

ENERJİ PROJELERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ SÜRECİNDE ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YAKLAŞIMLARI VE TÜRKİYE UYGULAMALARI

Kazım Barış ATICI *
Aydın ULUCAN **

Öz

Enerji ve Çevre konularında karar analizi tekniklerinin kullanılması son yıllarda Yöneylem Araştırması literatüründe sıklıkla karşımıza çıkan bir durumdur. Yapılan çalışmalara bakıldığında, karar analizi tekniklerinin özellikle elektrik enerjisi planlamasında kullanıldığı ve bu alanda yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilginin gittikçe arttığı gözlemlenmektedir. Bu çalışma, karar analizinin güncel tekniklerinden olan ELECTRE (*Elimination and Choice Translating Reality*) ve PROMETHEE (*Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation*) yöntemlerinin Türkiye enerji sektöründe uygulanmasını amaçlamaktadır. Çalışmada, çeşitli hidroelektrik santral projelerinin ELECTRE yöntemi ile sıralandığı ve çeşitli rüzgar santrali projelerinin PROMETHEE tekniği kullanılarak sıralandığı iki adet uygulama bulunmaktadır. Çalışma, Türkiye enerji sektöründe genellikle karar vericinin yargısına yüksek derecede bağlı olan kararların, analitik yöntemler kullanılarak daha rasyonel bir şekilde alınabileceğini göstermek amacıyla yapılmıştır.

Anahtar Sözcükler: Enerji ve çevre, çok kriterli karar verme, ELECTRE, PROMETHEE, proje değerlendirilmesi.

Abstract

Multi Criteria Decision Analysis Approaches in Energy Projects Evaluation Process and Turkey Applications

The use of Decision Analysis techniques in Energy & Environment issues has been encountered often in Operations Research literature recently. When we look at the studies, it is seen that Decision Analysis techniques are especially used in electric energy planning. Also, it can be noticed that there is a growing interest on renewable energy resources. This study aims to apply two contemporary Decision Analysis techniques, ELECTRE (*Elimination and*

* Arş.Gör., Hacettepe Üniversitesi, İşletme Bölümü, Beytepe, ANKARA, kba@hacettepe.edu.tr

** Doç.Dr., Hacettepe Üniversitesi, İşletme Bölümü, Beytepe, ANKARA, aulucan@hacettepe.edu.tr

Choice Translating Reality) and PROMETHEE (*Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation*) in energy industry of Turkey. In the study, there are two applications. In the first application, various hydroelectric plant projects are ranked using ELECTRE method. The second application ranks multiple wind plant projects using PROMETHEE technique. The study aims to present that decisions in the Turkish energy industry which are highly dependent on the judgment of the decision maker, can be made in a more rational manner with the use of analytical techniques.

Keywords: Energy and environment, multi criteria decision analysis, ELECTRE, PROMETHEE, project evaluation.

GİRİŞ

Enerji ve Çevre konularının 1970'lerden günümüze artarak kazandığı önem, bu konularda yapılan çalışmalarda, performans ölçümünün yanısıra bir konuyu daha gündeme getirmiştir; "Enerji ve Çevre Kararları". Genel olarak, enerji ve enerji ile ilişkili çevre konuları karmaşık ve birçok amacın çeliştiği niteliktedir. Çoğunlukla, büyük miktarda belirsizlik, uzun zaman çerçevesi, sermaye yoğun yatırım ve herbiri farklı eğilimdeki birçok farklı ilgi grubunu içerirler (Zhou vd., 2006). Enerji ve Çevre konularının bu özelliklerinden dolayı, bu konularda alınacak kararlar da birden fazla amacın, kriterin veya niteliğin bir araya geldiği bir yapıdadır. Bu yapıları itibarıyla, Enerji ve Çevre kararları, Yönetim Bilimi ve Yöneylem Araştırması'nın konularından biri olan karar analizi'nin uygulama alanına girmektedir.

Karar analizi, işletmelerde karar verme sürecinde karşılaşılabilecek problemlerin matematiksel modeller, sayısal ve istatistiksel teknikler kullanılarak irdelenmesi yolu ile çeşitli hareket tarzları önermeye yönelik bir yöntem olarak tanımlanabilir. Karar analizi teknikleri işletmelerde, insan kaynakları yönetimi, finansal yönetim ve üretim yönetimi gibi birçok konuda uygulama alanı bulmaktadır. Enerji sektöründe faaliyet gösteren işletmeler için de bu durum söz konusudur. Enerji sektörü için 1960'lardan itibaren planlama, yatırım, teknoloji seçimi, proje değerlendirmesi ve çevre politikalarının belirlenmesi gibi birçok konuda karar analizi tekniklerinden faydalanılan çalışmalar yapılmıştır.

Huang (1995) tarafından gerçekleştirilen ve enerji ile çevre konularına karar analizi tekniklerinin uygulandığı çalışmaları inceleyen literatür araştırmasına göre bu konularda yapılmış 95 yayın karşımıza çıkmaktadır. 2004 yılına gelindiğinde Zhou yapılan bir literatür çalışması ise bu sayının neredeyse üçe katlanarak 252'ye ulaştığını göstermektedir. 1995 sonrası gerçekleşen bu artış Enerji ve Çevre konularının artan bir şekilde güncellik kazandığını ve

birçok disiplinde olduğu gibi Yöneylem Araştırması disiplininde de çokça yer almaya başladığını göstermesi açısından önemlidir.

Enerji ve Çevre konusunda yapılan karar analizi çalışmaları incelendiğinde uygulama alanları, kullanılan teknikler ve enerji tipleri açısından şu 3 temel sonuca varmak mümkündür:

1) Enerji ve enerji ile ilişkili çevre konusunda yapılan karar analizi çalışmalarının sayısı artmaktadır. Bu çalışmalar içinde, özellikle *Elektrik Enerjisi Planlaması*, *Çevre Politikası Analizi* ve *Çevresel Kontrol ve Yönetim* alanları öne çıkan alanlar olmaktadır.

2) Uygulanan teknikler içerisinde *AHP* uygulama kolaylığının da avantajı ile en yaygın kullanılan teknik olarak öne çıkmaktadır. Bunun dışında, Enerji ve Çevre konusunda yapılan *ELECTRE* ve *PROMETHEE* uygulamaları da dikkat çekici biçimde artmaktadır.

3) Enerji tipleri açısından en yaygın çalışma yapılan tip olarak *Elektrik Enerjisi* ön plana çıkmaktadır. Bunun yanısıra, *Yenilenebilir Enerji* türlerine (hidro enerji, güneş enerjisi, rüzgar enerjisi ve jeotermal enerji) yönelik çalışmaların sayısında belirgin bir artış görülmektedir.

Türkiye enerji endüstrisine bakıldığında, sektörün en büyük eksikliklerinden birinin planlama olduğu görülmektedir. Bu gerçek, 2007 yılında Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi tarafından enerji sektörünün 2005-2006 yıllarına ilişkin değerlendirilmesine yönelik hazırlanan raporda vurgulanmaktadır. Raporda, sektörün temel sorunlarından birinin sektör hizmetlerinin verimliliğini sağlayacak nitelikte doğru ve gerçek verilere dayalı bir planlama yaklaşımının benimsenmeyişi olduğu belirtilmektedir.

Bu çalışmada, yukarıdaki tespitler ışığında, Türkiye enerji sektöründe karar analizi tekniklerinin kullanılmasına yönelik olarak iki adet uygulama yapılmaktadır. Birinci uygulama, çeşitli hidroelektrik santral projelerinin değerlendirilmesine yöneliktir. İkinci uygulamada seçilen rüzgar santrali projeleri değerlendirilmektedir. Projeler çeşitli kriterler açısından *ELECTRE* ve *PROMETHEE* çok kriterli karar verme teknikleri kullanılarak sıralanmaktadır. Yukarıda bahsedilen üç temel tespit ışığında bakıldığında, çalışmada, enerji sektöründe *planlama* yapmaya yönelik olarak, enerji ile ilgili karar analizi literatüründe güncel olarak yaygınlaşan iki teknik (*ELECTRE&PROMETHEE*), *Yenilenebilir Enerji* türlerine (hidro&rüzgar) uygulanmaktadır. Çalışma, uygulama alanı ve kullanılan teknikler açısından literatürle paralellik göstermekte ve güncel bir uygulama katkısı sağlamaktadır. Ayrıca çalışma,

Türkiye enerji sektörü için ELECTRE ve PROMETHEE tekniklerinin uygulamaları açısından bir ilki teşkil etmektedir.

Yapılan gözlemlerde, Türkiye enerji sektöründe planlamaya yönelik olarak genellikle rasyo analizine dayalı skorlama yöntemlerinin kullanıldığı tespit edilmiştir. Bu noktadaki temel problem, değerlendirmenin büyük çoğunlukla karar vericinin yargılarına dayanıyor olmasıdır. Türkiye enerji sektöründeki planlama eksikliği göz önüne alındığında, gerek yeni projelerin değerlendirilmesi gerekse de ileriye yönelik politikaların üretilmesinde daha analitik bakış açılarının geliştirilmesi yerinde olacaktır. Çalışmanın bu noktadaki katkısı da, karar verme sürecine yönelik olarak daha analitik bir yaklaşım sunuyor olmasıdır.

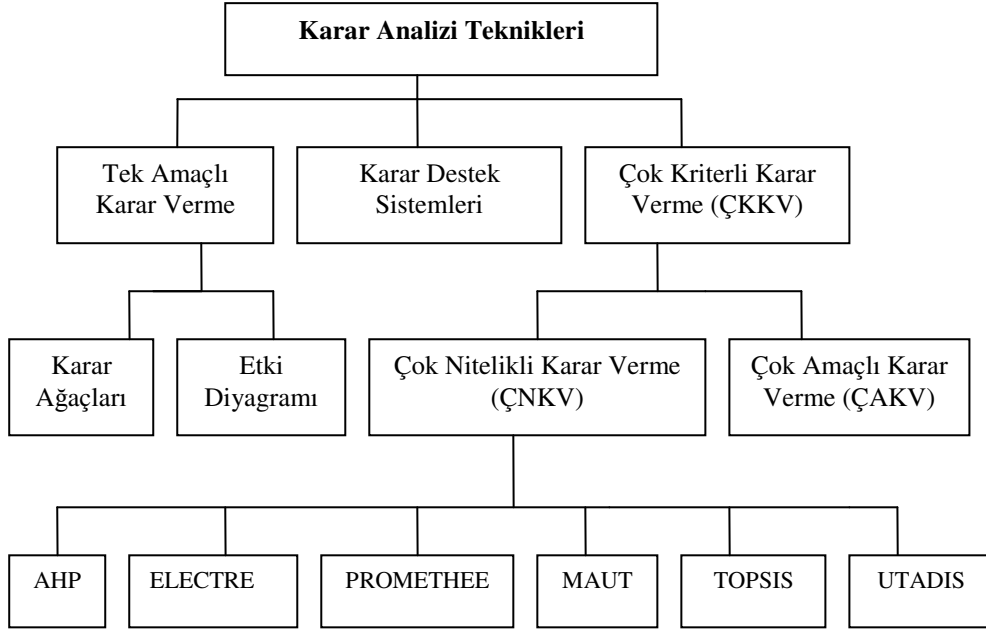
Çalışmanın birinci bölümünde, karar analizi tekniklerine ve enerji sektöründe yapılan karar analizi çalışmalarına genel bir bakış yer almaktadır. İkinci bölümde uygulamalarda kullanılacak teknikler olan ELECTRE ve PROMETHEE yöntemleri detaylı bir şekilde ele alınmakta ve her iki yöntemin işleyişi aşama aşama anlatılmaktadır. Üçüncü bölümde, hidroelektrik santral projelerinin ELECTRE yöntemi ile değerlendirildiği ilk uygulama dördüncü bölümde ise rüzgar santral projelerinin PROMETHEE tekniği kullanılarak değerlendirildiği ikinci uygulama yer almaktadır.

1. ENERJİ, ÇEVRE VE KARAR ANALİZİ

Karar analizi teknikleri genel olarak Tek Amaçlı Karar Verme, Karar Destek Sistemleri ve Çok Kriterli Karar Verme olmak üzere 3 grupta incelenebilir. Karar analizi tekniklerinin sınıflandırılması Şekil 1'de özetlenmektedir.

Çok Kriterli Karar Verme, karar analizinin en yaygın kullanılan yöntemlerini içeren dalıdır. Birden fazla karar kriterinin değerlendirilmesi ile alternatifler arasından seçim yapılmasını, alternatiflerin gruplanmasını veya sıralanmasını sağlayan yöntemler içerir. Şekil 1'de de görüldüğü üzere Çok Kriterli Karar Verme, Çok Amaçlı Karar Verme ve Çok Nitelikli Karar Verme olmak üzere 2 ayrı kola ayrılmaktadır. Bu kollardan Çok Nitelikli Karar Verme tekniklerine örnek olarak, AHP (*Analytic Hierarchy Process*), ELECTRE (*Elimination and Choice Translating Reality*), PROMETHEE (*Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation*), MAUT (*Multi-attribute Utility Theory*), TOPSIS (*Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*) ve UTADIS (*Utilities Additives Discriminantes*) gibi yöntemler sıralanmaktadır.

Şekil 1. Karar Analizi Tekniklerinin Sınıflandırılması



Kaynak : Zhou vd. (2006)

Enerji ve Çevre konusu karar analizi tekniklerinin sıklıkla uygulama alanı bulunduğu bir konudur. Karar analizinin Enerji ve Çevre konusuna uygulandığı çalışmalar, uygulama alanları itibariyle 6 ayrı başlık altında incelenebilir (Zhou vd., 2006):

1.1. Enerji Politikaları Analizi

Enerji politikalarının üretilmesi ve geliştirilmesine yol göstermek amacıyla, enerji sistemlerinin değerlendirilmesi ile ilgilenen alandır. Bu alan, ulusal veya bölgesel enerji sistem değerlendirmesi, enerji korunumu stratejileri, enerji müzakereleri ve enerji kaynak dağıtım gibi konuları kapsar. Bu alanda yapılmış çalışmalara örnek olarak; Diakoulaki vd. (1999), Georgopoulou vd. (1997), Wang ve Feng (2002), Kalu (1998) gibi bölgesel, ulusal veya uluslararası düzeyde çeşitli çalışmalar sıralanabilir.

1.2. Elektrik Enerjisi Planlaması

Elektrik üretimi, iletimi ve dağıtımı sırasındaki stratejik planlama konularıyla ilgilenen alandır. Elektrik üretimi büyüme planlaması, elektrik iletimi büyüme planlaması ve elektrik dağıtım planlaması gibi konuları içerir. Bu alanda yapılmış çalışmalara örnek olarak; Mills vd. (1996), Linares (2002), Voropai ve Ivanova (2002) gibi çalışmalar verilebilir.

1.3. Teknoloji Seçimi ve Proje Değerlendirmesi

Enerji teknolojilerinin değerlendirilmesini ve seçimini, enerji ile ilgili yatırım projelerinin değerlendirilmesini kapsayan alandır. Bu alanda yapılmış bazı çalışmalara örnek olarak; Goumas vd. (1999), Haralambopoulos ve Polatidis (2003), Beccali vd. (2003) verilebilir.

1.4. Enerji Üretimi ve Yönetimi

Enerji fiyatlandırması, elektrik santrali yerleşimi ve enerji şirketlerinin yönetimi gibi operasyonel konularla ilgilenen alandır. Enerji kaynakları ile ilgili bütün çalışmaları içine alır. Ayrıca, elektrik tesislerinin yönetimine yönelik geliştirilen Karar Destek Sistemleri de bu alanın konusudur. Dunning vd. (2001), Dargam ve Perz (1998), Pan vd. (2000) sayılabilir.

1.5. Enerji İlişkili Çevre Politikaları Analizi

İklim politikalarının değerlendirilmesi, sera gazları ve hava kirliliği kontrol politikaları gibi enerji ile ilişkili çevre problemlerinin politikaları ile ilgilenen alandır. Bu alandaki çalışmalara örnek olarak; Hobbs vd. (1997), Georgopoulou vd. (2003), Loulou ve Kanidia (1999), Vaillancourt ve Waub (2004) gibi çalışmalar verilebilir.

1.6. Enerji İlişkili Çevresel Kontrol ve Yönetim

Katı atık yönetimi, atık depolama alanlarının değerlendirilmesi, kalkınma projelerinin çevresel etki analizi gibi enerji sektörünün çevreye olan etkilerini kontrol etmeye ve yönetmeye yönelik konuları ile ilgilenen alandır. Bu alanda yapılan çalışmalara örnek olarak; Hokkanen ve Salminen (1997), Lahdelma vd. (2002), Salminen vd. (1998), Ramanathan (2001) gibi çalışmalar verilebilir.

Enerji ve Çevre konusunda karar analizi tekniklerinin kullanıldığı çalışmalara bakıldığında en yoğunlukla kullanılan tekniklerin Çok Kriterli Karar Verme teknikleri olduğu görülmektedir. Çok Kriterli Karar Verme yöntemlerinden AHP, ELECTRE, PROMETHEE, MAUT ve Çok Amaçlı Karar

Verme yöntemleri yaygınlıkla kullanılan tekniklerdir. Çok Nitelikli Karar Verme teknikleri arasında sayılan, TOPSIS tekniğinin Enerji ve Çevre çalışmalarında kendine pek uygulama alanı bulamadığı göze çarpmaktadır (Zhou vd., 2006).

Enerji ve Çevre konusunda yapılan karar analizi uygulamalarına bakıldığında yapılan çalışmalar birçok enerji tipi açısından da birçok alanda uygulanmıştır. Nükleer enerji, yenilenebilir enerji türleri (hidro enerji, güneş enerjisi, rüzgar enerjisi ve jeotermal enerji), elektrik enerjisi, kömür, petrol ve doğalgaz bu tipler arasında sayılabilir. Yapılan çalışmalarda en çok payı elektrik enerjisi alırken, yenilenebilir enerji tipleri konusundaki çalışmaların sayısında önemli bir artış kaydedilmektedir.

2. ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME TEKNİKLERİ

Çok kriterli karar verme yaklaşımının güncel tekniklerinden olan ELECTRE (*Elimination and Choice Translating Reality*) ve PROMETHEE (*Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation*) yöntemleri detaylı olarak bu bölümde açıklanmaktadır.

2.1. ELECTRE Yöntemi

Çok Nitelikli Karar Verme teknikleri arasında sıralanan yöntemlerden bir diğeri olan ELECTRE (*Elimination and Choice Translating Reality*), Türkçe'ye "Uyum – Uyumsuzluk Yöntemi" olarak çevrilebilir. Benayoun (1966) tarafından yapılan çalışmadan köklerini alan ELECTRE yönteminin asıl ortaya çıkışı Roy (1968) tarafından yapılan çalışmayla olmuştur (Figueira vd., 2005). Temel olarak, çeşitli alternatiflerin, belirlenen kriterlere uyum ya da uyumsuzluklarının her bir kriter için belirlenen eşik değerleri aracılığıyla değerlendirildiği bir teknik olarak ortaya çıkmıştır. Zaman içerisinde, yapılan uygulamalardaki ihtiyaca göre evrimleşen yöntemin, alternatifler arasında seçim yapmaya, alternatifleri sıralamaya veya alternatifleri gruplamaya yönelik olarak çeşitli türleri geliştirilmiştir. ELECTRE yönteminin enerji, finans, proje seçimi, ulaştırma, tarım ve askeri alanlar gibi birçok uygulama alanı mevcuttur.

ELECTRE yönteminin çeşitli amaçlara yönelik olarak geliştirilmiş 7 adet türünden söz etmek mümkündür. Bunlardan, alternatifler arasından seçim yapmak amacıyla kullanılanları; ELECTRE I, ELECTRE IV ve ELECTRE IS teknikleridir. Alternatiflerin sıralanması için ise ELECTRE II, ELECTRE III ve ELECTRE IV yöntemleri mevcuttur. Gruplama amacına yönelik olarak ise, ELECTRE TRI tekniğinden söz etmek mümkündür (Figueira vd., 2005). Bu değişik ELECTRE yöntemleri arasından, Roy (1978) tarafından geliştirilen ve

alternatifler arasında sıralama yapmak amacıyla kullanılan ELECTRE III tekniği, Enerji ve Çevre problemlerinde en çok uygulama alanı bulan ELECTRE türü olarak karşımıza çıkmaktadır.

Çok kriterli karar verme problemleri genel olarak bir alternatif kümesi $A = (a, b, c, \dots, n)$ ve bir kriter seti (g_1, g_2, \dots, g_m) temel alınarak modellenir. Bu tip problemlerde, $g_j(a_i)$ ifadesi, $a \in A$ alternatifinin g_j kriterine göre olan performansını temsil etmektedir (Hokkanen ve Salminen, 1997).

ELECTRE III yönteminde her bir kriter ile ilişkili tercih, farksızlık ve veto olmak üzere üç tip eşik değeri kullanılır. Bu eşikler alternatifler arasında üstünlük sıralaması yapmaya yönelik olarak kullanılacak uyumluluk ve uyumsuzluk matrislerinin oluşturulmasında yararlanılan değerlerdir. Bu değerler, sabit sayılar olarak belirlenebileceği gibi, alternatiflerin kriterlere göre performanslarına $(g_j(a_i))$ bağlı birer fonksiyon olarak da tanımlanabilir. Tercih eşiği $p_j(g_j^*)$, farksızlık eşiği $q_j(g_j^*)$ ve veto eşiği $v_j(g_j^*)$ olarak ifade edilmektedir. Model oluşturulurken eşik değerleri ($v \geq p \geq q$ olacak şekilde) ve her bir kriterin önemini gösteren ağırlık değeri w_j karar verici tarafından belirlenir. Her alternatifin, kriterler açısından performansları saptandıktan ve kriterlerin eşik değerleri ile ağırlıkları belirlendikten sonra ELECTRE III yöntemi ile alternatiflerin sıralanması süreci aşağıdaki aşamalardan oluşmaktadır (Rogers, 2000):

2.1.1. Uyumluluk Matrislerinin Oluşturulması

Her alternatif çifti (a, b) 'nin her bir kriter açısından uyumluluk indeksleri aşağıda ifade edilen uyumluluk fonksiyonu $c_j(a, b)$ yardımıyla elde edilir:

$$c_j(a, b) = \begin{cases} 1, & \text{eğer } g_j(a) + q_j(g_j(a)) \geq g_j(b) \\ 0, & \text{eğer } g_j(a) + p_j(g_j(a)) \leq g_j(b) \\ \frac{g_j(a) - g_j(b) + p_j(g_j(a))}{p_j(g_j(a)) - q_j(g_j(a))}, & \text{aksi halde.} \end{cases} \quad (1)$$

(1)'de $c_j(a,b)$ uyumluluk fonksiyonu gösterilmektedir. $g_j(a)$ a alternatifinin g_j kriterindeki performansını, $g_j(b)$ ise b alternatifinin g_j kriterindeki performansını ifade etmektedir. p_j ve q_j sırasıyla tercih ve farksızlık eşikleridir. Eğer a alternatifinin performansı, b alternatifinin performansı ile farksızlık eşığının farkından büyükse uyumluluk indeksi 1 değerini alacaktır. Eğer, a alternatifinin performansı ile tercih eşığının toplamı, b alternatifinin performansından küçük ise uyumluluk indeksi 0 değerini almaktadır. Bunların dışındaki hallerde ise, uyumluluk indeksi performans değerleri ve eşiklerle ifade edilen doğrusal bir denklem şeklinde ifade edilmektedir.

Kriter kümesinde yer alan her bir g_j kriteri için alternatifler (1)'deki fonksiyon yardımıyla ikili olarak karşılaştırılıp, her bir kriter için $n \times n$ boyutunda birer uyumluluk matrisi elde edilir.

2.1.2. Kümülatif Uyumluluk Matrisinin Oluşturulması

Bir önceki aşamada elde edilen uyumluluk matrislerinden yararlanılarak $n \times n$ boyutunda bir kümülatif uyumluluk matrisi aşağıdaki gibi elde edilir:

$$C(a,b) = \frac{1}{W} \sum_{j=1}^n w_j c_j(a,b) \quad (2)$$

$$W = \sum_{j=1}^n w_j \quad (3)$$

Kümülatif uyumluluk matrisi, bütün kriterler için oluşturulmuş ve her alternatifin birbiriyle kıyaslandığı $n \times n$ boyutundaki m adet matrisin tek bir matrise indirgenmiş halidir. Her bir kriter için oluşturulan matrislerdeki $c_j(a,b)$ değerleri (2)'daki gibi ağırlıklandırılıp toplanarak $n \times n$ boyutunda ve alternatiflerin $C_j(a,b)$ değerlerinden oluşan kümülatif bir uyumluluk matrisi elde edilmektedir. (2)'da yer alan W bütün kriterlerin ağırlıklarının toplamını ifade etmektedir (bkz. (3)). Kümülatif uyumluluk matrisi 0 ile 1 arasında değerlerden oluşmaktadır. 0 değeri, bütün kriterler için a alternatifinin b alternatifinden kötü olduğunu, 1 değeri ise hiçbir kriter açısından b alternatifinin a alternatifinden iyi olmadığını göstermektedir.

2.1.3. Uyumsuzluk Matrislerinin Oluşturulması

Kümülatif uyumluluk matrisinin oluşturulmasından sonra, her bir kriter için yine alternatiflerin ikili olarak karşılaştırıldığı uyumsuzluk matrisleri elde edilir. Uyumsuzluk matrislerinde ikili karşılaştırma (4)'te verilen uyumsuzluk indeksi fonksiyonu yardımı ile yapılır. $D_j(a,b)$ olarak ifade edilen uyumsuzluk indeksinin hesaplanmasında tercih ve veto eşiklerinden yararlanılmaktadır. Eğer b alternatifinin performansı ile a alternatifinin performansı arasındaki fark tercih eşiğinden küçükse uyumsuzluk indeksi 0 değerini alır. Eğer b alternatifinin performansı ile a alternatifinin performansı arasındaki fark veto eşiğinden büyükse fonksiyon 1 değerini alır. Bu da ele alınan kriter açısından b alternatifinin a alternatifinden iyi olduğunu göstermektedir. Bu iki durumun aksi halinde, uyumluluk indeksinin elde edilmesinde olduğu gibi doğrusal bir fonksiyondan yararlanılır. Bütün kriterler açısından, alternatiflerin uyumsuzluk fonksiyonu kullanılarak kıyaslanması ile elde edilen uyumsuzluk indeksleri ile $n \times n$ boyutunda m adet uyumsuzluk matrisi oluşturulur.

$$D_j(a,b) = \begin{cases} 0, \text{ eğer } g_j(b) \leq g_j(a) + p_j(g_j(a)) \\ 1, \text{ eğer } g_j(b) \geq g_j(a) + v_j(g_j(a)) \\ \frac{g_j(b) - g_j(a) - p_j(g_j(a))}{v_j(g_j(a)) - p_j(g_j(a))}, \text{ aksi halde.} \end{cases} \quad (4)$$

2.1.4. Kredibilite Matrisinin Oluşturulması

Uyumluluk ve uyumsuzluk indeksleri, karar vericinin bir alternatifi diğerine tercih etmedeki tatmin ya da tatminsizliğinin ölçütü olarak görülebilir. Sıralama, alternatiflerin uyumluluk indekslerinin yer aldığı uyumluluk matrisi ile her bir kriter için oluşturulan uyumsuzluk matrislerinden yararlanılarak oluşturulan kredibilite matrisi yardımı ile yapılır. Kredibilite matrisi (5)'teki fonksiyon yardımı ile elde edilir:

$$S(a,b) = \begin{cases} C(a,b), \text{ eğer } D_j(a,b) \leq C(a,b), \forall j \\ C(a,b) \prod_{j \in J(a,b)} \frac{1 - D_j(a,b)}{1 - C(a,b)}, \text{ aksi halde.} \end{cases} \quad (5)$$

(5)'te $J(a,b)$ kümesi $D_j(a,b) > C(a,b)$ koşulunu sağlayan kriterleri temsil etmektedir. Kredibilite matrisi, kümülatif uyumluluk matrisindeki değerler ile her bir kriter için oluşturulmuş m tane uyumsuzluk matrisindeki değerlerin birbiri ile kıyaslanması sonucu elde edilen $n \times n$ boyutunda bir matristir. Bir (a,b) ikilisi için uyum matrisi değeri bütün uyumsuzluk matrislerindeki değerlerden büyükse, bu ikilinin kredibilite matrisi değeri, kümülatif uyum matrisi değerine eşit olmaktadır. Aksi halde, kredibilite matris değeri (5)'te verilen doğrusal denklem yardımı ile hesaplanır. Her bir alternatif ikilisi için elde edilen kredibilite skorları, alternatiflerin sıralanması için kullanılan bir distilasyon süreci için girdi oluştururlar. Başka bir deyişle, elde edilen kredibilite matrisi bir distilasyon sürecine sokularak alternatifler sıralanır.

2.1.5. Distilasyon Süreci ve Alternatiflerin Sıralanması

Alternatifleri sıralamak için kullanılan distilasyon süreci, her biri farklı şekilde oluşturulan iki ön sıralama prosedüründen oluşmaktadır. İlk ön sıralama, en iyi alternatiften en kötü alternatife doğru azalan bir yapıdadır. Bu sürece azalan distilasyon adı verilir ve Z_1 şeklinde ifade edilir. İkinci ön sıralama ise en kötü alternatiften en iyi alternatife doğru artan yapıdadır. Buna da artan distilasyon denmektedir ve gösterimi Z_2 şeklindedir. Elde edilen sıralamaların kesişimi ile her iki ön sıralama ile tutarlı bir yapıda olan son sıralama $Z = Z_1 \cap Z_2$ şeklinde oluşturulur (Figueira vd., 2005).

Distilasyon süreci, öncelikle bir önceki aşamada elde edilen kredibilite matrisinin en büyük değerinin bulunması ile başlar. Kredibilite matrisinde yer alan en büyük değer λ_0 olarak belirlenir. Sıralamaların yapılmasında belirleyici rol oynayacak bir değişken olan λ_1 değişkeni ise; λ_0 değeri ile ayırım eşiği değişkeni farkından küçük en büyük kredibilite matrisi değeri olarak tanımlanır (Rogers, 2000):

$$\lambda_1 = \max_{S(a,b) < \lambda_0 - s(\lambda_0)} S(a,b) \quad (6)$$

$s(\lambda_0)$ ayırım eşiğini ifade etmektedir. ELECTRE III'te ayırım eşiği şu şekilde hesaplanmaktadır:

$$s(\lambda) = 0,3 - 0,15\lambda \quad (7)$$

λ_1 hesaplandıktan sonra alternatiflerin kredibilite matrisindeki değerleri, bu değerle kıyaslanarak her alternatif için güçlülük ve zayıflık skorları elde edilir. Eğer bir (a, b) ikilisinin kredibilite matrisindeki skoru λ_1 değerinden büyükse, a alternatifi +1 güçlülük skoru elde eder. Eğer kredibilite matrisindeki değer λ_1 değerinden küçük ise bu a alternatifi için -1 zayıflık skoru anlamına gelir. Alternatiflerin toplam skorları bu aşamadaki güçlülük ve zayıflıklarının toplanması ile elde edilir.

Azalan distilasyon sürecinde, toplam skoru en yüksek olan alternatif seçilerek ilk sıraya konur. Daha sonra, geriye kalan alternatifler için yeni λ_0 ve λ_1 değerleri yukarıda olduğu gibi hesaplanır ve süreç tekrarlanır. Her aşamada en yüksek skoru elde eden alternatif sıralamaya yerleştirilerek analizden çıkarılır ve süreç geri kalan alternatifler için uygulanır. Artan distilasyonda, azalan distilasyondan farklı olarak, toplam skoru en küçük olan alternatif seçilerek sıraya konur. Sıraya konan alternatif çıkarıldıktan sonra analiz geri kalanlar için devam ettirilerek ilerlenir.

Azalan veya artan distilasyon yapılırken, skoru aynı olan alternatiflerin varlığı durumunda uygulanabilecek ikinci bir adım vardır. Bu adımda, bu kez $\lambda_1 - s(\lambda_1)$ farkı alınarak, bu farktan küçük en büyük değer λ_2 olarak atanır ve yukarıda λ_1 ile gerçekleştirilen analiz bu kez bu değer ile gerçekleştirilir. İkinci adımın sonunda, aynı skoru elde eden alternatiflerin varlığının devamı durumunda bu alternatifler sıralamada aynı sıraya yerleştirilir.

Azalan ve artan distilasyon süreçleri uygulandıktan sonra elde edilen iki ön sıralama birbirleri ile tutarlı bir şekilde kesiştirilerek son bir sıralama elde edilir. Böylece, ELECTRE III yöntemi ile alternatiflerin sıralanması işlemi tamamlanmış olur.

2.2. PROMETHEE Yöntemi

Brans vd. (1986) tarafından ortaya atılan PROMETHEE (*Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation*) tekniği diğer Çok Kriterli Karar Verme yöntemlerine oranla kavraması ve uygulaması daha kolay olan bir sıralama yöntemidir (Goumas ve Lygerou, 1999). Diğer karar analizi yöntemlerinde olduğu gibi PROMETHEE tekniğinde de alternatiflerin çeşitli kriterler açısından değerlendirilerek sıralanması söz konusudur. Alternatifler, kriterler açısından değerlendirilirken her kriterin yapısına uygun olarak seçilen tercih fonksiyonlarından yararlanır.

PROMETHEE tekniği bankacılık, işgücü planlaması, yatırım kararları, sağlık, ilaç ve kimya endüstrileri gibi birçok alana uygulanmıştır (Brans ve Mareschal, 2005). ELECTRE yönteminde olduğu gibi çeşitli ihtiyaçlara göre PROMETHEE yönteminde yeni türleri geliştirilmiştir. Literatürde en yaygın kullanılan türleri, bir kısmi sıralama yöntemi olan PROMETHEE I ve bir tam sıralama yöntemi olan PROMETHEE II türleridir. Ayrıca, Macharis vd. (1998) tarafından yapılan çalışma ile PROMETHEE yöntemi birden fazla karar vericinin bulunması durumunda grup kararlarının verilebileceği bir yapıya büründürülerek PROMETHEE – GDSS (Grup Karar Destek Sistemi) geliştirilmiştir.

Bütün Çok Kriterli Karar Verme yöntemlerinde olduğu gibi PROMETHEE tekniğinde de $A = (a, b, c, \dots, n)$ şeklinde bir alternatif kümesi ve g_1, g_2, \dots, g_m şeklinde bir kriter seti mevcuttur. $g_j(a_i)$ ifadesi, $a \in A$ alternatifinin g_j kriterine göre olan performansını ifade etmektedir. PROMETHEE tekniğinin uygulanmasında ilk aşama, m tane kriter ve n tane alternatif için, alternatiflerin kriterlere göre olan performanslarını gösteren $m \times n$ boyutundaki değerlendirme matrisinin oluşturulmasıdır. Alternatiflerin kriter değerleri belirlendikten sonra, her bir kriterin değerlendirme sürecindeki önemini belirten ağırlıkları (w_1, w_2, \dots, w_m) belirlenir. Alternatiflerin kriter değerleri ve kriterlerin ağırlıkları belirlendikten sonra PROMETHEE tekniği ile alternatiflerin sıralanması aşağıdaki aşamalardan oluşmaktadır:

2.2.1. Kriterlerin Fonksiyon Tiplerinin ve Parametrelerinin Belirlenmesi

PROMETHEE yönteminde gerçekleştirilmesi gereken ilk aşama, her bir kriter için, alternatiflerin ikili olarak karşılaştırılmasında kullanılmak üzere bir tercih fonksiyonu tipinin ve bu fonksiyon tipi için gereken parametre değerlerinin belirlenmesidir. Yöntemin uygulanmasında kullanılan 6 tip tercih fonksiyonu vardır. Bu fonksiyon tipleri, parametreleri ve grafik gösterimleri Tablo 1’de verilmiştir.

2.2.2. Alternatiflerin Belirlenen Tercih Fonksiyonlarına Göre İkili Olarak Karşılaştırılması

Her bir kriter için bir tercih fonksiyonu tipi ve bu fonksiyon tipi için öngörülen parametre değeri belirlendikten sonra, alternatifler ikili olarak (8)’deki fonksiyon kullanılarak karşılaştırılır ve her ikilinin, her bir kriter için tercih fonksiyonu değeri $P_j(a, b)$ elde edilir. (a, b) alternatif ikilisi için,

$g_j(a)$ değerinin $g_j(b)$ değerinden küçük olması durumunda $P_j(a,b)$ değeri 0 olacaktır. Eğer $g_j(a)$ değeri, $g_j(b)$ değerinden büyükse, $P_j(a,b)$ değeri, hangi kriter için değerlendirme yapılıyorsa (j), o kriter için seçilmiş olan tercih fonksiyonunun, $g_j(a) - g_j(b)$ için alacağı değeri alır.

$$P_j(a,b) = \begin{cases} 0, & g_j(a) \leq g_j(b) \\ p(g_j(a) - g_j(b)), & g_j(a) > g_j(b) \end{cases} \quad (8)$$

(8)'de p , kriter için belirlenen tercih fonksiyonunu, $P_j(a,b)$ ise ikililerin tercih fonksiyonu değerlerini ifade etmektedir. Böylece, bütün kriterler için her alternatif ikilisine ait 0 ile 1 arasında m tane $P_j(a,b)$ değeri elde edilir.

2.2.3. Tercih İndekslerinin Hesaplanması

Bir önceki aşamada, her alternatif ikilisi için kriter sayısı kadar tercih fonksiyonu değeri $P_j(a,b)$ elde edilmişti. Bu aşamada, her kriter için hesaplanmış $P_j(a,b)$ değerleri, kriterlerin ağırlıkları ile çarpılıp toplanarak her (a,b) ikilisi için tercih indeksi değerini ifade eden $\pi(a,b)$ değeri hesaplanır.

$$\pi(a,b) = \sum_{j=1}^m w_j P_j(a,b) \quad (9)$$

$\pi(a,b)$ değerlerinin hesaplanması ile alternatiflerin ikili karşılaştırmalarının yer aldığı $n \times n$ boyutunda bir karşılaştırma matrisi elde edilmiş olur. $\pi(a,b)$ değerinin 0 değerine yakın olması a 'nın b 'ye göre zayıf bir tercih olduğunu, $\pi(a,b)$ 'nin 1'e yakın olması ise a 'nın b 'ye göre güçlü bir tercih olduğunu ifade etmektedir.

2.2.4. Pozitif ve Negatif Üstünlüklerin Hesaplanması

Her alternatif ikilisi için tercih indeksi değerleri hesaplandıktan sonra, bu değerlerden yararlanılarak her alternatifin pozitif ve negatif üstünlükleri saptanır. Pozitif ve negatif üstünlükler, alternatiflerin ikili karşılaştırmalarda ne oranda baskın tercih ve ne oranda zayıf tercih olarak yer aldığını gösterir. a

alternatifinin pozitif üstünlük skoru, $\Phi^+(a)$ olarak ifade edilir ve a 'nın birinci eleman olarak yer aldığı ikililerin tercih indeksleri toplamına eşittir. Negatif üstünlük skoru ise $\Phi^-(a)$ olarak ifade edilir ve a alternatifinin ikinci eleman olarak yer aldığı ikililerin tercih indeksleri toplamıdır. Pozitif ve negatif üstünlüklerin hesaplanması (10) ve (11)'de verilmiştir (Dağdeviren ve Eraslan, 2008):

$$\Phi^+(a) = \sum \pi(a, x) \quad x = b, c, d, \dots, n \quad (10)$$

$$\Phi^-(a) = \sum \pi(x, a) \quad x = b, c, d, \dots, n \quad (11)$$

2.2.5. PROMETHEE I – Kısmi Sıralama

Her alternatif için elde edilen pozitif ve negatif üstünlük skorları karşılaştırılarak, alternatiflerin birbirlerine göre tercih durumları, birbirinden farksız olan alternatifler ve birbirleri ile karşılaştırılmayacak alternatifler belirlenir. Analizin bu aşaması PROMETHEE I olarak isimlendirilir ve alternatiflerin kısmen sıralanmasını sağlar. PROMETHEE I ile sıralama yapılırken dikkate alınan koşullar aşağıda sıralanmaktadır (Dağdeviren ve Eraslan, 2008):

Eğer aşağıdaki koşullardan herhangi biri sağlanıyor ise a alternatifi b alternatifine tercih edilir:

- $\Phi^+(a) > \Phi^+(b)$ ve $\Phi^-(a) < \Phi^-(b)$
- $\Phi^+(a) > \Phi^+(b)$ ve $\Phi^-(a) = \Phi^-(b)$
- $\Phi^+(a) = \Phi^+(b)$ ve $\Phi^-(a) < \Phi^-(b)$

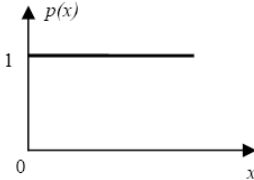
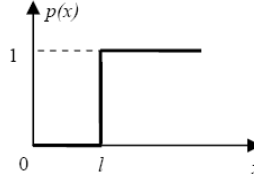
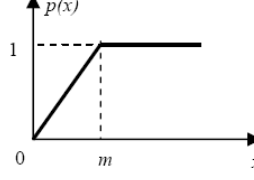
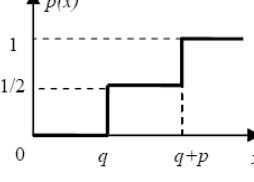
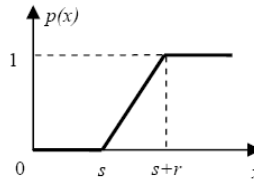
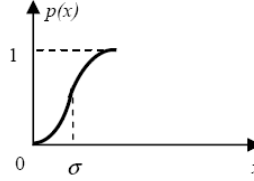
Eğer aşağıdaki koşul sağlanıyor ise a alternatifi ile b alternatifi farksızdır:

- $\Phi^+(a) = \Phi^+(b)$ ve $\Phi^-(a) = \Phi^-(b)$

Eğer aşağıdaki koşullardan herhangi biri sağlanıyor ise a alternatifi ile b alternatifi karşılaştırılmaz:

- $\Phi^+(a) > \Phi^+(b)$ ve $\Phi^-(a) > \Phi^-(b)$
- $\Phi^+(a) < \Phi^+(b)$ ve $\Phi^-(a) < \Phi^-(b)$

Tablo 1 – PROMETHEE Tercih Fonksiyonu Tipleri

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

Kaynak: Dağdeviren ve Eraslan (2008).

2.2.6. PROMETHEE II – Tam Sıralama

PROMETHEE II ile yukarıda elde edilen pozitif ve negatif üstünlük skorları kullanılarak alternatiflerin tam sıralaması elde edilir. Bu aşamada, pozitif ve negatif üstünlük skorlarının farkı alınarak her alternatifin net üstünlük skoru elde edilir ve sıralama bu net üstünlük skorlarına göre yapılır. $\Phi(a)$ alternatif a için net üstünlük skorunu ifade etmektedir:

$$\Phi(a) = \Phi^+(a) - \Phi^-(a) \quad (15)$$

(16)'da alternatiflerin net üstünlük skorlarının özellikleri gösterilmektedir. Net üstünlük skorları -1 ile 1 arasında değerlere sahiptir ve bütün alternatiflerin net üstünlük skorları toplamı 0'a eşittir.

$$-1 \leq \Phi(a) \leq 1, \quad \sum_{x \in A} \Phi(a) = 0 \quad (16)$$

Elde edilen net üstünlük skorlarına göre alternatifler sıralanarak PROMETHEE II aşaması tamamlanmış olur. PROMETHEE uygulamalarında hem PROMETHEE I, hem de PROMETHEE II ile elde edilen sonuçların karar vericiler tarafından dikkate alınması esastır. Tam sıralama karar vermede tek başına yeterli gibi görünse de, bazı alternatifler arasında, kısmi sıralama aşamasında ortaya çıkabilecek karşılaştırılmaz ilişkisi de, karar vericiye son karara ulaşmasında yardımcı olabilmektedir (Brans ve Mareschal, 2005).

3. TÜRKİYE ENERJİ SEKTÖRÜ UYGULAMALARI

3.1. Hidroelektrik Santral Projelerinin Değerlendirilmesi

Karar analizi teknikleri ile yapılan bu ilk uygulamada, seçilen hidroelektrik santral projeleri, çeşitli kriterler açısından ELECTRE III tekniği kullanılarak değerlendirilmiştir. Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü'nden elde edilen bilgiye göre, Türkiye'de 2007 yılı itibari ile hazırlanmış 256 adet hidroelektrik santral projesi bulunmaktadır. Bu projeler "kesin seviyesi hazır", "master planı hazır", "fizibilite raporu hazır" veya "ilk etüdü" hazır olmak üzere çeşitli seviyelerdedir. Bu çalışmada, çeşitli yıllarda hazırlanmış, çeşitli seviyelerdeki projeler arasından, rayiç yılı 2006 olan ve ilk etüdü hazır 13 adet hidroelektrik santral projesi seçilerek uygulama yapılmıştır. Bu santral projeleri, yer aldıkları iller ve nehirler ile kriter değerleri Tablo 2'de gösterilmektedir. Uygulamada, bahsedilen 13 adet hidroelektrik santral projesi, Tablo 3'te listelenen kriterler ele alınarak ELECTRE III yöntemi ile sıralanmakta ve sonuçlar yorumlanmaktadır.

Tablo 2. Hidroelektrik Santral Uygulamasında Yer Alan Santraller

	Proje Adı	İli	Nehir	Kurulu Güç	Yıllık Ort. Enerji	Güvenilir Enerji	Brüt Düşü	Ortalama Debi	Yatırım Bedeli (10 ³ YTL)
1	Alata	Antalya	Kayadibi	0,97	3,87	0,49	105	0,8	1666
2	Asarcık	Antalya	Asarcık	5,26	15,15	0,49	105	4,35	4299
3	Erçel	Mersin	Erçel	3,53	12,36	0,31	205	1,12	4422
4	Göngöle	Antalya	Değirmen	1,75	8,07	0,23	115	1,1	2620
5	Kamışlı-1	Adana	Körkün	4,30	20,34	3,78	70	5,55	7617
6	Kamışlı-2	Adana	Körkün	15,54	79,01	13,90	230	5,85	36921
7	Karakız-1	Mersin	Karakız	1,51	5,12	0,45	350	0,6	2668
8	Karakız-2	Mersin	Karakız	1,73	5,83	0,52	285	0,8	2588
9	Karakız-3	Mersin	Karakız	1,18	4,13	0,41	165	1,05	1783
10	Karakız-4	Mersin	Karakız	3,49	12,07	1,05	225	2,24	4714
11	Ketir	Antalya	Fariske	8,40	31,13	3,38	195	3,0	6841
12	Üçtaş	Mersin	Karaoğlan	3,25	11,28	0,29	355	0,96	4066
13	Yassıtaş	Mersin	Yassıtaş	2,65	9,03	0,22	355	0,7	3444

Tablo 3. Hidroelektrik Santral Uygulaması Kriterleri

	Kriter	Birimi
Kriter 1	Kurulu Güç	MegaWatt (MW)
Kriter 2	Yıllık Ortalama Enerji	Giga Watt – saat (GWh)
Kriter 3	Güvenilir Enerji	Giga Watt – saat (GWh)
Kriter 4	Brüt Düşü	Metre (m)
Kriter 5	Ortalama Debi	Metreküp/saniye (m ³ /s)
Kriter 6	Yatırım Bedeli	10 ³ YTL

Tablo 3'te görüldüğü üzere uygulamada 6 adet kriter kullanılmıştır. Bu kriterlerden kurulu güç, yıllık ortalama enerji ve güvenilir enerji kriterleri elektrik üretimi ile ilgili kriterlerdir. Brüt düşü ve ortalama debi kriterleri, hidroelektrik santrallerin üzerine kurulacağı akarsuların teknik özelliklerini yansıtmaktadır. Yatırım bedeli ise maliyet kriteri olarak analizde yer almaktadır. Kriterler incelendiğinde, en iyi hidroelektrik santral projesi seçim probleminin çok kriterli bir karar problemi yapısında olduğu kolaylıkla gözlenebilir. Örnek vermek gerekirse, yıllık ortalama enerji üretim potansiyeli (Kriter 2), en yüksek olan hidroelektrik projesi, sadece bu kriter dikkate alındığında seçilecek proje olmasına karşın, yatırım bedeli (Kriter 6) diğer alternatiflere göre çok yüksek olabilir. Bu durumda, uygulamada birden fazla kriterin eş anlı gözetildiği çok kriterli karar analizi yaklaşımına uygun bir yapı bulunmaktadır.

Hidroelektrik santral projelerinin yukarıda sıralanan kriter değerleri, Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü'nden elde edilmiştir. Veriler elde edildikten sonra, ELECTRE III analizi için gerekli olan problem parametreleri belirlenmiştir. Bu parametrelerden kriter ağırlıkları her bir kriter için eşit alınmıştır. Analiz için gerekli olan tercih ve farksızlık eşikleri belirlenirken Rogers (2000) tarafından yapılan çalışmadan yararlanılmıştır. Buna göre, tercih eşikleri, alternatiflerin kriter değerlerinin bir fonksiyonu olarak tanımlanmıştır. Rogers (2000)'de daha önce yapılan ELECTRE III uygulamaları ışığında, farksızlık eşiği alternatiflerin kriter değerlerinin %10'u, tercih eşiği ise %20'si olarak alınmaktadır. Bu uygulamada da eşik değerleri bu çalışmadan yararlanılarak belirlenmiştir. ELECTRE III uygulamalarında kullanılması isteye bağlı olan veto eşiği, bu uygulamada kullanılmamaktadır.

Kriter ağırlıkları ve eşik değerleri belirlendikten sonra uygun veriler kullanılarak ELECTRE III uygulaması gerçekleştirilmiştir. Uygulamada, yatırım bedeli kriteri, bir maliyet kriteri olduğundan bu kriter için alternatiflerin değerleri negatif olarak alınmaktadır. ELECTRE III analizi sonucu elde edilen ve projelerin artan ve azalan sıralamaları Tablo 4'te yer almaktadır.

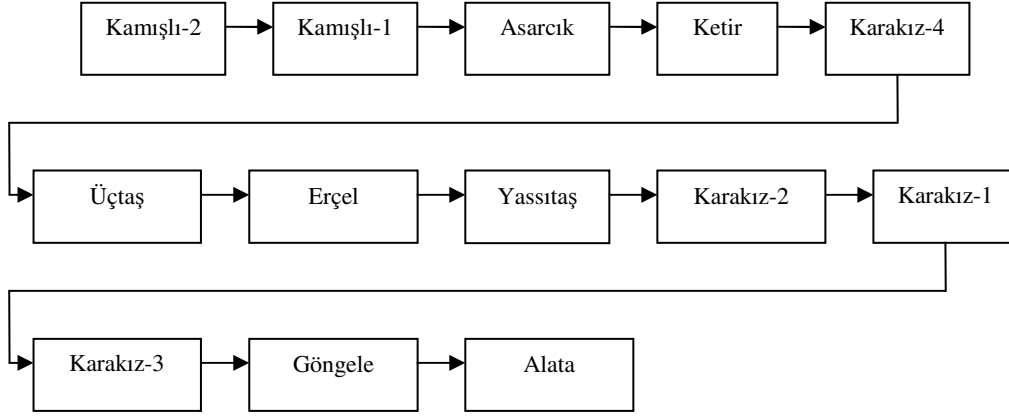
Tablo 4. ELECTRE III Sıralama Sonuçları

Azalan Sıralama	Artan Sıralama
KAMIŞLI-2	ALATA
KETİR	GÖNGELE
KAMIŞLI-1	KARAKIZ-3
ASARCIK	KARAKIZ-1
KARAKIZ-4	KARAKIZ-2
ÜÇTAŞ	YASSITAŞ
ERÇEL	ERÇEL
YASSITAŞ	ÜÇTAŞ
KARAKIZ-2	KARAKIZ-4
KARAKIZ-1	KETİR
KARAKIZ-3	KAMIŞLI-2
GÖNGELE	ASARCIK & KAMIŞLI-1
ALATA	

Tablo 4'te yer alan sonuçlara bakıldığında, azalan ve artan distilasyon süreçleri sonucu elde edilen azalan ve artan sıralamalar raporda yer almaktadır. Elde edilen bu azalan ve artan sıralamalar kesiştirilerek ELECTRE III sıralaması elde edilmektedir. Artan sıralamada en altta yer alan Asarcık ve Kamışlı-1 hidroelektrik santrallerinin eşit önemde olduğu sonucu elde edilmiştir.

Azalan ve artan sıralamalar, ilk sıralarda yer alan santraller hariç, aynı sıralamayı takip etmektedir. Kamışlı-2 santrali azalan sıralamaya göre ilk sırada yer alırken, artan sıralamaya göre ikinci sırada yer almaktadır. Kamışlı-1 ve Asarcık ve santralleri artan sıralamada en iyi alternatifler olarak ilk sırada yer alırken, azalan sıralamaya göre üçüncü ve dördüncü sırada yer almaktadırlar. Buna göre her iki durumda da ilk iki sırada yer alan Kamışlı-2 toplam sıralamada ilk sırayı alacaktır. Kamışlı-2'yi Kamışlı-1 ve Asarcık santralleri izleyecektir. Artan ve azalan sıralamalar kesiştirilerek elde edilen toplam sıralama Şekil 2'de gösterilmektedir.

Şekil 2. Hidroelektrik Uygulaması ELECTRE III Toplam Sıralama



3.2. Rüzgar Santrali Projelerinin Değerlendirilmesi

Bu uygulamada, PROMETHEE tekniği, 2007 yılında Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü'ne teslim edilen ve Kastamonu yöresinde kurulması düşünülen 7 adet rüzgar santrali projesinin çeşitli kriterler açısından değerlendirilmesinde kullanılmaktadır. Analizde yer alan kriterler Tablo 5'te sıralanmaktadır.

Tablo 5. Rüzgar Santrali Uygulaması Kriterleri

	Kriter	Birim
Kriter 1	Ünite Sayısı	Adet
Kriter 2	Ünite Kurulu Gücü	KiloWatt (kW)
Kriter 3	Tesis Kurulu Gücü	MegaWatt (MW)
Kriter 4	Öngörülen Yıllık Ortalama Üretim	KiloWatt – saat (kW-h)
Kriter 5	Kapasite Faktörü	Oran

Tablo 5’te görüldüğü üzere, analizde 5 adet kriter kullanılmıştır. 7 santral projesi için, kriterlerin değerleri Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü’nden temin edilmiştir. Kriterler incelendiğinde, rüzgar santral projesi seçim probleminin çok kriterli bir karar problemi yapısında olduğu kolaylıkla gözlenebilir. Örneğin, öngörülen yıllık ortalama üretimi (Kriter 4), en yüksek olan rüzgar santrali projesi, sadece bu kriter dikkate alındığında seçilecek proje olmasına karşın, kapasite faktörü (Kriter 5) diğer alternatiflere göre çok düşük olabilir. Kriterlerin bu yapısına bakıldığında bu uygulamadaki rüzgar santrali seçim probleminin birden fazla kriterin gözetildiği çok kriterli karar analizi yaklaşımına uygun bir yapıda olduğu söylenebilir.

Veriler elde edildikten sonra, PROMETHEE analizi için gerekli olan problem parametreleri belirlenerek teknik uygulanmıştır. Bütün kriterler için, kriter tipi üçüncü tip doğrusal ilişki fonksiyonu alınmıştır (bkz. Tablo 1). Bu fonksiyon tipi için belirlenmesi gereken m parametre değerinin hesaplanmasında Haralambopoulos ve Polatidis (2003)’te kullanılan yaklaşımdan faydalanılmıştır. Buna göre, m değeri, bir kriter için bütün alternatifler arasındaki en büyük değer ile en küçük değer arasındaki farkın alternatif sayısına bölümü ile hesaplanmaktadır. Analizde bütün kriterlerin ağırlıkları eşit alınmış ve hepsinin maksimum değerlerde iyi performans gösterdiği kabul edilmiştir. Yapılan PROMETHEE uygulaması sonucu elde edilen PROMETHEE I ve PROMETHEE II skorları Tablo 6 ve Tablo 7’de gösterilmektedir.

Tablo 6. PROMETHEE I Skorları

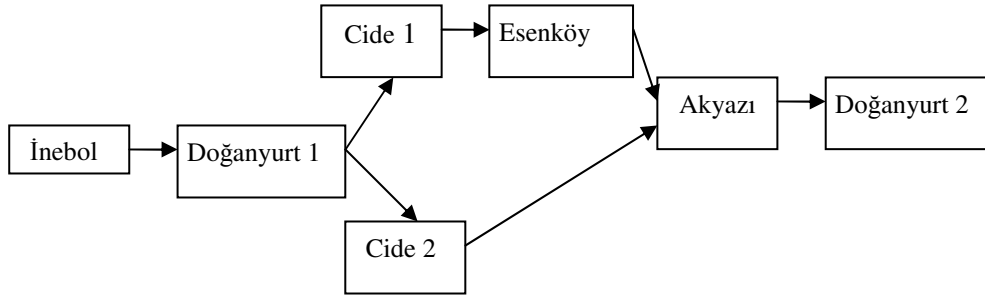
	Akyazı	Doğanyurt I	Cide I	Doğanyurt II	İnebolu	Cide II	Esenköy
Pozitif Üstünlük Skoru	0,457	0,905	0,795	0,073	2,063	0,894	0,571
Negatif Üstünlük Skoru	1,368	0,430	0,432	1,730	0,171	0,935	0,693

Tablo 7. PROMETHEE II Skorları

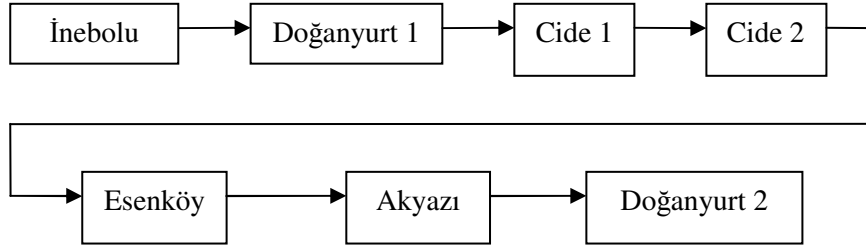
	Net Üstünlük Skoru
İnebolu	1,892
Doğanyurt I	0,475
Cide I	0,363
Cide II	-0,041
Esenköy	-0,121
Akyazı	-0,911
Doğanyurt II	-1,657

PROMETHEE I’de yer alan pozitif üstünlük ve negatif üstünlük skorlarına bakılarak, alternatiflerin kısmi sıralaması elde edilmiştir.(12), (13) ve (14)’te yer alan koşullara göre, uygulamada yer alan rüzgar santrallerinin kısmi sıralaması Şekil 3’teki gibi oluşmaktadır.

Şekil 3. Rüzgar Santralleri PROMETHEE I Kısmi Sıralama



Şekil 4. Rüzgar Santralleri PROMETHEE II Tam Sıralama



Tablo 6’daki pozitif üstünlük ve negatif üstünlük skorlarına yukarıda sıralanan koşullar ışığında bakıldığında Cide 2 santrali ile Cide 1 ve Esenköy santrallerinin birbirleri ile karşılaştırılmadığı görülmüş ve kısmi sıralama ona göre yapılmıştır. Cide 1 ile Esenköy arasında karşılaştırma yapılabilmekte ve Cide 1, Esenköy’den üstün çıkmaktadır. Tablo 8’de elde edilen tam sıralama skorları ışığında, Kastamonu yöresinde kurulması için önerilen 7 proje, çeşitli kriterleri açısından Şekil 4’teki gibi sıralanmaktadır.

SONUÇ

Tüm sektörlerde olduğu gibi enerji sektöründe de karar vermenin ve planlamanın önemi büyüktür. Enerji ve Çevre konusuna Karar Teorisi literatüründe verilen önem son yıllarda gittikçe artmaktadır. İleriye dönük uygun planlama yapılabilmesi ve enerji alanında verilen kararların kalitesinin artırılması ihtiyacı matematiksel karar verme tekniklerinin bu sektöre de

uygulanmasını doğal olarak beraberinde getirmektedir. Nitekim, literatürde Yöneylem Araştırması tekniklerinin enerji sektörüne uygulandığı birçok çalışma mevcuttur. Türkiye enerji sektöründeki planlama eksikliği düşünüldüğünde sektörde verilecek kararlar için analitik tekniklerin kullanılmasının önerilmesi kaçınılmaz olmaktadır. Bu çalışma bütün bu noktalardan hareketle, son yıllarda yaygın bir şekilde kullanılan Avrupa ekolü Karar analizi tekniklerinden, ELECTRE ve PROMETHEE yöntemlerini, yine tüm dünyada önemi giderek artan yenilenebilir enerji üretimi alanlarına Türkiye’de uygulama amacından yola çıkmaktadır.

Türkiye enerji sektörüne bakıldığında, kararların yaygın olarak karar vericinin yargılarına yüksek derecede bağlı olan skorlama yöntemleri kullanılarak alındığı gerçeği göze çarpmaktadır. Bu çalışma, yapılan uygulamalar ile literatürde var olan karar analizi teknikleri kullanılarak karar verici yargısını aza indiren daha analitik kararlar alınabileceğini göstermeyi amaçlamaktadır. Yapılan iki uygulamada da belirli kriterler ışığında halihazırda var olan projeler alternatiflerin kriterler altındaki skorlarını önceden tanımlı bir metodoloji doğrultusunda rasyonalize etmeye yarayan karar analizi teknikleri vasıtası ile sıralanmakta ve karar vericiye projelerin gerçekleştirilmesi aşamasında yol gösterici olacak sonuçlar sunulmaktadır. Çalışma, uygulamaların yapıldığı alanlar ve kullanılan teknikler açısından güncellik arz etmekte, bunun yanısıra Türkiye enerji sektörü için bir ilki temsil etmektedir.

Çalışmada ELECTRE ve PROMETHEE teknikleri, hidroelektrik santral projelerinin ve rüzgar santral projelerinin değerlendirilmesi için kullanılmıştır. Çalışmadaki ilk uygulamada rayiç yılı 2006 olan ve ilk etüdü hazır 13 adet hidroelektrik santral projesi 6 adet kriter ışığında ELECTRE tekniği ile sıralanmaktadır. İkinci uygulama ise Kastamonu yöresine ait 2007 yılında teklifi verilen 7 adet rüzgar santrali projesinin, uzmanlara danışılarak belirlenen 5 adet kriter ışığında PROMETHEE tekniği kullanılarak sıralandığı bir uygulamadır. Her iki uygulama da, çeşitli alternatiflerin seçilen kriterler açısından analitik bir yöntem ile sıralandığı ve karar vericilere yol gösterici olabilecek niteliktedir. Literatürde var olan diğer karar analizi tekniklerinin Türkiye enerji sektörünü birçok farklı alanlarına da uygulanması, yargıya dayalı karar verme sürecinin potansiyel problemlerini elimine edecek, dolayısıyla, alınan kararların kalitesinin ve rasyonelliğinin artmasını sağlayabilecektir. İleriki çalışmalarda, uygulamaların karşılaştırma yapmaya imkan sağlayacak şekilde geliştirilmesi ve çok ülkeli veriler ile çok teknikli modeller içerecek yeni uygulamaların yapılması hedeflenmektedir.

KAYNAKÇA

- Beccali, M., M. Cellura, M. Mistretta (2003) "Decision-Making in Energy Planning: Application of the ELECTRE Method at Regional Level for the Diffusion of Renewable Energy Technology", **Renewable Energy**, 28, 2063–87.
- Benayoun, R., B. Roy, B. Sussman (1966) "ELECTRE: Une Méthode Pour Guider Le Choix En Présence De Points De Vue Multiples", **Note De Travail 49, SEMA-METRA International, Direction Scientifique**.
- Brans, J.P., B. Mareschal (2005) "PROMETHEE Methods", in Figueira, J, Greco, S, Ehrgott, M (eds.), **Multiple Criteria Decision Analysis-State of the Art Surveys**, Springer, New York, 163-195.
- Dağdeviren, M., E. Eraslan (2008) "Promethee Sıralama Yöntemi İle Tedarikçi Seçimi", **Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi**, 23(1), 69-75.
- Dargam, F.C.C., E.W. Perz (1998) "A Decision Support System for Power Plant Design", **European Journal of Operational Research**, 109, 310–20.
- Diakoulaki, D., C. Zopounidis, G. Mavrotas, M. Doumpos (1999) "The Use of A Preference Disaggregation Method In Energy Analysis And Policy Making", **Energy**, 24, 157–66.
- Dunning, D.J., S. Lockfort, Q.E. Ross, P.C. Beccue, J.S. Stonebraker (2001) "New York Power Authority Uses Decision Analysis to Schedule Refueling of its Indian Point 3 Nuclear Power Plant", **Interfaces**, 31(5), 121–35.
- Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi (2007) **2005-2006 Türkiye Enerji Raporu**, Ankara.
- Figueira, J., V. Mousseau, B. Roy (2005) "Electre Methods", in: **Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys**, J. Figueira, S., Greco, M. Ehrgott (eds.), Boston, Springer, 133-162.
- Georgopoulou, E., D. Lalas, L. Papagiannakis (1997) "A Multicriteria Decision Aid Approach for Energy Planning Problems: The Case of Renewable Energy Option", **European Journal of Operational Research**, 103, 38–54.
- Georgopoulou, E., Y. Sarafidis, S. Mirasgedis, S. Zaimi, D.P. Lalas (2003) "A Multiple Criteria Decision-Aid Approach in Defining National Priorities for Greenhouse Gases Emissions Reduction in the Energy Sector", **European Journal of Operational Research**, 146, 199–215.

- Goumas, M.G., V.A Lygerou, L.E. Papayannakis (1999) “Computational Methods for Planning and Evaluating Geothermal Energy Projects”, **Energy Policy**, 27, 147–54.
- Haralambopoulos, D.A., H. Polatidis (2003) “Renewable Energy Projects: Structuring A Multicriteria Group Decision-Making Framework”, **Renewable Energy**, 28, 961–73.
- Hobbs, B.F., P.T. Chao, B.N. Venkatesh (1997) “Using Decision Analysis to Include Climate Change in Water Resources Decision Making”, **Climatic Change**, 37, 77–202.
- Hokkanen, J., P. Salminen (1997) “ELECTRE III And IV Decision Aids in an Environmental Problem”, **Journal of Multi-Criteria Decision Analysis**, 6, 215–26.
- Huang, J.P., K.L. Poh, B.W. Ang (1995) “Decision Analysis in Energy and Environmental Modeling”, **Energy**, 20, 843–855.
- Kalu, T. Ch. U. (1998) “Domestic Petroleum-Related Expertise Utilization and Nigeria’s Oil Industrial Survival: A Multicriteria Decision Analysis”, **European Journal of Operational Research**, 110, 457–73.
- Lahdelma, R., P. Salminen, J. Hokkanen (2002) “Locating A Waste Treatment Facility By Using Stochastic Multicriteria Acceptability Analysis with Ordinal Criteria”, **European Journal of Operational Research**, 142, 45–56.
- Linares, P. (2002) “Multiple Criteria Decision Making And Risk Analysis As Risk Management Tools For Power Systems Planning”, **IEEE Transactions on Power Systems**, 17, 895–900.
- Loulou, R., A. Kanudia (1999) “Minimax Regret Strategies For Greenhouse Gas Abatement: Methodology And Application”, **Operations Research Letters**, 25, 219–30.
- Macharis, C., J.P. Brans, B. Mareschal (1998) “The GDSS PROMETHEE Procedure – A PROMETHEE-GAIA Based Procedure For Group Decision Support”, **Journal of Decision Systems**, 7, 283–307.
- Mills, D., L. Viacic, I. Lowe (1996) “Improving Electricity Planning-Use of A Multicriteria Decision Making Model”, **International Transactions in Operational Research**, 3, 293–304.
- Pan, J.P., Y. Teklu, S. Rahman, A.D. Castro (2000) “An Interval-Based MADM Approach to the Identification of Candidate Alternatives in Strategic Resource Planning”, **IEEE Transactions on Power Systems**, 15, 1441–6.

- Ramanathan, R. (2001) "A Note on the use of the Analytical Hierarchy Process for Environmental Impact Assessment", **Journal of Environmental Management**, 63, 27–35.
- Rogers, M. (2000) "Using Electre III to Aid The Choice of Housing Construction Process within Structural Engineering", **Construction Management and Economics**, 18, 333-342.
- Roy, B. (1968) "Classement Et Choix En Présence De Points De Vue Multiples (La Méthode ELECTRE)", **RIRO**, 8, 57–75.
- Salminen, P., J. Hokkanen, R. Lahdelma (1998) "Comparing Multicriteria Methods in The Context of Environmental Problems", **European Journal of Operational Research**, 104, 485–96.
- Vaillancourt, K., J.P. Waaub (2004) "Equity In International Greenhouse Gases Abatement Scenarios: A Multicriteria Approach", **European Journal of Operational Research**, 153, 489–505.
- Voropai, N.I., E. Ivanova (2002) "Multi-Criteria Decision Analysis Techniques in Electric Power System Expansion Planning", **International Journal of Electrical Power Energy Systems**, 24, 71–8.
- Wang, X., Z. Feng (2002) "Sustainable Development of Rural Energy and its Appraising System in China", **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 6, 395–404.
- Zhou, P., B.W. Ang, K.L. Poh (2006) "Decision Analysis in Energy and Environmental Modeling: an Update", **Energy**, 31, 2604–2622.