

BULANIK ANALİTİK HİYERARŞİ SÜRECİ VE BİR TEKSTİL İŞLETMESİNDE MAKİNE SEÇİM PROBLEMİNE UYGULANMASI

İrfan ERTUĞRUL*

Öz

Uygun makinelerin seçilmesi, verimli bir üretim ortamının geliştirilmesinde işletmeler tarafından verilmesi gereken önemli kararlardan biridir. Makine alternatifleri ile üretim stratejisi arasındaki ilişkileri belirlemek önem arz etmektedir. Makinelerin fonksiyonel gereklilikleri, kalitesi, verimliliği, maliyeti, servis olanakları, pazarda satışa sunulan uygun makine alternatifleri gibi kısıtlara bakıldığında makine seçim problemi, karmaşık ve çözümü için zaman gerektiren bir hal almaktadır.

Bu çalışmanın amacı bir tekstil işletmesine en iyi tekstil makinesi seçiminde yardımcı olmak üzere, karar vericiye eldeki makine alternatifleri arasından uygun makineleri seçmesi için yol göstermektir. Bu çalışmada Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci (BAHS) yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde, her kriterin ikili karşılaştırılması sonucu elde edilen değerler üçgen bulanık sayılar ile ifade edilmiştir. BAHS yönteminden yararlanarak, karar vericinin deneyimlerinden ve öznel algıdan kaynaklanan belirsizliğin üstesinden gelinerek, daha etkili bir karara varılmıştır.

Anahtar Sözcükler: Bulanık mantık, çok kriterli karar verme, bulanık analitik hiyerarşi süreci, makine seçimi

Abstract

Fuzzy Analytic Hierarchy Process and its Application to Machine Selection Problem in a Textile Firm

The selection of appropriate machines is one of the most crucial decisions for a manufacturing company to develop an efficient production environment. It is important to identify the relations between machine alternatives and

* Yrd.Doç.Dr., Pamukkale Üniversitesi, İşletme Bölümü, 20070, DENİZLİ, iertugrul@pamukkale.edu.tr

manufacturing strategy. Considering the specifications such as the functional requirements, quality, efficiency, cost, service and suitable machine alternatives in the market, the selection procedure of machines can be quite complicated and time consuming.

The aim of this study is to guide the decision maker in selecting the suitable machine alternatives and to help a textile company for selecting the best one. This study is based on Fuzzy Analytic Hierarchy Process (FAHP). In this method, the values from the pair-wise comparison of each criterion are expressed with triangular fuzzy numbers. By using FAHP, uncertainty and vagueness from subjective perception and the experiences of the decision maker can be effectively represented and reached a more effective decision.

Keywords: Fuzzy logic, multi-criteria decision making, fuzzy analytic hierarchy process, machine selection

GİRİŞ

Makine seçim problemi, üretim işletmeleri için önemli karar verme problemlerinden biridir. Hatalı seçilmiş makineler, üretim sisteminin performansını olumsuz yönde etkilerler. Üretimin hızı, kalitesi ve maliyeti önemli derecede kullanılan makinelere bağlıdır. Makine seçim işleminin zaman alıcı ve zor bir süreç olmasından ve deneyim, ileri düzeyde bilgi birikimi gerektirmesinden dolayı yöneticiler ve mühendisler için birçok soruna neden olmaktadır.

Uygun ve etkili bir karara ulaşmak için, karar verici birçok veriyi analiz etmek ve birçok faktörü dikkate almak zorundadır. Alternatifler arasından en iyi makinenin seçimini yapabilmek için, karar verici o konu hakkında uzman bir kişi olmalı ya da makine özelliklerini iyi bilmesi gerekmektedir (Arslan vd., 2004: 101).

Literatürde, makine seçim problemleri için model ileri süren birçok çalışma mevcuttur. Wang vd. (2000) esnek üretim biriminde makine seçim problemi için bulanık çok kriterli seçim yaklaşımını kullanmışlardır. Yurdakul (2004) AHS yaklaşımını Dizayn Makine Üretim ve Mühendislik A.Ş.'inde en iyi makinenin seçimi için test etmiştir. Arslan vd. (2004) çok kriterli makine seçim problemi için karar destek sistemi geliştirmişlerdir. Ayağ vd. (2006) makine seçim probleminde en iyi alternatifin belirlenmesinde BAHS yöntemi ile Fayda/Maliyet oran analizini kullanmıştır.

Bu çalışmada, bir tekstil işletmesi için uygun baskı makinesinin seçilmesinde BAHS yaklaşımı ele alınmıştır. İlk olarak makine seçim problemi

tanımlanmış ve daha sonra ikinci bölümde, BAHS yöntemi açıklanmış ve aynı zamanda bu bölümde literatür taramasına da yer verilmiştir. Üçüncü bölümde bulanık küme ve bulanık sayı kavramları açıklanarak, dördüncü bölümde BAHS yöntemine ilişkin algoritmaya yer verilmiştir. Beşinci bölümde ise bir tekstil işletmesinde uygulama ele alınarak, altıncı bölümde sonuç ve öneriler sunulmuştur.

1. BULANIK ANALİTİK HİYERARŞİ SÜRECİ (BAHS)

Thomas L. Saaty (1980) tarafından geliştirilen Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) yaygın olarak kullanılan çok kriterli karar verme tekniklerinden birisidir. AHS hakkında yayınlanmış pek çok çalışma bulunmaktadır. Bunlar AHS'nin, planlama, en iyi alternatifin seçilmesi, kaynak dağıtımı gibi çeşitli alanlarda uygulamalarını içermektedir. AHS nicel ölçümler kadar nitel performansların da ölçülmesi için metodoloji sağlamaktadır (Omkarprasad vd., 2006 : 1).

Analitik Hiyerarşi Süreci'nde sisteme etki eden faktörler bir hiyerarşi olarak düzenlenir. Daha sonra karar alternatiflerinin değerlendirilmesi için hiyerarşinin her seviyesindeki elemanların ikili karşılaştırmaları yapılır. Elde edilen özelliklere göre alternatiflerin puanları hesaplanır (Ertuğrul, 2003: 12). Fakat bu yöntem ikili karşılaştırma sürecinde, belirsizlik ve kararsızlık durumlarını ele almada yetersiz olmasından dolayı eleştirilmektedir (Deng, 1999: 215). Bu yüzden, BAHS yönteminin kullanılması uygun olacaktır. Böylece, karar alma sürecindeki belirsizliğin daha kolay üstesinden gelebiliriz.

AHS yöntemi, uzman kişinin bilgilerini ele alsa da, insani düşünme tarzını yansıtamamaktadır (Kahraman vd., 2003: 173). Bunun için hiyerarşik problemleri çözmek için, BAHS ve genişletilmiş AHS geliştirilmiştir. Keskin değerlerin kullanıldığı AHS'den farklı olarak, bulanık AHS'de kıyaslama oranları bir değer aralığında verilmektedir. (Bender ve Simonovic, 2000: 36)

Çok sayıda yazar tarafından ileriye sürülmüş birçok BAHS yöntemi mevcuttur. Bu yöntemler hiyerarşik yapının analizini ve bulanık küme teorisini kullanarak alternatif seçimine sistematik bir yaklaşım getirmişlerdir. Karar vericiler için, sabit değerli yargılar yerine, ara değerler vermek daha güvenlidir. Çünkü genellikle karar vericiler kıyaslama sürecindeki bulanıklık nedeniyle kendi tercihleri hakkında açık olamamaktadırlar (Büyüközkan vd. 2004: 260).

1.1. BAHS için Literatür İncelemesi

İlk BAHS çalışması, üçgen üyelik fonksiyonlarıyla tanımlanmış bulanık oranları karşılaştıran Van Laarhoven ve Pedrycz (1983) tarafından yapılmıştır. Buckley (1985), karşılaştırma oranlarının bulanık önceliklerini yamuk üyelik fonksiyonu ile belirlemiştir. Chang (1996) ise karşılaştırmalarda üçgen bulanık sayıları kullanarak BAHS için yeni bir yaklaşım ortaya atmıştır ve ikili karşılaştırmalarda genişletilmiş analiz yöntemini kullanmıştır. Deng (1999) çok kriterli sayısal analiz problemlerini ele almak için bulanık bir yaklaşım sunmuştur. İleri sürülen yaklaşım, bulanık küme teorisi, AHS, bulanık genişletilmiş analiz, α kesim kavramı, ideal çözüm kavramlarının sentezine dayanmaktadır. Zhu vd. (1999) üçgen bulanık sayıların temel teorisini kanıtlamışlar ve üçgen bulanık sayıların büyüklük kıyaslamalarının formülasyonunu geliştirmişlerdir. Bu bağlamda bir petrol araştırma örneği ele almışlardır. Korvin ve Kleyle (1999), karar verme süreci için bulanık kümelerin kullanıldığı AHS yöntemini önermişlerdir. Leung ve Cao (2000) tolerans ve sapmaları dikkate alarak bulanık tutarlılık tanımını yapmışlardır. Sadece tutarlı verileri kullanmışlardır.

Literatürde, birçok yazar BAHS yöntemini kullanarak çeşitli alanlarda uygulamalarda bulunmuşlardır. Bu uygulamalardan bazılarını değinecek olursak:

Kahraman vd. (2003) belirlenen kriterleri en iyi karşılayacak tedarikçinin seçiminde BAHS yöntemini kullanmışlardır. Enea vd. (2004), BAHS'de dikkate alınması gereken kısıtlar üzerine odaklanmışlardır ve kısıtlanmalı BAHS yöntemini proje seçiminde kullanmışlardır. Kahraman vd. (2004) BAHS yöntemini Türkiye'deki yemek şirketlerini kıyaslamak için kullanmışlardır. Müşteri ve uzmanlar tarafından oluşturulan her kıyaslama için ikili karşılaştırma matrislerinde üçgen bulanık sayıları kullanmışlardır. Mikhailov ve Tsvetinov (2004) servis değerlendirme sürecindeki belirsizliği ve kesin olmamayı ele almak için BAHS yönteminden yararlanmışlardır. Büyüközkan (2004), e-pazar seçiminde daha etkin karar verebilmek için BAHS ve bulanık Delphi yöntemini ele almıştır. Bottani ve Rizzi (2005), internet ortamında en uygun tedarikçi seçim probleminin ele alınmasında BAHS yöntemini kullanmışlardır. Gıda endüstrisinde faaliyet gösteren, e-tedarik programını yeni oluşturmuş bir İtalyan firmasında uygulamada bulunmuşlardır. Tang ve Beynon (2005) BAHS yöntemi ile sermaye yatırım çalışmasının geliştirilmesi için uygulamada bulunmuşlardır. Bu çalışmada bir araba kiralama şirketi tarafından hangi tip arabaların seçileceğine karar vermek için BAHS yöntemi kullanılmıştır. Tolga vd. (2005) işletim sistemi seçiminde bulanık yineleme analizini ve AHS yöntemini kullanmışlardır. Başlıgil (2005), müşteri

memnuniyetini en çok sağlayan yazılımın seçilmesi için BAHS yöntemini ele almıştır. Tüysüz ve Kahraman (2006) eksik ve belirsiz bilgi altında proje risklerinin değerlendirilmesi için analitik bir araç sunmuşlardır. Proje risklerini değerlendirmede elverişli ve pratik bir yöntem olan BAHS ile bir Türk firmasının bilgi teknolojisi projesinin riskini değerlendirmişlerdir. Chan ve Kumar (2007) global tedarikçi seçimi için etkin bir sistem geliştirmeye yönelik BAHS yöntemini tartışmışlardır.

2. TEMEL KAVRAMLAR

2.1. Bulanık Küme ve Bulanık Sayılar

Bulanık mantık kavramı, ilk kez 1965 yılında Lotfi A. Zadeh tarafından yayınlanan “Bulanık Kümeler” adlı makale ile ortaya atılmıştır. Bu makalede bulanık kümelerin tanımı, temel işlemleri, kavramları ve özellikleri verilmiştir.

Bulanık mantık ile günlük konuşma dilinde geçen sözel belirsizlikleri modelleme ve hesap yaparken işin içine katma imkânı bulunur. Gerçekte insan kararları belirsiz ve bulanıktır ve kesin sayısal değerlerle belirtmeye uygun değildir. Bu nedenle insan kararlarını modellemede sözel değişkenler kullanmak daha gerçekçi olabilir. İşte bulanık mantığın diğer mantık sistemlerinden önemli bir farklılığı sözel değişkenlerin kullanımına izin vermesidir. (Li ve Yang, 2004: 264)

Bulanık küme, devamlı üyelik derecesine sahip nesnel kümesidir. Bulanık küme, her nesneyi 0 ile 1 arasında değişen üyelik derecesine sahip üyelik fonksiyonu ile nitelendirmektedir (Zadeh, 1965: 338). Genel olarak, küme üyelerinin değerleri ile değişiklik gösteren eğriye üyelik fonksiyonu adı verilmektedir. Başka bir deyişle, bulanık küme tarafından tanımlanan ve 0 ile 1 arasında değer verebilen ilgili karakteristik fonksiyona üyelik fonksiyonu denilmektedir (Zadeh ve Kacprzyk, 1992: 214). E evrensel kümesinde tanımlanan, bulanık küme A için μ_A üyelik fonksiyonu $\mu_A : E \rightarrow [0,1]$ şeklinde ifade edilir. Yine bulanık A kümesindeki x elemanı için üyelik derecesinin gösterimi $A = \{(x, \mu_A(x)) | x \in E\}$ şeklindedir (Zimmermann, 1992: 12). μ_A üyelik fonksiyonu, [0,1] kapalı aralığında gerçek bir sayıyı göstermektedir (Zadeh, 1975: 222). Burada 0 sayısı ilgili nesnenin kümenin üyesi olmadığını, 1 sayısı ilgili nesnenin kümenin tam üyesi olduğunu ve bu iki değer arasındaki herhangi bir sayı ise ilgili nesnenin kümeye kısmi üyeliğini gösterir. Küme üyelik derecesi üçgen, yamuk, çan, Gaussian, sigmoidal gibi

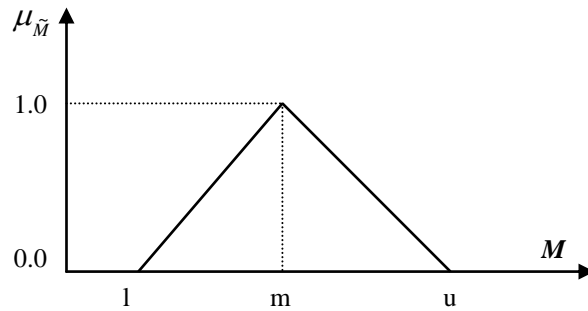
fonksiyonlarla tanımlanabildiği gibi çok farklı fonksiyonlar da oluşturulabilir (Başlıgil, 2005: 24).

Bulanık sayı, her biri 0 ile 1 arasında değer alan, verilen bir gerçek sayı aralığında tanımlanmış dışbükey bulanık kümedir (Deng, 1999: 217). Bulanık sayılar, bulanık kümelerin özel bir alt kümesidir. 5 civarı, hemen hemen 9, yaklaşık olarak 15, 200'den küçük vb. gibi kesin olmayan veya yaklaşık sayısal miktarların nitelenmesinde bulanık sayılar oldukça yararlıdır (Özkan, 2003). Bulanık sayılar dışbükey, normalleştirilmiş, sınırlı-sürekli üyelik fonksiyonları olan bir bulanık küme olarak ifade edilir. Ele alınan konuya göre değişik bulanık sayılar kullanmak mümkündür. Genel olarak pratik uygulamada kullanılan üçgen ve yamuk olmak üzere iki tane bulanık sayı söz konusudur (Baykal ve Beyan, 2004: 234). Bu çalışmada üçgen bulanık sayılar kullanılmıştır.

2.2. Üçgen Bulanık Sayılar

Üçgen bulanık sayılar, üç tane gerçek sayılarla tanımlanmış bulanık sayıların özel bir çeşididir. (l, m, u) şeklinde ifade edilir. l , m , ve u parametreleri sırasıyla olası en küçük olası değeri, en olası değeri ve en büyük olası değeri göstermektedir. Üçgen bulanık M sayısının gösterilişi Şekil 1'de verilmiştir (Kahraman vd., 2004: 174)

Şekil 1: Üçgen bulanık sayı, \tilde{M}



Üçgen bulanık sayının üyelik fonksiyonu şu şekilde tanımlanır:

$$\mu(x/\tilde{M}) = \begin{cases} 0, & x < l, \\ (x-l)/(m-l), & l \leq x \leq m, \\ (u-x)/(u-m), & m \leq x \leq u, \\ 0, & x > u \end{cases} \quad (1)$$

2.3. Üçgen Bulanık Sayılarda İşlemler

Üçgen bulanık sayılarda tanımlanmış birçok işlem vardır. Fakat bu bölümde bu çalışmada kullanılan üç önemli işlem açıklanmıştır. İki pozitif bulanık sayı A ve B'yi $A = (l_1, m_1, u_1)$ ve $B = (l_2, m_2, u_2)$ şeklinde tanımlayacak olursak (Tang ve Beynon, 2005: 213):

- **Toplama:**

$$\begin{aligned} A + B &= (l_1, m_1, u_1) + (l_2, m_2, u_2) \\ &= (l_1 + l_2, m_1 + m_2, u_1 + u_2) \end{aligned} \quad (2)$$

- **Çarpma:**

$$\begin{aligned} A.B &= (l_1, m_1, u_1).(l_2, m_2, u_2) \\ &= (l_1.l_2, m_1.m_2, u_1.u_2) \end{aligned} \quad (3)$$

- **Ters İşlem:**

$$(l_1, m_1, u_1)^{-1} \approx (1/u_1, 1/m_1, 1/l_1) \quad (4)$$

\approx yaklaşık anlamındadır.

3. ALGORİTMA

$X_n = 1, 2, \dots, n$ bir nesnelere kümesi ve $U_m = 1, 2, \dots, m$ de bir amaçlar kümesi olsun. Chang'ın büyüklük analizine göre, her nesne alınır ve her amacın büyüklük analizi için, g_i , ayrı ayrı uygulanır. Bu yüzden, m adet büyüklük analizi değeri her nesne için aşağıdaki gibi elde edilebilir (Başlıgil, 2005: 25):

$$M^1_{gi}, M^2_{gi}, \dots, M^m_{gi}, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (5)$$

Buradaki tüm M^j_{gi} ' ler, ($j = 1, 2, \dots, m$) üçgen bulanık sayılardır. Chang'ın büyüklük analizinin adımları aşağıdaki gibi verilebilir:

Adım 1: i . nesne için bulanık büyüklük değeri şu şekilde tanımlanır:

$$S_i = \sum_{j=1}^m M^j_{gi} \otimes \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M^j_{gi} \right]^{-1} \quad (6)$$

$\sum_{j=1}^m M_{gi}^j$ 'yi elde etmek için, m adet büyüklük analizi değerinin bulanık toplam işlemi aşağıdaki gibi uygulanır.

$$\sum_{j=1}^m M_{gi}^j = \left(\sum_{j=1}^m l_j, \sum_{j=1}^m m_j, \sum_{j=1}^m u_j \right) \quad (7)$$

$\left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \right]^{-1}$ 'i elde etmek için, M_{gi}^j ($j = 1, 2, \dots, m$) değerlerinin bulanık toplam işlemi şu şekilde uygulanır:

$$\left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \right]^{-1} = \left(\frac{1}{\sum_{i=1}^n u_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n m_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n l_i} \right) \quad (8)$$

Adım 2: $\tilde{M}_1 = (l_1, m_1, u_1)$ ve $\tilde{M}_2 = (l_2, m_2, u_2)$ iki üçgensel bulanık sayı iken $\tilde{M}_2 \geq \tilde{M}_1$ eşitliğinin olabilirlik derecesi aşağıdaki eşitlikte gösterilmiştir.

$M_2 = (l_2, m_2, u_2) \geq M_1 = (l_1, m_1, u_1)$ olayının olabilirlik derecesi

$$V(\tilde{M}_2 \geq \tilde{M}_1) =_{y \geq x} \sup \left[\min(\mu_{\tilde{M}_1}(x), \mu_{\tilde{M}_2}(y)) \right] \quad (9)$$

şeklinde tanımlanabilir.

Bu eşitlik, $y \geq x$ eşitsizliğinin genişleme prensibine göre ifade edilmiş halidir. Eşitlik $y \geq x$ ve $\mu_{\tilde{M}_1}(x) = \mu_{\tilde{M}_2}(y)$ gibi ilişki bulunan (x,y) sayı çiftinin aralarındaki büyüklük ilişkisini yani M_2 'nin M_1 'den büyük olma olabilirliğini gösteren değer $V(\tilde{M}_2 \geq \tilde{M}_1) = 1$ olduğunu belirtmektedir. Bu eşitlikte \tilde{M}_2 'nin orta değeri \tilde{M}_1 'den büyük olabilirliği 1 değerini almaktadır. Aksi takdirde, olabilirlik hesabı aşağıdaki eşitlik kullanılarak yapılabilir. Ancak sadece, $V(\tilde{M}_2 \geq \tilde{M}_1)$ değerini bilmek yeterli değildir. Ayrıca $V(\tilde{M}_1 \geq \tilde{M}_2)$ değerinin de hesaplanması gereklidir. \tilde{M}_2 ve \tilde{M}_1 gibi iki bulanık sayının kesişim noktasındaki üyelik fonksiyonunun değerine eşittir. $\tilde{M}_1 = (l_1, m_1, u_1)$ ve $\tilde{M}_2 = (l_2, m_2, u_2)$ bulanık sayılar iken:

$$V(\tilde{M}_2 \geq \tilde{M}_1) = \text{hgt}(\tilde{M}_1 \cap \tilde{M}_2) = \mu_{M_2}(d) \quad (10)$$

$$= \begin{cases} 1, & \text{eger } m_2 \geq m_1 \\ 0, & \text{eger } l_1 \geq u_2 \\ \frac{l_1 - u_2}{(m_2 - u_2) - (m_1 - l_1)}, & \text{diger durumlarda} \end{cases} \quad (11)$$

Adım 3: Konveks bir bulanık sayının k adet bulanık sayıdan, $M_i (i=1, 2, \dots, k)$, daha büyük olabilirlik derecesi şöyle tanımlanır:

$$V(M \geq M_1, M_2, \dots, M_k) = V[(M \geq M_1) \text{ ve } (M \geq M_2) \text{ ve } \dots \text{ ve } (M \geq M_k)] \\ = \min V(M \geq M_i), \quad i = 1, 2, 3, \dots, k \quad (12)$$

O takdirde S_j 'ler için şu varsayımlar yapılmıştır.

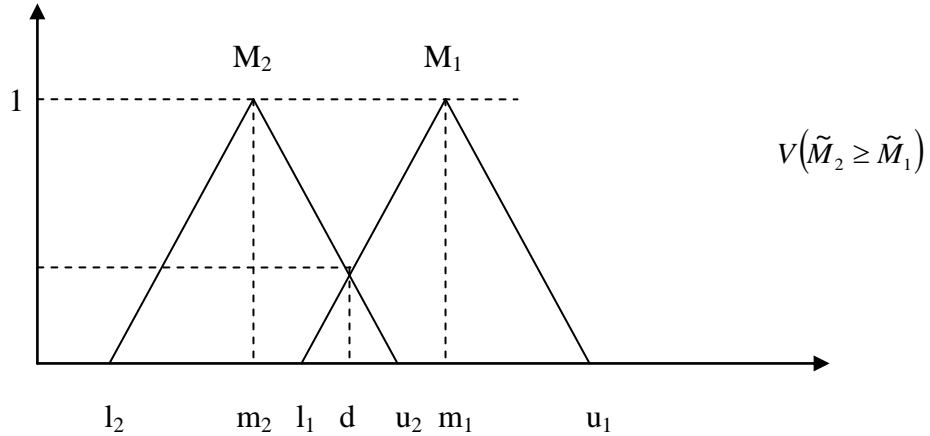
$$k = 1, 2, \dots, n; k \neq j \text{ için } d'(A_i) = \min V(S_i \geq S_k)$$

Daha sonra ağırlık vektörü $A_i (i = 1, 2, \dots, n)$ 'nin n elemandan oluştuğu

$$W' = (d'(A_1), d'(A_2), \dots, d'(A_n))^T \quad (13)$$

şekliyle verilir.

Şekil-2: \tilde{M}_1 ve \tilde{M}_2 Sayılarının Büyüklüklerinin Karşılaştırılması



Not: Kahraman vd., 2004: 176.

Adım 4: Normalizasyon ile normalize edilmiş vektör W 'nin bulanık bir sayı olmadığı

$$W = (d(A_1), d(A_2), \dots, d(A_n))^T \quad (14)$$

ifadesi ile gösterilir.

4. BAHS YÖNTEMİNİN BİR TEKSTİL İŞLETMESİNDE MAKİNE SEÇİM PROBLEMİNE UYGULAMASI

Uygulamamız, bir entegre tekstil firmasında yapılmıştır. Üretimi ağırlıklı olarak nevesim takımı üzerinedir. İplik, dokuma, örme, boyama, baskı ve konfeksiyon ünitelerinden oluşan, 3500 kalifiye çalışanı ile entegre ev tekstili kuruluşudur. Firmanın üretiminin pazar dağılımı %20 iç piyasa ve %80 ihracat olarak gerçekleşmektedir. Uygulama alanımız olan tekstil firması, pamuğu 24 saatte, 60.000 kg ipliğe, 750 bin m² dokumaya, 750 bin m² baskılı beze, 120 bin m² Astar-Tela ve 70 bin set çarşaf ve nevesime dönüştürür. Üstün teknolojisi ve üretimde gerçekleştirdiği yüksek kalite ile her yıl ihracat rakamlarını artıran firma, bugün ev tekstilinde ülkemizin modern ve büyük entegre tesislerinden biridir.

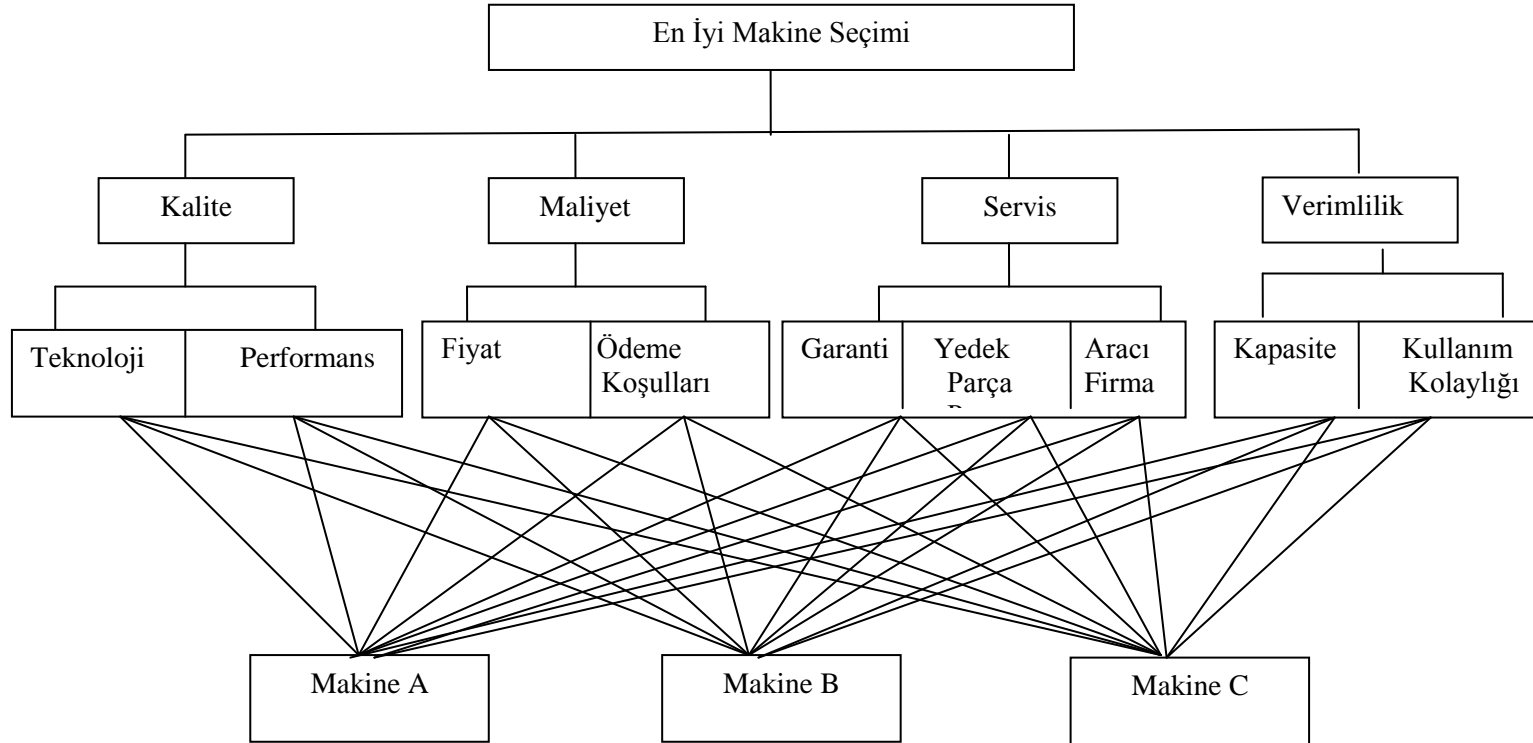
4.1. Uygulamanın Amacı

Çalışmanın amacı, BAHS yöntemini kullanarak, firmanın almayı düşündüğü üç baskı makinesi alternatifinden işletme için en uygun makinenin hangisi olduğuna karar verilmesine yardımcı olmaktır. En iyi makinenin seçimine yönelik hiyerarşi Şekil 3'de verilmiştir. Hiyerarşik yapıda dört ana kriterimiz ve bunlara bağlı olarak dokuz alt kriterimiz vardır. Ana kriterlerimiz, kalite, maliyet, servis ve verimlilik. Kalitenin alt kriterleri, teknoloji ve performans; maliyetin, fiyat ve ödeme koşulları; servisin, garanti ve yedek parça ve son olarak verimliliğin alt kriterleri; kapasite ve kullanım kolaylığıdır.

4.2. Uygulamanın Verileri

Uygulamaya ait veriler baskı makinesinin kullanılacağı departman müdürü ile görüşülerek elde edildi. Öncelikle problemin hiyerarşisini oluşturmak üzere gerekli bilgiler alındı. Daha sonra ikili kıyaslamalar, makine alternatifleri hakkında yeterli bilgi ve deneyime sahip terbiye departmanı müdürüyle görüşmeler sonucunda oluşturuldu. Elde edilen kıyaslamalar daha sonra tablo halinde sunulmuştur. Tablo 2 amaca yönelik olarak, alt kriterlerin bulanık değerlendirme matrisini göstermektedir. Tablo 3 kalitenin alt kriterlerinin bulanık kıyaslamasını verir ve Tablo 4 maliyetin alt kriterlerinin ikili

Şekil-3: En İyi Makine Seçimi Probleminin Hiyerarşik Yapısı



karşılaştırmalarını göstermektedir. Tablo 5 ve 6 sırasıyla servis ve verimliliğin alt kriterlere göre kıyaslamasını göstermektedir. Ayrıca her tablonun altında ağırlık vektörleri verilmiştir.

Problem çözümünün ilk aşaması kriterlerin birbirleriyle ve alternatiflerle olan ağırlık karşılaştırmalarıdır. Bu karşılaştırmalar Tablo 1'deki üçgen bulanık sayılara göre yapılmıştır:

Tablo-1: Bulanık Sayılar ile Tercih Ölçeği

Bulanık Sayı	Açıklama
(1,1,1)	Eşit önemli
(2,3,4)	Birinin diğerine göre çok az önemli olması
(4,5,6)	Kuvvetli derecede önemli
(6,7,8)	Çok kuvvetli düzeyde önemli
(8,9,9)	Aşırı derecede önemli
(1,2,3); (3,4,5); (5,6,7); (7,8,9)	Ara değerler

Bu çalışmada Chang (1996) tarafından ileri sürülmüş genişletilmiş BAHS yöntemi kullanılmıştır. BAHS yönteminin kullanılmasının bir nedeni de, bu yöntemin ikili karşılaştırmalarda yargıda bulunurken belirsizliği ve kesin olmamayı yansıtabilmesidir (Tang vd., 2005: 209).

Tüm bu değerlendirmeler ve ağırlıkların bulunması sayesinde en iyi makine seçimi yapılabilecektir. Aşağıda değerlendirme matrisleri ve bunlara göre hazırlanmış sonuç tabloları görülmektedir.

Tablo-2: Ana Kriterlerin Bulanık Sayılarla İfade Edilmiş İkili Karşılaştırma Matrisi

	Kalite	Maliyet	Servis	Verimlilik
Kalite	(1,1,1)	(1/4,1/3,1/2)	(4,5,6)	(2,3,4)
Maliyet	(2,3,4)	(1,1,1)	(4,5,6)	(4,5,6)
Servis	(1/6,1/5,1/4)	(1/6,1/5,1/4)	(1,1,1)	(1,1,1)
Verimlilik	(1/4,1/3,1/2)	(1/6,1/5,1/4)	(1,1,1)	(1,1,1)

Öncelikle Genişletilmiş Analiz Yöntemi'ne göre sentez değerlerinin hesaplanması gerekir. Tablo 2'deki verilerden yararlanarak, ana kritere ait sentez değerleri (6) no'lu eşitliğe göre aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$S_K = (7.25, 9.33, 11.50) \otimes (1/33.75, 1/28.27, 1/23.00) = (0.22, 0.33, 0.50)$$

$$S_M = (11.00, 14.00, 17.00) \otimes (1/33.75, 1/28.27, 1/23.00) = (0.33, 0.50, 0.74)$$

$$S_S = (2.33, 2.40, 2.50) \otimes (1/33.75, 1/28.27, 1/23.00) = (0.07, 0.09, 0.11)$$

$$S_V = (2.42, 2.53, 2.75) \otimes (1/33.75, 1/28.27, 1/23.00) = (0.07, 0.09, 0.12)$$

Elde edilen bu değerler (11) no'lu eşitlik kullanılarak bulanık sayıların karşılaştırması yapılır ve

$$V(S_K \geq S_M) = 0.51, \quad V(S_K \geq S_S) = 1, \quad V(S_K \geq S_V) = 1$$

$$V(S_M \geq S_K) = 1, \quad V(S_M \geq S_S) = 1, \quad V(S_M \geq S_V) = 1$$

$$V(S_S \geq S_K) = 0, \quad V(S_S \geq S_M) = 0, \quad V(S_S \geq S_V) = 0.08$$

$$V(S_V \geq S_K) = 0, \quad V(S_V \geq S_M) = 0, \quad V(S_V \geq S_S) = 1 \text{ elde edilir.}$$

Elde edilen bu değerler, (12) no'lu eşitlik kullanılarak öncelik değerleri elde edilir.

$$d'(K) = \min(0.51, 1, 1) = 0.51, \quad d'(M) = \min(1, 1, 1) = 1$$

$$d'(S) = \min(0, 0, 0.08) = 0, \quad d'(V) = \min(0, 0, 1) = 0$$

Elde edilen öncelik değerleri $W' = (0.51, 1, 0, 0)$ vektörünü oluşturmaktadır. Bu değerlerin normalizasyonu sonucunda ana kriterlere göre öncelik değeri $(0.34, 0.66, 0, 0)$ olarak hesaplanır. Buna göre firma makine seçiminde en çok maliyete daha sonra ise kaliteye önem vermektedir.

Alt kriterler açısından öncelik değerlerinin hesaplanmasında yapılan işlemler ayrıntılı bir şekilde tablo 5'teki veriler kullanılarak hesaplanmıştır. Diğer alt kriterlerin öncelik değerlerinin hesaplanmasındaki adımlar gösterilmemiştir

Tablo-3: Kalite Açısından Alt Kriterlerin Değerlendirilmesi

	Teknoloji	Performans
Teknoloji	(1,1,1)	(1,1,1)
Performans	(1,1,1)	(1,1,1)

Tablo 3'den ağırlık vektörü $W_K = (0.5, 0.5)^T$ olarak hesaplanır. Buna göre işletme açısından kalitenin alt kriterlerinden teknoloji ve performansın eşit öneme sahip olduklarını söyleyebiliriz.

Tablo-4: Maliyet Açısından Alt Kriterlerin Değerlendirilmesi

	Fiyat	Ödeme Koşulları
Fiyat	(1,1,1)	(2,3,4)
Ödeme Koşulları	(1/4, 1/3, 1/2)	(1,1,1)

Tablo 4'den ağırlık vektörü $W_M = (1, 0)^T$ olarak hesaplanır. Buna göre işletme maliyetinin alt kriterlerinden fiyata daha çok önem vermektedir.

Tablo-5: Servis Açısından Alt Kriterlerin Değerlendirilmesi

	Garanti	Yedek Parça	Aracı Kurum
Garanti	(1,1,1)	(1/4, 1/3, 1/2)	(1/6, 1/5, 1/4)
Yedek Parça	(2,3,4)	(1,1,1)	(1/4, 1/3, 1/2)
Aracı Kurum	(4,5,6)	(2,3,4)	(1,1,1)

Tablo 5'deki verilerden servis alt kriterine ait sentez değerleri (6) no'lu eşitliğe göre aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$S_G = (0.08, 0.10, 0.15), S_{YP} = (0.18, 0.29, 0.47),$$

$$S_{AK} = (0.38, 0.61, 0.94)$$

Elde edilen bu değerler (11) no'lu eşitlik kullanılarak bulanık sayıların karşılaştırması yapılır ve

$$\begin{aligned} V(S_G \geq S_{YP}) &= 0, & V(S_G \geq S_{AK}) &= 0 \\ V(S_{YP} \geq S_G) &= 1, & V(S_{YP} \geq S_{AK}) &= 0.22 \quad \text{elde edilir.} \\ V(S_{AK} \geq S_G) &= 1, & V(S_{AK} \geq S_{YP}) &= 1 \end{aligned}$$

Elde edilen bu değerler, (12) no'lu eşitlik kullanılarak öncelik değerleri elde edilir.

$$\begin{aligned} d'(G) &= \min(0, 0) = 0, & d'(YP) &= \min(1, 0.22) = 0.22, \\ d'(AK) &= \min(1, 1) = 1 \end{aligned}$$

Elde edilen öncelik değerleri $W' = (0, 0.22, 1)$ vektörünü oluşturmaktadır.

Bu değerlerin normalizasyonu sonucunda ana kriterlere göre öncelik değeri $(0, 0.18, 0.82)$ olarak hesaplanır. Buna göre firma servisin alt kriterlerinden aracı kuruma daha sonra yedek parçaya önem vermektedir.

Tablo-6: Verimlilik Açısından Alt Kriterlerin Değerlendirilmesi

	Kapasite	Kullanım Kolaylığı
Kapasite	(1,1,1)	(1,1,1)
Kullanım Kolaylığı	(1,1,1)	(1,1,1)

Tablo 6'den ağırlık vektörü $W_V = (0.5, 0.5)^T$ olarak hesaplanır. Buna göre verimliliğin alt kriteri olan, kullanım kolaylığı ve kapasite, firma için makine seçiminde eşit öneme sahiptir.

Tablo-7: Teknoloji Açısından Makine Alternatiflerinin Değerlendirilmesi

	A	B	C
A	(1,1,1)	(1,1,1)	(4,5,6)
B	(1,1,1)	(1,1,1)	(4,5,6)
C	(1/6, 1/5, 1/4)	(1/6, 1/5, 1/4)	(1,1,1)

Tablo 7'dan ağırlık vektörü $W_T = (0.5, 0.5, 0)^T$ olarak bulunur. Teknoloji açısından üç makine alternatifi değerlendirdiğinde, makine A ve B'nin C'ye göre üstün oldukları görülüyor.

Tablo-8: Performans Açısından Makine Alternatiflerinin Değerlendirilmesi

	A	B	C
A	(1,1,1)	(1/8,1/7,1/6)	(1/6,1/5,1/4)
B	(6,7,8)	(1,1,1)	(2,3,4)
C	(4,5,6)	(1/4,1/3,1/2)	(1,1,1)

Tablo 8'den ağırlık vektörü $W_p = (0,0.82,0.18)^T$ şeklinde hesaplanır. Buna göre performansı en iyi olan makine B iken, onu C makinesi izlemektedir.

Tablo-9: Fiyat Açısından Makine Alternatiflerinin Değerlendirilmesi

	A	B	C
A	(1,1,1)	(1/4,1/3,1/2)	(2,3,4)
B	(2,3,4)	(1,1,1)	(4,5,6)
C	(1/4,1/3,1/2)	(1/6,1/5,1/4)	(1,1,1)

Tablo 9'dan ağırlık vektörü $W_f = (0.18,0.82,0)^T$ olarak bulunur. Fiyat açısından en uygun alternatif B iken, onu A alternatifi izlemektedir.

Tablo-10: Ödeme Koşulları Açısından Makine Alternatiflerinin Değerlendirilmesi

	A	B	C
A	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)
B	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)
C	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)

Tablo 10'dan ağırlık vektörü $W_{ok} = (0.33,0.33,0.33)^T$ şeklinde hesaplanır. Ödeme koşulları üç alternatif için de aynıdır.

Tablo-11: Garanti Açısından Makine Alternatiflerinin Değerlendirilmesi

	A	B	C
A	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)
B	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)
C	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)

Tablo 11'den ağırlık vektörü $W_{Ga} = (0.33,0.33,0.33)^T$ olarak hesaplanır. Bu değerlere göre üç alternatifin de garanti koşullarının aynı olduğunu söyleyebiliriz.

Tablo-12: Yedek Parça Açısından Makine Alternatiflerinin Değerlendirilmesi

	A	B	C
A	(1,1,1)	(4,5,6)	(2,3,4)
B	(1/6,1/5,1/4)	(1,1,1)	(1/4,1/3,1/2)
C	(1/4,1/3,1/2)	(2,3,4)	(1,1,1)

Tablo 11'den ağırlık vektörü $W_{yp} = (0.82, 0, 0.18)^T$ olarak hesaplanır. Alternatifleri yedek parça olanaklarına göre değerlendirecek olursak en iyi makine A olacaktır.

Tablo-13: Aracı Kurum Açısından Makine Alternatiflerinin Değerlendirilmesi

	A	B	C
A	(1,1,1)	(1/4,1/3,1/2)	(4,5,6)
B	(2,3,4)	(1,1,1)	(6,7,8)
C	(1/6,1/5,1/4)	(1/8,1/7,1/6)	(1,1,1)

Tablo 13'den ağırlık vektörü $W_{AK} = (0.18, 0.82, 0)^T$ olarak bulunur. Aracı kurum açısından alternatifleri değerlendirdiğimizde en iyi makine B olmakta ve onu C makinesi izlemektedir.

Tablo-14: Kapasite Açısından Makine Alternatiflerinin Değerlendirilmesi

	A	B	C
A	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)
B	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)
C	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)

Tablo 14'den ağırlık vektörü $W_K = (0.33, 0.33, 0.33)^T$ şeklinde bulunur. Bu sonuçtan makinelerin kapasitelerinin eşit olduğunu söyleyebiliriz.

Tablo-15: Kullanım Kolaylığı Açısından Makine Alternatiflerinin Değerlendirilmesi

	A	B	C
A	(1,1,1)	(1/4,1/3,1/2)	(1,1,1)
B	(2,3,4)	(1,1,1)	(2,3,4)
C	(1,1,1)	(1/4,1/3,1/2)	(1,1,1)

Tablo 15'den ağırlık vektörü $W_{KK} = (0, 1, 0)^T$ şeklinde hesaplanır. Kullanım kolaylığı bakımından incelendiğinde en iyi alternatif B olmaktadır.

Tablo-16: Kalitenin Alt Kriterleri Açısından Önem Ağırlıklarının Özeti

	Teknoloji	Performans	Alternatif Üstünlük Ağırlığı
Ağırlık	0.5	0.5	
Alternatif			
A	0.5	0	0.25
B	0.5	0.82	0.66
C	0	0.18	0.09

Tablo-17: Maliyetin Alt Kriterleri Açısından Önem Ağırlıklarının Özeti

	Fiyat	Ödeme Koşulları	Alternatif Üstünlük Ağırlığı
Ağırlık	1	0	
Alternatif			
A	0.18	0.33	0.18
B	0.82	0.33	0.82
C	0	0.33	0

Tablo-18: Servisin Alt Kriterleri Açısından Önem Ağırlıklarının Özeti

	Garanti	Yedek Parça	Aracı Kurum	Alternatif Üstünlük Ağırlığı
Ağırlık	0	0.18	0.82	
Alternatif				
A	0.33	0.82	0.18	0.30
B	0.33	0	0.82	0.67
C	0.33	0.18	0	0.03

Tablo-19: Verimliliğin Alt Kriterleri Açısından Önem Ağırlıklarının Özeti

	Kapasite	Kullanım Kolaylığı	Alternatif Üstünlük Ağırlığı
Ağırlık	0.5	0.5	
Alternatif			
A	0.33	0	0.17
B	0.33	1	0.67
C	0.33	0	0.17

Tablo-20: Ana Kriterlere Göre Önem Ağırlıklarının Özeti

	Kalite	Maliyet	Servis	Verimlilik	Alternatif Üstünlük Ağırlığı
Ağırlık	0.34	0.66	0	0	
Alternatif					
A	0.25	0.18	0.30	0.17	0.20
B	0.66	0.82	0.67	0.67	0.77
C	0.09	0	0.03	0.17	0.03

En iyi alternatif olarak, en yüksek önem ağırlığına sahip baskı makinesi 'B' seçilir. Tablo 16-17-18 ve 19 alt kriterlerin öncelik değerlerini gösterir. Tablo 20, temel özellikler için önem ağırlıklarını ve en iyi baskı makinesinin seçilmesi için kullanılan önem ağırlıklarını göstermektedir.

SONUÇ

Günümüzde kompleks ve karmaşık çevrelerde karar verme süreci daha da güçleşmektedir. Karar vericiler karar verme sürecinde, deneyim ve öznel algılardan kaynaklanan belirsizlik ile karşı karşıya kalırlar. Çok kriterli karar sistemleri farklı alanlarda uzmanların kullanımına daha çok ihtiyaç duymaktadır. Bu tür karar verme ortamlarının birçoğunda bulanık karar verme teorisi kullanılabilir.

Bu çalışmanın amacı, çok kriterli karar verme problemlerinden makine seçiminde BAHS yöntemini kullanarak tekstil işletmesi için en iyi baskı makinesinin seçilmesidir. Kalite, servis, maliyet ve verimlilik faktörleri baskı makinesi alternatiflerinin değerlendirilmesinde dikkate alınmıştır.

Geleneksel AHS yöntemi, karar vericilerin gereksinimlerini tam olarak karşılayamadığından ve karar vericilerin alternatifleri değerlendirirken subjektif olup, kesin yargılar verememelerinden dolayı, bu çalışmada baskı makinesi alternatiflerini değerlendirmede BAHS yaklaşımı ele alınmıştır. BAHS yaklaşımı ile verilerin değerlendirilmesinde yer alan belirsizlik etkili bir şekilde temsil edilebilir ve daha etkin bir karar verilmesine yardımcı olur.

Literatür taramamasında da değinildiği gibi çeşitli yazarlar tarafından işletmelerin tedarikçi seçimi, yazılım seçimi, personel seçimi gibi çok kriterli karar problemlerinde BAHS uygulamalarında bulunulmuştur. Bu çalışma ile BAHS yönteminin, işletmelerin karşılaşılabileceği başka birçok kriterli seçim problemi olan makine seçim problemine uygulanabilirliği gösterilmiştir.

Bu çalışmada makine alternatiflerini, değerlendirirken BAHS yöntemini kullanmamız iki açıdan avantaj sağlamaktadır. İlk olarak klasik AHS yöntemindeki karşılaştırma matrisinde kullanılan 1,3,5,7,9 gibi sabit değerler yerine, bulanık sayılardan oluşan değerler vererek karar vericilerin seçim kriterlerini ve makine alternatiflerini değerlendirmesinde bulunan belirsizlik ve sübjektivite ele alınabilmektedir. Ayrıca, verilerin değerlendirilmesindeki belirsizlik daha iyi temsil edilerek daha etkin bir karara ulaşılmıştır.

BAHS yönteminin tekstil işletmesinde makine seçim problemine uygulanmasından sonra B alternatifi en yüksek önem ağırlığına sahip baskı makinesi olarak belirlenmiştir. İşletme yönetimi, uygulamamızı ve sonuçları tatmin edici bulmuş ve baskı makinesi B'yi almaya karar vermiştir. Bu tür karşılaştırmalar için çok kriterli karar verme problemleri için pek çok yöntem mevcuttur. Bunlar ELECTRE (Elimination et choix traduisant la realite), DEA (Data Envelopment Analysis) ve TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) gibi çok kriterli değerlendirme yöntemleridir. Bu yöntemler, bulanık bir çevrede kullanılmak üzere önerilmiş ve geliştirilmiş yeni yöntemlerdir. Bundan sonraki çalışmalarda bu yöntemler, makine seçim problemine uygulanabilir. Ayrıca, AHS yöntemi kriterler ve alternatifler arasındaki ilişkileri dikkate almayan bir yöntemdir. Bu yüzden kriterler ve seçenekler arasındaki etkileşimi dikkate alan Bulanık Analitik Serim Süreci yöntemi gelecek çalışmalarda ele alınıp, uygulamalarda bulunulabilir.

KAYNAKLAR

- Arslan Ç. B. Çatay, E. Budak (2004) "A Decision Support System for Machine Tool Selection", **Journal of Manufacturing Technology Management**, 15(1), 101-109.
- Ayağ, Z., R.G. Özdemir (2006) "A Fuzzy AHP Approach to Evaluating Machine Tool Alternatives", **Journal of Intelligent Manufacturing**, 17, 179-190.
- Başlıgil, H. (2005) "The Fuzzy Analytic Hierarchy Process for Software Selection Problems", **Journal of Engineering and Natural Sciences**, 2, 24-33.
- Baykal, N. ve T. Beyan (2004) "**Bulanık Mantık İlke ve Temelleri**", Bıçaklar Kitabevi.
- Bender, M. and S. Simonovic (2000) "A Fuzzy Compromise Approach to Water Resource Systems Planning under Uncertainty", **Fuzzy Sets and Systems**, 115, 33-44.

- Bottani, E. and A. Rizzi (2005) “A Fuzzy Multi-Attribute Framework for Supplier Selection in an E-Procurement Environment”, **International Journal of Logistics: Research and Applications**, 8(3), 249–66.
- Buckley, J.J. (1985) “Fuzzy Hierarchical Analysis”, **Fuzzy Sets and Systems**, 17, 233-47.
- Büyüközkan, G. (2004) “Multi Criteria Decision Making for e-market Selection”, **Internet Research**, 14(2), 138-54.
- Büyüközkan, G.; C. Kahraman, D. Ruan (2004) “A Fuzzy Multi-Criteria Decision Approach for Software Development Strategy Selection”, **International Journal of General Systems**, 33(2–3), 259–80.
- Chan, F.T.S., N. Kumar (2007) “Global Supplier Development Considering Risk Factors Using Fuzzy Extended AHP-based Approach”, **Omega International Journal of Management Science**, 35, 417-31.
- Chang, D.Y. (1996) “Applications of the extent analysis method on Fuzzy AHP” **European Journal of Operational Research**, 95, 649-655.
- Deng, H. (1999) “Multicriteria Analysis with Fuzzy Pairwise Comparison”, **International Journal of Approximate Reasoning**, 21, 215-31.
- Enea, M. and T. Piazza (2004) “Project Selection by Constrained Fuzzy AHP”, **Fuzzy Optimization and Decision Making**, Boston: Kluwer Academic Publishers, 3, 39–62.
- Ertuğrul, İ. (2003) “İşyeri Düzen Tasarımına Bir Analitik Hiyerarşi Yaklaşımı”, VI. **Ulusal Ekonometri ve İstatistik Sempozyumu**, Ankara: Gazi Üniveristesi, 12.
- Kahraman, C., U. Cebeci, Z. Ulukan (2003) “Multi-Criteria Supplier Selection Using Fuzzy AHP”, **Logistics Information Management**, 16(6), 382-94.
- Kahraman C., U. Cebeci, D. Ruan (2004) “Multi-Attribute Comparison of Catering Service Companies Using Fuzzy AHP: The Case of Turkey”, **International Journal of Production Economics**, 87, 171–84.
- Korvin, A. and R. Kleyle (1999) “Fuzzy Analytic Hierarchy Process”, **Journal of Intelligent and Fuzzy Systems**, 7, 387-400.
- Li, D.F., J.B. Yang, (2004) “Fuzzy Linear Programming Technique for Multiattribute Group Decision Making in Fuzzy Environments”, **Information Sciences**, 158, 263-264.
- Leung L. and D. Cao (2000) “Theory and Methodology in Consistency and Ranking of Alternatives in Fuzzy AHP”, **European Journal of Operational Research**, 124, 102-13.

- Mikhailov, L., P. Tsvetinov (2004) "Evaluation of Services Using Fuzzy Analytic Hierarchy Process", **Applied Soft Computing**, 5, 23-33.
- Omkarprasad S. and S. Kumar (2006) "Analytic Hierarchy Process: An Overview of Applications", **European Journal of Operational Research**, 169, 1-29.
- Özkan, M. (2003) "**Bulanık Hedef Programlama**", Bursa: Ekin Kitabevi,.
- Saaty, T.L. (1980) "**The Analytic Hierarchy Process**" Newyork: McGraw-Hill.
- Tang, Y. and M.J. Beynon (2005) "Application and Development of a Fuzzy Analytic Hierarchy Process within a Capital Investment Study", **Journal of Economics and Management**, 1(2), 207-30.
- Tolga, E., M. Demircan, C. Kahraman (2005) "Operating System Selection Using Fuzzy Replacement Analysis and Analytic Hierarchy Process" **International Journal of Production Economics**, 97, 89-117.
- Tüysüz, F., C. Kahraman (2006) "Project Risk Evaluation Using a Fuzzy Analytic Hierarchy Process: an Application to Information Technology Projcets", **International Journal of Intelligent Systems**, 21, 229-84.
- Wang, T., C. Shaw, Y. Chen (2000) "Machine Selection in Flexible Manufacturing Cell: A Fuzzy Multiple Attribute Decision-Making Approach", **International Journal of Production Research**, 38(9), 2079- 97.
- Van Laarhoven, P.J.M., W. Pedrcyz (1983) "A Fuzzy Extension of Saaty's Priority Theory", **Fuzzy Sets and Systems**, 11, 229-41.
- Yurdakul, M. (2004) "AHP as a Strategic Decision-Making Tool to Justify Machine Tool Selection", **Journal of Materials Processing Technology**, 146, 365-76.
- Zadeh, L.A. (1965) "Fuzzy Sets", **Information and Control**, 8, 338-353.
- Zadeh, L.A (1975) "The Concept of a Linguistic variable and its application to Approximate Reasoning-I", **Information Sciences**, 8, 199-249.
- Zadeh, L.A., J. Kacprzyk (1992) "**Fuzzy Logic for The Management of Uncertainty**", Newyork: John Wiley&Sons Inc.
- Zhu, K. Y. Jing, D. Chang (1999) "A discussion on Extent Analysis Method and Applications of Fuzzy AHP", **European Journal of Operational Research**, 116, 450-456.
- Zimmermann H.J. (1992) "**Fuzzy Set Theory and Its Applications**", Boston: Kluwer Academic Publishers.