

AHP VE TOPSIS YAKLAŞIMLARIYLA METAL MATRİSLİ KOMPOZİT İMALAT MAKİNELERİNİN SEÇİMİ

Ali GÖRENER

*Beykent Üniversitesi,
Lojistik Yönetimi Bölümü,
Beylikdüzü - İstanbul
aligorener@beykent.edu.tr*

ÖZET

Metal matrisli kompozit(MMK) malzemeler sunmuş oldukları iyi mekanik özelliklerin yanı sıra, ağırlık bakımından da hafif olmaları nedeniyle tercih edilmektedirler. MMK üretim yöntemleri içerisinde toz metalurjisi (T/M), en başarılı yöntemlerden biridir. Bu üretim yönteminde; takviye partiküllerin matris içinde homojen dağılımı için endüstriyel ölçekte mekanik karıştırıcılar, farklı sıcaklık derecelerinde, çeşitli gaz ortamlarında presleme ve sinterleme için sıcak presler kullanılmaktadır. Bu çalışmada, sıcak preslerin kullanıldığı T/M yönteminde rol alan ekipmanların seçimi amaçlanmıştır. AHP ve TOPSIS metotları kullanılarak farklı karıştırıcı ve sıcak preslerden, uygun olan alternatiflerin belirlenmesine yönelik bir yaklaşım oluşturulmuştur. Seçim kriterlerinin ağırlıkları AHP ile hesaplanmış, TOPSIS yöntemiyle de uygun üretim ekipmanlarının seçimi yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Metal matrisli kompozit, imalat, karıştırıcı, sıcak pres, AHP, TOPSIS

Equipment Selection Using the AHP and TOPSIS Approaches For Manufacture of Metal Matrix Composite

ABSTRACT

Metal matrix composites (MMC) are preferred for good mechanical properties and their light weight characteristic. Powder metallurgy (P/M) is one of the most successful methods used for the manufacture of MMC product. In P/M method, homogeneous distribution of particles is provided with mechanical industrial mixer. After that, product are pressed and sintered at different temperatures and under various gas atmosphere via hot press. This study proposes selection of equipments using preparation of MMCs, which are produced through P/M method using hot press. In this paper, a hybrid approach is presented to evaluate alternative mixer and hot presses in terms of selection criteria by using AHP and TOPSIS methods. The AHP is applied to determine weights of the criteria, and TOPSIS method is used to select appropriate manufacturing equipments.

Keywords: Metal matrix composites, manufacturing, mixer, hot press, AHP, TOPSIS

Geliş tarihi : 03.01.2011
Kabul tarihi : 08.02.2011

GİRİŞ

Gelişen imalat endüstrisinin ihtiyaçlarını karşılayacak yeni malzemeler elde edebilme arayışı, malzeme bilimindeki ilerlemelerin temelini oluşturmuştur. Uçay, havacılık, otomotiv, elektronik ve enerji sektörlerindeki teknolojik gelişmeler, konvansiyonel malzemelerin ötesinde yeni özelliklere sahip malzemelere olan gereksinimi gün geçtikçe arttırmaktadır.

Metal matrisli kompozit (MMK) malzemeler; bir metalin seramik, karbon veya metalik takviye elemanı ile birleştirilmesiyle oluşan malzemelerdir. Metal matrisli kompozitler, sürekli ve süreksiz tiplerde takviye elemanları içerirler ve geleneksel malzemelerle elde edilmesi mümkün olmayan özellikler gösterirler. Üretilen metal matrisli kompozite bağlı olarak bu özellikler; yüksek elastiklik modülü, yüksek dayanım, iyi aşınma direnci, düşük ısı genleşme katsayısı ve yüksek sıcaklıklarda çalışabilme gibi özelliklerdir. MMK malzemelerin ileri teknoloji gerektiren askeri ve uçay uygulamalarında kullanılmaları, gelişmiş prosesler içeren üretim yöntemleriyle birlikte yüksek maliyetli matris ve takviye elemanları kullanılması nedeniyle oldukça pahalıdır. Ancak bu malzeme grubunun, ulaşım ve enerji sektörlerinde daha yüksek miktarlarda üretim ve göreceli düşük maliyet gerektiren otomotiv ile elektronik sistemlerindeki uygulamaları ticari hâle gelmeye başlamıştır. Pistonlar, silindir gömlekleri, yatak malzemeleri, motor blokları gibi temel uygulamaların yanı sıra güneş pilleri, yarı ve süper iletkenlerinde içinde bulunduğu uygulamalarda da metal matrisli kompozit malzemeler kullanılabilmektedir [1,2].

Belirli bir uygulama alanında kullanılmak üzere en uygun kompozit malzemeyi elde edebilmek için metal matrisli kompozitin bileşenleri hakkında ayrıntılı bilgiye sahip olmak gerekmektedir. Takviye elemanının; cinsi, şekli, boyutu, dağılımı, yüzey özellikleri, kimyasal kompozisyonu, dağılım miktarı ve homojenliği gibi yapısal özellikleri çok önemlidir. Bunun yanı sıra metal matrisin de nitelikleri dikkate alınmalıdır. Matris, takviye fazını bir arada tutmaya yarayan bağlayıcı gibi davranır ve asıl işlevi takviye fazına yükü iletme, takviye fazı ile matris alaşımının kimyasal olarak uyumluluğu da önemli bir kriterdir [3,4].

Tablo 1. Partikül Takviyesinin Metal Malzemenin Mekanik Özelliklerine Etkisi [6]

Malzeme	Çekme Dayanımı (MPa)	Elastiklik Modülü (GPa)	Kopmadaki Uzama Miktarı (%)
Al 2124-F	455	71	9
Al 6061-F	310	68,9	12
Al 2124-F (%20 SiC partikül)	552	103	7
Al 6061-F (%20 SiC partikül)	496	103	5,5

Metal matrisli kompozit malzemeler içerisinde en fazla uygulama alanı bulan gruplardan biri, partikül takviyeli kompozit malzemelerdir. Partiküllerle güçlendirilmiş metal matrisli kompozit malzemeler izotropik özellik gösterirler. Örnek olarak, alüminyum alaşımına yaklaşık 3 ile 20 m çapında düzensiz şekilli alümina ve silisyum karbür partikülleri katılarak üretilen, düşük maliyetli alüminyum metal matrisli kompozit malzemeler gösterilebilir [5]. Tablo 1'de görülebileceği gibi % 20 SiC partikül katmakla alüminyum alaşımının çekme dayanımı 310 MPa'dan 496 MPa'a, çekme modülü ise 68,9 GPa'dan 103 GPa'a yükseltilebilmektedir. Genellikle toz metalurjisi ve döküm yöntemiyle üretilen bu kompozitler, otomotiv endüstrisinde kullanılmaktadır [6].

MMK malzemelerde, matris malzemesi olarak genellikle Al, Ti, Mg, Ni, Cu, Co ve Zn gibi metallerin alaşımları kullanılır [7]. Metal matrisli kompozit malzemelerde en çok kullanılan takviye elemanları ise Al₂O₃, SiC, Bor, TiC ve karbondur [8,9]. Doğada birçok seramik parçacık halinde bulunduğu için, bu malzemeler partikül takviyeli kompozitler için geniş bir takviye potansiyeline sahiptir. Uygulamalarda mukavemetin yüksek olması gerektiği durumlarda ise kısa fiberler veya whisker katkılı kompozit malzemeler kullanılır. Partikül takviyeli kompozitlerin avantajları şunlardır:

- Partikül takviyeli kompozitler, sürekli veya kısa fiberli olanlara göre daha ucuzdurlar.
- Toz metalurjisi ve döküm gibi tekniklerle kolaylıkla üretilebilirler. Bunu takiben malzemelere, haddeleme, dövme, ekstrüzyon gibi ikincil işlemler uygulanabilir.
- İzotropik özellikler gösterirler.
- Rijitlikleri ve aşınma dayanımları iyidir.

Bu çalışmada, otomotiv sektörü için metal esaslı parçalar üreten bir imalat işletmesinin, sıcak pres kullanılan toz metalurjisi yöntemiyle, SiC ve TiC partikül takviyeli alüminyum esaslı kompozit malzeme ve parça üretimi için kullanılabileceği mekanik karıştırıcı ve sıcak preslerin araştırması yapılmıştır. Firmanın hedeflediği üretim için, alüminyum matris malzemesiyle belirli hacim oranlarında SiC veya TiC partiküller karıştırılacak, sonrasında 550-650 °C sıcaklıklarda azot atmosferi altında, 50 ile 350 MPa basınçlarda sıcak pres yardımıyla malzemeler imal edilecektir. Sonrasında ikincil işlemler yapılarak, parçalar son halini alacaktır. Çeşitli firmalardan, imalat makinelerinin (mekanik karıştırıcı ve sıcak pres) özelliklerine ve fiyatlarına ilişkin bilgiler alınmıştır. Makinelerin tedarik edilmesinde dikkat edilmesi gereken önemli kriterler belirlenerek, değerlendirme safhasında çok kriterli

karar verme tekniklerinden AHP (Analitik hiyerarşi süreci) ve TOPSIS (İdeal çözüme dayalı sıralama) yöntemleri kullanılmıştır.

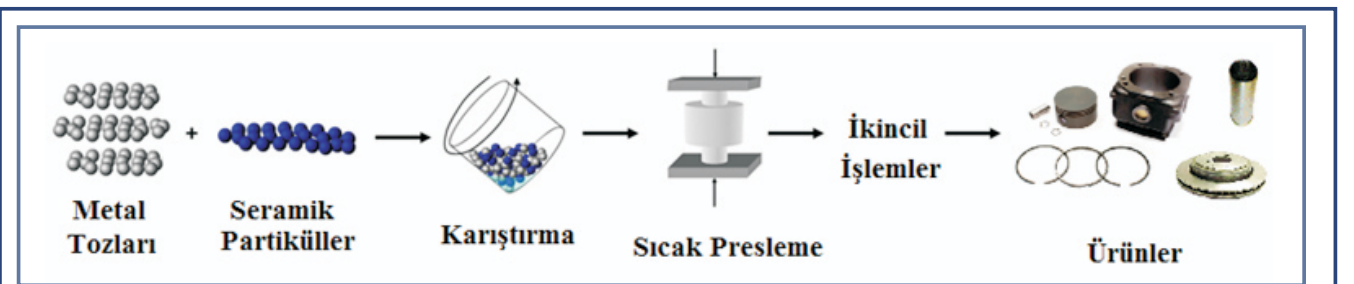
METAL MATRİSLİ KOMPOZİT MALZEMELERİN TOZ METALURJİSİYLE ÜRETİMİ

Metal matrisli kompozit malzemelerin, geleneksel malzemeler karşısında üstün mekanik özellikler sergilemesi, son yıllarda bu malzemelerin üretim teknikleri üzerinde daha yoğun çalışmalar yapılmasına yol açmıştır. Buna rağmen, bu malzemelerin üretim maliyetleri hâlâ yüksek değerlerdedir. Metal matrisli bir kompozit malzemenin üretim tekniği; üretilecek parçanın şekline, istenilen mekanik ve fiziksel özelliklere, matrise, takviye elemanı şekli ve türüne göre belirlenir. Her üretim yönteminin kendine özgü avantajları ve dezavantajları mevcuttur. Ancak tüm kompozit üretim yöntemleri, geleneksel malzeme üretim yöntemleriyle karşılaştırıldığında, matris ve takviye fazı arasındaki etkileşimler nedeniyle daha karmaşıktır. Bu yöntemler; katı faz üretim yöntemleri, sıvı faz üretim yöntemleri ve diğer yöntemler olarak sınıflandırılabilir [10, 15, 44]. Üretim teknikleri Tablo 2'de özetlenmiştir.

Metal matrisli kompozit malzemelerin üretiminde kullanılan en yaygın yöntemlerden biri toz metalurjisi tekniğidir. Seramik partiküllerin sıvı metal tarafından ıslatılmasındaki güçlük nedeniyle toz metalurjisiyle kompozit üretimi, ilk olarak geliştirilmiş tekniklerden birisidir. Bu teknikte genellikle, partikül veya whisker formunda takviye elemanları ile toz haldeki metal kullanılarak, metal matrisli kompozit malzeme oluşturulur [8]. Toz metalurjisi yöntemiyle metal matrisli kompozit malzeme üretiminde, takviye elemanları ve matris tozları öncelikle karıştırılır ve istenen şekli verebilecek bir kalıbın içine boşaltılır. Daha sonra bu toz karışımını sıkıştırabilmek amacıyla basınç uygulanır. Ardından toz parçacıkları arasındaki birleşmeyi kolaylaştırmak için, sıkıştırılmış toz karışımı yeterli miktarda katı hâl difüzyonu oluşturacak şekilde ergime noktasının altında bir sıcaklıkta sinterlenir. Toz presleme ve sinterlemenin ayrı ayrı yapıldığı yöntemde elde edilen malzeme yoğunluğu istenen kalitede olmayabilir. Bu nedenle artık günümüzde yaygın olarak sıcak presler (HP) kullanılmaktadır. Bu işlemde tozlar karıştırıldıktan sonra, toz sıkıştırma (presleme) ve sinterleme işlemi aynı anda yapılır. Bir başka deyişle, toz karışımı sıcak preslenir. Bu şekilde yoğunluk artarken, takviye-matris ara yüzey bağı da kuvvetlenir. Sıcak presleme sonucunda üretilen

Tablo 2. Metal Matrisli Kompozit Malzeme Üretim Teknikleri

Katı Faz Üretim Yöntemleri	Sıvı Faz Üretim Yöntemleri	Diğer Yöntemler
Toz Metalurjisi Teknikleri	Sıvı Metal İnfiltrasyon	Rheocasting Döküm
	Sıkıştırma Döküm	Compocasting Döküm
		Vidalı Ekstrüzyon
Difüzyon Bağı Yöntemi	Santrifüj Döküm	In-Situ Tekniği
	Plazma Püskürtme	Ekzotermik Dispersiyon (XD)
	Sıvı Metal Karıştırma	Basınç Takviyeli Ekzotermik Dispersiyon (PAXD)



Şekil 1. Sıcak Preslemenin Kullanıldığı Toz Metalurjik Üretim Tekniği [12]

parça ekstrüzyon, haddeleme ve dövme gibi ikincil işlemlerin ardından kullanıma hazır hâle gelir [11]. Bir diğer alternatifte izostatik sıcak preslemedir (HIP). Bu yöntem ise son şekle yakın, yüksek yoğunluklu malzeme üretimi için daha uygundur; fakat oldukça pahalıdır.

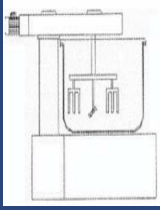
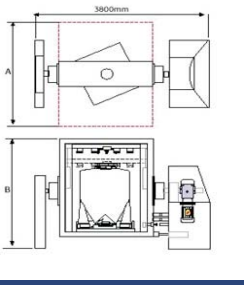
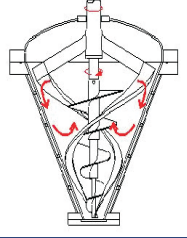
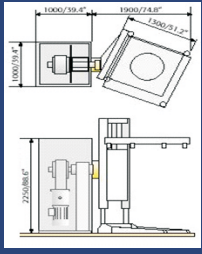
Tozların Karıştırılması ve Mekanik Karıştırıcılar

Toz metalurjisi yöntemin ilk aşaması olan tozların karıştırılmasındaki temel husus, takviye elemanı partiküllerin, tüm yapıya dağılacak şekilde homojen olarak metal tozlarına karışmasının sağlanmasıdır [9]. Takviye elemanının homojen bir dağılım sağlaması için, metal tozu ve seramik partikül boyutları önemlidir [8]. Bileşenlerin boyutsal oranları kadar, matris ve takviye elemanının yapıdaki oranları da önemlidir. Bu iki değer iyi ayarlanamaması, homojenliği kötü yönde etkiler. Homojenliğin sağlanmasında etken olan diğer iki önemli

faktörde, karıştırma hızı ve karıştırma süresidir. Toz metalurjik üretim sürecinde, homojenliğin sağlanması için matris ile takviye tozları uygun süre ve uygun hızda karıştırılmalıdır. Karıştırma hızı ile süresi, matris ve takviye elemanı türüne de bağlıdır. Sık kullanılan matris ve takviye elemanlarının kombinasyonu için karıştırma süresi ve karıştırma hızı biliniyor olsa da üretime başlarken hazırlık amaçlı olarak deneyler yapılması önerilmektedir. Bunların yanı sıra karıştırma hızı ve karıştırma süresinin, kullanılan mekanik karıştırıcının özelliklerine de bağlı olduğu unutulmamalıdır [11].

Tozların karıştırılmasında kullanılan mekanik karıştırıcılar, üretici firmalara göre tip ve özellik olarak farklılık göstermektedir. Çalışma kapsamında incelenen, çeşitli firmaların ürettiği dört farklı mekanik karıştırıcıya ait özellikler Tablo 3'te verilmiştir. Firma isimleri gizli tutularak, dört farklı firma A, B, C ve D olarak ifade edilmiştir. Karıştırıcılar tedarik

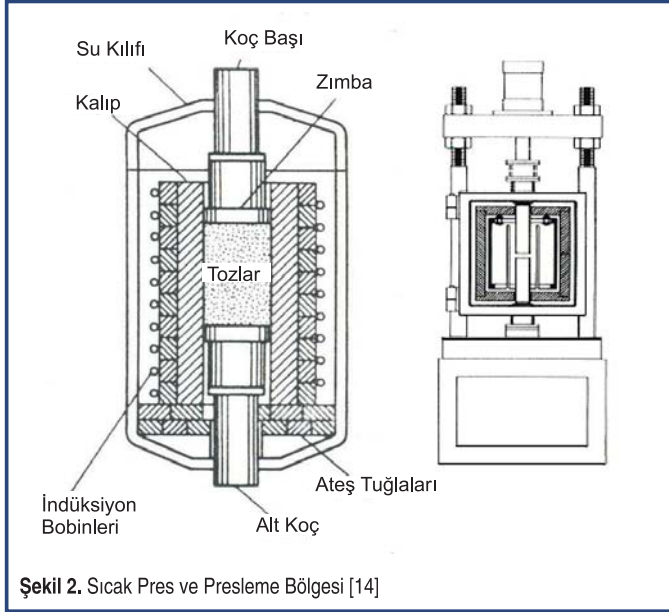
Tablo 3. Değerlendirilen Mekanik Karıştırıcılar ve Temel Özellikleri

Firma Kodu	A	B	C	D
Katalog Şeması				
Kapasite	750 kg	2500 kg	2500 kg	2500 kg
Karıştırma Hızı	0-22 d/d	0-30 d/d	0-40 d/d	0-30 d/d
Karıştırma Tipi	Klasik dairesel karıştırma Sistemiyle	Haznenin kendi ekseninde etrafında komple dönmesiyle	Helisel karıştırıcılarla	Haznenin kendi ekseninde etrafında komple dönmesiyle
Maksimum Hazne Hacmi	1,5 m ³	2,5 m ³	2 m ³	2,5 m ³
Hazne Tipi	Çıkarılabilir	Çıkarılabilir	Sabit	Çıkarılabilir
Kontrol	Manuel ve Bilg. Kontrol	Manuel ve Bilg. Kontrol	Manuel ve Bilg. Kontrol	Manuel ve Bilg. Kontrol
Temizlik	Manuel	Entegre Hava Püskürtücü	Manuel	Entegre Hava Püskürtücü
Fiyat	Farklı firmalara ait dört karıştırıcının fiyatları gizli tutulmuştur. Makinelerin fiyatları arasında, $C_f < A_f < D_f < B_f$ ilişkisi mevcuttur. Makalenin uygulama bölümünde gerçek değerler baz alınarak kıyaslamalar yapılmıştır.			

edilirken dikkat edilmesi gereken önemli kriterler; karıştırıcının kapasitesi, karıştırma hızı, hazne hacmi, homojen karışım sağlanabilmesi, fiyat, üretici firma referansları, garanti ve servis koşulları olarak nitelendirilebilir.

Sıcak Presler

Metal matrisli kompozit malzeme üretiminde hem presleme





Şekil 2. Sıcak Pres ve Presleme Bölgesi [14]

hem de sinterlemenin aynı anda gerçekleştirildiği teknolojik süreçler, geleneksel presleme ve sinterlemenin yerini almaya başlamıştır. Bunların arasında en yaygın kullanıma sahip olan, sıcak preslerdir. Şekil 2'de görüldüğü gibi, sıcak tek yönlü presleme işleminde çift taraflı etki eden su soğutmalı baskı plakaları arasına yerleştirilen tozlar; indüksiyon ısıtma etkisinde preslenir, hemen sonrasında baskı kuvveti altında yüksek sıcaklıklarda sinterlenir. Bu sayede yoğunluk artarken, takviye - matris ara yüzey bağı önemli ölçüde kuvvetlenir [13]. Sıcak presleme normal şartlarda gerçekleştirilebileceği gibi, karıştırılmış olan tozların özel kalıplara yerleştirilmesi suretiyle vakum, azot atmosferi veya farklı atmosfer şartları altında da gerçekleştirilebilir.

Sıcak presleme işlemi, geleneksel toz presleme ve sinterleme işlemiyle karşılaştırıldığında daha kısa bir zamanda gerçekleşmektedir. Ayrıca daha gözeneksiz bir yapı elde edilmesini sağlar. Sıcak presleme işleminde uygulanacak sıcaklık, preslenecek malzeme bileşimine ve uygulanan basınca bağlıdır [14,15].

Bu kısımda da karıştırıcılarda olduğu gibi, sıcak pres üreticilerinden alınan tekliflere ilişkin bilgiler verilmiştir. Firma isimleri saklı tutulduğundan dört farklı sıcak pres; K, L, M, N harfleri ile ifade edilmiştir. Tablo 4, değerlendirilecek sıcak preslerin temel özelliklerini ifade etmektedir. İlerleyen bölümlerde çeşitli firmaların farklı özelliklerdeki karıştırıcı ve sıcak pres makineleri, AHP ve TOPSIS yöntemleri

Tablo 4. Değerlendirilen Sıcak Presler ve Temel Özellikleri

Firma Kodu	K	L
Katalog Resmi		
Çalışma bölgesi boyutları	250 mm - 250 mm - 250 mm	225 mm - 225 mm - 350 mm
Maksimum sıcaklık	2200 °C	2000 °C
Güç	Maksimum 30 ton	Maksimum 50 ton
Sıcaklık kontrolü	İki adet termokupl ile	İki adet termokupl ile
Soğutma	Su ile soğutma	Su ile soğutma
Çalışma Koşulları	Normal atmosfer şartları altında çalışabilme, vakum altında çalışabilme.	Normal atmosfer şartları altında çalışabilme. Argon, nitrojen gazı ve vakum altında çalışabilme.

Tablo 4 (devamı). Değerlendirilen Sıcak Presler ve Temel Özellikleri

Firma Kodu	M	N
Katalog Resmi		
Çalışma bölgesi boyutları	Preslenebilecek maksimum parça çapı: 50 mm, yüksekliği: 300 mm	Preslenebilecek maksimum parça çapı: 300 mm, yüksekliği: 300 mm
Maksimum sıcaklık	2200 °C	2000 °C
Güç	Maksimum 10 ton	Maksimum 250 ton
Sıcaklık kontrolü	İki adet termokupul ile	İki adet termokupul ile
Soğutma	Su ile soğutma	Su ile soğutma
Çalışma Koşulları	Normal atmosfer şartları altında çalışabilme. Argon, nitrojen, helyum gazı veya vakum altında çalışabilme.	Normal atmosfer şartları altında çalışabilme. Argon, nitrojen, helyum gazı veya vakum altında çalışabilme.
Fiyat	Farklı firmalara ait dört sıcak presin fiyatları gizli tutulmuştur. Makinelerin fiyatları arasında, $M_f < K_f < L_f < N_f$ ilişkisi mevcuttur. Uygulama bölümünde gerçek değerler baz alınarak kıyaslamalar yapılmıştır.	

kullanılarak değerlendirilmiş, kriterler çerçevesinde en iyi seçenekler tespit edilmiştir.

ANALİTİK HİYERARŞİ SÜRECİ (AHP)

AHP, çok kriterli karar verme problemlerin ana hedef değerlendirme kriterleri ve alternatifler arasındaki ilişkiyi gösteren, hiyerarşik yapıda modellenebilmesine olanak veren bir yöntemdir. AHP tekniğinde, kararı etkileyen kriterler ve alternatifler karar verme grubu tarafından ikili karşılaştırmalara tabi tutulur. Karşılaştırmalarda, Saaty [16]'nın geliştirmiş olduğu 1-9 puanlı tercih ölçeği kullanılır. Bu karşılaştırmalar sonucunda değerlendirme kriterlerinin önem ağırlıkları belirlenebilir. Bu sayede, hangi kriterlerin karar vermede ne oranda dikkate alınacağı tespit edilebilir [16,17]. AHP'nin günümüze kadar kullanıldığı alanlardan bazılarına; imalat süreçleri yönetimi [17,18], makine ve aparat seçimi [19, 20, 21]; tedarikçi seçimi [22, 23, 24, 25, 26], satın alma kararları [27,28], kalite yönetimi [29,30] örnek olarak verilebilir.

AHP uygulamasında öncelikle, çok kriterli karar verme probleminin tanımlanması gerekmektedir. Ulaşılmak istenen hedef, kriterler ve alternatifler ifade edilir. Tablo 5'te ifade edilen ölçek kullanılarak, model içerisinde yer alan kriterlerin

önem ağırlıklarının belirlenmesi amacıyla, karar verici grup tarafından değerlendirme kriterlerinin ikili karşılaştırmaları yapılır. Karşılaştırma matrisleri oluşturulur.

Tablo 5. İkili Karşılaştırma Ölçeği [16]

Önem Değerleri	Açıklama
1	Karşılaştırılan iki kriterin eşit öneme sahip olması durumu
3	Birinci kriterin ikinci kriterden önemli olması durumu
5	Birinci kriterin, ikinci kriterden çok önemli olması durumu
7	Birinci kriterin, ikinci kriterden çok güçlü bir öneme sahip olması durumu
9	Birinci kriterin, ikinci kriterden mutlak üstün öneme sahip olması durumu
2, 4, 6, 8	Gerektiğinde kullanılacak ara değerler

Yapılmış olan ikili karşılaştırmalar dikkate alınarak, öncelik vektörleri belirlenir. Bu vektör, kriterlerin önem ağırlıklarını

ifade etmektedir. Sonrasında tutarlılık oranları hesaplanır. Karar verme grubunun yapmış olduğu karşılaştırmalardaki tutarlılığın ölçülebilmesi için öz vektör yöntemi kullanılabilir. Bu yöntemde; Tutarlılık Oranı (CR)'nın hesaplanması gerekir. Hesaplanan CR değerinin 0,10'dan küçük olması karşılaştırmaların tutarlı olduğunu gösterir. CR değerinin 0,10'dan büyük olması ise ikili karşılaştırmaların tutarsız olduğunu veya hesaplama hatası olduğunu ifade eder. Bu durumda, karşılaştırmalar tekrar gözden geçirilmelidir [16]. CR değeri; tutarlılık indeksinin (CI), rassal indeks (RI) değerine bölünmesiyle elde edilir. Kriter sayısına bağlı rassal indeks değerleri Tablo 6'da verilmiştir.

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (1)$$

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (2)$$

$$\lambda_{max} = \frac{\sum_{i=1}^n E_i}{n} \quad (3)$$

(3) numaralı eşitlikte; λ_{max} en büyük öz değeri, n ise kriter sayısını ifade etmektedir. Bu adıma kadar yapılan işlemlerle, karar verme probleminin çözümüne etki eden kriterlerin ağırlıkları belirlenebilmektedir. Kriter ağırlıkları belirlendikten sonra, AHP metodu ile alternatiflerin karşılaştırılması yapılabileceği gibi, farklı çok kriterli karar verme metodları kullanılarak da sonuca ulaşılabilir.

Tablo 6. Kriter Sayısına Bağlı Olarak Rassal İndeks Değerleri [16]

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0,00	0,00	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

TOPSIS METODU

TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution), Hwang ve Yoon [31] tarafından çok kriterli karar verme tekniği olarak geliştirilmiştir. Başlangıç olarak ELECTRE yönteminin temel yaklaşımlarını kullanır. Daha sade ve kolay anlaşılır bir yöntemdir. Karar alternatiflerinin ideal çözüme yakınlığı ve negatif ideal çözüme uzaklıklarını dikkate alan bir karar verme tekniğidir.

TOPSIS tekniğinde öncelikle problem tanımlanır. Çözüm alternatifleri ve çözümde irdelenecek kriterler belirlenir. Satırlarında alternatifler, sütunlarında ise değerlendirme kriterleri yer alan karar matrisi oluşturulur. A karar matrisindeki a_{ij} , i alternatifinin j kriterine göre değerini temsil

etmektedir. (4) numaralı ifade de ise karar matrisi görülmektedir. Matristeki m karar noktası sayısını, n ise değerlendirme kriteri sayısını ifade etmektedir. A matrisinin elemanları kullanılarak (5) numaralı denklem yardımıyla standartlaştırılmış (normalize edilmiş) karar matrisi oluşturulur.

$$A = \begin{matrix} \text{Alternatif -1} \\ \text{Alternatif -2} \\ \text{Alternatif -} \\ \text{Alternatif -} \\ \text{Alternatif -} \\ \text{Alternatif -} \\ \text{Alternatif -m} \end{matrix} \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$r_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m a_{ij}^2}} \quad i=1,2,\dots,m; j=1,2,\dots,n \quad (5)$$

Değerlendirme faktörlerine ilişkin ağırlık değerleri (w_i) ile standartlaştırılmış karar matrisinin elemanları çarpılarak, ağırlıklandırılmış standart karar matrisi (v) elde edilir. v matrisi (6) numaralı ifade ile gösterilmiştir. Bu aşamadan sonra ideal ve negatif ideal çözümlerin oluşturulmasına geçilir.

$$v_{ij} = \begin{bmatrix} w_1 r_{11} & w_2 r_{12} & \dots & w_n r_{1n} \\ w_1 r_{21} & w_2 r_{22} & \dots & w_n r_{2n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ w_1 r_{m1} & w_2 r_{m2} & \dots & w_n r_{mn} \end{bmatrix} \quad (6)$$

İdeal çözüm setlerinin oluşturulabilmesi için ağırlıklandırılmış standart karar matrisindeki değerlendirme faktörlerinin (sütun değerlerinin) en büyükleri seçilir. Değerlendirme faktörü minimizasyon yönlü ise (örneğin fiyat vb. gibi) en küçüğü dikkate alınır.

$$A^* = \{v_1^*, \dots, v_i^*\} = \left\{ (\max_j v_{ij} | i \in I'), (\min_j v_{ij} | i \in I'') \right\} \quad (7)$$

$$A^- = \{v_1^-, \dots, v_i^-\} = \left\{ (\min_j v_{ij} | i \in I'), (\max_j v_{ij} | i \in I'') \right\} \quad (8)$$