

BULANIK AKSİYOMATİK TASARIM İLE TEDARİKÇİ FİRMA SEÇİMİ

Bedriye ÖZEL ve Bahar ÖZYÖRÜK

Endüstri Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Gazi Üniversitesi, Maltepe, 06570, Ankara
bedriveozel@gazi.edu.tr, bahar@gazi.edu.tr

(Geliş/Received: 22.08.2006; Kabul/Accepted: 11.12.2006)

ÖZET

Bu çalışmada, bir beyaz eşya üretici firması için tedarikçi firma seçimi problemi ele alınmış ve problemin çözümü için Aksiyomatik Tasarım (AD, Axiomatic Design) yöntemi önerilmiştir. AD karar verme sürecinde hem nicel hem de nitel kriterlerin dikkate alınmasını gerektiren problemlerin çözümünde kullanılabilecek çok ölçütlü karar verme yöntemlerinden birisidir. Bu çalışmada AD'nin Bilgi aksiyomuna dayanarak alternatif tedarikçiler arasından minimum bilgi içeriğine sahip olan tedarikçi firmanın seçimine yönelik bir uygulama yapılmıştır. Tedarikçi seçim sürecini etkileyen kriterlerin bir kısmı sayısal verilerle ifade edilemediği için değerlendirme üçgensel bulanık sayılar ile yapılmış ve değerlendirmede bulanık AD kullanılmıştır. Ayrıca kriterlerin kendi aralarında önceliklerinin olduğu durum göz önüne alınarak Ağırlıklı Bulanık AD kullanılmış ve her iki yöntemin sonuçları karşılaştırılmıştır.

Anahtar kelimeler: Tedarikçi seçimi, çok kriterli analiz, aksiyomatik tasarım.

SUPPLIER SELECTION WITH FUZZY AXIOMATIC DESIGN

ABSTRACT

In this study, for a white-goods manufacturer, supplier selection problem is discussed and Axiomatic Design (AD) method is proposed for the solution of the problem. AD is one of the multi attribute decision methods (MADM) that can be used for the solution of the problems which require to be considered both qualitative and quantitative factors at the decision process. In this paper, an application of selecting the supplier which has minimum information content among the alternative supplier firms has done based on the Information Axiom of AD. Since, all of the factors that affect supplier selection process can not be denoted by numerical values, the evaluation of the firms has been done by using triangular fuzzy numbers and fuzzy AD has been used for the evaluation. Also, weighted AD has been used by regarding that factors have precedency with respect to each other and results of both methods have been compared.

Keywords: Supplier selection, multi-attribute analysis, axiomatic design.

1.GİRİŞ (INTRODUCTION)

Günümüzdeki rekabetçi pazar koşulları, organizasyonları çok kısa sürede değişen farklı müşteri isteklerini karşılayabilecek çözümler bulmaya yöneltmektedir. Organizasyonlar, bu rekabet ortamında karlılıklarını artırmak için değişik özelliklere, fonksiyonlara ve tasarıma sahip ürünleri üretebilecek esnekliğe sahip olmalıdır. Bunun başarılabilmesi için tedarikçilerden müşteriye kadar uzanan malzeme ve bilgi akışını sağlayan tedarik zincirinin etkin bir şekilde yönetilmesi gerekir. Tedarik zincirinin en önemli unsurlarından olan

tedarikçilerin, işletmenin stratejilerine uygun ve işletmeyi hedeflerine ulaştıracak nitelikte olması gerektiği için doğru tedarikçinin seçilmesi işletmeler için önemli bir karar problemidir. Bir tedarikçi, iyi yönetilen ve iyi tasarlanmış bir tedarik zincirinin parçası olursa tüm tedarik zincirinin rekabet edebilirliği artar. Bu yüzden doğru tedarikçinin seçimi etkin bir tedarik zinciri kurmanın en önemli adımıdır. Karar verme süreçlerinin çoğunda olduğu gibi, tedarikçi seçimi de değerlendirme ve seçme gibi iki temel faaliyeti içerir. Değerlendirme aşaması; genellikle kararlar ilgili kriter ve özellikleri belirleyerek bu kriterler temelinde alternatif

tedarikçileri derecelendirmekten, seçme aşaması ise bu derecelendirmeye bağlı olarak en iyi tedarikçinin belirlenmesinden oluşur. Karar verme problemlerinin günümüz koşullarına bağlı olarak karmaşık bir hal alması, doğru kararın verilmesi için, bu süreçte bilimsel yöntemlerin kullanılmasını zorunlu hale getirmiştir. Tedarikçi değerlendirme ve seçme problemi de karar aşamasında birçok faktörün dikkate alınmasını ve bu faktörler temelinde birçok sayıda tedarikçinin değerlendirilmesini gerektiren kompleks bir karar problemi olup, bu süreçte bilimsel yöntemlerin kullanılması doğru tedarikçinin seçimi için çok büyük önem taşımaktadır.

Literatürde tedarikçi değerlendirme ve seçme problemini ele alan farklı çalışmalar yapılmıştır. Dickson [1], tedarikçi seçim problemlerinin klasik analizini yaparak tedarikçi seçim süreci için 23 kriter belirlemiştir. Weber vd. [2], 1966'dan 1990'a kadar tedarikçi seçimi ile ilgili literatürde yapılmış olan çalışmaları incelemişler ve fiyat, teslim süresi ve kalite'nin bu çalışmalarda en çok kullanılan kriterler olduğunu tespit etmişlerdir. Wilson [3], da yaptığı benzer çalışmada seçim kriterlerinin önemini incelemiş ve kriterlerin; kalite, servis, fiyat ve teslim süresi olarak sıralandığını belirlemiştir. Verma ve Pulman [4] ise yaptıkları çalışmada bu kriterlerin yanında esneklik kriterinin de son yıllarda tedarikçi seçiminde önem kazanan bir kriter olduğunu belirtmişlerdir. Nydick ve Hill [5], Barbarosoglu ve Yazgac [6], Yahya ve Kingsman [7] tedarikçi seçme süreci için geliştirdikleri modellerde farklı kriterleri temel alarak Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) yöntemini kullanmışlardır. Bu çalışmaların ortak özelliği karar verme sürecinde nicel ve nitel kriterleri bir arada kullanmaları ve belirli bir sayısal temelde bu kriterleri ağırlıklandırarak en iyi alternatifin seçilmesini sağlamalarıdır. Sarkis ve Talluri [8], tedarikçi seçimi problemi için Analitik Ağ Süreci (AAP) tekniğini kullanan bir model önermiş ve önerdiği modelde seçim sürecini etkileyen faktörler arasındaki ilişkileri inceleyerek bu ilişkilerin dikkate alınmasının daha doğru kararın verilmesi için önemli olduğunu ileri sürmüştür. Schnetzler vd. [9], tedarik zinciri stratejisinin geliştirilmesi için tedarik zinciri yönetimine Aksiyomatik Tasarım (AD) (Axiomatic Design) yaklaşımının bir uygulamasını önermişlerdir. Bu çalışmada AD'nin birinci aksiyomu olan Bağımsızlık Aksiyomu tedarik zincirinin ayrıştırılarak tasarlanması için kullanılmıştır. Bevilacqua vd. [10], Kalite Evi yaklaşımını, tedarikçi seçimi problemi için tipik Kalite Fonksiyon Yayılımına (QFD) dönüştürerek orta büyüklükteki bir imalatçıya uygulanmışlardır. Chen vd. [11], tedarik zincirinde tedarikçi firma seçimi probleminde bulanık karar verme yaklaşımını uygulamışlar ve bu süreçte; kalite, fiyat, esneklik ve teslim performansı gibi kriterler için dilsel değerler kullanarak, bulanık kümeye dayalı çok kriterli karar verme modeli geliştirmişlerdir. Liao ve Rittscher [12], tedarikçi esnekliğinin bir ölçüsü, talep

miktarı ve zaman belirsizliğinin ayrıntılı olarak ele alındığı çalışmalarında, talebin stokastik olduğu durumda çok amaçlı bir seçim modeli önermişlerdir. Bu çalışmalar dışında dikkat çeken bazı çalışmalarda da tedarikçi değerlendirme ve seçme problemi farklı yöntemlerin bir arada kullanılması ile bütünleşik olarak ele alınmıştır. Ghodsypour ve O'Brien [13], hem nitel hem de nicel kriterlerle ilgili AHP ve Doğrusal Programlamayı (DP) kullanan bütünleşik bir model kurmuş ve AHP ile elde edilen faktör önceliklerini DP modelinde kullanmıştır. Wang vd. [14] analitik hiyerarşi süreci (AHP) ve çok kriterli karar verme yöntemine dayalı öncelikli hedef programlama (PGP) ile bütünleşik bir model kurmuşlardır. Dağdeviren ve Eren [15] ise tedarikçi değerlendirme sürecini AHP ve 0-1 Hedef Programlama (HP) yöntemleri ile bütünleşik olarak ele almışlar ve AHP ile elde edilen öncelikleri farklı kısıtlar ile kurulan 0-1 HP modeline dahil ederek bu modelin çözümü ile en iyi tedarikçinin seçilmesini sağlamışlardır. Kulak ve Kahraman [16], ulaştırma firmaları arasından en iyisinin seçimi için AD tekniğinin ikinci aksiyomunu, hem belirli hem de bulanık AHP tekniklerini kullanmış ve elde edilen sonuçları karşılaştırmışlardır.

Literatürde, Suh [17] tarafından geliştirilen ve son yıllarda hızla gelişmekte olan AD tekniği ve ilkeleri, yazılım [18], kalite [19], imalat [20], esnek üretim [21], hücreli üretim [22] ve ergonomi [23] gibi bir çok alandaki sistemin tasarımında uygulanmıştır. Ayrıca, çok ölçütlü karar verme tekniği olarak kullanılan AD'nin Bilgi aksiyomu ekipman [24], ulaştırma firması [16] ve modern imalat sistemleri [25] gibi alanlarda çeşitli kriterler dikkate alınarak alternatifler arasında karar vermek için kullanılmıştır.

Bu çalışmada, bir işletmenin tedarikçi seçim problemi nitel ve nicel faktörlerin birlikte değerlendirilebilmesine imkan sağlayan AD'nin ikinci aksiyomu olan Bilgi Aksiyomu ile ele alınmış ve kriterler için belirlenmiş aralıkların hem sayısal hem de dilsel değişkenlerle ifade edildiği durumda alternatif tedarikçiler arasından en az bilgi içeriğine sahip olan tedarikçi firmanın seçimi yapılmıştır. Problem hem bulanık AD hem de ağırlıklı bulanık AD yöntemleri ile çözülmüş ve bu iki yöntemle elde edilen sonuçlar yorumlanmıştır.

2. AKSİYOMATİK TASARIM (AXIOMATIC DESIGN)

2.1. Aksiyomatik Tasarım ve Prensipleri (Axiomatic Design and Principles)

Aksiyomatik Tasarım; ürünler, sistemler ve süreçler için tasarım alanını bilimsel yapmak için Suh [17] tarafından geliştirilmiş bir tasarım metodudur. Suh [26], tasarımı, "neyi gerçekleştirmek istiyoruz" ve "nasıl gerçekleştirebiliriz" sorularının etkileşimiyle tanımlar.

Aksiyomlarla tasarım yönteminin temel amacı, tasarımlar için bilimsel bir temel oluşturmak ve tasarımcıyı, mantıklı düşünce süreçleri ve araçları ile destekleyerek tasarım faaliyetlerini geliştirmektir. Aksiyomlarla tasarım içinde en önemli kavram tasarım aksiyomlarının varlığıdır. İki tasarım aksiyomu ürün tasarımlarını oluşturmak ve kurulan çözüm alternatiflerinden en iyisini seçmek için oransal bir temel sağlar [26]. Bu aksiyomlar aşağıdaki gibidir:

- **Aksiyom 1 (Bağımsızlık Aksiyomu):** Fonksiyonel ihtiyaçların bağımsızlığını devam ettirmek. Kabul edilebilir bir tasarımda, bir tasarım parametresi (DP) diğer fonksiyonel ihtiyaçları ($F\dot{I}$) etkilemeden ilgili fonksiyonel ihtiyacı sağlamak için düzenlenebilir.

- **Aksiyom 2 (Bilgi Aksiyomu):** Bilgi içeriğini minimize etmek. Alternatif tasarımlardan Bağımsızlık Aksiyomunu sağlayan en iyi tasarım minimum bilgi içeriğine sahiptir.

Bağımsızlık Aksiyomu, tasarım amaçlarını karakterize eden bağımsız fonksiyonel ihtiyaçların minimum sayısı olarak tanımlanan Fonksiyonel ihtiyaçların ($F\dot{I}$) bağımsızlığının sürekli korunması gerektiğini savunur. İki ya da daha fazla fonksiyonel ihtiyaç olduğunda, tasarım çözümü diğer fonksiyonel ihtiyacı etkilemeden her bir fonksiyonel ihtiyacı sağlamalıdır. Bu da fonksiyonel ihtiyaçları sağlayan ve bunların bağımsızlığını koruyabilecek doğru bir tasarım parametre kümesinin seçimi anlamına gelir [27].

Bilgi aksiyomu; bağımsızlık aksiyomunu sağlayan tasarımlar arasından minimum bilgi içeriğine sahip tasarımın en iyi tasarım olduğunu savunur. Çünkü bilgi içeriği, olasılık terimleriyle tanımlanır, aynı zamanda ikinci aksiyoma göre gerçekleşme olasılığı en yüksek olan tasarım en iyi tasarımdır [27].

Bilgi içeriği I , verilen bir fonksiyonel ihtiyaç ($F\dot{I}$)'yi sağlama olasılığı ile tanımlanır. Eğer verilen bir $F\dot{I}$ yi sağlama başarısının olasılığı p ise, olasılıkla ilgili bilgi içeriği I , Eşitlik 1 ile ifade edilir:

$$I_i = \log_2 \left(\frac{1}{p_i} \right) \quad (1)$$

Bilgi küçük birimlerle verilir. Aynı zamanda karşılanması gereken bir sürü fonksiyonel ihtiyaç olduğunda bilgi içeriğinin eklenebilmesi için logaritmik fonksiyon seçilmiştir. n tane $F\dot{I}$ olduğundan toplam bilgi içeriği tüm bu olasılıkların toplamıdır. Tüm olasılıklar toplamı 1'e eşit olduğunda bilgi içeriği sıfırdır ve tersine bir ya da daha fazla olasılık sıfıra eşit olduğunda gerekli bilgi sonsuzdur. Bu olasılık düşük ise, fonksiyonel ihtiyaçları karşılamak için daha fazla bilgiye ihtiyaç duyulduğu anlamına gelir [27]. Gerçekleşme olasılığı, $F\dot{I}$ için **Tasarım Aralığı** (d_i) belirterek ve $F\dot{I}$ 'yi sağlayacak tasarım için **Sistem Aralığı** (s_i) belirleyerek hesaplanabilir. Şekil 1'de bir $F\dot{I}$ 'nin sistem olasılık dağılım fonksiyonu uniform olduğunda, tasarımcının belirlediği 'tasarım aralığı' ve sistemin gerçekleştirdiği 'sistem aralığı'nın kesiştiği bölgenin kabul edilebilir çözümün bulunduğu alan olduğu görülmektedir. Sistem olasılık dağılım fonksiyonu uniform olduğu durumda $F\dot{I}$ 'nin gerçekleşme olasılığı Eşitlik 2 ile hesaplanır [16]:

$$p_i = \frac{\text{ortak aralık}}{\text{sistem aralığı}} \quad (2)$$

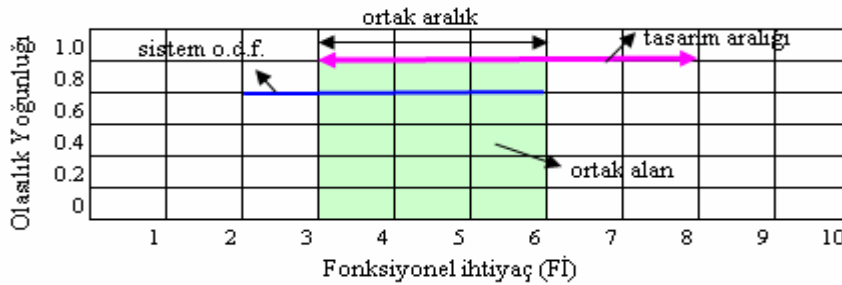
Eşitlik 2'den hareketle bilgi içeriği şu şekilde hesaplanır:

$$I_i = \log_2 \left(\frac{\text{sistem aralığı}}{\text{ortak aralık}} \right) \quad (3)$$

Eğer $F\dot{I}_i$ sürekli tesadüfi değişken ise, $p_s(F\dot{I}_i)$ her $F\dot{I}_i$ için sistem olasılık yoğunluk fonksiyonu iken, tasarım aralığındaki $F\dot{I}_i$ 'yi gerçekleştirme olasılığı Eşitlik 4 ile hesaplanır;

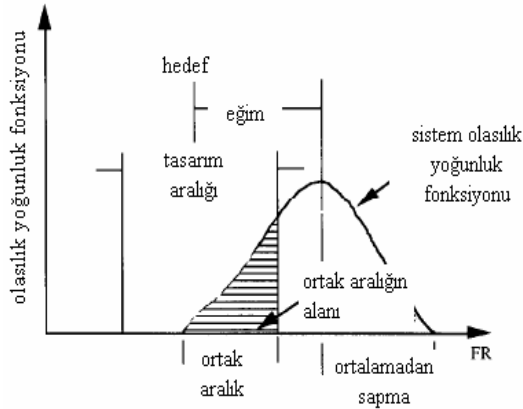
$$p_i = \int_{d_i}^{d_{i+1}} p_s(F\dot{I}_i) dF\dot{I}_i \quad (4)$$

Eşitlik 4, sistemin olasılık yoğunluk fonksiyonunun integralini alarak bütün sistemin aralığının gerçekleşme olasılığını verir. (örneğin tasarım aralığının en düşük sınırı d_{i1} , üst tasarım aralığının sınırı, d_{in}) [26].



Şekil 1. Tasarım Aralığı, Sistem Aralığı, Ortak Aralık ve $F\dot{I}$ 'nin Sistem Olasılık Dağılım Fonksiyonu (Design range, system range, common range and probability density function of a functional requirement)

Şekil 2’de sistem aralığı belirlenmiş FR ’ye karşı bir olasılık yoğunluk fonksiyonu verilmiştir. Tasarım aralığı ve sistem aralığı arasındaki kesişim bölgesi *ortak alan* (c_s) olarak gösterilir ve bu alan sadece fonksiyonel ihtiyaçların sağlandığı bölgedir. Sonuç olarak, sistem aralığının altındaki alanın, ortak aralığın altındaki alana bölümü, tasarımın belirlenmiş hedefinin gerçekleşme derecesinin olasılığına eşittir [27].



Şekil 2. Tasarım Aralığı, Sistem Aralığı, Ortak Aralık ve FR 'nin Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu (Design range, system range, common range and probability density function of a functional requirement (FR))

$$I = \log_2(A_{sr}/A_{cr})$$

(5)

Burada A_{sr} sistem aralığının altındaki alanı, A_{cr} ortak aralığın altındaki taralı alanı ifade eder. Genellikle $A_{sr} = 1.0$ olduğundan sağlanacak n tane FR olduğu için bilgi içeriği Eşitlik 6 ile ifade edilir:

$$I = \log_2(1/A_{cr}) \quad (6)$$

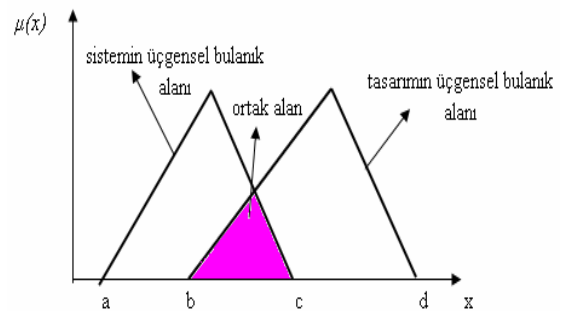
2.2. Bulanık Aksiyomatik Tasarım (Fuzzy Axiomatic Design)

Literatürdeki çok ölçütlü karar verme teknikleri genellikle veriler belirli olduğunda çözüme ulaşırken, Bulanık çok ölçütlü AD yaklaşımı veriler kesin olmadığında da kullanılabilir bir yöntemdir. Kesin

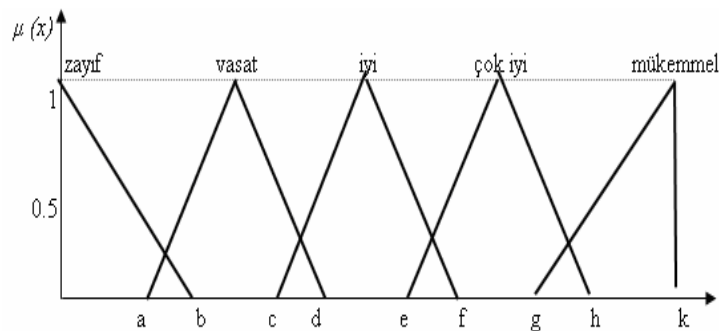
olarak belirli olan verileri ifade etmek için gerçek sayılar kullanılır. Ancak veriler belirli olmadığında ve sayısal değerler yerine dilsel değişkenlerle ifade edildiğinde bu verilerin belirli bir kural tabanına bağlı olarak sayısal bir forma dönüştürülmesi gerekir. Bulanık küme teorisi bu aşamada kullanılacak önemli bir araçtır. Şekil 3’te sayısal olmayan faktörlerin sayısallaştırılması için literatürde sıklıkla kullanılan dilsel değişkenlere ait üyelik fonksiyonlarının şematik yapısı gösterilmiştir [16].

Aksiyomatik tasarımda, fonksiyonel ihtiyaçların sistem ve tasarım aralıkları her zaman belirli bir aralıkla ifade edilemez. Belli bir değer üstünde ya da bir değere yaklaşık olarak ifade edilebilir ve bu değerler üçgensel ya da yamuksal bulanık sayılarla gösterilebilir.

Bulanık Aksiyomatik Tasarımda aralık değerleri dilsel olarak verildiğinde olasılık yoğunluk fonksiyonunun belirli olduğu durumda üçgensel yada yamuksal bulanık üyelik fonksiyonları kullanılır. Dolayısıyla ortak alan, üçgensel yada yamuksal bulanık sayıların kesiştiği bölgedir. Şekil 4’de görüldüğü gibi, ortak alan sistem aralığının bulanık üçgensel alanı ile tasarım aralığının bulanık üçgensel alanının arasındaki kesişim bölgesidir.



Şekil 4. Sistem ve tasarım aralıklarının ortak alanı (The common range of system and design ranges.)



Şekil 3. Fiziksel olmayan faktörler için sayısal gösterim (The numerical representation for intangible factors.)

Buradan hareketle bilgi içeriği Eşitlik 7 ile hesaplanır [26]:

$$I = \log_2 \left(\frac{\text{Sistem tasarımının üçgen bulanık kalanı}}{\text{Ortakalan}} \right) \quad (7)$$

2.3. Ağırlıklı Bulanık Aksiyomatik Tasarım (Weighted Fuzzy Axiomatic Design)

Önceki bölümde bilgi içerikleri hesaplanırken her kriterin ağırlığı eşit olarak kabul edilmiştir. Ancak her bir kriter farklı bir ağırlık değerine (w_j) sahip olduğunda bilgi içeriklerini hesaplamak için mevcut formülasyonlara ek olarak Eşitlik 8’de verilen ifade kullanılır ve bu yapı “Ağırlıklı Bulanık Aksiyomatik Tasarım” yaklaşımı olarak adlandırılır [16].

$$\left\{ \begin{array}{l} \left[\log_2 \left(\frac{1}{p_{ij}} \right) \right]^{1/w_j}, \quad 0 \leq I_{ij} \leq 1 \\ \left[\log_2 \left(\frac{1}{p_{ij}} \right) \right]^{w_j}, \quad I_{ij} \geq 1 \\ w_j, \quad I_{ij} = 1 \end{array} \right. \quad (8)$$

3. BİR BEYAZ EŞYA ÜRETİCİSİ İÇİN TEDARİKÇİ SEÇİMİ (SUPPLIER SELECTION FOR A WHITE-GOOD MANUFACTURER)

Bu çalışmada beyaz eşya üreticisi bir firmanın kullandığı kritik bir parça için tedarikçi seçimi problemi ele alınmış ve bulanık AD yöntemi ile bir tedarikçi seçimi modeli geliştirilmiştir. Çalışmada ilk olarak tedarikçi firma seçim sürecini etkileyen kriterler belirlenmiş ve bu aşamada işletme içinden konu ile ilgili bir grup ile birlikte çalışılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda işletme için tedarikçi firma seçimini etkileyen en önemli 6 kriter belirlenmiştir. Bunlar:

1. *Fiyat*: Tedarik edilen parçanın maliyetini ifade eder.
2. *Hata Oranı*: Tedarikçi firmadan sağlanan parçanın 100 br. deki hatalı ürün sayısını ifade eder.
3. *Teslim Süresi*: Talep edilen parçanın siparişten sonra firmaya ulaşımına kadar geçen süreyi ifade eder.

4. *Teknik yeterlik*: Talep edilen parçanın istenilen özelliklere ve standartlara uygun üretilmesini ifade eder.

5. *Esneklik*: Aynı malzemeden farklı ürün talebine tedarikçi firmanın cevap verebilme yeteneğini ifade eder.

6. *Firmanın Geçmiş Performansı*: Tedarikçinin diğer kriterler göz önüne alınarak sergilemiş olduğu geçmiş performansını ifade eder.

Bu kriterler doğrultusunda en iyi tedarikçi firmayı belirlemek için, Bulanık AD yaklaşımı ve kriterlerin ağırlıklandırıldığı durum göz önüne alınarak Ağırlıklı Bulanık AD yaklaşımı kullanılmıştır.

3.1. Bulanık AD Uygulaması (The application of fuzzy AD Approach)

Aksiyomatik tasarımın Bilgi Aksiyomunu uygulamak için öncelikle Aksiyomatik tasarımın Bağımsızlık aksiyomunun sağlanması gerekir. Bu çalışmada alternatifler için sağlanması gereken fonksiyonel ihtiyaçlar olan yani belirlenen kriterler birbirinden bağımsızdır. Her bir alternatifin sahip olduğu bilgi içeriğinin hesaplanabilmesi için fonksiyonel ihtiyaçların (Fİ) tasarım aralıklarının belirlenmesi gerekir. Bu amaçla çalışma grubu ile birlikte yapılan çalışma sonucunda belirlenen tasarım aralıkları (kısıtlar) Tablo 1’de verilmiştir.

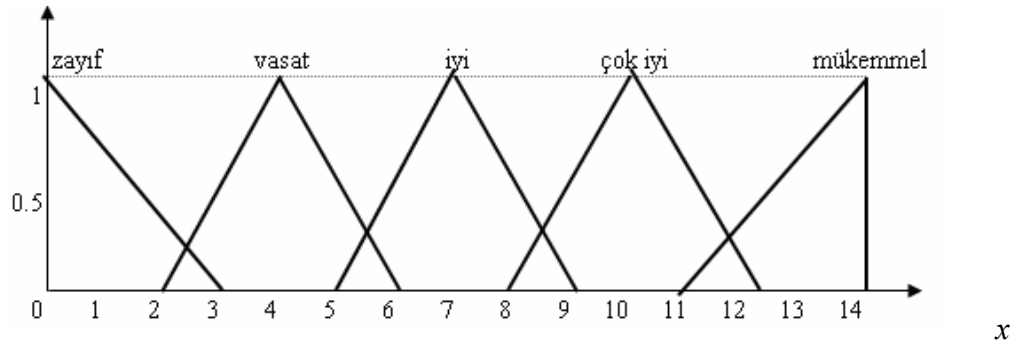
Tablo 1. Firma yöneticilerinin belirlediği tasarım aralık verisi. (Design range data determined by the company managers.)

Kriterler (fonksiyonel ihtiyaç)	Tasarım Aralığı
Fiyat (F)	parçanın maliyeti 10-15 br aralığında olmalıdır.
Hata Oranı (HO)	%5 den fazla olamaz.
Teslim Süresi (TS)	3-6 gün içinde teslim edilmelidir.
Teknik Yeterlik (TY)	5: (5,14,14) aralığında olmalıdır.
Esneklik (E)	4: (4,14,14) aralığında olmalıdır.
Geçmiş Performans (GP)	7: (7,10,14) aralığında olmalıdır.

Alternatif tedarikçi firmaların, firma yöneticileri tarafından belirlenmiş kriterler için gerçekleştirildikleri sistem aralıkları Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Tedarikçi firmalar için sistem aralık verisi (System range data for the supplier firms.)

Firma	Fiyat	Hata oranı	Teslim süresi	Teknik yeterlik	Esneklik	Geçmiş perf.
1	8-11	% 4-6	2-5	iyi	zayıf	vasat
2	11-16	% 3-7	1-4	vasat	çok iyi	iyi
3	9-14	% 2-4	3-7	çok iyi	vasat	zayıf
4	10-13	% 3-6	4-8	iyi	iyi	çok iyi
5	9-12	%1-8	1-5	mükemmel	vasat	mükemmel

**Şekil 5.** Sayısal olmayan kriterler için üçgenel bulanık sayılar (Triangular fuzzy numbers for intangible factors)

Eşitlik 3 ve Eşitlik 7 kullanılarak her tedarikçi firmaya ait bilgi içerikleri hesaplanabilir. Örneğin Firma 1 için fiyat kriterinin bilgi içeriği Eşitlik 3'ten Şekil 6'da verilen Firma 1'in Fiyat kriteri için belirlenen aralıklarına bakılarak şu şekilde hesaplanır:

$$I_{F1} = \log_2 \left(\frac{11-8}{11-10} \right) = \log_2 3 = 1,584$$

Teknik yeterlik kriteri için dilsel değişkenlerle "iyi" olarak ifade edilen Firma 1'e ait bilgi içeriği Eşitlik 7 ve Şekil 7 yardımıyla hesaplanabilir. (ABC) üçgeninin alanı, tasarım aralığı ile sistemin alanı arasındaki ortak alanı ifade eder. Buna göre, ABC üçgeninin köşe noktalarının koordinatları bulunarak ortak alan aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$A (5;0), B (9/11; 4/11), C (9;0)$$

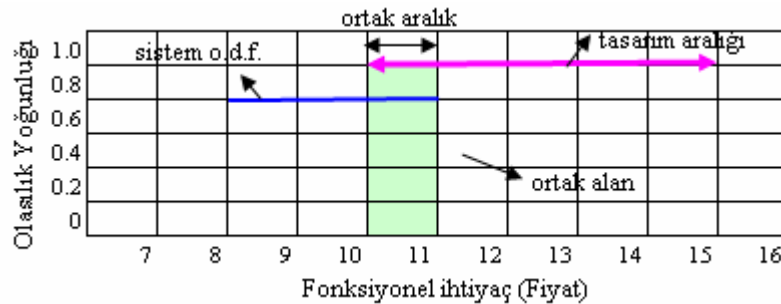
$$Ortak\ alan = A \left(\overset{\Delta}{ABC} \right) = \left[(9-5) \times \left(\frac{4}{11} \right) \right] \times \frac{1}{2} = \frac{8}{11}$$

$$I_{TY1} = \log_2 \left(\frac{(9-5) \times 1/2}{\frac{8}{11}} \right) = 1,46$$

Diğer alternatif firmalar içinde benzer hesaplamalar yapılmış ve fonksiyonel ihtiyaçlar için belirlenen bilgi içerikleri Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3'deki sonuçlar incelendiğinde, son sütunda yer alan bilgi içerikleri toplamlarından en düşük değere sahip olan 4. firma tercih edilir.

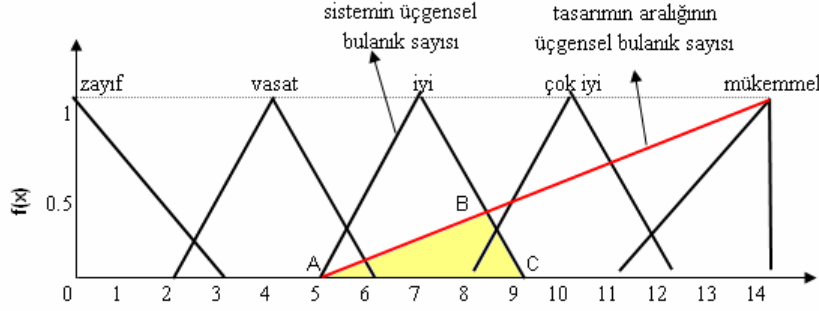
AD yaklaşımı çözümde yöneticiler tarafından belirlenen tasarım aralıklarını kullandığı için bir alternatifin seçilebilmesi için öncelikle tasarım aralığı içerisinde olması gereklidir. AD yaklaşımının diğer çok ölçütlü karar verme yöntemlerinden ayrılan en

**Şekil 6.** Firma 1'in fiyat kriteri için sistem, tasarım ve ortak aralıkları (System, design and common ranges of the Supplier Firm 1 for price criteria)

önemi özelliği, herhangi bir kriter için tasarım aralığını sağlamayan alternatif firmayı reddetmesidir.

$$0 \leq I_{IF} = 0,585 \leq 1 \text{ olduğundan,}$$

$$I_{IF} = (0,585)^{(1/0,224)} = 0,091$$



Şekil 7. Firma 1'in teknik yeterlik kriteri için bulanık sistem ve tasarım aralıklarının ortak alanı (The common area of fuzzy system and design ranges of the Firm 1 for technical availability)

Tablo 3. Firmalar için bilgi içeriği sonuçları (The results of information contents for supplier firms)

Firma	I_F	I_{HO}	I_{TS}	I_{TY}	I_E	I_{GP}	ΣI
1	0,585	1,000	0,585	1,460	sonsuz	0,807	sonsuz
2	0,322	1,000	1,580	5,460	0,525	0,000	8,887
3	0,322	0,000	0,415	0,333	3,580	4,580	9,230
4	0,000	0,585	1,000	1,460	0,565	1,600	5,210*
5	0,585	0,807	1,000	0,000	3,580	2,150	8,122

Firma 1 esneklik kriterini sağlamadığı için elenmiştir.

3.2. Ağırlıklı Bulanık AD Uygulaması (The Application of Weighted Fuzzy AD Approach)

Karar verme aşamasında kullanılan kriterlerin eşit öneme sahip olmayıp önem derecelerinin birbirinden farklı olduğu durumlarda Ağırlıklı Bulanık AD yaklaşımı kullanılabilir. Bu yaklaşımda yapılması gereken ilk iş kriterlerin ağırlık değerlerinin belirlenmesidir. Bu amaçla bu çalışmada Saaty [28] tarafından önerilen 1-9 önem skalası kullanılmış ve düzenlenen ikili karşılaştırma matrisi Saaty tarafından önerilen öz vektör yöntemi ile analiz edilerek kriterlere ilişkin ağırlık değerleri belirlenmiştir. Düzenlenen ikili karşılaştırma matrisi, hesaplanan ağırlık değerleri ile birlikte Tablo 4'de verilmiştir.

Eşitlik 8'den Firma 1'in; tüm kriterler için bilgi içerikleri aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$I_{HO} = 1 \text{ olduğundan, } I_{HO} = w_{HO} = 0,425$$

$$I_{ITS} = 0,585 \leq 1 \text{ olduğundan,}$$

$$I_{ITS} = (0,585)^{(1/0,151)} = 0,028$$

$$I_{ITY} = 1,46 \geq 1 \text{ olduğundan,}$$

$$I_{ITY} = (1,46)^{0,07} = 1,026$$

$$I_{IE} = \text{sonsuz}$$

$$I_{IGP} = 0,807 \leq 1 \text{ olduğundan,}$$

$$I_{IGP} = (0,807)^{(1/0,054)} = 0,018$$

Diğer alternatif tedarikçi firmalar içinde aynı hesaplamalar yapılmış ve elde edilen sonuçlar Tablo 5'de verilmiştir.

Tablo 5'de verilen sonuçlar incelendiğinde bilgi içerikleri toplamı minimum olan Firma 3 en iyi alternatif olarak belirlenir.

Bulanık AD ve ağırlıklı bulanık AD ile elde edilen sonuçlar Tablo 6'da özetlenmiştir.

Tablo 6'da verilen sonuçlar incelendiğinde en iyi

Tablo 4. Kriterler için ikili karşılaştırma matrisi ve ağırlık değerleri (Comparison matrix for criteria and their weights)

Kriterler	F	HO	TS	TY	E	GP	Ağırlıklar (w_i)
F	1	1/3	2	4	3	6	0,224
HO	3	1	4	5	5	7	0,425
TS	1/2	1/4	1	3	2	5	0,151
TY	1/4	1/5	1/3	1	2	1/2	0,070
E	1/3	1/5	1/2	1/2	1	3	0,077
GP	1/6	1/7	1/5	2	1/3	1	0,054

Tablo 5. Ağırlıklı bulanık AD yaklaşımı ile elde edilen sonuçlar (The results obtained with weighted fuzzy AD approach)

	I_F	I_{HO}	I_{TS}	I_{TY}	I_E	I_{GP}	ΣI
1	0,091	0,425	0,028	1,026	sonsuz	0,018	sonsuz
2	0,006	0,425	1,070	1,120	0,00023	0,000	2,621
3	0,006	0,000	0,003	$1,5 \cdot 10^{-7}$	1,103	1,085	2,197*
4	0,000	0,283	0,151	1,026	0,001	1,025	2,486
5	0,091	0,603	0,151	0,000	1,103	1,042	2,990

tedarikçinin ve sıralamanın önemli ölçüde değiştiği görülmektedir. Bu sonuçtan hareketle, kriter ağırlıklarının dikkate alınmasının sonuç üzerinde

önemli bir etkiye sahip olduğu söylenebilir. Firma 1 ise her iki yaklaşımda da esneklik açısından elenmiştir.

Tablo 6. Bulanık AD ve ağırlıklı bulanık AD yöntemleri ile elde edilen sonuçlar (The results obtained with fuzzy AD and weighted fuzzy AD approaches)

Firmalar	Bulanık AD	Ağırlıklı Bulanık AD
1	Elendi	Elendi
2	3. öncelikli	3. öncelikli
3	4. öncelikli	1. öncelikli
4	1. öncelikli	2. öncelikli
5	2. öncelikli	4. öncelikli

4. SONUÇ (CONCLUSIONS)

Tedarik zincirinin etkin yönetimi için zincirin en önemli elemanı olan tedarikçilerin seçimi önemli bir problem teşkil etmektedir. Genellikle tedarikçi seçim problemleri, belirsiz ve kesin olmayan verilere bağlıdır. Tedarikçi değerlendirme sürecinde performans değerleri sayısal olarak ifade edilemediğinde dilsel değişkenleri kullanmak gerekebilir.

Bu çalışmada, nitel ve nicel performans ölçütlerini birlikte değerlendirebilmek için Bulanık AD tekniği kullanılmıştır. Buna göre firma yöneticileri, alternatiflerin karşılaması gereken fonksiyonel ihtiyaçlar (kriterler) için tasarım aralıklarını belirlemiştir. Kriterlerden teknik yeterlik, esneklik ve geçmiş performans kriterleri dilsel değişkenlerle ifade edilmiştir. Bu kriterlerin sistem ve tasarım aralıklarını sayısal olarak ifade edebilmek için üçgensel bulanık sayılar kullanılmıştır. Minimum bilgi içeriğine sahip firmayı bulmak için, alternatiflerin her bir kriter (F_i) için gerçekleştirdikleri sistem aralıkları tespit edilip, her firmaya ait bilgi içerikleri hesaplanmıştır. Daha sonra aynı sistem ve tasarım aralıklarıyla kriterlerin ağırlıklı olduğu durum göz önüne alınarak bilgi içerikleri yeniden hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçların kriterlerin ağırlıklarının eşit alındığı durumdan daha farklı olduğu görülmüştür.

SEMBOLLER (LIST OF SYMBOLS)

I	Bilgi içeriği
p	Fonksiyonel ihtiyacı gerçekleştirme olasılığı
dr	Tasarım aralığı
s_r	Sistem aralığı
c_r	Ortak alan
A_{sr}	Sistem aralığının altındaki alan
A_{cr}	Ortak aralığın altındaki alan
w_j	j kriterinin ağırlığı
p_{ij}	i .firmanın j kriterini (fonksiyonel ihtiyacı) gerçekleştirme olasılığı
I_{ij}	i .firmanın j kriteri için elde edilen bilgi içeriği
I_{iF}	i .firmanın Fiyat kriteri için elde edilen bilgi içeriği
I_{iHO}	i .firmanın Hata Oranı kriteri için elde edilen bilgi içeriği
I_{ITS}	i .firmanın Teslim Süresi kriteri için elde edilen bilgi içeriği
I_{ITY}	i .firmanın Teknik Yeterlik kriteri için elde edilen bilgi içeriği
I_{iE}	i .firmanın Esneklik kriteri için elde edilen bilgi içeriği
I_{iGP}	i .firmanın Geçmiş Performans kriteri için elde edilen bilgi içeriği

Kısaltmalar (Abbreviations)

AD	Aksiyomatik Tasarım (Axiomatic Design)
Fİ	Fonksiyonel ihtiyaçlar
DP	Tasarım parametresi

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- Dickson, G., "An analysis of vendor selection systems and decisions", **Journal of Purchasing**, Cilt 2, 28-41, 1966.
- Weber, C.A., Current, J.R., Benton, W.C., "Vendor selection criteria and methods", **European Journal of Operational Research**, Cilt 50, 2-18, 1991.
- Wilson, E., "The relative importance of supplier selection criteria: a review and update", **International Journal of Purchasing and Material Management**, Cilt 30, No: 3, 35-41, 1994.
- Verma, R., Pullman, M., "An analysis of the supplier selection process", **International Journal of Management Science**, Cilt 26, No:6, 739-750, 1998.

5. Nydick, R.L., Hill, R.P., "Using the AHP to Structure the Supplier Selection Procedure", **International Journal of Purchasing and Materials Management**, Cilt 28, No:2, 31–36,1992.
6. Barbarosoglu, G., Yazgac, T., "An application of the AHP to the supplier selection problem", **Production and Inventory Management Journal**, 15–21,1997.
7. Yahya, S., Kingsman, B., "Vendor rating for an entrepreneur development programme: a case study using the analytic hierarchy process method", **Journal of Operational Research Society**, Cilt 50, 916–930, 1999.
8. Sarkis, J., Talluri, S., "A model for strategic supplier selection", **In: Proceedings of the 9th international IPSERA Conference.**, Richard Ivey Business School, London, Ontario, 652–661, 2000.
9. Schnetzler, M.,J., Sennheiser, A., Schönsleben, P.S., "A decomposition-based approach for the development of a supply chain strategy", **International Journal of Production Economics**, basımda.
10. Bevilacqua, M., Ciarapica, F.E., Giacchetta, G., "A fuzzy-QFD approach to supplier selection", **Journal of Purchasing & Supply Management**, Cilt 12, 14–27, 2006.
11. Chen, C-T., Lin, C-T., Huang, S-F, "A fuzzy approach for supplier evaluation and selection in supply chain management", **International Journal of Production Economics**, Cilt 102, 289–301, 2006.
12. Liao, Z., Rittscher, J., "A multi-objective supplier selection model under stochastic demand conditions", **International Journal of Production Economics**, basımda.
13. Ghodspour, S.H., O'Brien, C., "Decision support system for supplier selection using an integrated analytic hierarchy process and linear programming", **International Journal of Production Economics**, Cilt 56–57, 199–212, 1998.
14. Wang, G., Huang, S.H., Dismukes, J.P., "Product-driven supply chain selection using integrated multi-criteria decision-making methodology", **International Journal of Production Economics**, Cilt 91, 1–15, 2004.
15. Dağdeviren, M., Eren, T., "Tedarikçi firma seçiminde Analitik Hiyerarşi Prosesi ve 0-1 Hedef Programlama Yöntemlerinin kullanılması", **Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık fakültesi Dergisi**, Cilt 16, No:2, 41-52, 2001.
16. Kulak, O., Kahraman, C., "Fuzzy multi-attribute selection among transportation companies using axiomatic design and analytic hierarchy process", **Information Sciences**, Cilt 170, 191–210, 2005.
17. Suh, N.P., **The Principles of Design**. Oxford University Press, New York, 1990.
18. S.J. Kim, N.P. Suh, S. Kim, "Design of software systems based on AD", **Robotics & Computer-Integrated Manufacturing**, Cilt 8, No: 4, 243–255, 1991.
19. N.P. Suh, "Designing-in of quality through axiomatic design", **IEEE Transactions on Reliability**, Cilt 44, No:2, 256–264, 1995.
20. Suh, N.P., Cochran, D.S., C.L. Paulo, "Manufacturing system design", **Annals of the CIRP**, Cilt 47, No:2, 627–639, 1998.
21. Babic, B., "Axiomatic design of flexible manufacturing systems", **International Journal of Production Research**, Cilt 37, No:5, 1159–1173, 1999.
22. Kulak O., Durmuşoğlu, M.B., "Hücreli üretim sistemleri tasarımı için aksiyomlarla tasarım prensiplerine dayalı bütünsel bir yöntem", **İTÜ Mühendislik Dergisi**, Cilt 3, No:6, 33-46, 2004.
23. Helander M. G., Lin L., "Axiomatic design in ergonomics and an extension of the information axiom", **Journal of Engineering Design**, Cilt 13, No: 4, 321–339, 2002.
24. Kulak O., Durmuşoğlu, M.B., Kahraman, C., "Fuzzy multi-attribute equipment selection based on information axiom", **Journal of Materials Processing Technology**, Cilt 169, 337–345, 2005.
25. Kulak O., Kahraman, C., "Multi-attribute comparison of advanced manufacturing systems using fuzzy vs. crisp axiomatic design approach", **International Journal of Production Economics**, Cilt 95, 415-424, 2005.
26. Suh, N.P., **Axiomatic Design—Advances and Applications**, Oxford University Press, New York, 2001.
27. Suh, N.P., "Axiomatic Design Theory for Systems", **Research in Engineering Design** Cilt 10, 189–209, 1998.
28. Saaty, T., **The Analytic Hierarchy Process**, McGraw-Hill International Book Company, USA, 1980.