



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.org.tr/politeknik>



Akıllı bir şebekedeki risk indikatörlerinin bulanık analitik hiyerarşi prosesi ile modellenmesi

Modelling of risk indicators in a smart grid by fuzzy analytic hierarchy process

Yazar(lar) (Author(s)): İlter Şahin AKTAŞ¹, Tayfun MENLİK², Adnan SÖZEN³

ORCID¹: 0000-0002-2664-5208

ORCID²: 0000-0003-0970-6600

ORCID³: 0000-0002-8373-2674

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Aktaş İ.Ş., Menlik T. ve Sözen A., “Akıllı bir şebekedeki risk indikatörlerinin bulanık analitik hiyerarşi prosesi ile modellenmesi”, *Politeknik Dergisi*, 23(3): 505-513, (2020).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.org.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.669465

Akıllı Bir Şebekedeki Risk İndikatörlerinin Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi ile Modellenmesi

Araştırma Makalesi / Research Article

İlter Şahin AKTAŞ^{1*}, Tayfun MENLİK², Adnan SÖZEN²

¹Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Müh. Bölümü, Siirt Üniversitesi, Türkiye

²Teknoloji Fakültesi, Enerji Sistemleri Müh. Bölümü, Gazi Üniversitesi, Türkiye

(Geliş/Received : 02.07.2019 ; Kabul/Accepted : 26.10.2019)

ÖZ

Akıllı şebeke sistemlerinde, enerji arzının kesintisiz ve güvenli bir şekilde yapılması için kapsamlı bir risk analizi gerektirmektedir. Bu çalışmada, akıllı şebeke sistemi için, gelişmiş, çoklu ve detaylı bir Risk Değerlendirme Endeksi çerçevesi oluşturulmuş, riskler; Finansal, Güvenlik, Çevresel, Teknolojik ve Yönetimsel Riskler olmak üzere beş ayrı ana başlık altında toplanmıştır. Çalışmada, Chang'ın Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi (BAHP) Yöntemi, Geliştirilmiş Entegral Değer ve Kuadratik Ortalama Metot yöntemleri kullanılarak risklerin önem dereceleri belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Akıllı Şebekeler, bulanık AHP, risk analizi, bulanık sayılar, bulanık sıralamalar.

Modelling of Risk Indicators in a Smart Grid Network by Fuzzy Analytic Hierarchy Process

ABSTRACT

In smart grid systems, a comprehensive risk analysis is required to be able to transfer supply of energy continuous and secure. In this study, an advanced, multiple and detailed *Risk Assessment Index Framework* has been established for a smart grid system. Risks are constituted as Financial, Security, Environmental, Technological and Management Risks. The significance of the risks are determined by using Chang's Fuzzy Analytic Hierarchy Process (BAHP) Method, Enhanced Integral Value and Quadratic Mean Method.

Keywords: Smart grid, fuzzy AHP, risk assessment, fuzzy numbers, fuzzy rankings.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Mevcut şebeke sisteminde iletim ve dağıtım kayıplarının önceki yıllara kıyasla artarak devam etmesi sebebiyle, sistemin yenilenmesi ve modernize edilmesi gündeme gelmiştir¹. Özellikle dağıtım ağı tarafında tek yönlü güç akışının olması ve tüketicilerin pasif durumda kalmaları akıllı şebekelere olan ihtiyacı doğurmuştur.

Akıllı bir şebeke sistemi, içerisinde barındırdığı farklı teknolojiler sebebiyle, karmaşık bir yapıdadır. Risk yönetiminin doğru bir şekilde yapılması ve planlanması sistem işleyişi bakımından çok önemlidir. Bu sebeple, sistemin güvenli çalışması ve doğru bir şekilde karakterize edilmesi için, çoklu risk indikatörlerinin kullanılması gerekmektedir. Bu yüzden, risklerin doğru bir şekilde gruplanması ve sisteminin tümünü içine alarak yansıtan bir risk endeksi çerçevesi oluşturulması oldukça kritiktir.

Literatürde, akıllı şebekelerin genel verimliliği, bulanık analitik hiyerarşi prosesi ile analiz edilmeye çalışılmış², akıllı şebeke sistemindeki tehlike kaynaklarının değerlendirilmesini yapılarak, sistemi güvenli bir şekilde işletilmesi adına öneriler sunulmuş⁴, akıllı şebeke

sistemi içindeki dağıtım ayağında bir değerlendirme endeksi sistemi oluşturulmuş⁵ ve akıllı şebeke projelerindeki riskleri değerlendirmek için sıra korelasyon analizi, gri üçgen kümeleme yöntemi, Spearman'ın borda sayım yöntemi ve analitik hiyerarşi prosesi gibi yöntem ve metotlar kullanılmıştır^{6,7}. Akıllı şebeke sistemleri için, siber güvenlik dalında daha çok çalışma ve uygulama yapılmış, sistemin özellikle iki taraflı haberleşmeden kaynaklanan güvenlik açıkları tespit edilmeye çalışılmıştır^{8,9}. Akıllı şebeke içerisinde gerçekleşecek potansiyel riskleri bir bütün olarak belirleyerek, derleyen ve bir modelle analiz eden detaylı bir çalışma bulunamamıştır.

Bu çalışmada akıllı bir şebekede bulunabilecek muhtemel riskler beş ana başlık altında gruplanmış, riskler kendi aralarında, bulanık analitik hiyerarşi prosesi (BAHP) yöntemi yardımıyla karşılaştırılmıştır. Bu yöntemin dışında Geliştirilmiş Entegral Değer ve Kuadratik Ortalama Metodu gibi iki farklı sıralama yöntemi kullanılmış ve farkları incelenmiştir.

2. YÖNTEM (METHOD)

Thomas L. Saaty tarafından 1980 yılında ilk defa ortaya atılan Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP), çok ölçütlü karar

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : ilter@siirt.edu.tr

verme tekniklerinden biridir ¹⁰. Grup ya da bireylerin önceliklerinin dikkate alındığı, nitel ve nicel değişkenlerin bir arada değerlendirildiği ¹¹, kompleks kararların ikili gruplar oluşturmak suretiyle karşılaştırılarak, daha iyi anlaşıldığı, daha sonra sonuçların birleştirilerek, hem öznel hem de nesnel yönlerden değerlendirilmesine olanak sağlayan matematiksel bir araçtır ¹². Ayrıca AHP, alınacak kararların tutarlı olup olmadıkları hakkında bilgi verebilen, dolayısıyla da önyargıları azaltacak ya da ortadan kaldıracabilecek, kabul gören yararlı bir yöntemdir ¹².

2.1. Bulanık Küme Teorisi ve Üyelik Fonksiyonları (Fuzzy Set Theory and Membership Function)

Bulanık küme teorisi, kesinlikle doğrudan kesinlikle yanlış olana kadar değişen, kısmi gerçek değerler kavramını ele almak için geliştirilmiştir ¹³. Bulanık küme teorisi hakkındaki ilk çalışmalar Lotfi A. Zadeh (1965) ve Joseph Amadee Goguen (1967) tarafından yapılmıştır ^{14 15 16}. Bulanık küme teorisi, gerçek dünya problemleri için izlenebilirlik, sağlamlık ve düşük maliyetli çözümleri hedefleyen; belirsizliği ele alan, önemli bir araç haline gelmiştir ¹³.

Bulanık küme teorisi, karar vericiler tarafından, sabit değerli yargı yerine aralıklı yargı vermeyi sağladığı için daha güvenli bulunmaktadır ¹⁷. Çünkü karşılaştırma sürecinin bulanık yapısı gereği, karar vericiler, tercihleri hakkında net olamamaktadırlar ¹⁷. Son yirmi yıla yakın bir zamanda ise, bulanık küme teorisi, yapay zekâ, bilgisayar, yönetim bilimi, kontrol teorisi ve istatistik gibi alanlarda geniş yelpazede uygulanmakta ve kullanılmaktadır ¹³. Bulanık kümeler, üyelik derecesi [0-1] kapalı aralığında, gerçel sayılar ile ifade edilen ve yetersiz tanımlanmış kümeler olarak tanımlanabilir.

Üyelik fonksiyonu ya da karakteristik fonksiyon, 0 ile 1 sayıları arasında, tercih kümesine ait olma derecesini ifade etmektedir ve μ ile gösterilmektedir ¹⁸. Kümeye dâhil olmayan, kümenin dışında kalan elemanlar için üyelik değerleri 0, kümeye dâhil olanlar için 1 değeri atanmaktadır.

Bulanık bir A kümesinin μ ile ifade edilen üyelik fonksiyonu aşağıdaki gibi gösterilir:

$$\mu: X \rightarrow [0,1]$$

Burada X, evrensel kümeyi göstermektedir.

Herhangi bir A kümesi için, karakteristik fonksiyon şu şekilde tanımlanır ¹⁹:

$$X_A(x) = \begin{cases} 1, & x \in A \\ 0, & x \notin A \end{cases}$$

Bulanık sayılarda üyelik fonksiyonları farklı şekillerde olabilmektedir. Üçgensel üyelik fonksiyonları, kolay anlaşılır ve uygulanabilir olması, matematiksel işlemlerin karmaşık olmaması ve sayıların lineer olması sebebiyle, pratikte en fazla tercih edilen üyelik fonksiyonlarından biridir.

Üçgensel bulanık sayılar (l, m, u) şeklinde üç parametre ile gösterilirler. Burada l en küçük değeri ya da alt sınırı, m en olası değeri, u en büyük değeri ya da üst sınırı temsil etmektedir. Şekil 4'te gösterilen \tilde{M} , bir bulanık küme olsun.

$x \in M$ ve $\mu(x)$, x bulanık sayısının üyelik fonksiyonu

olmak üzere $\mu(x)$ şu şekilde tanımlanır:

$$\mu(x) = \begin{cases} 0 & , & x < l \\ \frac{x-l}{m-l} & , & l \leq x \leq m \\ \frac{u-x}{u-m} & , & m \leq x \leq u \\ 0 & , & x > u \end{cases}$$

Üçgensel bulanık sayılarda çeşitli ve çok sayıda işlemler gerçekleştirilebilmektedir. İki üçgensel sayı olan \tilde{A} ve \tilde{B} verilsin. Bu iki üçgensel bulanık sayı $\tilde{A} = (l_1, m_1, u_1)$ ve $\tilde{B} = (l_2, m_2, u_2)$ şeklinde tanımlanmış olsun. Aşağıda bu iki üçgensel bulanık sayı ile gerçekleştirilebilecek operasyonlarla ilgili bilgilere yer verilmiştir ²⁰.

- Toplama:

$$\tilde{A} (+) \tilde{B} = (l_1 + l_2, m_1 + m_2, u_1 + u_2)$$

- Çıkarma:

$$\tilde{A} (-) \tilde{B} = (l_1 - u_2, m_1 - m_2, u_1 - l_2)$$

- Çarpma:

$$\tilde{A} (x) \tilde{B} = (l_1 x l_2, m_1 x m_2, u_1 x u_2)$$

- Bölme:

$$\frac{\tilde{A}}{\tilde{B}} = \left(\frac{l_1}{l_2}, \frac{m_1}{m_2}, \frac{u_1}{u_2} \right) \tilde{A}, \tilde{B} > 0$$

- Tersini Alma:

$$(\tilde{A})^{-1} = \frac{1}{u_1}, \frac{1}{m_1}, \frac{1}{l_1}$$

- Üstel (Eksponansiyel) İşlem:

$$\exp(\tilde{A}) \approx [\exp(l_1), \exp(m_1), \exp(u_1)]$$

- Negatifini Alma:

$$-(\tilde{A}) = (-l_1, -m_1, -u_1)$$

2.2. Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi (Fuzzy Analytic Hierarchy Process)

AHP' nin amacı her ne kadar karar vericilerin ya da uzmanların bilgi birikimlerini göstermek ise de, hâlâ, insan düşünme stilini yansıtmamaktadır. Kararlar verilirken, sözel ifadelerin kullanılmasından kaynaklı birçok risk ortaya çıkmaktadır. Kişiler arasındaki farklılıklarda, tercih sıralamalarını etkilemektedir. AHP' deki tercihler esasında, insanların algılarına dayanan yargılarından meydana geldiği için, doğru olmayan sonuçlarla karşılaşılabılır fakat bulanık (fuzzy) yaklaşım, karar verme sürecinin daha doğru tanımlanmasına olanak sağlar^{21 22}. Özne alıdan kaynaklanan kararsızlık ve belirsizlik ile başa çıkabilmek için bulanık mantık ve yaklaşım geliştirilmiştir.

Literatürde, farklı araştırmacılar tarafından önerilen birçok bulanık AHP metodları vardır. Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi ile ilgili ilk çalışmalar Van Laarhoven ve Pedrycz tarafından 1983 yılında yapılmıştır²³. Bu çalışmada, karar vericilere, düşüncelerini, üçgenel üyelik fonksiyonları ile bulanık sayılarda ifade etmesi istenmiştir. Buckley (1983) ise, karşılaştırma oranlarının bulanık önceliklerini belirlemek için trapezoidal (ikizkenar yamuk) üyelik fonksiyonunu ve geometrik ortalama metodunu kullanmıştır. Daha sonra, bütün alternatifler için, nihai bulanık ağırlıkları hesaplamıştır²².

Van Laarhoven, Pedrycz ve Buckley, bulanık sayılar ile temsil edilen bulanık programları kullanarak, ikili karşılaştırma süreçlerindeki kararsızlığı ve özneliği en az indirmek için Saaty' nin çalışmasını²⁴ geliştirmeye çalışmışlardır²⁵. Fakat kullandıkları bulanık programların (fuzzy utility), ilgili alternatiflerin önceliklerini belirleyebilmek için, sıralanması gerekmektedir. Bu da, kullanılan sıralama metodlarının son derece karmaşık olmasından dolayı güvenilir olmayan sonuçlar doğurabilmektedir^{26 25}. Bu problemin üstesinden gelmek için Mikhailov tarafından (2003), en uygun öncelikler elde etmek için, bulanık tercih programlama fikrini ortaya atıldı²⁷. Bu yaklaşımda, bulanık karşılaştırma matrislerinin karşılaştırılmasına gerek yoktur ve öncelikler, tamamlanmamış bulanık kararlardan türetilmektedir²⁷. Fakat bu program, mevcut diğer bulanık önceliklendirme metodlarından^{23 22} daha iyi olduğunu iddia etse de, içerdiği karmaşık matematik, uygulanabilirliğini kısıtlayabilmektedir²⁵. Chang (1996) ise, bulanık AHP (BAHP) çözümünde, bulanık AHP'nin ikili karşılaştırma değerleri için, üçgenel bulanık sayıların kullanımı ile yeni bir yaklaşım önermiştir²⁸.

Bulanık AHP'de, karşılaştırmalar için çok çeşitli ölçekler kullanılmaktadır. Chang'ın yönteminde, Risk İndikatörlerinin değerlerinin bulunmasında kullanılan bulanık önem dereceleri Tablo 1'de gösterilmiştir.

Çizelge 1. Karşılaştırma Matrisleri için Kullanılan Ölçek (Scale used for Comparison Matrices)

Dilsel İfadeler	Bulanık Ölçek	Karşılık Ölçek
Tam Olarak Eşit	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)
Zayıf Derecede Önemli	(2/3, 1, 3/2)	(2/3, 1, 3/2)
Oldukça Önemli	(3/2, 2, 5/2)	(2/5, 1/2, 2/3)
Çok Fazla Önemli	(5/2, 3, 7/2)	(2/7, 1/3, 2/5)
Kesinlikle Önemli	(7/2, 4, 9/2)	(2/9, 1/4, 2/7)

2.2.1. Genişletilmiş Bulanık AHP Metodu (Extended Fuzzy Analytical Hierarchy Process Method)

Bulanık önceliklendirmeler için diğer bir yaklaşım, Chang (1996) tarafından geliştirilen sentetik genişletilmiş analiz adı verilen yaklaşımdır^{28 27}. Bu yaklaşım, hesaplama kolaylığı, uygulama adımlarının basitliği ve daha az zaman harcaması sebebiyle literatürde çok sıklıkla kullanılmaktadır. Bu yaklaşımın adımları aşağıda verilmiştir:

Adım 1: Bulanık karşılaştırma matrisi $\tilde{B} = [\tilde{a}_{ij}]$ olarak verilsin.

$$\tilde{B} = \begin{bmatrix} (1,1,1) & \tilde{a}_{12} & \dots & \tilde{a}_{1n} \\ \tilde{a}_{21} & (1,1,1) & \dots & \tilde{a}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{a}_{n1} & \tilde{a}_{n2} & \dots & (1,1,1) \end{bmatrix}$$

Burada: $\tilde{a}_{ij} \times \tilde{a}_{ji} \approx 1$,

Tüm $\tilde{a}_{ij} = (l_{ij}, m_{ij}, u_{ij})$ ve $i, j = 1, 2, \dots, n$ üçgenel bulanık sayılardır.

Adım 2: Bulanık yapay büyüklük değeri, i . kritere göre şu şekilde tanımlanır.

$$S_i = \sum_{j=1}^n \tilde{a}_{ij} \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \tilde{a}_{ij} \right]^{-1} \quad (3)$$

Eşitlik 3'te $\sum_{j=1}^n \tilde{a}_{ij}$ ve $\left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \tilde{a}_{ij} \right]$ değerleri, n değerleri

üzerinde, bulanık ekleme işlemi kullanılarak, bulanık ikili karşılaştırma matrisi şu şekilde hesaplanır.

$$\sum_{j=1}^n \tilde{a}_{ij} = \left(\sum_{j=1}^n l_j, \sum_{j=1}^n m_j, \sum_{j=1}^n u_j \right) \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \tilde{a}_{ij} = \left(\sum_{i=1}^n l_i, \sum_{i=1}^n m_i, \sum_{i=1}^n u_i \right) \quad (5)$$

Sonrasında ise, Eş. 5'in hesaplanması gerekir.

$$\left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \tilde{a}_{ij} \right]^{-1} = \left(\frac{1}{\sum_{i=1}^n u_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n m_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n l_i} \right)$$

Bulanık sayıların karşılaştırılmasına ilişkin ilkeler, hiyerarşinin bütün seviyelerinde, bulanık yapay değerler kullanılarak, tüm elemanların ağırlık vektörlerinin türetilmesi için tanımlanmıştır.

Adım 3: Bulanık sayıları karşılaştırmak için, $M_2 \geq M_1$ ifadesinin olasılık derecesi, şu şekilde hesaplanır:

$$V(M_2 \geq M_1) = \sup_{y \geq x} \left[\min(\mu_{M_1(x)}, \mu_{M_2(x)}) \right] \quad (6)$$

$$= \text{hgt}(M_1 \cap M_2) = \mu_{M_2(d)}$$

$$= \begin{cases} 1, & m_2 \geq m_1 \\ 0, & l_1 \geq u_2 \\ \frac{(l_1 - u_2)}{(m_2 - u_2) - (m_1 - l_1)}, & \text{diğer hallerde} \end{cases} \quad (7)$$

Adım 4: Bulanık bir sayının olasılık derecesinin k konveks bulanık sayılarından S_i ($i = 1, 2, 3, \dots, k$) daha büyük olması durumunda şu şekilde tanımlanabilir.

$$V(S \geq S_1, S_2, \dots, S_k) = \min V(S \geq S_i), \quad i = 1, 2, \dots, k \quad (8)$$

$$d'(A_i) = \min V(S_i \geq S_k), \quad i, k = 1, 2, \dots, n; \quad k \neq i \quad (9)$$

Bu durumda ağırlık vektörü şu şekilde verilir:

$$W' = (d(A_1), d(A_2), \dots, d(A_n))^T \quad (10)$$

Adım 5: Normalize işlemi ile birlikte, normalize edilmiş bulanık bir sayı olmayan ağırlık vektörü şu şekilde hesaplanır:

$$W = (d(A_1), d(A_2), \dots, d(A_n))^T \quad (11)$$

2.3. Bulanık Sayıların Sıralanması (Ranking of Fuzzy Numbers)

Bilindiği üzere pratik hayatta, dilsel karar verme süreçlerinde bulanık sayıların sıralanması çok önemli bir rol oynamaktadır²⁹. Dünyada mevcut olan problemlerin çoğu olasılıksal olmaktan çok bulanıktır. Çoklu karar verme problemlerinde (MADM) kullanılan sayılar bulanık olduğunda, kriter ve alternatiflerin aldıkları son değerlerde bulanık sayılar olmaktadır. Bulanık sayılar, farklı üyelik değerlerine sahip, çok sayıda olası gerçek sayıyı temsil ettiğinden dolayı, alternatif ya da kriterlerin son değerlerini kıyaslayarak hangisinin tercih

edileceğine karar vermek çok zordur³⁰. Diğer bir deyişle, bulanık sayılar, reel sayılardaki gibi net sıralı bir küme vermez. Bu sebeple, bulanık sayıların sıralanması üzerine yirminin üzerinde, farklı metod geliştirilmiştir²⁹. Her bir yöntemin kendi içinde avantaj ve dezavantajları olduğu için, en iyi yöntemi söylemek ya da sıralamak mümkün olmamaktadır.

Bulanık sayıların sıralanma prosedürü ile ilgili yapılan çalışmalar ilk olarak 1976 yılında Ramesh Jain tarafından yapılmıştır³¹. Jain, çalışmasında bulanık sayıları sıralamak için, küme maksimize etme kavramını kullanmıştır. Jain' in metodunda, karar verici, üyelik fonksiyonunun sadece sağ tarafını değerlendirmektedir. Baas ve Kwakernaak ise (1977), gerçek sayıların doğal sıralanmasının, bulanık sayılar içinde uygulanabilmesi için kanonik bir yol önermiştir³². Baldwin ve Guild (1979) yaptıkları çalışmada, bu iki yöntemin bazı dezavantajları olduğunu göstermiştir³³. Bartolan ve Degani (1985), bazı bulanık sayı sıralama metodlarını karşılaştırmış ve test etmiştir²⁶. Chen (1985) ise, küme maksimize ve minimize etme kavramlarını kullanarak yeni bir yaklaşım geliştirmiştir³⁴. Liou ve Wang (1992), Chen'in yaklaşımındaki bazı eksiklikleri tamamlamak için, entegral değer yöntemine dayanan bir sıralama yaklaşımı önermişlerdir. Cheng (1998), bulanık sayıları sıralama problemleri için, mesafe metodu yaklaşımını benimsemiş ve varyasyon katsayısını (coefficient of variation) tanımlamıştır³⁵. Chu ve Tsao (2002) yaptıkları çalışmada, Cheng' in metodunda bazı yanlışları belirlemiş ve bulanık sayıları sıralayabilmek için, merkez ve orijinal noktalar arasında alanı kullanarak bir metod geliştirmişlerdir³⁶. Abbasbandy ve Asady (2006) ise, bulanık sayıları işaret mesafesi metodu ile sıralamışlardır³⁷. Abbasbandy ve Hajjari (2009) ise, trapezoidal bulanık sayıların sıralanmasını yapabilmek için, yeni bir yaklaşım önermişlerdir.

2.3.1. Geliştirilmiş Entegral Değer Metodu (Improved Integral Value Method)

Bu metotta, adından da anlaşılacağı üzere, bulanık sayıları, net olarak ifade edebilmek için entegral ifadeler kullanılmaktadır³⁸. İyimserlik endeksi olarak tanımlanan $\alpha \in [0, 1]$ ve normal ya da normal olmayan üçgensel bulanık sayısı $\tilde{A} = (a, b, c; w)$ ve $x_{\min} = \inf X$ olmak üzere, geliştirilmiş entegral değer;

$$S_T^\alpha(\tilde{A}) = \left(\frac{w}{2} \right) \left[\alpha(b+c) + (1-\alpha)(b+a) - 2x_{\min} \right]$$

$$= \left(\frac{w}{2} \right) \left[\alpha c + b + (1-\alpha)a - 2x_{\min} \right] \quad (12)$$

tanımlanır.

Buna göre;

$$S_T^\alpha(\tilde{A}_i) < S_T^\alpha(\tilde{A}_j) \Rightarrow \tilde{A}_i < \tilde{A}_j$$

$$S_T^\alpha(\tilde{A}_i) = S_T^\alpha(\tilde{A}_j) \Rightarrow \tilde{A}_i = \tilde{A}_j$$

$$S_T^\alpha(\tilde{A}_i) > S_T^\alpha(\tilde{A}_j) \Rightarrow \tilde{A}_i > \tilde{A}_j$$

İyimserlik endeksi olan α , karar vericinin iyimserlik derecesini temsil etmektedir. İyimserlik endeksi, bir (1) rakamına ne kadar yakın olursa, karar verici o kadar iyimserdir, denilebilir.

2.3.2. Kuadratik Ortalama Metodu (Quadratic Mean Method)

Kuadratik ortalama formülü, diğer bir adıyla, kare ortalamalarının kökü formülü, verilen bir sayı kümesinin büyüklüğünün göstermek için kullanılabilir.

$\tilde{A} = (a, b, c)$ üçgensel bulanık sayısı için;

$$\tilde{A}_{rms} = \sqrt{\frac{a^2 + b^2 + c^2}{3}} \quad (13)$$

hesaplanır. Kuadratik ortalama metodu yardımıyla durulaştırılan üçgensel bulanık sayılar, daha sonra kendi aralarında sıralanabilirler.

3. UYGULAMA (IMPLEMENTATION)

Bu çalışmada akıllı bir şebekede bulunabilecek riskler, 5 ana başlıkta oluşturulmuştur. Bunlar: Finansal Riskler (B1), Güvenlik Riskleri (B2), Çevresel Riskler (B3), Teknolojik Riskler (B4) ve Yönetimsel Risklerdir (B5). Akıllı bir şebekedeki risk değerlendirmesini doğru ve gerçekçi bir şekilde yapabilmek için, oluşturulacak endeks sistemi aşağıdaki özelliklere sahip olmalıdır:

- Akıllı şebekelerdeki risk seviyelerinin detaylı ve sistemli bir analizi sonucu oluşturulmalıdır.
- Akıllı şebekelerin karakteristik özelliklerine göre oluşturulmalı ve kapsamlı olmalıdır.
- Sistemdeki riskler, açık ve belirleyici olmalıdır.
- Risklerin kapsadıkları alanlar mümkün olduğunca birbirleriyle kesişmemelidir.
- Sistem, anlaşılması kolay ve uygulanabilirlik anlamında pratik olmalıdır.

Yukarıdaki bahsedilen özellikler, sistemin sahip olduğu karakter ve yapılan araştırmalar sonucunda ortaya çıkan risk endeks sistemi Şekil 1'deki gösterilmiştir.

Şekil 1'deki gibi oluşturulan hiyerarşik sisteme göre, alanında tecrübeli olan dört uzmana, ikili karşılaştırma matrislerini kullanarak, risk başlıklarını karşılaştırmaları istenmiştir.

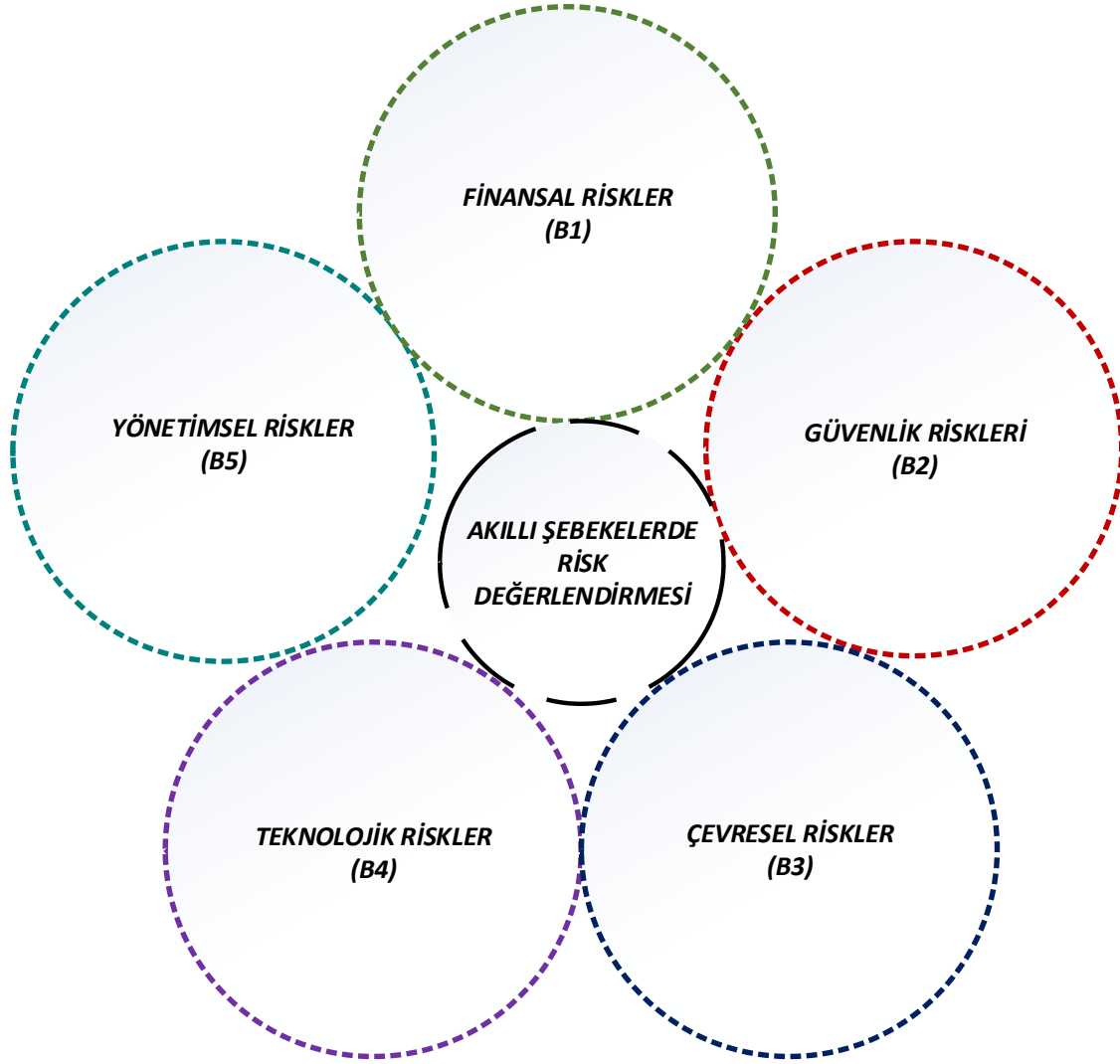
Uzmanların ana risk başlıklarını karşılaştırmalarından sonra oluşan ağırlık vektör yüzdeleri ve sıralamaları Çizelge 2'de görülmektedir

Ana risk başlıkları için normalize edilmiş ağırlık vektörleri de hesaplandıktan sonra Çizelge 3'de bulanık ağırlık vektörleri hesaplanarak gösterilmiştir.

Çizelge 2. Ana Risk Grupları ve Sıralamaları (Risks and Rankings)

ANA BAŞLIKLAR	Toplam Ağırlık Vektörü (%)	BAHP Sonucu Sıralama
<i>Güvenlik Riskleri</i>	32,96	1
<i>Teknolojik Riskler</i>	28,65	2
<i>Finansal Riskler</i>	21,57	3
<i>Yönetimsel Riskler</i>	13,74	4
<i>Çevresel Riskler</i>	3,06	5

Buna göre, ana başlıkların önem dereceleri yüzde olarak ifade edilirse; Finansal Riskler %22, Güvenlik Riskleri %33, Çevresel Riskler %3, Teknolojik Riskler %29 ve Yönetimsel Risklerin % 14 öneme sahip görülmektedir.



Şekil 1. Akıllı Şebekede Bulunan Ana Risk Başlıklarının Gösterim (Schematic Diagram of Main Risks in Smart Grid)

3.1. Bulanık Sayıların Sıralamasını Yaparak Değerlendirme (Assessment with Ranking of Fuzzy Numbers)

Chang'ın metodu dışında, geliştirilmiş entegral değer ve kuadratik ortalama yöntemleri kullanılarak bulanık sayıların sıralamaları yapılmıştır.

3.1.1. Geliştirilmiş Entegral Değer Metoduna Göre Değerlendirme (Assessment with Improved Integral Value Method)

Chang'ın önerdiği genişletilmiş bulanık AHP yönteminin 2. adımından sonra, yapay ağırlık değerleri kullanılarak, risklerin önem dereceleri belirlenerek, sıralamaları yapılmıştır. İyimserlik derecesi $\alpha = 0.5$ olmak üzere;

$$S_{B_1} = (0.1433, 0.2012, 0.2823)$$

$$S_T^\alpha(B_1) = \left(\frac{1}{2}\right) \left[\alpha(0.2823) + 0.2011 + (1-\alpha)0.1433 - 2(0.1433) \right]$$

$$S_T^\alpha(B_1) = 0.0695\alpha + 0.0289 = 0.0636$$

$$S_{B_2} = (0.1781, 0.2562, 0.3623)$$

$$S_T^\alpha(B_2) = \left(\frac{1}{2}\right) \left[\alpha(0.3623) + 0.2562 + (1-\alpha)0.1781 - 2(0.1781) \right]$$

$$S_T^\alpha(B_2) = 0.0921\alpha + 0.0391 = 0.0852$$

$$S_{B_3} = (0.1050, 0.1402, 0.1901)$$

$$S_T^\alpha(B_3) = \left(\frac{1}{2}\right) \left[\alpha(0.1901) + 0.1401 + (1-\alpha)0.1050 - 2(0.1050) \right]$$

$$S_T^\alpha(B_3) = 0.0389$$

$$S_{B_4} = (0.1657, 0.2336, 0.3281)$$

$$S_T^\alpha(B_4) = \left(\frac{1}{2}\right) \left[\alpha(0.3281) + 0.2336 + (1-\alpha)0.1657 - 2(0.1657) \right]$$

$$S_T^\alpha(B_4) = 0.0746$$

$$S_{B_5} = (0.1206, 0.1689, 0.2406)$$

$$S_T^\alpha(B_5) = \left(\frac{1}{2}\right) [\alpha(0.2406) + 0.1688 + (1-\alpha)(0.1206 - 2(0.1206))]]$$

$$S_T^\alpha(B_5) = 0.0541$$

Değerleri elde edilir. Bu değerlere göre ağırlık vektörü

$$W' = (0.0636, 0.0852, 0.0389, 0.0746, 0.0541)^T$$

olarak bulunur. Normalize edilmiş ağırlık vektörü ise ;

$$W = (0.2010, 0.2693, 0.1229, 0.2358, 0.171)^T \text{ olarak bulunur.}$$

Bu sonuçlara göre, finansal riskler %20, Güvenlik Riskleri % 27, Çevresel Riskler %12, Teknolojik Riskler %24 ve Yönetimsel risklerin %17 öneme sahip olduğu gözükmemektedir. Chang'ın genişletilmiş bulanık AHP yöntemindeki sıralama sonucu ile benzer bir sonuç bulunmuştur.

3.1.2 Kuadratik Ortalama Metodu Kullanılarak Değerlendirme (Assessment with Quadratic Mean Method)

Daha önce bulunan yapay ağırlık değerleri kullanılarak ağırlık vektörü bulunmuştur. Çizelge 3'ye göre yapay değerler:

$$S_{B1} = (0.1433, 0.2012, 0.2823)$$

$$S_{B2} = (0.1781, 0.2562, 0.3623)$$

$$S_{B3} = (0.1050, 0.1402, 0.1901)$$

$$S_{B4} = (0.1657, 0.2336, 0.3281)$$

$$S_{B5} = (0.1206, 0.1689, 0.2406)$$

Elde edilen bu vektörler eşitlik (13) kullanılarak kuadratik ortalama metodu ile sıralanır;

$$K_{B_1 rms} = \sqrt{\frac{0.1433^2 + 0.2011^2 + 0.2823^2}{3}} = 0.217$$

$$K_{B_2 rms} = \sqrt{\frac{0.1781^2 + 0.2562^2 + 0.3623^2}{3}} = 0.276$$

$$K_{B_3 rms} = \sqrt{\frac{0.1050^2 + 0.1401^2 + 0.1901^2}{3}} = 0.149$$

$$K_{B_4 rms} = \sqrt{\frac{0.1657^2 + 0.2336^2 + 0.3281^2}{3}} = 0.251$$

$$K_{B_5 rms} = \sqrt{\frac{0.1206^2 + 0.1668^2 + 0.2406^2}{3}} = 0.183$$

Değerleri bulunur. Bu değerlere göre ağırlık vektörü;

$$W' = (0.217, 0.276, 0.149, 0.251, 0.183)^T \text{ olarak elde edilir. Normalize edilmiş ağırlık vektörü ise;}$$

$$W = (0.201, 0.257, 0.138, 0.233, 0.17)^T \text{ olarak}$$

bulunur.

Kuadratik ortalama yöntemi sonucunda, risklerin önem dereceleri yüzde olarak, finansal riskler % 20, güvenlik riskleri % 26, çevresel riskler % 14, teknolojik riskler % 23 ve yönetimsel risklerin % 17 olarak gözükmemektedir. Burada da, bulanık AHP yöntemi kullanılarak elde edilen sıralama sonucu ile benzer bir sonuç elde edilmiştir.

Çizelge 3. Risklerin İkili Karşılaştırma Matrisleri ve Bulanık Ağırlıkları (Comparison Matrices and Fuzzy Weights of Risks)

Ana Riskler	B1	B2	B3	B4	B5	Bulanık Ağırlıklar
B1	(1, 1, 1)	(0,581, 0,707, 0,888)	(1,368, 1,682, 2,027)	(0,661, 0,760, 0,880)	(0,904, 1,189, 1,540)	(0,1433, 0,2012, 0,2823)
B2	(1,126, 1,414, 1,720)	(1, 1, 1)	(1,581, 2,060, 2,603)	(0,643, 0,760, 0,904)	(1,257, 1,565, 1,903)	(0,1781, 0,2562, 0,3623)
B3	(0,493, 0,595, 0,731)	(0,384, 0,486, 0,633)	(1, 1, 1)	(0,525, 0,639, 0,795)	(0,904, 1, 1,107)	(0,1050, 0,1402, 0,1901)
B4	(1,136, 1,316, 1,514)	(1,107, 1,316, 1,554)	(1,257, 1,565, 1,903)	(1, 1, 1)	(0,719, 1, 1,392)	(0,1657, 0,2336, 0,3281)
B5	(0,649, 0,841, 1,107)	(0,525, 0,639, 0,795)	(0,904, 1, 1,107)	(0,719, 1, 1,392)	(1, 1, 1)	(0,1206, 0,1688, 0,2406)

Çizelge 3'e göre elde edilmiş yapay ağırlık değerleri;

$$S_{B1} = (4.5133, 5.3377, 6.3350) \times (22.4434, 26.533, 31.494)^{-1} \approx (0.1433, 0.2012, 0.2823)$$

$$S_{B2} = (5.6078, 6.7989, 8.1303) \times (22.4434, 26.533, 31.494)^{-1} \approx (0.1781, 0.2562, 0.3623)$$

$$S_{B3} = (3.3065, 3.719, 4.2656) \times (22.4434, 26.533, 31.494)^{-1} \approx (0.1050, 0.1402, 0.1901)$$

$$S_{B4} = (5.2189, 6.1972, 7.3628) \times (22.4434, 26.533, 31.494)^{-1} \approx (0.1657, 0.2336, 0.3281)$$

$$S_{B5} = (3.7969, 4.4798, 5.4003) \times (22.4434, 26.533, 31.494)^{-1} \approx (0.1206, 0.1689, 0.2406)$$

Elde edilir. Bu vektörler kullanılarak,

$$\begin{aligned}
V(S_{B_1} \geq S_{B_2}) &= 1, & V(S_{B_1} \geq S_{B_3}) &= 1, & V(S_{B_1} \geq S_{B_4}) &= 0.6545, & V(S_{B_1} \geq S_{B_5}) &= 0.7826 \\
V(S_{B_2} \geq S_{B_1}) &= 1, & V(S_{B_2} \geq S_{B_3}) &= 1, & V(S_{B_2} \geq S_{B_4}) &= 1, & V(S_{B_2} \geq S_{B_5}) &= 1, \\
V(S_{B_3} \geq S_{B_1}) &= 0.4341, & V(S_{B_3} \geq S_{B_2}) &= 0.4341, & V(S_{B_3} \geq S_{B_4}) &= 0.2071, & V(S_{B_3} \geq S_{B_5}) &= 0.7714 \\
, \\
V(S_{B_4} \geq S_{B_1}) &= 1, & V(S_{B_4} \geq S_{B_2}) &= 0.8690, & V(S_{B_4} \geq S_{B_3}) &= 1, & V(S_{B_4} \geq S_{B_5}) &= 1, \\
V(S_{B_5} \geq S_{B_1}) &= 0.7501, & V(S_{B_5} \geq S_{B_2}) &= 0.4169, & V(S_{B_5} \geq S_{B_3}) &= 0.4169, & V(S_{B_5} \geq S_{B_4}) &= 0.5361
\end{aligned}$$

Elde edilir. Buna göre hesaplanan ağırlık vektörü;

$W'=(0.6545, 1, 0.093, 0.8690, 0.4169)T$ olarak bulunur. Bu vektör normalize edildiğinde ise, risk başlıklarının ağırlıkları;

4. SONUÇ ve ÖNERİLER (CONCLUSION and RECOMMENDATIONS)

Fosil kaynakların kullanımının azaltılması ve CO₂ salınımının düşürülmesi hedefi için, yenilebilir enerji kaynaklarının geleneksel şebekeye entegrasyonu ile birlikte akıllı şebeke sistemlerine geçiş zaruri olmuştur. Gelecekte akıllı şebeke sistemlerinin devletler tarafından kullanımının zorunlu tutulması, dolayısıyla kullanıcılar düzeyinde daha çok kullanılmaya başlamasıyla, iki yönlü enerji akışının olacağı şebeke sistemine, ülkeler, daha çok bağımlı hale geleceklerdir. Bu da sistemde çok büyük potansiyelde risk ve/veya riskler oluşmasına sebep olacaktır. Bu nedenle, sistemdeki risklerin sistemin bütününe ele alarak, doğru bir şekilde tespit edilmesi, ona göre değerlendirilmesi, ileride karşılaşılabilecek tehditleri ve çözüm yollarının belirlenmesi açısından çok önemli olduğu düşünülmektedir.

Bu çalışmada, akıllı şebeke sisteminde yer alabilecek riskler, ana başlıklar halinde oluşturmuş ve çok ölçütlü bir problem olarak değerlendirilmiştir. Oluşturulan bu hiyerarşik yapı, genişletilmiş Bulanık Analitik Hiyerarşik Prosesi (BAHP) metoduyla çözümlenmeye çalışılmıştır.

Sonuç olarak, akıllı bir şebekede bulunabilecek ana riskler için değerler oluşturulmuş, sıralamalar yapılarak sistem içerisindeki risk oranı en yüksek ve düşük belirlenmiştir.

Buna göre, Güvenlik Riskleri %33' lük oranıyla, en önemli risk başlığı olarak göze çarpmaktadır. Genişletilmiş entegral değer ve kuadratik ortalama metotlarında da güvenlik riskleri %27' lik oran ile en önemli risk başlığı olarak bulunmuştur. Üç sıralama yönteminde de, diğer risk başlıklarının sıralamasında bir değişiklik olmamıştır.

Bu risklerin karşılaştırılması için, literatürde, başka, çok amaçlı değerlendirme yöntemleri bulunmaktadır. Bu metotlar kullanılarak sistemdeki risklerin kritik oranları hesaplanarak karşılaştırma yapılabilir.

İleride yapılacak çalışmalar için, akıllı bir şebekedeki güvenlik riskleri başlığı altında, alt risk başlıkları oluşturularak, bu riskler kendi aralarında karşılaştırılmalı ve sonuçlar tartışılmalıdır.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1]. ABB. "Toward a Smarter Grid ABB' s Vision for the Power System of the Future". (2010).
- [2]. Janjic, A., Savic, S., Janackovic, G., Stankovic, M. & Velimirovic, L., "Multi-criteria assessment of the smart grid efficiency using the fuzzy analytic hierarchy process". *Facta Univ. - Ser. Electron. Energ.*, 29: 631–646, (2016).
- [3]. Janjic, A., Savic, S., Velimirovic, L. & Nikolic, V., "Renewable Energy Integration in Smart Grids-Multicriteria Assessment Using the Fuzzy Analytical Hierarchy Process", *Turkish J. Electr. Eng. Comput. Sci.*, 23: 1896–1912, (2015).
- [4]. Li, Y., Guo, X., Tang, H. A. O. & Li, D. "Construction of Hazard Source Evaluation Index System of Smart Grid", *Int. Conf. Artif. Intell. Eng. App.*, 487–491, (2017).
- [5]. Xiaojing, W., Xingyin, C., Kun, Y. & Haojie, S., "Construction of Smart Distribution Grid Efficiency Evaluation Index System". *IEEE Conf. Energy Internet Energy Syst.*, 1(4): (2017).
- [6]. Xu, W., "Research on Risk Assessment of Smart Grid Project", *Natl. Conf. Electr. Electron. Comput. Eng.* (NCEECE 2015) 558–562 (2015).
- [7]. Liu, R., "Preliminary Analysis of Smart Grid Risk Index System and Evaluation Methods", *Energy Power Eng.*, 5: 807–810, (2013).
- [8]. Rawat, D. B. & Bajracharya, C., "Cyber security for smart grid systems: Status, challenges and perspectives", *Conf. Proc. - IEEE SOUTHEASTCON*, June, 1–6 (2015).
- [9]. Hecht, T., Langer, L. & Smith, P., "Cybersecurity Risk Assessment in Smart Grids", *5th Symp. Commun. Energy Syst.* (ComForEn 2014) (2014).
- [10]. Saaty, T. L., "Decision making with the analytic hierarchy process", *Int. J. Serv. Sci.*, 1(83): (2008).

- [11]. Dağdeviren, M., Akay, D. & Kurt, M., "İş değerlendirme sürecinde analitik hiyerarşi prosesi ve uygulaması", *J. Fac. Eng. Archit. Gazi Univ.*, 19: 131–138, (2004).
- [12]. Saaty, T. L. "The Analytic Hierarchy Process", Education, McGraw-Hill International Book, (1980).
- [13]. Emrouznejad, A. & Ho, W., "Fuzzy Analytic Hierarchy Process", *Congresso Latino-Iberoamericano de Investigación Operativa* CRC Press, (2012).
- [14]. Zimmermann, H.-J., "Fuzzy set theory and its applications", *Fuzzy Sets and Systems*, 47: (2001).
- [15]. Zadeh, L. A., "Fuzzy sets. Information and Control" 8: 338–353 (1965).
- [16]. Goguen, J. A., "L-fuzzy sets", *J. Math. Anal. Appl.* 18: 145–174, (1967).
- [17]. Büyüközkan, G., Kahraman, C. & Ruan, D. A "Fuzzy Multi-criteria Decision Approach for Software Development Strategy Selection", *Int. J. Gen. Syst.*, 33: 259–280, (2004).
- [18]. Toshiro Terano, Kiyoji Asai, M. S., "Fuzzy systems theory and its applications", *Academic Press*, (1992).
- [19]. Chen, G. & Pham, T. T., "Introduction to Fuzzy Sets, Fuzzy Logic and Fuzzy Control Systems". CRC Press, (2001).
- [20]. Zimmerman, H. J., "Fuzzy Set Theory and Its Applications", Springer, (1992).
- [21]. Kuo, M. S., Liang, G. S. & Huang, W. C. "Extensions of the Multicriteria Analysis With Pairwise Comparison Under a Fuzzy Environment", *Int. J. Approx. Reason.* 43: 268–285, (2006).
- [22]. Buckley, J. J., "Fuzzy Hierarchical Analysis", *Fuzzy Sets Syst.*, 17: 233–247, (1985).
- [23]. van Laarhoven, P. J. M. P. W. A Fuzzy Extension of Saaty's Priority Theory. *Fuzzy Sets Syst.* 11(11): 229–241, (1983).
- [24]. Saaty, T. L., "The Analytic Hierarchy Process", New York: Mc Graw-Hill (1980).
- [25]. Chan, F. T. S. & Kumar, N., Global Supplier Development Considering Risk Factors Using Fuzzy Extended AHP-based Approach", *Omega* 35: 417–431, (2007).
- [26]. Bortolan, G. & Degani, R. A, "Review of Some Methods for Ranking Fuzzy Subsets", *Fuzzy Sets Syst.* 15: 1–19, (1985).
- [27]. Mikhailov, L., "Deriving Priorities From Fuzzy Pairwise Comparison Judgements", *Fuzzy Sets Syst.* 134: 365–385, (2003).
- [28]. Chang, D., "Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP", 2217, (1996).
- [29]. Deng, Y., Zhenfu, Z. & Qi, L., "Ranking fuzzy numbers with an area method using radius of gyration", *Comput. Math. with Appl.*, 51: 1127–1136, (2006).
- [30]. Chen, S.-J. J. & Hwang, C.-L., "Fuzzy Multiple Attribute Decision Making Methods and Applications", 375: (Springer, 1992).
- [31]. Jain, R., "Decision Making in the Presence of Fuzzy Variables", *IEEE Trans. Syst. Man Cybern.*, 6: 698–703, (1976).
- [32]. Baas, S. M. & Kwakernaak, H., "Rating and Ranking of Multiple-Aspect Alternatives Using Fuzzy Sets", *Automatica*, 13: 47–58, (1977).
- [33]. Baldwin, J. F. & Guild, N. C. F., "Comparison of Fuzzy Set On the Same Decision Space", *Fuzzy Sets Syst.*, 2: 213–231, (1979).
- [34]. Chen, S., "Ranking Fuzzy Numbers with Maximizing Set and Minimizing Set", *Fuzzy Sets Syst.* 17: 113–129, (1985).
- [35]. Cheng, C. H., "A new approach for ranking fuzzy numbers by distance method", *Fuzzy Sets Syst.*, 95: 307–317, (1998).
- [36]. Chu, T.-C. & Tsao, C.-T., "Ranking Fuzzy Numbers with an Area between the Centroid Point and Original Point", *Comput. Math. with Appl.*, 43: 111–117, (2002).
- [37]. Abbasbandy, S. & Asady, B., "Ranking of Fuzzy Numbers by Sign Distance", *Inf. Sci. (Ny)*, 176: 2405–2416, (2006).
- [38]. Liou, T. S. & Wang, M. J. J., "Ranking Fuzzy Numbers With Integral Value", *Fuzzy Sets Syst.*, 50: 247–255, (1992).