدد، تصمیم گیری در این زمینه را دشوار می سازد. مقاله پیش رو به معرفی روش تصمیم گیری چندمعیاره AHP ونحوه کاربرد آن در مهندسی پل می پردازد.

روش AHP سنتی همانگونه که در بخش اول نیز بدان پرداخته شد روشی قدرتمند در زمینه تصمیم گیری های چند معیاره می باشد، ولیکن از برخی جهات دارای معایبی است که کاربرد آن را در تصمیمات مربوط به پلها دشوار می سازد.

یکی از این موارد برخواسته از تبدیل قضاوت نادقیق کارشناسان به یک عدد دقیق می باشد. در جهت رفع این مشکل روش AHP فازی پیشنهاد و معرفی گردید که در آن اعداد فازی مثلثی یا دوزنقه ای جایگزین اعداد مطلق گردیدند. خروجی مدل مذکور وزن معیارها، زیرمعیارها و گزینه های تصمیم می باشد. ورودی آن نیز سلسله مراتب تصمیم مورد نظر و قضاوت های مقایسه ای دو به دو می باشد. نظر به وابستگی نتایج به نظر کارشناسان، استفاده از کارشناسان خبره و باتجربه بسیار کارآمد می باشد. این روش در تعیین نوع سیستم پل در مطالعات مفهومی و یا سیستم اجرای پل می تواند به خوبی مورد استفاده قرار گیرد. با انجام یک مطالعه موردی با استفاده از روش AHP فازی نیز کارآمدی و تاثیرگذاری آن در تعیین روش احداث یک پل نمایش داده شد.



اولین کنفرانس ملی پژوهش های کاربردی در مهندسی سازه و مدیریت ساخت دانشگاه صنعتی شریف



ایراد دیگر وارد بر روش AHP محدود بودن تعداد گزینه ها می باشد. در مواردی مثل ارزیابی ریسک پلها که صدها و یا هزاران گزینه برای مقایسه وجود دارد، روش مقایسه دو به دو که با روش سنتی AHP فراهم می گردد عملی نخواهد بود. برای رفع این مورد، استفاده از روش ترکیب AHP و تحلیل پوششی داده ها (DEA) معرفی گردید. در این متدولوژی، در مسائل با تعداد زیاد گزینه ها، به جهت جلوگیری از مقایسه های دو به دو فراوان از AHP تنها در محاسبه وزن معیارها استفاده گردیده است. عبارات ادبی نظیر زیاد، متوسط، کم و هیچ جهت ارزیابی ریسک هر گزینه تحت هر معیار مورد استفاده قرار می گیرد. مدل DEA با وزن های مشخص جهت تعیین ارزش های عبارات ادبی مذکور به کار رفته و نهایتاً با روش وزن دهی افزودنی ساده امتیاز هر گزینه برای معیارهای تعریف شده تجمیع و امتیاز کل آن محاسبه می گردد. در آخر نیز با یک مثال کاربردی در ارزیابی ریسک پلها، سادگی و کارآمدی آن در تصمیم گیری های با گزینه های فراوان نمایش داده شد.

مراجع

- [۱] T. L. Saaty, The analytic hierarchy process, New York: McGraw-Hill, 1980 .
- [۲] C. L. Hwang; K. Yoon, Multiple attribute decision making: methods and applications, Berlin: Springer, 1981 .
- [۳] J. J. Buckley“ ,Fuzzy hierarchy analysis ”, *Fuzzy sets and systems* , جلد ۱۷ , pp. 233-247, 1985 .
- [۴] C. G. E. Boender; J. G. de Graan; F. A. Lootsma“ ,Multi-criteria decision analysis with fuzzy pairwise comparison ”, *Fuzzy sets and systems* , جلد ۲۹ , pp. 133-143, 1989 .
- [۵] D. Y. Chang“ ,Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP ”, *European Journal of Operational Reserch* , جلد ۹۵ , pp. 649-655, 1996 .
- [۶] C. H. Cheng“ ,Evaluating navaltactical missile systems by fuzzy AHP based on the grade value of membership function ”, *European ournal of Operational Research* , جلد ۹۶ , pp. 343-350, 1996 .
- [۷] J. Barzilai“ ,Deriving weights from paiwise comparison matrices ”, *Journal of Operational Research society* , جلد ۴۸ , pp. 1226-1232, 1997 .
- [۸] C. T. Chen“ ,Extension of the TOPSIS for group decision-making under fuzzy environment ”, *Fuzzy Sets and Systems* , جلد ۱۱۴ , pp. 1-9, 2000 .
- [۹] T. Y. Hsieh; S. T. Lu; G. H. Tzeng“ ,Fuzzy MCDM approach for planning and design tenders selection in public office buildings ”, *International journal of Project Management* , شماره ۷ , جلد ۲۲ , pp. 573-584, 2004 .
- [۱۰] N. F. Pan“ ,Fuzzy AHP approach for selecting the suitable bridge construction method ”, *Automation in Construction* , جلد ۱۷ , pp. 958-965, 2008 .
- [۱۱] N. Vadiie, Fuzzy rule-based expert systems—Fuzzy logic and control: software and hardware applications, NJ: Prentice Hall, 1993 .
- [۱۲] J. Shang; T. Sueyoshi“ ,A unified framework for the selection of a flexible manufacturing system ”, *European Journal of Operational Research* , شماره ۲ , جلد ۸۵ , pp. 297-315, 1995 .



اولین کنفرانس ملی پژوهش های کاربردی در
مهندسی سازه و مدیریت ساخت
دانشگاه صنعتی شریف



- [۱۳] L. M. Seifert; J. Zhu“ ,Identifying excesses and deficits in chinese industrial productivity (1953-1990): A weighted data envelopment analysis approach ”,*Omega* , شماره ۲, جلد ۲۶, pp. 279-296, 1998 .
- [۱۴] Z. Sinuany-stern; A. Mehrez“ ,An AHP/DEA methodology for ranking decision making units ”,*International Transactions in Operational Research* , شماره ۲, جلد ۷, pp. 109-124, 2000 .
- [۱۵] T. Yang; c. kuo“ ,A hierarchical AHP/DEA methodology for the facilities layout design problem ”,*European Journal of Operational Research* , شماره ۱, جلد ۱۴۷, pp. 128-136, 2003 .
- [۱۶] R. Ramanathan“ ,Data envelopment Analysis for weight derivation and aggregation in the analytic hierarchy process ”,*Computers and Operations Research* , شماره ۵, جلد ۳۳, pp. 1289-1307, 2006 .
- [۱۷] Y. M. Wang; J. Liu; T. M.S. Elhag“ ,An Integrated AHP-DEA methodology for bridge risk assessment ”,*Computers and Industrial Engineering* , شماره ۵۴, جلد ۵۴, pp. 513-525, 2008 .
- [۱۸] J. B. Yang“ ,Rule and utility based evidential reasoning approach for multiattribute decision analysis under uncertainties ”,*European Journal of Operational Research* , شماره ۱, جلد ۱۳۱, pp. 31-61, 2001 .
- [۱۹] Y. M. Wang; K. S. Chin; J. B. Yang“ ,Three new models for preference voting and aggregation ”,*Journal of the Operational Research Society* , شماره ۱۰, جلد ۵۸, pp. 1389-1393, 2007 .