

AHS VE BULANIK PROMETHEE YAKLAŞIMLARIYLA ESNEK ÜRETİM SİSTEMLERİ SEÇİMİ

Selçuk PERÇİN*
Tuba Yakıcı AYAN**

Özet

Esnek üretim sistemleri (EÜS), imalat firmalarında esneklik ve kaliteyi artıran, süreçteki işi, hazırlık zamanlarını, stokları ve israfi azaltan ileri üretim teknolojileridir. Bu nedenle en uygun EÜS seçimi, firmaların başarısındaki en kritik konulardan biri haline gelmiştir. EÜS seçimi, karar verme sürecinde çok sayıda nitel ve nicel kriter içeren çok kriterli karar verme (ÇKKV) problemidir. Çalışmada bu amaçla, EÜS seçiminde uygulanabilecek bütünlük bir bulanık ÇKKV yaklaşımı önerilmiş ve örnek uygulama sunulmuştur. Bu doğrultuda literatürden yararlanarak EÜS seçimini etkileyen 4 ana ve 12 alt kriter belirlenmiştir. Daha sonra AHS yöntemi kullanılarak tüm kriterlere ilişkin ağırlıklar hesaplanmıştır. Bundan sonraki aşama bulanık Promethee yaklaşımını kullanarak alternatif EÜS'nin seçim ve sıralanmasıdır. Bu amaçla beş EÜS alternatifi değerlendirilmiş ve en uygun alternatif seçilmiştir.

***Anahtar Kelimeler:** Esnek Üretim Sistemleri, Analitik Hiyerarşi Süreci, Bulanık Promethee, Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV)*

FLEXIBLE MANUFACTURING SYSTEMS SELECTION USING AHP AND FUZZY PROMETHEE APPROACH

Abstract

Flexible manufacturing systems (FMSs) are considered to be advanced manufacturing technologies to improve flexibility and quality, reduce work-in-process (WIP), inventory levels, manufacturing lead-times, and set up costs of a manufacturing company. Therefore, selecting the most appropriate flexible manufacturing system has emerged as the critical issue for the success of companies. FMS selection can be viewed as a multi-criteria decision making problem due to the availability of quantitative and qualitative criteria that have to be considered in the decision-making process. For these reasons, integrated fuzzy multi-criteria decision-making (FMCDM) methodology has been proposed and an illustrative example is presented. For this purpose, we have selected four main and

* Doç.Dr., Karadeniz Teknik Üniversitesi, İİBF, İşletme Bölümü, spercin@ktu.edu.tr

** Yrd.Doç.Dr., Karadeniz Teknik Üniversitesi, İİBF, Ekonometri Bölümü, ayan@ktu.edu.tr

twelve sub-criteria through literature review. Then, all the weights of criteria have been calculated by applying the AHP method. The fuzzy PPROMETHEE method is then employed to achieve the final ranking results. Five representative flexible manufacturing systems were evaluated and the most appropriate one was selected.

Keywords: Flexible Manufacturing Systems, Analytic Hierarchy Process (AHP), Fuzzy Promethee, Multi-Criteria Decision-Making (MCDM)

Giriş

Küreselleşmeyle birlikte üretim faaliyetlerinde rekabetin artması, üreticileri ürün çeşitlerini artırmaya ve talep değişikliklerine hızla yanıt vermeye zorlamıştır. Esnek üretim sistemleri (Flexible Manufacturing Systems-EÜS) bu amaçları yerine getirmek amacıyla geliştirilen ileri üretim teknolojileridir. EÜS, robotlar, CNC tezgâhları ve otomatik malzeme taşıma sistemlerini içeren çok sayıda bilgisayar kontrollü teknolojik bileşenden oluşur. Bu teknolojiler aracılığıyla firmalar, ürün çeşitlerinin artırılmasını, kalitenin iyileştirilmesini, süreçteki iş ve stok düzeylerinin düşürülmesini ve hazırlık zamanlarının azaltılmasını sağlamaktadır¹.

EÜS seçimi firmalar için stratejik bir karar verme problemidir. EÜS sistemlerinin seçim ve değerlendirilmesi çalışmalarında çok sayıda kriter ve bu kriterler arasındaki ilişkileri matematiksel modeller yardımıyla açıklayan çok sayıda yöntem kullanılmıştır. En iyi EÜS'nin seçilmesi bir dizi karmaşık faktörün göz önünde bulundurulmasını gerektiren çok kriterli karar verme (Multi Criteria Decision Making-ÇKKV) problemidir. Genel olarak ÇKKV teknikleri, çok sayıda birbirinden bağımsız faktörün etkisini dikkate alarak, karar vericiye en uygun seçeneğin belirlenmesinde yardımcı olan yaklaşımlardır. Bu yaklaşımlar içerisinde en popüler olanlardan birisi analitik hiyerarşi süreci (Analytic Hierarchy Process-AHS) ve bir diğeri ise çok ölçütlü değerlendirmeler için tercihli sıralama (Preference ranking organization method for enrichment evaluation-Promethee) yöntemleridir.

Bu yöntemleri diğer ÇKKV tekniklerinden ayıran bir takım üstünlükler vardır. İlk olarak, AHS ve Promethee yöntemleri karar vericilerin nitel ve nicel faktörleri birlikte değerlendirdiği durumlarda kullanılmaktadır. İkinci olarak AHS yöntemi, karar probleminin hiyerarşik bir model yardımıyla ifade edilmesi ve kriterlerin önem düzeylerinin belirlenmesinde, Promethee yöntemi ise, alternatiflerin seçim ve sıralanmasında kullanılmaktadır. Ayrıca, bu yöntemler birey ya da grup kararına dayalı olarak uygulanabilmekte ve geçerlilikleri test edilebilmektedir. Bir başka üstünlük ise Promethee yönteminde karar vericilerin, değerlendirilen tüm kriterler için farklı tercih fonksiyonları ve tercih eşikleri tanımlayabilmeleridir. Son olarak bu yöntemler, karar probleminin belirsizlik içerdiği durumlarda, bulanık küme teorisi ile bütünleştirilebilmektedir. Bulanık küme teorisi, günlük yaşamda karşılaşılan problemlerin tam olarak modellenemediği belirsizlik içeren durumlarda kullanılır. Bu tür durumlarda problemler, uzmanların bilgi ve deneyimlerinden yararlanılarak dilsel değişkenler yardımıyla sayısallaştırılır ve kurulan modeller

¹ E.E. Karsak-O. Kuzgunkaya, "A Fuzzy Multiple Objective Programming Approach for the Selection of a Flexible Manufacturing System", **International Journal of Production Economics**, Vol. 79, No. 2, 2002, s. 101.

aracılığıyla çözülür. Bu doğrultuda çalışmanın temel amacını, EÜS'nin seçiminde AHS ve bulanık Promethee yaklaşımlarının nasıl birlikte kullanılabileceğini açıklamak oluşturmaktadır.

Çalışma üç bölümden oluşmaktadır. Çalışmada öncelikle firmaların EÜS seçiminde kullandıkları kriterler ve uyguladıkları yöntemler literatür araştırmasından yararlanılarak tanıtılacaktır. Çalışmanın uygulama kısmında örnek bir uygulama modeli önerilecek ve önerilen model yardımıyla bir imalat firması için en uygun EÜS seçilecektir. Çalışmanın sonuç kısmında ise elde edilen bulgular tartışılacaktır.

1. EÜS Seçimini Etkileyen Kriterler

EÜS seçimini etkileyen çok sayıda nitel ve nicel faktör bulunmaktadır. Shang ve Sueyoshi², farklı EÜS'nin etkinliklerini karşılaştırdığı çalışmasında, bu sistemlerin seçiminde kullanılacak iki girdi ve üç çıktı ölçüsü önermiştir. Buna göre, sermaye ve faaliyet maliyetleri toplamı ile firmanın alan ihtiyacı, girdi ölçüsü olarak, süreçteki işin iyileştirilmesi, geciken iş yüzdesi ve gerçekleşen üretim düzeyi oranları ise çıktı ölçüsü olarak dikkate alınmalıdır. Sarkis ve Talluri³ ise bu faktörlere nitel bir girdi ölçüsü olarak satıcının ünü ve çıktı ölçüsü olarak çalışanların onayı değişkenlerini eklemiştir. Ayrıca Karsak ve Kuzgunkaya⁴, Sheng ve Sueyoshi⁵'nin çalışmasındaki faktörlere işgücü ve hazırlık maliyetlerindeki azalış amaçları ile kalitenin iyileştirilmesi ve pazar beklentilerinin hızla karşılanması amaçlarını ilave etmiştir. Diğer çalışmalarda, ürün, hacim ve genişleme esnekliği⁶, hazırlık zamanı⁷, toplam maliyet, zaman ve rotalama esnekliği⁸ değişkenlerinin önceki faktörlerle birlikte kullanıldığı görülmektedir. Literatürde bu faktörleri ayrıntılı olarak inceleyen çalışmalar bulunmaktadır.

Bayazit⁹, EÜS seçimini etkileyen kriterleri avantajlar, fırsatlar, riskler ve dezavantajlar olarak sınıflandırmıştır. Çalışmada avantajlar, firma ve müşterilere yönelik gruplandırılmıştır. Buna göre, yüksek kalite, zamanında teslimat, ürün çeşidi ve müşteri tatminindeki artış EÜS'nin müşterilere sunduğu avantajları; hazırlık

² J. Shang-T. Sueyoshi, "A Unified Framework for the Selection of A Flexible Manufacturing System", **European Journal of Operational Research**, Vol. 85, No. 2, 1995, s. 297-315.

³ J. Sarkis-S. Talluri, "A Decision Model for Evaluation of Flexible Manufacturing Systems in the Presence Of both Cardinal and Ordinal Factors", **International Journal of Production Research**, Vol. 37, No. 13, s. 2927- 2938.

⁴ E.E. Karsak- O. Kuzgunkaya, a.g.m., s. 101-111.

⁵ J. Shang-T. Sueyoshi, a.g.m., s. 297-315.

⁶ E.E. Karsak, "Distance-Based Fuzzy MCDM Approach for Evaluating Flexible Manufacturing System Alternatives", **International Journal of Production Research**, Vol. 40, No. 13, 2002, s. 3167-3181.

⁷ E.E. Karsak, "Using Data Envelopment Analysis for Evaluating Flexible Manufacturing Systems in the Presence of Imprecise Data", **International Journal of Advanced Manufacturing Technologies**, Vol. 35, No. 9-10, 2008, s. 867-874.

⁸ J. Sarkis, "Evaluating Flexible Manufacturing Systems Alternatives Using Data Envelopment Analysis, **The Engineering Economist**, Vol. 43, No. 1, 1997, s.25-47.

⁹ O. Bayazit, "Use of AHP in Decision Making for Flexible Manufacturing Systems", **Journal of Manufacturing Technology Management**, Vol. 16, No. 7, 2005, s. 808-819.

zamanları, üretim zamanı, işgücü maliyeti ve çalışan sayısının azalması ile verimlilik ve makine kullanım hızının artışı, bu sistemlerin firmalara sunduğu avantajlarını içerir. Fırsat kriteri, karlılık ve uzun dönemli rekabet gücündeki artışı, risk kriteri ise üst yönetimin desteğinin azalmasını, eğitilmiş işgücü bulunmasındaki zorluğu, çalışma koşullarının kötüleşmesini, çalışan katılımının azlığını ve teslimat, malzeme ve süreçte oluşan gecikmeleri içermektedir. Dezavantajlar kriteri ise, EÜS'nin yüksek başlangıç maliyetlerini, ülkeye özgü model geliştirme zorunluluğunu, firmanın alan ihtiyacındaki artışı, hazırlık zamanlarının uzamasını, nitelikli işgücü ihtiyacının artmasını ve merkezi bilgisayar kontrolünün gerekliliğini içerir. Shamsuzzaman ve diğerleri¹⁰ ne göre, EÜS seçimini etkileyen faktörler esneklik, maliyet, verimlilik ve riski içeren dört temel grupta toplanmalıdır. Esneklik kriteri, makine, rotalama, ürün ve transfer esnekliği alt kriterlerinden oluşurken, maliyet; yatırım tutarı, sermaye ve bakım, stok ve işgücü maliyetlerinden oluşmaktadır. Verimlilik ana kriteri, üretim hızı, sistem verimliliği ve tüm üretimin tamamlanması için gereken zamanı içerir. Risk ana kriteri içerisinde ise, makine arızaları, teknolojik uyum ve ürün ve pazarda oluşan değişim yer almaktadır.

Çalışmada EÜS seçimini etkileyen ana kriterler, literatüre uygun biçimde esneklik, maliyet, verimlilik ve risk faktörleri olarak gruplandırılmıştır.

Tablo: 1 EÜS Seçiminde Kullanılan Kriterler

Ana Kriterler	Alt kriterler
Esneklik	Makine, rotalama, ürün ve süreç esnekliği
Maliyet	Sermaye, faaliyet ve bakım ve işgücü maliyeti
Verimlilik	Hazırlık zamanı, üretim hızı ve toplam üretim miktarı
Risk	Teknoloji ve faaliyet riski

2. EÜS Seçiminde Kullanılan Yöntemler

EÜS seçim ve değerlendirilmesinde farklı yöntem ve modeller kullanılmaktadır. Bu yöntemleri matematiksel yöntemler, ekonomik analiz yöntemleri ve ÇKKV teknikleri olmak üzere üç grupta toplamak mümkündür. Tablo 2'de EÜS seçiminde kullanılan değerlendirme yöntemleri görülmektedir.

Günümüzde pek çok işletme tarafından kullanılan matematiksel ve ekonomik analiz yöntemleri, yöneticilerin karar verme sorunlarını çözmede yetersiz kalabilmektedir. Örneğin, kurulan modele uygun verilerin elde edilmesinin zorluğu, karar vermede kullanılan sayısal verilerin birçoğunun sabit olması, bilgisayardaki çözümlerin uzun zaman alması gibi sorunlar matematiksel yöntemlerin kullanılmasını kısıtlamaktadır. Ayrıca, matematiksel yöntemler yalnızca sayısal verilere dayanmakta ve sayısal olmayan verilerin kullanılmasına olanak vermemektedir¹¹. Diğer taraftan net bugünkü değer, iç karlılık oranı ve geri ödeme süresini içeren ekonomik analiz yöntemleri, nakit akışını öncelikli amaç olarak

¹⁰ M. Shamsuzzaman ve diğerleri, "Applying Linguistic Criteria in FMS Selection: Fuzzy-Set-AHP Approach", **Integrated Manufacturing Systems**, Vol.14, No.3, 2003, s.247-254.

¹¹ M. Saat, "Çok Amaçlı Karar Vermede Bir Yaklaşım: Analitik Hiyerarşi Yöntemi", **G.Ü. İ.İ.B.F. Dergisi**, Cilt. 2, Sayı. 2, 2000, s. 149-150.

dikkate alan yöntemlerdir. Ancak, bu yöntemler, EÜS'nin sağlamış olduğu pazar payı, kalite ve esneklik artışı vb. gibi stratejik ve nitel faydaları dikkate almamaktadır¹². Bu nedenle bir çok karar verme probleminde belirli bir amacı gerçekleştirmek üzere birden fazla nicel ya da nitel kriter, bunlara ait alt kriterler ve alternatifler söz konusu olmaktadır. Bunlardan bazıları birbirleriyle çeliştiğinde kullanılabilir en uygun yöntemler ise ÇKKV teknikleri olarak ortaya çıkmaktadır.

Tablo: 2 EÜS Seçiminde Kullanılan Değerlendirme Yöntemleri

Değerlendirme Yöntemi	Yazarlar
Matematiksel Metotlar	
Tamsayı programlama	Sujono ve Lashkari, 2007
Dinamik programlama	Kulatilaka, 1988
Sezgisel (Heuristik) yaklaşım	Hwan ve Shogan, 1989
Simülasyon	Chan vd., 2000
Veri zarflama analizi (VZA)	Sarkis, 1997; Sarkis ve Talluri, 1999
Bulanık VZA	Karsak, 2008
Bulanık hedef programlama	Karsak ve Kuzgunkaya, 2002
Ekonomik Analiz Yöntemleri	
Net bugünkü değer, iç karlılık oranı ve geri ödeme süresi	Miltenburg ve Krinsky, 1987
Opsiyon değerlendirme yöntemi	Karsak ve Özoğul, 2005
ÇKKV Teknikleri	
AHS	Mohanty ve Deshmukh, 1997; Bayazit, 2005
Bulanık AHS yöntemi	Shamsuzzaman vd., 2003
Bulanık TOPSIS yöntemi	Karsak, 2002

Yapılan çalışmalar incelendiğinde, ÇKKV teknikleri içerisinde yer alan bulanık TOPSIS, AHS ve bulanık AHS yaklaşımlarının, EÜS seçiminde birçok kez uygulandığı görülmektedir. Ancak literatürde, EÜS seçiminde Promethee yaklaşımını kullanan bir çalışmaya rastlanmamıştır (Tablo:2). Türkçe literatürde ise Promethee yaklaşımının yalnızca tedarikçi seçimi¹³ ve otomobil seçimi¹⁴ problemlerinde kullanıldığı görülmüştür. Ancak AHS ve bulanık Promethee yöntemi, bir firmanın en uygun EÜS seçimi probleminde ilk kez kullanılacaktır.

2.1. Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS)

AHS, Thomas L. Saaty tarafından geliştirilmiş bir ÇKKV tekniğidir. AHS'nin en önemli özelliği, karar almada grup veya bireyin önceliklerini dikkate alarak nitel ve nicel faktörleri bir arada değerlendirebilmesidir. AHS yaklaşımının aşamaları aşağıdaki biçimdedir:

1. Adım. Modelin kurulması ve problemin formüle edilmesi: AHS'de karar sürecini etkileyen tüm nicel ve nitel faktörler, anket çalışması veya bu konuda

¹² E.E. Karsak- O. Kuzgunkaya, a.g.m., s. 102.

¹³ M. Dağdeviren-E. Eraslan, "Promethee Sıralama Yöntemi ile Tedarikçi Seçimi", **Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi**, Cilt. 23, Sayı. 1, 2008, s. 69-75.

¹⁴ S. Ballı ve diğerleri, "En Uygun Otomobil Seçimi Problemi İçin Bir Bulanık Promethee Yöntemi Uygulaması", **Dokuz Eylül Üniversitesi İİBF Dergisi**, Cilt. 22, Sayı. 1, 2007, s. 139-147.

uzman kişilerin görüşlerine başvurularak belirlenir. Daha sonra karar problemi, amaç, kriterler, alt kriterler ve alternatifleri içeren hiyerarşik bir yapıya dönüştürülür.

2. Adım. *İkili karşılaştırma matrislerinin oluşturulması*: Hiyerarşik yapı oluşturulduktan sonra, kriterlerin en üst düzeyde yer alan amaca göre ve alternatiflerin bir üst düzeyde yer alan kriterlere göre karşılaştırılabilmesini sağlayan ikili karşılaştırma matrisleri oluşturulur¹⁵. Bu matrislerin oluşturulmasında Saaty tarafından önerilen temel karşılaştırma ölçeği kullanılmaktadır. Tablo:3'de bu amaçla geliştirilen ölçek tablosu görülmektedir.

Tablo: 3 Temel Karşılaştırma Ölçeği

Önem derecesi	Tanımı	Açıklaması
1	Eşit derecede önemli	Her iki faaliyet amaca eşit katkıda bulunur.
3	Orta derecede önemli	Tecrübe ve değerlendirmeler sonucunda bir faaliyet diğerine biraz daha fazla tercih edilir.
5	Güçlü derecede önemli	Tecrübe ve değerlendirmeler sonucunda bir faaliyet diğerine çok daha fazla tercih edilir.
7	Çok güçlü derecede önemli	Bir faaliyet diğerine göre çok güçlü şekilde tercih edilir. Uygulamada üstünlüğü ispatlanmıştır.
9	Son derece önemli	Bir faaliyet diğerine göre mümkün olan en yüksek derecede tercih edilir.
2, 4, 6, 8	Ortalama değerler	Uzlaşma gerektiğinde kullanılmak üzere iki yakın karar arasındaki ara değerler
	İki taraflı olma	Tersi karşılaştırmalar için

Kaynak: Saaty, T.L., "How to Make a Decision: The Analytic Hierarchy Process", *Interfaces*, 24 (6), 1994, s. 26.

3. Adım. *Kriter ağırlıklarının ve alternatiflerin skorlarının belirlenmesi*: Bu aşamada, ikili karşılaştırma matrisleri yardımıyla her karar alternatifinin ağırlığı (öncelik değeri) hesaplanır. Bu amaçla, ikili karşılaştırma matrisindeki her bir sütun değeri, ilgili sütun toplamına bölünerek matris normalleştirilir. Normalleştirilmiş matristeki her sütunun toplam değeri 1'dir. Daha sonra bu matristeki her satırın aritmetik ortalaması alınır. Elde edilen değerler her bir kriter için hesaplanan ağırlıkları göstermektedir¹⁶. Kriter ağırlıkları hesaplandıktan sonra, her karar alternatifinin amaca göre ağırlıklı puanları (skorları) elde edilir. Bunun için kriter ağırlığının hiyerarşik yapıda kendisinden bir üst düzeyde yer alan elemanın ağırlığı ile çarpılması gerekir. Bu süreç en üst düzeyde yer alan amaca ulaşıncaya kadar her seviye için tekrar edilir. Böylece, tüm karar alternatiflerinin amaca göre ağırlıklı

¹⁵ T.L. Saaty, **Fundamentals of Decision Making and Priority Theory with The Analytic Hierarchy Process**, Pittsburgh, RWS Publications, USA, 2006, s. 10-11.

¹⁶ G. Işıklar-G. Büyüközkan, "Using A Multi-Criteria Decision Making Approach To Evaluate Mobile Phone Alternatives", **Computer Standards & Interfaces**, Vol. 29, No. 2, 2007, s. 270.

toplam puanları elde edilir. Son olarak, toplam puanlar itibariyle alternatifler sıralanarak en iyi alternatif seçilir¹⁷.

4. Adım. Tutarlılık indeksinin ve tutarlılık oranının hesaplanması: İkili karşılaştırma matrislerinin tutarlılığı (1) numaralı denklem kullanılarak test edilir. Aşağıdaki formülde CI tutarlılık indeksini, λ_{\max} matristeki en büyük özdeğeri, n ise her bir matrisin eleman sayısını göstermektedir¹⁸.

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

Ayrıca tutarlılık oranı (2) numaralı denklem kullanılarak bulunur.

$$CR = CI / RI \quad (2)$$

Bu formülde (CR) tutarlılık oranını, (RI), rassal indeks değerini göstermektedir. Tablo: 4’de farklı matris büyüklükleri için oluşturulmuş rassal indeks tablosu görülmektedir¹⁹.

Tablo: 4 Rassal İndeks Tablosu

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0	0	0.52	0.89	1.11	1.25	1.35	1.40	1.45	1.49

Değerlendirmelerde, tutarlılık oranı, 0.10’un altında olursa kabul edilir, 0.10’dan büyükse reddedilir²⁰. Bu durumda karar vericilerin, kriter ya da alternatiflere ilişkin değerlendirmelerini gözden geçirmeleri ve ikili karşılaştırma matrislerini yeniden oluşturmaları gerekir.

2.2. Promethee Yaklaşımı

Promethee metodu, sıralama amacıyla kullanılan en önemli ÇKKV tekniklerinden birisidir. Literatürde finans²¹, ulaştırma²², enerji kaynaklarının seçimi²³, dış kaynak sağlayıcılarının seçimi²⁴, bilgi teknolojisi stratejilerinin seçimi²⁵

¹⁷ R.U. Bilsel ve diğerleri, “A Fuzzy Preference- Ranking Model for A Quality Evaluation of Hospital Web Sites”, **International Journal of Intelligent Systems**, Vol. 21, No. 11, 2006, s. 1184.

¹⁸ Saaty, a.g.k., s.84.

¹⁹ a.g.k., s.84.

²⁰ a.g.k., s.84.

²¹ A. Bouri ve diğerleri, “A multi-criterion Approach for Selecting Attractive Portfolio”, **Journal of Multi-Criteria Decision Analysis**, Vol. 11, No. 4-5, 2002, s. 269-277.

²² F. Ülengin ve diğerleri, “An Integrated Decision Aid System For Bosphorus Water-Crossing Problem”, **European Journal of Operational Research**, Vol. 134, No. 1, 2001, s. 179-192.

²³ Y.I. Topcu- F. Ulengin, “Energy for the Future: An Integrated Decision Aid for the Case of Turkey”, **Energy**, Vol. 29, No. 1, 2004, s. 137-154.

²⁴ C. Araz ve diğerleri, “An Integrated Multi-Criteria Decision-Making Methodology For Outsourcing Management”, **Computers & Operations Research**, Vol. 34, No. 12, 2007, s. 3738-3756.

vb. birçok alanda kullanıldığı görülmektedir. Promethee yaklaşımının aşamaları aşağıdaki biçimdedir:

1. Adım. Kriterler için tercih fonksiyonlarının tanımlanması: Karar vericinin bir alternatifi diğerine tercih etmesi, Ω tercih fonksiyonu aracılığıyla gerçekleşir. Buna göre α ve β alternatifleri, C_j kriterine göre karşılaştırıldığında tercih fonksiyonu aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$\Omega_j(\alpha, \beta) = \begin{cases} 0, & C_j(\alpha) \leq C_j(\beta) \\ H_j(d_j), & C_j(\alpha) > C_j(\beta) \end{cases} \quad (3)$$

(3) numaralı denklemde $d_j = C_j(\alpha) - C_j(\beta)$ biçiminde hesaplanır.

Tercih fonksiyonu Ω , altı farklı fonksiyon biçiminde olabilir (EK Tablo:17) ve $[0,1]$ aralığında yer alır²⁶. Ayrıca, tercih fonksiyonu Ω , q farksızlık eşiği ve p kesin tercih eşiğini içerecek biçimde aşağıdaki gibi ifade edilir²⁷.

$$\Omega_j(\alpha, \beta) = \Omega_j(d_j) = \begin{cases} 0, & d_j < q \\ H_j(d_j), & q \leq d_j \leq p \\ 1, & d_j > p \end{cases} \quad (4)$$

(4) numaralı denklemde yer alan $H_j(d_j)$, EK Tablo: 17’de gösterilen ve kriterler için önceden belirlenen tercih fonksiyonlarını yansıtmaktadır²⁸.

2. Adım. Tercih indekslerinin hesaplanması: Bu aşamada tercih fonksiyonlarına dayalı olarak tercih indeksleri belirlenir. Tercih indeksi $c(\alpha, \beta)$ aşağıdaki gibi hesaplanır²⁹.

$$c(\alpha, \beta) = \sum_j w_j \Omega_j(\alpha, \beta) \quad (5)$$

(5) numaralı denklemde yer alan $w_j (j=1,2,\dots,k)$, k kriter için hesaplanan ağırlıkları yansıtmaktadır.

3. Adım. Alternatifler için pozitif ve negatif üstünlüklerin belirlenmesi: Pozitif üstünlük $\Phi^+(\alpha)$, α ve x alternatifleri karşılaştırıldığında α ’nın x ’e oranla ne

²⁵ A. Albadvi, “Formulating National Information Technology Strategies: A Preference Ranking Model Using PROMETHEE Method”, **European Journal of Operational Research**, Vol. 153, No. 2, 2004, s. 290-296.

²⁶ A. Bouri ve diğerleri, a.g.m., s. 273.

²⁷ R.U. Bilsel ve diğerleri, a.g.m., s. 1185.

²⁸ J.P. Brans- PH. Vincke, “A Preference Ranking Organization Method”, **Management Science**, Vol. 31, No. 6, 1985, s. 650-652.

²⁹ R.U. Bilsel ve diğerleri, a.g.m., s. 1185.

derece “iyi” olduğunu, negatif üstünlük $\Phi^-(\alpha)$ ise α 'nın x 'e oranla ne derece “zayıf” olduğunu gösterir ve aşağıdaki denklemler yardımıyla hesaplanır³⁰.

$$\Phi^+(\alpha) = \sum c(\alpha, x) \quad (6)$$

$$\Phi^-(\alpha) = \sum c(x, \alpha) \quad (7)$$

4. Adım. *Promethee I ile alternatifler için kısmi önceliklerin belirlenmesi:* Promethee I kullanılarak iki alternatif için kısmi önceliklerin belirlenmesinde aşağıdaki durumlar söz konusudur³¹.

I. Durum. Aşağıdaki durumlarda α alternatifi β alternatifine tercih edilir.

$$i. \Phi^+(\alpha) > \Phi^+(\beta) \text{ ve } \Phi^-(\alpha) < \Phi^-(\beta) \quad (8)$$

$$ii. \Phi^+(\alpha) > \Phi^+(\beta) \text{ ve } \Phi^-(\alpha) = \Phi^-(\beta) \quad (9)$$

$$iii. \Phi^+(\alpha) = \Phi^+(\beta) \text{ ve } \Phi^-(\alpha) < \Phi^-(\beta) \quad (10)$$

II. Durum. Aşağıdaki koşul sağlanıyorsa α alternatifi ile β alternatifi farksızdır.

$$i. \Phi^+(\alpha) = \Phi^+(\beta) \text{ ve } \Phi^-(\alpha) = \Phi^-(\beta) \quad (11)$$

III. Durum. Aşağıdaki koşullardan herhangi biri sağlanıyorsa α alternatifi, β alternatifi ile karşılaştırılmaz.

$$i. \Phi^+(\alpha) > \Phi^+(\beta) \text{ ve } \Phi^-(\alpha) > \Phi^-(\beta) \quad (12)$$

$$ii. \Phi^+(\alpha) < \Phi^+(\beta) \text{ ve } \Phi^-(\alpha) < \Phi^-(\beta) \quad (13)$$

5. Adım. *Promethee II ile alternatifler için tam önceliklerin belirlenmesi:* Aşağıdaki eşitlik yardımıyla her bir alternatif için tam öncelikler hesaplanır. Yapılan hesaplama tüm alternatiflerin sıralanmasını sağlar.

$$\Phi^{net}(\alpha) = \Phi^+(\alpha) - \Phi^-(\alpha) \quad (14)$$

$$\Phi^{net}(\beta) = \Phi^+(\beta) - \Phi^-(\beta) \quad (15)$$

α ve β alternatifleri için yapılan hesaplamalara dayanarak aşağıdaki kararlar uygulanır.

$\Phi(\alpha) > \Phi(\beta)$ ise α alternatifi daha üstündür.

$\Phi(\alpha) = \Phi(\beta)$ ise α ve β alternatifleri farksızdır.

2.3. Bulanık Promethee Yaklaşımı

Gerçek yaşamda, birçok karar problemi belirsiz ve kesinlik içermeyen bilgiler içerdiğinden, bu bilgilere dayalı kurulan modeller problemleri tam ve doğru olarak ifade edemez. Bu nedenle karar sürecinin, belirsiz ve kesin olmayan bilgilere dayalı model kurulabilmesini sağlaması gerekir. Bulanık küme teorisinde kullanılan dilsel değişkenler, sayısal olarak ifade edilemeyen karmaşık durumları tanımlamak

³⁰ a.g.m., s. 1185.

³¹ J.P. Brans-PH. Vincke, a.g.m., s. 650-652; M. Dağdeviren- E. Eraslan, a.g.m., s.72.

amacıyla kullanılırlar. Dilsel değişkenler yardımıyla yapılan değerlendirmelerde ise bulanık sayılar kullanılır³². Çalışmada üçgen bulanık sayılar (ÜBS) kullanılmaktadır. Tablo: 5, ÜBS yardımıyla yapılan temel aritmetik işlemleri göstermektedir³³.

Tablo: 5 Üçgen Bulanık Sayılarla Yapılan Temel Aritmetik İşlemler

Toplama	$(m, a, b) \oplus (n, c, d) = (m + n, a + c, b + d)$
Çarpma	$-(m, a, b) = (-m, b, a)$
Çıkarma	$(m, a, b) - (n, c, d) = (m - n, a + d, b + c)$
Sayı ile çarpma	$(m, a, b) \times (n, 0, 0) = (mn, an, bn)$
Bulanık sayı ile çarpma	
$m > 0, n > 0$	$(m, a, b) \otimes (n, c, d) = (mn, cm + an, dm + bn)$
$m < 0, n > 0$	$(m, a, b) \otimes (n, c, d) = (mn, an - dm, bn - cm)$
$m < 0, n < 0$	$(m, a, b) \otimes (n, c, d) = (mn, -bn - dm, -an - cm)$

Bulanık Promethee yaklaşımında ilk aşama, AHS kullanılarak kriterlerin ağırlıklarının kesin ya da mutlak sayılarla (*crisp*) hesaplanmasıdır. Bundan sonraki aşama kriter ağırlıklarına dayalı olarak alternatiflerin skorlarını hesaplamaktır. Ancak çalışmada alternatiflerin skorları dilsel değişkenler olarak tanımlanmıştır. Bu durumda, karar vericinin, Tablo: 6'da yer alan bulanık sayıları kullanarak alternatiflerin skorlarını sayısallaştırması gerekir³⁴.

Tablo: 6 Alternatifler İçin Kullanılan Dilsel Değişkenler Ve Bulanık Sayılar

KK	Kesinlikle katılmıyorum	(0, 0, 0.15)
EK	Epeyce katılmıyorum	(0.15, 0.15, 0.15)
BK	Biraz katılmıyorum	(0.30, 0.15, 0.20)
FY	Fikrim yok	(0.50, 0.20, 0.15)
AK	Az katılıyorum	(0.65, 0.15, 0.15)
OK	Oldukça katılıyorum	(0.80, 0.15, 0.20)
ÇK	Çok katılıyorum	(1, 0.20, 0)

Bulanık Promethee yönteminde kullanılacak olan q farksızlık eşiği ve p kesin tercih eşiğinin mutlak sayılarla ifade edilmesi gerekir. Bu durumda (4) numaralı denklemdeki tercih indeksi, doğrusal tercih fonksiyonu, q farksızlık eşiği ve p kesin tercih eşiğini içerecek biçimde aşağıdaki gibi hesaplanır³⁵.

³² M. Saremi ve diğerleri, "TQM Consultant Selection in SMEs With TOPSIS Under Fuzzy Environment", **Expert Systems with Applications**, Vol. 36, No. 2, 2009, s. 2744.

³³ M. Goumas-V. Lygerou, "An Extension of the PROMETHEE Method for Decision Making in Fuzzy Environment: Ranking of Alternative Energy Exploitation Projects", **European Journal of Operational Research**, Vol. 123, No. 3, 2000, s. 608.

³⁴ R.U. Bilsel ve diğerleri, a.g.m., s. 1192.

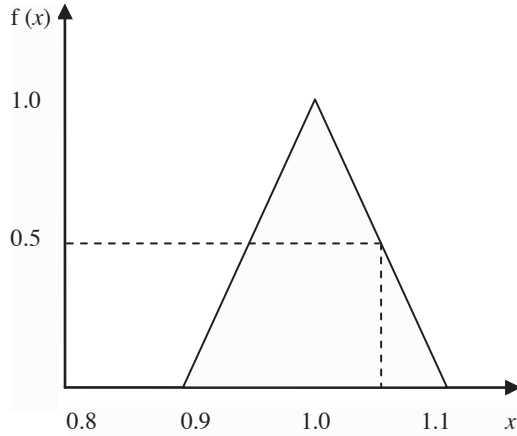
³⁵ M. Goumas- V. Lygerou, a.g.m., s. 609.

$$\Omega_j(\alpha, \beta) = \Omega_j(d_j) = \begin{cases} 0, & d_j < q \\ \frac{d_j - q}{p - q}, & q \leq d_j \leq p \\ 1, & d_j > p \end{cases} \quad (16)$$

(16) numaralı denklemde d_j , bulanık üçgensel sayı olarak (n,c,d) biçiminde ifade edilirse (16) numaralı denklem aşağıdaki gibi olacaktır.

$$\Omega_j(\alpha, \beta) = \Omega_j(d_j) = \begin{cases} 0, & n - c < q \\ \frac{(n, c, d) - q}{p - q}, & q \leq n - c \text{ ve } (n + d) \leq p \\ 1, & (n + d) > p \end{cases} \quad (17)$$

(17) numaralı denklem yardımıyla bulunacak tercih indeks değeri bulanık sayı olacaktır. Bu durumda alternatiflerin skorlarını hesaplayabilmek ve onları tam önceliklerine dayalı sıralayabilmek için, bulanık sayıların yager indeksi kullanılarak eşdeğeri hesaplanmalıdır. Yager indeksi karar vericinin tercihlerini bulanık sayılarla yapması durumunda alternatifleri karşılaştırmak amacıyla kullanılır. Şekil 1'de $x = (1,0.1,0.1)$ biçimindeki üçgen bulanık sayının gösterimi görülmektedir³⁶.



Şekil 1 (1,0.1,0.1) Üçgen Bulanık Sayısının Gösterimi

Bu sayının yager indeks değerine göre eşdeğeri: $f(m,a,b) = (3m-a+b)/3$ ve $f(1,0.1,0.1) = 1$ 'dir. Diğer tüm üçgensel bulanık sayılar için bu tür bir hesaplama yapılırsa, alternatiflerin birbirleriyle karşılaştırılabilmesi ve her bir alternatif için

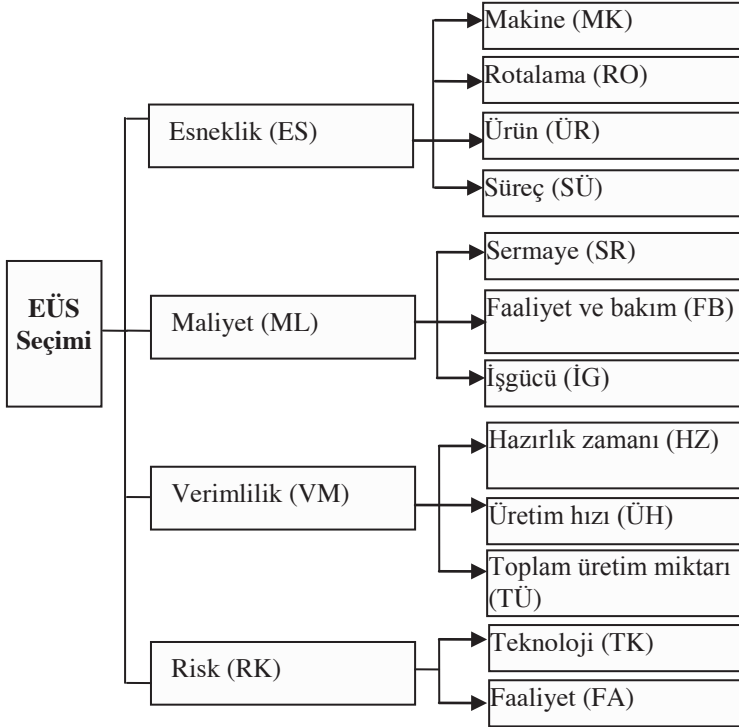
³⁶ M. Goumas- V. Lygerou, a.g.m., s. 608-610.

skor hesaplanabilmesi mümkün olur. Daha sonra Φ^+ , Φ^- ve Φ^{net} hesaplanarak Promethee II yardımıyla tam sıralama yapılabilir³⁷.

3. Uygulama

Çalışmada imalat firmalarının EÜS seçim kararlarının değerlendirilmesi amacıyla bütünleşik bir AHS-bulanık Promethee modeli geliştirilmiştir. Modelin amacı, firmaların EÜS seçimini etkileyen tüm kriterleri hiyerarşik bir model aracılığıyla tanımlayarak, en uygun EÜS'ni belirlemektir.

1. Adım. Modelin kurulması ve problemin formüle edilmesi: Çalışmada ilk adım AHS yöntemini kullanarak problemin formüle edilmesidir. Bu amaçla, EÜS seçimini etkileyen faktörler, esneklik, maliyet, verimlilik ve riski içeren dört ana kriter altında gruplandırılmıştır. Şekil 1, EÜS seçimi için geliştirilen AHS modelini göstermektedir.



Şekil: 2 EÜS Seçimine İlişkin AHS Modeli

2. Adım. İkili karşılaştırma matrislerinin oluşturulması ve kriter ağırlıklarının belirlenmesi: Bundan sonraki aşama ana kriterlere ilişkin ikili karşılaştırma matrislerinin oluşturularak kriter ağırlıklarının hesaplanmasıdır. Bunun için EK Tablo: 10'daki ikili karşılaştırma matrisi yardımıyla ana kriterlere ilişkin ağırlıklar belirlenir. Daha sonra EK Tablo: 11'den Tablo: 14'e kadar olan ikili

³⁷ R.U. Bilsel ve diğerleri, a.g.m., s. 1188.

karşılaştırma matrisleri yardımıyla tüm alt kriterlerin ağırlıkları belirlenir. Bundan sonraki aşama, bulunan alt kriter ağırlığının hiyerarşik yapıda bir üst düzeyde yer alan kriter ağırlığı ile çarpılmasıdır. Böylece Tablo: 7’de görülen tüm kriter ve alt kriter ağırlıkları elde edilir.

Tablo: 7 EÜS Seçiminde Kullanılan Kriter ve Alt Kriterlerin Ağırlıkları

	ES				ML			
Kriter ağırlıkları	0.495				0.121			
Alt kriterler	MK	RO	ÜR	SÜ	SR	FB	İG	
Ağırlıklar	0.053	0.092	0.205	0.145	0.078	0.028	0.015	
	VM			RK				
Kriter ağırlıkları	0.327			0.057				
Alt kriterler	HZ	ÜH	TÜ	TK	FA			
Ağırlıklar	0.229	0.063	0.035	0.014	0.043			

3. Adım. *Alternatiflerin skorlarının hesaplanması:* Bu aşamada bulanık Promethee yöntemi kullanılacaktır. Yöntemin uygulanabilmesi için, kriter ve alt kriterlerin ağırlıkları belirlendikten sonra, alternatiflerin, her kritere göre alacağı skorların hesaplanması gerekir. Çalışmada imalat firmasının 5 farklı esnek üretim sistemini seçebileceği (EÜS1,EÜS2, EÜS3, EÜS4, EÜS5) ve her kritere göre alternatiflerin farklı skorlar alabileceği öngörülmüştür. Ayrıca, alternatiflerin skorları dilsel değişkenler olarak ifade edilmiştir (Tablo: 8). Bu nedenle öncelikle Tablo: 6’dan yararlanarak alternatiflerin skorlarının sayısallaştırılması gerekir.

Tablo: 8 Alternatiflere İlişkin Dilsel Veriler

Alt kriterler	MK	RO	ÜR	SÜ	SR	FB	İG
Alternatifler							
EÜS1	OK	OK	ÇK	OK	ÇK	ÇK	AK
EÜS2	OK	OK	AK	ÇK	ÇK	OK	OK
EÜS3	AK	AK	AK	AK	AK	AK	ÇK
EÜS4	FY	AK	FY	FY	OK	FY	ÇK
EÜS5	OK	FY	OK	FY	ÇK	KK	ÇK
Alt kriterler	HZ	ÜH	TÜ	TK	FA		
Alternatifler							
EÜS1	OK	FY	KK	KK	OK		
EÜS2	OK	OK	KK	EK	AK		
EÜS3	FY	ÇK	KK	BK	FY		
EÜS4	BK	FY	EK	EK	ÇK		
EÜS5	AK	OK	EK	KK	ÇK		

KK: Kesinlikle katılmıyorum, EK: Epeyce katılmıyorum, BK: Biraz katılmıyorum, FY: Fikrim yok, AK: Az katılıyorum, OK: Oldukça katılıyorum, ÇK: Çok katılıyorum

4. Adım. *Tercih fonksiyonlarının tanımlanması ve tercih indeksinin hesaplanması:* Bu aşamada EK Tablo: 17’den yararlanarak kriterlere ilişkin tercih fonksiyonlarının belirlenmesi ve tercih indeksinin hesaplanması gerekir. Çalışmada tüm kriterler için beşinci tip (lineer) tercih fonksiyonu tanımlanmıştır. Ayrıca tercih fonksiyonunun hesaplanabilmesi için q farksızlık eşiği ve p kesin tercih eşiğinin belirlenmesi gerekir. Çalışmada bu değerler $q=0$ ve $p=0.60$ olarak alınmıştır. Karar verici, (16) ve (17) numaralı denklemleri kullanarak tercih indekslerini hesaplayabilir. Ancak bulunan değerler üçgen bulanık sayılar olacağından, bunların yager indeksi kullanılarak mutlak (kesin) hale dönüştürülmesi gerekir. EK Tablo: 15’de süreç esnekliği alt kriteri için alternatiflerin birbirleriyle karşılaştırılması

görülmektedir. Örneğin EÜS2 ve EÜS3 karşılaştırıldığında (3) numaralı denklem yardımıyla;

$EÜS2-EÜS3 = \Omega_j(d_j) = (1,0.20,0) - (0.65,0.15,0.15) = (0.35,0.35,0.15)$ üçgen bulanık sayısı hesaplanır. Eğer bu sayı (17) numaralı denklemde yerine konulursa;

$$\Omega_j(d_j) = \frac{(0.35,0.35,0.15) - 0}{0.60 - 0} = (0.58,0.58,0.25) \text{ olacaktır. Bu sayının}$$

yager indeksi karşılığı $(3m-a+b)/3 = (3*0.58 - 0.58 + 0.25)/3 = 0.47$ olur. EK Tablo: 16'da tüm alternatiflerin süreç esnekliği alt kriterine göre pozitif ve negatif üstünlük değerleri görülmektedir.

5. Adım. Alternatifler için pozitif ve negatif üstünlüklerin belirlenmesi: Bu aşamada tüm alternatifler için (6) ve (7) numaralı denklemlerle ifade edilen toplam pozitif ve negatif üstünlük değerlerinin hesaplanması gerekir. EK Tablo: 16 süreç esnekliği alt kriteri için hesaplanan toplam pozitif ve negatif üstünlük değerlerini göstermektedir.

6. Adım. Promethee I ve Promethee II kullanılarak alternatifler için kısmi ve tam önceliklerin belirlenmesi: Bu aşamada hesaplanan pozitif ve negatif üstünlük değerlerine dayanarak her alternatif için kısmi ve tam öncelik değerleri belirlenir. Bu amaçla bulunan kısmi öncelik değerleri (14) ve (15) numaralı denklemlerde yerine konularak alternatiflere ilişkin tam öncelikler elde edilir. Tablo:9, Promethee II kullanılarak elde edilen tam sıralama sonuçlarını göstermektedir. Buna göre sırasıyla EÜS1, EÜS2, EÜS5, EÜS3 ve EÜS4 seçilir.

Tablo: 9 Bulanık Promethee Değerlendirme Sonuçları

Alternatifler	$\Phi^+(\alpha)$	$\Phi^-(\alpha)$	$\Phi^{net}(\alpha)$	Bulanık Promethee Sıralama Sonuçları
EÜS1	1.544	0.216	1.327	1
EÜS2	1.195	0.137	1.058	2
EÜS3	0.174	0.925	-0.751	4
EÜS4	0.098	1.827	-1.730	5
EÜS5	0.720	0.625	0.095	3

Sonuç

Müşteri beklentilerinde ve teknolojiye yaşanan hızlı değişim, firmaları tüm iş süreçlerinde bilgisayarla bütünleşik üretim teknolojilerine yöneltmiştir. EÜS, firmalara büyük hacimler yerine daha düşük hacimde ve yüksek çeşitlilikte üretim yeterliliği sağlayan ileri üretim teknolojileridir. Bu teknolojiler içerisinde yer alan EÜS, çok sayıda programlanabilir makine parçası ve malzeme taşıma sisteminin bir araya gelmesiyle oluşmaktadır. Bu sistemler, esneklik artışı, kalite artışı, üretim hızı artışı, pazar liderliği, düşük üretim maliyeti, yenilik, stok seviyelerinde azalma, rekabet avantajı vb. çok sayıda fayda sunmaktadır. Ancak bu sistemlerin sunduğu faydaların parasal olarak hesaplanma güçlüğü ve beraberinde getirdiği faaliyet ya da teknolojik riskler, yüksek başlangıç ve yatırım maliyetleri vb. sorunlar bu sistemlerin seçimini ve değerlendirilmesini güçleştirmektedir.

Literatür incelendiğinde EÜS seçim ve değerlendirilmesinde, esneklik, maliyet, verimlilik ve risk kriterlerinin önem taşıdığı görülmektedir. Ayrıca, bu sistemler çoğunlukla matematiksel metotlar, ekonomik analiz yöntemleri ve ÇKKV teknikleri ile değerlendirilmektedir. ÇKKV tekniklerinin en önemli avantajı çok sayıda alternatif, kriter ve alt kriteri dikkate alarak diğer yöntemlere kıyasla çok daha gerçekçi sonuçlar sunabilmesidir. Ayrıca bu tekniklerin bulanık küme teorisiyle birlikte kullanılabilmesi, karar vericilerin tercihlerindeki belirsizliğin üstesinden gelmeyi sağlamaktadır. Bu nedenle çalışmanın amacı, EÜS'nin seçiminde bütünleşik AHS ve bulanık Promethee yaklaşımlarının nasıl birlikte kullanılabileceğini açıklamaktır. Bu amaçla örnek bir uygulama sunulmuştur. Uygulamada, öncelikle AHS yardımıyla kriter ve alt kriterleri içeren hiyerarşik bir model oluşturulmuştur. Daha sonra kriter ve alt kriterlerin ağırlıkları hesaplanmıştır. Sonraki aşamada, alternatiflerin aldıkları skorlar hesaplanmıştır. Son olarak bulanık Promethee yardımıyla alternatiflere ilişkin tercih fonksiyonları belirlenerek, tercih indeksi, kısmi ve tam öncelikler hesaplanmıştır. Bu amaçla beş EÜS alternatifi değerlendirilmiş ve en uygun alternatif seçilmiştir.

Çalışmada önerilen yöntem, bulanık olmayan yöntemlerle yapılan hesaplamalara oranla daha fazla çaba ve işlem gerektirir. Yöntemin diğer kısıtı ise, karar vericiler tarafından kriter ve alt kriter ağırlıklarının objektif biçimde belirlenmesi gerektiğidir. Buna rağmen, AHS-bulanık Promethee yöntemi, bulanık ortamda nitel ve nicel çok sayıda kriterin bir arada değerlendirilmesini gerektiren problemler için oldukça uygun bir yöntemdir. Ayrıca literatürde, EÜS seçiminde bütünleşik AHS ve bulanık Promethee yöntemi öneren bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu nedenle önerilen yöntem EÜS'nin değerlendirilmesinde etkin bir biçimde uygulanabilir. Ayrıca AHS-bulanık Promethee, belirsiz ve kesin olmayan verilere uygun model kurmaya olanak sağladığından, etkin bir karar verme aracı olarak kullanılabilir. Yöntemin bir diğer faydası ise, EÜS'nin değerlendirilmesinde oldukça basit, esnek ve kullanımı kolay bir yaklaşım sunmasıdır. Son olarak, önerilen yöntem firmalara özgü bir takım değişikliklerle tüm firmaların üretim sistemleri seçim kararlarında uygulanabilecektir.

Kaynakça

- ALBADVI, A., "Formulating National Information Technology Strategies: A Preference Ranking Model Using PROMETHEE Method", **European Journal of Operational Research**, Vol.153, No.2, 2004, s. 290-296.
- ARAZ, C., ÖZFIRAT, P.M. and ÖZKARAHAN, I., "An Integrated Multi-Criteria Decision-Making Methodology For Outsourcing Management", **Computers & Operations Research**, Vol.34, No.12, 2007, s.3738-3756.
- BALLI, S., KARASULU, B. ve KORUKOĞLU, S., "En Uygun Otomobil Seçimi Problemi İçin Bir Bulanık Promethee Yöntemi Uygulaması", **Dokuz Eylül Üniversitesi İİBF Dergisi**, Cilt.22, Sayı.1, 2007, s.139-147.
- BAYAZIT, O., "Use of AHP in Decision Making for Flexible Manufacturing Systems", **Journal of Manufacturing Technology Management**, Vol. 16, No. 7, 2005, s. 808-819.
- BILSEL, R.U., BÜYÜKÖZKAN, G. and RUAN, D., "A Fuzzy Preference- Ranking Model for A Quality Evaluation of Hospital Web Sites", **International Journal of Intelligent Systems**, Vol.21, No.11, 2006, s. 1181-1197.
- BOURI, A., MARTEL, J.M. and CHABCHOUB, H., "A Multi-criterion Approach for Selecting Attractive Portfolio", **Journal of Multi-Criteria Decision Analysis**, Vol.11, No.4-5, 2002, s. 269-277.
- BRANS, J.P. and VINCKE, PH., "A Preference Ranking Organization Method", **Management Science**, Vol.31, No.6, 1985, s. 647-656.
- CHAN, F.T.S., JIANG, B. and TANG, N.K.H., "The Development of Intelligent Decision Support Tools to Aid the Design of Flexible Manufacturing Systems", **International Journal of Production Economics**, Vol.65, No.1, 2000, s. 73-84.
- DAĞDEVİREN, M. ve ERASLAN, E., "Promethee Sıralama Yöntemi ile Tedarikçi Seçimi", **Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi**, Cilt.23, Sayı.1, 2008, s. 69-75.
- GOUMAS, M. and 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**, Vol.123, No.3, 2000, s. 606-613.
- HWAN, S.S. and SHOGAN, A.W., "Modeling and Solving an FMS Part Selection Problem", **International Journal of Production Research**, Vol.27, No.8, 1989, s. 1349-1366.
- İŞIKLAR, G. and BÜYÜKÖZKAN, G., "Using A Multi-Criteria Decision Making Approach To Evaluate Mobile Phone Alternatives", **Computer Standards & Interfaces**, Vol.29, No.2, 2007, s. 265-274.

-
- KARSAK, E.E., "Distance-Based Fuzzy MCDM Approach For Evaluating Flexible Manufacturing System Alternatives", **International Journal of Production Research**, Vol.40, No.13, 2002, s. 3167- 3181.
- KARSAK, E.E., "Using Data Envelopment Analysis for Evaluating Flexible Manufacturing Systems in the Presence of Imprecise Data", **International Journal of Advanced Manufacturing Technologies**, Vol.35, No.9-10, 2008, s. 867-874.
- KARSAK, E.E.- KUZGUNKAYA, O., "A Fuzzy Multiple Objective Programming Approach for the Selection of a Flexible Manufacturing System", **International Journal of Production Economics**, Vol.79, No.2, 2002, s. 101-111.
- KARSAK, E.E.- ÖZOĞUL, C.O., "Valuation Of Expansion Flexibility In Flexible Manufacturing System Investments Using Sequential Exchange Options", **International Journal of Systems Science**, Vol.36, No.5, 2005, s. 243-253.
- KULATILAKA, N., "Valuing the Flexibility of Flexible Manufacturing Systems", **IEEE Transactions on Engineering Management**, Vol.35, No.4, 1988, s. 250-257.
- MILTENBURG, G.J. and KRINSKY, I., "Evaluating Flexible Manufacturing Systems", **IIE Transactions**, Vol.19, No.2, 1987, s. 222-233.
- MOHANTY, R.P.- DESHMUKH, S.G., "Strategic Adoption of a Flexible Manufacturing System: Case Study of an Indian Electronics Enterprise", **Production Planning & Control**, Vol.8, No.8, 1997, s. 797-805.
- SAAT, M., "Çok Amaçlı Karar Vermede Bir Yaklaşım: Analitik Hiyerarşi Yöntemi", **G.Ü. İ.İ.B.F. Dergisi**, Cilt.2, Sayı.2, 2000, s. 149-162.
- SAATY, T.L., "How to Make a Decision: The Analytic Hierarchy Process", **Interfaces**, Vol. 24, No.6, 1994, s. 19-43.
- SAATY, T.L., **Fundamentals of Decision Making and Priority Theory with The Analytic Hierarchy Process**, Pittsburgh, USA, RWS Publications, 2006.
- SAREMI, M., MOUSAVI, S.F. and SANAYEI, A., "TQM Consultant selection in SMEs With TOPSIS Under Fuzzy Environment", **Expert Systems With Applications**, Vol.36, No.2, 2009, s. 2742-2749.
- SARKIS, J., "Evaluating Flexible Manufacturing Systems Alternatives Using Data Envelopment Analysis", **The Engineering Economist**, Vol.43, No.1, 1997, s.25- 47.
- SARKIS, J.-TALLURI, S., "A Decision Model for Evaluation of Flexible Manufacturing Systems In The Presence Of Both Cardinal And Ordinal Factors", **International Journal of Production Research**, Vol.37, No.13, 1999, s.2927- 2938.

- SHAMSUZZAMAN, M., ULLAF, A.M.M.S. and BOHEZ, E.L.J., “Applying Linguistic Criteria in FMS Selection: Fuzzy-Set-AHP Approach”, **Integrated Manufacturing Systems**, Vol.14, No.3, 2003, s. 247-254.
- SHANG, J.- SUEYOSHI, T., “A Unified Framework for the Selection of A Flexible Manufacturing System”, **European Journal of Operational Research**, Vol. 85, No.2, 1995, s. 297-315.
- SUJONO, S.-LASHKARI, R.S., “A Multi-Objective Model of Operation Allocation and Material Handling System Selection in FMS Design”, **International Journal of Production Economics**, Vol.105, No.1, 2007, s. 116-133.
- TOPCU, Y.I.-ULENGIN, F., “Energy For the Future: An Integrated Decision Aid For the Case of Turkey”, **Energy**, Vol.29, No.1, 2004, s. 137-154.
- ÜLENGIN, F., TOPCU, Y.I.-ŞAHİN, Ş.Ö., “An Integrated Decision Aid System For Bosphorus Water-Crossing Problem”, **European Journal of Operational Research**, Vol.134, No.1, 2001, s. 179-192.

EKLER

Tablo: 10 Ana Kriterler İçin İkili Karşılaştırma Matrisleri

	ES	ML	VM	RK	Ağırlıklar
Esneklik (ES)	1	4	2	7	0.495
Maliyet (ML)	1/4	1	1/4	3	0.121
Verimlilik (VM)	1/2	4	1	5	0.327
Risk (RK)	1/7	1/3	1/5	1	0.057
					C.R=0.039

Tablo: 11 Esneklik Kriterine Göre Alt Kriterlerin İkili Karşılaştırma Matrisleri

Esneklik kriteri	MK	RO	ÜR	SÜ	Ağırlıklar
Makine (MK)	1	1/2	1/3	1/3	0.107
Rotalama (RO)	2	1	1/2	1/2	0.185
Ürün (ÜR)	3	2	1	2	0.415
Süreç (SÜ)	3	2	1/2	1	0.293
					C.R=0.026

Tablo: 12 Maliyet Kriterine Göre Alt Kriterlerin İkili Karşılaştırma Matrisleri

Maliyet kriteri	SR	FB	İG	Ağırlıklar
Sermaye (SR)	1	3	5	0.648
Faaliyet ve Bakım (FB)	1/3	1	2	0.230
İşgücü (İG)	1/5	1/2	1	0.122
				C.R=0.003

Tablo: 13 Verimlilik Kriterine Göre Alt Kriterlerin İkili Karşılaştırma Matrisleri

Verimlilik kriteri	HZ	ÜH	TÜ	Ağırlıklar
Hazırlık zamanı (HZ)	1	4	6	0.701
Üretim Hızı (ÜH)	1/4	1	2	0.193
Toplam Üretim Miktarı (TÜ)	1/6	1/2	1	0.106
				C.R=0.008

Tablo: 14 Risk Kriterine Göre Alt Kriterlerin İkili Karşılaştırma Matrisleri

Risk kriteri	TK	FA	Ağırlıklar
Teknoloji (TK)	1	1/3	0.25
Faaliyet (FA)	3	1	0.75
			C.R=0.0

Tablo: 15 Süreç Esnekliği Alt Kriteri İçin Alternatiflerin Karşılaştırılması

SÜ					
EÜS1	(0.80,0.15,0.20)	EÜS1	(0.80,0.15,0.20)	(0,0.35,0.35)	0
EÜS1	(0.80,0.15,0.20)	EÜS2	(1,0.20,0)	(-0.20,0.15,0.40)	0
EÜS1	(0.80,0.15,0.20)	EÜS3	(0.65,0.15,0.15)	(0.15,0.30,0.35)	0
EÜS1	(0.80,0.15,0.20)	EÜS4	(0.50,0.20,0.15)	(0.30,0.30,0.40)	1
EÜS1	(0.80,0.15,0.20)	EÜS5	(0.50,0.20,0.15)	(0.30,0.30,0.40)	1
EÜS2	(1,0.20,0)	EÜS1	(0.80,0.15,0.20)	(0.20,0.40,0.15)	0
EÜS2	(1,0.20,0)	EÜS2	(1,0.20,0)	(0,0.20,0.20)	0
EÜS2	(1,0.20,0)	EÜS3	(0.65,0.15,0.15)	(0.35,0.35,0.15)	0.47
EÜS2	(1,0.20,0)	EÜS4	(0.50,0.20,0.15)	(0.50,0.35,0.20)	1
EÜS2	(1,0.20,0)	EÜS5	(0.50,0.20,0.15)	(0.50,0.35,0.20)	1
EÜS3	(0.65,0.15,0.15)	EÜS1	(0.80,0.15,0.20)	(-0.15,0.35,0.30)	0
EÜS3	(0.65,0.15,0.15)	EÜS2	(1,0.20,0)	(-0.35,0.15,0.35)	0
EÜS3	(0.65,0.15,0.15)	EÜS3	(0.65,0.15,0.15)	(0,0.30,0.30)	0
EÜS3	(0.65,0.15,0.15)	EÜS4	(0.50,0.20,0.15)	(0.15,0.30,0.35)	0
EÜS3	(0.65,0.15,0.15)	EÜS5	(0.50,0.20,0.15)	(0.15,0.30,0.35)	0
EÜS4	(0.50,0.20,0.15)	EÜS1	(0.80,0.15,0.20)	(-0.30,0.40,0.30)	0
EÜS4	(0.50,0.20,0.15)	EÜS2	(1,0.20,0)	(-0.50,0.20,0.35)	0
EÜS4	(0.50,0.20,0.15)	EÜS3	(0.65,0.15,0.15)	(-0.15,0.35,0.30)	0
EÜS4	(0.50,0.20,0.15)	EÜS4	(0.50,0.20,0.15)	(0,0.35,0.35)	0
EÜS4	(0.50,0.20,0.15)	EÜS5	(0.50,0.20,0.15)	(0,0.35,0.35)	0
EÜS5	(0.50,0.20,0.15)	EÜS1	(0.80,0.15,0.20)	(-0.30,0.40,0.30)	0
EÜS5	(0.50,0.20,0.15)	EÜS2	(1,0.20,0)	(-0.50,0.20,0.35)	0
EÜS5	(0.50,0.20,0.15)	EÜS3	(0.65,0.15,0.15)	(-0.15,0.35,0.30)	0
EÜS5	(0.50,0.20,0.15)	EÜS4	(0.50,0.20,0.15)	(0,0.35,0.35)	0
EÜS5	(0.50,0.20,0.15)	EÜS5	(0.50,0.20,0.15)	(0,0.35,0.35)	0

Tablo: 16 Süreç Esnekliği Alt Kriteri İçin $\Phi^+(\alpha)$ ve $\Phi^-(\alpha)$ Sonuçları

SÜ	EÜS1	EÜS2	EÜS3	EÜS4	EÜS5	$\Phi^+(\alpha)$
EÜS1	0	0	0	1	1	2
EÜS2	0	0	0.47	1	1	2.47
EÜS3	0	0	0	0	0	0
EÜS4	0	0	0	0	0	0
EÜS5	0	0	0	0	0	0
$\Phi^-(\alpha)$	0	0	0.47	2	2	

Tablo: 17 Tercih fonksiyonları

Birinci tip (Olağan)	$p(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 0 \\ 1, & x > 0 \end{cases}$	
İkinci tip (U-tipi)	$p(x) = \begin{cases} 0, & x \leq l \\ 1, & x > l \end{cases}$	
Üçüncü tip (V-tipi)	$p(x) = \begin{cases} x/m, & x \leq m \\ 1, & x \geq m \end{cases}$	
Dördüncü tip (Seviyeli)	$p(x) = \begin{cases} 0, & x \leq q \\ 1/2, & q < x \leq q+p \\ 1, & x > q+p \end{cases}$	
Beşinci tip (Lineer)	$p(x) = \begin{cases} 0, & x \leq s \\ (x-s)/r, & s < x \leq s+r \\ 1, & x \geq s+r \end{cases}$	
Altıncı tip (Gaussian)	$p(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 0 \\ 1 - e^{-x^2/2\sigma^2}, & x \geq 0 \end{cases}$	

