**ALTI SİGMA PROJELERİNİN BULANIK COPRAS YÖNTEMİYLE DEĞERLENDİRİLMESİ: BİR ÜRETİM İŞLETMESİ ÖRNEĞİ[[1]](#footnote-1)**

**Engin ÇAKIR[[2]](#footnote-2)**

**Muhsin ÖZDEMİR[[3]](#footnote-3)**

ÖZET

*Üretim ve hizmet sektöründe geniş bir kullanım alanı olan altı sigma yöntemi, özellikle projeye dayalı süreç iyileştirmelere odaklanmaktadır. İşletmelerde belirlenen problemleri ortadan kaldırmayı amaçlayan altı sigma projeleri arasından, öncelikli olarak ele alınacak projenin seçimi çok kriterli bir karar verme problemidir. İşletmelerin karar organı olan üst kademe yöneticileri birçok kriteri dikkate alarak projeleri değerlendirmekte ve bu değerlendirmelere bağlı kalarak altı sigma projelerini seçmektedirler. Bu çalışmanın amacı, karar vericilerin seçim yapmakta zorlandıkları altı sigma projelerinin bulanıklaştırılmış çok kriterli karar verme tekniklerinden bulanık COPRAS (COmplex PRoportional ASsesment – Karmaşık Nisbi Değerlendirme) yöntemiyle değerlendirilmesi ve en iyi projenin seçilmesidir.*

*Yöntem Aydın ASTİM Organize Sanayi Bölgesi’nde faaliyet gösteren bir üretim işletmesinde uygulanmıştır. İşletmedeki üst düzey yöneticilerin önerileri ile hataları minimize ederek işletmeye katkı sağlayabilecek 11 altı sigma projesinin değerlendirmeye alınması uygun bulunmuştur. Bu projelerin değerlendirilmesi için 15 kriter belirlenmiş, belirlenen bu kriterler bulanık AHP (Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi) yöntemi ile ağırlıklandırılmış ve her bir altı sigma projesi bulanık COPRAS yöntemiyle değerlendirilerek, en uygun altı sigma projesi seçilmiştir.*

***Anahtar Kelimeler:*** *Altı Sigma Projeleri, Proje Değerlendirme, Bulanık COPRAS, Bulanık AHP**.*

SIX SIGMA PROJECTS EVALUATION USING FUZZY COPRAS METHOD: A CASE OF MANUFACTURING COMPANY

ABSTRACT

*Six sigma method, which is commonly used in industry and service sector, focuses particularly on process improvement projects. Primarily, a multi-criteria decision-making problem is chosen from six sigma projects. A decision making body comprised of senior executives takes into consideration many criteria in order to evaluate and select six sigma projects. This study aims at evaluating six sigma projects by using fuzzy COPRAS (Complex Proportional Assessment) method, which is a method of fuzzy multi-criteria decision-making, for selection of the best project.*

*This method has been implemented in a manufacturing company in Aydın ASTİM Organised Industrial Zone. 11 six sigma projects have been found suitable for evaluation with suggestion of senior executives that would contribute to loss minimization in company. Furthermore, 15 evaluation criteria related to these projects have been identified and weighted by fuzzy AHP (fuzzy analytic hierarchy process) method. Finally, each project has been evaluated by using fuzzy COPRAS method and the most appropriate six sigma project has been selected.*

***Keywords:*** *Six Sigma Projects, Project Evaluation, Fuzzy COPRAS, Fuzzy AHP.*

# GİRİŞ

İnsanlığın varoluşundan bugüne kadar karar verme süreci, seçeneklerin çok sayıda olmasından dolayı karmaşık bir yapıya sahiptir. Karar verme sürecinde insan beyni öznel değerlerden faydalanmaktadır. Toplum bilimci Aristo’nun ortaya koyduğu gibi “bilgi doğuştan akılda yoktur, ama akıl bilgiyi üretecek kapasitedir”. Dolayısıyla akıl ve düşünce sisteminin ilk aşamaları bulanıktır. Bu aşamada Aristo’nun insan doğası gereği, klasik işlevsel yapısının aksine bulanık mantık, içinde bulunulan belirsizliğe çözüm önerileri sunmaktadır. Bu doğrultuda çok kriterli karar verme tekniklerinin katkı sağlayıcı unsurlarını maksimize etmeye yönelik olarak, bulanık mantık ile bütünleştirilmesi karar vermede etkinliği daha da arttırmaktadır. Bunlar “bulanık çok kriterli karar verme teknikleri” olarak literatürde yer almış ve proje seçimi gibi birçok çalışmada da kullanılmıştır.

Kalite iyileştirme yöntemi olan altı sigma, son yıllarda işletmeler tarafından tercih edilmektedir. Altı sigma yöntemi proje odaklı yapısı ile tek bir hedef için çalışmaktadır. Bu sebeple en doğru projenin en doğru zamanda seçilmesi gerekmektedir. Altı sigma projelerinin seçiminde belirsizliklerin çok olması, literatürde kullanılmakta olan mevcut proje seçim yöntemlerinin yetersiz kalmasına neden olmaktadır. Bu çalışmada, en uygun altı sigma projelerinin seçimi için belirsizlik ortamında karar vermede etkili olan bulanık mantık yöntemi tercih edilmiştir. Zadeh (1965)’in öncülüğünü yaptığı bulanık mantık, bugüne kadar birçok çalışmada ve uygulamada kullanılmış, özellikle mühendislik alanında başarılı sonuçlar vermiştir. Son yıllarda sosyal bilimler alanında da uygulamalara yer verilmesi, o alandaki araştırmacıları bulanık mantık ve onun türevi bulanık çok kriterli karar verme teknikleri konusunda çalışma yapmaya yönlendirmiştir.

Bu çalışma Aydın ASTİM Organize Sanayi Bölgesi’nde santrifüj ürünleri üreten HAUS firmasında uygulanmıştır. HAUS firmasının 11 çeşit ürününden en çok satışı yapılan 353 serisi dekantörlere odaklanılmıştır. Karar vericilerle görüşme sağlanarak, 353 serisi dekantörler ve ona bağlı üretim sahası ile ilgili projeler belirlenmiştir. Projelerin değerlendirilmesi, yöntemlerin dayanağı olan kriterler ve bu kriterlerin ağırlıkları yardımıyla mümkün olabilmektedir. Kriterlerin ağırlıklarını belirlemede bulanık AHP yönteminden yararlanılmıştır. Her bir proje, karar vericiler tarafından kriterler göz önüne alınarak sözel değişkenler ile değerlendirilmiştir. Her bir karar vericiye ait sözel değişkenler bulanık üçgensel sayılara dönüştürülmüş, daha sonra tek bir karar matrisi oluşturulabilmesi için karar verici ağırlıkları da dikkate alınarak birleştirme işlemi yapılmıştır. Böylece tüm karar vericilere ait tek bir bulanık karar matrisi elde edilmiştir. Birleştirilmiş bulanık karar matrisi bulanık COPRAS yöntemi ile değerlendirilmiş ve sıralamadaki en iyi skora sahip olan altı sigma projesinin öncelikle hayata geçirilmesi gerektiği üst yönetime bildirilmiştir.

# ÇALIŞMANIN AMACI VE YÖNTEMİ

## Çalışmanın Amacı

Altı sigma; “Tanımlama, Ölçme, Analiz, İyileştirme ve Kontrol” aşamalarından oluşur. Ancak, bu aşamalara geçmeden önce yapılması gereken ilk iş, doğru projenin seçimidir. Altı sigma uygulayan birçok işletmede, altı sigma projeleri başarısızlıkla sonuçlanmakta ve bu durum üst yönetimi altı sigma felsefesinden vazgeçmeye kadar götürebilmektedir. Hâlbuki doğru yöntemlerle seçilmiş ve zamanında hayata geçirilmiş altı sigma projeleri başarının en önemli aşamasıdır. Bu çalışmada amaç, en uygun altı sigma projesinin bulanık AHP yöntemiyle bütünleştirilmiş bulanık COPRAS yöntemi ile bulunması ve üst yönetime önerilmesidir.

## Çalışmanın Yöntemi

Çalışmanın temeli olan “***işletmeye en yüksek katkıyı sağlayacak altı sigma projesinin seçilebilmesi***” için aşamalar aşağıda gibi sıralanmıştır:

***Aşama 1 – Karar Verici Ağırlıklarının Belirlenmesi***

Karar vericilerin kimler olduğu ve karar vericilerin ağırlıklarını hesaplayabilmek için “Karar Verici Değerlendirme Komitesi” (KVDK) fabrika müdürü tarafından oluşturulmuştur. KVDK üyelerine karar vericilerin kararlardaki etki düzeylerini belirlemek için birebir anket uygulanarak; bulanık üyelik fonksiyonlarına ulaşılmış, her bir KVDK üyesinin karar matrisi birleştirilerek, tek bir karar matrisi haline getirilmiştir. Ardından En İyi Sayı Değeri yöntemi ile durulaştırma işlemi uygulanarak, kesin değerler elde edilmiş; kesin değerlerin normalizasyon işleminin ardından her bir karar verici için ağırlıklar ortaya konulmuştur.

***Aşama 2 – Kriter Ağırlıklarının Belirlenmesi***

Öncelikle literatürdeki kriterler ortaya konulmuş ve bu doğrultuda 353 serisi dekantörle ilgili projeleri değerlendirmede kullanılacak kriterler belirlenmiştir. Daha sonra bulanık AHP yöntemine ait sözel değişkenler belirlenmiş; anket yardımıyla her bir karar vericinin kriterleri değerlendirmeleri sağlanmıştır. Karar vericilerin vermiş oldukları cevaplar üçgensel bulanık sayılara dönüştürülerek, karar verici ağırlıkları da göz önünde bulundurularak, tek bir karar matrisi olacak şekilde birleştirilmiştir. Son olarak da Chang (1996)’in genişletilmiş sentetik analizi yöntemi ile kriter ağırlıkları tespit edilmiştir.

***Aşama 3 – Projelerin Değerlendirilmesi***

Karar vericilerle görüşülerek 353 serisi dekantörler ve ona bağlı üretim sahası ile ilgili projeler ortaya konulmuştur. Bulanık COPRAS için kullanılacak sözel değişkenler belirlenerek; karar vericilere, her bir proje için kriterlere göre değerlendirme yapmaları için anket uygulanmıştır. Her bir karar verici için elde edilen bulanık üçgensel sayılardan tek bir karar matrisi elde edilebilmesi için, karar verici ağırlıkları da dikkate alınarak birleştirme işlemi yapılmıştır. Değerlendirmenin ardından projeler önceliklere göre sıralanmıştır.

# BULANIK ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME

Yöneticilerin en temel problemi, doğru ve zamanında karar vermektir. İşletmelerde alt, orta ve üst kademe yöneticileri, kısa, orta ve uzun dönemde stratejik, taktik ve operasyonel birçok karar vermek durumundadır. Doğru ve zamanında karar verebilmek işletmeye önemli avantajlar sağlar. Ancak bu kararların alınması o kadar kolay olmayabilir. Bu konuda yöneticilerin eğitim, tecrübe ve danıştığı çevrelerinin yanında karar vermede kullandıkları yöntemleri doğru seçmesi ve uygulaması da oldukça önemlidir (Gavcar vd., 2011: 14–15).

Karar verme, karar organının değişik seçeneklerle karşı karşıya bulunduğu durumlarda bu seçenekler arasından amaca en uygun olanını seçmedir (Tekin, 2008: 20). Bir kararın iyi veya kötü olması, erişilebilen verilere, muhtemel alternatiflere ve karar vermek için kullanılan yol/yöntem/kriterlere bağlıdır (Timor, 2010: 1). Karar verme süreci ise, Şekil 1’de özetlenen adımlar izlenerek yürütülür (Erdem, 2013: 18; Hillier ve Lieberman, 2001: 749–752):



Şekil 1. Karar Verme Süreci

Günümüzde gerek bireysel, gerekse daha büyük ölçekli kararlar almak zorunda olan insanlar, aldıkları kararlarda birden fazla kriteri dikkate alarak hareket etmek durumundadır. Çok kriterli karar verme yönetim, matematik, psikoloji, enformatik, ekonomi ve sosyal bilimler gibi birden çok disiplinin bir araya gelip karar alıcıya birden fazla boyutla karar problemini değerlendirme ve karar alma imkânı sağlayan yöntemlerin bir araya getirildiği bir yapıdır (Yıldırım ve Önder, 2014: 15).

Çok kriterli karar verme tekniklerinin, belirsizlik durumlarına çözüm olan bulanık mantık ilkeleri ile bütünleştirilmesi sonucu karar almada yeni yöntemlerin ortaya çıkmasını sağlamıştır. Literatürde çok sayıda bulanık çok kriterli karar verme yöntemine rastlamak mümkündür. Bu çalışmada bulanık ÇKKV yöntemlerinden bulanık AHP ve bulanık COPRAS yöntemleri tercih edilmiştir.

## Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi Yöntemi

Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP), karmaşık karar problemlerinde, karar alternatiflerine ve kriterlerine göreceli önem değerleri verilmek suretiyle yönetsel karar mekanizmasının çalıştırılması esasına dayanan bir karar verme işlemidir (Saaty ve Vargas, 2012: 1; Timor, 2010: 302, 2011: 29). Çok kriterli karar verme yöntemlerinden biri olan AHP, ilk olarak Thomas L. Saaty tarafından geliştirilmiştir (Teknomo, 2014: 8). AHP, karar seçeneklerini derecelendiren ve karar vericinin birden fazla hedef ya da kriteri olduğunda, en iyi olanı seçmesini sağlayan bir yöntemdir. Bu özelliklerinden dolayı AHP, kantitatif ve kalitatif bilginin birlikte değerlendirilmesini gerektiren çeşitli disiplinlerde geniş bir uygulama alanı bulmuştur (Erdem ve Kavrukkoca, 2002: 2).

Çok kriterli karar verme problemlerinde sayısal ve sayısal olmayan ölçütleri ele almada AHP’nin tutarlılığına rağmen, karar vericinin yargıları, bulanıklığı ve belirsizliği, geleneksel AHP yönteminde karar vericinin kesin olmayan yargılarını da değerlendirmeye katmaktadır (Sheu, 2004: 45). Bu sebeple bulanık AHP yöntemi, AHP yöntemine kıyasla çok daha başarılı sonuçlar elde etmektedir.

Bu çalışmada, bulanık AHP uygulamalarında sıklıkla kullanılan Chang (1996)’in Genişletilmiş Analiz Yöntemi kullanılmıştır. Genişletilmiş Analiz Yönteminin adımları ise aşağıdaki gibi sıralanmaktadır (Chang, 1996: 650–651):

***Adım 1:*** *n* sayıda kriter (*K*) ve *k*arar vericiler (*kv*) belirlenir.

***Adım 2:*** Kriterler için sözel değişkenler ve bulanık karşılıklar tanımlanır. Tüm karar vericilerin sözel değişkenleri kullanarak, kriterleri ikili karşılaştırma yöntemi ile değerlendirme yapması sağlanır. Daha sonra bu sözel değişkenler her bir karar verici için ayrı ayrı bulanık üçgensel sayılara dönüştürülerek matrislere ulaşılır. , *s*. karar vericinin *i* kriteri ile *j.* kriterinin ikili karşılaştırma değerini gösterir.

|  |  |
| --- | --- |
| 2015-10-26 11-55-21 cakir_ozdemir_makale_2015-10-25 | (1) |

***Adım 3:*** Karar vericilerin önem düzeyleri eşit tutulduğu durumlarda;  
 , birleştirilmiş üyelik fonksiyonu ve , *s*. karar vericinin ikili karşılaştırma sonucu elde edilen bulanık üçgensel sayılar olmak üzere, karar vericilerin ikili karşılaştırma matrisleri aşağıdaki eşitlikler yardımıyla birleştirilir.

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2) |

Her bir karar vericinin (*kv*) bulunduğu pozisyon gereği kararlarda farklı etkide olması istenebilir. Farklı önem düzeyindeki karar vericilerin ikili karşılaştırma matrislerinin birleştirilmesi için öncelikle her bir karar vericinin ağırlığının belirlenmesi gerekmektedir. Bunun için karar vericileri değerlendiren bir komisyon (*C*) oluşturulur. Komisyondan her bir karar verici için bulanık mantık çerçevesinde değerlendirme yapması istenir. Elde edilen sözel değişkenlere karşılık, bulanık değerlere ulaşılır.

|  |  |
| --- | --- |
| 2015-10-26 12-04-40 cakir_ozdemir_makale_2015-10-25 | (3) |

Matriste yer alan , *j.* komite üyesinin *i*. karar verici için belirlediği sözel değişkenin bulanık karşılığını; *p,* karar verici sayısını; *r,* komitede yer alan üye sayısını; , bulanık karar matrisini göstermektedir. Bu aşamadan sonra yapılacak işlem, satırlarda yer alan karar verici vektörlerinin her bir karar verici için ayrı ayrı birleştirilmesidir. Örneğin ilk karar verici için bulanık vektör,  şeklindedir. Üçgensel bulanık üyelik fonksiyonuna göre (Guiping, Lizhi, Bidanda ve Fetch, 2007);

|  |  |
| --- | --- |
|  | (4) |
|  |

eşitliği yardımıyla birleştirme işlemi yapılır. Eşitlikte yer alan , *s*. karar vericinin bulanık ağırlığını göstermektedir. Elde edilen birleştirilmiş üyelik fonksiyonlarının anlamlı sonuçlar verebilmesi için durulaştırılma işlemine tabi tutulması gerekmektedir. Bunun için de Hsieh ve diğerleri (2004) tarafından önerilen En İyi Gerçek Sayı Değeri (Best Nonfuzzy Performance Value - BNP) durulaştırma yöntemi uygulanabilmektedir.

|  |  |
| --- | --- |
|  | (5) |

Eşitlik 5 ile her bir karar verici için gerçek sayı değerlerine ulaşılmaktadır. Elde edilen gerçek sayı değerlerinin normalizasyona tabi tutulması sonucunda ise, karar vericilerin kararlardaki etkileri ortaya konulmaktadır. Normalizasyon, Eşitlik 6 ile hesaplanmaktadır.

|  |  |
| --- | --- |
|  | (6) |

Böylece karar vericilerin kararlardaki önem ağırlıkları ortaya konulmaktadır. Önem ağırlıkları farklı olan karar vericilerin oluşturduğu grupta, ikili karşılaştırma matrisleri ise,

|  |  |
| --- | --- |
|  | (7) |

eşitliği ile birleştirilir. Adım 3 kullanılarak, tüm karar vericilerin kararlarının birleştirildiği bulanık karar matrisi,

|  |  |
| --- | --- |
| 2015-10-26 11-56-32 cakir_ozdemir_makale_2015-10-25 | (8) |

şeklinde olmaktadır. birleştirilmiş bulanık üçgensel sayıyı göstermek üzere hesaplama işlemi şu şekildedir:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (9) |

Sentetik Analiz Yöntemine göre her bir nesne alınarak, her bir hedef için genişletme analizi yapılır. Böylece, her bir nesne için *m* sayısı kadar genişletilmiş analiz değeri  (*i=*1,2*,…,n*) elde edilir. Tüm  (*j*=1,2,…,*m*) değerleri üçgensel bulanık sayılardır ve  şeklinde gösterilir. Genişletilmiş Sentetik Analiz Yöntemi’ne aşağıdaki adımlar ile devam edilir.

***Adım 4***: *i*, hedefe göre bulanık sentetik genişletme değeri Eşitlik 10 ile bulunur.

|  |  |
| --- | --- |
|  | (10) |

Bu aşamadan itibaren bulanık sayıların karşılaştırılmasının yapılması gerekir. Bulanık sentetik değerleri yardımıyla hiyerarşinin her bir seviyesi için tüm elemanlarının ağırlık vektörlerine ulaşılmaktadır (Paksoy, Pehlivan ve Özceylan, 2013: 124).

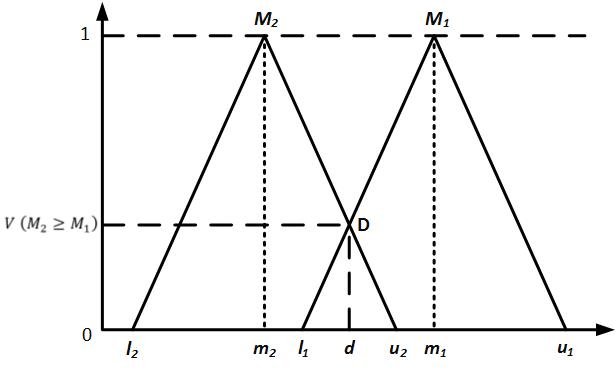
***Adım 5***:  ve  iki üçgensel bulanık sayı ve olasılık değeri şu şekilde bulunmaktadır:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (11) |

Diğer bir ifadeyle;

|  |  |
| --- | --- |
|  | (12) |
|  | (13) |

 ve  karşılaştırması için hem ; hem de  değerlerine ihtiyaç vardır. ’de ve arasındaki en yüksek kesişim noktası D’nin ordinatı (düşey ekseni) olan *d* değeri Şekil 2’de gösterilmektedir.



Şekil 2. M2 ve M1Arasındaki Kesişim Noktası

***Adım 6***: Konveks bir bulanık sayının, *k* tane konveks bulanık sayıdan  *(i=1, 2, …, k)* büyük olma olasılığı;

|  |  |
| --- | --- |
|  | (14) |

eşitlikleri yardımıyla bulunur. Bu durumda, *i* = 1, 2, …, *n*; *k*≠*i* olmak üzere;

|  |  |
| --- | --- |
|  | (15) |

varsayımı yapılır. Ağırlık vektörü ise aşağıdaki şekilde gösterilir. Burada *, (i=*1, 2, …, *n)* n sayıda elemandır.

|  |  |
| --- | --- |
|  | (16) |

***Adım 7***: değerinin normalizasyonu ile normalize edilmiş ağırlık vektörleri,

|  |  |
| --- | --- |
|  | (17) |

eşitliği ile bulunur. Buradadeğeri bulanık sayı değildir ve ağırlık vektörleri de aşağıdaki eşitlik yardımıyla bulunur:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (18) |

## Bulanık COPRAS Yöntemi

Bir projenin genel verimliliğini değerlendirmek amacıyla, öncelikle seçim kriterlerini belirlemek, bu kriterlere ilişkin bilgiye ulaşmak ve son olarak bunları değerlendirmek için yöntem geliştirmek gerekmektedir. Karar analizleri, karar vericilerin bir kısım kriterleri dikkate alarak çeşitli alternatifler arasından seçim yapma durumları ile ilişkilidir. Bu sebeple COPRAS yöntemi, alternatiflerin seçiminde etkili bir yöntem olarak literatüre kazandırılmıştır. Literatür incelendiğinde çeşitli problemlerin çözümünde COPRAS yönteminin kullanıldığını görebiliriz (Özdağoğlu, 2013a, 2013b).

İyileştirme odaklı alternatiflerin birçoğu gelecek ile ilgilenir ve kriterlerin değerleri tam olarak belirlenememektedir. Bu sebeple belirsizlik durumlarına çözümler sunan bulanık mantık, klasik COPRAS yöntemi ile birleştirilerek bulanık COPRAS yöntemi elde edilmiştir (Antucheviciene, Zavadskas ve Zakarevicius, 2012; Yazdani, Alidoosti ve Zavadskas, 2011; Zavadskas, Kaklauskas, Turskis ve Tamosaitiene, 2009).

Literatürde yer alan çeşitli kaynaklardan yararlanarak bu çalışma için yeniden tasarlanan bulanık COPRAS yönteminin adımları aşağıdaki gibidir:

***Adım 1***: Alternatifler (*i*) üretilerek değerlendirme kriterleri (*j*) ve *s* sayıda karar verici (kv) belirlenir.

***Adım 2***: Bulanık COPRAS yönteminde kullanılacak olan sözel ifadeler ve onlara karşılık gelen bulanık üçgen ya da yamuk sayılar belirlenir.

***Adım 3***: Eşit önem düzeyindeki karar vericilerin tercihleri Eşitlik 19 ile birleştirilir.

*, s*, karar vericinin *j,* kritere göre *i,* alternatifi değerlendirdiği sözel ifadenin bulanık karşılık değerini göstermek üzere;

|  |  |
| --- | --- |
|  | (19) |

Önem ağırlıkları farklı olan *s* tane karar vericinin oluşturduğu grupta, alternatiflerin kriter değeri ise (, *s,* karar vericinin kararlardaki ağırlığını göstermek üzere);

|  |  |
| --- | --- |
|  | (20) |

eşitliği ile karar matrisleri birleştirilmektedir.

bulanık sözel değişkenler olmak üzere; birleştirilmiş bulanık karar matrisi,

|  |  |
| --- | --- |
| 2015-10-26 11-59-22 cakir_ozdemir_makale_2015-10-25 | (21) |

şeklinde oluşturulacaktır.

***Adım 4***: Bu adımda her bir kriter için farklı ağırlıklar göz önünde bulundurularak, ağırlıklı bulanık karar matrisi oluşturulur. Kriter ağırlıklarının bulanık  ve bulanık olmadığıdurumlarda matrisler sırasıyla,

|  |  |
| --- | --- |
|  | (22) |

şeklindedir. Ağırlıklandırılmış bulanık karar matrisi olarak gösterilecek olursa,

|  |  |
| --- | --- |
|  | (23) |

şeklinde oluşturulur. Burada her bir değeri,

|  |  |
| --- | --- |
|  | (24) |

eşitliğinden hesaplanmaktadır. Burada bulanık karar matrisi () ile bulanık ağırlıklar matrisinin () çarpımı, ağırlıklı bulanık karar matrisini () vermektedir.

Ağırlık matrisinin bulanık olmadığı durumda ise; bulanık karar matrisi () ile ağırlık matrisinin () çarpımı yardımıyla ağırlıklı bulanık karar matrisine () ulaşılmaktadır. Her bir değeri, ağırlıklandırılmış bulanık üçgen sayılardır.

|  |  |
| --- | --- |
|  | (25) |
| 2015-10-26 12-00-35 cakir_ozdemir_makale_2015-10-25 | (26) |

***Adım 5***: Bu adımda ağırlıklandırılmış bulanık karar matrisinin durulaştırma işlemi gerçekleştirilir. Durulaştırma sonrasında elde edilen ağırlıklandırılmış karar matrisi *D* iseşu şekilde gösterilmektedir:

|  |  |
| --- | --- |
| 2015-10-26 12-01-17 cakir_ozdemir_makale_2015-10-25 | (27) |

***Adım 6***: Ağırlıklandırılmış karar matrisi *D*’nin normalizasyon işlemi,

|  |  |
| --- | --- |
| *i*=1,2, …, *m* ve *j*=1, 2, …, *n* | (28) |

eşitliği yardımıyla yapılmaktadır. Böylece ağırlıklı normalize edilmiş karar matrisi ’ye ulaşılır.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| *2015-10-26 12-01-57 cakir_ozdemir_makale_2015-10-25* | *i*=1,2, …, *m* ve *j*=1, 2, …, *n* | (29) |

***Adım 7***: Bu adımda kriterlerin faydalı ve faydasız olarak nitelendirilmesi yapılır. Ağırlıklı normalize edilmiş karar matrisindeki faydalı kriterler, sütunlarda öne çekilir. *k.* kritere kadar faydalı kriterler sütunlara yerleştirilir. (*k+1).* kriter ilk faydasız kriter olmak üzere; *n.* kritere kadar tüm faydasız kriterler de sütunlarda gösterilir. (*n - k*) minimize etmeyi arzuladığımız faydasız kriter sayısını verecektir (Das, Sarkar ve Ray, 2012: 237).

|  |  |
| --- | --- |
| 2014-09-21 14-45-21 tez20140921 | (30) |

***Adım 8***: Faydalı kriterler için ağırlıklandırılmış normalize edilmiş karar matrisindeki değerlerin toplamı () ile faydasız kriterler için ağırlıklandırılmış normalize edilmiş karar matrisindeki değerlerin toplamı () bulunur. ve değerlerinin hesaplama adımları:

|  |  |
| --- | --- |
| (faydalı kriterler) | (31) |
| (faydasız kriterler) | (32) |

şeklindedir.

***Adım 9***: Her bir alternatife ait göreli önem ağırlığı aşağıda verilen eşitlik yardımıyla hesaplanır.

|  |  |
| --- | --- |
|  | (33) |

***Adım 10***: Alternatifler arasında en yüksek göreli öneme sahip olan alternatif, en iyisi olarak seçilecektir.

|  |  |
| --- | --- |
|  | (34) |

***Adım 11***: Her bir alternatifin  olarak simgelenen performans indeksi hesaplanır. Performans indeks değeri 100 olan alternatif en iyi alternatiftir (Özdağoğlu, 2013a: 7). Tüm alternatifler performans indeks değerlerine göre sıralanarak, tercih sıralamasına ulaşılır.

|  |  |
| --- | --- |
|  | (35) |

# BİR ÜRETİM İŞLETMESİNDE PROJE SEÇİM UYGULAMASI

Uygulama çalışması üç aşamadan oluşmaktadır. Bunlar; karar vericilerin ve karar verici ağırlıklarının belirlenmesi aşaması, kriter ağırlıklarının belirlenmesi aşaması ve projelerin bulanık COPRAS yöntemi ile değerlendirilmesi aşaması şeklindedir.

## Karar Vericilerin ve Karar Verici Ağırlıklarının Belirlenmesi Aşaması

En uygun projenin seçilebilmesi için öncelikle karar vericilerin belirlenmesi ve her bir karar vericinin kararlardaki ağırlıklarının ortaya konulması gerekmektedir. Karar vericilerin belirlenmesi ve ağırlıklandırılması için Karar Verici Değerlendirme Komitesi (KVDK) oluşturulmuştur. Fabrika müdürü tarafından belirlenen komite üyeleri “Fabrika Müdürü”, “Üretim Planlama Müdürü” ve “İnsan Kaynakları Müdürü” şeklindedir. KVDK üyeleri ile yapılan görüşmeler sonrasında, kararlara katkı sağlayacak 13 karar verici (Çizelge 1) belirlenmiştir.

Çizelge 1. HAUS Yetkili Personel Listesi



KVDK’dan kendileri de dâhil olmak üzere, Çizelge 1’deki her bir karar vericinin kararlardaki etki düzeylerini sözel değişkenlerle belirlemeleri istenmiştir. Bulanık mantık yöntemi ile yapılacak olan ağırlıklandırmada, Çizelge 2’deki yedi sözel değişken kullanılmıştır (Kaya, Kılınç ve Çevikcan: 2007: 10).

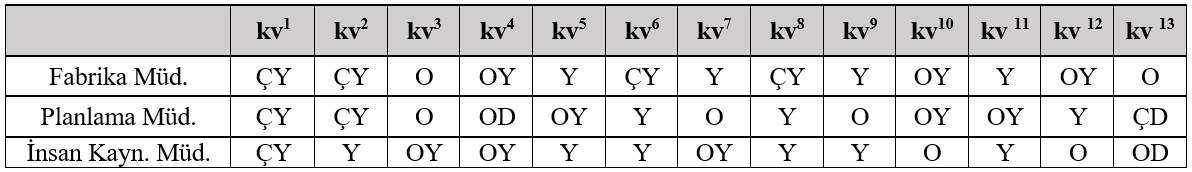
Çizelge 2. Karar Vericiler İçin Kullanılan Sözel Değişkenler ve Bulanık Karşılıklar



***Kaynak:*** *Chen, 2000: 5.*

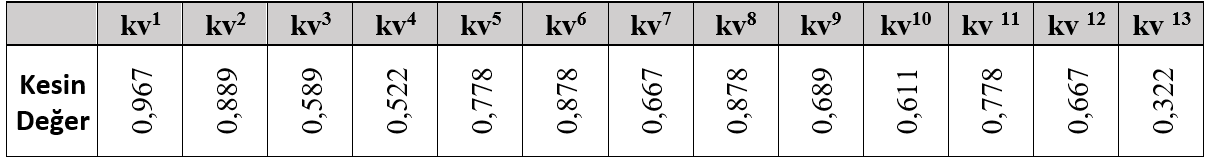
Anket yardımıyla, KVDK’nın her bir karar verici için atadığı sözel değişkenler, Çizelge 3’teki gibi şekillenmiştir.

Çizelge 3. Karar Verici Değerlendirme Çizelgesi



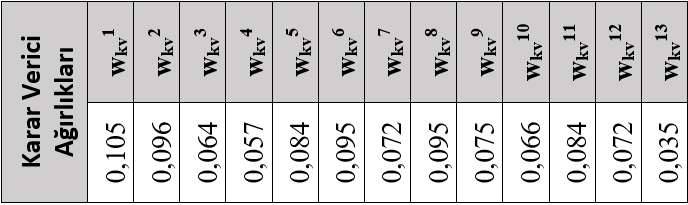
KVDK tarafından belirlenen sözel değişkenler, üçgensel bulanık sayılara dönüştürülmüştür. Üç komite üyesinin her bir karar verici için atadıkları bulanık sayılardan, Eşitlik 4 (Guiping vd., 2007) yardımıyla, birleştirilmiş üyelik fonksiyonları hesaplanmıştır. Birleştirilmiş üyelik fonksiyonunun anlamlı sonuçlar verebilmesi için durulaştırma işlemine tabi tutulması gerekmektedir. Bunun için de Hsieh vd. (2004) tarafından önerilen ve Eşitlik 5’in kullanıldığı En İyi Gerçek Sayı Değeri (Best Nonfuzzy Performance Value - BNP) durulaştırma yönteminden yararlanılmış ve sonuçlar Çizelge 4’e çıkarılmıştır.

Çizelge 4. Karar Verici Gerçek Sayı Değerleri



Elde edilen gerçek sayı değerlerinin Eşitlik 6 ile normalizasyona tabi tutulması sonucunda karar vericilerin kararlardaki etkileri Çizelge 5’teki gibi olmaktadır.

Çizelge 5. Karar Verici Ağırlıkları



## Kriterlerin ve Kriter Ağırlıklarının Belirlenmesi Aşaması

Bu çalışmada altı sigma projelerinin seçimi için bulanık COPRAS yöntemi kullanılmıştır. Çizelge 6, literatürde karşılaşılan altı sigma proje seçim kriterlerini göstermektedir.

Çizelge 6. Literatürde Karşılaşılan Altı Sigma Proje Seçim Kriterleri

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Yazar | Altı Sigma Proje Seçim Kriterleri | |
| Harry ve Schroeder (2000) | | Milyon Fırsatta Hata Sayısı, Net Maliyet Tasarrufu, Kalitesizlik Maliyeti, Çevrim Zamanı, Müşteri Tatmini, Kapasite, İç Performans, Tedarikçi Kalitesi ve Tasarım için Altı Sigma |
| Pande ve diğerleri (2004) | | Sonuçlar ve İş Kazançları, Yapılabilirlik ve Kurumsal Etki |
| Kazemi, Bahri ve Kazemi (2005) | | Proje Maliyeti, Proje Süresi, Bilgi Elde Edebilme, Sigma Seviyesi, Üst Yönetim Taahhüdü, Ekip Üyeleri Motivasyonu, Proje Başarı Olasılığı, Müşteri Tatmini, Yatırımın Geri Dönüşü ve Maliyet Azaltma |
| Banuelas ve diğerleri (2006) | | Müşteri Etkisi, Finansal Etki, Üst Yönetim Taahhüdü, Ölçülebilir Olma ve Uygunluk, Öğrenme ve Gelişme ve İşletme Stratejisine ve Temel Yetkinliğe Bağlılık |
| Yang ve Hsieh (2008) | | Liderlik, Stratejik Yönetim, Araştırma ve İnovasyon, Müşteri/Pazar İyileştirme, İnsan Kaynakları ve Bilgi Yönetimi, Bilgi Stratejisi Uygulaması ve Yönetimi, Süreç Yönetimi ve İş Sonuçları |
| Bilgen ve Şen (2012) | | Maliyet, Zaman, İşçilik, Tasarruf, Verimlilik, Hurda Sayısında Azalma, Kalite, Kapasite ve Enerji |
| Şentürk (2013) | | Ürün Transferi, İnsan Kaynakları Yeterliliği, Coğrafik Konum, İşgücü Kalitesi, Arazi Maliyeti, Altı Sigma İçin Ayarlanabilir Teknoloji, Müşterilere Yakın Olma, Altı Sigma Eğitimi Almış Personel, Rakip Sayısı ve Altı Sigma Süreç Yeterlilikleri |

Bu çalışmada karar vericiler, Çizelge 6’da yer alan kriterleri de dikkate alarak, işletme için uygun buldukları kriterleri Çizelge 7’deki gibi belirlemişlerdir.

Çizelge 7. Çalışmada Kullanılan Değerlendirme Kriterleri



Kriterlerin ortaya konulmasının ardından, bu kriterlerin belirlenen bir yöntem vasıtasıyla ağırlıklarının hesaplanması gerekmektedir. İnsani düşünce tarzını yansıtması, sözel ifadeleri sayısallaştırması ve farklı düşüncelerin ortak bir paydada birleştirmesi özelliği (Ertuğrul ve Karakaşoğlu, 2010: 25) ile Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi Yöntemi,kriter ağırlıklarını belirlemek içinseçilmiştir. Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesinde kullanılacak olan sözel değişkenler ve bulanık üyelik fonksiyonları Çizelge 8’de verilmiştir.

Çizelge 8. Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi Sözel Değişkenleri ve Üyelik Fonksiyonları



***Kaynak****: Kaptanoğlu ve Özok, 2010: 201.*

Anket yardımıyla, karar vericilerden kriterler arası ikili karşılaştırma yapmaları istenmiştir. Karar vericilerin ankete “*Eşit Önemde”, “Biraz Daha Fazla Önemli”, “Kuvvetli Derecede Önemli”, “Çok Kuvvetli Derecede Önemli” ve “Aşırı Derecede Önemli”* şeklindeki cevapları, üçgensel bulanık sayılara dönüştürülmüştür. Kriterlerin nihai ağırlıklarını belirleyebilmek adına, tüm karar vericilerin bulanık üçgensel üyelik fonksiyonlarının birleştirilerek tek bir matrise dönüştürülmesi gerekmektedir. Eşitlik 9 yardımıyla her bir karar vericinin Çizelge 5’teki ağırlıklarının, kriterler için vermiş oldukları bulanık önem düzeyleri ile çarpılarak toplanması sonucu birleştirilmiş bulanık sayılara ulaşılmıştır (Ek 1).

Birleştirilmiş bulanık üyelik fonksiyonlarından yararlanarak, kriter ağırlıklarının hesaplanması gerekmektedir. Bunun için, birçok bulanık AHP uygulamalarında kullanılmış olan Chang (1996: 650–651)’in Genişletilmiş Analiz Yöntemi tercih edilmiştir. Chang’in genişletilmiş analiz yönteminin bu çalışmada uygulanışı ise aşağıdaki gibi gerçekleşmiştir:

Öncelikle her bir kriter için bulanık sentetik genişletilmiş değeri bulunmuştur (Çizelge 9).

Çizelge 9. Hesaplama Sonucuna Göre Sentez Değerleri

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Kriterler** |  | | |  | | | **Sentez Değerler** | | | |
|  |  |  |  |  |  |
| **K1** | 12,007 | 22,571 | 36,116 | 0,0015 | 0,0022 | 0,0041 | **S1** | 0,018 | 0,504 | 0,147 |
| **K2** | 11,112 | 23,813 | 38,526 | 0,0015 | 0,0022 | 0,0041 | **S2** | 0,016 | 0,053 | 0,157 |
| **K3** | 17,689 | 33,803 | 51,657 | 0,0015 | 0,0022 | 0,0041 | **S3** | 0,026 | 0,076 | 0,210 |
| **K4** | 23,425 | 42,216 | 61,462 | 0,0015 | 0,0022 | 0,0041 | **S4** | 0,035 | 0,094 | 0,250 |
| **K5** | 14,631 | 27,706 | 42,959 | 0,0015 | 0,0022 | 0,0041 | **S5** | 0,022 | 0,062 | 0,175 |
| **K6** | 5,103 | 7,575 | 13,359 | 0,0015 | 0,0022 | 0,0041 | **S6** | 0,008 | 0,017 | 0,054 |
| **K7** | 23,738 | 42,637 | 62,345 | 0,0015 | 0,0022 | 0,0041 | **S7** | 0,035 | 0,095 | 0,253 |
| **K8** | 6,762 | 11,172 | 19,533 | 0,0015 | 0,0022 | 0,0041 | **S8** | 0,010 | 0,025 | 0,079 |
| **K9** | 17,179 | 33,511 | 51,470 | 0,0015 | 0,0022 | 0,0041 | **S9** | 0,025 | 0,075 | 0,209 |
| **K10** | 13,847 | 26,939 | 42,260 | 0,0015 | 0,0022 | 0,0041 | **S10** | 0,020 | 0,060 | 0,172 |
| **K11** | 10,808 | 20,138 | 32,439 | 0,0015 | 0,0022 | 0,0041 | **S11** | 0,016 | 0,045 | 0,132 |
| **K12** | 14,837 | 27,918 | 44,070 | 0,0015 | 0,0022 | 0,0041 | **S12** | 0,022 | 0,062 | 0,179 |
| **K13** | 14,208 | 27,217 | 42,765 | 0,0015 | 0,0022 | 0,0041 | **S13** | 0,021 | 0,061 | 0,174 |
| **K14** | 24,492 | 42,451 | 61,617 | 0,0015 | 0,0022 | 0,0041 | **S14** | 0,036 | 0,095 | 0,251 |
| **K15** | 36,103 | 57,828 | 77,516 | 0,0015 | 0,0022 | 0,0041 | **S15** | 0,053 | 0,129 | 0,315 |

Sentez değerleri yardımıyla, her ikili sentetik değer için; ’nin olabilirlik derecesi olanhesaplanmıştır. Hesaplanan her bir olabilirlik derecesi Çizelge 10’da sunulmuştur.

Çizelge 10. Kriterler İçin Ağırlık Vektörünün Hesaplanması



Her bir olabilirlik derecesinin minimum değerleri bulunarak, ağırlık vektörü hesaplanmaktadır. Her bir minimum olabilirlik derecesi Çizelge 10’da son sütunda gösterilmektedir. Elde edilen sonuçlar kriterlerin ağırlık vektörünü oluşturmaktadır. Çizelge 11, ağırlık vektörü ’yi özet halde göstermektedir.

Çizelge 11. Kriterlerin Ağırlık Vektörü

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **d'(SK1)** | **d'(SK2)** | **d'(SK3)** | **d'(SK4)** | **d'(SK5)** | **d'(SK6)** | **d'(SK7)** | **d'(SK8)** | **d'(SK9)** | **d'(SK10)** | **d'(SK11)** | **d'(SK12)** | **d'(SK13)** | **d'(SK14)** | **d'(SK15)** |
| 0,543 | 0,576 | 0,745 | 0,849 | 0,643 | 0,009 | 0,855 | 0,201 | 0,742 | 0,632 | 0,483 | 0,653 | 0,638 | 0,852 | 1,000 |

Çizelge 11’deki ağırlık vektörlerinin anlamlı hale gelebilmesi için normalize edilmesi gerekmektedir. Bunun için de Eşitlik 17 kullanılarak, normalize edilmiş kriterler ağırlıklarına ulaşılmıştır (Çizelge 12).

Çizelge 12. Normalize Edilmiş Kriter Ağırlıkları

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **d (SK1)** | **d (SK2)** | **d (SK3)** | **d (SK4)** | **d (SK5)** | **d (SK6)** | **d (SK7)** | **d (SK8)** | **d (SK9)** | **d (SK10)** | **d (SK11)** | **d (SK12)** | **d (SK13)** | **d (SK14)** | **d (SK15)** |
| 0,0576 | 0,0612 | 0,0791 | 0,0901 | 0,0683 | 0,0010 | 0,0908 | 0,0213 | 0,0787 | 0,0671 | 0,0513 | 0,0693 | 0,0677 | 0,0904 | 0,1061 |

## 4.3.Altı Sigma Projelerinin Bulanık COPRAS Yöntemi İle Değerlendirilmesi Aşaması

Altı sigma yaklaşımının gücü, temelinde yatan “süreçlerle düşünme” kavramından gelmektedir. İşletmeler süreçlerden oluşmaktadır. Bu süreçlerin çıktıları da iç ve dış müşterilere iletilmektedir. Bu nedenle süreçler devamlı olarak gözden geçirilerek, müşteri memnuniyetini sağlamak için gereken iyileştirmeler yapılmalıdır. Altı sigma projeleri, bu düşünce şeklini hayata geçirmek için altı sigma ekiplerinin kullandığı bir araçtır (Akpolat, 2004: 43).

Altı sigma, proje odaklı yapısının etkili kullanılmasıyla bir işletmenin stratejik hedeflerine ulaşmasını sağlar. Altı sigma projeleri, iş stratejisi ile bağlantılı olmalı ve müşterinin gereksinimlerini karşılamalıdır (Coronado ve Antony, 2002: 92). Ayrıca projelerin kritik operasyon hedefleri veya stratejik hedeflerle de uyumlu olması gerekir. Literatürde altı sigma projelerinin seçimi için kullanılan birçok yöntem bulunmaktadır. Ancak bu yöntemlerden hangisinin proje seçiminde daha iyi sonuç verdiğini söylemek zordur. Karar vericilerin altı sigma projelerinin seçiminde zorlandıkları kadar; proje seçim yöntemlerinin seçiminde de zorlandıkları söylenebilir.

Çizelge 13’e bakıldığında son yıllarda, birden fazla kriteri dikkate alarak en iyi alternatifin seçilmesine odaklanan çok kriterli karar verme yöntemleri (ÇKKV) ile insani düşünüş tarzına en yakın yöntem olan bulanık mantık uygulamalarının proje seçimlerinde sıkça kullanıldığını söyleyebiliriz. Bu çalışmada ele alınan altı sigma projelerinin değerlendirilmesinde de çok kriterli karar verme yöntemleri ile bulanık yaklaşımın bütünleştirildiği bulanık COPRAS yöntemi tercih edilmiştir.

Çizelge 13. Altı Sigma Proje Seçim Yöntem ve Araçları

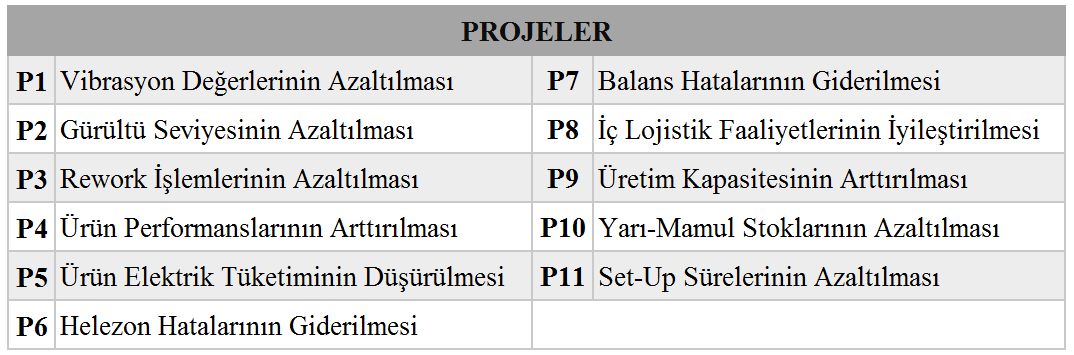
|  |  |
| --- | --- |
| Yazar | Yöntem ve Araçlar |
| Pyzdek (2000b; 2003; 2010) | Pareto Önceliklendirme İndeksi (Pareto Priority Index - PPI), Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP), Kalite Fonksiyonu Yayılımı (Quality Function Deployment -QFD), Kısıtlar Teorisi (Theory of Constraints - TOC), Fizibilite Analizi, Yatırımın Geri Dönüş Oranı |
| Pande vd. (2000) | Maliyet/Fayda Analizi |
| Breyfogle, Cupello ve Meadws (2001) | Proje Değerlendirme Matrisi |
| Kelly (2002) | Proje Seçim Matrisi |
| Adams, Gupta ve Wilson (2003) | Proje Sıralama Matrisi |
| Larson (2003) | Pareto Analizi |
| De Feo ve Bernard (2004) | Belirli Kriterlere Göre Potansiyel Projelerdeki Verileri Gözden Geçirme |
| Kazemi, Kazemi ve Bahri (2005) | AHP ve TOPSIS |
| Kumar, Crocker, Chitra ve Saranga (2006) | AHP |
| Doğu (2006) | QFD |
| Kumar, Saranga, Ramirez-Marquez ve Nowicki (2007) | Veri Zarflama Analizi (VZA) |
| David ve Saaty (2007) | AHP |
| Su ve Chou (2008) | AHP İle Hata Türü ve Etkileri Analizi (HTEA) |
| Kahraman ve Büyüközkan (2008) | Bulanık AHP ve Bulanık Hedef Programlama |
| İkiz (2009) | Reel Opsiyonlar Yaklaşımı |
| Büyüközkan ve Öztürkcan (2010) | DEMATEL ve Analitik Ağ Prosesi (Analytic Network Process-ANP) |
| Saghaei ve Didehkhani (2011) | ANFIS ve Bulanık Hedef Programlama |
| Kazemi, Karbasian, Homayouni ve Vasili (2012) | Bulanık Çok Kriterli Karar Verme |
| Bilgen ve Şen (2012) | Bulanık AHP |
| Yüksel (2012) | VZA |
| Şentürk (2013) | Bulanık Yaklaşım |
| Ray, Das, Bhattacharyay ve Antony (2013) | Bulanık Yaklaşım |

***Kaynak:*** *Bañuelas vd., 2006; Breyfogle vd., 2001; Kazemi vd., 2012.*

Bulanık COPRAS yöntemi yardımıyla en iyi projenin önerilebilmesi için yöntemde yer alan adımlar aşağıdaki gibi yürütülmüştür:

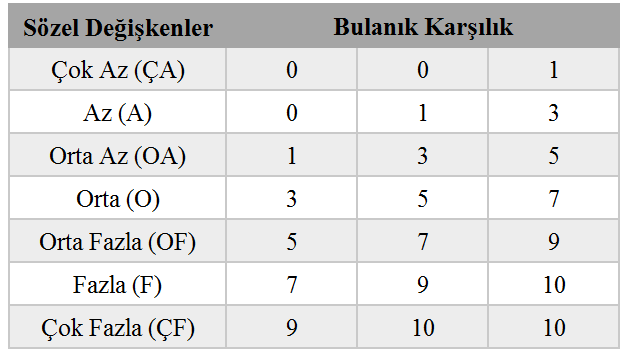
***Adım 1:*** Karar vericilerden işletme içerisinde yaşanan problemler ve iyileştirme ihtiyacı görülen alanlarla ilgili projeler ortaya koymaları istenmiştir. Projelerin belirlenmesindeki temel faktör olarak; 353 serisi dekantör ile bağlantılı olması ve işletmeye yüksek katkılar sağlaması olarak belirlenmiştir. Karar vericiler ile yapılan görüşmeler sonunda, dekantör ve onunla ilişkili olan üretim sahası ile ilgili karşılaşılan temel problemleri ortadan kaldıracak 11 projenin hayata geçirilmesi gerektiği fikrine ulaşılmıştır. Düşük katkıya sahip olduğu düşünülen projeler çalışmaya dâhil edilmemiştir. Çizelge 14, karar vericiler tarafından ortaya konulan altı sigma projelerini göstermektedir. Ayrıca çalışmada kolaylık sağlaması bakımından her bir proje (Pi) ile simgelenmiştir. Kriterlerin ardından projelerin de belirlenmesi ile en iyi proje için hiyerarşik yapı Ek 2’deki gibi oluşturulmuştur.

Çizelge 14. Belirlenen Altı Sigma Projeleri



***Adım 2:*** Bulanık COPRAS yönteminde kullanılacak sözel ifadeler ve bulanık karşılıkları Çizelge 15’teki gibi belirlenmiştir. Karar vericilerden, her bir projeyi kriterlere göre değerlendirmeleri istenmiştir. Karar vericilerden elde edilen değerlendirmeler sözel ifadelerdir. Sözel ifadeler, bulanık üçgen sayılara dönüştürülerek, her bir karar vericiye ait proje bazlı değerlendirmeler elde edilmiştir.

Çizelge 15. Sözel Değişkenler ve Bulanık Karşılıklar



***Kaynak:*** *Chen, 2000: 5.*

***Adım 3:*** Karar vericilere ait değerlendirmeler bireyseldir. Grup kararının söz konusu olması için, Eşitlik 20 yardımıyla tek bir karar matrisi olacak şekilde tüm bireysel karar matrisleri birleştirilmiştir. Böylece karar vericilerin bireysel tutumları, tek bir karar matrisi olacak şekilde birleştirilmiştir (Ek 3).

***Adım 4:*** Bu adımda Ek 3’te verilen birleştirilmiş karar matrisi yardımıyla kriterlerin önem ağırlıklarına göre ağırlıklandırma işlemi yapılmıştır. Eşitlik 24 yardımıyla, Ek 4’teki ağırlıklı bulanık karar matrisine ulaşılmıştır.

***Adım 5:*** Bu adımda ağırlıklandırılmış bulanık karar matrisinin durulaştırma işlemi yapılmıştır. Bunun için, En İyi Gerçek Sayı Değeri Yöntemi kullanılmıştır. Eşitlik 5 ile yapılan hesaplamalar sonucunda elde edilen durulaştırılmış karar matrisine Çizelge 16’da yer verilmiştir.

Çizelge 16. Durulaştırılmış Karar Matrisi



***Adım 6:*** Burada durulaştırılmış karar matrisinden yararlanarak, Eşitlik 28 ile normalizasyon değerlerine ulaşılmıştır. Böylece her bir kriter için projelerin önemleri, net bir şekilde ortaya çıkmıştır. Normalizasyon hesaplamalarının ardından elde edilen sonuçlara Çizelge 17’de yer verilmiştir.

Çizelge 17. Normalizasyon Değerleri



***Adım 7:*** Bu adımda faydalı ve faydasız kriterler belirlenmiş; faydalı kriterler sütunlarda en solda ve faydasız kriterler de sütunlarda en sağda olacak şekilde çizelgede yerleştirme işlemi yapılmıştır. *K10 (Proje Maliyeti)* ve *K11 (Proje Süresi Kriteri)* kriterlerinin faydasız, diğer kriterlerin faydalı olması nedeniyle; faydasız kriterler çizelgede en sağda olacak şekilde kaydırma yapılarak Çizelge 18 elde edilmiştir.

Çizelge 18. Faydalı ve Faydasız Kriterlerin Gösterimi



***Adım 8:*** Eşitlik 31 kullanılarak projelere bağlı faydalı kriterlerin tüm değerleri toplanarak değeri, Eşitlik 32 ile de projelere bağlı faydasız kriterlerin tüm değerleri toplanarak değeri bulunur (Çizelge 19).

Çizelge 19. Si+ ve Si- Değerleri



***Adım 9***: Projelerin göreli önem ağırlıklarınınEşitlik 33 ile hesaplanması sonucunda elde edilen sonuçlar Çizelge 20’de verilmiştir.

Çizelge 20. Qi Değerleri



***Adım 10***: Eşitlik 34 ile projeler arasından en yüksek göreli öneme sahip olan projenin 1,4815 değeriyle “*Proje 1 – Vibrasyon Değerlerinin Azaltılması Projesi*” olduğunu söylemek mümkündür. Bir anlamda en iyi proje “*Vibrasyon Değerlerinin Azaltılması Projesi*” dir. En iyi projenin diğer projelerden farklılığını ölçen, performans indeks değerine de bakmak gerekmektedir.

***Adım 11***: En iyi projenin performans indeks değeri 100 olarak kabul edilir. Diğer projelerin performans indeks değerleri de Eşitlik 35 yardımıyla hesaplanmış ve Çizelge 21’de gösterilmiştir.

Çizelge 21. Pi Değerleri ve Proje Sıralama



Çizelge 21, projelerin tercih sıralamalarını da göstermektedir. Bulanık COPRAS yöntemi sonucu projeler; **“P1 > P7 > P6 > P3 > P11 > P9 > P2 > P8 > P4 > P10 > P5”** şeklinde sıralanmaktadır. Sonuca göre, uygulanması gereken proje P1 ile “Vibrasyon Değerlerinin Azaltılması” projesidir.

# SONUÇ

Üretim ve hizmet sektöründe yer alan birçok büyük ölçekli işletme, Süreç İyileştirme Yöntemi olarak altı sigmayı kullanmaktadır. Altı sigma, proje esaslı bir yöntemdir. Bu nedenle tek bir süreç için iyileştirmelere odaklanarak başarılı sonuçlar elde edilebilmektedir. Ancak, her altı sigma projesi istenilen başarıyı sağlayamamaktadır ve bu başarısızlıkta birçok faktör söz konusudur. Bunlardan en önemlisi de karar aşamasında öncelik sırası dikkate alınmadan seçilen altı sigma projeleridir. İhtiyaç duyulmadığı halde bir projenin hayata geçirilmesi, büyük maliyetlere ve çalışanların motivasyon kaybına neden olduğundan, olası projeler arasından öncelikli olarak ele alınacak projenin seçilmesi başarıda kilit rol üstlenmektedir.

Literatürde çok sayıda Altı Sigma Proje Değerlendirme ve Seçim Yöntemi bulunmaktadır. Bunların hemen hemen tamamı kesin bilgiye ulaşıldığı varsayımıyla altı sigma projelerini değerlendirmektedir. Ancak, proje değerlendirme kriterlerinin bulanık olduğu durumlar için bir çözüm önerisi getirememektedir. Zadeh (1965)'in ortaya attığı bulanık mantık, kesin değerlere dayanan düşünme yerine, yaklaşık düşünüş tarzına daha yakın olduğu bilindiğinden projelerin değerlendirme safhalarında kullanılması çok daha uygun olabilmektedir. Ayrıca, birçok çalışmada projelerin bulanık mantık çerçevesinde değerlendirildiği ve olumlu sonuçların alındığı da gözlenmiştir. Bu çalışmada da altı sigma proje değerlendirme kriterlerinin belirsizlik içermesi nedeniyle, proje seçiminde insani düşünüş tarzına en yakın yöntem olan Bulanık Mantık ve Bulanık Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinin kullanılması uygun görülmüştür.

Uygulama çalışması Aydın ASTİM Organize Sanayi Bölgesi’nde yer alan HAUS Santrifüj Teknolojileri firmasında yapılmıştır. Firmanın köklü geçmişi, kurumsal ve finansal yapısı, kalite çalışmalarına önem vermesi ve en önemlisi altı sigma felsefesine yatkınlığı da HAUS firmasını tercih etmede etken olmuştur. HAUS firması 11 çeşit ürün üretmektedir. Çalışma ise, firmanın en çok satış yaptığı 353 serisi dekantörler üzerine yapılmıştır. Proje değerlendirme yöntemi olarak; önem ve fayda dereceleri açısından alternatiflerin adım adım sıralamasını yaparak alternatifleri değerlendiren bulanık COPRAS yöntemi kullanılmıştır. Uygulama çalışması üç aşamalı bir süreç takip edilerek yürütülmüştür.

Çalışmada karar vericilerin ağırlıkları bulanık mantık ile belirlenmiştir. Öncelikle karar vericilerin belirlenmesi ve ağırlıklandırılabilmesi için Karar Verici Değerlendirme Komitesi (KVDK) oluşturulmuştur. Fabrika müdürü tarafından belirlenen komite üyeleri “Fabrika Müdürü”, “Üretim Planlama Müdürü” ve “İnsan Kaynakları Müdürü” şeklinde belirlenmiştir. KVDK tarafından, 13 personelin karar verici olmasına karar verilmiştir. KVDK’dan, her bir karar vericinin kararlardaki etki düzeylerini sözel değişkenlerle belirlemeleri istenmiştir. KVDK tarafından her bir karar verici için belirlenen üyelik fonksiyonlarından birleştirilmiş üçgensel bulanık karar matrisi elde edilmiş; durulaştırma ve normalizasyon işlemlerinin ardından karar verici ağırlıklarına ulaşılmıştır. Böylece, 13 karar vericinin kararlardaki ağırlıkları birbirinden farklı hale getirilmiştir.

Firmada 13 karar verici ile yapılan görüşmelerin ardından, 353 serisi dekantörde karşılaşılan temel problemleri ortadan kaldıracak 11 projenin hayata geçirilmesi gerektiği sonucuna ulaşılmıştır. Katkısı düşük olduğu düşünülen projeler çalışmaya dâhil edilmemiştir. Projeler “Vibrasyon Değerlerinin Azaltılması”, “Gürültü Seviyesinin Azaltılması”, “Rework İşlemlerinin Azaltılması”, “Ürün Performanslarının Arttırılması”, “Ürün Elektrik Tüketiminin Düşürülmesi”, “Helezon Hatalarının Giderilmesi”, “Balans Hatalarının Giderilmesi”, “İç Lojistik Faaliyetlerinin İyileştirilmesi”, “Üretim Kapasitesinin Arttırılması”, “Yarı-Mamul Stoklarının Azaltılması” ve “Set-Up Sürelerinin Azaltılması” şeklinde belirlenmiştir.

Belirlenen projelerin kriterlere göre değerlendirilebilmesi, sözel değişkenler yardımıyla yapılmıştır. Bunun için her bir karar verici, projelerin kriterlere olan etkilerini “çok az”, “az”, “orta az”, “orta”, “orta fazla”, “fazla” ve “çok fazla” sözel değişkenleri ile ifade etmiş; daha sonra her bir karar vericiye ait bulanık karar matrisleri tek bir bulanık matris olacak şekilde birleştirilmiştir. Birleştirme yapılırken, Bulanık Mantık Yöntemi ile hesaplanan her bir karar vericiye ait ağırlıklar kullanılmıştır.

Projelere ait birleştirilmiş bulanık karar matrisi, bulanık COPRAS yöntemi ile değerlendirilerek, projelerin sıralaması yapılmıştır. Sıralamada ilk sırada yer alan “Vibrasyon Değerlerinin Azaltılması” projesi, 353 serisi dekantörlerle ilgili olarak ele alınması gereken en öncelikli proje olduğu sonucuna ulaşılmış ve üst yönetime sunulmuştur.

# KAYNAKÇA

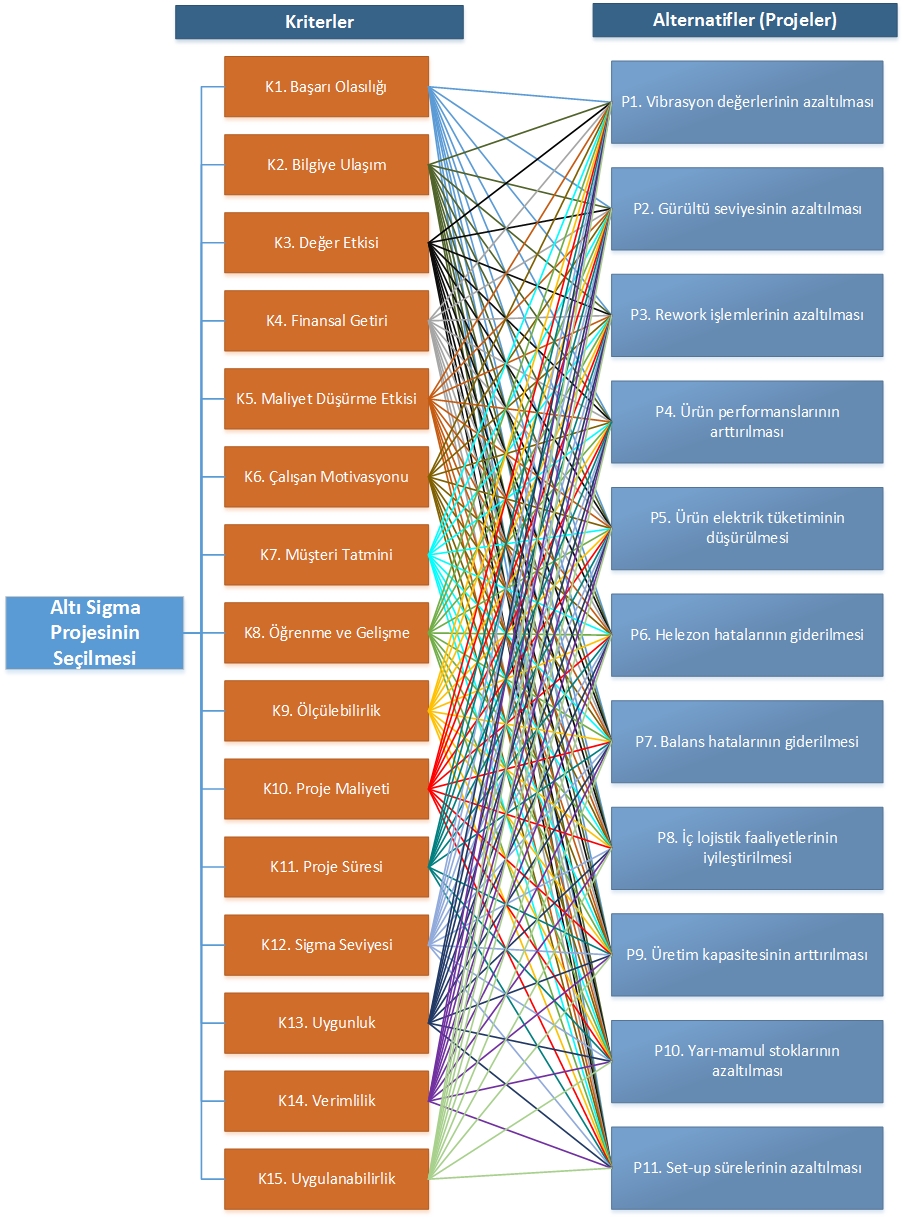
* ADAMS, C. W., GUPTA, P. ve WILSON, C. E., (2003), “**Six Sigma Deployment, Six Sigma Deployment”**, Elsevier: ABD.
* AKPOLAT, H., (2004), “**Six Sigma in Transactional and Service Environments”**, Gower Publishing Limited: Burlington.
* ANTUCHEVICIENE, J., ZAVADSKAS, E. K. ve ZAKAREVICIUS, A., (2012), “**Ranking Redevelopment Decisions of Derelict Buildings and Analysis of Ranking Results”**, Economic Computation & Economic Cybernetics Studies & Research, c. 46, s. 2.
* BAÑUELAS, R., TENNANT, C., TUERSLEY, I. ve TANG, S., (2006), “**Selection of Six Sigma Projects in the UK”**, The TQM Magazine, c. 18, s. 5, ss. 514–527.
* BİLGEN, B. ve ŞEN, M., (2012), **“Project Selection Through Fuzzy Analytic Hierarchy Process and a Case Study on Six Sigma Implementation in an Automotive Industry”**, Production Planning & Control, c. 23, s. 1, ss. 2–25.
* BREYFOGLE, F. W., CUPELLO, J. M. ve MEADOWS, B., (2001), **“Managing Six Sigma: A Practical Guide to Understanding, Assessing, and Implementing the Strategy That Yields Bottom-Line Success**”, John Wiley & Sons, Inc.: ABD.
* BÜYÜKÖZKAN, G. ve ÖZTÜRKCAN, D., (2010), **“An Integrated Analytic Approach for Six Sigma Project Selection”,** Expert Systems with Applications, c. 37, s. 8, ss. 5835–5847.
* CHANG, D., (1996), **“Applications of the Extent Analysis Method on Fuzzy AHP”,** European Journal of Operational Research, c. 2217, s. 95, ss. 649–655.
* CHEN, C.-T., (2000), **“Extensions of the TOPSIS for Group Decision-Making Under Fuzzy Environment”,** Fuzzy Sets and Systems, c. 114, s. 1, ss. 1–9.
* CORONADO, R. B. ve ANTONY, J., (2002), **“Critical Success Factors for the Successful Implementation of Six Sigma Projects in Organizations”,** The TQM Magazine, c. 14, s. 2, ss. 92–99.
* DAS, M. C., SARKAR, B. ve RAY, S., (2012), **“A Framework to Measure Relative Performance of Indian Technical Institutions Using Integrated Fuzzy AHP and COPRAS Methodology”,** Socio-Economic Planning Sciences, c. 46, s. 3, ss. 230–241.
* DAVID, J. ve SAATY, D., (2007), “**Use Analytic Hierarchy Process for Project Selection”,** ASQ Six Sigma Forum Magazine, c. August, ss. 22–29.
* DE FEO, J. ve BARNARD, W., (2004), **“Juran Institute’s Six Sigma Breakthrough and Beyond- Quality Performance Methods”,** McGraw-Hill: New York.
* DOĞU, E., (2006), **“Quality Function Deployment (QFD) And Using QFD in Six Sigma Projects”,** (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi), Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü: İzmir.
* ERDEM, İ., (2013), **“Yöneylem Araştırması ve WinQSB Uygulamaları”,** Seçkin Yayıncılık: Ankara.
* ERDEM, S. ve KAVRUKKOCA, G., (2002), **“Sürekli İyileştirme Projelerinin Seçiminde Analitik Hiyerarşi Süreci’nin Kullanımı”,** http://www.deu.edu.tr/ userweb/ sabri.erdem/dosyalar/AHP.pdf, (Erişim Tarihi: 17 Ağustos 2015).
* ERTUĞRUL, İ. ve KARAKAŞOĞLU, N., (2010), **“Electre ve Bulanık AHP Yöntemleri ile Bir İşletme için Bilgisayar Seçimi”,** Dokuz Eylül Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, c. 25, s. 2, ss. 23–41.
* GAVCAR, E., COŞKUN, E., PAKSOY, T., ELEREN, A., SULAK, H., ÖZDEMİR, M., … KESKİN, R., (2011), **“Yöneylem Araştırması”,** (V. Tecim, Ed.), Lisans Yayıncılık: İstanbul.
* GUIPING, H., LIZHI, W., BIDANDA, B., ve FETCH, S., (2007), **“Project Portfolio Selection for Implementing Lean and Six Sigma Concepts”,** IIE Annual Conference and EXPO 2007 - Industrial Engineering’s Critical Role in a Flat World Konferansı.
* HARRY, M. ve SCHROEDER, R., (2000), **“Six Sigma: The Breakthrough Management Strategy Revolutionizing the World’s Top Corporations”,** Doubleday: New York.
* HILLIER, F. S., ve LIEBERMAN, G. J., (2001), **“Introduction to Operational Research”,** McGraw-Hill: New York.
* HSIEH, T.-Y., LU, S.-T. ve TZENG, G.-H, (2004), **“Fuzzy MCDM Approach for Planning and Design Tenders Selection in Public Office Buildings”,** International Journal of Project Management, c. 22, s. 7, ss. 573–584.
* HWANG, C. L. ve YOON, K., (1981), “**Multiple Attribute Decision Making Methods and Applications”,** Springer-Verlag: Berlin.
* İKİZ, A. K., (2009), “**Altı Sigma Projelerinin Değerlemesine Yeni Bir Yaklaşım: Reel Opsiyonlar”,** (Yayımlanmamış doktora tezi), Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü: İzmir.
* KAHRAMAN, C. ve BÜYÜKÖZKAN, G., (2008), **“A Combined Fuzzy AHP and Fuzzy Goal Programming Approach for Effective Six-Sigma Project Selection”,** J. of Multi-Valued Logic & Soft Computing, c. 14, ss. 599–615.
* KAPTANOĞLU, D., ve ÖZOK, A. F., (2010**), “Akademik Performans Değerlendirmesi için Bir Bulanık Model”,** İTÜ Dergisi/d, c. 5, s. 1, ss. 193–204.
* KAYA, İ., KILINÇ, M. S. ve ÇEVİKCAN, E., (2007), **“Makine-Teçhizat Seçim Probleminde Bulanık Karar Verme Süreci”**, Mühendis ve Makina, c. 49, s. 576, ss. 8–14.
* KAZEMI, S. M., KARMASIAN, M., HOMAYOUNI, S. M. ve VASILI, M. R., (2012), **“Six Sigma Project Selections By Using A Fuzzy Multi Criteria Decision Making Approach: A Case Study In Poly Acryl Corp”,** CIE42 Sempozyumu.
* KAZEMI, S. M., KAZEMI, S. M. M. ve BAHRI, M., (2005), **“Six Sigma Project Selections by Using a Multi Criteria Decision Making Approach: A Case Study in Poly Acryl Corp.”,** Proceedings of the 41st International Conference on Computers & Industrial Engineering, (ss. 502–507), ABD.
* KELLY, M., (2002), **“Three Steps to Project Selection”,** ASQ Six Sigma Forum Magazine, c. 2, s. 1, ss. 29–33.
* KUMAR, U. D., CROCKER, J., CHITRA, T. ve SARANGA, H., (2006), **“Reliability and Six Sigma”,** Reliability and Six Sigma, Springer: New Jersey.
* KUMAR, U. D., Saranga, H., Ramírez-Márquez, J. E. ve Nowicki, D, (2007), **“Six Sigma Project Selection Using Data Envelopment Analysis”,** The TQM Magazine, c. 19, s. 5, ss. 419–441.
* LARSON, A., (2003), **“Demystifying Six Sigma: A Company-Wide Approach to Continuous Improvement”,** American Management Association: New York.
* ÖZDAĞOĞLU, A., (2013a), **“İmalat İşletmeleri İçin Eksantrik Pres Alternatiflerinin COPRAS Yöntemi İle Karşılaştırılması”,** Gümüşhane Üniversitesi Sosyal Bilimler Elektronik Dergisi, c. 8, s. Haziran, ss. 1–22.
* ÖZDAĞOĞLU, A., (2013b), **“Çok Ölçütlü Karar Verme Modellerinde Normalizasyon Tekniklerinin Sonuçlara Etkisi : COPRAS Örneği”,** Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İİBF Dergisi, c. 8, s. 2, ss. 229–252.
* PAKSOY, T., PEHLİVAN, N. Y. ve ÖZCEYLAN, E., (2013), “**Bulanık Küme Teorisi”,** Nobel Yayın: Ankara.
* PANDE, P., NEUMAN, R. ve CAVANAGH, R., (2000), **“The Six Sigma Way How GE, Motorola and Other Top Companies are Honing Their Performance”,** McGraw-Hill: New York.
* PANDE, P., NEUMAN, R. ve CAVANAGH, R., (2004), **“Six Sigma Yolu Ge, Motorola ve Zirvedeki Diğer Firmaların Performanslarını Yükseltme Yöntemleri”,** Klan Yayınları: İstanbul.
* PYZDEK, T., (2000a), **“The Six Sigma Revolution”,** Quality America Inc, ABD.
* PYZDEK, T., (2000b, Eylül), **“Selecting Six Sigma Projects”,** Quality Digest Magazine, ss. 1–2.
* PYZDEK, T., (2003), **“The Six Sigma Project Planner: A Step-by-Step Guide to Leading a Six Sigma Project Through DMAIC”,** McGraw-Hill: New York.
* RAY, S., DAS, P., BHATTACHARYAY, B. K. ve ANTONY, J., (2013), **“Measuring Six Sigma Project Effectiveness using Fuzzy Approach”,** Quality and Reliability Engineering International, c. 29, s. 3, ss. 417–430.
* SAATY, T. ve VARGAS, L., (2012), “**Models, Methods, Concepts & Applications of the Analytic Hierarchy Process”,** Springer: New York.
* SAGHAEI, A. ve DIDEHKHANI, H., (2011**), “Developing An Integrated Model for the Evaluation and Selection of Six Sigma Projects Based on ANFIS and Fuzzy Goal Programming”,** Expert Systems with Applications, c. 38, s. 1, ss. 721–728.
* SHEU, J. B., (2004), **“A Hybrid Fuzzy-based Approach for Identifying Global Logistics Strategies”,** Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, c. 40, s. 1, ss. 39–61.
* SU, C. ve CHOU, C., (2008), **“A Systematic Methodology for the Creation of Six Sigma Projects: A Case Study of Semiconductor Foundry”,** Expert Systems with Applications, c. 34, s. 4, ss. 2693–2703.
* ŞENTÜRK, Ö., (2013), **“Six Sigma Project Evaluation Under Fuzziness in Food Industry”,** (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi), Kadir Has Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü: İstanbul.
* TEKİN, M., (2008), **“Sayısal Yöntemler”,** Selçuk Üniversitesi İİBF: Konya.
* TEKNOMO, K, (2014), **“Analytic Hierarchy Process (AHP) Tutorial”,** http://web.cjcu.edu.tw/ ~lcc/Courses/TUTORIAL/AHP Tutorial.doc (Erişim Tarihi, 10 Haziran 2015).
* TİMOR, M., (2010), “**Yöneylem Araştırması”,** Türkmen Kitabevi: İstanbul.
* TİMOR, M., (2011), **“Analitik Hiyerarşi Prosesi”,** Türkmen Kitabevi: İstanbul.
* YANG, T. Y. T. ve HSIEH, C., (2008), **“Six-Sigma Project Selection Using National Quality Award Criteria and Fuzzy Multiple Criteria Decision-Making Method”,** Expert Systems with Applications, c. 36, ss. 7594–7603.
* YAZDANI, M., ALIDOOSTI, A. ve ZAVADSKAS, E. K., (2011), **“Risk Analysis of Critical Infrastructures Using Fuzzy COPRAS”,** Ekonomska Istrazivanja, c. 24, s. 4, ss. 27–40.
* YILDIRIM, B. F. ve ÖNDER, E., (2014), **“İşletmeciler, Mühendisler ve Yöneticiler için Operasyonel, Yönetsel ve Stratejik Problemlerin Çözümünde Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri”,** Dora Yayınları: Bursa.
* YÜKSEL, H., (2012), **“Evaluation of the Success of Six Sigma Projects by Data Envelopment Analysis”,** International Journal of Business and Management, c. 7, s. 13, ss. 75–84.
* ZADEH, L. A., (1965), **“Fuzzy Sets”,** Information and Control, c. 8, ss. 338–353.
* ZAVADSKAS, E., KAKLAUSKAS, A., TURSKIS, Z. ve TAMOSAITIENE, J., (2009), **“Multi-Attribute Decision-Making Model by Applying Grey Numbers”,** Informatica, c. 20, s. 2, ss. 305–320.

# EKLER

Ek 1. Birleştirilmiş Bulanık Karar Matrisi (Bulanık AHP)



**Ek 2. Altı Sigma Proje Seçimi Hiyerarşik Yapısı**

****

**Ek 3. Birleştirilmiş Bulanık Karar Matrisi (Bulanık COPRAS)**



**Ek 4. Ağırlıklandırılmış Bulanık Karar Matrisi (Bulanık COPRAS)**



1. *Bu çalışma, Adnan Menderes Üniversitesi Rektörlüğü Bilimsel Araştırma Projeleri Başkanlığı (ADÜBAP) tarafından desteklenen İİBF-14003 numaralı tez projesinden üretilmiştir. Ayrıca, 16. Uluslararası Ekonometri, Yöneylem Araştırması ve İstatistik Sempozyumu’nda (7-12 Mayıs 2015 Edirne) sunulmuştur.*  [↑](#footnote-ref-1)
2. ***Engin ÇAKIR****, Yrd. Doç. Dr., Adnan Menderes Üniversitesi, İşletme Bölümü.* [↑](#footnote-ref-2)
3. ***Muhsin ÖZDEMİR****, Doç. Dr., Adnan Menderes Üniversitesi, İşletme Bölümü.* [↑](#footnote-ref-3)