

BULANIK ANALİTİK HİYERARŞİ SÜRECİ YÖNTEMİNDE DUYARLILIK ANALİZLERİ: YENİ BİR ALTERNATİFİN EKLENMESİ - ENERJİ KAYNAĞININ SEÇİMİ ÜZERİNDE BİR UYGULAMA

Aşkın ÖZDAĞOĞLU*

ÖZET

Karar kuramı, karar ağacının oluşturulması, doğrusal programlama ve simpleks yöntemi gibi konularda yazılan örnek karar verme problemlerinde, çözüme ulaşmada kullanılan değerler hazır olarak verilmektedir. Ancak gerçek işletme hayatında bu değerlere ulaşmak kolay değildir. Bu değerlere ulaşmanın zorlukları yanında yoğun rekabetin mevcut bulunduğu ve krizin yarattığı belirsizliklerin eklendiği bir ortamda bu değerler de her an değişebilmektedir. Karar vericiler bu değerlerde meydana gelebilecek değişmelerin çözümünü nasıl etkileyeceğini bilmek istemektedirler. Bu değerlendirmeler, yukarıda sözü geçen ve diğer tüm karar verme problemlerinde duyarlılık analizleri ile yapılmaktadır. Verileri kalitatif değerlendirmeye, hesaplamaları ise matematiksel temellere dayanan Klasik ve Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci yöntemleri de birer karar destek aracı olarak kullanıldığından, sonuçlar konusunda duyarlılığının analizine ihtiyaç duyulabilmektedir. Klasik ve Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci'nin en önemli avantajı hem niteliksel hem de niceliksel değişkenleri değerlendirebilmesi açısından sıklıkla başvurulan çok kriterli karar verme teknikleri olmalarıdır. Bu çalışmada hem niteliksel hem de niceliksel alternatiflerin karşılaştırılmasına imkan sağlayan Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci yöntemi kullanılarak alternatiflerin önem düzeyleri tespit edilmiş ve bunun ardından genellikle doğrusal programlama ve simpleks yönteminde kullanılan duyarlılık analizleri Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci yöntemine entegre edilmiştir.

***Anahtar Kelimeler:** Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci, Duyarlılık Analizleri, Seçim Kriterleri*

SENSITIVITY ANALYSES IN THE FUZZY-AHP APPROACH: ADDING A NEW ALTERNATIVE – ENERGY SOURCE SELECTION EXAMPLE

ABSTRACT

Values used to solve the decision making problems constructed the subjects such as decision theory, constructing the decision tree, linear programming and simplex methodology are given readily. Accessing these values in real business life is not easy. These values can be altered in an environment in intense competition and uncertainties in crisis. Decision makers want to know the changes in these values. These evaluations are made with the sensitivity analyses in the aforementioned and the other decision making problems. Because of the fact that Classic and Fuzzy Analytic Hierarchy Processes which are based upon qualitative evaluation with mathematical calculations are used as the decision support tools, sensitivity analyses are necessary with regards to the results. The most important advantage of Classic and Fuzzy Analytic Hierarchy Processes is multi criteria decision making techniques which are used in terms of the evaluations both qualitative and quantitative alters. In this study, the importance levels of the alternatives have been determined through the use of Fuzzy Analytic Hierarchy Processes and then sensitivity analysis which are used in linear programming and simplex methodology are combined with the Fuzzy Analytic Hierarchy Process.

***Keywords:** Fuzzy Analytic Hierarchy Process, Sensitivity Analyses, Selection Criteria*

* Araş. Gör. Dr. Dokuz Eylül Üniversitesi İşletme Fakültesi Tınaztepe Yerleşkesi 35160 Buca/İzmir.

1. GİRİŞ

Karar kuramı ve doğrusal programlama gibi karar verme problemlerinde modelde yer alan değişkenlerin katsayıları bilindiği halde, gerçek işletmecilik hayatında modelde yer alan değişken katsayılarını her zaman belirlemek mümkün olamamakta dahası modele yeni değişkenler eklenmekte veya değişkenler ortadan kalkmaktadır. Karar verme konumunda bulunan yöneticiler, bu nedenle çoğu kez karar verme problemlerinin bileşenlerinde meydana gelebilecek değişmelerin optimum çözüme etkisini bilmek isterler. Ulaşılan optimal çözüm, problemin katsayıları sabit kaldığı sürece geçerli olduğu için, yöneticilerin sadece problemin optimal çözümü ile ilgilenmeleri işletmeleri yoğun rekabetin geçerli olduğu piyasada ve özellikle ABD’de konut kredileri sisteminden başlayarak domino etkisi ile tüm dünya üzerindeki türev piyasalarını etkisi altına alan kriz ortamında tehlikeye sokması kaçınılmaz olacaktır. Aslında yöneticiler, yeni bir faaliyetin eklenmesi halinde daha önce elde ettiği optimal çözümün optimallikten çıkarak değişeceğini bilmektedirler. Bu durumda Bulanık AHS yönteminden yararlanılarak oluşturulmuş bir hiyerarşik yapıda da zaman içinde değişikliklerin meydana gelmesi doğal bir sonuçtur. Dolayısıyla, Bulanık AHS çalışmalarında da karar verici grubun, söz konusu seçim problemlerinde ilk elde edilen öncelik/ağırlık değerlerinin, yeni bir alternatifin eklenmesi durumunda, hangi koşullarda değişeceğini, hangi aralık içinde kalabileceğini bilmek istemeleri kaçınılmaz bir durumdur. Bu motivasyondan yola çıkılarak, çalışmada, hesaplanan ağırlık değerlerine, karar verme problemlerindeki gibi bir duyarlılık yaklaşımı yapılabileceği düşünülmüş ve çözüme yeni bir alternatif eklenmesi durumunda önem düzeylerinin nasıl bir değişim göstereceği incelenmiş, oluşturulan yaklaşım, sık karşılaşılan enerji kaynağı seçim problemi üzerinde açıklanarak sunulmuştur.

Bir gıda firmasında yönetim kademesinde bulunan kişilerle görüşmeler yapılarak üretimde kullanılacak enerji kaynağı seçim kriterlerinin ve bu kriterlerin önem düzeylerinin belirlenmesinin ardından yeni bir enerji kaynağının ortaya çıkması durumunda önem düzeylerinin nasıl bir değişim göstereceğini belirlemeyi amaçlayan bu çalışma ortaya konmuştur. Firma yöneticileri ile yapılan görüşmeler sonucunda ortaya çıkan hiyerarşik yapıda bulunan kriterlerin kantitatif olarak ifade edilmelerinin güç olması, değişkenlerin de sözel olması, kalitatif ve kantitatif değişkenleri bir arada değerlendirmeye imkan tanıyan AHS yönteminin kullanılabilmesini göstermektedir. Bu çalışmada Bulanık AHS’ye uygun olarak enerji seçim kriterleri belirlenip seviyelendirilmiş ve sürecin hesaplanmasıyla her bir kriter için önem düzeyi bulunduktan sonra 3 farklı enerji kaynağı olan kalorifer yakıtı (fuel oil), doğal gaz ve mazot karşılaştırılmış ve yeni bir enerji alternatifinin eklenmesi durumunda alternatiflerin önem düzeylerinin nasıl değişiklik göstereceği incelenmiştir.

2. BULANIK AHS

Gerçek karar verme problemlerinde, kesin verilere ulaşmak her zaman mümkün olmamaktadır (Kulak ve Kahraman, 2005: 192). Bu tür problemlerde amaç ve

parametreler kesin olarak bilinmemektedir (Gu ve Zhu, 2006: 1). Karar verici sayısal tahminlemeler yapma konusunda başarısızdır, ancak niteliksel tahminlemelerde sayısal tahminlemelere göre daha etkindir (Kulak ve Kahraman, 2005: 192). Klasik AHS’de karar vericiden hiyerarşinin her seviyesinde her bir nitelik için $A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$ alt nitelikleri arasında r_{ij} olarak ifade edilen ikili karşılaştırma değerlerini tam olarak vermesi istenmektedir. Bu karşılaştırma oranlarının kesin olmayan yargıları belirttiğini savunan pek çok çalışma bulunmaktadır. Bu durum, grup kararlarının alınmasında bireysel yargılarda değişkenliğe ve yargılarda belirsizliğe yol açmaktadır (Leung ve Cao, 2000: 102). Temel olarak, öncelik yargılarındaki belirsizlik, seçeneklerin sıralamasında da belirsizliğe yol açar (Leung ve Cao, 2000: 103).

Bulanık AHS tekniği, sosyal, ekonomik ve yönetim bilimleri gibi çeşitli alanlardaki yapılandırılmamış problemleri modellemede kullanılan iyi bilinen bir analitik araç olan Saaty’nin AHS yönteminden geliştirilen ileri bir analitik teknik olarak düşünülebilir (Yu, 2002: 1970; Sheu, 2004: 45). Çok ölçütlü karar alma problemlerinde hem sayısal hem de niteliksel ölçütleri ele almada AHS’nin tutarlılığına rağmen, karar vericinin yargıları, bulanıklığı ve belirsizliği, geleneksel AHS yöntemlerinde karar vericinin kesin olmayan yargılarını değerlendirmeye katmaktadır (Sheu, 2004: 45). AHS’nin amacı uzmanların bilgisini ortaya çıkarmak olmasına rağmen, geleneksel AHS yöntemleri insan düşünce tarzını hala yansıtamamaktadır (Kahraman vd., 2004: 173; Tolga vd., 2005: 6-7). AHS’de önceliklerin temeli, karar vericinin algıya dayalı yargıları olduğundan dolayı (ki bu durum özellikle fiziksel varlığı olmayan, elle tutulamaz durumlar için kesinlikle doğrudur.), bulanık AHS daha başarılı sonuçlar üretmektedir (Leung ve Cao, 2000: 103). Bu yüzden, pek çok araştırmacı, geleneksel AHS teknikleri ile karşılaştırmalı olarak karar verme sürecinde daha kesin tanımlamalar sağlayan Bulanık AHS olarak ifade edilen Saaty’nin geliştirdiği AHS teorisinin bulanık uzantısı ile ilgilenmişlerdir (Sheu, 2004: 45).

AHS kavramı ile karar verici, algıya dayalı yargı aralığı yerine deterministik değerlendirmeler yapamaz. Önceliklendirmedeki bu tür bir belirsizlik bulanık küme teorisi kullanılarak modellenebilir. Bulanık küme teorisinde, karar vericiden sağlanan oran ölçeği değeri bir üyelik fonksiyonu olarak tanımlanan bir bulanık sayıdır. Burada, üyelik fonksiyonu öncelik setindeki yargı aralığındaki elemanların değerini tanımlar (Leung ve Cao, 2000: 103). Uzmanların bir konudaki görüşlerini kesin bir sayı yerine, daha gerçekçi bir seçenek olan sözel değerlendirmelerle vermeleri daha uygun olacaktır. İşte bu sözel değerlendirmeler, yargı aralığını gösteren üçgensel bulanık sayılardır (Gu ve Zhu, 2006: 3). Bulanık AHS hesaplamalarında kullanılan üçgensel bulanık sayı değerleri Tablo 1’de gösterildiği gibidir.

Tablo 1. Üçgensel Bulanık Sayı Değerleri

Durum	Üçgensel Bulanık Sayılar
Kesinlikle daha önemli (satırdaki ölçüt sütundakine göre)	(7/2, 4, 9/2)
Daha önemli (satırdaki ölçüt sütundakine göre)	(5/2, 3, 7/2)
Önemli (satırdaki ölçüt sütundakine göre)	(3/2, 2, 5/2)
Az öneme sahip (satırdaki ölçüt sütundakine göre)	(2/3, 1, 3/2)
Eşit öneme sahip	(1, 1, 1)
Az öneme sahip (sütundaki ölçüt satırdakine göre)	(2/3, 1, 3/2)
Önemli (sütundaki ölçüt satırdakine göre)	(2/5, 1/2, 2/3)
Daha önemli (sütundaki ölçüt satırdakine göre)	(2/7, 1/3, 2/5)
Kesinlikle daha önemli (sütundaki ölçüt satırdakine göre)	(2/9, 1/4, 2/7)

Kaynak: Tolga vd. 2005: 22'den geliştirilmiştir.

2.1. Yöntemin İşleyişi

Bulanık AHS yönteminin çalışma aşamaları şu şekilde ifade edilebilir (Kahraman vd., 2004: 176; Kulak ve Kahraman, 2005: 199; Tolga vd., 2005: 6-7).

$X = \{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, \dots, x_n\}$ nesne seti olsun. Nesne; ana amaç açısından bakıldığında ana ölçütleri; ana ölçütler açısından bakıldığında ise alt ölçütleri ifade etmektedir.

$$M_{g_i}^1, M_{g_i}^2, M_{g_i}^3, M_{g_i}^4, M_{g_i}^5, \dots, M_{g_i}^m \quad i = 1, 2, 3, 4, 5, \dots, n \text{ olsun.}$$

Buradaki tüm $M_{g_i}^j$ ($j = 1, 2, 3, 4, 5, \dots, m$) değerleri üçgensel bulanık sayılardır.

Adım 1: i. Nesneye göre bulanık değerler Eşitlik (1)'deki gibi tanımlanır.

$$S_i = \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \otimes \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \right]^{-1} \quad (1)$$

Buradaki Eşitlik (1)'de yer alan

$$\sum_{j=i}^m M_{g_i}^j \quad (2)$$

değerini elde etmek için aşağıda gösterilen Eşitlik (3)'teki bulanık işlemin yapılması gerekmektedir.

$$\sum_{j=1}^m M_{g_i}^j = (\sum_{j=1}^m l_j, \sum_{j=1}^m m_j, \sum_{j=1}^m u_j) \quad (3)$$

$$[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j]^{-1} \quad (4)$$

Bulanık değerlendirme matrisinde satırdaki kriterin sütundaki kriterine göre değerlendirilmesinin ardından sütundaki değer satırdaki değere göre ifadesini bulmak için Eşitlik (3)'ün tersi olan Eşitlik (4) değerinin elde edilmesi gerekmektedir. Eşitlik (4) değerinin elde edilebilmesi için $M_{g_i}^j$ ($j = 1, 2, 3, 4, 5, \dots, m$) ile ilgili Eşitlik (5)'teki bulanık işlem yapılmalıdır.

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j = (\sum_{i=1}^n l_i, \sum_{i=1}^n m_i, \sum_{i=1}^n u_i) \quad (5)$$

Eşitlik (5) işlemi tamamlandıktan sonra tersinin alınması Eşitlik (6) ile ifade edilebilir.

$$[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j]^{-1} = \left(\frac{1}{\sum_{i=1}^n u_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n m_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n l_i} \right) \quad (6)$$

Buradaki l , m ve u değerleri üçgensel bulanık sayıları göstermektedir.

l = en düşük değer
 m = en olası değer
 u = en yüksek değer

Adım 2. $M_2 = (l_2, m_2, u_2) \geq M_1 = (l_1, m_1, u_1)$ olasılığı Eşitlik (7)'deki gibi tanımlanır.

$$V(M_2 \geq M_1) = [enküçük(\mu_{M_1}(x), \mu_{M_2}(y))] \quad (7)$$

$$V(M_2 \geq M_1) = \begin{cases} 1, & m_2 \geq m_1 \text{ ise,} \\ 0, & l_1 \geq u_2 \text{ ise,} \\ \frac{l_1 - u_2}{(m_2 - u_2) - (m_1 - l_1)} & \text{aksidurumlarda} \end{cases} \quad (8)$$

M_1 ve M_2 'yi karşılaştırabilmek için hem $V(M_2 \geq M_1)$ hem de $V(M_1 \geq M_2)$ değerlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu değerler de Eşitlik (8)'de verilen koşullara göre hesaplanır.

Adım 3. Diğer bütün bulanık sayılardan M_i ($i = 1, 2, 3, 4, 5, \dots, k$) büyük olan bir bulanık sayının olasılığı şu şekilde ifade edilebilir.

$$V(M \geq M_1, M_2, M_3, M_4, M_5, M_6, \dots, M_k) = V[(M \geq M_1) \text{ ve } (M \geq M_2) \text{ ve } (M \geq M_3) \text{ ve } (M \geq M_4) \text{ ve } \dots \text{ ve } (M \geq M_k)] =$$

En küçük $V(M \geq M_i)$, $i = 1, 2, 3, 4, 5, \dots, k$

Her $k = 1, 2, 3, 4, 5, \dots, n$; $k \neq i$ için

$$d^i(A_i) = \text{en küçük } V(S_i \geq S_k) \text{ olsun.} \quad (9)$$

Eşitlik (9)'da tanımlanan $d^i(A_i)$ değerleri her bir alternatif için bulunduğu Eşitlik (10)'daki ağırlık vektörü oluşur.

$$W = (d^i(A_1), d^i(A_2), d^i(A_3), d^i(A_4), d^i(A_5), \dots, d^i(A_n))^T \quad (10)$$

Adım 4. Ağırlık vektörü toplamları 1 olacak şekilde normalize edilir.

Burada elde edilen W değeri bulanık değil tam kesinlik gösteren bir sayıdır.

2.2. Bulanık AHS Konusunda Yapılan Çalışmalar

Bulanık AHS konusunda da çeşitli çalışmalara rastlamak mümkündür. Bu bölümde Bulanık AHS konusunda literatürden incelenen çalışmalara örnekler sunulmaktadır. Tekstil sektöründe ERP sisteminin seçiminde dengelenmiş skor kartları ile birlikte bir karar destek sistemi olarak kullanılmıştır (Cebeci, 2008). Yeni ürün fikri geliştirmek amacıyla Bulanık AHS yönteminden yararlanılmıştır (Wu vd., 2008). Firmaların rekabet düzeyleri ve finansal performanslarını ölçmek amacıyla finansal rasyolar ve karar vericilerin öznel değerlendirmeleri bir arada kullanılarak Türkiye'deki çimento fabrikalarının performans değerlendirmelerinde Bulanık AHS ve TOPSIS yöntemleri kullanılmıştır (Ertuğrul ve Karakaşoğlu, 2009). Envanter kontrolünü iyileştirmek amacıyla ABC envanter sınıflandırmasını gerçekleştirmek için kullanıldığı çalışmalar mevcuttur (Çakır ve Canbolat, 2008). Tayvan'da imalat sektöründe faaliyet gösteren firmanın bilişim teknolojisi açısından performansını değerlendirmek amacıyla dengelenmiş skor kartları ve Bulanık AHS yöntemi bir arada kullanılmıştır (Lee vd., 2008a). İran'da maden mühendislerinin verimlilik,

güvenlik vb. açılardan boksit madeninin çıkarılmasında en uygun yöntemi belirlemede Bulanık AHS yönteminden yararlanılmıştır (Naghadei vd., 2008). Profesyonel bir insan kaynağı oluşturmak amacıyla personel seçimi için bu yöntemden yararlanılmıştır (Güngör vd., 2009). Portföy oluşturmak Bulanık AHS yönteminin kullanıldığı farklı bir alan olarak göze çarpmaktadır. (Tiryaki ve Ahlatçioğlu, 2009). Etkin bir imalat organizasyonun önemli bir parçası olan daha güvenli bir iş ortamı yaratmayı amaçlayan güvenlik yönetimi için de bu yöntemden yararlanılmıştır (Dağdeviren ve Yüksel, 2008).

Enerji sektöründe Bulanık AHS yönteminin kullanıldığı bazı çalışmalar da bulunmaktadır. Kore Enerji Araştırma Enstitüsü karbondioksit emisyonu nedeniyle sera etkisine yol açan yöntemlere karşı hidrojen teknolojisi geliştirme konusunda Ar-Ge çalışmaları yapan ülkenin rekabet düzeyini belirlemek amacıyla Bulanık AHS yönteminden yararlanmışlardır. Alternatif enerjiler konusunda diğer pek çok ülkeden ileri durumda bulunan ve yeterli altyapı imkanlarına sahip olan Kore toplam enerji tüketiminin %97'sini ithal etmektedir. Geleneksel enerji kaynakları açısından %97 gibi oldukça büyük bir oranda yurtdışına bağımlı olan ve tüm dünyada enerji tüketimi açısından bakıldığında onuncu sırada bulunan Kore alternatif enerjiler konusuna büyük önem vermektedir (Lee vd., 2008b; Lee vd., 2008c).

3. DUYARLILIK ANALİZLERİ

Matematiksel programlama problemlerinde katsayılar bilindiği halde işletmecilik hayatında katsayılar daima belirli değildir. Burada katsayıların değişim aralıkları bulunmaya çalışılmaktadır ve bu işleme duyarlılık analizleri denir (Halaç, 1983: 399; Lawrence ve Pasternak, 2002: 63). Problem çözümü ile elde edilen sonuçları analiz etmek çözümün anlamını belirlemekle başlar (Render vd., 2003 :5). Yöneticiler bu nedenle çoğu kez matematiksel programlama problemlerinin bileşenlerinde meydana gelebilecek değişmelerin optimum çözüme etkisini bilmek isterler. Çünkü yöneticiler sadece problemin optimal çözümü ile ilgilenmemelidirler. Ulaşılan optimal çözüm, problemin katsayıları sabit kaldığı sürece geçerlidir. Halbuki yönetici, yeni bir faaliyetin eklenmesi halinde daha önce elde ettiği optimal çözümün optimallikten çıkarak değişeceğini bilir. Ayrıca söz konusu değişmelerin optimal çözümü ne ölçüde değiştireceğini bilmek isterler (Öztürk, 2002: 146) ve bu amaçla duyarlılık analizleri model parametreleri üzerinde yapılmaktadır (Taylor, 2002: 40). Bu sayede, girdilerden herhangi birinde değişiklik meydana gelirse problemin optimal çözümünün nasıl etkileneceği sorusuna cevap bulunmuş olur (Levin vd., 1992: 458; Heizer ve Render, 2006: 699). Örnek olarak, bir şirket daha fazla para kazanabilmek amacıyla ekstra işçilik saati için ne kadar para ödemeye razı olacağını bulmak için duyarlılık analizlerinden yararlanır (Winston, 2004: 227). Kısıtların sağ taraflarının değişimi, amaç fonksiyon katsayılarının değişimi, soruna yeni bir değişkenin eklenmesi, teknoloji katsayılarının değişimi ve soruna yeni bir kısıtın eklenmesi duyarlılık analizleri ile incelenir (Tütek ve Gümüšoğlu, 2000: 196).

Çok kriterli karar verme yöntemlerinde duyarlılık analizlerinin kullanıldığı çalışmalar şu şekilde özetlenebilir. Hiyerarşik karar verme modellerinde duyarlılığı

analiz etmek için kapsamlı bir algoritma geliştirilmiştir (Chen ve Kocaoğlu, 2008). On farklı tür tesis seçiminde göz önüne alınan öznel veya nesnel çeşitli kriterler söz konusu olduğunda tüm bu kriterleri bir arada değerlendirip sayısal veriye dönüştürmeye imkan sağlayan AHS yöntemi kullanılmış ve farklı veri girişleri durumunda sonuçları incelemek için duyarlılık analizleri yapılmıştır (Chatzimouratidis ve Pilavachi, 2008). Tayvan’da bir hastane tıbbi atık yönetimini iyileştirmek ve genel giderleri azaltmak amacıyla tıbbi atık boşaltım firmaları arasında seçim yapmak için AHS kullanılmış ve duyarlılık analizleri yapılmıştır (Hsu vd. 2008; Wu vd. 2008). Kompleks imalat sürecinde kalite kontrolü etkinleştirmek amacıyla AHS uygulanmış ve önceliklendirmeyi test etmek için duyarlılık analizi uygulanmıştır (Chang vd. 2007).

3.1. Bulanık AHS Metodolojisinde Duyarlılık Analizi

Bulanık AHS metodolojisi, başlangıçta tanımlanan problem için oluşturulan kriter hiyerarşisi üzerinde çalışır. Dolayısı ile problem çözümünde bu kriterler gözetilerek alternatifler değerlendirilir. Aynı problem seti üzerinde yeni bir alternatifin eklenmesi durumu ortaya çıktığında, diğer alternatiflerin nasıl etkilenebileceğini görmek için duyarlılık hesapları yapılabilmektedir. Bu bölümde böyle bir durum için önerilen duyarlılık analizi yöntemine yer verilmiştir. Bulanık AHS değerlendirmeleri için duyarlılık analizi aşağıdaki şekilde modellenebilir.

A: Amaç, ana kriter veya alt kriter

C_i : i . Ana kriter, alt kriter veya alternatif $i = 1, 2, \dots, n$ ve $j = 1, 2, \dots, n$

C_y : Yeni ana kriter, alt kriter veya alternatif

l_{ij} : i . Satırdaki ana kriter, alt kriter veya alternatifin j . Sütundaki ana kriter, alt kriter veya alternatife göre bulanık ikili karşılaştırmasındaki en düşük değer

m_{ij} : i . Satırdaki ana kriter, alt kriter veya alternatifin j . Sütundaki ana kriter, alt kriter veya alternatife göre bulanık ikili karşılaştırmasındaki en olası değer

u_{ij} : i . Satırdaki ana kriter, alt kriter veya alternatifin j . Sütundaki ana kriter, alt kriter veya alternatife göre bulanık ikili karşılaştırmasındaki en yüksek değer

n : Ana kriter, alt kriter veya alternatif sayısı

Yukarıda belirtilen simgelere göre bulanık değerlendirme matrisinin genel yapısı Tablo 2’de gösterilmiştir.

Tablo 2. Bulanık Değerlendirme Matrisi Matematiksel Gösterimi

A açısından	C_1			C_2			...			C_n		
C_1	1	1	1	l_{12}	m_{12}	u_{12}	...	...	...	l_{1n}	m_{1n}	u_{1n}
C_2	$1/u_{12}$	$1/m_{12}$	$1/l_{12}$	1	1	1	...	...	...	l_{2n}	m_{2n}	u_{2n}
....	...	...	...	...	...	...	1	1	1	...	...	...
C_n	$1/u_{1n}$	$1/m_{1n}$	$1/l_{1n}$	$1/u_{2n}$	$1/m_{2n}$	$1/l_{2n}$	...	...	...	1	1	1

Önerilen yaklaşımda, değerlendirmeler sırasında yeni alternatiflere atanan ağırlıklara göre, diğer alternatiflerin limitleri oluşturulmuştur. Bu yapıda oluşan bulanık değerlendirme matrisleri ile Bölüm 2.1.'de belirtilen Bulanık AHS yöntemi ile ağırlık değerleri bulunmaktadır. Bu ağırlık değerlerinin değişim aralığını bulmak amacıyla bulanık değerlendirme matrislerinin hazırlanışı aşağıda verilmiştir.

W_{ia} : i . ana kriter, alt kriter veya alternatifin önem düzeyi alt limit değeri

W_{iu} : i . ana kriter, alt kriter veya alternatifin önem düzeyi üst limit değeri

Ortaya çıkan yeni ana kriter, alt kriter veya alternatifin diğer bütün mevcut ana kriter, alt kriter veya alternatiflerden kesinlikle daha önemli olduğu düşünülerek oluşturulan bulanık değerlendirme matrisi mevcut ana kriter, alt kriter veya alternatiflerin alt limit değerlerini verir. Buna ilişkin bulanık değerlendirme matrisi Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Amaç, Ana Kriter veya Alt Kriter Açısından Yeni Ana Kriter, Alt Kriter veya Alternatifin En Kötü Olması Durumuna Göre Bulanık Değerlendirme Matrisi

A açısından	C_1			C_2			...			C_n			C_y		
C_1	1	1	1	l_{12}	m_{12}	u_{12}	...	...	...	l_{1n}	m_{1n}	u_{1n}	2/9	1/4	2/7
C_2	$1/u_{12}$	$1/m_{12}$	$1/l_{12}$	1	1	1	...	...	...	l_{2n}	m_{2n}	u_{2n}	2/9	1/4	2/7
....	...	...	...	...	...	...	1	1	1	...	...	...	2/9	1/4	2/7
C_n	$1/u_{1n}$	$1/m_{1n}$	$1/l_{1n}$	$1/u_{2n}$	$1/m_{2n}$	$1/l_{2n}$	...	...	...	1	1	1	2/9	1/4	2/7
C_y	7/2	4	9/2	7/2	4	9/2	7/2	4	9/2	7/2	4	9/2	1	1	1

Bu bulanık değerlendirme matrisinden yararlanarak yapılan Bölüm 2.1.'de belirtilen bulanık hesaplamalar sonucu W_{ia} elde edilir.

Mevcut bütün ana kriter, alt kriter veya alternatiflerin ortaya çıkan yeni ana kriter, alt kriter veya alternatiften kesinlikle daha önemli olduğu düşünülerek oluşturulan bulanık değerlendirme matrisi mevcut ana kriter, alt kriter veya alternatiflerin üst limit değerlerini verir. Buna ilişkin bulanık değerlendirme matrisi Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. Amaç, Ana Kriter veya Alt Kriter Açısından Yeni Ana Kriter, Alt Kriter veya Alternatifin En İyi Olması Durumuna Göre Bulanık Değerlendirme Matrisi

A açısından	C_1			C_2			...			C_n			C_y		
C_1	1	1	1	l_{12}	m_{12}	u_{12}	...	...	...	l_{1n}	m_{1n}	u_{1n}	7/2	4	9/2
C_2	$1/u_{12}$	$1/m_{12}$	$1/l_{12}$	1	1	1	...	...	...	l_{2n}	m_{2n}	u_{2n}	7/2	4	9/2
....	...	...	...	...	...	...	1	1	1	...	...	...	7/2	4	9/2
C_n	$1/u_{1n}$	$1/m_{1n}$	$1/l_{1n}$	$1/u_{n2}$	$1/m_{n2}$	$1/l_{n2}$	...	...	...	1	1	1	7/2	4	9/2
C_y	2/9	1/4	2/7	2/9	1/4	2/7	2/9	1/4	2/7	2/9	1/4	2/7	1	1	1

Bu bulanık değerlendirme matrisinden yararlanarak yapılan Bölüm 2.1.'de belirtilen bulanık hesaplamalar sonucu W_{iu} elde edilir. Bu gösterim aynı hiyerarşik yapıdaki aynı seviyeye yeni kriter eklenmesi durumunda genellenebilir. Eğer hiyerarşi yapısı değişirse bu durum en başta tanımlanan problemi değiştireceği için çok kriterli karar verme modeli olarak kullanılan AHS hesaplamalarının da yeniden yapılması gerekecektir. Bu sebeptir ki, önerilen duyarlılık analizi hiyerarşinin en alt basamağı olan alternatifler düzeyinde uygulanmıştır. Sonuç olarak, hiyerarşinin üst yapısı ne olursa olsun yukarıda verilen genel yapı yeni bir alternatif eklenmesi durumunda her problem için geçerlidir. Duyarlılık analizi bir karar probleminin çözümünden sonra, bulunan bu çözümün hangi aralıkta geçerli olduğunu belirlemek amacıyla yapılır. Bu çalışmada da aynı düşünce ile çok kriterli seçim probleminin sonucunda bulunan her bir alternatifin önem derecesinin, yeni bir alternatif eklenmesi durumunda hangi aralıkta değişeceğini göstermek amaçlanmıştır.

4. ÖRNEK PROBLEM ÜZERİNDE BİR UYGULAMA

Petrol ve doğal gaz gibi yeraltı kaynakları açısından yetersiz olan ülkelerde faaliyet gösteren firmalar için üretim sürecinde kullanılacak enerji kaynağının seçimi kararı oldukça önemli kararlardan biri haline gelmektedir. Yönetim kademesindeki kişiler seçim yaparken ister istemez birçok kriteri bir arada düşünmek durumundadır ve bu

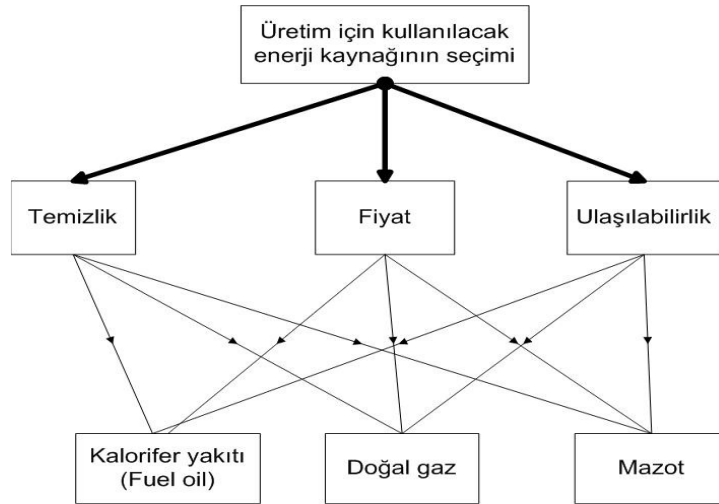
durum karmaşık, çok kriterli bir karar verme problemi olarak ortaya çıkar. Böylesi bir karar analitik olarak modellenmelidir. Bu görüşe örnek oluşturmak amacıyla bir gıda firmasında yönetim kademesinde bulunan kişilerle görüşmeler yapılarak üretimde kullanılacak enerji kaynağı seçim kriterlerinin ve bu kriterlerin önem düzeylerinin belirlenmesinin ardından yeni bir enerji kaynağının ortaya çıkması durumunda önem düzeylerinin nasıl bir değişim göstereceğini belirlemeyi amaçlayan bu çalışma ortaya konmuştur.

4.1. Metodoloji

AHS uygulamaları belli bir konuda yetkili bir karar verme grubunun, problemi sistematik bir biçimde çözmesine destek sağlamaktadır. Dolayısıyla kitlesel uygulama gerektiren bir anket çalışması değildir. Örneklem büyüklüğünün bir önemi bulunmamaktadır. Önemli olan, uygulamanın içinde kara aşamasında söz sahibi olan herkesin yer almasıdır.

Enerji seçimindeki etkin kriterleri belirlemek üzere yapılan analizde, bir gıda firmasında yönetim kademesinde bulunan karar vericiler ile görüşme yapılarak hem kriterler hem de alternatifler belirlenmiş ve bundan yararlanarak ikili karşılaştırma matrisleri oluşturulmuştur.

Yapılan ilk görüşme sonucunda, karar vericilerin enerji seçimindeki etkin kriterleri önce üç kriter altında toplanmış daha sonra bu kriterlere göre seçim yapılan enerji tipleri karşılaştırılmıştır.



Şekil 1. En Uygun Enerji Kaynağı Seçimi Hiyerarşik Yapısı

4.2. Alternatiflerin Ağırlıklarının Bulunması

Firmadaki karar verme yetkisi olan kişilerin ortaklaşa karar alarak değerlendirdiği bulanık değerlendirme matrisleri ile, 3 faktöre göre alternatif kaynakların karşılaştırılması sonucu elde edilen değerler Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5. Alternatiflerin Önem Düzeyleri

Enerji kaynağı	Temizlik	Fiyat	Ulaşılabilirlik
Kalorifer yakıtı (fuel oil)	0.226	0.345	0.500
Doğal gaz	0.324	0.655	0.000
Mazot	0.451	0.000	0.500

Tablo 5'te hesaplanan önem düzeyleri incelendiğinde, ulaşılabilirlik kriteri açısından doğal gaz önem düzeyinin sıfır olduğu görülmektedir. Bu durum, Bulanık AHS yöntemi açısından karşılaşılabilecek doğal bir sonuçtur. Aynı hiyerarşi yapısında, ölçütler deterministik değerlerle ve klasik yaklaşımlar ile çözülsüydi sıfır çıkmayacak, ancak sıfıra çok yakın, önemsenmeyen ölçütler olarak değerlendirilecekti. Bulanık yaklaşımın, AHS'deki subjektif değerlendirmelerdeki yanılmaları göz önüne almasının yanında başka bir avantajı da bu noktada ortaya çıkmaktadır. Herhangi bir hiyerarşi düzeyinde yapılan ikili karşılaştırmalar sırasında, grubunun içinde tüm ölçütlere göre önemsiz kalan ölçüt veya ölçütler sıfır çıkarırken, asıl üzerinde durulması ve göz önüne alınması gereken ölçütün/ölçütlerin önem düzeyi artarak karar verme sürecinin başarısına olumlu katkı sağlamaktadır. Bulanıklığın verdiği sapma miktarı eklendiğinde aslında doğal gaz alternatifinin göz önüne alınmayacak kadar az öneme sahip olduğu ve diğer alternatiflerin ulaşılabilirlik kriteri açısından asıl gözetilmesi gereken seçenek olduğu vurgulanmaktadır.

Ulaşılabilirlik kriteri açısından doğal gaz alternatifinin değerinin 0 olarak ortaya çıkmasının nedeni, İzmir'de doğal gaz tesisatı çalışmaları devam etmekte iken firmanın üretim yaptığı bölgede henüz alt yapı çalışmalarının yetersizliğinden kaynaklanmaktadır. Yine Tablo 5'ten elde edilen verilere göre firmanın kullandığı tertibat içerisinde çok düşük düzeyde tortu bırakması nedeniyle mazot temizlik kriteri açısından en üst düzeye çıkmıştır. Fiyat kriteri tek başına düşünülse ve az önce değinilen ulaşılabilirlik sorunu olmasa doğal gaz en uygun seçenek olarak ortaya çıkmıştır.

4.3. Modelin Duyarlılığı: Yeni Bir Alternatifin Eklenmesi

Koşullarda meydana gelecek değişimler, geçmişten elde edilen yeni tecrübeler ya da problemde gözden kaçıp değerlendirmeye alınmayan bazı faktörler göz önüne alınmalıdır. İşte bu noktada mevcut çözümün nasıl değişeceğini bilmek önem kazanmaktadır (Walters, 2001: 319). Bulanık AHS hesaplamalarında duyarlılık

analizleri için çözüme yeni bir alternatif eklenmesi durumunda, karar vericiler önem düzeylerinin nasıl bir değişim göstereceği konusunda bilgi sahibi olmak ister. Bu nedenle, bu çalışmada, hiyerarşik seçim yapısında yeni bir alternatif eklendiğinde önem düzeylerinin hangi aralıklarda yer alabileceği Bölüm 3.1.'de geliştirilen yaklaşımla incelenmiştir.

Modelde mevcut bulunan 3 alternatife yeni bir alternatif enerji kaynağının eklenmesi durumunda enerji seçiminde etkili olan faktörlerin önem düzeyleri kullanılarak, her değerlendirme tablosuna yeni bir satır ve sütun eklenmesi suretiyle, yeni değerlendirme yapmak mümkün olabilecektir. Yeni alternatife göre, önem düzeylerinde oluşacak değişim aralıkları hesaplanabilir. Buna göre ortaya çıkan yeni alternatifin diğer bütün mevcut alternatiflerden kesinlikle daha önemli olduğu düşünülebilir ve bütün mevcut alternatiflerin yeni alternatiften kesinlikle daha önemli olduğu düşünülebilir. Buradan elde edilecek değerler, yeni alternatifin ağırlığı konusunda alt ve üst limitleri belirleyecektir. İlk olarak temizlik açısından yeni bir alternatifin eklenmesi durumu incelendiğinde ve bütün mevcut alternatiflerin yeni alternatife göre kesinlikle daha önemli olduğu düşünülebilir oluşturulan bulanık değerlendirme matrisi Tablo 6'da gösterilmiştir.

Tablo 6. Temizlik Açısından Yeni Alternatifin En Kötü Olması Durumuna Göre Bulanık Değerlendirme Matrisi

Temizlik açısından	Kalorifer yakıtı (fuel oil)			Doğal gaz			Mazot			Yeni alternatif		
	1	1	1	2/3	1	3/2	2/5	1/2	2/3	7/2	4	9/2
Kalorifer yakıtı (fuel oil)	1	1	1	2/3	1	3/2	2/5	1/2	2/3	7/2	4	9/2
Doğal gaz	2/3	1	3/2	1	1	1	2/3	1	3/2	7/2	4	9/2
Mazot	3/2	2	5/2	2/3	1	3/2	1	1	1	7/2	4	9/2
Yeni alternatif	2/9	1/4	2/7	2/9	1/4	2/7	2/9	1/4	2/7	1	1	1

Hesaplamalar sonucu Tablo 6'daki bulanık değerlendirme matrisinden ağırlık değerleri $W = \{0.277; 0.325; 0.399; 0\}$ olarak elde edilmiştir.

Temizlik açısından yeni bir alternatifin eklenmesi durumu incelendiğinde ve yeni alternatifin bütün mevcut alternatif hammaddelere göre kesinlikle daha önemli olduğu düşünülebilir oluşturulan bulanık değerlendirme matrisi Tablo 7'de gösterilmiştir.

Tablo 7. Temizlik Açısından Yeni Alternatifin En İyi Olması Durumuna Göre Bulanık Değerlendirme Matrisi

Temizlik açısından	Kalorifer yakıtı (fuel oil)			Doğal gaz			Mazot			Yeni alternatif		
Kalorifer yakıtı (fuel oil)	1	1	1	2/3	1	3/2	2/5	1/2	2/3	2/9	1/4	2/7
Doğal gaz	2/3	1	3/2	1	1	1	2/3	1	3/2	2/9	1/4	2/7
Mazot	3/2	2	5/2	2/3	1	3/2	1	1	1	2/9	1/4	2/7
Yeni alternatif	7/2	4	9/2	7/2	4	9/2	7/2	4	9/2	1	1	1

Hesaplamalar sonucu Tablo 7'deki bulanık değerlendirme matrisinden ağırlık değerleri $W = \{0; 0; 0; 1\}$ olarak elde edilmiştir.

Yeni alternatifin en kötü durum olduğu düşünülerek yeni matris hesaplandığında en iyi alternatif olan kalorifer yakıtı ve mazotun önem düzeyinde bir düşme yaşanmaktadır. Kalorifer yakıtı ve mazot yeni durumda da en iyi alternatif olmaktadır. Önem düzeyinin azalmasının bir diğer nedeni de 1 tam puanın 3 alternatif yerine 4 alternatife dağıtılmasıdır.

Yeni alternatifin fiyat açısından değerlendirilmesi durumu incelendiğinde ve bütün mevcut alternatiflerin yeni alternatife göre kesinlikle daha önemli olduğu düşünülerek oluşturulan bulanık değerlendirme matrisi Tablo 8'de gösterilmiştir.

Tablo 8. Fiyat Açısından Yeni Alternatifin En Kötü Olması Durumuna Göre Bulanık Değerlendirme Matrisi

Fiyat açısından	Kalorifer yakıtı (fuel oil)			Doğal gaz			Mazot			Yeni alternatif		
Kalorifer yakıtı (fuel oil)	1	1	1	2/5	1/2	2/3	3/2	2	5/2	7/2	4	9/2
Doğal gaz	3/2	2	5/2	1	1	1	3/2	2	5/2	7/2	4	9/2
Mazot	2/5	1/2	2/3	2/5	1/2	2/3	1	1	1	7/2	4	9/2
Yeni alternatif	2/9	1/4	2/7	2/9	1/4	2/7	2/9	1/4	2/7	1	1	1

Hesaplamalar sonucu Tablo 8'deki bulanık değerlendirme matrisinden ağırlık değerleri $W = \{0.347; 0.494; 0.158; 0\}$ olarak elde edilmiştir.

Fiyat açısından yeni alternatifin değerlendirilmesi durumu incelendiğinde ve yeni alternatifin bütün mevcut alternatif hammaddelere göre kesinlikle daha önemli olduğu düşünülerek oluşturulan bulanık değerlendirme matrisi Tablo 9'da gösterilmiştir.

Tablo 9. Fiyat Açısından Yeni Alternatifin En İyi Olması Durumuna Göre Bulanık Değerlendirme Matrisi

Fiyat açısından	Kalorifer yakıtı (fuel oil)			Doğal gaz			Mazot			Yeni alternatif		
	Kalorifer yakıtı (fuel oil)	1	1	1	2/5	1/2	2/3	3/2	2	5/2	2/9	1/4	2/7
Doğal gaz	3/2	2	5/2	1	1	1	3/2	2	5/2	2/9	1/4	2/7
Mazot	2/5	1/2	2/3	2/5	1/2	2/3	1	1	1	2/9	1/4	2/7
Yeni alternatif	7/2	4	9/2	7/2	4	9/2	7/2	4	9/2	1	1	1

Hesaplamalar sonucu Tablo 9'daki bulanık değerlendirme matrisinden ağırlık değerleri $W = \{0; 0; 0; 1\}$ olarak elde edilmiştir.

Yeni alternatifin en kötü durum olduğu düşünülerek yeni matris hesaplandığında en iyi alternatif olan kalorifer yakıtı ve mazotun önem düzeyinde bir düşme yaşanmaktadır. Kalorifer yakıtı ve mazot yeni durumda da en iyi alternatif olmaktadır.

Son olarak ulaşılabilirlik açısından yeni alternatifin değerlendirilmesi durumu incelendiğinde ve bütün mevcut alternatiflerin yeni alternatif göre kesinlikle daha önemli olduğu düşünülerek oluşturulan bulanık değerlendirme matrisi Tablo 10'da gösterilmiştir.

Tablo 10. Ulaşılabilirlik Açısından Yeni Alternatifin En Kötü Olması Durumuna Göre Bulanık Değerlendirme Matrisi

Ulaşılabilirlik açısından	Kalorifer yakıtı (fuel oil)			Doğal gaz			Mazot			Yeni alternatif		
	Kalorifer yakıtı (fuel oil)	1	1	1	5/2	3	7/2	2/3	1	3/2	7/2	4	9/2
Doğal gaz	2/7	1/3	2/5	1	1	1	2/7	1/3	2/5	7/2	4	9/2
Mazot	2/3	1	3/2	5/2	3	7/2	1	1	1	7/2	4	9/2
Yeni alternatif	2/9	1/4	2/7	2/9	1/4	2/7	2/9	1/4	2/7	1	1	1

Hesaplamalar sonucu Tablo 10'daki bulanık değerlendirme matrisinden ağırlık değerleri $W = \{0.466; 0.068; 0.466; 0\}$ olarak elde edilmiştir.

Ulaşılabilirlik açısından yeni alternatifin değerlendirilmesi durumu incelendiğinde ve yeni alternatifin bütün mevcut alternatif hammaddelere göre kesinlikle daha önemli olduğu düşünülerek oluşturulan bulanık değerlendirme matrisi Tablo 11'de gösterilmiştir.

Tablo 11. Ulaşılabilirlik Açısından Yeni Alternatifin En İyi Olması Durumuna Göre Bulanık Değerlendirme Matrisi

Ulaşılabilirlik açısından	Kalorifer yakıtı (fuel oil)			Doğal gaz			Mazot			Yeni alternatif		
	1	1	1	5/2	3	7/2	2/3	1	3/2	2/9	1/4	2/7
Kalorifer yakıtı (fuel oil)	1	1	1	5/2	3	7/2	2/3	1	3/2	2/9	1/4	2/7
Doğal gaz	2/7	1/3	2/5	1	1	1	2/7	1/3	2/5	2/9	1/4	2/7
Mazot	2/3	1	3/2	5/2	3	7/2	1	1	1	2/9	1/4	2/7
Yeni alternatif	7/2	4	9/2	7/2	4	9/2	7/2	4	9/2	1	1	1

Hesaplamalar sonucu Tablo 11'deki bulanık değerlendirme matrisinden ağırlık değerleri $W = \{0; 0; 0; 1\}$ olarak elde edilmiştir.

Yeni alternatifin en kötü durum olduğu düşünülerek yeni matris hesaplandığında en iyi alternatif olan kalorifer yakıtı ve mazotun önem düzeyinde bir düşme yaşanmaktadır. Önem düzeyinin azalmasının nedeni 1 tam puanın 3 alternatif yerine 4 alternatife dağıtılmasıdır.

Yukarıda yapılan işlemler sonucunda elde edilen değişim aralıkları Tablo 12'de sunulmuştur.

Tablo 12. Her Faktöre Göre Alternatif Enerji Kaynaklarına İlişkin Önem Düzeyleri Değişim Aralığı

Faktör	Kalorifer yakıtı (fuel oil)	Doğal gaz	Mazot	Yeni alternatif
Temizlik	0-0.277	0-0.325	0-0.399	0-1
Fiyat	0-0.347	0-0.494	0-0.158	0-1
Ulaşılabilirlik	0-0.466	0-0.068	0-0.466	0-1

Tablo 12, yeni bir alternatif enerji kaynağı eklenmesi durumunda önem düzeylerinin hangi aralıklarda değişeceğini göstermektedir. Tüm mevcut alternatiflere bakıldığında alt limit değeri 0 olmaktadır. Bu durum, yeni alternatif enerji kaynağının mevcut bütün alternatiflere bariz bir şekilde her değerlendirme kriteri açısından üstünlük sağlayabileceği olasılığından dolayı ortaya çıkmaktadır. Üst limit değerleri incelendiğinde ise birbirinden farklı değerler bulunmaktadır. Örnek vermek gerekirse, kalorifer yakıtı (fuel oil) temizlik kriterine göre yeni bir alternatif eklenmesi durumunda en fazla 0.277 değerini alabilecektir. Buna göre, karar verici satın alma işlemlerinde sadece temizlik kriterini göz önüne alarak karar vermek durumunda kalsa idi, kalorifer yakıtının önem düzeyinin ne olursa olsun bu seviyeyi aşamayacağını bilecekti.

5. SONUÇ

Bulanık AHS çalışmalarında da karar verici grubun, söz konusu seçim problemlerinde ilk elde edilen öncelik/ağırlık değerlerinin, yeni bir alternatifin eklenmesi durumunda, hangi koşullarda değişeceğini, hangi aralık içinde kalabileceğini bilmek istemeleri kaçınılmaz bir durumdur. Bu çalışmada, ilgili yöntemler hesaplanan ağırlık değerlerine, karar verme problemlerindeki gibi bir duyarlılık yaklaşımı yapılabileceği düşünülmüş ve çözüme yeni bir alternatif eklenmesi durumunda önem düzeylerinin nasıl bir değişim göstereceği incelenmiştir. Oluşturulan bu yaklaşım, sık karşılaşılan örnek bir enerji kaynağı seçim problemi üzerinde açıklanarak sunulmuştur.

Ortaya konan bu duyarlılık analizi yaklaşımında, yeni ana kriter için, alt kriter veya alternatifin diğer bütün mevcut ana kriter, alt kriter veya alternatiflerden kesinlikle daha önemli olduğu düşünülerek, oluşturulan bulanık değerlendirme matrisi mevcut ana kriter, alt kriter veya alternatiflerin alt limit değerlerini vermektedir. Mevcut bütün ana kriter, alt kriter veya alternatiflerin ortaya çıkan yeni ana kriter, alt kriter veya alternatiften kesinlikle daha önemli olduğu düşünülerek oluşturulan bulanık değerlendirme matrisi de bu kriterlerin ağırlıkları açısından üst limit değerlerini oluşturmuştur. Bu doğrultuda Bulanık AHS adımları uygulanmış, mevcut ana ve alt kriterler için bulanık değerlendirme matrisi oluşturulmuştur. Bu matris ile bulanık hesaplamalar yapılmış; kalorifer yakıtı (fuel oil) doğal gaz ve mazot enerji kaynağı alternatifleri için seçim kriterleri olan temizlik, fiyat ve ulaşılabilirlik açısından önem düzeyi değerlerinin değişim aralıkları hesaplanmıştır.

Örnek problem olarak bir işletmede ortaya çıkan enerji kaynağı seçim problemi seçilmiştir. Bu problemin seçimi rastlantısal değildir. Yeraltı kaynakları açısından dışa bağımlı bir konumda bulunan ülkelerde faaliyet gösteren firmalar için üretim sürecinde kullanılacak enerji kaynağının seçimi kararı oldukça önemli kararlardan biri haline gelmektedir. 1973 yılında Arap – İsrail Savaşı'nın ardından Petrol İhraç Eden Ülkeler Örgütü (OPEC) tarafından uygulanan petrol ambargosu hedef ülkeler olan ABD ve Avrupa ülkelerine zarar vermek yerine Türkiye gibi gelişmekte olan ülkelere daha büyük zararlar vermiştir. İşte bu gibi etkenler düşünüldüğünde, yönetim kademesindeki kişiler seçim yaparken ister istemez birçok kriteri bir arada düşünmek durumundadır ve bu durum karmaşık, çok kriterli bir karar verme problemi olarak ortaya çıkar. Böylesi bir karar analitik olarak modellenebileceği düşünülerek, bulanık AHS metodolojisi ile hiyerarşi oluşturulmuş, hesaplamalar ile mevcut alternatifler arasında en uygun olanı hesaplanmıştır. Bir adım sonrasında yeni bir alternatif ortaya çıkmış, ve modelin tekrar çalıştırılması yerine, hangi koşullarda bu alternatifin mevcut çözümü değiştireceği üzerinde bir duyarlılık analizi yaklaşımı ortaya konmuştur.

Özetle, Bulanık AHS'ye uygun olarak enerji seçim kriterleri seviyelendirilmiş ve sürecin hesaplanmasıyla her bir kriter için önem düzeyi bulunduktan sonra 3 farklı enerji kaynağı olan kalorifer yakıtı (fuel oil), doğal gaz ve mazot karşılaştırılmış ve

yeni bir enerji alternatifinin eklenmesi durumunda alternatiflerin önem düzeylerinin nasıl değişiklik gösterdiği incelenmiştir.

KAYNAKÇA

Cebeci, U. (2008). “Fuzzy AHP-Based Decision Support System for Selecting ERP Systems in Textile Industry by Using Balanced Scorecard”. *Expert Systems with Applications*. (Baskıda makale)

Chang, C-W. Wu, C-R. Lin, C-T. ve H-C. Chen (2007). “An Application of AHP and Sensitivity Analysis for Selecting The Best Slicing Machine”. *Computers & Industrial Engineering* 52, ss. 296–307

Chatzimouratidis, A.I., P.A. Pilavachi (2008). “Sensitivity Analysis of The Evaluation of Power Plants Impact on The Living Standard Using The Analytic Hierarchy Process”. *Energy Conversion and Management*. 49. ss. 3599–3611

Chen, H., D.F. Kocaoğlu (2008). “Sensitivity Analysis Algorithm for Hierarchical Decision Models”. *European Journal of Operational Research*. 185, ss. 266–288.

Çakır, O ve M. S. Canbolat (2008) “A Web-Based Decision Support System for Multi-Criteria Inventory Classification Using Fuzzy AHP Methodology” *Expert Systems with Applications*. 35. Ss. 1367–1378

Dağdeviren, M. ve İ. Yüksel (2008) “Developing A Fuzzy Analytic Hierarchy Process (AHP) Model for Behavior-Based Safety Management” *Information Sciences*. 178. ss. 1717–1733

Ertuğrul, İ. ve N. Karakaşoğlu (2009) “Performance Evaluation of Turkish Cement Firms with Fuzzy Analytic Hierarchy Process and TOPSIS Methods” *Expert Systems with Applications* 36. ss. 702–715

Gu, X. ve Q. Zhu (2006) “Fuzzy Multi-Attribute Decision-Making Method Based On Eigenvector Of Fuzzy Attribute Evaluation Space”. *Decision Support Systems*. 41 (2), ss.400-410.

Güngör, Z. Serhadlıoğlu, G. ve S. E. Kesen (2009) “A Fuzzy AHP Approach To Personnel Selection Problem” *Applied Soft Computing*. 9. ss. 641–646

Halaç, O. (1983) *Kantitatif Karar Verme Yöntemleri*. İstanbul: Alfa Yayınevi

Heizer, J. Ve B. Render (2006) *Operations Management*. New Jersey: Prentice Hall

Hsu, P-F., C-R. Wu ve Y-T. Li (2008). "Selection of Infectious Medical Waste Disposal Firms By Using The Analytic Hierarchy Process and Sensitivity Analysis". *Waste Management*. 28. 1386–1394

Kahraman, C., U. Cebeci ve Da Ruan. (2004) "Multi-Attribute Comparison Of Catering Service Companies Using Fuzzy AHP: The Case Of Turkey". *International Journal of Production Economics*. 87(2), ss.171-184.

Kulak, O. Ve C. Kahraman (2005) "Fuzzy Multi-Attribute Selection Among Transportation Companies Using Axiomatic Design And Analytic Hierarchy Process". *Information Sciences*. 170 (2-4), ss.191-210.

Lawrence J.A. Ve B.A. Pasternak (2002) *Applied Management Science Modeling, Spreadsheet Analysis, And Communication For Decision Making*. New York: John Wiley& Sons Inc.

Lee, A. H. I. Chen, W-C. ve C-J. Chang (2008a) "A Fuzzy AHP and BSC Approach for Evaluating Performance of IT Department in the Manufacturing Industry in Taiwan" *Expert Systems with Applications*. 34. ss. 96–107

Lee, S. K. Mogi, G. Kim, J. W. ve B. J. Gim (2008b) "Fuzzy Analytic Hierarchy Process Approach for Assessing National Competitiveness in the Hydrogen Technology Sector" *International Journal of Hydrogen Energy* 33. Ss. 6840-6848

Lee, S. K. Mogi, G. ve J-W. Kim (2008c) "The Competitiveness of Korea as A Developer of Hydrogen Energy Technology: The AHP Approach". *Energy Policy* 36. ss. 1284–1291

Leung, L.C. ve D. Cao (2000) "On Consistency And Ranking Of Alternatives In Fuzzy AHP". *European Journal Of Operational Research*. 124(1), ss.102-113.

Levin, R.I., D.S. Rubin, J.P. Stinson Ve E.S. Gardner (1992) *Quantitative Approaches To Management*. New York: Mc-Graw Hill.

Naghadehi, M. Z. Mikaeil, R. ve M. Ataei (2008) "The Application of Fuzzy Analytic Hierarchy Process (FAHP) Approach To Selection of Optimum Underground Mining Method for Jajarm Bauxite Mine, Iran" *Expert Systems with Applications*. (Baskıda makale)

Öztürk, A. (2002) *Yöneylem Araştırması*. Bursa: Ekin Kitabevi.

Render, B., R.M. Stair Ve M.E. Hanna (2003) *Quantitative Analysis For Management*. New Jersey: Prentice Hall.

Sheu, J-B. (2004) "A Hybrid Fuzzy-Based Approach For Identifying Global Logistics Strategies". *Transportation Research*. 40 (1), ss. 39-61.

Taylor, B.W. (2002) Introduction To Management Science. New Jersey: Prentice Hall.

Tiryaki, F. ve B. Ahlatçioğlu (2009). “Fuzzy Portfolio Selection Using Fuzzy Analytic Hierarchy Process” Information Sciences 179. ss. 53–69

Tolga, E., M. L. Demircan ve C. Kahraman (2005) “Operating System Selection Using Fuzzy Replacement Analysis And Analytic Hierarchy Process”. International Journal of Production Economics. 97 (1), ss. 89-117.

Tütek H. Ve Ş. Gümüšoğlu (2000) Sayısal Yöntemler Yönetmel Yaklaşım. İstanbul: Beta Basımevi

Walters, D. (2001) Quantitative Methods For Business. Harlow: Prentice Hall Inc.

Winston, W. L. (2004) Operations Research Applications And Algorithms. Louiseville: Thomson Brooks/Cole.

Wu, M-C. Lo, Y-F. ve S-H. Hsu (2008) “Fuzzy CBR Technique for Generating Product Ideas”. Expert Systems with Applications. 34. ss. 530–540.

Yu, C-S. (2002) “A GP-AHP Method For Solving Group Decision-Making Fuzzy AHP Problems”. Computers & Operations Research. 29 (14), ss. 1969-2001.