

EKİPMAN SEÇİMİ PROBLEMİNDE PROMETHEE VE BULANIK PROMETHEE YÖNTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ

Burcu YILMAZ ve Metin DAĞDEVİREN

Edüstri Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Gazi Üniversitesi, Ankara
burcuyilmaz@gazi.edu.tr, metindag@gazi.edu.tr

(Geliş/Received: 19.01.2010; Kabul/Accepted: 20.05.2010)

ÖZET

İnsan, makine, malzeme gibi çok çeşitlilikte ve değişken özellikler gösteren bileşenlere sahip olan üretim sistemlerinin planlanması, yönetilmesi ve kontrol edilmesi genellikle zor ve karmaşık bir yapıya sahip olup, birden fazla etken tarafından etkilenen kararlar alınmasını gerektiren bir süreçtir. Bu tip süreçlerde karşılaşılan problemler çok sayıda çelişen kriter içeren kompleks karar problemleri niteliğindedir. Bu gibi durumlarda analitik bir bakış açısı sağlayan, probleme matematiksel ve mantıklı çözümler getirebilen çok kriterli karar verme yöntemlerinin uygulanması çözüm ve daha sonraki aşamalarda büyük yararlar sağlamaktadır. Ekipman seçimi, etkin bir üretim sistemi için oldukça önemli bir konudur. Genellikle birbirine çok benzeyen pek çok tipteki ekipmanın arasından en doğru seçimi yapmayı çok sayıda kriterin göz önüne alınması ile birlikte gerektiren, yorucu, karmaşık, zor bir karar verme problemidir. Bu çalışmada, bir işletmenin kaynak makinesi seçimi problemi, dilsel ifadelerle tanımlanan kriterlerin önceliklendirilmesini içeren çok kriterli bir karar verme problemi temelinde incelenmiştir. Yapılan uygulamada problem hem bulanık hem de kesin sayıların kullanılmasıyla çözümlenerek alternatif ekipmanlar için hem kısmi hem de tam sıralama belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar ile her iki durum karşılaştırmalı olarak ayrıntılı bir şekilde analiz edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Ekipman seçimi, çok ölçütlü karar verme, PROMETHEE, Bulanık PROMETHEE

COMPARATIVE ANALYSIS OF PROMETHEE AND FUZZY PROMETHEE METHODS IN EQUIPMENT SELECTION PROBLEM

ABSTRACT

Planing, managing and controlling of production systems, which have variant and inconstant featured components like human, machines and materials, have got a complex and hard structure and is a process that requires taking decisions influencing by criteria more than one. Problems met this type of processes are decision problems involving numerous conflicting criteria, and in such situations employing multi criteria decision making methods providing a analytical point of view, giving mathematical and logical solutions to problems, derives great advantages in solving and subsequent stages. Equipment selection is a quite important subject for an effective production system, and is a decision making problem which is exhausting, complex, hard and generally requiring both selecting the most appropriate choice among a wide range of resembling alternatives and taking consideration of numerous criteria. In this study, the welding machine selection problem of a company is analyzed based on a multi criteria decision making problem including prioritization of the linguistically defined criteria. In our application, both partial and full ranking are determined for alternative equipments by employing crisp numbers as well as fuzzy numbers to solve the problem. Both cases are analyzed comparatively in detail with obtained results.

Key Words: Equipment selection, Multi criteria decision making, PROMETHEE, Fuzzy PROMETHEE

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Karar verme problemi en genel anlamda; bir seçenek kümesinden en az bir amaç veya ölçüte göre en uygun seçeneğin seçimi şeklinde tanımlanabilir. Karar alma, işletmeler için en önemli aktivitelerden biridir. Bu süreç kapsamında çok büyük miktarlarda zaman ve maliyet gerekmektedir. Buna göre bir karar probleminin elemanları karar vericiler, seçenekler, kriterler, sonuçlar, çevre ve karar vericinin öncelikleri olarak sıralanabilir. En basit şekliyle bir karar problemi bir amaç veya ölçüte göre seçenekler arasından bir seçim yapma olarak düşünülebilir [1]. Üretim sistemlerinde alınması gereken kararlar arasında; işgücünü arttırmak, çalışma verimliliğini arttırmak, hammadde değişikliği yapmak, yeni bir ürünün üretimine geçmek gibi verilmesi gereken başlıca kararlar vardır. Bu kararların tümü kullanılacak ekipmanın değiştirilmesini getirmekte ya da üretim sürecine yeni ekipmanlar dahil etmeyi gerektirmektedir. Ekipman seçimi, insan yargısının ana etken olduğu tasarımın başlangıç adımlarında alınması gereken kararlardan biridir [2]. Çok amaçlı ekipman seçimi etkin bir üretim sistemi için çok önemli bir aktivitedir. Müşteri memnuniyeti gereksinimi şirketleri ekipman seçiminde daha duyarlı olmaya ve ayrıntılı analizler yapmaya zorlamaktadır [3]. Ayrıca, uygun bir ekipman seçimi, uygun olmayan ekipman seçimi bir üretim sisteminin üretkenliğini ve toplam performansını negatif yönde etkileyeceğinden dolayı üretim sistemleri için oldukça önemli bir eylemdir. Ekipman seçiminin bunlara ek olarak şirketin küresel rekabet edebilirliği üzerinde de büyük bir etkisi vardır [4]. Bunlarla birlikte esnek bir üretim sistemi tasarımı için de önemli bir karar verme noktasıdır [3].

Uygun ekipman seçimi; üretim sürecini iyileştirebilir, işgücünün etkin kullanılmasını sağlayabilir, üretim miktarını arttırabilir ve sistem esnekliğini arttırabilir [4]. Bir diğer açıdan yetersiz ekipman seçimi müşterilerin istediği kalite seviyelerini ve kapasite gereksinimini karşılayamayabilir [3]. Gerekli olduğunda daha nitelikli ekipman seçimi ise şirketin nakit akışını aksatabilir, ayrıca atıl ekipman ve aşırı stok gibi problemlere yol açabilir.

Ekipman seçiminde ele alınan kriterler iki gruba ayrılabilir: (1) maliyetler, (2) teknik özellikler. Ekipmanı teknik özelliklere göre ve maliyetlere göre değerlendirirken kullanılacağı üretim sistemindeki rolünün önemi büyüktür [3]. Bu nedenle ekipman seçimi zaman alan ve ileri düzeyde bilgi ve tecrübe gerektiren bir süreçtir. Dolayısıyla süreç, mühendisler ve yöneticiler için ve hatta ekipman üreticileri ve satıcıları için yürütülmesi zor bir görevdir [5].

Literatürde ekipman seçimi problemini farklı yöntemler kullanarak ele alan çalışmalar mevcuttur. Başçetin ve Kesimal [6] ve Başçetin [7] yaptıkları

çalışmada ekipman seçimi için çok fazla sayıda kriterin ve birden çok çözüm alternatifinin bulunduğu ortamlarda AHP yönteminden yararlanarak optimum kararlar alınabileceğini göstermişlerdir. Chan ve ark. [8] tarafından yürütülen bir diğer çalışmada, üç modülden oluşan *malzeme taşıma ekipman seçimi danışmanı*” (MHESA) adında akıllı bir sistem geliştirilmiştir. Bu modüller sırasıyla, özellikleri ile birlikte ekipman tiplerini depolayacak bir veritabanı, malzeme taşıma ekipman seçimine yardımcı olacak bir uzman sistem ve en iyi ekipman tipini seçecek bir AHP modelidir. Manassero ve ark. [9] Ferrari yarış takımı için gerçekleştirilen bir uygulamada ekipman seçimi problemini AHP yöntemi kullanarak analiz etmişlerdir. Ayağ ve Özdemir [5] yaptıkları çalışmada makine seçim problemi için bulanık AHP yöntemini kullanmışlar ve süreçte yer alan ikili karşılaştırma matrislerini karar vericinin yargılarındaki belirsizlik ve bulanıklıktan dolayı bulanık sayı kullanarak oluşturmuşlardır. Yine benzer bir çalışmada, Chakraborty ve Banik [10] özel bir taşıma çevresinde en uygun malzeme taşıma ekipmanının seçimi için AHP tekniğini uygulamış ve bu süreçte en kritik ve en gereksiz kriterlerin belirlenmesi amacıyla duyarlılık analizi yapmıştır. Dağdeviren [4] ekipman seçimi problemini AHP ve PROMETHEE yöntemleri ile bütünlük bir çözüm yöntemi önermiştir. Önerilen yöntemde AHP, ekipman seçimi probleminin yapısını analiz etmek ve kriterlerin ağırlıklarını belirlemek için kullanılırken, PROMETHEE son sıralamayı elde etmek ve ağırlıkları değiştirerek bir duyarlılık analizi yapmak amacıyla kullanılmıştır. İç ve Yurdakul [11] tarafından, işleme merkezlerinin seçimine yönelik olarak yürütülen bir çalışmada ise Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) ve İdeal Çözümlere Yakınlık Yoluyla Tercihlerin Sıralanması Tekniği (TOPSIS) yöntemlerinin bulanık mantıkla uygulandığı bir karar destek sistemi geliştirilmiştir.

Bu çalışmada, bir işletmenin Gaz Altı MIG/MAG Kaynak Makinesi ekipman seçimi problemi, sırasıyla PROMETHEE ve bulanık PROMETHEE yöntemleri uygulanarak çözülmüş ve en iyi alternatif belirlenmiştir. Uygulamada 11 alternatif kaynak makinesi, sırasıyla; “*sektörel kullanılabilirlik*”, “*fiyat*”, “*ağırlık*”, “*çalışma uyumu*”, “*ekipmanın işlemeye uyumlu olduğu tel çapı çeşidi*” ve “*kapladığı hacim*” den oluşan altı kriter temelinde değerlendirilmiştir. PROMETHEE ve F-PROMETHEE işlemi sürecinde gerekli olan kriter ağırlıkları AHP yöntemi ile belirlenmiştir. PROMETHEE metodu ile kesin sayılar kullanılarak gerçekleştirilen analizler en iyi alternatifin seçilmesinde yardımcı bir karar verme programı olan Decision Lab 2000 [12] yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. İzleyen aşamada girdi verilerinde bulunan dilsel terimlerin yol açtığı yanlış değerlendirme olasılığının önüne geçebilmek ve bu dilsel terimlerden kaynaklanan bulanıklıkları en doğru şekilde inceleyip en doğru sonuca ulaşmak amacıyla,

Tablo 1. Önem skala değerleri (Importance scale values)

Değer	Tanım	Açıklama
1	Eşit önemli	İki seçenek de eşit derecede öneme sahip
3	Biraz önemli	Tecrübe ve yargı bir kriteri diğerine karşı biraz üstün kılmakta
5	Fazla önemli	Tecrübe ve yargı bir kriteri diğerine karşı oldukça üstün kılmakta
7	Çok fazla önemli	Bir kriter diğerine göre üstün sayılmıştır
9	Aşırı derecede önemli	Bir kriterin diğerine üstün olduğunu gösteren kanıt çok büyük güvenilirliğe sahiptir
2, 4, 6, 8	Ara değerler	Uzlaşma gerektiğinde kullanılmak üzere iki ardışık yargı arasındaki değerler

aynı problem aynı veri seti ile F-PROMETHEE yöntemi kullanılarak tekrar çözülmüştür. Son aşamada, her iki yöntem aracılığıyla elde edilen sıralamalar hangi yöntemin gerçek hayat koşullarındaki bulanıklığı ve bu bulanıklığın seçim ve karar verme prosesindeki etkisini daha iyi temsil ettiği temelinde karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir.

2. YÖNTEMLER (METHODS)

2.1. AHP Metodu (The AHP Method)

Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) 1977 yılında Thomas L. Saaty tarafından geliştirilen çok ölçütlü karar verme tekniklerinden biridir. AHP karar almada, grup veya bireyin önceliklerini de dikkate alan, nitel ve nicel değişkenleri bir arada değerlendiren matematiksel bir yöntemdir. Karar verme problemlerinde insan yargılarının kullanımı son zamanlarda dikkat çeken bir ölçüde artmıştır. AHP ile karar vericilerin farklı psikolojik ve sosyolojik durumlardaki gözlemleri de dikkate alınarak kendi karar verme mekanizmalarını tanıma olanağı sağlanmaya çalışılmaktadır. Bu yöntemle karar vericilerin daha etkin karar vermeleri amaçlanmıştır [13].

Yöntem, oldukça büyük bir ilgi görmüş ve gerçek hayatta birçok karar verme probleminin çözümünde kullanılmıştır. Son yıllarda yapılan çalışmalarda AHP'nin diğer yöntemlerle bütünleştirilerek uygulanmasında da artış görülmüş ve karar verme problemlerine büyük ölçüde; AHP ve Hedef Programlama [1, 14-22], AHP ve Veri Zarflama Analizi [23-26] ve AHP ve Bulanık Mantık [27-41] yöntemleri birlikte uygulanmıştır. Bu çalışmalarda yer seçimi [21, 23, 26, 31, 35], üretim [17, 22, 24, 29, 34, 38, 39, 41], yatırım [15, 16, 20, 39], enerji [18, 19], kalite kontrol [20, 36] ve iş güvenliği [41] konuları ile ilgili karar verme problemlerine AHP ile birlikte diğer yöntemler bütünleşik olarak uygulanmışlardır.

AHP'de karar vericinin amacı doğrultusunda faktörlerin ve faktörlere ait olan alt faktörlerin belirlenmesi ilk adımdır. AHP'de öncelikle amaç belirlenir ve bu amaç doğrultusunda amacı etkileyen faktörler saptanmaya çalışılır, bu aşamada karar sürecini etkileyen tüm faktörlerin belirlenebilmesi için anket çalışmasına veya bu konuda uzman kişilerin

görüşlerine başvurulabilir. Amaç, faktör ve alt faktörler belirlendikten sonra, faktör ve alt faktörlerin kendi aralarındaki önem derecelerinin belirlenmesi için ikili karşılaştırma karar matrisleri oluşturulur. Bu matrislerin oluşturulmasında Saaty [13] tarafından önerilen 1-9 önem skalası kullanılır. Yapılan çalışma sonunda verilecek karar birçok kişiyi etkileyecek yapıda ise ikili karşılaştırma karar matrisleri farklı kişilerin yargılarının birleştirilmesi ile oluşturulur. Bu birleştirme işleminde birçok araştırmacı, tutarlı ikili karşılaştırma matrisleri elde edebilmek için geometrik ortalama yönteminin kullanılmasını önermektedir [42, 43]. Saaty [13] tarafından önerilen 1-9 önem skalası en iyi sonuçların elde edilmesini sağlamaktadır. Bunun dışındaki 1-5, 1-7, 1-15 ve 1-20 gibi önem skalaları uygun çözümü elde etmede yetersiz kalmaktadır. Tablo 1'de önem skalası değerleri ve anlamları açıklanmıştır.

İkili karşılaştırma karar matrislerinin oluşturulması AHP'nin en önemli aşamasıdır. İkili karşılaştırma karar matrislerinden elde edilen bilgilere göre AHP'de yargılar bir matrise dönüştürülür. a_{ij} , i . özellik ile j . özelliğin ikili karşılaştırma değeri olarak gösterilecek olursa, a_{ji} değeri $1/a_{ij}$ eşitliğinden elde edilir. Bu eşliğe, karşılık olma özelliği denir [13, 44]. İkili karşılaştırma karar matrisleri oluşturulduktan sonra izleyen aşama öncelik veya ağırlık vektörlerinin hesaplanmasıdır. AHP metodolojisine göre karşılaştırma matrisinin özdeğer ve özvektörleri öncelik sırasını belirlemeye yardımcı olur. En büyük özdeğere karşılık gelen özvektör öncelikleri belirlemektedir. A matrisinin en büyük özdeğeri λ_{\max} olarak ele alınırsa, W öncelik vektörü; $(A - \lambda_{\max}I)W = 0$, denklem sisteminin çözümü ile elde edilir. Ancak bu denklem sisteminin özdeğer ve özvektörlerini hesaplamak özellikle büyük boyutlu matrisler ($n > 5$) için çok karmaşık ve zaman alıcıdır. Uygulamalarda, yukarıdaki denklem sisteminin çözümü yerine yaklaşık sonuçlar veren ve hesaplaması daha kolay olan yöntemler tercih edilmektedir [45]. Öncelik vektörlerinin hesaplanmasında kullanılan yaygın bir yöntem şöyledir [45]: normalleştirilmiş matris, her bir sütun değerinin ayrı ayrı ilgili sütun toplamına bölünmesi ile elde edilir. Normalleştirilmiş matristen hareketle; her bir sıra değerlerinin ortalaması alınır. Elde edilen bu değerler her bir kriter için bulunan önem ağırlıklarıdır. Bu ağırlıklar ile öncelik vektörü oluşturulur.

Karar vericinin faktörler arasında karşılaştırma yaparken tutarlı davranıp davranmadığını ölçmek için, oluşturulan her bir karşılaştırma matrisi için Tutarlılık Oranı'nın (T.O.) hesaplanması gerekir. Bu hesaplamada n alternatif sayısına bağlı olarak rasgele indeks (R.İ.) sayıları kullanılır. Hesaplamalar sonucunda bulunan değer 0,10'un altında çıkmışsa oluşturulan karşılaştırma matrisinin tutarlı olduğu sonucuna varılır. Aksi durumda karşılaştırma matrisi tutarsızdır ve tekrar düzenlenmesi gerekir [13].

2.2. PROMETHEE Metodu (The PROMETHEE Method)

PROMETHEE metodu Brans ve ark. [46, 47] tarafından geliştirilen bir çok kriterli karar verme (ÇKKV) metodudur. Çelişen pek çok sayıda kriter gere göre sonlu sayıda alternatif eylemin sıralanacağı problemlere çok uygundur [48]. Bu metodoloji uygulama alanındaki hem en verimli, hem de en kolay metodolojilerden biridir. Sıralama problemleri için uygun olan PROMETHEE metodu, kullanıcı için esneklik ve kolaylığı bir araya getirmekte [49] olup, aynı zamanda diğer metodlara kıyasla çok kriterli analizler için konsept ve uygulama olarak daha basit bir sıralama metodudur [48]. Metod, alternatiflerin hem kısmi, hem de tam sıralamasını sunmakla birlikte bir karar probleminin geometrik temsilini iki boyutlu bir düzlemde (GAIA düzlemi) sonuçlarıyla birlikte gösterebilmekte ve ayrıca çok çeşitli duyarlılık analizlerinin sayısal ya da grafiksel olarak yapılmasını sağlamaktadır [50]. Ancak, karar verme süreçleri yapılacak karşılaştırmalar ve değerlendirmeler günlük hayattan alınan verilere dayandığında çoğu zaman sayısal olarak ifade edilmesi güç olan ve sayısallaştırma sırasında genellikle veri kaybına yol açan dilsel ifadeler barındırmaktadır. PROMETHEE metodu sahip olduğu avantajlarına rağmen, girdi değerlerinin genellikle karar vericilerin düşünce ve tecrübelerine dayanması ve kalitatif olarak belirlenmesi açısından bir dezavantaja sahiptir. Bu nedenle, bu çalışmada girdi verilerinin doğru yorumlandığından emin olabilmek için PROMETHEE metodunun bulanık ortamda geliştirilmiş versiyonu olan Bulanık PROMETHEE (F-PROMETHEE) kullanılmıştır. F- PROMETHEE metodu, PROMETHEE metodu ve bulanık sayıların bir kombinasyonudur [51]. PROMETHEE metodu finansman taşımaya, enerji kaynağı seçiminden bilgi teknolojileri stratejileri seçimine birçok uygulama alanı bulmuş olup [51], F- PROMETHEE ise henüz çok yeni ve sınırlı sayıda uygulama örneğine sahip bir metoddur. Çevre yönetimi konu başlığı altında, Briggs ve ark. [52] atık yönetimi konusunda PROMETHEE I ve II'yi 27 kriterin tam sıralamasını elde etmek amacıyla ile az sayıda çok çelişen kriter temelinde uygulamışlardır. Chou ve ark. nın [53] yaptıkları çalışmada ise ekolojik, güvenlik ve maliyet indislerini kullanan inovatif süreçler geliştirmek amacıyla en uygun ekoteknoloji metodunun seçimi kapsamında PROMETHEE yöntemi kullanılarak

sıralama ve değerlendirme yapılmıştır. Queiruga ve ark. [54] PROMETHEE'yi İspanyol belediyelerini, atık geridönüşüm fabrikalarının kurulması için uygunluklarına göre sıralamak amacıyla, uzmanlar tarafından oluşturulan bir anket ile birlikte kullanmıştır. D'Avignon ve Mareschal [55] Kanada'nın Quebec bölgesinde, vatandaşlara sunulan hastane hizmetlerinin uzmanlaşma derecesinin belirlenmesinde PROMETHEE I ve II'yi kullanmıştır. Du Bois ve ark. [56], olası bir tanı listesi seçimi için PROMETHEE I kullanan bilgisayarlı bir uzman sistem geliştirmiştir. Olson [57] PROMETHEE I ve II ile çarpma, güç, hız, yer doldurma ve atma olmak üzere beş kriter temelinde sekiz beysbol takımının yeteneklerinin sıralamasını ve değerlendirmesini gerçekleştirmiştir. Montaj planlama konusunda Rekiek ve ark. [58] PROMETHEE II'yi çok amaçlı gruplama genetik algoritması ve dal sınır metodu ile birleştirerek her montaj istasyonu için en iyi donanım kombinasyonunu seçmiştir. Yatırım analizi ve portfolyo yönetimi kapsamında Baourakis ve ark. [59] PROMETHEE II'yi tarımsal yiyecek üretimi ve pazarlaması alanında çalışan Yunan şirketlerinin sürdürülebilirliğini değerlendirmek için finansal karakteristikler temelinde kullanmıştır. Bir diğer çalışmada Albadvi ve ark. [60] PROMETHEE I ve II'yi Tahran Borsası'nda yatırım yapmak için bir karar verme aracı olarak uygulamıştır. Yenilenebilir enerji projelerini değerlendirmek amacıyla, Hyde ve ark. [61] altı yenilenebilir enerji senaryosunu değerlendirmek için bir PROMETHEE yöntemini kullanmışlardır. Albadvi [62] PROMETHEE II'yi ulusal bilişim teknolojisi stratejileri oluşturmak amacıyla kullanmıştır. Johnson [63] iskân seçim belgesi programı altında PROMETHEE'yi önceliklerine en iyi uyan komşuluk ve iskân birimlerini seçmek ve yarar çıktısının en büyük ihtimalini sağlamak amacıyla kullanmıştır. Kimya konusundaki çalışmalara örnek olarak Zhang ve ark. [64] PROMETHEE ve Kemometrik (kimyasal ölçümler) metodlarını kombine ederek, ürünlerin performans kalitesinin çok yönlü bir göstergesi olarak 67 yağ nesnesini sıralamak amacıyla kullanmışlardır. Lojistik ve taşıma konu başlığı altındaki çalışmalarda ise, Iniestra ve Gutiérrez [65] çalışmalarında kuadratik amaç fonksiyonlu bir kısıtlandırılmış çok amaçlı optimizasyon problemi olan çok amaçlı taşıma altyapısı proje seçim problemini çok amaçlı 0-1 sırt çantası problemi varyasyonları ve bazı ek kısıtlar kullanarak modellemiş, proje portföyünün sonuç seçimi PROMETHEE yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Mohamadabadi ve ark. [66] çalışmalarında PROMETHEE metodunu kullanarak farklı karayolu taşımacılığı araçlarını sıralamak için bir çok kriterli değerlendirme modeli geliştirmişlerdir.

PROMETHEE'nin uygulanması için iki tip bilgiye ihtiyaç duyulmaktadır: (1) kriterlerin ağırlıkları olarak görülen göreceli önem bilgisi (2) karar vericinin her bir ayrı kriter için alternatifleri karşılaştırırken

kullandığı tercih fonksiyonu bilgisi. $w=(w_1, w_2, \dots, w_k)$ ağırlıkları ile k kriter $c=(f_1, f_2, \dots, f_k)$ tarafından değerlendirilen $A=(a, b, c, \dots)$ alternatiflerine ilişkin veri matrisinin oluşturulması PROMETHEE metodunun başlangıç noktasıdır. PROMETHEE metodu çok kriterli problemlere şu şekilde uygulanır Eş.1 [46]:

$$\max\{f_1(a), f_2(a), \dots, f_n(a) \mid a \in A\} \quad (1)$$

Burada A mümkün alternatiflerin sonlu bir kümesidir ve f_j en büyüklenecek n tane kriteri göstermektedir. Her alternatif için $f_j(a)$ o alternatifin bir değerlendirmesidir. $a, b \in A$ olan iki alternatifi karşılaştırdığımızda bu karşılaştırmanın sonucunu tercihler bakımından açıklayabiliriz. Bu yüzden bir P tercih fonksiyonu seçilir. Bu tercih fonksiyonu, 0-1 aralığında değişen bir tercih derecesi içinde, belirli bir kriter temelinde değerlendirilen iki alternatif (a ve b) arasındaki farkı açıklamaktadır Eş.2-3.

$$P_j(a, b) = G_j [f_j(a) - f_j(b)] \quad (2)$$

$$0 \leq P_j(a, b) \leq 1 \quad (3)$$

$G_j, f_j(a)$ ve $f_j(b)$ arasında gözlemlenen (d) sapmasının azalmayan bir fonksiyonu iken, $f_j(i)$ kriterine bağlı tercih fonksiyonu olsun. Yöntemin uygulanmasında kullanılabilir 6 farklı tercih fonksiyonu bulunmaktadır ve bunlar sırasıyla birinci tip (olağan), ikinci tip (U-tipi), üçüncü tip (V-tipi), dördüncü tip (seviyeli), beşinci tip (lineer) ve altıncı tip (Gaussian) tercih fonksiyonlarıdır [46]. Tercih fonksiyonuna göre değeri fazla olan az olana tercih edilir ve belirlenen tercih fonksiyonları temelinde ortak tercih fonksiyonu Eş.4 ile hesaplanır.

$$P(a, b) = \begin{cases} 0 & , f(a) \leq f(b) \\ p[f(a) - f(b)] & , f(a) > f(b) \end{cases} \quad (4)$$

Ortak tercih fonksiyonlarından hareketle her alternatif çifti için tercih indeksleri belirlenir. w_i ($i=1, 2, \dots, k$) ağırlıklarına sahip olan k kriter tarafından değerlendirilen a ve b alternatiflerinin tercih indeksi hesaplanır (Eş.5).

$$\pi(a, b) = \frac{\sum_{i=1}^k w_i \times P_i(a, b)}{\sum_{i=1}^k w_i} \quad (5)$$

Daha sonra alternatifler için pozitif (Φ^+) ve negatif (Φ^-) üstünlükler belirlenir (Eş.6-7). Pozitif üstünlük (Φ^+) o alternatifin diğer bütün alternatiflere nasıl baskın geldiğini gösterir, yani o alternatifin üstünlüğünün ölçüsüdür. Negatif üstünlük (Φ^-) ise o alternatifin diğer bütün alternatifler tarafından nasıl bastırıldığını göstermektedir [46].

$$\phi^+(a) = \sum \pi(a, x) \quad x = (b, c, d, \dots) \quad (6)$$

$$\phi^-(a) = \sum \pi(a, x) \quad x = (b, c, d, \dots) \quad (7)$$

Daha sonra üç ana PROMETHEE aracından biri değerlendirme problemini analiz etmek için kullanılabilir. Bunlar; PROMETHEE I kısmi sıralama, PROMETHEE II tam sıralama ve GAIA düzlemidir (Etkileşimli Yardımın Geometrik Analizi) [4].

PROMETHEE I ile kısmi öncelikler belirlenir. Kısmi öncelikler alternatiflerin birbirlerine göre tercih edilme durumlarının, birbirinden farksız olan alternatiflerin ve birbirleriyle karşılaştırılmayacak olan alternatiflerin belirlenmesini sağlar. Sonuç olarak a alternatifi b alternatifine tercih edilir (Eş.8), a alternatifi ile b alternatifi farksızdır (Eş.9) ya da a alternatifi b alternatifi ile karşılaştırılmaz (Eş.10) sonuçlarına varılır [46].

$$\phi^+(a) > \phi^+(b) \quad \text{ve} \quad \phi^-(a) < \phi^-(b) \quad (8)$$

$$\phi^+(a) > \phi^+(b) \quad \text{ve} \quad \phi^-(a) = \phi^-(b) \quad (8)$$

$$\phi^+(a) = \phi^+(b) \quad \text{ve} \quad \phi^-(a) < \phi^-(b) \quad (9)$$

$$\phi^+(a) = \phi^+(b) \quad \text{ve} \quad \phi^-(a) = \phi^-(b) \quad (9)$$

$$\phi^+(a) > \phi^+(b) \quad \text{ve} \quad \phi^-(a) > \phi^-(b) \quad (10)$$

$$\phi^+(a) < \phi^+(b) \quad \text{ve} \quad \phi^-(a) < \phi^-(b) \quad (10)$$

PROMETHEE II alternatifler için en iyiden en kötüye doğru tam bir sıralama sağlar. Sıralamanın oluşturulması için her bir alternatif için tam öncelik değerleri hesaplanır (Eş.11). Burada a ve b gibi iki alternatif için hesaplanan tam öncelik değerine bağlı olarak tam sıralama kararları alınır. Daha yüksek bir tam öncelik değerine sahip olan alternatif üstün olarak kabul edilir.

$$\Phi^{net}(a) = \Phi^+(a) - \Phi^-(a) \quad (11)$$

GAIA düzlemi alternatiflerin göreceli pozisyonlarını çeşitli kriterlere katkısı açısından grafiksel olarak göstermektedir [46, 67]. a alternatifi ve j kriteri için, "normalleştirilmiş akımlar" matrisine uygulanan ana bileşen analizi Eş.12'de verilen şekilde tanımlanır:

$$\phi_j(a) = 1/n - 1 \sum [P_j(a, b) - P_j(b, a)] \quad (12)$$

Burada n alternatif sayısıdır ve alternatiflerin ve kriterlerin aynı düzende bulunduğu iki boyutlu bir grafik oluşturmakta kullanılmaktadır [4].

2.3. Bulanık PROMETHEE (F-PROMETHEE) Metodu (The Fuzzy PROMETHEE Method)

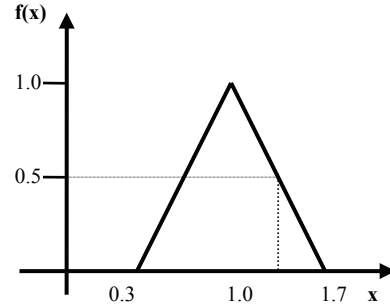
PROMETHEE metodunun çok yaygın olarak başarılı bir şekilde kullanılmasının temelinde matematiksel özellikleri ve kolay kullanımı gelmektedir [68]. Ancak, yöntemde kullanılan girdi değerleri karar

vericilerin düşünce ve tecrübelerine dayandığı ve dolayısıyla dilsel terimlerle ifade edildiği zaman oluşan belirsizlik ve bulanıklıktan ötürü yanlış değerlendirmeler yaparak yanlış sonuçlara varma olasılığı çok yüksektir. Bu belirsizliğin yol açabileceği sorunların önüne geçmek amacıyla, bulanık sayılar ve PROMETHEE yönteminin bir kombinasyonu olan Bulanık PROMETHEE (F-PROMETHEE) yöntemi geliştirilmiştir. F-PROMETHEE yöntemi, prensipte aynı mantıkla yürütülürken, farklı araştırmacılarca bazı farklı ek uygulamalar kullanılarak da çalıştırılmıştır. PROMETHEE metodunun bulanık küme teorisi ile birleştirilmesi ilk olarak Lé Teno ve Mareschal [50] tarafından öne sürülmüştür. Goumas ve Lygerou [48] çalışmasında bir alçak ısıda jeotermal alana ait enerji soğurma planları alternatiflerinin sıralanması ve değerlendirilmesi için F-PROMETHEE kullanmıştır. Geldermann ve ark. [49] çalışmalarında F-PROMETHEE yöntemini kullanarak demir ve çelik endüstrisinde bir “Ömür Döngü Değerlendirmesi” gerçekleştirmiştir. Bilsel ve ark. [51] hastane web sitelerinin performanslarını ölçen bir kalite değerlendirme modeli geliştirmişler, kesin ve değerlendirmenin bazı aşamalarındaki belirsizliklerin ifade edilmesi için kullanılan bulanık verileri F-PROMETHEE yöntemi ile analiz etmişlerdir.

Bu çalışmada kullanılan F-PROMETHEE uygulamasında DuBois ve Prade [69] tarafından önerilen ve bir bulanık sayıyı $x=(m,a,b)_{LR}$ şeklinde gösteren notasyon izlenecektir. Bu notasyonda, x değişkeni kesinlikle bulanık kümeye aittir ve bu yüzden de üyelik fonksiyonu olan $f(x)$ 1 değerini alır. $(m-a)$ 'dan küçük ve $(m+b)$ 'den büyük değerler bu kümeye ait değildir $[m-a < x < m+b]$ aralığının içindeki değerler için üyelik derecesi 0 ve 1 arasında değişen üyelik fonksiyonu tarafından verilir. L ve R harfleri sırasıyla m 'nin soluna ve sağına doğru $f(x)$ 'teki değişikliği gösteren fonksiyonlardır. Bu notasyona göre bir $x=(1,0.7,0.7)$ bulanık sayısı doğrusal L ve R varsayımı altında Şekil 1'de grafiksel olarak gösterilmiştir.

Bu çalışmada F-PROMETHEE metodu Goumas ve Lygerou [48] ve Bilsel ve ark. [51] tarafından önerilen şekilde uygulanmıştır. Dolayısıyla Bölüm 2.1'de anlatılan tüm işlemler ve hesaplamalar bulanık

sayılarla gerçekleştirilecek olup, tercih eşik değerleri (q ve p) ve ağırlıklar kesin sayı olarak kalacaktır. q ve p , bir bulanık sayının esnetilmiş biçiminden dolayı yapılacak değerlendirmelerin belirsiz olmasının engellenmesi için bulanık sayı değildir. Aynı şekilde ağırlıklar PROMETHEE metodunda ağırlıklar toplamının 1 olması gerektiğinden dolayı bulanık sayı olamaz [51].



Şekil 1. $x=(1,0.7,0.7)$ bulanık sayısının L ve R doğrusal olduğundaki gösterimi (Representation of $x=(1,0.7,0.7)$ fuzzy number, when L and R are linear)

Uygulamada tercih fonksiyonlarının belirlenmesi aşamasında F-PROMETHEE uygulamalarında en sık kullanılan ve problemin karakteristiğine en uygun olan doğrusal tercih fonksiyonu (5. tip) seçilmiştir (Eş.13).

$$\begin{aligned} P(\alpha, \beta) &= 0, & d \leq q & \text{ için} \\ P(\alpha, \beta) &= \frac{d-q}{p-q}, & q \leq d \leq p & \text{ için} \\ P(\alpha, \beta) &= 1, & d \geq p & \text{ için} \end{aligned} \quad (13)$$

F-PROMETHEE kullanıldığında Eş.13'te bulunan α ve β eylemlerinin performansları arasındaki fark d , (n,c,d) bulanık sayısı olarak ifade edilecek ve Eş.13 şu şekilde değişecektir:

$$\begin{aligned} P(\alpha, \beta) &= 0, & n-c \leq q & \text{ için} \\ P(\alpha, \beta) &= \frac{d-q}{p-q}, & q \leq n-c \text{ ve } n+d \leq p & \text{ için} \\ P(\alpha, \beta) &= 1, & n+d \geq p & \text{ için} \end{aligned} \quad (14)$$

Elde edilen yeni fonksiyondaki işlemleri gerçekleştirebilmek için bulanık sayılarla işlemlerin temel bilgisine sahip olmak gerekmektedir. Bulanık sayılarla basit işlemler için gerekli formüller Tablo 2'de verilmiştir [48].

Tablo 2. Temel bulanık işlemler (Basic fuzzy operations)

Toplama	$(m, a, b)_{LR} \oplus (n, c, d)_{LR} = (m+n, a+c, b+d)_{LR}$
Negatif	$-(m, a, b)_{LR} = (-m, a, b)_{RL}$
Çıkarma	$(m, a, b)_{LR} - (n, c, d)_{LR} = (m-n, a+c, b+d)_{LR}$
Skalerle Çarpım	$(m, a, b)_{LR} \times (n, 0, 0) = (mn, an, bn)$
Bulanıkla Çarpım	
$m > 0, n > 0$ için	$(m, a, b)_{LR} \otimes (n, c, d)_{LR} \approx (mn, cm+an, dm+bn)_{LR}$
$m < 0, n > 0$ için	$(m, a, b)_{LR} \otimes (n, c, d)_{LR} \approx (mn, an-dm, bn-cm)_{RL}$
$m < 0, n < 0$ için	$(m, a, b)_{LR} \otimes (n, c, d)_{LR} \approx (mn, -bn-dm, -an-cm)_{RL}$
Ters ($m > 0$) için	$(m, a, b)_{LR}^{-1} \approx (m^{-1}, bm^{-2}, am^{-2})_{RL}$

PROMETHEE'nin uygun şekilde uygulanabilmesi için tek ve çok kriter için öncelik indisleri $[0,1]$ aralığında bulunmalıdır. Bu yüzden $c(a, \beta)=(m,c,d)$ bulanık sayısının üyelik fonksiyonu $m-c \geq 0$ ve $m+d \leq 1$ olacak şekilde ayarlanmalıdır [48]. Hesaplamaların sonunda bulanık sayılar elde edilecek olup, bir sonuç çıkartmak için bu sayılar sıralanmalıdır. Bu da bulanık sayıların karşılaştırılması gerektiği anlamına gelmektedir. Bulanık sayıların karşılaştırılabilmesi için Goumas ve Lygerou [48] tarafından Yager indeksinin kullanılması önerilmiştir. Bu metoda göre, verilen bir bulanık sayının durulaştırılmış hali $F(m,a,b)=(3m-a+b) / 3$ denklemi ile ifade edilebilmektedir. En yüksek Yager indeksi değerine sahip olan bulanık sayı, daha düşük değere sahip olanlara göre daha büyük sayılmaktadır.

İzleyen adımlar PROMETHEE yöntemi ile aynıdır. Φ^+ , Φ^- ve Φ^{net} Bölüm 2.1'de verilen şekilde hesaplanır ve hesaplamalar yapıldıktan sonra tam ve kısmi sıralamalar Yager indeksi kullanılarak durulaştırılmış bulanık sonuçlara göre elde edilir.

Bu çalışmada kaynak makinesi seçimi yapacak olan bir firma için yukarıda anlatılan AHP yöntemi kullanılarak ağırlıkları belirlenen ve dilsel ifadeler kullanılarak değerlendirilebilen kriterler temelinde mümkün kaynak makinesi alternatifleri incelenecektir. Bu incelemede öncelikle yukarıda anlatıldığı gibi etkin ve güvenilir bir sıralama yöntemi olan PROMETHEE yöntemi, daha sonra da dilsellikten kaynaklanan bulanıklığın değerlendirme sonuçları üzerinde yaratacağı negatif etkilerden uzaklaşabilmek amacıyla F-PROMETHEE yöntemi kullanılacaktır. Bu üç yöntemin ele alınan ekipman seçimi probleminde bu çalışmada öne sürüldüğü gibi kullanılmasına yönelik akış şeması Şekil 2'de adımlar ve aşamalar halinde gösterilmiştir.

3. UYGULAMA (APPLICATION)

Kaynak makinesi birçok sektörde sıklıkla kullanılan önemli bir ekipmandır. Bu tip ekipmanın seçiminde alternatif kaynak makinesi modeli çok geniş bir çeşitliliktedir. Bu uygulamada, girdi verilerinin ait olduğu şirket için Gaz Altı MIG/MAG Kaynak Makinesi seçimi sırasıyla PROMETHEE ve F-

PROMETHEE yöntemleri kullanılarak yapılacaktır. Şirket yeni kaynak makinelerine eski ekipmanlarını yenilemek, üretim alanından tasarruf etmek ve bunlara ek olarak olabildiğince fazla çeşitte malzeme işleyebilmek için gereksinim duymaktadır.

Uygulamada ilk olarak bir karar verme takımı oluşturulmuş, daha sonra değerlendirmede yer alacak olan alternatif kaynak makineleri belirlenmiştir. Üçüncü adımda karar verme takımı tarafından, alternatif kaynak makinelerinin değerlendirilmesinde kullanılacak olan kriterler belirlenmiştir. Belirlenen kriterler sırasıyla; "sektörel kullanılabilirlik" (uyumlu olduğu sektörler ve tel sürme kapasitesi) (SK), "fiyat" (F), "ağırlık" (A), "çalışma uyumu" (hareketlilik, kompakt/ayrılabilir olma, işlenebilen metal çeşitliliği, trifaz/monofaz olma gibi ek özelliklere sahip olma, tel besleme mekanizmasının özellikleri) (ÇU), "işlemeye uyumlu olduğu tel çapı çeşidi" (TÇÇ) ve boyutlarının (e/b/y) çarpımıyla elde edilen ekipmanın kapladığı "hacim" (H) kriterleridir.

Karar hiyerarşisi Şekil 3'te gösterildiği gibi, belirlenen alternatif ekipmanlar ve kriterler ile oluşturulmuştur. Ekipman seçimi problemi için oluşturulan karar hiyerarşisi üç seviyeden oluşmaktadır: hiyerarşinin birinci seviyesinde "en iyi ekipmanın seçilmesi" ana hedefi, ikinci seviyesinde ekipman seçiminde kullanılacak kriterler ve üçüncü seviyesinde ise belirlenen 11 alternatif yer almaktadır.

3.1. AHP Hesaplamaları (AHP Calculations)

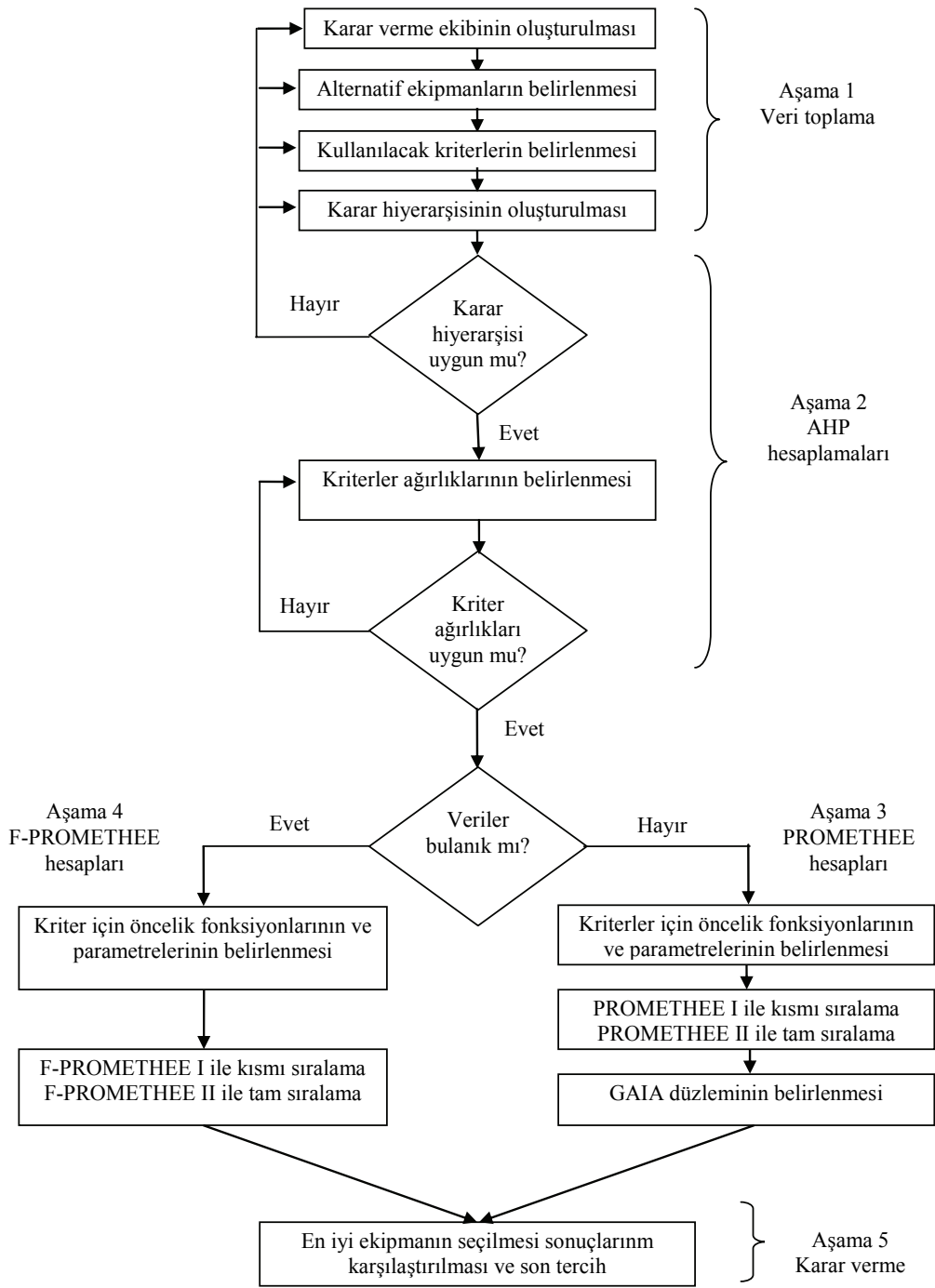
Bu adımda ekipman seçimi için belirlenen kriterlerin ağırlıkları belirlenmiştir. Kriter önemlerinin belirlenmesinde Saaty [13] tarafından önerilen 1-9 önem skalası ve ikili karşılaştırma matrisleri kullanılmıştır.

Karar verme ekibinden toplanan ikili karşılaştırma değerlerinin geometrik ortalamalarının alınmasıyla oluşturulan kriterlere ait ikili karşılaştırma matrisi Tablo 3'te görülmektedir.

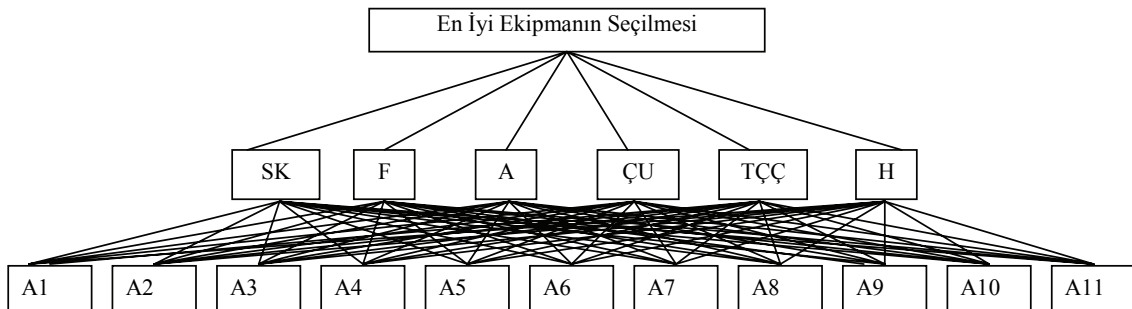
Elde edilen ikili karşılaştırma matrisi değerleri temelinde yapılan AHP işlemleri neticesinde elde edilen sonuçlar ise Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 3. Kriterler için ikili karşılaştırma matrisi (Pairwise comparison matrix for criteria)

Kriterler	SK	F	A	ÇU	TÇÇ	H
SK	1,000	0,476	0,435	0,313	0,417	0,526
F	2,100	1,000	3,400	1,900	2,300	2,400
A	2,300	0,294	1,000	0,313	0,500	0,500
ÇU	3,200	0,526	3,200	1,000	2,800	1,900
TÇÇ	2,400	0,435	2,100	0,357	1,000	1,800
H	1,900	0,417	2,300	0,526	0,556	1,000



Şekil 2. Ekipman seçimi problemi için sunulan yaklaşımın akış şeması (Flow chart of proposed approach for equipment selection)



Şekil 3. Karar hiyerarşisi (Decision hierarchy)

Tablo 4. AHP hesaplamalarından elde edilen sonuçlar (Results gained from AHP calculations)

Kriterler	Ağırlıklar	λ_{enb} , CI, RI	CR
SK	0,076		
F	0,297	6,3427	
A	0,092	0,0685	0,055
ÇU	0,251		
TÇÇ	0,155	1,24	
H	0,130		

Tablo 5. PROMETHEE metodu için oluşturulan değerlendirme tablosu (Evaluation matrix constructed for PROMETHEE method)

Kriterler	SK	F	A	ÇU	TÇÇ	H
Birim	ölçek	TL	kg	ölçek	ölçek	mm ³
Max/Min	Max	Min	Min	Max	Max	Min
Ağırlıklar	0,076	0,297	0,092	0,251	0,155	0,13
A1	O	1652	100	Z	Z	1666
A2	Z	1770	85	O	ÇZ	3478
A3	Çİ	2478	101	Çİ	O	2880
A4	Çİ	4307	148	İ	ÇZ	5460
A5	O	2124	120	O	O	2808
A6	Z	1810	95	O	ÇZ	1690
A7	İ	3569	133	Çİ	Çİ	4437
A8	O	1855	290	Z	Z	10
A9	İ	4130	144	Çİ	Çİ	4930
A10	İ	2200	136	Çİ	Z	4570
A11	O	2517	87	Z	Z	2252

Tablo 6. PROMETHEE metodu için belirlenen tercih fonksiyonları ve eşik değerleri (Preference functions and threshold values determined for PROMETHEE method)

Kriterler	TF	Eşik Değerleri				
		q	p	s	r	l
SK	Seviyeli	2	6	-	-	-
F	Doğrusal	-	-	10	60	-
A	U-Şekli	-	-	-	-	10
ÇU	Seviyeli	2	6	-	-	-
TÇÇ	Seviyeli	2	6	-	-	-
H	U-Şekli	-	-	-	-	10

3.2. PROMETHEE Hesaplamaları (PROMETHEE Calculations)

Uygulamanın bu bölümünde ilk olarak belirlenen 11 alternatif kaynak makinesi, AHP ile elde edilen kriter ağırlıkları ve yine karar vericilerin belirlediği kriterler ile bir değerlendirme matrisi oluşturulmuştur. Oluşturulan değerlendirme matrisi Tablo 5'te görülmektedir. PROMETHEE I, PROMETHEE II ve GAIA analizleri için Decision Lab 2000 [12] versiyon yazılımı kullanılmıştır. Sıralama işlemine geçmeden önce her bir kriter için özel bir tercih fonksiyonu (TF) belirlenmiş, bu tercih fonksiyonlarına ait eşik değerler tanımlanmıştır. Belirlenen tercih fonksiyonları ve eşik değerleri Tablo 6'da gösterilmektedir. Karar verme ekibi bu değerleri alternatif ekipmanların özelliklerini ve firmanın satın alma politikasını göz önünde bulundurarak belirlemiştir.

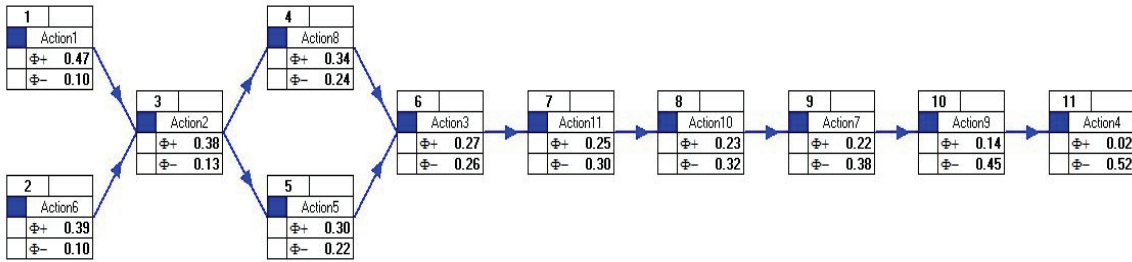
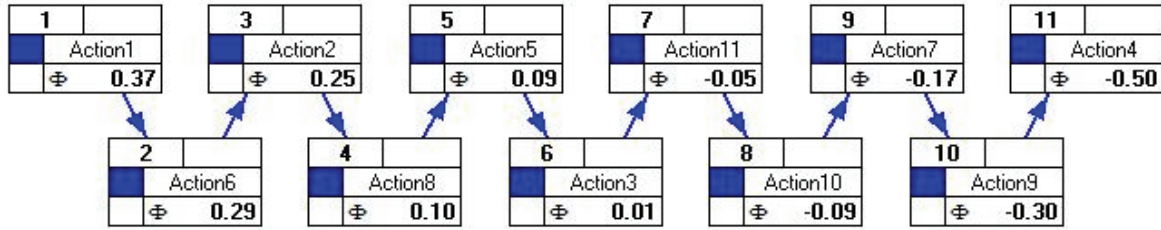
Değerlendirme tablosu ve tercih fonksiyonları belirlendikten sonra, pozitif (Φ^+) ve negatif (Φ^-) üstünlükler ile tam sıralama değerleri (Φ^{net}) hesaplanmıştır. Bu hesaplamalara ait veriler Tablo 7'de verilmiştir.

İzleyen aşamada PROMETHEE I ile kısmi sıralama ve PROMETHEE II ile tam sıralama gerçekleştirilmiştir. Bu sıralamalar sırasıyla Şekil 4 ve Şekil 5'te görülebilmektedir. Elde edilen sonuçlara göre kesin verilerin kullanımıyla elde edilen tam sıralama A1 – A6 – A2 – A8 – A5 – A3 – A11 – A10 – A7 – A9 – A4 şeklindedir.

Kısmi ve tam sıralamaların elde edilmesinden sonra sonuç değerleri, alternatiflerin noktalar, kriterlerin ise vektörler ile temsil edildiği GAIA düzleminde

Tablo 7. PROMETHEE metodu için hesaplanan akış değerleri (Calculated flow values for PROMETHEE method)

Alternatifler	Φ^+	Φ^-	Φ^{net}
A1	0,4687	0,097	0,3717
A2	0,3806	0,1307	0,25
A3	0,2715	0,2613	0,0102
A4	0,0168	0,5156	-0,4988
A5	0,3019	0,2166	0,0853
A6	0,3875	0,0965	0,291
A7	0,2177	0,3834	-0,1657
A8	0,3376	0,2377	0,0999
A9	0,1437	0,4483	-0,3046
A10	0,2303	0,3229	-0,0926
A11	0,2534	0,2998	-0,0464

**Şekil 4.** PROMETHEE I kısmi sıralaması (PROMETHEE I partial ranking)**Şekil 5.** PROMETHEE II tam sıralaması (PROMETHEE II complete ranking)

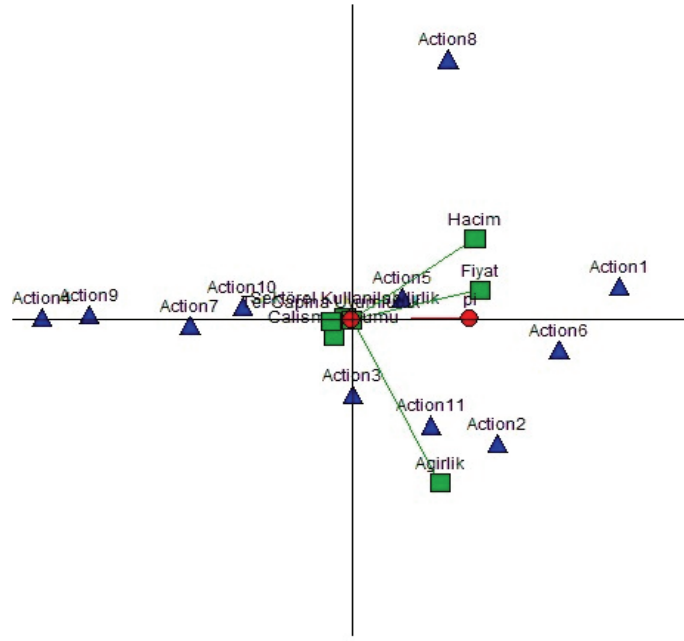
geometrik olarak gösterilebilmektedir. Bu gösterimde çelişen kriterler rahatlıkla görülebilmektedir. Veriler üzerinde benzer tercihler gösteren kriterleri temsil eden vektörler aynı doğrultudayken, çelişen kriterlere ait vektörler farklı yönleri göstermektedir. Ayrıca bir kritere ait olan vektörün uzunluğu, o kriterin alternatif ekipmanlar üzerindeki etkisini göstermektedir. Elde edilen GAIA düzlemi Şekil 6'da görülmektedir. Sol alt köşede bulunan Delta parametresi (Δ) hesaplanan değerlerin doğruluğunu gösterir. Δ değeri %100'e yaklaştıkça yapılan analizin doğruluk payı artar ve %75'in üzerindeki Δ değerleri için yapılan hesaplamaların kalitesinin yüksek olduğu söylenebilir.

Ayrıca %60'ın altında bulunan Δ değerleri için problemin analizi ve hesaplamalar yeniden ve daha dikkatli yapılmalıdır [70]. Bu uygulamada Delta parametresi (Δ) %89.19 olarak belirlenmiştir; bu da toplam bilginin % 10.81'lik bir bölümünün kaybedilmiş olduğunu göstermektedir. Bu bilgi kaybı, hesaplamalar esnasında dilsel ifadeler içeren değerlendirmelerde kesin verilerin kullanılması gibi,

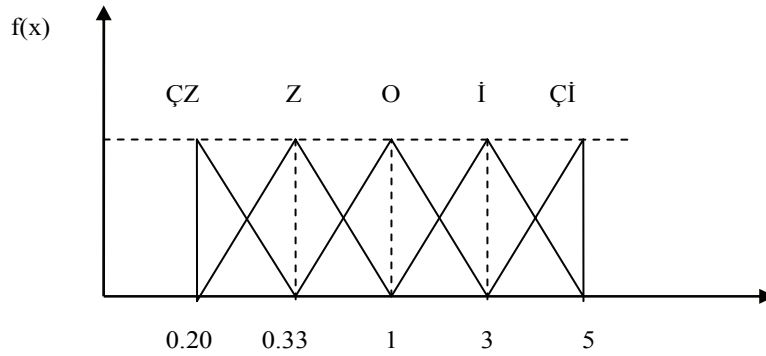
metodun etkin kullanımını engelleyen nedenlere bağlı olabilmektedir.

Şekilde çelişen kriterler açıkça ve kolaylıkla gözlenebilmektedir. "fiyat" ile "hacim" ve "çalışma uyumu" ile "sektörel kullanılabilirlik" kriterlerine ait vektörler zıt yönleri göstermektedir. Elde edilen geometrik gösterim ile, hangi alternatiflerin hangi kriterler temelinde daha iyi olduğu da gözlemlenebilmektedir. A5 hem "fiyat" hem de "hacim" kriterleri temelinde daha iyiyken, A2 "ağırlık", A10 ise "sektörel kullanılabilirlik" ve "çalışma uyumu" kriterleri için daha iyidir.

Pi vektörü (karar eksen) karar vericiye en iyi alternatif seçmesinde yardımcı olmak amacıyla kullanılmakta olup, karar vericiye pi ekseninin gösterdiği yöndeki alternatifleri seçmesi önerilmektedir [71]. Şekil 6'da da görüldüğü gibi karar eksen pi vektörü Alternatif 1 ve Alternatif 6 yönündedir ve bu PROMETHEE II'nin tam sıralama sonuçları ile uyumludur.



Şekil 6. GAIA düzlemi (GAIA plane)



Şekil 7. Uygulamada kullanılan bulanık sayılar (Fuzzy numbers used in application)

3.3. F-PROMETHEE Hesaplamaları (F-PROMETHEE Calculations)

Bu bölümde karar vericilerin düşünce ve tecrübelerine dayanılarak oluşturulan girdi verilerinde bulunan dilsel terimlerin yol açtığı belirsizlik ve bulanıklıktan doğabilecek olan yanlış değerlendirme olasılığının önüne geçmek amacıyla, bulanık PROMETHEE (F-PROMETHEE) metodu ile ekipman seçimi problemi için farklı bir çözüm yapılmıştır. F-PROMETHEE metodu bulanık girdi verilerinin kullanıldığı ve bulanık küme teorisinden yararlanılarak PROMETHEE metodundaki dilsel verilerin taşıdığı bilgilerdeki kayıpları azaltmak amacıyla oluşturulmuştur.

Uygulamada dilsel terimler için karar vericinin, her biri farklı bir üçgensel sayıyı gösteren beş farklı değerlendirme seçeneği bulunmaktadır. Bunlar ÇZ:

“Çok Zayıf” $(0.2, 0, 0.13)_{LR}$; Z: “Zayıf” $(0.33, 0.13, 0.67)_{LR}$; O: “Orta” $(1, 0, 0)_{LR}$; İ: “İyi” $(3, 2, 2)_{LR}$; Çİ: “Çok İyi” $(5, 2, 0)_{LR}$ olarak sıralanmaktadır. Belirtilen bulanık sayılar Şekil 7’de, bu bulanık sayıların kullanılmasıyla oluşturulan değerlendirme matrisi ise Tablo 8’de verilmiştir. Kriter ağırlıkları için Bölüm 3.1’de hesaplanan ağırlıklar kullanılmıştır.

Bir sonraki adımda, F-PROMETHEE metodu Bölüm 2.2’de verilen şekilde uygulanmıştır. Literatürde yer alan çalışmalardan yararlanılarak [48, 50, 51] uygulamada kullanılacak olan doğrusal tercih fonksiyonu için farksızlık eşiği q tüm kriterler için sıfır, tercih eşiği p ise 0.60 alınmıştır.

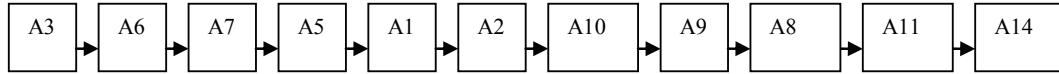
Değerlendirme sonucunda elde edilen pozitif (Φ^+) ve negatif (Φ^-) üstünlükler ile tam sıralama değerleri (Φ^{net}) Tablo 9’da, F-PROMETHEE II ile elde edilen tam sıralama ise Şekil 8’de gösterilmiştir.

Tablo 8. F-PROMETHEE metodu için oluşturulan değerlendirme tablosu (Evaluation table constructed for F-PROMETHEE method)

Kriterler	Alternatifler										
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11
Sektörel Kullanılabilirlik	O	Z	Çİ	Çİ	O	Z	İ	O	İ	İ	O
Fiyat	Z	Z	O	Çİ	O	Z	İ	Z	Çİ	O	O
Ağırlık	Z	Z	Z	O	Z	Z	O	Çİ	O	O	Z
Çalışma Uyumu	Z	O	Çİ	İ	O	O	Çİ	Z	Çİ	Çİ	Z
Tel Çapı	Z	ÇZ	O	ÇZ	O	ÇZ	Çİ	Z	Çİ	Z	Z
Hacim	ÇZ	O	Z	Çİ	Z	ÇZ	İ	ÇZ	İ	İ	Z

Tablo 9. F-PROMETHEE metodu için elde edilen akışlar (Calculated flows for F-PROMETHEE method)

Alternatifler	Φ^+	Φ^-	Φ^{net}
A1	3,306	2,908	0,398
A2	3,647	3,339	0,308
A3	4,518	1,608	2,91
A4	2,074	5,351	-3,277
A5	4,006	3,243	0,763
A6	4,005	2,077	1,928
A7	4,414	3,376	1,038
A8	3,268	4,002	-0,734
A9	3,559	3,798	-0,239
A10	3,215	3,387	-0,172
A11	1,846	4,497	-2,651

**Şekil 8.** F-PROMETHEE metodu ile elde edilen tam sıralama (Complete ranking obtained from F-PROMETHEE method)**Tablo 10.** PROMETHEE ve F-PROMETHEE sonuçlarının en iyi alternatif temelinde karşılaştırılması (Comparison of assessment values of best alternatives selected due to PROMETHEE and F-PROMETHEE rankings, in the base of criteria)

Kriterler	Ağırlık	Enb / Enk	Seçilen En İyi Alternatifler	
			A1	A3
Sektörel Kullanılabilirlik	0.076	Enb	O	Çİ
Fiyat	0.297	Enk	Z	O
Ağırlık	0.092	Enk	Z	Z
Çalışma Uyumu	0.251	Enb	Z	Çİ
Tel Çapı	0.155	Enb	Z	O
Hacim	0.130	Enk	ÇZ	Z

PROMETHEE ve F-PROMETHEE ile elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında, kesin verilerle çalıştırılan PROMETHEE II ile elde edilen A1 – A6 - A2 – A8 – A5 – A3 – A11 – A10 – A7 –A9–A4 tam sıralaması, F-PROMETHEE ile girdi verilerinin bulanıklığı dikkate alındığında A3 - A6 - A7 - A5 – A1 - A2 - A10 - A9 - A8 - A11 - A4 olarak değişmiştir.

Değerlendirme matrisleri oluşturulurken kullanılan veriler ve karar vericiler tarafından belirlenen kriter

ağırlıkları dikkate alındığında, F-PROMETHEE ile elde edilen sonuçlar karar vericiler tarafından daha tatmin edici bulunmuştur.

Tablo 10’da PROMETHEE ve F-PROMETHEE metodlarının aynı probleme ait aynı veri setine uygulanması sonucunda elde edilen tam sıralamaların getirdiği en iyi alternatiflerin kriterler temelinde, değerlendirme tablosunda sahip oldukları değerler bazında karşılaştırması görülmektedir.

Elde edilen en iyi alternatifler karar verme takımı tarafından kriterler temelinde sahip oldukları değerler göz önünde tutularak incelendiğinde, F-PROMETHEE metodu ile elde edilmiş A3 en iyi alternatifi PROMETHEE metodu ile elde edilen A1 en iyi alternatifine tercih edilmektedir. A3 alternatifinin “*sektörel kullanılabilirlik*”, “*çalışma uyumu*”, “*işlemeye uyumlu olunan tel çapı çeşitliliği*” kriterleri temelinde A1 alternatifine baskın olduğu görülürken, “*ağırlık*” kriteri temelinde iki alternatif karşılaştırılmamaktadır. A1 alternatifi ise A3 alternatifine sadece “*fiyat*” ve “*hacim*” kriterleri temelinde baskın gelmektedir. Tablo 10’da da görülebileceği gibi, A3 alternatifinin A1 alternatifine baskın olduğu kriterlerin ağırlıkları toplamı, A1 alternatifinin A3 alternatifine baskın olduğu kriterlerin ağırlıkları toplamından daha büyüktür. Ayrıca, karar verme ekibi tarafından en yüksek ağırlıklar verilen “*fiyat*” ve “*çalışma uyumu*” kriterleri açısından iki alternatif karşılaştırıldığında, diğer kriterlerde çok daha yüksek avantaj sağlayan alternatifin seçilmesiyle, maliyette az bir artışa katlanarak, alınacak olan ekipmandan daha yüksek bir performansın daha büyük bir verimlilikle elde edilebileceği sonucuna varılmıştır. Sonuç olarak A3 alternatifinin en iyi alternatif, bu alternatifi en iyi gösteren F-PROMETHEE metodunun ise daha yararlı ve dilsel ifadeler içeren bir karar verme problemi için daha verimli ve etkin olduğu görülmüştür.

4. SONUÇ (CONCLUSION)

Bu çalışmada, ekipman seçimi problemlerinde uygulanabilecek iki farklı metod ve bu metodların yetkinlik sınırları incelenmiştir. Bu metodlar belirlenen amaç ve kriterler temelinde potansiyel ekipman alternatiflerinin değerlendirilme sürecinde kesin verilerin kullanılması ile belirli bir sıralama veren PROMETHEE metodu ve dilsel olarak ifade edilen girdi verilerinin içerdiği bulanıklığı da değerlendirme sürecine yansıtarak alternatif ekipmanları sıralayan bulanık PROMETHEE metodudur. Önerilen modelin uygulanmasıyla karar verme sürecindeki değerlendirmelerde bulanık sayılar kullanılarak süreçteki belirsizliklerin daha kolay değerlendirilmesi ve temsili sağlanmıştır. Çalışmada ilk olarak PROMETHEE’nin ekipman seçimi problemine nasıl uygulanacağı gösterilmiş, daha sonra aynı veriler bir kez de F-PROMETHEE metodu ile ele alınmış ve bulanıklık ile belirsizlik göz ardı edilmeden alternatifler kriterler bazında sıralanmış, böylece PROMETHEE metodunun ÇKKV problemlerinde bulanık girdi verilerinin kullanılacak şekilde nasıl geliştirilebileceği gösterilmiştir. Değerlendirmelerde kullanılan kriter seti; karar verme ekibinin görüşlerine göre belirlenmiş ve ağırlıkların belirlenmesi için AHP metodu kullanılmıştır. Son olarak, her iki metod ile elde edilen sonuçlar karşılaştırılmış ve girdi verileri olarak bulanık

sayıların kullanılmasıyla daha uygun ve daha gerçekçi bir sıralamanın elde edildiği görülmüştür. Başka bir ifadeyle, değerlendirme sürecinde dilsel verilerin bulunması durumunda, bulanık değerlendirmenin daha uygun bir sonuç verdiği gözlemlenmiş, F-PROMETHEE metodunun daha anlamlı ve şirket çıkar ve hedeflerine daha uygun olan alternatifi belirlediği görülmüştür. Sunulan model bir ekipman seçimi problemi için uygulanmış olsa da, farklı veri setleri ile başka sektörler ve ÇKKV problemleri için de uygulanabilecek yapıdadır.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Dağdeviren, M., ve Eren, T., “Analytical Hierarchy Process and Use of 0-1 Goal Programming Methods in Selecting Supplier Firm”, **J. Fac. Eng. Arch. Gazi Univ.**,16 , 2, 41-52, 2001.
2. Kralawski, A., Pedrycz W., ve Nyström L., “Fuzzy Neural Network as Instance Generator for Case-Based Reasoning System: An Example of Selection of Heat Exchange Equipment in Mixing Tanks”, **Neural Computing & Applications**, 8, 106–113, 1999.
3. Kulak, O., Durmuşoğlu, M. B., ve Kahraman, C., “Fuzzy multiattribute equipment selection based on information axiom”, **Journal of Materials Processing Technology**, 169, 337–345, 2005.
4. Dağdeviren, M., “Decision making in equipment selection: an integrated approach with AHP and PROMETHEE”, **Journal of Intelligent Manufacturing**, 19, 397-406, 2008.
5. Ayağ, Z., ve Özdemir, R. G., “A fuzzy AHP approach to evaluating machine tool alternatives”, **Journal of Intelligent Manufacturing**, 17, 179–190, 2006.
6. Başçetin, A., ve Kesimal, A., “A new approach in selection of loading-hauling systems in surface mining”, **16th Mining Congress of Turkey**, ISBN 975-395-310-0, 1999.
7. Başçetin, A., “A decision support system for optimal equipment selection in open pit mining: Analytical Hierarchy Process”, **İstanbul Üniv. Müh. Fak. Yerbilimleri Dergisi**, 16, 2, 1-11, 2003.
8. Chan, F. T. S., Ip, R. W. L., ve Lau, H., “Integration of expert system with analytic hierarchy process for the design of material handling equipment selection system”, **Journal of Materials Processing Technology**, 116, 137–145, 2001.
9. Manassero, G., Semeraro Q., ve Tolio T., “A new method to cope with decision makers' uncertainty in the equipment selection process”, **CIRP Annals – Manufacturing Technology**, 53, 1, 389-392, 2004.
10. Chakraborty, S., ve Banik, D., “Design of a material handling equipment selection model using Analytical Hierarchy Process”,

- International Journal of Advanced Manufacturing Technologies**, 28, 1237-1245, 2006.
11. İç, Y. T., ve Yurdakul, M., "Decision support system for selection of machining centers", **J. Fac. Eng. Arch. Gazi Univ**, 23, 1, 85-95, 2008.
 12. Decision Lab, 1.01.0388, copyright © 1998-2000, Visual Decision Inc., Canada. <<http://www.visualdecision.com>>.
 13. Saaty, T., **The Analytic Hierarchy Process**, McGraw- Hill International Book Company, USA, 1980.
 14. Schniederjans, M. J., ve Wilson, R.L., "Using the Analytic Hierarchy Process and Goal Programming- for Information System Project Selection", **Information & Management**, 20, 5, 333-342, 1991.
 15. Suresh, N.C., ve Kaparathi, S., "Flexible Automation Investments: A Synthesis of Two Multi-Objective Modeling Approaches", **Computers & Industrial Engineering**, 22, 3, 257-272, 1992.
 16. Ehie, I.C., ve Benjamin, C.O., "An Integrated Multiobjective Planning Model: A Case Study Of The Zambian Copper Mining Industry", **European J. of Operational Research**, 68, 2, 160-172, 1993.
 17. Myint, S., ve Tabucanon, M.T., "A Multiple-Criteria Approach to Machine Selection for Flexible Manufacturing Systems", **International Journal of Production Economics**, 33, 1-3, 121-131, 1994.
 18. Ramanathan, R., ve Ganesh, L. S., "Energy Alternatives for Lighting in Households: An Evaluation Using An Integrated Goal Programming-AHP Model", **Energy**, 20, 1, 63-72, 1995.
 19. Ramanathan, R. ve Ganesh, L. S., "Energy Resource Allocation Incorporating Qualitative and Quantitative Criteria: An Integrated Model Using Goal Programming And AHP", **Socio-Economic Planning Sciences**, 29, 3, 197-218, 1995.
 20. Schniederjans, M.J., ve Garvin, T., "Using the Analytic Hierarchy Process and Multi-Objective Programming for the Selection of Cost Drivers in Activity-Based Costing", **European Journal of Operational Research**, 100, 1, 72-80, 1997.
 21. Badri, M. A., "Combining the Analytic Hierarchy Process and Goal Programming for Global Facility Location-Allocation Problem", **International J. of Production Economics**, 62, 3, 237-248, 1999.
 22. Badri, M. A., "A Combined AHP-GP Model for Quality Control Systems", **International Journal of Production Economics**, 72, 1, 27-40, 2001.
 23. Bowen, W.M., "Subjective Judgements and Data Envelopment Analysis in Site Selection", **Computers, Environment and Urban Systems**, 14, 2, 133-144, 1990.
 24. Shang, J., ve Sueyoshi, T., "A Unified Framework for the Selection of a Flexible Manufacturing System", **European Journal of Operational Research**, 85, 2, 297-315, 1995.
 25. Sinuany-Stern, Z., Mehrez, A. ve Hadad, Y., "An AHP/DEA Methodology for Ranking Decision Making Units", **International Transactions in Operational Research**, 7, 2, 109-124, 2000.
 26. Yang, T., ve Kuo, C., "A Hierarchical AHP/DEA Methodology for the Facilities Layout Design Problem", **European Journal of Operational Research**, 147, 1, 128-136, 2003.
 27. Mon, D., Cheng, C. ve Lin, J., "Evaluating Weapon System Using Fuzzy Analytic Hierarchy Process Based on Entropy Weight", **Fuzzy Sets and Systems**, 62, 2, 127-134, 1994.
 28. Chang, D., "Applications of the Extent Analysis Method on Fuzzy AHP", **European Journal of Operational Research**, 95, 3, 649-655, 1996.
 29. Weck, M., Klocke, F., Schell, H., ve Rüenauer, E., "Evaluating Alternative Production Cycles Using the Extended Fuzzy AHP Method", **European Journal of Operational Research**, 100, 2, 351-366, 1997.
 30. Zhu, K., Jing, Y., ve Chang, D., "A Discussion on Extent Analysis Method and Applications of Fuzzy AHP", **European Journal of Operational Research**, 116, 2, 450-456, 1999.
 31. Kuo, R. J., Chi, S. C. ve Kao, S. S., "A Decision Support System for Locating Convenience Store Through Fuzzy AHP", **Computers & Industrial Engineering**, 37, 1-2, 323-326, 1999.
 32. Leung, L. C. ve Cao, D., "On Consistency and Ranking of Alternatives in Fuzzy AHP", **European Journal of Operational Research**, 124, 1, 102-113, 2000.
 33. Yu, C.S., "A GP-AHP Method for Solving Group Decision-Making Fuzzy AHP Problems", **Computers & Operations Research**, 29, 14, 1969-2001, 2002.
 34. Bozdağ, C.E., Kahraman, C. ve Ruan, D., "Fuzzy Group Decision Making for Selection Among Computer Integrated Manufacturing Systems", **Computers in Industry**, 51, 1, 13-29, 2003.
 35. Kahraman, C., Ruan, D. ve Doğan, I., "Fuzzy Group Decision-Making for Facility Location Selection", **Information Sciences**, 157, 135-153, 2003.
 36. Kahraman, C., Cebeci, U. ve Ruan, D., "Multi-Attribute Comparison of Catering Service Companies Using Fuzzy AHP: The Case of Turkey", **Int. Journal Production Economics**, 87, 171-184, 2004.
 37. Büyüközkan, G., Ertay, T., Kahraman, C. Ve Ruan, D., "Determining the Importance Weights for the Design Requirements in the House of Quality Using the Fuzzy Analytic Network

- Approach”, **International Journal of Intelligent Systems**, 19, 443-461, 2004.
38. Kulak, O. ve Kahraman, C., “Fuzzy Multi-Attribute Selection Among Transportation Companies Using Axiomatic Design and Analytic Hierarchy Process”, **Information Sciences**, 170, 191-210, 2005.
 39. Tolga, E., Demircan, M.L. ve Kahraman, C., “Operating System Selection Using Fuzzy Replacement Analysis and Analytic Hierarchy Process”, **Int. J. of Production Economics**, 97, 89-117, 2005.
 40. Dağdeviren, M., Akay, D., Çetinyokus, T. ve Kurt, M., “Bulanık Matematiksel Programlama Tekniği İle Bir İş Değerlendirme Uygulaması”, **Teknoloji Z.K.Ü. Karabük Teknik Eğitim Fakültesi Dergisi**, 5, 1-2, 91-96, 2002.
 41. Dağdeviren, M., Yüksel, İ., “Developing a Fuzzy Analytic Hierarchy Process (AHP) Model for Behaviour Based Safety Management”, **Information Sciences**, 178, 6, 1717-1733, 2008.
 42. Saaty, T., “The Analytic Hierarchy and Analytic Network Processes”, **MCDM XV-th Int. Conf.**, Ankara, Turkey, 2000.
 43. Tam, M.C.Y. ve Tummala, V.M.R., “An Application of the AHP in Vendor Selection of a Telecommunications System” **The Int. J. of Management Science**, 29, 2, 171-182, 2001.
 44. Saaty, T., **The Analytic Hierarchy Process for Decision Making**, Kobe, Japan, 1999.
 45. Saaty, T., **Fundamentals of Decision Making and Priority Theory**, RWS Publications, Pittsburgh, USA, 2000.
 46. Brans, J. P., ve Vincke, P. H., “A preference ranking organization method”, **Management Science**, 31, 647-656, 1985.
 47. Brans, J. P., Vincke, P. H., ve Mareschal, B., “How to select and how to rank projects: The PROMETHEE method”, **European Journal of Operational Research**, 14, 228-238, 1986.
 48. Goumas, M., ve Lygerou, V., “An extension of the PROMETHEE method for decision making in fuzzy environment: Ranking of alternative energy exploitation projects”, **European Journal of Operational Research**, 123, 606-613, 2000.
 49. Geldermann J., Spengler, T., ve Rentz, O., “Fuzzy outranking for environmental assessment. Case study: Iron and steel making industry”, **Fuzzy Set Systems**, 115, 45- 65, 2000.
 50. Le Têno, J., F., ve Mareschal, B., “An interval version of PROMETHEE for the comparison of building products’ design with ill-defined data on environmental quality”, **Eur Journal of Operational Research**, 109, 522-529, 1998.
 51. Bilsel, R., U., Büyüközkan, G., ve Ruan, D., “A fuzzy preference-ranking model for a quality evaluation of hospital web sites”, **International Journal of Intelligent Systems**, 21, 1181-1197, 2006.
 52. Briggs, Th., Kunsch, P.L., ve Mareschal, B., “Nuclear waste management: An application of the multicriteria PROMETHEE methods”, **European Journal of Operational Research**, 44, 110, 1990.
 53. Chou, W. C., Lin, W. T., ve Lin, C. Y., “Application of fuzzy theory and PROMETHEE technique to evaluate suitable ecotechnology method: A case study in Shihmen Reservoir Watershed, Taiwan”, **Ecological Engineering**, 31, 269-280, 2007.
 54. Queiruga, D., Walther, G., Gonza’lez-Benito, J., ve Spengler, T., “Evaluation of sites for the location of WEEE recycling plants in Spain”, **Waste Management**, 28, 1, 181-190, 2008.
 55. D’Avignon, G., ve Mareschal, B., “An application of the PROMETHEE and GAIA methods”, **Mathematical and Computer Modelling**, 12, (10-11), 1393-1400, 1989.
 56. Du Bois, Ph., Brans, J.P., Cantraine, F., ve Mareschal, B., “MEDICIS: An expert system for computer-aided diagnosis using the PROMETHEE multicriteria method”, **European Journal of Operational Research**, 39, 284-292, 1989.
 57. Olson, D.L., “Comparison of three multicriteria methods to predict known outcomes”, **European Journal of Operational Research**, 130, 3, 576-587, 2001.
 58. Rekiek, B., de Lit, P., ve Delchambre, A., “Hybrid assembly line design and user’s preferences”, **International Journal of Production Research**, 40, 5, 1095-1111, 2002.
 59. Baourakis, G., Doumpos, M., Kalogeras, N., ve Zopounidis, C., “Multicriteria analysis and assessment of financial viability of agribusinesses: The case of marketing co-operatives and juice-producing companies”, **Agribusiness**, 18, 4, 543-558, 2002.
 60. Albadvi, A., Chaharsooghi, S.K., ve Esfahanipour, A., “Decision making in stock trading: An application of PROMETHEE”, **European Journal of Operational Research**, 177, 673-683, 2007.
 61. Hyde, K., Maier, H., ve Colby, C., “Incorporating uncertainty in the PROMETHEE MCDA method”, **Journal of Multi-Criteria Decision Analysis**, 12, 245-259, 2003.
 62. Albadvi, A., “Formulating national information technology strategies: A preference ranking model using PROMETHEE method”, **European Journal of Operational Research**, 153, 290-296, 2004.
 63. Johnson, M.P., “Spatial decision support for assisted housing mobility counseling”, **Decision Support Systems**, 41, 296-312, 2005.
 64. Zhang, G., Ni, Y., Churchill, J., ve Kokot, S., “Authentication of vegetable oils on the basis of their physico-chemical properties with the aid of chemometrics”, **Talanta**, 70, 293-300, 2006.

65. Iniestra, J. G., ve Gutiérrez, J.G., “Multicriteria decisions on interdependent infrastructure transportation projects using an evolutionary-based framework”, **Applied Soft Computing**, 9, 512–52, 2009.
66. Mohamadabadi, H., S., Tichkowsky, G., ve Kumar, A., “Development of a multicriteria assesment model for ranking of renewable and non-renewable transportation fuel vehicles”, **Energy**, 34, 112-125, 2009.
67. Brans, J. P., ve Mareschall, B., “The PROMCALC & GAIA decision support system for multi-criteria decision aid”, **Decision Support Systems**, 12, 297-310, 1994.
68. Ballı, S., Karasulu, B., ve Korukoğlu, S., “En uygun otomobil seçimi problemi için bir bulanık PROMETHEE yöntemi uygulaması”, **D.E.Ü.İ.B.F. Dergisi**, 22, 1, 139-147, 2007.
69. DuBois D., ve Prade H., “Operations on fuzzy numbers”, **Int J Syst Sci**, 9, 613– 626, 1978.
70. Brans, J. P., ve Mareschal, B., “How to decide with PROMETHEE”, Visual Decision Inc., Montreal, Canada, <http://www.visualdecision.com>, 1998.
71. Wang, J. J., ve Yang, D. L., “Using a hybrid multi-criteria decision aid method for information systems outsourcing”, **Computers & Operation Research**, 34, 3691-3700.