



Derleme / Review

## ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMLERİ VE MADENCİLİK SEKTÖRÜNDE KULLANIMI

*MULTI-CRITERIA DECISION MAKING METHODS AND USE OF IN MINING INDUSTRY*

Mert Mutlu<sup>a,\*</sup>, Mehmet Sarı<sup>a,\*\*</sup>

<sup>a</sup> Aksaray Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, AKSARAY

**Geliş Tarihi / Received** : 9 Haziran / June 2017  
**Kabul Tarihi / Accepted** : 19 Eylül / September 2017

### ÖZ

**Anahtar Sözcükler:**  
 Madencilik problemleri,  
 Çok kriterli karar verme (ÇKKV),  
 Analitik Hiyerarşi Prosesi,  
 Bulanık Analitik Hiyerarşi  
 Prosesi,  
 Bulanık TOPSIS

Çok kriterli karar verilmesi (ÇKKV) hem objektif hem de sübjektif değerlendirme içermektedir. Yapılan bu derleme çalışmasında, literatürde çok kriterli karar verme yöntemlerinin kullanıldığı madencilğin farklı alanlarında yapılmış çalışmalar incelenmiştir. Söz konusu yöntemlerin risk yönetim planlaması sürecinde kullanımından, uygun ekipman seçimi problemlerine, üretim yöntemi seçiminden, tesisler için uygun yer belirlenmesine, doğal taş ocaklarında kesme yöntemi seçimi gibi birçok farklı alanda kullanıldığı görülmüştür. Çok kriterli karar verme yöntemleri yardımıyla karar verme sürecinde seçimi yapılmak istenilen alternatifler uygun bir ölçek kullanılarak sıralanabilmekte, böylece madencilikte karşılaşılan çeşitli problemlerin çözümünde karar vericilere yol gösterici nitelikte uygun seçenekler sunabilen faydalı birer araç olabilmektedirler.

### ABSTRACT

**Keywords:**  
 Mining problems,  
 Multi-criteria decision making  
 (MCDM),  
 Analytic Hierarchy Process,  
 Fuzzy Analytic Hierarchy  
 Process,  
 Fuzzy TOPSIS

Multi-criteria decision making (MCDM) includes both objective and subjective evaluation. Within the scope of this review article, the studies done in different areas of mining where multi-criteria decision making methods are used in the literature have been examined. It has been seen that these methods are used in many different areas of mining such as risk management planning process, mining equipment selection problems, mining method selection, selection of the appropriate location for the facilities, cutting method selection in natural stone quarries. With the help of multi-criteria decision making methods, alternatives in the decision making process can be ordered using appropriate scales, so MCDM can be a useful tool for guiding decision makers in the solution of different mining problems.

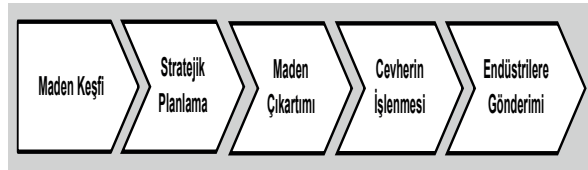
\* [mertmutlu@aksaray.edu.tr](mailto:mertmutlu@aksaray.edu.tr) • <https://orcid.org/0000-0002-6040-1186>

\*\* Sorumlu yazar: [mehmetsari@aksaray.edu.tr](mailto:mehmetsari@aksaray.edu.tr) • <https://orcid.org/0000-0001-9441-9256>

## GİRİŞ

Günümüzün rekabetçi ortamında doğru ve etkin kararlar alabilen işletmeler, rakiplerine göre yeni ortam ve koşullara daha çabuk uyum sağlayabilmekte ve elde etmiş olduğu bu üstünlüğünü diğer birçok alanda da sürdürebilmektedir. Alınacak doğru ve etkin kararlar, bilgilerin sağlıklı ve verimli bir şekilde iyi bir zamanlama ile değerlendirilmesine bağlı olup, başarıyı da beraberinde getirecektir.

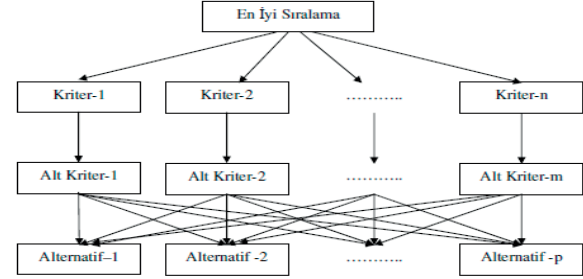
Madenler, firma ve ülke ekonomilerine olan birçok katkısından dolayı gelişen teknoloji ve artan dünya nüfusu ile birlikte endüstriyel sanayinin en önemli hammadde kaynağı haline gelmişlerdir. Sağladığı yüksek katma değer sayesinde madenler, birçok ülke için ekonomik bağımsızlık elde edilmesinde vazgeçilmez bir konumdadırlar. Madencilik sektörü, Şekil 1'de görüldüğü gibi madenin keşfini, madenin çıkarılmasını, cevherin işlenmesini ve ihtiyaç duyulan endüstrilere gönderimine kadar olan birçok farklı süreç içinde faaliyet gösterir.



Şekil 1. Madencilik sektöründe süreçlerin işleyiş mekanizması

Ancak pek çok sektörde olduğu gibi bu işlemler esnasında madencilik sektöründe de önemli problemlerle karşılaşılabilir. Maden için en uygun yöntem seçimi, en iyi ekipman seçimi, tesisler için en uygun yer seçimi gibi problemlerin çözümünde kullanılan tekniklerden birisi de çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemleridir. ÇKKV, belirli bir amaca veya bir probleme yönelik olarak alternatifler arasından en uygun olanını seçme işlemi olarak tanımlanabilir (Güner ve Yücel, 2007). Karar verme eyleminin gerçekleşebilmesi için öncelikle aralarından seçim yapılabilecek olan birden fazla alternatifin bulunması gerekmektedir. ÇKKV; karar bilimlerinin bir alt bilim dalı olup karar sürecini modellere göre analiz etme sürecine dayanmaktadır. ÇKKV yöntemlerinin karar verme mantığı genelde benzer olsa da, sonuçta ulaşımda işlem akışı, karar verici sayıları ve sıralamadaki küçük farkları yakalama becerileri ile tutarlılık testlerine imkân vermesi gibi özellik-

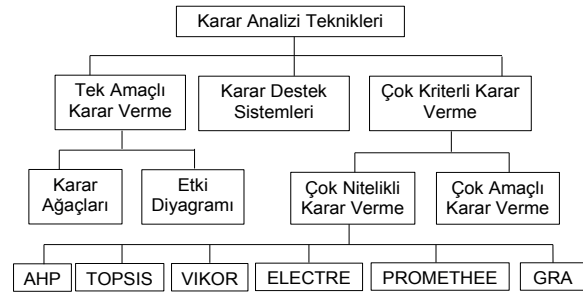
leriyle farklılık göstermektedir (Eleren ve Ersoy, 2007). Bir ÇKKV probleminin genel yapısı Şekil 2'de verilmiş olup söz konusu problemde kriterler, alt kriterler ve alternatifler hiyerarşik olarak sıralanmıştır.



Şekil 2. Çok kriterli karar verme problemlerinin genel yapısı (Saaty ve Vargas, 2001)

## 1. ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMLERİ

Bu bölümde, ÇKKV yöntemleri kısaca tanıtılmış ve her bir yöntemin Türkiye'de ve Dünya'da madencilik sektöründe kullanıldığı farklı çalışmalar incelenmiştir. Literatür taraması sonucunda çok amaçlı karar verme yaklaşımlarının madencilik için çeşitli alanlarına yönelik yapılmış birçok çalışmanın mevcut olduğu görülmüştür. Karar analizi tekniklerinin bir alt dalı olan ÇKKV'de alternatiflerin birden fazla kritere göre sıralanmasını sağlayan birçok farklı teknik kullanılabilmektedir (Şekil 3).



Şekil 3. Karar analizi tekniklerinin sınıflandırılması (Zhou vd., 2006).

Şekil 3'te verilen klasik yöntemlere ilave olarak, Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi (F-AHP), Bulanık İdeal Çözümüne Benzerlik Bakımından Sıralama Performansı Tekniği (F-TOPSIS), Bulanık VIKOR (F-VIKOR), Bulanık PROMETHEE (F-PROMETHEE) yöntemleri de aynı yöntemlerin bulanık mantık desteğiyle çözümlenen alternatifleridir.

### 1.1. Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) Yöntemi

AHP ilk olarak Myers ve Alpert (1968) tarafından ortaya atılmış olup, Saaty (1977) tarafından bir model olarak geliştirilerek karar verme problemlerinin çözümünde kullanılabilir hale getirilmiş çok kriterli bir karar verme tekniğidir. İşletme yöneticileri tarafından anlaşılması ve uygulanması kolay olmakla birlikte karar verme sürecinin iyileştirilmesine de yardımcı olabilecek bir yöntemdir (Dağdeviren ve Tamer, 2001). AHP, daha çok seçeneklerin açıkça bilindiği fakat karar vermede etkisi olan koşulların matematiksel olarak ifade edilemediği problemlerde kullanılır. Buradaki amaç, belirlenen ölçütlere göre en uygun seçeneğin belirlenmesidir. Bir başka deyişle tanımlanan ölçütleri en fazla sağlayan seçenek belirlenmeye çalışılır (Kurşunoğlu ve Önder, 2014). AHP, ilgili problemi amaç-ölçütler-alt ölçütler-seçenekler hiyerarşisi kurmak suretiyle çözmeye olanak sağlamaktadır. AHP, genel olarak, problemi parçalara ayırma ve hiyerarşi oluşturma, karşılaştırmalı karar verme ve tercih matrisinin oluşturulması ve önceliklerin sentezlenmesine dayanmaktadır (Saaty, 1977; Saaty, 1980). AHP genel olarak dört adımdan oluşmaktadır. Sürecin ilk aşamasında tepeden başlanılarak karar hiyerarşisi oluşturulur. Bu amaçla da birinci seviyede amaç, orta seviyede kriterler ve alt kriterler, en düşük seviyede ise alternatifler bulunur (Saaty, 2008). İkinci aşamada Çizelge 1'de gösterilen ikili karşılaştırma matrisleri oluşturularak, ikili karşılaştırma işlemleri yapılır. Bu iki ölçütün/kriterin birbiriyle karşılaştırılması anlamına gelir ve karar vericinin yargısına dayanır. Kriterlerin kendi aralarında önem dereceleri belirlenirken Çizelge 2'deki Saaty'nin önem derecesi ölçeği kullanılır. İkili karşılaştırmada, karar ölçütlerinin önem ağırlıkları ve alternatiflerin her bir ölçüt açısından önemi belirlenir (Şengül vd., 2012).

Çizelge 1. İkili karşılaştırma matrisi (Vargas, 1990)

	Kriter 1	Kriter 2	.....	Kriter n
Kriter 1	$W_1 <> W_1$	$W_1 <> W_2$	.....	$W_1 <> W_n$
Kriter 2	$W_2 <> W_1$	$W_2 <> W_2$	.....	$W_2 <> W_n$
⋮	⋮	⋮	.....	⋮
Kriter n	$W_n <> W_1$	$W_n <> W_2$	.....	$W_n <> W_n$

Üçüncü aşamada, karşılaştırılan her bir kriterin, önceliğinin (göreceli öneminin) hesaplanmasına sentezleme (normalize) denilmektedir (Günden ve Miran, 2008). Önceki aşama sonucunda oluş-

turulan karşılaştırma matrisinin normalize edilmesi gerekmektedir. Bu amaçla sütun toplamaları alınır ve her değer kendi sütun toplamına bölünür. Böylece normalize edilmiş matris elde edilir. Yüzde önem ağırlıklarının elde edilmesi için ise satır ortalaması alınır.

Çizelge 2. Önem derecesi ölçeği

Önem Derecesi	Tanımı
1	Eşit önemli
3	Orta derecede önemli
5	Kuvvetli derecede önemli
7	Çok kuvvetli derecede önemli
9	Kesin önemli

AHP kendi içinde ne kadar tutarlı bir sistematığe sahip olsa da, sonuçların gerçekçiliği doğal olarak karar vericinin faktörler arasında yaptığı birebir karşılaştırmadaki tutarlılığa bağlı olacaktır. Bu amaçla, son aşamada ağırlıklar hesaplandıktan sonra ayrıca Tutarlılık oranının (CR) hesaplanması gerekmektedir. CR'nin hesaplanabilmesi için öncelikle matrisin en büyük özvektörünü ( $\lambda_{max}$ ) hesaplamak gerekmektedir. Tutarlılık oranının bulunmasından bir önceki adım tutarlılık göstergesinin (CI) hesaplanmasıdır. CI değeri hesaplandıktan sonra, elde edilmesi gereken başka bir değer de Rassallık Endeksi (RI)'dir. Bu değer hesaplanmasında farklı matris boyutları için RI değerleri kullanılır (Saaty, 1990). Farklı matris boyutları (N) için RI değerleri Çizelge 3'te gösterilmiştir.

Çizelge 3. Rassallık indeksleri (Saaty, 1980)

N	1	2	3	4	5
RI	0,00	0,00	0,60	1,00	1,10
N	6	7	8	9	10
RI	1,20	1,30	1,40	1,50	1,50
N	11	12	13	14	15
RI	1,50	1,50	1,60	1,60	1,59

En son aşamada ise CR değeri aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (1.1)$$

AHP uygulamalarında CR'nin değerinin 0.1'den daha az olması, yapılan uygulamanın tutarlı olduğunu göstermekte olup aksi durumda sürecin tekrar gözden geçirilmesi gerekmektedir (Saaty, 2000).

### 1.1.1. AHP Yönteminin Madencilik Sektöründe Kullanımı

Madencilik sektöründe AHP yönteminden faydalanılarak yapılmış olan ÇKKV çalışmaları aşağıda incelenmiştir. Yavuz vd. (2008) tarafından Kütahya-Tunçbilek'te faaliyet gösteren Garp Linyitleri İşletmesi'nde gerçekleştirilen bir çalışmada, ana nakliyat yolunda en uygun tahkimat türü seçimi için AHP yöntemi kullanılmıştır. Çalışmada yer alan farklı tahkimat tasarım kriterleri için gerekli olan kaya kütlelerinin jeoteknik ve jeomekanik özellikleri, FLAC<sup>3D</sup> numerik analiz programı ile belirlenmiştir. Modelde ana kriterler olarak, birinci ve ikinci konumdaki dikey deplasmanlar, üçüncü konumdaki yanal ve dikey deplasmanlar, güvenlik faktörü, tahkimat maliyeti, işçi gereksinimi ve metodun uygulanabilirliği gibi kriterler olmak üzere 8 ayrı kriter belirlenmiştir. Çalışmada, AHP yöntemi kullanımının geleneksel tahkimat seçimi yöntemlerine göre daha az veri gerektirmesinden ötürü karar verme sürecinde mühendislere kolaylık sağlayabildiği sonucuna varılmıştır.

Samanta vd. (2002) çalışmalarında açık işletme üretim yöntemiyle çalışan kömür ocaklarında kömürün çıkarılması, nakliyesi sürecinde kullanılacak ekipman seçimini AHP yöntemi ile yapmışlardır. Ana kriterler olarak madenle ilgili parametreler, teknik özellikler/üretim performansı, finansal özellikler, dizayn parametreleri ile ilgili özellikler, idame edilebilirlik ve madenin ömrü, çalışma koşulları ve çevre güvenliği ile ilgili parametreleri belirlemişlerdir. Ekipman seçiminde en etkin parametrelerin sırasıyla teknik özellikler/üretim performansı ve finansal özellikler olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Kazakidis vd. (2004) çalışmalarında parçalanma, tasarım, güvenlik, karıştırma, maliyet ve kültür ana kriterlerini kullanarak; sondaj teknolojisi yatırım analizi, tahkimat tasarımı, tünel tasarımı, kuyu lokasyon seçimi ve madencilikte risk planlaması gibi beş önemli madencilik senaryosunu AHP yöntemi kullanarak, Expert Choice™ adlı bilgisayar yazılımında analiz etmişlerdir. Yavuz (2015) çalışmasında, İstanbul ilindeki Çiftalan linyit kömür ocağında yeraltı üretim yöntemi seçimini AHP ve YAGER yöntemlerini kullanarak yapmıştır. Damarın geometrik özelliklerinin, taban ve tavan yolu koşullarının, tahkimat ve kömür damarı özelliklerinin ve maliyet kriterlerinin seçildiği çalışmada; en önemli kriterin damarın geometrik özellikleri olduğu, en uygun üretim yönteminin ise dolgu oda-topuk yöntemi olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

De-shun ve Kai-li (2011) AHP yöntemini kullandıkları çalışmalarında kömür ocakları için bir risk sınıflama sistemi önermişlerdir. Uzman görüşlerine başvuru yapılan çalışmada, ana kriterler olarak jeolojik koşullar, teknik ekipman donanımı, yönetim kalitesi, işletmedeki güvenlik kültürü ve ortam güvenliği gibi faktörler belirlenmiştir. En etkin kriterlerin jeolojik koşullar, teknik ekipman donanımı ve ortam güvenliği olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Hyun vd. (2015) çalışmalarında hata ağacı analizi (FTA) ve AHP yöntemlerini bir arada değerlendirerek, anketler yardımıyla uzmanlardan elde ettikleri görüşler ile TBM tüneltiğinde yeni bir risk yönetim sistemi önermişlerdir. Çalışmalarında ana kriterler olarak jeolojik faktörler, tasarım faktörleri ve inşaat-yönetim süreci faktörlerini belirlemişlerdir. En önemli risk unsurlarının ise tünel etrafındaki kayaların düşük mukavemeti ve faylanma ve eklem kusurları olduğunu belirlemişlerdir.

Kurşunoğlu ve Önder (2015) Zonguldak'ta bulunan bir kömür ocağı için AHP yöntemini kullanarak vantilatörler için en uygun fan seçimi işlemini gerçekleştirmişlerdir. Ana kriterler olarak; teknik, işletme, çevresel ve ekonomik faktörleri belirlemişlerdir. Çizilen fan karakteristik eğrileri ile ocak dirençleri hesaplanmıştır. Çalışmalarının sonucunda fan seçimi işleminde teknik faktörlerin ağırlığının diğer faktörlere göre daha fazla olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Çalışmada ayrıca duyarlılık analizlerine de yer verilmiştir. Alpay ve Yavuz (2009) çalışmalarında, farklı şekil ve yapıdaki bir cevher yatağı için en uygun yeraltı üretim yöntemi seçimini AHP ve YAGER metodlarının kullandığı geliştirmiş oldukları bir bilgisayar programı sayesinde belirledikleri 36 alt kriter ve 6 ana kriter yardımıyla gerçekleştirmişlerdir. Ana kriterler olarak; damarın karakteristik özellikleri, jeolojik ve hidrojeolojik koşullar, jeoteknik özellikler, ekonomik hususlar, teknolojik faktörler ve çevresel sorunlar şeklinde belirlemişlerdir.

Karadoğan vd. (2001) çalışmalarında İstanbul-Yeniköy linyit sahasında yeraltı üretim yöntemi seçim işlemini AHP yöntemini kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Kömür damarının geometrik şekli, kömür damarı kalınlığı, damar eğimi, kazının yapıldığı derinlik, kömürün sağlamlık derecesi, kömür damarı-yantaş durumu, tavan taşının sağlamlık derecesi, taban taşının sağlamlık derecesi, tasman etkisi, tahkimat gerekliliği, yerleşim alanlarının yakınlığı, kömürün yanma özelliği, metan gazının varlığı, yeraltı suyu koşulları, üretim maliyeti, sermaye maliyeti, üretim oranı,

işe yararlık ve emek maliyeti ölçütleri ana kriterler olarak belirlenmiştir. Sahada uygulanabilirliği muhtemel olan yöntemler (alternatifler) arasından dolgulu oda-topuk yönteminin, seçilme şansı en yüksek olan yöntem olduğunu tespit etmişlerdir.

Bogdanovic vd. (2012) çalışmalarında AHP ve PROMETHEE yöntemleri ile bir yeraltı madeninde üretim yöntemini belirledikleri 11 ayrı ana kriter ile (kalınlık, derinlik, cevheri çevreleyen yan kayacın dayanımı, süreksizliklerin durumu, cevher yatağının şekli, dekapaj oranı, cevherin kazılabilirliği, cevherin yan kayaçla olan ilişkisi, kazı maliyetleri, iş güvenliği ve arazi yüzeyinin korunması) seçmeye çalışmışlardır. Maden için en uygun üretim yönteminin kes-doldur olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Shen vd. (2015) yapmış oldukları çalışmada sürdürülebilir kalkınma çerçevesinde madencilik firmalarının yeşil tedarik zinciri yönetimi sürecine dâhil olmaları için önemli olan etkenleri belirlemek amacıyla AHP yöntemini kullanmışlardır. Belirledikleri ana kriterler; üst yönetimin duyarlılığı, mevcut durumun analizi, uygun uygulama yaklaşımları ve devamlı gelişim olup, bunlar içinde en önemli ağırlığa sahip olan kriterin üst yönetimin duyarlılığı kriteri olduğunu belirlemişlerdir.

Ataei (2005) çalışmasında Azerbaycan'da alüminyum oksit hammaddesi ve türevleri üretim tesisi için yer seçimini AHP yöntemini kullanarak gerçekleştirmiştir. Çalışmasında; oluşturduğu hiyerarşide ana kriterler olarak ulaşım imkânları, su kaynaklarına olan mesafe, enerji temini, yakıt temini ve saha büyüklüğü kriterlerini belirleyerek 5 farklı alternatif yer arasından seçim işlemini gerçekleştirmiştir. Baylan (2015) çalışmasında mermer sektörünün en önemli sorunlarını değer zinciri analizi yöntemi ile belirlemiş ve ardından AHP yöntemini kullanarak bu sorunları sınıflandırmıştır. Oluşturulan hiyerarşik yapıda risk, finans, müşteriye ürün tedarik süresi, ürün kalitesi ve maliyet ana kriterler olarak alınmıştır. Çalışma sonucunda en önemli sorunların işçilik maliyetleri ve enerji maliyetleri olduğunu tespit etmiştir.

Ersoy (2013) çalışmasında Afyonkarahisar'ın İscehisar bölgesinde bulunan 10 ayrı mermer ocağından elde ettiği verileri kullanarak, kaza nedenlerini değerlendirmiştir. Yöntem olarak AHP'nin kullanıldığı çalışmada, ana kriterler olarak kaza nedenleri (tel kopması, kayma ve düşme, basamak kayması, blokların yüklenmesi işlemleri, basamaktan düşme, ateşleme ve patlatma işlemleri, elektrik çarpması, ekipmanların bakımı esnasın-

da, malzemelerin yüklenmesi esnasında, ocak içindeki trafik kazaları, malzemelerin taşınması esnasında, gürültü, toz ve yetersiz havalandırma) şeklinde belirlenmiş olup, hesaplanan ağırlıklardan genel olarak en önemli kaza nedeninin tel kopması olduğu tespit edilmiş ve her bir ocak için en önemli kaza nedenleri ayrı ayrı belirlenmiştir.

Kurşunoğlu ve Önder (2014) yeraltı hazırlık galerileri devam etmekte olan Muğla ilindeki bir kömür ocağı için AHP yöntemini kullanarak vantilatörler için en uygun fan seçimi işlemini gerçekleştirmişlerdir. Oluşturulan hiyerarşik yapıda vantilatörlerin teknik özellikleri, işletim özellikleri, çevresel etkileri ve üretici firmanın müşteri desteği ölçütleri ana kriterler olarak alınmış ve 3 ayrı üretici firma arasından seçim işlemi gerçekleştirilmiştir. Mohsen vd. (2009) çalışmalarında jeolojik, jeoteknik, coğrafik ve ekonomik parametrelere dayalı hazırladıkları anket yardımıyla AHP tekniğini kullanarak İran'daki bir yeraltı boksit maden ocağında en uygun üretim yöntemi seçimi işlemini gerçekleştirmişlerdir. Ana kriterler; damar kalınlığı, tavan kayacın RMR değeri, derinlik, cevher yatağının şekli, cevherin RMR değeri, cevherin tenörü, cevherin tekdüzeliği, geri kazanım oranı, üretim miktarı, taban kayacın RMR değeri, teknoloji kullanımı ve hisse satışı olarak belirlenmiştir. Çalışmaları sonucunda söz konusu ocakta üretim yöntemi seçimi aşamasında damar kalınlığı ölçütünün en önemli kriter olduğu; geleneksel kes-doldur üretim yönteminin ise en uygun üretim yöntemi olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Azadeh vd. (2010) yeraltı üretim yöntemi ile üretim yapan Choghart demir madeninde yaptıkları çalışmada maliyetler, ilk yatırımların getiri düzeyi ve gelir ana kriterlerini kullanarak, AHP yöntemi ile en uygun üretim yöntemini belirlemişlerdir. En etkin kriterin işletme maliyetleri olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Gupta ve Kumar (2012) yapmış oldukları çalışmalarında AHP yönteminden yararlanarak iç faktörler (damarın eğimi, kayacın dayanımı, yan kayacın dayanımı, derinlik, damarın şekli, yüzeysel problemler, cevherin tekdüzeliği ve cevherin kalınlığı) ve dış faktörler (sermaye yatırımı, sağlık ile ilgili endişeler, hisse satışı, iş gücü ve pazar payı) şeklinde belirledikleri ana kriterler yardımıyla İsveç, Amerika ve Hindistan'daki 5 ayrı maden ocağı için en uygun üretim yöntemi ni belirlemişlerdir.

Badri vd. (2013) çalışmalarında Kanada'nın Québec eyaletindeki bir yeraltı altın madeni projesinde üç yıllık risk yönetimi için AHP yöntemini kullanmışlardır. Çalışmalarında istenmeyen olaylar,

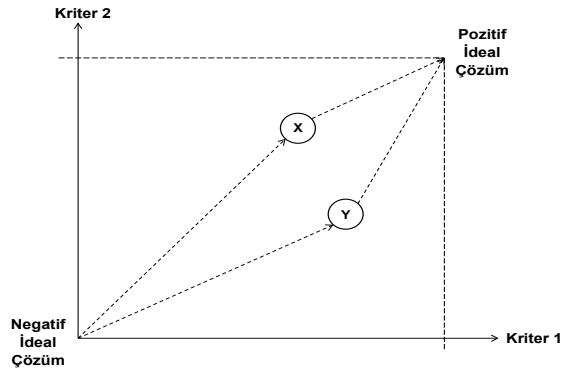
proje üzerindeki olumsuz etkiler, tehlikeler, mali etkenler, İSG faaliyetleri ve toplumsal etkenler kriterleri ana kriterler olarak alınmıştır. Bu kriterler içerisinde risk yönetim sürecini doğrudan etkileyebilecek en önemli kriterin tehlikeler kriteri ile bunun alt kriteri olan teknik problemler olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Yavuz (2008) bir mermer işleme tesisi yerinin seçimi için AHP ve YAGER yöntemlerini kullanmıştır. Çalışmasında yer seçimi için ana kriterleri ekonomi, üretim, pazarlama ve çevresel faktörler olarak belirlemiştir. Çalışmada ayrıca duyarlılık analizi de yapılmıştır. Çalışmasının sonucunda tüm ana kriterler ve alt kriterler için hesaplanan ağırlıklar göz önünde bulundurulduğunda, Denizli ilinin yer olarak en uygun yer olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Başçetin ve Kesimal (1999) İstanbul-Kemerburgaz bölgesindeki bir kömür ocağında üretime yeni geçecek olan bir sahanın dekapaj işi için en uygun yükleme-taşıma sisteminin seçim işlemi için AHP ve YAGER yöntemi ile gerçekleştirmiştir. Çalışmalarında kullandıkları 21 ana kriter ise; üretim, örtü kalınlığı, kazı koşulu, malzeme boyutu, zemin koşulu, taşıma yolu koşulu, kazı yüksekliği, boşaltma yüksekliği, yedek parça temini, yuvarlanma direnci, fleksibilite, çalışma dengesi, taşıma mesafesi, ekipman mevcudiyeti, hareketlilik, taşıma kapasitesi, ekonomik ömrü, ekipman verimi, döngü süresi, kapital maliyeti ve işletme maliyetidir. Buna göre en uygun yükleme-taşıma sisteminin ekskavatör-kamyon sistemi olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Başçetin (2004) çalışmasında; Bursa'nın Orhaneli ilçesinde bulunan ve açık işletme yöntemiyle üretim yapılan bir kömür ocağındaki nakliyat sistemi seçimini AHP yöntemi kullanarak gerçekleştirmiştir. Ana kriterler olarak sermaye maliyeti, işletme maliyeti, işletme koşulları ve kullanılan ekipmanların teknik parametreleri ve bunların alt kriterleri olarak belirlenmiştir. Uzmanlar tarafından yapılan karşılaştırmalı matrisler yardımıyla, söz konusu ocak için 4 ayrı alternatif arasından en uygun sistemin lastik tekerlekli yükleyici-kamyon-kırıcı-bant konveyör sistemi olduğunu tespit etmiştir.

## 1.2. İdeal Çözüme Benzerlik Bakımından Sıralama Performansı Tekniği (TOPSIS)

TOPSIS yöntemi tüm işletmeler için çok önemli bir performans değerlendirme yöntemidir. Bu sebeple birçok alanda bu yöntemle ilgili çalışmalar yapılmakta olup, gün geçtikçe önemi artmaktadır (Soba ve Eren, 2011). Yöntem pozitif ideal çözüm ve negatif ideal çözüm olmak üzere iki temel

noktaya dayanmakta olup, ÇKKV problemlerinin çözümünde başarıyla uygulanmaktadır (Li, 2010). Yöntemin temel esası ideal çözüme göre alternatiflerin sıralanması esasına dayanır. İdeal çözüme görece yakın olan alternatiften başlamak üzere bir sıralama yapılarak; sırası ile diğer alternatiflerin görece yakınlığı tespit edilir (Cheng-Min ve Wang, 2001). Örneğin Şekil 4'te gösterildiği üzere X ve Y gibi iki alternatif söz konusu olsun; burada alternatiflerden X'in pozitif ideal çözüme yakın olması ve aynı şekilde negatif ideal çözümden uzak olması Y'ye göre X'in tercih edilme sebebidir. Y'nin X'e göre pozitif ideal çözümden uzak olması ve aynı zamanda negatif ideal çözüme yakın olması karar verici açısından Y'nin tercih edilmeme sebebidir (Ishizaka ve Nemery, 2013).



Şekil 4. TOPSIS yöntemi ile alternatiflerin seçimi

TOPSIS yönteminin uygulaması 6 adımdan oluşmaktadır. Bu adımlar sırasıyla, karar matrisinin oluşturulması, normalize edilmiş karar matrisinin oluşturulması, ağırlıklı karar matrisinin oluşturulması, maksimum ve minimum değerler yardımıyla pozitif ideal ve negatif ideal çözümlerin oluşturulması, alternatifler arasındaki mesafe ölçülerinin hesaplanması ve ideal çözüme göre görece yakınlığın hesaplanması şeklinde verilebilir (Alp ve Engin, 2011). Alternatifler arasındaki mesafe ölçülerinin hesaplanmasında maksimum ideal noktalara uzaklık değerleri için Eşitlik (1.2), minimum noktalara olan uzaklık değerleri için ise Eşitlik (1.3) kullanılır (Mahmoodzadeh vd., 2007).

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^+)^2} \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (1.2)$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2} \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (1.3)$$

Son aşama olan her bir karar noktasının pozitif ideal çözüme göre yakınlığının ( hesaplanması

işlemi ise Eşitlik (1.4) kullanılarak gerçekleştirilir (Ballı ve Korukoğlu, 2009).

$$C_i^+ = \frac{s_i^-}{s_i^- + s_i^+} \quad i= 1,2, \dots, m \quad (1.4)$$

Formülde  $C_i^+$  değeri  $0 \leq C_i^+ \leq 1$  değeri aralığında değer almaktadır.  $C_i^+ = 1$  ilgili karar noktasının pozitif ideal çözüme,  $C_i^+ = 0$  ilgili karar noktasının negatif ideal çözüme mutlak yakınlığını göstermektedir. Ardından elde edilen değerler büyüklük sırasına göre dizilerek alternatiflerin önem sıraları belirlenir (Uygurtürk ve Korkmaz, 2012).

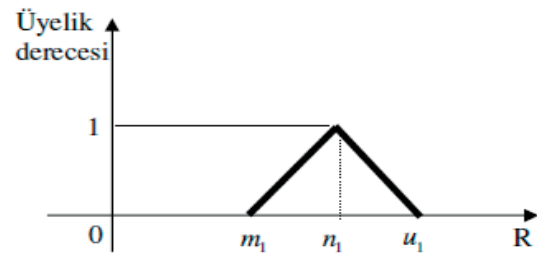
### 1.2.1. TOPSIS Yönteminin Madencilik Sektöründe Kullanımı

Madencilik sektöründe TOPSIS yöntemi kullanılarak yapılan çalışmalar aşağıda incelenmiştir. Yavuz ve Alpay (2008) yapmış oldukları çalışmada, Kayseri ilinin Pınarbaşı ilçesindeki bir kromit ocağının jeomekanik özelliklerini kullanarak yeraltı madenciliği üretim yöntemi seçimi işlemini TOPSIS yöntemini kullanarak gerçekleştirmiştir. Çalışmalarında ana kriterler olarak; teknolojinin uygulanabilirliği, dış faktörler, iç faktörler ve ekonomik imkânlar şeklinde belirlemişlerdir. Çalışmaları sonucunda maden için en uygun üretim yönteminin ara katlı göçertme yöntemi olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Kun vd. (2013) çalışmalarında bir mermer ocağında çeşitli alternatiflerin içerisinde en uygun lastik tekerlekli yükleyici seçimini AHP ve TOPSIS yöntemlerini kullanarak, belirledikleri ana kriterler ve alt kriterler yardımıyla gerçekleştirmiştir. Çalışmada ana kriterler olarak ekonomik, teknik, operasyonel ve ticari faktörleri seçmişlerdir. Çalışmaları sonucunda ocak için en uygun olan yükleyicinin 25-30 ton kapasiteli olanı olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Li vd. (2011) çalışmalarında 4 ayrı yeraltı kömür ocağı için risk değerlendirmesi işlemini belirledikleri 10 ayrı ana kriter (emiyon gazının ortalama miktarı, gazın drene edilebilme oranı, gaz akışı, gaz birikimi, gaz patlaması, hava hacmi, güvenlik yönetimi puanı, havalandırma ekipmanının durumu, toz konsantrasyonu, kendiliğinden yanma süresi) ile TOPSIS yöntemini kullanarak gerçekleştirmiştir. Çalışmaları sonucunda kömür madenlerini çok riskliden az riskliye doğru sıralamışlardır. Ayrıca yöntemin değerlendirme sonuçlarının basit ve açık olduğunu, kömür madenlerindeki risk değerlendirme süreçlerinde kullanılmasının teşvik edilmesi gerektiğine değinmişlerdir.

### 1.3. Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi (F-AHP)

F-AHP yönteminin değerlendirildiği bu bölümde bulanık mantık kavramı ve üçgensel bulanık sayılar konusu ile ilgili bazı temel kavramların açıklanması gerekmektedir. Birçok belirsizliklere klasik mantıkta bir çözüm bulmak oldukça güçtür ve bazı durumlarda ise neredeyse imkânsızdır. Belirsizlik altında kararların verildiği bulanık (fuzzy) ortamlar çoğunlukla insan yargılarının söz konusu olduğu durumlarda oluşur. Çünkü insan yargıları sayısal ifadeler değildir. İşte bulanıklık kavramı da belirsizlik olarak tanımlanmış ve bu belirsizlikleri ifade edebilmek amacıyla geliştirilmiş bir yöntemdir. Klasik mantıkta bir durum ya doğrudur ya da yanlıştır, ya vardır ya da yoktur. Yani ikili bir mantık vardır. Fakat bulanık mantıkta ise doğru ile yanlışın arasında birçok durum bulunabilmektedir (Göksu, 2008). Karar aşamasında tahmin ve belirsiz bilgilere başvuran insan muhakemesine paralel bir uyum gösteren bulanık mantık teorisi, özellikle belirsizlik ve bulanıklığı matematiksel ifade edebilmek ve birçok problemin özünde var olan bu tür hususların üstesinden gelebilmek üzere tasarlanmıştır (Zhang ve Zou, 2007). Bulanıklık, kesin olmayan belirsiz durumları konu edinmesine rağmen çok güçlü bir matematiksel teoriye dayanır (Chen ve Hwang, 1992).

Hem işlem kolaylığı sağlaması hem de sezgisel olarak oluşturulabilmesi nedeniyle en çok kullanılan bulanık sayı türü üçgensel bulanık sayılardır (Sanchez ve Gomez, 2003). Üçgensel bulanık sayılar  $(m_1, n_1, u_1)$  gibi üçlüler ile gösterilirler. Bu parametreler sırasıyla alınabilecek en küçük değeri, alınabilecek en sık değeri ve alınabilecek en büyük değeri temsil etmektedirler (Çitli, 2006).  $\mu_A^{(x)}: R \rightarrow [0, 1]$  olmak üzere üçgensel bulanık sayılar  $A = (m_1, n_1, u_1)$  şeklinde ifade edilir (Yong, 2006). Burada R genel küme, A, R'nin bulanık alt kümesini temsil etmektedir. Üçgensel bulanık bir sayı Şekil 5'teki gibi grafiksel olarak gösterilebilir.



Şekil 5. Üçgensel bulanık sayıların üyelik fonksiyonu gösterimi

F-AHP, çok kriterli karar süreçlerinde, özellikle belirsizlik ya da sübjektiflik bulunması durumunda AHP yönteminin yetersiz olmasından dolayı kullanılmak ve insani düşünce tarzına daha yakın olunması amacıyla bulanık mantık ile analitik hiyerarşi prosesinin birleştirilmesiyle oluşturulmuş bir yöntemdir. Keskin değerlerin kullanıldığı AHP'den farklı olarak, F-AHP'de kıyaslama oranları bir değer aralığında verildiğinden ötürü uygulamaya daha rahat hareket imkânı sağlamaktadır (Bender ve Simonovic, 2000). Bulanık analitik hiyerarşi prosesi sözel ifadelerin de bulanık sayılarla tanımlanmasına olanak tanımaktadır. Böylece hem objektif hem de sübjektif kriterlerle çalışma imkânı sağlanır (Akın, 2015). Literatürde yer alan çeşitli araştırmacılar tarafından ortaya konmuş birçok bulanık analitik hiyerarşi prosesi metodu bulunmakla birlikte bunlar içerisinde en çok Chang (1996)'in önerdiği yöntemin tercih edildiği görülmüştür. F-AHP yönteminin uygulanması 4 adımdan oluşmaktadır. Bu adımlar sırasıyla, kriterlerin ağırlıklarının belirlenebilmesi için kriterlerin sentez değerlerinin hesaplanması; kriterlerin birbirlerine göre üstünlüklerini belirlemek için olasılık derecelerinin belirlenmesi; bulanık sayılarının birbirlerine göre büyüklük derecelerinin belirlenmesi ve bütün sentez değerlerinin birbirileri ile olan ilişkisel ağırlıklarının belirlenmesi için ilgili vektörün normalize edilmesi şeklinde verilebilir.

### 1.3.1. F-AHP Yönteminin Madencilik Sektöründe Kullanımı

Madencilik sektöründe F-AHP yöntemi kullanılarak yapılan başlıca çalışmalar şu şekilde verilebilir. Nezarat vd. (2015) çalışmasında, çok kriterli karar verme yöntemlerinden biri olan F-AHP tekniği kullanılarak İran'ın kuzeybatısında bulunan Golab tünelineki mevcut jeolojik risklerin önem ağırlıkları belirlenmeye çalışılmıştır. Ana kriterler olarak risk olasılığı, riskin maliyeti, zaman ve kalite üzerindeki etkisi, belirsizlik ve risklerin tespit edilebilirliği kriterlerini belirlemişlerdir. Çalışmalarının sonucunda tünel yüzeyinde yer alan süreksizliklerin en önemli risk unsurları olduğu; kil tıkanmalarının ve gaz emisyonlarının ise en düşük risk unsuru olduğu belirlenmiştir. Naghadehi vd. (2009) çalışmalarında İran'daki Jajarm boksit madeni için en uygun yeraltı üretim yöntemi seçimi işlemini F-AHP yöntemini kullanarak gerçekleştirmişlerdir. On üç ayrı ana kriterin (cevherin eğimi, cevherin şekli, kalınlığı, tavanının RMR değeri, tabanın RMR değeri, teknoloji kullanımı, cevher derinliği, cevher devamlılığı, cevherin RMR değeri, cevher tenörü, suya doygunluğu,

üretim ve kazanım oranı) belirlendiği çalışmada, cevherin derinliği, kalınlığı ve şeklinin, üretim yöntemi seçimini etkileyen en önemli parametreler olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Shariati vd. (2013) çalışmalarında İran'ın Tahran şehrinde yer alan bir bakır madeninde yeraltı üretim yöntemi seçimini F-AHP ve TOPSIS yöntemleri yardımıyla yapmışlardır. Damar kalınlığı, damarın eğimi, damarın şekli, cevher tenörü, ocak derinliği, cevherin, tavan ve taban kayaçlarının RMR değerleri ölçütlerinin ana kriterler olarak belirlendiği çalışmada, üretim yöntemi seçimini etkileyen en önemli kriterin damarın eğimi olduğu; alternatifler arasından en uygun üretim yönteminin ise kes-doldur üretim yöntemi olduğunu tespit etmişlerdir. Yavuz (2011) yapmış olduğu çalışmada bulanık AHP yöntemini kullanarak açık ocak kamyon seçimi işlemini gerçekleştirmişti. Bu işlem için TKI'nin kamyon alımı ihalesindeki teknik şartnamede yer alan kriterler dikkate alınmıştır. Hiyerarşik yapıda kamyonların yük taşıma kapasitesi, motorunun markası, kasa özellikleri, süspansiyon sistemleri, tırmanma yetenekleri, tam yükte boşaltma zamanları ve işletmeye teslim süreleri ana kriterler olarak belirlenmiştir. İhaleye sadece iki firma teklif verdiği için bu iki firma ise alternatifler olarak belirlenmiştir.

### 1.4. Bulanık İdeal Çözüme Benzerlik Bakımından Sıralama Performansı Tekniği (F-TOPSIS)

Bulanık ÇKKV yöntemlerinden biri olan F-TOPSIS, hem nitel hem de nicel karar kriterlerinin derecelendirmesinde kullanılabilen, esnek bir yapısı olan yöntemdir (Chen vd., 2006). Hâlihazırdaki TOPSIS yönteminin bulanık veriler kullanılabilecek şekilde geliştirildiği bu yöntemde, ideal çözüm için gerekli olan yakınlık bulunurken hem pozitif ideal çözüme uzaklık, hem de negatif ideal çözüme uzaklık birlikte değerlendirilir. Yapılacak tercih sıralaması, uzaklıkların karşılaştırılması sonucunda elde edilir. Yani en iyiden (pozitif ideal) en kötü (negatif ideal) noktaların mesafelerini ortaya koyarak alternatiflerin sıralandığı bir yöntemdir (Ignatius vd., 2012). Literatürde birçok yazar tarafından ortaya atılmış farklı bulanık TOPSIS yöntemleri mevcuttur, ancak bu yöntemler içerisinde en çok Chen (2000) tarafından geliştirilen F-TOPSIS yönteminin kullanıldığı görülmüştür. F-TOPSIS yönteminde izlenecek adımlar şu şekilde sıralanabilir; uygun sözel değişkenlerin belirlenmesi, kriterlerin toplam bulanık ağırlıklarının ( $w_i$ ) belirlenmesi, bulanık karar mat-



risinin oluşturulması, normalize karar matrisinin oluşturulması, ağırlıklı normalize bulanık karar matrisinin oluşturulması, A<sup>+</sup> ve A<sup>-</sup> değerlerinin belirlenmesi, her alternatifin A<sup>+</sup> ve A<sup>-</sup> değerlerine uzaklığının hesaplanması ve her alternatifin yakınlık katsayısının hesaplanması şeklindedir (Karakışoğlu, 2008).

#### 1.4.1. F-TOPSIS Yönteminin Madencilik Sektöründe Kullanımı

Madencilik sektöründe F-TOPSIS yöntemi kullanılarak yapılan çalışmalar aşağıda verilmiştir. Yılmaz ve Alp (2016) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada Türkiye'de en fazla iş kazasının meydana geldiği 5 sektördeki kazalara neden olan faktörlerin önem derecesi tespit edilmeye çalışılmıştır. Bu sektörlerde çalışan deneyimli uzmanlara yönelik gerçekleştirilen anket çalışmaları sonucunda elde edilen veriler F-TOPSIS yöntemi ile analiz edilerek değerlendirilmiştir. Yazarlar çalışmalarında; eğitim yetersizliği, bakım yetersizliği, önleyici İSG hizmetlerinin yetersizliği, risk değerlendirmesinin yetersizliği, denetim yetersizliği, çalışanların yetersizliği ve iş teftişinin yetersizliği olmak üzere 7 ayrı ana kriter belirlemişlerdir. Söz konusu çalışmada, özellikle inşaat, kömür madenciliği ve tüm sektörlerdeki çalışanların eğitiminin, çalışanların katılımının ve sahadaki periyodik bakımların, risk analizleri ve önleyici iş sağlığı ve güvenliği tedbirlerinden daha önleyici faktörler oldukları sonucuna ulaşılmıştır.

Mahdevari vd. (2014) İran'daki Kerman kömür ocağında F-TOPSIS yöntemini kullanarak bir risk yönetimi planlaması çalışması yapmışlardır. Çalışmada ana kriterler olarak, jeomekanik, jeokimyasal, elektrik, mekanik, kimyasal, çevresel, kişisel, sosyal, kültürel ve yönetsel riskler belirlenmiştir. En riskli etmenler; ahşap tahkimat, taş vs. parçalarının düşmesi, göçük, arındaki ve tavanındaki duraysızlık problemleri, grizu patlaması, tehlikeli gazların ani degajı, ocak havalandırma sisteminin durması, rampalarda vagonların birbirinden ayrılması, kömür tozu ve zehirli gazlar, yetersiz eğitim ve yönetim anlayışı olarak bulunmuştur. Samantra vd. (2017) tarafından Hindistan'ın doğu kesiminde yer alan bir kömür ocağı için, sektörde her biri 10 yıldan daha fazla deneyime sahip uzmanlardan alınan görüşler doğrultusunda sınırlı mali bütçe içerisinde uygun bir güvenlik yönteminin nasıl belirleneceği araştırılmıştır. F-TOPSIS yönteminin kullanıldığı çalışmada, finansal riskler, operasyonel riskler ve bakım riskleri ana kriterler olarak belirlenmiştir.

Yazdani-Chamzini ve Yakhchali (2012) İran'da önemli su transfer projeleri içerisinde yer alan Zagros dağlarının yüksek kotlarından bazı şehir merkezlerine su temini için açılan Ghomroud tüneline kullanılacak tünel açma makinesi (TBM) seçimini çok kriterli karar verme yöntemleriyle belirlemeye çalışılmışlardır. F-AHP ve F-TOPSIS yöntemlerinin kullanıldığı çalışmada 9 ayrı ana kriter (arın duraylılığı, kaya kütlesi geçirgenliği, tane boyut dağılımı, güvenlik katsayısı, kazı hızı, yeraltı suyu kontrolü, maliyet, risk ve yüzey oturması) belirlenmiş, ve bu kriterlerin ekipman seçimindeki ağırlıkları tespit edilmiştir. Buna göre en ağırlıklı kriter maliyet olarak belirlenmiştir. Eleren ve Ersoy (2007) F-TOPSIS yöntemini kullandıkları çalışmalarında, blok mermer üretimi yapan ocaklarda kullanılacak alternatif kesme yöntemlerinden en uygununu seçme işlemini gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarında, çoklu değerlendirme kriterlerini çevreye etkileri, jeolojik faktörler, güvenlik, birim maliyet, üretim hızı, verimlilik, üretim kalitesi, işletme sermayesi, ilk yatırım maliyeti, işçilik, hazırlık çalışmaları, kalifiye eleman temini, jeolojik karmaşıklık, topoğrafik faktörler ve tabaka yaygınlığı olarak belirlemişlerdir. Çalışma sonucunda en uygun yöntemlerin sırasıyla kollu kesicilerle kesim, elmas telle kesim ve kimyasal yöntemlerle kesimin olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Fouladgar vd. (2012) İran'daki Ghomroud su iletim tüneli projesindeki riskli parametreleri F-TOPSIS yöntemini kullanarak belirlemeye çalışmışlardır. Ana kriterler olarak sağlık, güvenlik ve çevresel kriterleri ve bunların alt kriterlerini belirlemişlerdir. Kaya düşmesi ve olası göçüklerin en önemli risk unsurları olduğunu tespit etmişlerdir. Gligoric vd. (2010) çalışmalarında, maden kuyusu yeri seçimi işlemini F-TOPSIS yöntemini kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Ana kriterler; nakliye maliyetleri, toplam geliştirme ve kuyu işletme giderleri ve nakliye sisteminin uygunluğu şeklinde belirlenmiş ve 6 ayrı yer arasından seçim işlemi gerçekleştirilmiştir. Nakliye sisteminin uygunluğunun, seçim işleminde en önemli kriter olduğu sonucuna varılmıştır.

Rahimdel ve Karamoozian (2014) İran Golegozar demir madeninde gerçekleştirdikleri bir çalışmada, birincil kırıcı seçimi işlemini F-TOPSIS yöntemi kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Maden için döner kırıcı, çift mafsallı kırıcı, tek mafsallı kırıcı, çift merdaneli kırıcı, düşük hızlı kırıcı, darbeli kırıcı, çekiçli kırıcı ve besleyici kırıcı alternatifler olarak belirlenmiştir. Ayrıca, kapasite, beslenen malzemenin boyutu, ürün boyutu, darbe değeri, aşın-

ma endeksi ve taşınabilirlik ana kriterler olarak belirlenmiştir. Söz konusu işletme için en iyi alternatifin döner kırıcı olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

## 1.5. Diğer ÇKKV Yöntemleri

### 1.5.1. VIKOR Yöntemi

Vlse Kriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje; Slav kökenli ifadenin baş harflerinin kısaltılmasından oluşan VIKOR yöntemi, ÇKKV sistemlerinin optimizasyonu için geliştirilmiştir (Tzeng ve Huang, 2011). Yöntemin temelinde, alternatifler içerisinde değerlendirme kriterleri yardımıyla optimum bir çözümün oluşturulması vardır. Bu optimum çözüm, ideal çözüme en yakın çözümdür (Chu vd., 2007). Yöntem 4 adımdan oluşmaktadır. Bu adımlar sırasıyla; en iyi ( $f_i^+$ ) ve en kötü ( $f_i^-$ ) fayda kriterlerinin belirlenmesi; alternatif için ortalama ( $S_j$ ) ve en kötü grup skorları ( $R_j$ ) değerlerinin hesaplanması; maksimum grup fayda değerlerinin ( $Q_j$ ) hesaplanması,  $S_j$ ,  $R_j$  ve  $Q_j$  değerlerinin küçükten büyüğe sıralanması ve kabul edilebilir avantaj ( $C_1$ ) ve kabul edilebilir istikrar ( $C_2$ ) kümelerinin belirlenmesi şeklinde verilebilir.

### 1.5.2. ELECTRE Yöntemi

ELECTRE (ELimination Et Choix Traduisant la REalité) yöntemi ilk kez 1966 yılında Beneyoun tarafından ortaya atılmış bir ÇKKV yöntemidir. Yöntemin temelinde tercih edilen ve edilmeyen alternatifler arasında üstünlük ilişkisi kurulması vardır (Yücel ve Ulutaş, 2009). Yöntem 8 aşamadan oluşmaktadır. Bunlar; karar matrisinin oluşturulması, normalize karar matrisinin oluşturulması, ağırlıklı normalize karar matrisinin oluşturulması, uyum ve uyumsuzluk kümelerinin belirlenmesi, uyum ve uyumsuzluk endekslerinin hesaplanması, üstünlük karşılaştırılmasının yapılması, net uyum ve uyumsuzluk endekslerinin hesaplanması ve bu değerlerin küçükten büyüğe sıralanması şeklindedir.

### 1.5.3. PROMETHEE Yöntemi

"The Preference Ranking Organization Method For Enrichment Evaluation" olarak ifade edilen PROMETHEE yöntemi, 1982 yılında Brans tarafından geliştirilen ve 1985 yılında da Vincke ve Brans tarafından genişletilen bir ÇKKV sıralama yöntemidir. Yöntemin temelinde birden fazla kritere dayalı olarak alternatifler içerisinde en uygun değerlendirme sonucunu belirlemek yatmak-

tadır (Behzadian vd., 2010). Diğer karar verme yöntemlerinden temel farkı; her bir kriter için ayrı tercih fonksiyonları tanımlayabilmesidir (Bağcı ve Rençber, 2014). Yöntem 7 aşamadan oluşur. Bunlar sırasıyla; alternatif matrislerinin oluşturulması, kriterler için tercih fonksiyonunun belirlenmesi, ortak tercih fonksiyonlarının belirlenmesi, alternatif çiftleri için tercih endeksi oluşturulması, pozitif ve negatif üstünlüklerin belirlenmesi, pozitif ve negatif üstünlüklere göre tercihlerin değerlendirilmesi ve net üstünlük değerinin bulunarak bütün alternatiflerin aynı anda değerlendirmesi şeklindedir.

### 1.5.4. GRA Yöntemi

Gri İlişkisel Analiz (GRA) yöntemi ilk kez 1982 yılında Profesör Julong Deng tarafından ortaya atılmıştır (Deng, 1989). Bu yöntem ile, iki dizi arasındaki ilişki sayısal olarak hesaplanabilir ve yapılan işlem sonucunda hesaplanan ilişki derecesi gri ilişki derecesi olarak adlandırılır ve "0" ile "1" arasında değerler alır (Feng ve Wang, 2000). Yöntem 6 adımdan oluşmaktadır. Bu aşamalar sırasıyla; karar matrisinin oluşturulması, standartlaştırma işlemi, standartlaştırılmış karar matrisinin ve referans serisinin oluşturulması, fark matrisinin oluşturulması, gri ilişkisel katsayıların hesaplanması ve gri ilişki derecesinin hesaplanmasından ibarettir. Gri ilişki derecesinin her bir alternatif için aldığı değerler büyükten küçüğe sıralandığında alternatifler de en iyiden en kötüye sıralanmış olmaktadır.

### 1.5.5. Diğer ÇKKV Yöntemlerinin Madencilik Sektöründe Kullanımı

Bu başlık altında, önceki bölümlerde bahsedilen yöntemler kadar sıklıkla kullanılmayan veya birkaç ÇKKV yönteminin birlikte kullanıldığı çalışmalar incelenmiştir. Bakhtavar (2015) çalışmasında İran'ın doğusunda bulunan Tabas yeraltı kömür ocağında kullanılacak mekanize kesici-yükleyici sistemi seçimini VIKOR yöntemini kullanarak gerçekleştirmiştir. Ana kriterler olarak damar kalınlığı, makinanın uzunluğu, makinanın gücü, makinanın kullanılabilir kesme gücü, kesici tambur çapı ve makina ağırlığı belirlenmiştir. Seçim işleminde en önemli kriterin makinanın gücü ve damar kalınlığı olarak bulunmuştur. Gelvez ve Aldana (2014) çalışmalarında Kolombiya'daki bir yeraltı kömür ocağındaki üretim yöntemi seçimi işlemini AHP ve VIKOR yöntemlerini kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Ana kriterler olarak, kömür

damarının mekanik özelliklerini, kömür damarının jeolojik ve hidrojeolojik koşullarını, ekonomik unsurları ve teknolojik faktörleri belirlemişlerdir. VIKOR yöntemine göre en uygun üretim yönteminin kes-doldur olduğu; AHP yöntemine göre ise geleneksel uzunayak üretim yöntemi olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Mobtaker ve Osanloo (2013) çalışmalarında demir madenlerinin kapatılma nedenlerini, son 100 yıl içerisinde kapanan 140 ayrı demir madeninden aldıkları veriler yardımıyla VIKOR yöntemini kullanarak değerlendirmişlerdir. Çalışmalarında ana kriterler olarak cevherin üretim maliyeti, üretim miktarı ve cevherin satış fiyatı şeklinde belirledikleri çalışmalarında, en önemli kapatılma nedeninin rezervin tükenmesi olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Soltanmohammadi vd. (2010) çalışmalarında bir demir madeninin tasarım aşamasındaki optimum basamak yüksekliği seçimi işlemini VIKOR yöntemi ile yapmışlardır. Ana kriterler olarak üretim planlaması, üretimdeki kayıplar, işletme maliyeti, kullanılabilirlik, güvenlik ve kullanılan ekipmanların işe uygunluğu kriterlerini belirlemişlerdir. Alternatifler arasında en uygun basamak yüksekliğinin 10 m olarak belirlendiği çalışmada, en önemli ana kriter ise işletme maliyeti olarak belirlenmiştir.

Zhou vd. (2016) Çin'deki Xiaolongtan kömür ocağında madencilik faaliyetlerinin tamamlanmasından sonra üretim yapılan sahanın rehabilitasyon sürecini VIKOR ve F-VIKOR yöntemi kullanarak değerlendirmişlerdir. Ana kriterler olarak maliyet, çevre etkisi, toprağın pH değeri, toprak kalınlığı, azot içeriği, toprağın nemi, duraylılık, rehabilitasyon süresi olarak belirlemişlerdir. Söz konusu saha için alternatifler arasında en uygununun çim plantasyon olduğu, seçim işleminde etkili kriterin ise toprağın pH değeri olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Balusa ve Singam (2017) çalışmalarında bir boksit madeni için yeraltı üretim yöntemi seçimi işlemini PROMETHEE yöntemini kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Ana kriterler; damar kalınlığı, tavan kayacın RMR değeri, cevher derinliği, cevher yatağının şekli, cevherin RMR değeri, cevherin tenörü, cevherin tekdüzeliği, kazanım oranı, üretim miktarı, taban kayacın RMR değeri, teknoloji kullanımı, üretim derinliği ve üretimdeki kayıplar olarak belirlenmiştir. Çalışmaları sonucunda söz konusu ocakta üretim yöntemi seçim aşamasında tavan kayacın RMR değeri, cevherin tenörü kriterlerinin en önemli kriterler olduğu; geleneksel kes-doldur üretim yönteminin

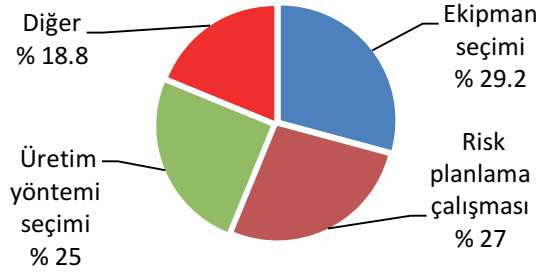
ise en uygun üretim yöntemi olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Hudej vd. (2013) Slovenya'daki Velenje kömür ocağında açılacak kuyunun yer seçimi işlemini PROMETHEE, ELECTRE, AHP ve VIKOR yöntemlerini kullanarak gerçekleştirmiştir. 4 farklı yer arasından seçim yaptıkları çalışmalarında, termik santral ile çalışabilme, madencilik çalışmalarında ilerleme, jeoteknik koşullar, hidrojeolojik koşullar, altyapı koşulları, yerleşim yeri ve inşaat yatırımları ana kriterleri içerisinde en etkin olanının yerleşim yeri ve inşaat yatırımları kriteri olduğunu tespit etmişlerdir.

Stanujkic vd. (2013) Sırbistan'daki bir tesiste ufalama sürecinde kullanılacak öğütücü seçimini GRA yöntemi ile gerçekleştirdikleri çalışmalarında, ana kriterler olarak yatırım maliyetleri, enerji maliyetleri, öğütme giderleri, bakım maliyetleri, zaman kullanımı, değerli minerallerin kullanımı ve cevherin uygunluğu kriterlerini belirlemişlerdir. Seçim işleminde en etkin kriterin öğütme işlemi giderleri olduğu, tesis için bilyalı değirmenin en uygun değirmen türü olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Bodziony vd. (2016) çalışmalarında bir açık işletmede nakliye kamyonları seçimini ELECTRE yöntemini kullanarak gerçekleştirmişlerdir. 7 farklı alternatif arasından gerçekleştirdikleri seçim işleminde ana kriterler olarak ekonomik kriterler, kamyonların teknik özellikleri, işletme ve güvenlik kriterlerini belirlemişler, en etkin kriterlerin sırasıyla kamyonların teknik özellikleri ve ekonomik kriterler olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

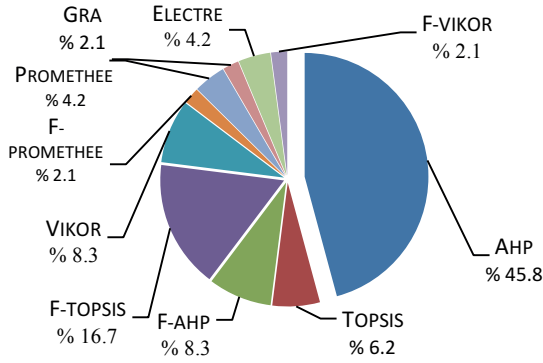
Merad vd. (2004) Fransa'nın Lorraine bölgesindeki üretim faaliyetleri sona ermiş bir yeraltı demir madeninde kazı faaliyetleri sonucunda yeraltında oluşan boşluklardan kaynaklı yeryüzünde meydana gelebilecek tasman hareketini ELECTRE yöntemiyle değerlendirmişlerdir. Çalışmada, ana kriterler olarak madenin çökmeye karşı duraylılığı ve yüzey duraylılığı ile bu kriterlerin alt kriterlerini göz önünde bulundurarak, en etkin kriterin yüzey duraylılığı olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Wang ve Tu (2015) Çin'deki ince kömür damarı madenciliğinde kullanılabilir mekanizasyon sistemi seçimi işlemini AHP ve F-PROMETHEE yöntemi ile gerçekleştirmişlerdir. Ana kriterler olarak ekonomik faktörlerin, teknik faktörlerin ve ergonomik faktörlerin belirlendiği çalışmada, seçim işleminde en önemli kriterin teknik faktörler olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Maden için en uygun sistemin önceden belirlenmiş hat boyunca kesim yapan kesici-yükleyici sistemi olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

## 1.6. Genel Değerlendirme

Bu çalışma kapsamında değerlendirilen ÇKKV yöntemlerinin uygulandığı madencilik alanlarının genel bir dağılımı Şekil 6'da verilen grafik üzerinde gösterilmiştir. Buna göre, madencilik sektöründe ÇKKV yöntemlerinin en çok kullanıldığı alanların sırasıyla ekipman seçimi, risk planlama çalışması ve üretim yöntemi seçimi süreçleri olduğu görülmektedir. Şekil 7'de ise bu çalışma kapsamında değerlendirilen toplam 48 adet çalışmadaki kullanılmış olan ÇKKV yöntemlerinin oransal dağılımı gösterilmiştir. Buna göre, madencilik sektöründe en sık kullanılan ilk üç ÇKKV yönteminin sırasıyla AHP, F-TOPSIS ve F-AHP'nin olduğu görülmektedir.



Şekil 6. ÇKKV çalışmalarının konulara göre dağılımları



Şekil 7. ÇKKV yöntemlerinin kullanım sıklığı

Literatürde incelenen çalışmalardan AHP ve TOPSIS yöntemleri arasında iki temel farkın bulunduğu gözlemlenmiştir. AHP'de özellikler ve alternatifler için ikili karşılaştırmalar yapılırken TOPSIS'te bu tür karşılaştırmalar yapılmamaktadır. AHP'de özellikler ve alternatifler arasındaki hiyerarşi (kademe) kullanılırken, TOPSIS'te böyle bir işlem yapılmamaktadır (Kahraman vd., 2007).

AHP ve TOPSIS yöntemlerinin en çok tercih edilmesinin nedenleri şu şekilde sıralanabilir; kulla-

nımlarının kolaylığı, uzmanlardan geniş katılımın sağlanabilmesi, karmaşık, çok özellikli bir problemin çözümünde kullanılabilirlikleri, kararlı ve esnek oluşları, iletişimi kolaylaştırmalarıdır. AHP'de karar vericilerin tercihlerine bağlı tutarlılığın ölçülebilir olması ve görsellik ve zaman tasarrufu açısından çeşitli paket programların kullanılabilir oluşu bu yöntemi diğer yöntemlere göre daha ön plana çıkarmaktadır. Ayrıca madencilik çalışmalarında diğer sektörlerden farklı olarak seçenekler arasında fark gözetilerek her defasında çok kriterli bir hiyerarşi oluşturulduğu göz önüne alınırsa, ÇKKV yöntemlerinden en uygununun AHP yöntemi olduğu söylenilebilir.

## SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu derleme çalışması ile çok kriterli karar verme yöntemlerinin Türkiye'de ve Dünya'da kullanıldığı madencilik sektöründe yapılan çeşitli çalışmalar kapsamlı bir şekilde değerlendirilmiştir. Bu amaçla en çok kullanılan ve konunun temelini oluşturan yöntemler belirlenmiştir. İncelenen bu yöntemlerin her birinin madencilikte karşılaşılan birçok farklı problemi çözmeye kolaylıkla kullanılacak etkin yöntemler olduğu görülmüştür.

Karar vericiler için karar verme sürecinde ÇKKV yönteminden herhangi birinden faydalanabilmek mümkündür. Ancak, madencilik sektörü belirsizliklerin ve risklerin oldukça fazla görüldüğü, verilen kararlardan geri dönüşün ya mümkün olmadığı veya çok pahalıya mal olduğu bir sektördür. Maden mühendislerinin dâhil olduğu birçok karar verme sürecinde uygun bir karar verme yönteminin seçimi en kısa sürede ve en az hata ile incelenen konu hakkında etkin kararlar almalarında oldukça faydalı olacaktır. İşletmelerde daha çok karar verici pozisyonunda bulunan maden mühendislerince en sık karşılaşılan ve madencilik faaliyetlerinin en kritik aşamasını oluşturan uygun ekipman seçimi işleminin (mermer ocaklarında kesme yöntemi seçiminde veya yeraltında uygun kesici-yükleyici, tahkimat vb. seçiminde) değerlendirme aşamasında daha yüksek doğruluk payı ve daha hızlı hesaplama tekniği ile bu tekniklerin yol gösterici olduğu söylenilebilir. Özellikle karar vericiler açısından oluşturulan modellerin şeffaf olması, bunların anlaşılmasını ve uygulamasını kolaylaştırmaktadır. Yeraltı madenciliğinde olduğu gibi birçok fiziksel, mekanik, ekonomik ve teknik parametrelerin göz önünde bulundurulması gereken durumlar söz konusudur. Ayrıca, bu parametrelerden çoğunun hem niceliksel hem de niteliksel anlamda değişkenlik

ve belirsizlikler içerdiği durumlar da olabilmektedir. ÇKKV yöntemleri yardımıyla bütünlüğü ve nesnelliği koruyarak bu tür durumlar için en iyi alternatifin seçimini daha bilimsel ve teknik bir alt-yapı kullanarak belirlemenin mümkün olduğu görülmüştür. Bu yöntemler sayesinde işletmelerdeki karar vericiler tarafından karar verme sürecinde seçimi yapılmak istenilen alternatifler bahsedilen bütün bu olumsuzluklara rağmen uygun bir şekilde sıralanabilmektedir.

ÇKKV yöntemleri, geleneksel risk değerlendirme yöntemlerine kıyasla daha pratik ve güvenilirdir. Sahadaki uzmanlara risk algılarını olasılık temelli bir değerlendirmeye dayandırmaktan ziyade öznel bir değerlendirme yapabilme imkânı sunmaktadır. Bu nitelikleri ile risk değerlendirme çalışmalarında daha fazla tercih edilmeleri beklenmektedir. Yöntemlerin ayrıca basamak patlatması tasarımında, uygun patlayıcı madde seçiminde, çalışanlara yönelik çalışma ortamındaki tehlike ve risklerin değerlendirilmesi süreçlerinde, üretim çalışmalarının tamamlandığı yeraltı madenlerinde (kaya tuzu ve potas tuzu gibi) oluşan açıklıkların endüstriyel atık depolanmasında kullanımı için yer seçiminde ve yerüstünde atık sahası yeri seçiminde de kullanılabileceği öngörülmektedir. Söz konusu yöntemlerin cevher hazırlama tesisleri için yöntem ve ekipman seçimi süreçlerinde (kırıcı, değirmen, hidrosiklon vb.) yeterince kullanılmaması bir eksiklik olarak gözükmektedir.

ÇKKV yöntemlerinin pek çok avantajına rağmen dezavantajları da söz konusudur. Yöntemlerin uygulama aşamasında görüşüne başvurulacak uzmanların ilgili alanda yeterli düzeyde deneyime sahip olması gerekmektedir. Ayrıca karar alma sürecine dâhil edilecek uzman sayısının bazı durumlarda artırılması da gerekebilmektedir. Bu ise istenen düzeyde bilgi ve beceriye sahip yeterli sayıda uzmanın bulunmasında sıkıntılara neden olabilmektedir. Yöntemlerin bulanık mantık teorisi ile birlikte kullanımı oluşturulacak modellere esneklik kazandırmasına rağmen, bulanık olmayan yöntemlerle kıyaslandığında daha fazla emek ve işlem yükü gerektirmektedir. Buna rağmen ÇKKV yöntemlerinin geleneksel yaklaşımların aksine madencilik sektöründe karşılaşılan birçok farklı problemin çözümünde karar vericiler için son derece faydalı birer araç olmayı sürdüreceği kesindir.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışma Aksaray Üniversitesi Bilimsel Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir. Proje Numarası: 2016-056.

## KAYNAKLAR

- Akın, A., 2015. Açık Ocağın İşletmeciliğinde Pasa Döküm Sahasının Bulanık Analitik Hiyerarşi Yöntemi ile Belirlenmesi. Y. Lisans Tezi, Hacettepe Üniv. FBE, Ankara.
- Alpay, S., Yavuz, M., 2009. Underground Mining Method Selection by Decision Making Tools. *Tunnelling and Underground Space Techn.*, 24 (2), 173-184.
- Alp, S., Engin, T., 2011. Trafik Kazalarının Nedenleri ve Sonuçları Arasındaki İlişkinin Topsis ve Ahp Yöntemleri Kullanılarak Analizi ve Değerlendirilmesi. *İstanbul Ticaret Üniv. Fen Bilimleri Dergisi*, 10 (19), 65-87.
- Ataei, M., 2005. Multicriteria Selection for an Alumina-Cement Plant Location in East Azerbaijan Province of Iran. *J. of The South African Institute of Mining and Metallurgy*, 105 (7), 507-514.
- Azadeh, A., Osanloo, M., Ataei, M., 2010. A New Approach to Mining Method Selection Based on Modifying the Nicholas Technique, *Applied Soft Computing*, 10 (4), 1040-1061.
- Badri, A., Nadeau, S., Gbodossou, A., 2013. A New Practical Approach to Risk Management for Underground Mining Project in Quebec. *J. of Loss Prevention in the Process Indust.*, 26 (6), 1145-1158.
- Bağcı, H., Rençber, Ö. F., 2014. Kamu Bankaları ve Halka Açık Özel Bankaların PROMETHEE Yöntemi ile Karlılıklarının Analizi. *Aksaray Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 6(1), 38-47.
- Bakhtavar, E., 2015. Determination of Optimum Drum Shearer for Tabas Mine Using Decision Making Process. *Türkiye 24. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Sergisi*, 919-924.
- Ballı, S., Korukoğlu, S., 2009. Operating System Selection Using Fuzzy AHP and Topsis Methods. *Math. & Comp. Appl.*, 14 (2), 119-130.
- Balusa, B. C., Singam, J., 2017. Underground Mining Method Selection Using WPM and PROMETHEE. *J. of the Institution of Engineers (India): Series D*, 1-7.
- Başçetin, A., 2004. An Application of the Analytic Hierarchy Process in Equipment Selection at Orhanlı Open Pit Coal Mine. *Mining Technology*, 113 (3), 192-199.
- Başçetin, A., Kesimal, A., 1999. Açık İşletmelerde Yükleme-taşıma Sistemi Seçiminde Yeni Bir Yaklaşım. *Türkiye 16. Madencilik Kongresi*, 57-64.
- Baylan, E. B., 2015. Türkiye'deki Mermer Sektörü Sorunlarının Tespit Edilip Analitik Hiyerarşi Prosesi Yöntemi ile Önceliklendirilmesi. *Türkiye 24. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Sergisi*, 825-834.

- Behzadian, M., Kazemzadeh, R. B., Albadvi, A., Aghdasi, M., 2010. PROMETHEE: A Comprehensive Literature Review on Methodologies and Applications. *European Journal of Operational Research*, 200 (1), 198-215.
- Bender, M., Simonovic, S., 2000. A Fuzzy Compromise Approach to Water Resource Systems Planning Under Uncertainty. *Fuzzy Sets and Systems*, 115 (1), 33-44.
- Bodziony, P., Kasztelewicz, Z., Sawicki, P., 2016. The Problem of Multiple Criteria Selection of the Surface Mining Haul Trucks. *Archives of Mining Sciences*, 61 (2), 223-243.
- Bogdanovic, D., Nikolic, D., Ilic, I., 2012. Mining Method Selection by Integrated AHP and PROMETHEE Method. *Anais da Academia Brasileira de Ciencias*, 84 (1), 219-233.
- Chang, D.Y., 1996. Extent Analysis and Synthetic Decision. *Optimization Techniques and Applications*, 1 (1), 352-355.
- Chen, S.J., Hwang, C.L., 1992. *Fuzzy Multiple Attribute Decision-Making Methods and Applications*. Springer, Verlag, Berlin, s. 536.
- Chen, C. T., 2000. Extensions of the Topsis for Group Decision Making under Fuzzy Environment. *Fuzzy Sets and Systems*, 114 (1), 1-9.
- Chen, C. T., Lin, C. T., Huang, S. F., 2006. A Fuzzy Approach for Supplier Evaluation and Selection in Supply Chain Management. *Int. J. of Production Economies*, 102 (2), 289-301.
- Cheng-Min, F., Wang R-T., 2001. Considering the Financial Ratios on the Performance Evaluation of Highway Bus Industry. *Transport Reviews*, 21 (4), 449-467.
- Chu, M.T., Shyu, J., Tzeng, G.H., Khosla, R., 2007. Comparison Among Three Analytical Methods for Knowledge Communities Group Decision Analysis. *Expert Systems with Applications*, 33 (4), 1011-1024.
- Çitli N., 2006. *Bulanık Çok Kriterli Karar Verme*, Y. Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniv. FBE, İstanbul.
- Dağdeviren, M., Tamer, E., 2001. Tedarikçi Firma Seçiminde Analitik hiyerarşi prosesi ve 0-1 hedef programlama yöntemlerinin kullanılması. *Gazi Üniv. Mühendislik-Mimarlık Fak. Dergisi*, 16 (2), 41-52.
- Deng, J., 1989. Introduction to Grey System Theory. *The Journal of Grey System*, 1(1), 1-24.
- De-shun, L., Kai-li, X., 2011. Research on the Subjective Weight of the Risk Assessment in the Coal Mine System Based on GSPA-IAHP. *Procedia Engineering*, 26, 1956-1963.
- Eleren, A., Ersoy, M., 2007. Mermer Blok Kesim Yöntemlerinin Bulanık TOPSIS Yöntemiyle Değerlendirilmesi. *Madencilik*, 46 (3), 9-22.
- Ersoy, M., 2013. The Role of Occupational Safety Measures on Reducing Accidents in Marble Quarries of Iscehisar Region. *Safety Science*, 57, 293-302.
- Feng, C.M., Wang, R.T., 2000. Performance Evaluation for Airlines Including the Consideration of Financial Ratios. *Journal of Air Transport Management*, 6, 3, 133-142.
- Fouladgar, M. M., Yazdani-Chamzini, A., Zavadskas, E. K., 2012. Risk Evaluation of Tunneling Projects. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, 12 (1), 1-12.
- Gelvez, E.J.I.R., Aldana, E.F.A.C., 2014. Mining Method Selection Methodology by Multiple Criteria Decision Analysis-Case Study in Colombian Coal Mining. *Int. Symp. of the Analytic Hierarchy Process*, Washington D.C. U.S.A, 3 (1), 1-11.
- Gligoric, Z., Beljic, C., Simeunovic, V., 2010. Shaft Location Selection at Deep Multiple Orebody Deposit by Using Fuzzy TOPSIS Method and Network Optimization. *Expert Systems with Applications*, 37 (2), 1408-1418.
- Göksu, A., 2008. *Bulanık Analitik Hiyerarşik Proses ve Üniversite Tercih Sıralamasında Uygulanması*. Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniv. SBE, Isparta.
- Gupta, S., Kumar, U. 2012. An Analytical Hierarchy Process (AHP) Guided Decision Model for Underground Mining Method Selection. *Int. J. of Mining, Recl. and Environ.*, 26 (4), 324-336.
- Günden, C., Miran, B., 2008. *Bulanık Analitik Hiyerarşik Süreci Kullanarak Çiftçi Kararlarının Analizi*. Ege Üniv. Ziraat Fak. Dergisi, 45 (3), 195-204.
- Güner, M., Yücel, Ö. 2007. *Konfeksiyon Üretiminde Temel Kriterlerin Hiyerarşik Modellenmesi İle Üretilen En İyi Ürünün Belirlenmesi*. Gazi Üniv. Mühendislik-Mimarlık Fak. Dergisi, 22(1), 73-79.
- Hudej, M., Vujic, S., Radosavlevic, M., Ilic, S., 2013. Multi-Variable Selection of the Main Mine Shaft Location. *J. of Mining Science*, 49 (6), 950-954.
- Hyun, K. C., Min, S., Choi, H., Park, J., Lee, I. M., 2015. Risk Analysis using Fault-Tree Analysis (FTA) and Analytic Hierarchy Process (AHP) Applicable to Shield TBM Tunnels. *Tunnelling and Underground Space Techn.*, 49, 121-129.
- Ignatius, J., Mustafa, A., Goh, M., 2012. Modeling Funding Allocation Problems via AHP-Fuzzy TOPSIS. *International Journal of Innovative Computing, Information and Control*, 8 (5), 3329-3340.

- Ishizaka A., Nemery P., 2013. Multi-Criteria Decision Analysis: Methods and Software. John Wiley & Sons Ltd, p. 310.
- Kahraman, C., Yasin Ateş, N., Çevik, S., Gülbay, M., Ayça Erdoğan, S., 2007. Hierarchical Fuzzy TOPSIS Model for Selection Among Logistics Information Technologies. *Journal of Enterprise Information Management*, 20 (2), 143-168.
- Karadoğan, A., Başçetin, A., Kahriman, A., Görgün, S., 2001. Bulanık Küme Teorisinin Yeraltı Üretim Yöntemi Seçiminde Kullanılabilirliği. *Türkiye 17. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Sergisi*, 95-102.
- Karakaşoğlu, N., 2008. Bulanık Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ve Uygulama. Y. Lisans Tezi, Pamukkale Üniv. SBE, Denizli.
- Kazakidis, V.N., Mayer, Z., Scoble, M.J., 2004. Decision Making Using the Analytic Hierarchy Process in Mining engineering. *Mining Technology*, 113 (1), 30-42.
- Kun, M., Topaloğlu, Ş., Malli, T., 2013. Evaluation of Wheel Loaders in Open Pit Marble Quarrying by Using the AHP and TOPSIS Approaches. *Archives of Mining Sciences*, 58 (1), 255-267.
- Kurşunoğlu, N., Önder, M., 2014. Yeraltı Maden İşletmelerinde Analitik Hiyerarşi Prosesi Yöntemi ile Uygun Ventilator Seçimi. *Türkiye 19. Kömür Kongresi, Zonguldak*, 115-122.
- Kurşunoğlu, N., Önder, M., 2015. Selection of an Appropriate fan for an Underground Coal Mine Using the Analytic Hierarchy Process. *Tunnelling and Underground Space Techn.*, 48, 101-109.
- Li, D.F., 2010. Topsis-Based Non-Linear Programming Methodology for Multiattribute Decision Making with Interval-Valued Intuitionistic Fuzzy Set. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 18 (2), 299-311.
- Li, X., Wang, K., Liu, L., Xin, J., Yang, H., Gao, C., 2011. Application of The Entropy Weight and TOPSIS Method in Safety Evaluation of Coal Mines. *Procedia Engineering*, 26, 2085-2091.
- Mahdevari, S., Shahriar, K., Esfahanipour, A., 2014. Human Health and Safety Risks Management in Underground Coal Mines Using Fuzzy TOPSIS. *Science of The Total Environment*, 488, 85-99.
- Mahmoodzadeh, S., Shahrabi, J., Pariazar, M., Zaeri, M. S., 2007. Project Selection by Using Fuzzy AHP and TOPSIS Technique. *Int. J. of Human and Social Sciences*, 1 (3), 135-140.
- Merad, M. M., Verdel, T., Roy, B., Kouniali, S., 2004. Use of Multi-Criteria Decision-Aids for Risk Zoning and Management of Large Area Subjected to Mining-Induced Hazards. *Tunnelling and Underground Space Techn.*, 19 (2), 125-138.
- Mobtaker, M. M., Osanloo, M., 2013. Prediction of Iron Ore Mine Closure Causes Under Uncertainty Condition, Using Vikor Technique. In: 6th Int. Conf. on Sustainable Development in the Minerals Industry, 581-588.
- Mohsen, J., Mohammad, A., Farhang, S., Esmaeil, J. S. M., 2009. The Application of AHP Approach to Selection of Optimum Underground Method. Case study: Jajarm bauxite mine (Iran), *Arc. Min. Sci.*, 54 (1), 103-117.
- Nezarat, H., Sereshki, F., Ataei, M., 2015. Ranking of Geological Risks in Mechanized Tunneling by Using Fuzzy Analytical Hierarchy Process (F-AHP). *Tunnelling and Underground Space Techn.*, 50, 358-364.
- Naghadehi, M. Z., Mikaeil, R., Ataei, M., 2009. The Application of Fuzzy Analytic Hierarchy Process (F-AHP) Approach to Selection of Optimum Underground Mining Method for Jajarm Bauxite Mine, Iran. *Expert Systems with Applications*, 36 (4), 8218-8226.
- Rahimdel, M. J., Karamoozian, M., 2014. Fuzzy TOPSIS Method to Primary Crusher Selection for Goleghar Iron mine (Iran). *J. of Central South Univ.*, 21 (11), 4352-4359.
- Saaty, T.L., 1977. A Scaling Method for Priorities in Hierarchical Structures. *J. of Mathematical Psychology*, 15 (3), 234-281.
- Saaty, T.L., 1980. *The Analytic Hierarchy Process*. New York, McGraw Hill.
- Saaty, T. L., 1990. *The Analytic Hierarchy Process*. RWS Publications, Pittsburgh.
- Saaty, T., 2000. *Fundamentals of Decision Making and Priority Theory with The Analytic Hierarchy Process*. RWS Publications, Pittsburgh.
- Saaty, T. L., Vargas, G.L., 2001. *Model, Methods, Concepts & Applications of The Analytic Hierarchy Process*. Denmark: Kluwer's International Series.
- Saaty, T.L. 2008. Decision Making with Analytic Hierarchy Process. *Int. J. of Services*, 1 (1), 83-98.
- Samanta, B., Sarkar, B., Mukherjee, S. K., 2002. Selection of Opencast Mining Equipment by a Multi-Criteria Decision Making Process. *Mining Technology*, 111 (2), 136-142.
- Samantra, C., Datta, S., Mahapatra, S. S., 2017. A Risk-Based Decision Support Framework for Selection of Appropriate Safety Measure System for

Underground Coal Mines. *Int. J. of Injury Control and Safety Promotion*, 24 (1), 54-68.

Sanchez, J. D. A., Gomez, A. T., 2003. Applications of Fuzzy Regression in Actuarial Analysis. *The J. of Risk and Insurance*, 70 (4), 665-699.

Shariati, S., Yazdani-Chamzini, A., Bashari, B. P. 2013. Mining Method Selection by Using an Integrated Model. *Int. Research J. of Applied and Basic Sciences*, 6 (2), 199-214.

Shen, L., Muduli, K., Barve, A., 2015. Developing a Sustainable Development Framework in the Context of Mining Industries: AHP approach. *Resources Policy*, 46 (1), 15-26.

Soba, M., K. Eren., 2011. TOPSIS Yöntemini Kullanarak Finansal ve Finansal Olmayan Oranlara göre Performans Değerlendirilmesi, Şehirlerarası Otobüs Sektöründe Bir Uygulama. *Selçuk Üniv. Sosyal ve Ekonomik Araştırmalar Dergisi*, 21, 23-40.

Soltanmohammadi, H., Osanloo, M., Sami, A., Malekzadeh, S. B., 2010. Selection of Practical Bench Height in Open Pit Mining Using a Multi-Criteria Decision Making Solution. *J. of Geology and Mining Research*, 2(3), 48-59.

Stanujkic, D., Stojanovic, S., Jovanovic, R., Magdalinovic, N. , 2013. A Framework for Comminution Circuits Design Evaluation Using Grey Compromise Programming. *J. of Business Economics and Management*, 14 (sup1), 188-212.

Şengül, Ü., Eren, M., Shiraz S.E., 2012. Bulanık AHP ile Belediyelerin Toplu Taşıma Araç Seçimi. *Erciyes Üniv. İİBF Dergisi*, 40, 143-165.

Tzeng, G.H., Huang, J.J., 2011. Multiple Attribute Decision Making Methods and Applications. *United States Of America: CRC Press Taylor & Francis Group, LLC*, p. 352.

Uygurtürk, H., Korkmaz, T., 2012. Finansal Performansın TOPSIS Çok Kriterli Karar Verme Yöntemi ile Belirlenmesi: Ana Metal Sanayi İşletmeleri Üzerine Bir Uygulama. *Eskişehir Osmangazi Üniv. İİBF Dergisi*, 7 (2), 95-115.

Vargas, G. L., 1990. An Overview of the Analytic Hierarchy Process and its Applications. *European J. of Operational Research*, 48 (1), 2-8.

Wang, C., Tu, S., 2015. Selection of an Appropriate Mechanized Mining Technical Process for Thin-Coal Seam-Mining. *Math. Problems in Engineering*, Article No. 893232.

Yavuz, M., İphar, M., Önce, G., 2008. The Optimum Support Design Selection by Using AHP Method

for the Main Haulage Road in WLC Tuncbilek Colliery. *Tunnelling and Underground Space Techn.*, 23 (2), 111-119.

Yavuz, M., Alpay, S., 2008. Underground Mining Technique Selection by Multicriterion Optimization Methods. *J. of Mining Science*, 44 (4), 391-401.

Yavuz, M., 2008. Selection of Plant Location in the Natural Stone Industry Using the Fuzzy Multiple Attribute Decision Making Method. *J. of the South African Institute of Mining & Metallurgy*, 108 (10), 641-649.

Yavuz, M., 2011. Bulanık AHP Yöntemi ile Açık Ocak Kamyon Seçimi. *Türkiye 22. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Sergisi*, Ankara, 63-71.

Yavuz, M., 2015. The Application of the Analytic Hierarchy Process (AHP) and Yager's method in Underground Mining Method Selection Problem. *Int. J. of Mining, Recl. and Environ.*, 29 (6), 453-475.

Yazdani-Chamzini, A., Yakhchali, S. H., 2012. Tunnel Boring Machine (TBM) Selection Using Fuzzy Multicriteria Decision Making Methods. *Tunnelling and Underground Space Techn.*, 30, 194-204.

Yılmaz, F., Alp, S., 2016. Underlying Factors of Occupational Accidents: The case of Turkey. *Open J. of Safety Science and Techn.*, 6, 1-10.

Yong, D., 2006. Plant Location Selection Based on Fuzzy TOPSIS. *Int. J. Adv. Manuf. Techn.* 28 (7), 839-844.

Yücel, M., Ulutaş, A., 2009. Çok Kriterli Karar Yöntemlerinden Electre Yöntemiyle Malatya'da Bir Kargo Firması İçin Yer Seçimi. *Sosyal Ekonomik Araştırmalar Dergisi*, (17), 327-344.

Zhang G., Zou P.X.W., 2007. Fuzzy Analytical Hierarchy Process Risk Assessment Approach for Joint Venture Construction Projects in China. *J. of Construction Engineering and Management*, 133 (10), 771-779.

Zhou, P., Ang, B. W., Poh, K. L., 2006. Decision Analysis in Energy and Environmental Modeling: An Update. *Energy*, 31 (14), 2604-2622.

Zhou, W., Yin, W., Peng, X., Liu, F., & Yang, F., 2016. Comprehensive Evaluation of Land Reclamation and Utilisation Schemes Based on a Modified VIKOR Method for Surface Mines. *Int. J. of Mining, Recl. and Environ.*, 1-16.