DETERMINAREA PERFORMANŢEI FURNIZORILOR UTILIZÂND DEA ŞI AHP PE PORŢIUNI TRAPEZOIDALE FUZZY

Iuliana Carmen Bărbăcioru,
Universitatea "Constantin Brâncuşi" , Tg. Jiu

DETERMINATION SUPPLIER PERFORMANCE USING DEA AND AHP PIECEWISE TRAPEZOIDAL FUZZY

Iuliana Carmen Bărbăcioru,
"Constantin Brâncuşi" University , Tg. Jiu

Rezumat. *Analiza datelor pe suprafaţă (DEA) se aplică atunci când este necesară evaluarea unor furnizori dacă apare problema luării în calcul a mai multor criterii, adică multi-intrări şi multi-ieşiri. Procesul de ierarhizare analitică (AHP) a fost stabilit prin luarea deciziilor comparând perechi de la multi-inputuri cu cele de la multi-outputuri. În cele mai multe cazuri, metoda AHP de comparare a perechilor nu este riguroasă deoarece poate da naştere la confuzii în determinarea priorităţilor corespunzătoare fiecărei criteriu ce urmează să fie luat în considerare. În general neclaritatea sau datele vagi implică fuzzyficarea. În acest articol, va fi expusă o nouă metodă care utilizează atât DEA cât şi metodele de AHP, metodă ce îşi propune să evalueze performanţa generală a implicării furnizorilor într-o companie de producere a anumitor bunuri. Se utilizează ponderări ale metodei DEA cu numere trapezoidale fuzzy. Toleranţa raportului de ajustare (BTR) se introduce pentru a reprezenta un interval admisibil de ponderare.*

Cuvinte cheie: *Analiza datelor pe suprafaţă (DEA); Procesul de ierarhizare analitică (AHP), suprafeţe trapezoidale fuzzy, performanţa furnizorilor*

Abstract. *Data envelopment analysis (DEA) is applied when necessary evaluation of suppliers if the problem taking into account several criteria, ie multi-input and multi-output. Analytical hierarchy process (AHP) was established by comparing decisions in multi-input pairs with those of multi-outputs. In most cases, AHP pairwise comparison method is not rigorous because it can lead to confusion in determining priorities for each criterion to be considered. Generally unclear or vague data involving fuzzyfication. In this article, you will be exposed to a new method using both DEA and the methods of AHP, a method that aims to evaluate the overall performance of a company involving suppliers in the production of certain goods. DEA method is used weightings trapezoidal fuzzy numbers. A bias tolerance ratio (BTR) is introduced to represent a range of acceptable weights.*

Keywords: *Data envelopment analysis (DEA), analytical hierarchy process (AHP), fuzzy trapezoidal surfaces, performance of suppliers.*

1. Introducere

În acest articol este prezentată o metodă de evaluare a performanţei furnizorilor pentru întreprinderile mici şi mijlocii (IMM-uri). Performanţa furnizorilor poate fi analizată în două stadii: stadiul incipient şi stadiul tardiv. Analiza datelor pe suprafaţă a fost pentru prima dată introdusă de Charnes şi alţii [2] şi a fost dezvoltată ca o metodă numerică şi analitică de evaluare a opţiunilor şi unitatea de luare a deciziilor. Talluri and Yoon [9] a

1. Introduction

This article presents a evaluation performance suppliers method for small and medium enterprises (SME). Performance of suppliers can be analyzed in two stages: the early stage and late stage. Data analysis area was first given [introduced by Charnes and others [2] and has been developed as a method for assessing numerical and analytical options and decision-making unit. Talluri and Yoon [9] depicted advanced descris o tehnologie de fabricaţie avansată (AMT) de evaluare şi selecţie folosind un raport pivot. Zhang şi alţii [10] a adoptat DEA cu raportul pivot pentru a măsura calitatea proiectului, folosind AHP pentru a constrânge în ceea ce priveşte factorul de decizie.

Pe parcurs, unii autori au avut abordări diferite pentru a îmbunătăţi adaptabilitatea metodei AHP. Boender şi alţi [1] şi Chen şi alţi [3] au înglobat în AHP metoda fuzzy. În particular, un interval AHP cu date vagi a fost propus de Sugiharai [8] pentru a rezolva problema de programare liniară:

manufacturing technology (AMT) evaluation and selection using a pivot ratio.

Zhang and others [10] adopted DEA to measure the ratio pivot design quality, using AHP to compel regarding the decision maker.

Along, the way some authors have different approaches to improve the adaptability of AHP method. Boender et al. [1] and Chen et al. [3] were embedded in AHP fuzzy method. Particularly, an interval AHP for crisp data was proposed by Sugihara [8] to solve linear programming problem:

$$
\begin{aligned}
&\min_{\overline{w_i},\underline{w_i}} \sum_i \left(\overline{w_i} - \underline{w_i}\right) \\
&\forall i, j (i \neq j) \quad a_{ij}\underline{w_j} \leq \overline{w_i} \\
&\forall i, j (i \neq j) \quad a_{ij}\overline{w_j} \leq \underline{w_i} \\
&\forall j \quad \sum_{i\in\Omega-\{j\}} \overline{w_i} + \underline{w_j} \geq 1 \\
&\forall j \quad \sum_{i\in\Omega-\{j\}} \overline{w_j} + \underline{w_i} \leq 1 \\
&\forall i \quad \overline{w_i} \geq \underline{w_i} \\
&\forall i \quad \overline{w_i}, \underline{w_i} \geq 0
\end{aligned} \tag{1}
$$

unde $\Omega = \{1,...,n\}$ iar $\overline{w_i}$ şi $\underline{w_i}$ reprezintă limitele superioară respectiv inferioară şi reflectă inconsistenţa ale perechilor ce se compară. Sugihara [7] propune de asemenea o fuzzy AHP prin înlocuirea valorilor incerte în matricea de bază cu un număr fuzzy pentru a contracara unele informaţii incomplete şi subiectivismul uman.

De obicei, matricea perechilor nu este perfect consistentă, din cauza redundanţei mari în compararea perechilor. Cu toate acestea, din cauza redundanţei în compararea perechilor, procesul este destul de insensibil la erorile subiective. În acest articol, încerc să expun utilizarea redundanţei şi inconsistenţei în compararea perechilor pentru a genera o serie de constrângeri cu privire la importanţa

where $\Omega = \{1,...,n\}$ and $\overline{w_i}$ and $\underline{w_i}$ is upper and lower limits respectively and reflect the inconsistency of comparing pairs.

Sugihara [7] also proposes a fuzzy AHP by replacing uncertain values based matrix with fuzzy numbers to counter some incomplete information and human subjectivity.

Typically, the matrix is perfectly consistent pairs because of high redundancy in pairwise comparison.

However, due to the redundancy in the pairwise comparisons, the process is fairly insensitive to judgmental errors.

In this article, I try to use redundancy and inconsistency in pairwise comparison to generate a number of constraints on the importance weights of evaluation criteria.

ponderilor din criteriul de evaluare. Pentru aceasta voi extinde calculele în matricea perechilor lui Satty [3] pentru a genera o serie de ponderari cu limitele inferioare şi superioare. Plecând de la Shouhua şi alţii [7] ce utilizează mulţimi triunghiulare fuzzy pe porţiuni eu voi lucra cu mulţimi trapezoidale fuzzy.

Therefore I will extend calculations of matrix pairs Satty [3] to generate a set of weighted lower and upper limits.
Also, based on Shouhua and others [7] using triangular fuzzy sets I will work with piecewise trapezoidal fuzzy sets.

2. Evaluarea modelului

Evaluarea performanţei furnizorilor este un caz tipic de problemă de luare a deciziilor ţinând cont de mai multe criterii (MCDM). Voi prezenta mai întâi modelul clasic al DEA apoi modelul DEA cu constrângerea ponderilor.

2. Evaluation Model

Supplier Performance Evaluation is a typical problem of multicriteria decision making (MCDM).
I will first present the classical model of DEA then DEA model with weights constraint.

2.1. Modelul DEA pentru evaluarea performanţei furnizorilor

Să presupunem că avem de evaluat *n* furnizori cu *r* criterii de intrare (de exemplu cele mai mici preţuri) şi *s* criterii de ieşire (de exemplu cele mai mari beneficii).

2.1 DEA Model for Supplier Performance Evaluation.

Suppose we have to evaluate *n* suppliers and *r* input criteria (eg lowest prices) and to *s* output criteria (eg biggest benefits).

$$\begin{array}{cccc} DMU_1 & DMU_2 & \dots & DMU_n \\ x_{11} & x_{12} & & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & & x_{2n} \\ \vdots & & & \\ x_{r1} & x_{r2} & & x_{rn} \end{array} \qquad \begin{array}{cccc} DMU_1 & DMU_2 & \dots & DMU_n \\ y_{11} & y_{12} & & y_{1n} \\ y_{21} & y_{22} & & y_{2n} \\ \vdots & & & \\ y_{s1} & y_{s2} & & y_{sn} \end{array}$$

Eficienţa relativă pentru DMU_{j_0} este evaluată prin rezolvarea modelului DEA [4]:

Relative effectiveness is evaluated through solving DEA model [4]:

$$\max h_{j_0} = \frac{\sum_{t=1}^{s} u_t y_{tj_0}}{\sum_{i=1}^{r} w_i x_{ij_0}}$$

$$\frac{\sum_{t=1}^{s} u_t y_{tj_0}}{\sum_{i=1}^{r} w_i x_{ij_0}} \le 1, \quad \text{j=1,…,n} \tag{2}$$

$$u_t, w_i \ge 0, \quad \text{t=1,…s} \qquad \text{i=1,…r}$$

Aceasta se poate transforma într-o problemă de programare liniară uzuală utilizând transformarea Charnes-Cooper:

This can turn into a usual linear programming problem using Charnes-Cooper transformation:

$$\lambda = \left(\sum_{i=1}^{r} w_i x_{ij_0} \right)^{-1}, \qquad u_t = \lambda u_t, w_i = \lambda w_i \tag{3}$$

Problema (2) devine:

Problem (2) becomes:

$$\begin{gathered} \max h_{j_0} = uy_{j_0} \\ wx_j - uy_j \geq 0, \quad j=1,\ldots,n \\ wx_{j_0} = 1 \\ w \geq 0, \quad u \geq 0 \\ w = (w_1,\ldots,w_r) \geq 0, \quad u = (u_1,\ldots,u_s) \geq 0 \\ x_j = (x_{1j},\ldots,x_{rj})^T, \quad y_j = (y_{1j},\ldots,y_{sj})^T \end{gathered} \tag{4}$$

Acest model de programare liniară determină eficienţa relativă pentru toţi cei n furnizori luând $j_0 = 1,\ldots,n$. Acest model permite ca pentru fiecare DMU să se selecteze în mod eficient ponderile optime, nelăsând să se reflecte preferinţele factorilor de decizie în criteriile de evaluare.

The linear programming model determines the relative efficiency for all n suppliers taking $j_0 = 1,\ldots,n$.
This model allows each DMU to select optimal weights effectively, leaving to reflect the preferences of decision makers in the evaluation criteria.

2.2 Modelul DEA cu restricţii de ponderare

2.2 DEA Model With Weighting Constraints

Pentru a putea ţine seama de preferinţele factorilor de evaluare se adaugă în modelul de programare (4) restricţia:

In order to take into account the preferences of the criteria is added to the programming model (4) restriction:

$$\begin{gathered} w \in \tilde{W}_{AHP}, \quad u \in \tilde{U}_{AHP} \\ \tilde{W}_{AHP} = \{W | \mathrm{W_L} \leq W \leq W_H\}, \quad \tilde{U}_{AHP} = \{U | U_\mathrm{L} \leq U \leq U_H\} \end{gathered} \tag{5}$$

unde $\tilde{W}_{AHP}$ şi $\tilde{U}_{AHP}$ sunt restricţiile de ponderare fuzzy obţinute din matricea perechilor AHP, iar $[W_L, W_H]$ şi $[U_L, U_H]$ reprezintă limitele superioare respectiv inferioare ale factorilor de ponderare W şi U, care pot fi interpolate pe porţiuni din segmentele liniare ale mulţimii fuzzy.
Prin urmare modelul devine:

where $\tilde{W}_{AHP}$ and $\tilde{U}_{AHP}$ are restrictions weighting matrix obtained from pairwise fuzzy AHP and $[W_L, W_H]$ and $[U_L, U_H]$ represent the lower and upper boundaries of the weighting factors W or U, which can be piecewise interpolated from the linear segments of the fuzzy set.
Consequently model becomes:

$$
\begin{gathered}
\max h_{j_0} = uy_{j_0} \\
wx_j - uy_j \geq 0, \quad \text{j=1,…,n} \\
wx_{j_0} = 1 \\
w \geq 0, \quad u \geq 0 \\
w \in \widetilde{W}_{AHP}, \quad u \in \widetilde{U}_{AHP} \\
w = (w_1, ..., w_r) \geq 0, \quad u = (u_1, ..., u_s) \geq 0 \\
x_j = (x_{1j}, ..., x_{rj})^T, \quad y_j = (y_{1j}, ..., y_{sj})^T
\end{gathered} \tag{6}
$$

În loc să dăm o mulţime de ponderare clară pentru fiecare criteriu, vom da $[W_L, W_H]$ sau $[U_L, U_H]$ pentru factorii de ponderare, prin care fiecare preferinţă umană fuzzy este intuitiv exprimată. Determinarea suprafeţelor trapezoidale fuzzy pentru factorii de ponderare va fi făcută în secţiunea 2.3.

Instead we clear a lot of weight for each criterion will give $[W_L, W_H]$ or $[U_L, U_H]$ weighting factors, which every human fuzzy preference expressed intuitively.
The determination of areas trapezoidal fuzzy weighting factors will be given in Section 2.3.

2.3. Determinarea suprafeţelor trapezoidale fuzzy pentru factorii de ponderare

2.3. The determination of areas trapezoidal fuzzy weighting factors

În cele mai multe cazuri, matricea perechilor AHP nu este perfect consistentă. Acest tip de inconsistenţă poate fi utilizat pentru a genera o mulţime de intervale de valori ale factorilor de ponderare. Prin efectuarea comparaţiilor perechilor Satty consideră matricea reciprocă:

In most cases, the AHP matrix pairs is not perfectly consistent. This type of inconsistency can be used to generate a lot of ranges of values of weighting factors.
By performing Satty's of the pairwise comparison is considered a reciprocal matrix:

$$A = (a_{ij})_{m\times m},\!: \forall i, j = 1,2,...,m, \; a_{ji} = \frac{1}{a_{ij}}, \; a_{ij} = 1 \text{ for } i{=}j, \tag{7}$$

O matrice de forma (7) care este tare tranzitivă:

A matrix of the form (7) which is strongly transitive:

$$A = (a_{ij})_{m\times m}, \quad \forall i, j, k = 1,2,...,m, \quad a_{ij} = a_{ik} \times a_{kj} \tag{8}$$

se numeşte perfect consistentă [7].

is called perfectly consistent [7].

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 4 & 8 \\ 1/2 & 1 & 2 & 4 \\ 1/4 & 1/2 & 1 & 2 \\ 1/8 & 1/4 & 1/2 & 1 \end{bmatrix}$$

Acest lucru nu se întâmplă în practică cu excepţia cazului când numărul criteriilor este mai mic de 3 sau factorii de ponderare sunt determinaţi înainte de alegerea perechilor. Analizând proprietăţile matricei se observă că fiecare coloană reprezintă o mulţime de ponderi alocate.

Prin urmare, $A_j = \left(a_{1j}, a_{2j}, ..., a_{mj}\right)^T$ reprezintă etapa j de comparare a rezultatelor. Cel mai adesea, pentru a obţine factorii de ponderare relativi pentru fiecare criteriu se utilizează fie metoda sumă-produs, fie metoda mediei geometrice, ambele oferind o mulţime de date clare ce reprezintă ponderile globale alocate criteriilor. Este necesar ca indicele de consistenţă, $CI<0.1$, pentru a evita inconsistenţa, caz în care $CI = \frac{\lambda_{\max} - m}{m-1}$ unde $\lambda_{\max}$ este cea mai mare valoare proprie a matricei A. Bazat pe această analiză, pentru o matrice $A = \left(a_{ij}\right)_{m\times m}$ se vor parcurge m etape de comparare. În acest articol, în rezultatele fiecărei etape de comparare sunt folosite pentru a forma suprafeţe de mulţimi trapezoidale fuzzy prin atribuirea fiecărui factor de ponderare o funcţie de apartenenţă fuzzy. Metodologia va fi expusă mai jos.

Printr-o normalizare a fiecărei coloane j din matricea A vom obţine o combinaţie a factorilor de ponderare pentru fiecare criteriu:

This does not happen in practice unless the number is less than 3 criteria or weighting factors are determined before choosing pairs. Analyzing the matrix properties is observed that each column represents a lot of weight allocated.

Therefore, $A_j = \left(a_{1j}, a_{2j}, ..., a_{mj}\right)^T$ is stage j to compare the results.

Most often, to obtain relative weighting factors for each criterion using either the sum-product or geometric mean method, both providing plenty of clear data representing global weights assigned to the criteria.

It is necessary consistency index, $CI<0.1$, to avoid inconsistency, in which case

$CI = \frac{\lambda_{\max} - m}{m-1}$ where $\lambda_{\max}$ is the largest eigenvalue of the matrix A.

Based on this analysis, a matrix $A = \left(a_{ij}\right)_{m\times m}$ includes m stage rounds of comparisons.

In this article, comparing the results of each stage are used to form trapezoidal fuzzy sets surfaces by assigning weights to each factor fuzzy membership function. The methodology will be displayed below.

By normalization of each column j of matrix A we get a combination of weighting factors for each criterion:

$$B = \left(b_{ij}\right)_{m\times m} = a_{ij} / \sum_{i=1}^{r} a_{ij}, \qquad j=1,2,\dots,m \tag{9}$$

Unde $B = \left(B_1, B_2, ..., B_m\right)^T$ şi $B_i = \left(b_{i1}, b_{i2}, ..., b_{im}\right)$ ce conţine toate cele m ponderi rezultate din cele m etape de comparare pentru criteriul respectiv.

Să considerăm w_{ir} cele mai mici numere dintre $b_{i1}, b_{i2}, ..., b_{im}$, $r=1,2,\dots,m$, adică gradul $r=1$ corespunde celui mai mic b_{ij}, $j=1,2,\dots,m$ în B_i. Ştim că o variabilă ξ este variabilă

Where $B = \left(B_1, B_2, ..., B_m\right)^T$ and $B_i = \left(b_{i1}, b_{i2}, ..., b_{im}\right)$ which contains all weights m from the m stages comparison criterion.

Consider the smallest number of $b_{i1}, b_{i2}, ..., b_{im}$, $r=1,2,\dots,m$, i.e., degree $r = 1$ corresponds to the lowest b_{ij}, $j=1,2,\dots,m$ in B_i. We know that a fuzzy variable ξ is called a trapezoidal fuzzy variable if it is fully trapezoidală fuzzy dacă este complet determinată de cvadruplul *(a,b,c,d)* de numere incerte cu $a<b<c<d$, şi care are funcţia de apartenenţă:

determined by quadruplet *(a,b,c,d)* of crisp numbers with $a<b<c<d$, and its membership functions is given by:

$$\mu(x)=\begin{cases} \dfrac{x-a}{b-a} & if \quad a \le x \le b \\ 1 & if \quad b \le x \le c \\ \dfrac{x-d}{c-d} & if \quad c \le x \le d \\ 0 & overwise \end{cases} \tag{10}$$

În cazul nostru, funcţia de apartenenţă $\mu(x_{ir})$ va fi:

In our case, the membership function $\mu(x_{ir})$ will be:

$$\mu(w_{ir}) = \begin{cases} \dfrac{4(r-1)}{m-3} & if \quad 1 \le r \le \dfrac{m+1}{4} \\ 1 & if \quad \dfrac{m+1}{4} \le r \le \dfrac{3(m+1)}{4} \\ \dfrac{4(m-r)}{m-3} & if \quad \dfrac{3(m+1)}{4} \le r \le m \\ 0 & overwise \end{cases} \tag{11}$$

Suprafaţa trapezoidală fuzzy poate fi descrisă deci ca fiind:

Trapezoidal fuzzy piecewise can therefore be described as:

$$\left\{ \mu(W_i) \middle| w_{ir} / \mu(w_{ir}), r = 1,2,\ldots,\frac{m+1}{4},\ldots,\frac{3(m+1)}{4},\ldots,m \right\}$$

Înainte de a determina limitele $[w_{iL}, w_{iH}]$ pentru ponderile factorilor w_i este introdusă BTR, pe care o vom nota cu β, β∈[0,1], pentru a reprezenta gradul de admisibilitate al ponderilor pentru factorii de decizie. β este definită ca fiind complementara funcţiei de apartenenţă,

Before determining boundaries $[w_{iL}, w_{iH}]$ for weighting factors w_i is introduced BTR, which we denote by β, β ∈ [0,1] to represent the degree of admissibility of weights for decision makers. β is defined as complementary membership function,

$$\beta = 1-\mu(w_L) = 1-\mu(w_H)$$
$$\mu(w_L) = \mu(w_H) = 1-\beta \tag{12}$$

Dacă-i dăm lui β valoril particulare, w_L, şi w_H poate fi interpolate prin funcţia liniară pe porţiuni care determină mulţimile de puncte:

By giving a particular value β, the w_L, and w_H can be interpolated by the piecewise linear function, which is determined bz the point sets:

$$\left\{(0, w_{i,1}),\left(\frac{4}{m-3}, w_{i,2}\right),\ldots,\left(1, w_{i,\frac{m+1}{4}}\right)\right\} \tag{13}$$

$$\left\{\left(1, w_{i,\frac{m+1}{4}}\right),\ldots,\left(1, w_{i,\frac{3(m+1)}{4}}\right)\right\} \tag{14}$$

$$\left\{\left(1, w_{i,\frac{3(m+1)}{4}}\right),\ldots,\left(\frac{4}{m-3}, w_{i,m-1}\right),(0, w_{i,m})\right\} \tag{15}$$

Fiind dată o serie de puncte: $\{(x_k, y_k), k \in [0, n]\}$, ecuaţia de interpolare liniară pe porţiuni poate fi scrisă astfel:

Given a set of points $\{(x_k, y_k), k \in [0, n]\}$, the piecewise linear interpolation equation can be written as follows:

$$I_h(x) = \frac{x - x_{k+1}}{x_k - x_{k+1}} y_k + \frac{x - x_k}{x_{k+1} - x_k} y_{k+1}, \qquad \forall x \in [x_k, x_{k+1}] \tag{16}$$

unde

where

$$\begin{gathered} x_k = \frac{4(r-1)}{m-3}, \\ k = 0,\ldots,m \quad r = 1,\ldots,\frac{m+1}{4},\ldots,\frac{3(m+1)}{4},\ldots,m \\ y_k = w_{i,r} \\ x = 1-\beta \end{gathered} \tag{17}$$

Marginea inferioară şi superioară a mulţimii a fost calculată cu

Upper and lower boundary sets are calculated as:

$$\begin{aligned} W_L &= \{w_{1L}, w_{2L},\ldots, w_{mL}\} \\ W_H &= \{w_{1H}, w_{2H},\ldots, w_{mH}\} \end{aligned} \tag{18}$$

3. CONCLUZII

În acest articol a fost expusă metoda lui Shouhua şi alţii [6] pentru evaluarea alternativă a furnizorilor într-o problemă cu multi-inputuri şi multi-outputuri a factorilor de decizie, în care, pentru determinarea BTR am folosit suprafeţele trapezoidale fuzzy.

3. CONCLUSIONS

This article was exposed Shouhua's method and others [6] for evaluating alternative suppliers in a problem with multi-inputs and multi-outputs of decision-makers, in which we used to determine BTR trapezoidal fuzzy surfaces.

Mulţimea suprafeţelor trapezoidale fuzzy reprezintă intuitiv pentru ponderile principale redundanţa şi inconsistenţa factorilor de decizie.

REFERINŢE

[1] Boender, C. G., de Graan, J. G., and Lootsma, F., *Multicriteria Decision Analysis With Fuzzy Pairwise Comparisons*, Fuzzy Sets Syst., 29, pp. 133-143, 1989.

[2] Charnes, A., Cooper, W. W., and Rhodes, E., *Measuring the Efficiency of Decision Making Units*, Eur. J. Oper. Res., 2(6), pp 429-444, 1978.

[3] Chen, S. J., Hwang, C., Beckmann, M., and Krelle, W., *Fuzzy Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications*, Springer-Verlag, Berlin, 1992.

[4] Cooper, W. W., Ruiz, J. L., and Sirvent, I., *Choosing Weights From Alternative Optimal Solutions of Dual Multiplier Models in DEA*, Eur. J. Oper. Res., 180, pp. 443-458, 2007.

[5] Saaty, T.L., *The analytic Hierarchy Process*, McGraw-Hill, New York, 1980.

[6] Shouhua, Y., Xiao, L., Yiliu, T., and Deyi, X., *Evaluating Supplier Performance Using DEA and Piecewise Triangular Fuzzy AHP*, J. of Comput. And Information Science in Engineering, 8, September, 2008.

[7] Sugihara, K., and Ishi, H., *Fuzzy AHP With Incomplete Information*, IFSA/NAFIPS 2001 IEEE, pp. 2730-2733, 2001.

[8] Sugihara, K., *Interval Evaluations in the Analytic Hierarchy Process by Possibility Analysis*, Comput. Intelligence, 17(3), pp. 567-579, 2001.

[9] Talluri, S., and Yoon, K. P., *A Cone-Ratio*

The piecewise trapezoidal fuzzy set for the weighting priorities intuitively represents the redundancy and inconsistency of decision makers

REFERENCES

[1] Boender, C. G., de Graan, J. G., and Lootsma, F., *Multicriteria Decision Analysis With Fuzzy Pairwise Comparisons*, Fuzzy Sets Syst., 29, pp. 133-143, 1989.

[2] Charnes, A., Cooper, W. W., and Rhodes, E., *Measuring the Efficiency of Decision Making Units*, Eur. J. Oper. Res., 2(6), pp 429-444, 1978.

[3] Chen, S. J., Hwang, C., Beckmann, M., and Krelle, W., *Fuzzy Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications*, Springer-Verlag, Berlin, 1992.

[4] Cooper, W. W., Ruiz, J. L., and Sirvent, I., *Choosing Weights From Alternative Optimal Solutions of Dual Multiplier Models in DEA*, Eur. J. Oper. Res., 180, pp. 443-458, 2007.

[5] Saaty, T.L., *The analytic Hierarchy Process*, McGraw-Hill, New York, 1980.

[6] Shouhua, Y., Xiao, L., Yiliu, T., and Deyi, X., *Evaluating Supplier Performance Using DEA and Piecewise Triangular Fuzzy AHP*, J. of Comput. And Information Science in Engineering, 8, September, 2008.

[7] Sugihara, K., and Ishi, H., *Fuzzy AHP With Incomplete Information*, IFSA/NAFIPS 2001 IEEE, pp. 2730-2733, 2001.

[8] Sugihara, K., *Interval Evaluations in the Analytic Hierarchy Process by Possibility Analysis*, Comput. Intelligence, 17(3), pp. 567-579, 2001.

[9] Talluri, S., and Yoon, K. P., *A Cone-Ratio*

DEA Approach for AMT Justification, Int. J. Prod. Econ., 66, pp. 119-129 , 2000.

[10] Zhang, S., Wang, Y., Tong, J., Zhou, J., and Ruan, L., *Evaluation of Project Quality: a DEA-Based Approach*, SOW/ProSim, LNCS 3966, pp. 88-96, 2006.

DEA Approach for AMT Justification, Int. J. Prod. Econ., 66, pp. 119-129 , 2000.

[10] Zhang, S., Wang, Y., Tong, J., Zhou, J., and Ruan, L., *Evaluation of Project Quality: a DEA-Based Approach*, SOW/ProSim, LNCS 3966, pp. 88-96, 2006.