



## **Teknoloji Portföyü Analiz Modeli: Türkiye’de Bir Rüzgâr Enerjisi Uygulaması**

Hüseyin KUDAK<sup>1</sup> İbrahim AKGÜN<sup>2</sup> Altan ÖZKİL<sup>3</sup>

### **Öz**

Yenilenebilir enerji kaynakları, enerji ihtiyacının karşılanmasında geleneksel enerji kaynaklarına önemli bir alternatif olarak ortaya çıkmıştır. Dünya genelinde olduğu gibi Türkiye’de de rüzgâr enerjisi, yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretiminde en hızlı gelişen teknolojilerden biridir. Yenilenebilir enerji kaynakları arasında rüzgâr enerjisinin payı, özellikle 2000 yılı sonrasında artış göstermiştir. Rüzgâr enerjisi sektörü, değerleri, amaçları ve ilgi alanları farklılıklar gösteren gruplardan oluşmaktadır. Sektörde yer alan gruplar için rüzgâr enerjisi projelerinde dikkate alınması gereken faktörleri bir sistem bakışı ile ele alan bir karar destek sistemi bulunmamaktadır. Bu çalışma kapsamında, Rüzgâr Enerji Santrali (RES) projelerinin teknoloji portföyü analizinin yapılmasına imkân sağlayan Rüzgâr Enerjisi Teknoloji Portföyü Analiz Modeli (RETPAM) geliştirilmiştir. RETPAM, RES projelerinin sosyal, teknik, ekonomik, çevresel ve politik amaçlar açısından değerlendirilmesine imkân tanımaktadır. Modelde, Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri (ÇKKVY)’nden *Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS)* ve *Çok Amaçlı Fayda Analizi* kullanılmış olup, model Excel® ortamında kodlanmıştır. RETPAM, Türkiye’de farklı coğrafi bölgelerde konuşlanmış ve birbirlerine yakın kurulu güçlere sahip üç farklı RES projesinin değerlendirilmesinde kullanılmıştır. Uygulamada, bölgesel farklılıkların sosyal, teknik, ekonomik, çevresel ve politik amaçlar üzerindeki etkilerinin görülmesi hedeflenmiştir. Sonuçlar, RES projelerinin bölgesel farklılıklarının, sırasıyla, en fazla çevresel, teknik, sosyal ve ekonomik amaçlar üzerinde etkili olduğunu göstermiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Rüzgâr Enerjisi, Yenilenebilir Enerji, Karar Destek Modeli, Teknoloji Portföyü Analizi, Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri, Çok Amaçlı Fayda Analizi, RETPAM.

## **Technology Portfolio Analysis Model: An Application for Wind Energy in Turkey**

### **Abstract**

Renewable energy sources have emerged as an important alternative to conventional energy sources to meet the energy needs. Wind energy is one of the fastest growing technologies in electricity production from renewable energy sources in Turkey as well as globally. The share of wind energy among the renewable energy sources has shown an increase, especially after the year 2000. Wind energy has broad stakeholder groups whose objectives, values, and interests can differ. There does not exist a decision support system that takes into account the factors to be considered in wind energy projects in a holistic manner for these groups. In this study, based on the aforementioned determination, Wind Energy Technology Portfolio Analysis Model (RETPAM) that enables the technology portfolio analysis of Wind Energy Power Plant (WPP) projects has been developed. RETPAM allows WPP projects to be assessed from social, technical, economic, environmental, and political perspectives. RETPAM has been developed by using *Analytic Hierarchy Process (AHP)* and *Multi-Attribute Utility Analysis* as Multi Criteria Decision Making Methods (MCDM) and coded in Excel®. RETPAM has been used to evaluate three different WPP projects with close installed capacities that have been deployed in different geographical regions in Turkey. The purpose of the application has been to determine the effects of regional differences on social, technical, economic, environmental and political objectives. The results indicate that based on a sequence regional

<sup>1</sup> Yazışma adresi: Kara Harp Okulu, Savunma Bilimleri Enstitüsü, Ankara, hkudak@ttmail.com.

<sup>2</sup> Abdullah Gül Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Kayseri, ibrahim.akgun@agu.edu.tr.

<sup>3</sup> Atılım Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Ankara, aozkil@atilim.edu.tr.

differences of WPP projects are more effective on environmental, technical, social, and economic decision factors.

**Keywords:** Wind Energy, Renewable Energy, Decision Support Model, Technology Portfolio Analysis, Multi Criteria Decision Making Methods, Multi-Attribute Utility Analysis, RETPAM.

## Giriş

Enerji, modern toplumların en temel ihtiyacı haline gelmiştir. Artan nüfus oranları ve enerji bağımlı teknolojilerin yaygınlaşması ile birlikte, enerjiye olan talep giderek artmaktadır. Öyle ki, enerji mahrumiyeti günümüz toplumlarını kaosa sürüklemektedir. Önümüzdeki yirmi yılda, dünyanın enerji talebinde % 60 civarında artış beklenmektedir. Bununla birlikte, enerji fiyatlarındaki sürekli artış, ülkelerin enerji gereksinimlerinin karşılanmasında geniş çaplı müzakereleri zorunlu kılmaktadır. Uluslararası Enerji Ajansı (UEA), gelecekteki enerji talebinin karşılanması için önümüzdeki otuz yılda on altı trilyon ABD Dolarına yakın yeni yatırıma ihtiyaç duyulacağını tahmin etmektedir (Belkin, 2008).

Politik ve ekonomik olarak bütünleşen ve jeopolitik sorumlulukları genişleyen Avrupa Birliği (AB)'nde, enerji kilit bir sektör olarak görülmektedir. AB'nin enerji alanında daha rekabetçi ve bütünleşik bir pazar oluşturması beklenmektedir (European Union, 1995). Enerji güvenliği, AB ülkeleri için politik öncelikler arasında yer almakta ve enerji politikaları, diğer politik hedeflere de tam bir destek sağlamaktadır. AB, enerji ihtiyacının % 50'sini ithal etmektedir ve bunun 2030 yılında % 65'lere varması beklenmektedir. Enerji üreten ülkeler, enerjiyi, uluslararası antlaşmalarda enerji bağımlı ülkeler üzerinde "politik bir silah" olarak kullanabilmektedirler. Diğer yandan, küresel iklim değişikliğine karşı AB'de artan toplumsal tepki, yeni bir "Avrupa enerji politikasının" ortaya konmasında üyeleri hemfikir kılmaktadır (Belkin, 2008). Enerji konularında geniş çaplı yeteneklere sahip olunması, özellikle Ar-Ge'de katma değer sağlamaktadır (European Union, 1995).

AB'ye paralel olarak diğer uluslararası birlikler ve gelişmekte olan ülkeler de enerji ihtiyaçlarının büyük bir bölümünü ithâl etmektedir. Artan enerji ihtiyaçları da dikkate alındığında, ülkelerin enerji arz güvenliğinde ciddi bir tehdit oluşmaktadır. Söz konusu ülkelerin cari açığının çok önemli bir bölümünü, enerji harcamaları oluşturmaktadır. Bu durum, ulusları, enerji politikalarını geliştirmeye ve yeni yerel kaynaklarını kullanmaya yöneltmektedir. Geçmişte yaşanan uluslararası krizler, ulusların enerji politikalarında revizyon yapmalarına sebep olmuştur. Bu kapsamda, enerji tedarikinin çeşitlendirilmesine yönelik stratejilerin geliştirilmesi, örnek bir yaklaşım oluşturmaktadır (Uluşans vd., 2009).

Enerji tedarikinin çeşitlendirilmesinde, yenilenebilir enerji kaynakları, geleneksel enerji kaynaklarına (fosil yakıtlara) önemli bir alternatif olarak ortaya çıkmaktadır. Fosil yakıtlara dayanan mevcut enerji sistemlerinden farklı olarak, yenilenebilir enerji kaynaklarına geçiş, teknoloji ve uygulama çeşitliliğine de ihtiyaç yaratmaktadır (IEA, 2006). Dünya genelinde olduğu gibi Türkiye’de de rüzgâr enerjisi, yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretiminde en hızlı gelişen teknolojilerden biridir. Enerji üretimindeki tüm kaynaklar arasında rüzgâr enerjisi ve teknolojilerinin payı, özellikle 2000 yılı sonrasında artış göstermiştir. Türkiye’de 2002 yılında, 18,9 MW ile neredeyse yok sayılacak düzeyde olan rüzgâr enerjisi kurulu gücü, 2012 yılında 2.260 MW seviyesine ulaşmıştır (ETKB, 2013). Son on yılda görülen artışa rağmen, rüzgâr enerjisi kaynaklarına ait projelerde yaşanan bir takım sıkıntılar, ülke rüzgâr potansiyelinin yeteri kadar kullanılmadığını da göstermektedir.

Rüzgâr enerjisinin kullanımının yaygınlaştırılmasında; kullanıcının bilinçlenmesi, yatırımcıların beklentilerinin karşılanması ve hükümet politikalarının oluşturulması boyutlarında farklı sıkıntılar yaşanabilmektedir. Rüzgâr enerjisi paydaş gruplarının (gerek ilgili devlet kurumları gerekse yatırımcılar) amaçları, değerleri ve ilgi alanları farklılıklar göstermektedir. Ancak her birinin kurumsal amaçlarını en iyileyen kararları araştırmaları ve kararlarına analitik bir yaklaşım ile ulaşmaları beklenmektedir. Ancak rüzgâr enerjisindeki paydaşlar, diğer bir ifade ile de aktörler, karar almada çeşitli zorluklar yaşamaktadır. Haralambopolous ve Polatidis (2003) tarafından bu zorlukların ana nedenleri, aşağıdaki şekilde belirlenmiştir:

- a. Rüzgâr enerjisi ve dolayısıyla yenilenebilir enerjilere yönelik ulusal stratejik hedeflerin ve Rüzgâr Enerji Santrali (RES) projelerinin desteklenmesindeki katkıların açık bir şekilde belirlenmemiş olması,
- b. Rüzgâr enerjisine yönelik mevcut yasal düzenleme ve teşviklerin yetersiz olması ve yönetmeliklerin süreç üzerinde olumsuz etkilere sahip olması,
- c. Gerçekçi, basit ve etkinliği artırabilen yeni enerji teknolojilerinin planlanmasına yönelik ihtiyacın artması,
- d. RES teknolojilerindeki hızlı gelişmelerin ve yüksek maliyetli malzemelerin kullanılmasının belirsizlikler ve yüksek riskler yaratması,
- e. RES sanayi ve pazarında rekabetin artmasıdır.

Türkiye’deki mevcut RES projelerinin kurulum ve işletme aşamalarında, Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (BMİDÇS)’ne ve gönüllü karbon ticaretinde kullanılan uluslararası

standartlara (Gold Standard , VCS , VER+ vb.) göre yabancı kurumlardan sertifikasyon alınmaktadır. Söz konusu sertifikasyon süreci kapsamında oluşturulan değerlendirme raporları (validation report) incelendiğinde, projelere yönelik sürdürülebilir kalkınma göstergeleri kapsamında, çevresel, sosyal, ekonomik ve teknolojik kalkınma göstergelerinin ele alındığı görülmektedir. Bununla birlikte, rüzgâr enerjisi aktörleri, RES projelerini çevresel, ekonomik, sosyal, teknik ve politik açılardan da değerlendirmek zorundadır. RES projeleri sosyal anlamda; yeni istihdam imkânları yaratmakta ve sosyal kalkınmaya katkı sağlamaktadır. Ayrıca, RES projelerine karşı toplumun algısını gösteren, toplumsal kabul edilebilirlik etkisi bulunmaktadır. Teknik anlamda; rüzgâr enerjisinde yeni teknolojilerin transferi, ulusal teknoloji olgunluğunun gelişimini ve rüzgâr kaynaklarının etkin kullanımını sağlamaktadır. Ekonomik anlamda; rüzgâr enerjisinde ulusal pazarın oluşturulmasını, piyasalarda yeni yatırımların yaratılmasını ve gaz emisyon ticaretinden gelir elde edilmesini sağlamaktadır. Çevresel anlamda; fosil kaynaklara alternatif olarak, CO<sub>2</sub> salınımının azaltılmasında katkı sağlamakla birlikte, alan kullanımı, akustik etki, yaban hayatı ve ekosistem açısından olumsuz etkiler yaratabilmektedir. Politik anlamda; proje süreçlerinde keyfiyetlerin ortadan kaldırılması ve standartların sağlanmasında, yeni yönetmeliklere ve düzenlemelere ihtiyaç duymaktadır. Ayrıca, ulusal enerji güvenliğine ve enerji alanındaki stratejik hedeflere ulaşmada katkı sağlamaktadır.

Tüm bu hususlar birlikte ele alındığında, rüzgâr enerjisi aktörlerinin, sistem bakışını esas alan sistematik bir yaklaşım kullanmadan, RES projelerine ilişkin süreçleri etkin ve verimli bir şekilde yönetebilmeleri ve yürütebilmeleri mümkün değildir. Rüzgâr enerjisi aktörlerinin karşı karşıya olduğu bu çok boyutlu, çok aktörlü ve çok amaçlı durum, çok kriterli karar verme süreçlerinin kullanılmasını zorunlu kılmaktadır. Ancak, bilindiği kadarıyla, RES projeleri aktörlerinin kullanabileceği, karar verme sürecinde dikkate alınması gereken hususları bir sistematik içinde ele alan bir sistem bulunmamaktadır. Bu tespitten hareketle, çalışma kapsamında, RES projelerinin portföy analizinin yapılmasına olanak sağlayan Rüzgâr Enerjisi Teknoloji Portföyü Analiz Modeli (RETPAM) geliştirilmiştir. Modelde, *Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS)* ve *Çok Amaçlı Fayda Analizi* kullanılmıştır. Modelin uygulaması kapsamında, Türkiye’de üç farklı coğrafi bölgede konuşlu ve işletmede olan RES’lerin değerlendirmesi yapılarak sonuçları ele alınmıştır.

Bölüm 2’de, yöntem ve metotlar kapsamında, teknoloji portföyü analizi ve çok kriterli karar verme yöntemleri incelenmiş ve Bölüm 3’te, RETPAM geliştirilmiştir. Bölüm 4’te, RETPAM’ın uygulaması ve

sonuçları sunulmuştur. Sonuç bölümünde de, çalışmaya yönelik çıkarımlar ve öngörüler özetlenmiştir.

## Yöntem ve Metotlar

### *Teknoloji Portföyü Analizi*

*Teknoloji Planlama ve Yönetimi*, belirlenen bir hedefin gerçekleştirilmesi amacıyla, kaynakların teknolojiler arasında optimal bir biçimde tahsis edilmesi şeklinde tanımlanmaktadır (Yu, 2006). Teknoloji planlama ve yönetiminin kapsamı oldukça geniştir. Bir tarafta iş stratejilerini ve ulusal ekonomi politikalarını, hatta küresel ekonomi ve ekoloji gelişmelerini ele almak, diğer yandan belirli teknoloji projelerinin planlama ve yönetimlerine odaklanmak gerekmektedir. Teknoloji planlama ve yönetimi süreci, sadece yenilikçi teknolojilerin geliştirilmesini değil, aynı zamanda, teknoloji uygulamalarının ekonomik, çevresel, sosyal ve uluslararası etkilerinin değerlendirilmesini de kapsamaktadır. Bu bağlamda, *Teknoloji Portföyü Analizi*, teknoloji planlama ve yönetiminin temel alanlarından biri olarak ortaya çıkmaktadır. Teknoloji portföyü analizindeki amaç, karar vericinin amaçlarına yönelik sistematik değerlendirmelerin sonuçlarına göre, mevcut projeler arasından en uygun olanlara kaynak tahsisinin yapılmasıdır. Portföy, farklı teknolojilere ait projelerden oluşabileceği gibi, ortak bir teknolojiye sahip projelerden de oluşabilmektedir (Yu, 2006). Teknoloji portföyünün oluşturulmasında, sistematik bir sürecin takip edilmesi gerekmektedir. Yu (2006), söz konusu sürecin adımlarını aşağıdaki şekilde tanımlamıştır:

a. Teknoloji portföyü seçim kriterlerine ait önceliklerin belirlenmesi için, karar verici amaçlarının açık bir şekilde belirlenmesi ve ölçümlendirilmesi gerekmektedir. Bu maksatla, ana kriterler ve ölçümü yapılan alt kriterlerin ilişkilerinin gösterildiği bir amaç hiyerarşisi oluşturulmaktadır.

b. Karar verici için teknoloji geliştirme ve uygulamasında yenilikçi ve uygulanabilir portföy alternatifleri belirlenmektedir.

c. Alternatifler ve amaçlar arasındaki uygun ilişkilerin ortaya konması gerekmektedir. İlişkilendirmede, alternatifler arasında genel anlamdaki karşılaştırma tabloları kullanılabileceği gibi alternatiflerin, amaçları hangi düzeyde gerçekleştirebildiğinin belirlenmesi için sosyo-ekonomik ve mühendislik modelleri de oluşturulabilmektedir.

d. Optimal teknoloji portföyünün tespit edilmesi gerekmektedir. Bu aşamada, karar verici için maksimum faydayı sağlayacak alternatif

teknoloji portföyünün bulunması amacıyla, çeşitli model ve yöntemler kullanılmaktadır.

e. Portföy gelişim ve değişimlerinin gözlenmesi sağlanmaktadır. Teknolojilerin ve proje uygulama ortamının zaman içerisindeki dönüşümü ile alternatifler, amaçlar ve ilişkilerde oluşabilecek değişimlerin takip edilmesi gerekmektedir. Rüzgâr enerjisi teknolojilerindeki gelişmeler, kriter fayda fonksiyonlarının ve yeni kriterlerin tanımlanmasını ve buna bağlı olarak da veri setlerinin güncellenmesini ve alternatiflerin yeniden değerlendirilmesini gerektirebilmektedir.

f. Kurumsal stratejilere paralel olarak portföy düzenlenmektedir. Oluşturulan teknoloji portföyü, çeşitli model ve araçların tekrar uygulamaları ile etkin bir şekilde revize edilerek, değişimlere uygun olarak portföy sürekli canlı tutulmaktadır. Kurumsal stratejilerdeki değişimler, özellikle politik amaçlar üzerinde etkili olmaktadır. Günümüz koşullarında, rüzgâr enerji kaynaklarına yönelik ulusal stratejiler oldukça yetersiz seviyededir. Söz konusu eksiklikleri giderici politik çalışmalar devam ettiği için, gelişmelere paralel olarak portföylerin revizesine ihtiyaç duyulmaktadır.

Yukarıda özetlenen ve oldukça karmaşık olan teknoloji portföyü analiz sürecine ait adımların, bütün olarak uygulanması önem taşımaktadır. Söz konusu adımların, çok kriterli karar verme süreciyle hemen hemen aynı olduğu görülmektedir. Çoklu aktörlerin bulunduğu durumlarda, organizasyonel yapılardan, farklı problem alanlarından ve dinamik şartlardan dolayı karar süreçlerinde standart hiyerarşik paternler uygulanamamaktadır. Her bir grup farklı kriterlere ve bakış açısına sahip olduğundan, karşılıklı anlayış ve uzlaşmanın sağlandığı bir çerçevenin oluşturulmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Değişken ortamlar, uyarlanabilir karar süreçlerini gerektirmekte, söz konusu ortamlarda doğru kararlara ulaşılmasında, *Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri (ÇKKVY)*'ne ihtiyaç duyulmaktadır. Karar vericiler genelde karar süreçlerine sezgisel olarak yaklaşmaktadır. Ancak, kararların oldukça önemli ve karmaşık olduğu durumlarda, analizlerin daha derinlemesine ve analitik yöntemlere dayandırılmasına ihtiyaç duyulmaktadır (Yu, 2006). Teknolojik gelişmeler ve karmaşıklaşan enerji sistemleri, karar vericileri her geçen gün farklı amaçları, birçok kısıt altında gerçekleştirmeye zorlamaktadır. RES projelerinde, özellikle yatırım maliyetlerinin çok yüksek olması ve devletlerin yasal düzenlemeler konusunda henüz yolun başında bulunmalarından dolayı, etkin karar mekanizmalarının yaratılması gerekmektedir. Alternatiflerin, sadece düşük maliyetlerin en uygun seçim

olarak değerlendirildiği geleneksel tek kriterli karar verme yaklaşımından farklı olarak ÇKKVY'ne göre değerlendirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır (Mateo, 2012).

Literatürde yer alan portföy analizi çalışmalarında da ağırlıklı olarak ÇKKVY kullanılmıştır. Tzeng vd. (2002), Elkarni ve Mustafa (1998), Wang ve Feng (2002), Lee vd. (2007) ile Chatzimouratidis ve Pilavachi (2008) tarafından *Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS)* kullanılmıştır. Anılan çalışmalarda amaç, tespit edilen değerlendirme faktörlerinin önceliklendirilmesi ve ağırlıklandırılması ile alternatif enerji kaynaklarının sıralandırılmasıdır. Cavallaro ve Ciraolo (2005), RES'lerin kurulumuna yönelik fizibilite çalışmalarının değerlendirilmesi amacıyla belirli kriterlere dayanarak alternatiflerin karşılaştırılmasını sağlayan yeni bir ÇKKVY olan *NAIADE* (Kesin Olmayan Değerlendirme ve Karar Ortamları İçin Yeni Bir Yaklaşım) yöntemini kullanmıştır. Çalışmada on bir farklı kriter kullanılarak, dört farklı RES projesinin karşılaştırılması yapılmıştır. Fakat çalışmada kullanılan kriterler, RES projelerinin genel yapılarına ait değerlendirmelerden oluşmaktadır. Bu sebeple, projelerin farklılıklarını belirginleştirmede yetersiz kaldığı değerlendirilmektedir. Barin vd. (2009), *Bulanık Mantık* ve *AHS*'yi kullanmıştır. Çalışmada, alternatif yenilenebilir enerji kaynaklarının değerlendirilmesinde; çevresel etkiler, maliyetler, ömür devri ve teknolojik olgunluk kriterleri kullanılmış olup bunlar çok genel kriterlerdir. Mladineo vd. (1987), *PROMETHEE* yöntemini kullanarak, geniş bir bölgeyi kapsayacak şekilde maliyetli bir Hidroelektrik Santralinin (HES) kurulumunu değerlendirmiştir. Beccali vd. (2003), *ELECTRE* yöntemini kullanmıştır. Çalışmada, yenilenebilir enerji teknolojilerinin Sardunya Adası'ndaki yayılımı değerlendirilmiştir. Mateo (2012), yenilenebilir enerji projelerinin kıyaslanmasında *TOPSIS*, *VIKOR*, *Fayda Teoremi*, *Veri Zarflama Analizleri*, *Shapley Değeri (Shapley Value)* ve *Çok Amaçlı Fayda Analizi* yöntemlerini uygulamıştır. Söz konusu yöntemler ile karar vericilerin, kısıtları göz önünde bulundurarak nihai hedefe ulaşmada, birden fazla amacı değerlendirebildiği görülmektedir. Böylece, yenilenebilir enerji projelerinin seçimine yönelik uygulanabilir çözümlerin ortaya konması amaçlanmaktadır. Polatidis vd. (2006), yenilenebilir enerji planlamasında en uygun ÇKKVY'nin seçimi amacıyla, modellerin kıyaslamasını yapmıştır. Çalışma sonucunda, belirlenen tüm amaçları üstün biçimde gerçekleştiren tek bir modelin sunulamayacağı tespit edilmiştir. Davoudpour vd. (2012) tarafından, yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelik teknoloji portföyü analizi ele alınmıştır. Çalışmada, matematik programlama ve sezgisel programlama yöntemlerinden faydalanılarak en iyi proje portföyünün oluşturulmasına yönelik bir çerçeve ortaya konmuştur. Çalışmada sadece pazar, rekabet, teknik ve çevresel kriterler kullanılmıştır.

Lee vd. (2008) tarafından, Tayvan'da yenilenebilir enerjilere yönelik teknoloji portföyü analizi kapsamında enerji, çevre ve ekonomik hedefleri oluşturan senaryolar esas alınarak farklı politik alternatifler için senaryo analizi kullanılmıştır. Senaryo analizi yaklaşımının, belirlenen ortam yapısını tümüyle yansıtamadığı için yenilenebilir enerji projeleri hakkında genelleme ve çıkarımların yapılmasında yetersiz kaldığı düşünülmektedir.

Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde, bazı eksiklikler olduğu görülmektedir. Çalışmalarda kullanılan modeller, teknoloji portföyü analizini sistem bütünlüğü içinde ele almakta yetersiz kalmıştır. Diğer yandan, özellikle karar verici amaçlarının belirlenmesinde, kalitatif ve kantitatif tüm kriterler değerlendirilmemiştir. Kriter detaylandırması ve sayısı yetersiz kalmıştır. Kriter yetersizliği, RES projelerinin farklılıklarının ortaya konmasında, eksik değerlendirmelere neden olabilmektedir. Çalışmalarda, portföy alternatiflerinin belirlenmesinde, çoğunlukla farklı yenilenebilir enerji kaynaklarına ait alternatifler ele alınmıştır. Türkiye'de yaygın olarak kullanıldığı şekliyle rüzgâr enerjisinde benzer teknolojileri içeren RES projelerine ait portföy uygulamaları yapılmamıştır. Bu çalışmada önerilen modelin, literatürde tespit edilen örnek çalışmalardan en belirgin farkı, rüzgâr enerjisi teknoloji portföyü sürecine ilişkin adımları bütün olarak ele alması ve RES projelerine ilişkin kriterleri detaylı bir şekilde tanımlamasıdır. Bununla birlikte, literatürde, proje süreçlerindeki amaçlar, teknik, çevresel, ekonomik ve sosyal ana başlıkları altında ele alınmıştır (Wang vd., 2010; Çetindamar vd., 2006). Bu çalışmada, ilave olarak politik amaç da dikkate alınmıştır. RES proje süreçlerine ait düzenlemelerdeki eksiklikler, lisanslama sürecindeki belirsizlikler, stratejik enerji hedeflerinin ve teşviklerin belirlenmesine yönelik ihtiyaçlar, politik amacın da değerlendirilmesini zorunlu kılmaktadır.

#### *Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri (ÇKKVY)*

Çalışmada, kriter ağırlıklarının tespit edilmesi amacıyla, AHS ve Göreceli Ağırlıklandırma (Swing Weight) yöntemleri birlikte kullanılmıştır. AHS ana kriterlerin, Göreceli Ağırlıklandırma yöntemi ise, ana kriterler altındaki alt kriterlerin ağırlıklarının belirlenmesinde kullanılmıştır. Kriter skorlarına ait değerlerin atanmasında ise, *Çok Amaçlı Fayda Analizi* kullanılmıştır.

Çalışma kapsamında yapılan uygulamada, RES'lerin bölgesel farklılıklarının, karar vericinin amaçlarına olası etkilerinin ortaya konması amaçlandığından, ana ve alt kriter ağırlıkları eşit olarak alınmıştır. Bu nedenle, bu bölümde sadece Çok Amaçlı Fayda Analizi anlatılmış, ağırlıklandırma yöntemleri anlatılmamıştır.



### Çok Amaçlı Fayda Analizi (Multi-Attribute Utility Analysis)

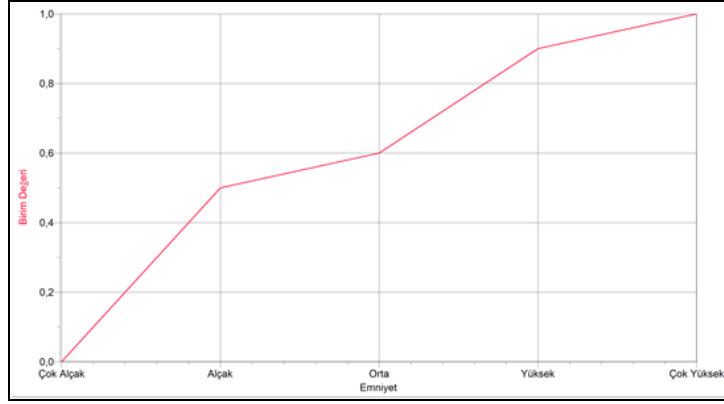
Çok Amaçlı Fayda Analizi yönteminin uygulanması için alternatiflere ait kriter skorlarının, ortak bir ölçüm altında gösterilebildiği fayda fonksiyonlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Fayda fonksiyonları, her bir kriterle ait yapıyı ve değer aralıklarını yansıtmaktadır. Bu maksatla, tüm kriterler için fayda fonksiyonları ortaya konulmaktadır (Mateo, 2012). Söz konusu fayda fonksiyonları ile kriterlere ait skorların “ölçeğe göre getiri” prensibiyle temsilleri sağlanabilmektedir (Kirkwood, 1997).

Bir fayda fonksiyonu, belirli bir kriterin farklı skorlarına sayısal endekslerin atandığı, karar vericinin tercihlerini ölçeklendiren bir araçtır. Başka bir ifade ile fayda fonksiyonu, kriter skorlarını istenilebilirlik düzeyleri ile bağdaştırmaktadır. Fayda fonksiyonu değeri,  $U_i(x_i)$  ile gösterilir ve  $x_i$ ,  $i$  kriterinin skorunu temsil etmektedir. Fayda fonksiyonu değeri, her durumda 0 (en kötü) ile 1 (en iyi) arasında bir değere sahip olmaktadır. Fayda fonksiyonları için uygulamada, genelde “parçalı doğrusal” ve “üssel” olmak üzere, iki farklı fonksiyon kullanılmaktadır. Parçalı doğrusal fayda fonksiyonu kesikli (discrete) bir yapıya sahipken üssel fonksiyon sürekli yapıda bulunmaktadır. Kriterlerin skor seviyeleri arasındaki fark az olduğunda, genelde parçalı doğrusal fayda fonksiyonları tercih edilmektedir (Mateo, 2012). Kriterlerin sözel olarak (kalitatif) tanımlandığı durumlarda, Tablo 1’de gösterildiği şekilde, kriter için 0 ile 1 aralığında değişen skor sıkalaları oluşturulmakta ve parçalı doğrusal fayda fonksiyonundan faydalanılmaktadır. Parçalı doğrusal fayda fonksiyonu için, Şekil 1’de bir örnek sunulmuştur.

**Tablo 1.** Sözel Kriterlerin Skor Değeri

Kriter Seviyesi	Kriter Skoru*
Çok Yüksek (ÇY) / Var	1
Yüksek (Y)	0,90
Orta (O)	0,60
Alçak (A)	0,50
Çok Alçak (ÇA) / Yok	0

\* “Emniyet” kriterine atanan kriter skorları örnek verilmiştir.



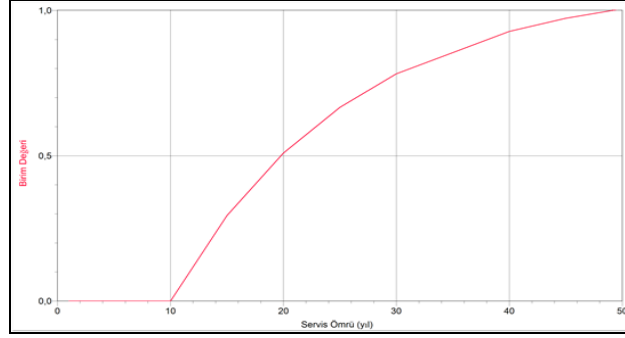
Şekil 1. Parçalı Doğrusal Fayda Fonksiyonu Yapısı

Kriter skorlarının sonsuz sayıda seviyeye sahip olması durumunda, skorlar arasındaki değer değişiminde çok sayıda gösterime ihtiyaç duyulmaktadır. Bu durumda, üssel fayda fonksiyonları kullanılmaktadır. Krite ait skorun ( $x_i$ ), monoton artan değer (yüksek skorun tercih edilmesi) veya azalan değer (düşük skorun tercih edilmesi) yapısına göre üssel fonksiyon yapısı tanımlanmaktadır (Kirkwood, 1997). Artan üssel fayda fonksiyonunun yapısı, Şekil 2’de gösterilmiştir. Artan üssel fonksiyona ait fayda değeri, Denklem 1’e göre hesaplanmaktadır. Denklemdeki “ $\rho$ ” ( $\rho$ ) harfi, üssel sabiti temsil etmektedir. Üssel fayda fonksiyonunun şekli, “ $\rho$ ” değerine bağlı olarak değişmekte ve “ $\rho$ ” değeri, değerlendirme kriterine verilen en düşük ve en yüksek skor aralığının orta değerine göre tespit edilmektedir (Kirkwood, 1997):

$$U_i(x_i) = \frac{1 - \exp\left[-\frac{(x_i - \text{En Düşük Skor})}{\rho}\right]}{1 - \exp\left[-\frac{\text{En Yüksek Skor} - \text{En Düşük Skor}}{\rho}\right]}, \quad \text{eğer } \rho \neq \infty$$

[1]

$$U_i(x_i) = \frac{x_i - \text{En Düşük Skor}}{\text{En Yüksek Skor} - \text{En Düşük Skor}}, \quad \text{aksi halde .}$$



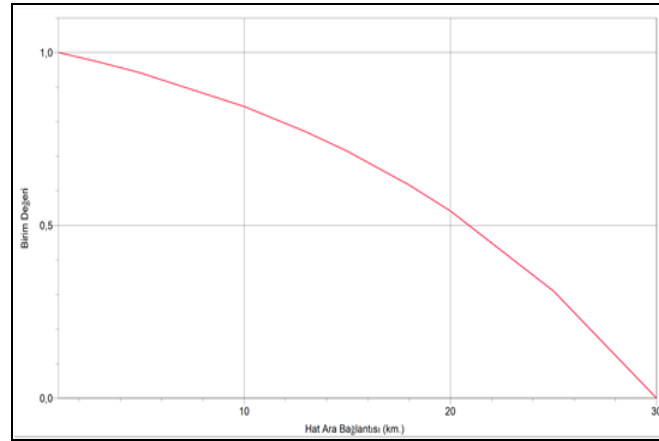
Şekil 2. Artan Üssel Fayda Fonksiyonu Yapısı (Servis Ömrü kriteri örnek verilmiştir.)

Şekil 3'te gösterilmiştir. Azalan üssel fonksiyona ait fayda değeri, Denklem 2'ye göre hesaplanmaktadır (Kirkwood, 1997):

$$U_i(x_i) = \frac{1 - \exp\left[-\frac{(En\ Y\u00fccksek\ Skor - x_i)}{\rho}\right]}{1 - \exp\left[-\frac{En\ Y\u00fccksek\ Skor - En\ D\u00fc\u015fik\ Skor}{\rho}\right]}, \quad e\u011fer\ \rho \neq \infty$$

[2]

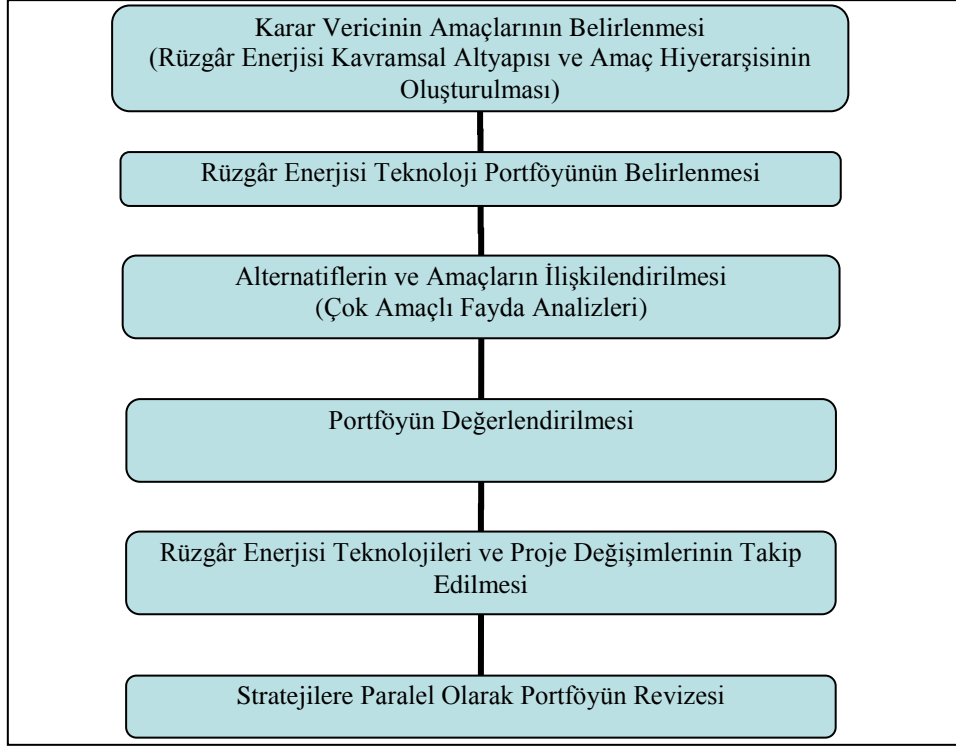
$$U_i(x_i) = \frac{En\ Y\u00fccksek\ Skor - x_i}{En\ Y\u00fccksek\ Skor - En\ D\u00fc\u015fik\ Skor}, \quad aksi\ halde.$$



Şekil 3. Azalan Üssel Fayda Fonksiyonu Yapısı (Hat Ara Bağlantısı kriteri örnek verilmiştir.)

## RETPAM'ın Geliştirilmesi

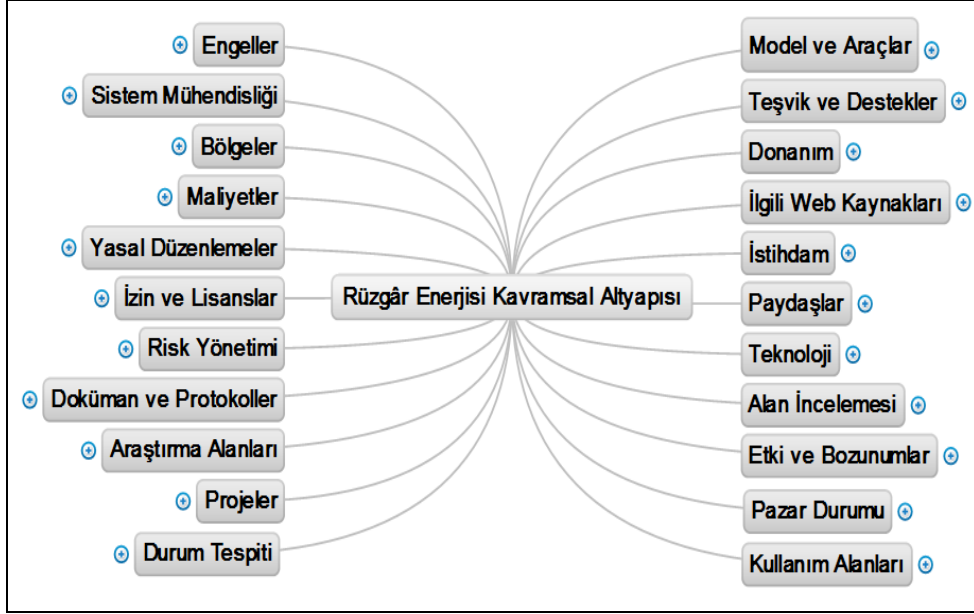
RETPAM'ın geliştirilmesi, teknoloji portföyü analizi karar sürecine ilişkin adımlara dayandırılmış ve uygulanan metodoloji Şekil 4'te sunulmuştur. Metodolojinin adımları aşağıda açıklanmıştır.



Şekil 4. RETPAM'ın Geliştirilmesinde Uygulanan Metodoloji

### *Karar Vericinin Amaçlarının Belirlenmesi*

Karar vericinin amaçlarının açık bir şekilde belirlenmesi ve ölçümlenmesi amacıyla, ilk olarak rüzgâr enerjisi kavramsal altyapısı oluşturulmuştur (Şekil 5). Kavramsal altyapı ile RES proje süreçlerinde dikkate alınması gereken tüm hususlar sistem bakış açısıyla ortaya konmuştur. Daha sonra, karar vericilerin her bir husus kapsamında sahip olabilecekleri temel amaçlar değerlendirilmiş ve bu amaçlar, farklı paydaş gruplarının amaçlarını da yansıtacak şekilde, *sosyal, teknik, ekonomik, çevresel ve politik* ana kriterleri altında gruplandırılmıştır. Ana kriterler, ölçümü yapılabilecek alt kriterler elde edilinceye kadar detaylandırılarak bir amaç hiyerarşisi oluşturulmuştur. Amaç hiyerarşisinin ilk iki seviyesi, Tablo 2'de sunulmuştur. Kriterlere ait tanımlamalar, Ek-1'de detaylı olarak açıklanmıştır.



Şekil 5. Rüzgâr Enerjisi Kavramsal Altyapısı

RES projelerinin coğrafi konuma bağlı olarak kriter etkinlik durumu ve bunlara ait çıkarımlar Ek-2’de ortaya konmuştur. Söz konusu çıkarımlara, rüzgâr enerjisi kavramsal altyapısında incelenen literatür taraması ışığında ulaşılmıştır.

Tablo 2. Amaç Hiyerarşisi

Amaç Grupları					
Kriterler	Sosyal	Teknik	Ekonomik	Çevresel	Politik
	İstihdam	Servis Ömrü	İç Kârlılık Oranı	Arazi Kısıtı	Düzenlemeler
	Emniyet	Hat Ara Bağlantısı	Malzeme Primi	Akustik etki	Enerji Güvenliği
	Toplumsal Kabul	Elektromanyetik Karışım	Enerji Üretimi	Gaz Salınım Azaltımı	Teşvik ve Destekler
	Sosyal Fayda	Güvenirlilik	Gaz Emisyon Ticareti	Ekosistem (Flora)	İzinler ve Lisanslar
		Teknoloji Olgunluğu	Kurulum Maliyeti	Yaban Hayatı (Fauna)	Stratejik Hedefler
		Rüzgâr Hızı	Öz Sermaye Oranı	Atık Kontrolü	
		Kapasite Faktörü		Görsel Etki	
		Türbin Kapasitesi			

### *Rüzgâr Enerjisi Teknoloji Portföyünün Belirlenmesi*

Rüzgâr enerjisi teknolojileri, RES'in kurulum alanı (karasal-onland, kıyusal-offshore vb.) ile rüzgâr türbinlerinin yapısal ve teknik tasarımlarına (dikey, yatay vb.) ve kullanım amaçlarına (taşımacılık, su pompalama, elektrik üretimi vb.) göre bir teknoloji portföyü sunabilmektedir. Bununla birlikte, aynı teknolojilere sahip RES projelerinde alınan kararların, çıkar çatışmaları, farklı algılar ve disiplinler arası etkileşimlerden ortaya çıkan karmaşık yapılar açısından da değerlendirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır (Zhi vd., 2012). Böyle durumlarda, aynı teknolojilere sahip projelerin farklı bölgelerde ve kurulu güç farklılıklarına ait bir portföy oluşturulabilmektedir.

### *Alternatiflerin ve Amaçların İlişkilendirilmesi*

Alternatiflerin değerlendirilebilmesi amacıyla, tüm alternatiflerin her bir kriterden almış oldukları skorların ortak bir ölçüte dönüştürülmesi gerekmektedir. Bu maksatla, kriterlere ait fayda fonksiyonları tanımlanmıştır. Kriterler arasında emniyet, toplumsal kabul, sosyal fayda, elektromanyetik karışım, güvenilirlik, teknoloji olgunluğu, arazi kısıtı, ekosistem, atık kontrolü, görsel etki, düzenlemeler, enerji güvenliği, teşvikler ve lisanslar için parçalı doğrusal fayda fonksiyonları kullanılırken, diğer kriterler için üssel fayda fonksiyonları kullanılmıştır.

### *Portföyün Değerlendirilmesi*

Portföyü oluşturan alternatiflere ait nihai değerlerin hesaplanması ve buna göre, karar vericinin amaçlarını en iyileyen RES projesinin seçilmesi gerekmektedir.

Alternatiflerin nihai değerlerinin hesaplanmasında kullanılan fayda fonksiyonu için, Denklem 3 kullanılmıştır (Calost, 2014):

$$U(x_1, \dots, x_m) = \sum_{i=1}^m w_i U_i(x_i) \quad [3]$$

$m$  adet kriterden oluşan portföyde;  $U_i$ ,  $i$  kriterinin fayda değerini;  $x_i$ ,  $i$  kriterinin skor değerini;  $w_i$ , kriter ağırlığını temsil etmektedir.

### **Model Uygulaması**

Çalışma kapsamında, Ege, Akdeniz ve Marmara bölgelerinde konuşlu üç farklı RES projesini içeren bir portföy oluşturulmuştur. Söz konusu RES'lerin kurulum gücü yaklaşık 30 MW'tır. RES'ler karada konuşlu ve yatay eksenli türbin teknolojilerine sahiptir. Portföydeki projelerin aynı teknoloji ve kurulu güce sahip olmaları sayesinde, RES'lerin farklı bölgelerde kurulumunun sosyal, teknik, ekonomik, çevresel ve politik

kriterler üzerindeki etkileri değerlendirilebilmiştir. RES projelerine ait veriler, ana kriterler altında analiz edilerek, proje toplam puanları tespit edilmiştir. Ana kriterlere eşit ağırlık değerleri (0,20) atanmıştır. Alt kriterler, her bir ana kriter grubu altında kendi aralarında eşit olarak ağırlıklandırılmıştır. Alternatiflerin, kriterlere ait skorlarının temininde aşağıdaki kaynaklardan istifade edilmiştir:

a. Teknik kriterler için Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü (YEGM)'nün oluşturduğu mevcut verilerden,

b. Diğer kriterler için, ilgili RES projesinin gönüllü karbon ticaretinde kullanılan uluslararası standartlara (Gold Standard , VCS , VER+ vb.) göre aldıkları sertifikasyon değerlendirme raporlarından (validation report), proje tanımlama dokümanlarından ve sürdürülebilirlik izleme planlarındaki verilerden.

Sonuç ve değerlendirmeler aşağıda sunulmuştur.

*Model Sonuçları ve Değerlendirmeleri*

RES projelerinin, ana kriterler ve toplamda aldıkları nihai puanları Tablo 3'te gösterilmiştir. Ege ve Akdeniz bölgelerindeki RES projelerinin en yüksek değere (0,64) sahip oldukları görülmektedir.

**Tablo 3.** Proje Toplam Değerleri

Projeler	Ana Kriter Grubu	Grup Toplam Değeri	Ağırlığı	Ağırlıklı Değer	Proje Toplam Puanı
Ege	Sosyal	0,91	0,20	0,18	<b>0,64</b>
	Teknik	0,48	0,20	0,10	
	Ekonomik	0,35	0,20	0,07	
	Çevresel	0,77	0,20	0,15	
	Politik	0,72	0,20	0,14	
Marmara	Sosyal	0,78	0,20	0,15	<b>0,56</b>
	Teknik	0,53	0,20	0,11	
	Ekonomik	0,26	0,20	0,05	
	Çevresel	0,54	0,20	0,11	
	Politik	0,72	0,20	0,14	
Akdeniz	Sosyal	0,78	0,20	0,15	<b>0,64</b>
	Teknik	0,68	0,20	0,14	
	Ekonomik	0,36	0,20	0,07	
	Çevresel	0,70	0,20	0,14	
	Politik	0,72	0,20	0,14	

Projelerin, her bir ana kriter grubuna ait değerleri, Şekil 6'da sunulmuŐ ve değer hesaplamaları aşağıda açıklanmıştır. Şekil incelendiğinde;

- Sosyal kriter kapsamında, Ege Bölgesi'ndeki projenin değeri daha yüksektir. Bu durum, projenin emniyet, toplumsal kabul ve sosyal fayda kriterlerine ait skorlarının, diğer projelere göre daha yüksek olmasından kaynaklanmaktadır.

- Teknik kriter kapsamında, Akdeniz Bölgesi'ndeki proje en yüksek değere sahip olurken, Ege Bölgesi'ndeki proje en dŐuk değere sahiptir. Özellikle elektrik Őebekesi bağlantı hattının uzunluğu, elektromanyetik karışım, rüzgâr hızı ve trbın kapasitesi kriterleri, farklılıklara sebep olmaktadır.

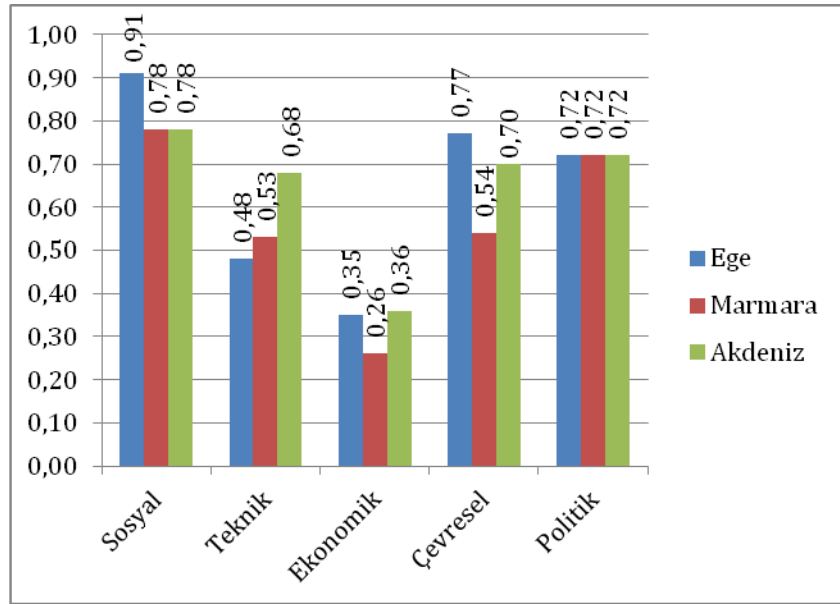
- Ekonomik kriter kapsamında, tüm projeler dŐuk değere sahiptir, ancak Akdeniz Bölgesi'ndeki proje değeri görece daha yüksektir. Projelerin dŐuk değerleri, özellikle RES kurulu güç seviyelerinin dŐuk (30 MW) olması, yerli malzeme katkı primlerinden faydalanılamaması ve kullanılan ithâl trbınlerin yüksek maliyetli olmasından kaynaklanmaktadır.

- Çevresel kriter kapsamında, Ege Bölgesi'ndeki proje en yüksek değere sahipken Marmara Bölgesi'ndeki proje en dŐuk değere sahiptir. Özellikle arazi kısıtı, ekosistem ve görsel etki kriterleri, farklılıklara sebep olmaktadır.

- Politik kriter kapsamında, tüm projeler aynı değere sahiptir. Bunun ana sebebi, tüm yenilenebilir enerji projeleri için, yasal anlamda genel bir mekanizma iŐletilmesi ve projelerdeki bölgesel, finansal, teknik vb. farklılıklar gözetilerek oluŐturulmuŐ detaylı bir yönetmeliğin bulunmamasıdır. Politik amaca ait proje farklılıklarının ortaya konabilmesi için politikacılar tarafından, yenilenebilir enerji kaynakları stratejilerinin detaylandırılarak özellikle rüzgâr enerjisine yönelik ayrı politik düzenlemelerin gerçekleŐtirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır.

Uygulama sonuçlarına göre, RES projelerinin coğrafi farklılıklarının, sırasıyla, en fazla çevresel, teknik, sosyal ve ekonomik amaca yönelik kriterler üzerinde etkili olduğu tespit edilmiştir. Tespit edilen bu sonuçların, RES projelerinin bölgesel farklılıklarının hangi kriterler üzerinde etkili olduğuna dair Ek-2'de ortaya konan çıkarımlar ile paralel olduğu görülmektedir. Projelerin, her bir ana kriter grubuna ait sonuçları ve değerlendirmeleri aşağıda açıklanmıştır:





Şekil 6. Projelerin Ana Kriter Grupları Değer Karşılaştırmaları

### Sosyal Kriteri

Projelerin sosyal ana kriter değerlerine ait hesaplamaları, Tablo 4'te gösterilmiştir. Dört farklı alt kritere ait ağırlıklar, sosyal ana kriteri altında eşit olarak (0,25) atanmıştır. Tablo 4 incelendiğinde, Ege Bölgesi'ndeki projenin sosyal açıdan en iyi seviyede (0,91) olduğu görülmektedir.

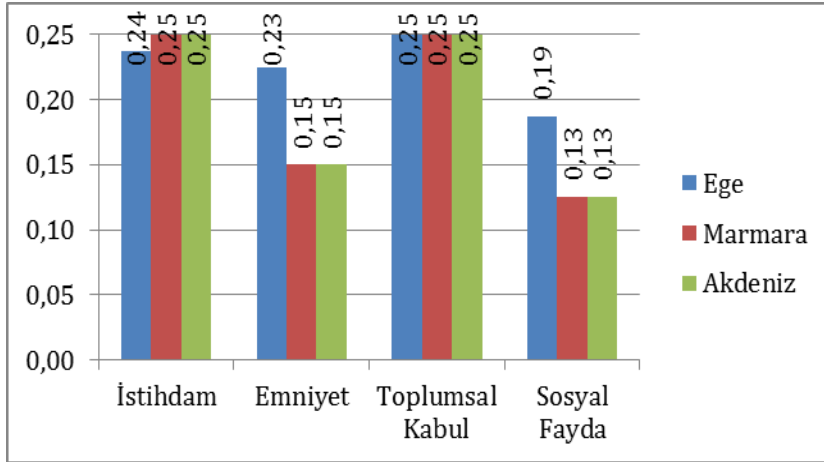
Tablo 4. Sosyal Kriter Değerleri

Alternatif Projeler (P)	Kriterler (m)	Kriter Skoru (X <sub>i</sub> )	Fayda Değeri U <sub>i</sub> (X <sub>i</sub> )	Kriter Ağırlığı (W <sub>i</sub> )	Ağırlıklı Değer V <sub>i</sub> = W <sub>i</sub> · U <sub>i</sub> (X <sub>i</sub> )	Toplam Değer V(P)=ΣV <sub>i</sub>
Ege	İstihdam	10	0,99	0,25	0,24	0,91
	Emniyet	Y	0,9	0,25	0,23	
	Top.Kab.	ÇY	1	0,25	0,25	
	Sos.Fay.	Y	0,75	0,25	0,19	
Marmara	İstihdam	16	1	0,25	0,25	0,78
	Emniyet	O	0,6	0,25	0,15	
	Top.Kab.	ÇY	1	0,25	0,25	
	Sos.Fay.	O	0,5	0,25	0,13	
Akdeniz	İstihdam	50	1	0,25	0,25	0,78
	Emniyet	O	0,6	0,25	0,15	
	Top.Kab.	ÇY	1	0,25	0,25	
	Sos.Fay.	O	0,5	0,25	0,13	

Projelerin, her bir alt kritere göre karşılaştırmaları Şekil 7'de sunulmuştur. İstihdam ve toplumsal kabul kriterlerinde, tüm projeler en

yüksek değere sahiptir. Bu durum, projelerde işletme aşamasında oldukça fazla çalışan istihdam edilmesinden ve bölge halkının, özellikle iş imkânı beklentisiyle, projelere karşı olumlu tutum sergilemesinden kaynaklanmaktadır. İstihdam edilen personelin, teknik açıdan eğitilmiş ve tecrübeli olması önem taşımaktadır. Bu amaçla, istihdam kriterinde, sektördeki iş gücünün sayısal olduğu kadar, niteliksel anlamda da değerlendirilmesi gerekmektedir. Ayrıca toplumsal kabul kriterinde, projenin bölgeye sağlayacağı iş imkânının yanı sıra, projenin doğaya olan etkilerinin de değerlendirilmesi gerekmektedir. Ele alınan projelerde, söz konusu kriterlere ait veri bulunmadığından, bu kapsamda bir değerlendirme yapılamamıştır.

Emniyet ve sosyal fayda kriterlerinde, Ege Bölgesi'ndeki proje daha yüksek değere sahiptir. Bunun sebebi, emniyet kriteri kapsamında, iş sağlığı, çevre koruma, yangınla mücadele, risk değerlendirmesi ve saha güvenliği konularında projede gerekli tedbirlerin alınmış olmasıdır. Bu bağlamda, Marmara ve Akdeniz bölgelerindeki projelerde, emniyet kriterinin iyileştirilmesi amacıyla, alınacak tedbirlere yönelik risk analizlerinin yapılması ihtiyacı ön plana çıkmaktadır. Ayrıca, sosyal fayda kriterinin iyileştirilmesi amacıyla, bölgedeki sosyal kalkınmaya katkıda bulunacak sorumluluk projelerinin artırılması gerekmektedir.



Şekil 7. Projelerin, Sosyal Alt Kriterlerinin Karşılaştırmaları

#### Teknik Kriteri

Projelerin teknik ana kriter değerlerine ait hesaplamaları, Tablo 5'te gösterilmiştir. Sekiz farklı alt kritere ait ağırlıklar, teknik ana kriteri altında eşit olarak (0,125) atanmıştır. Tablo 5 incelendiğinde, Akdeniz Bölgesi'ndeki projenin teknik açıdan en iyi seviyede (0,68) olduğu görülmektedir.

**Tablo 5.** Teknik Kriter Değerleri

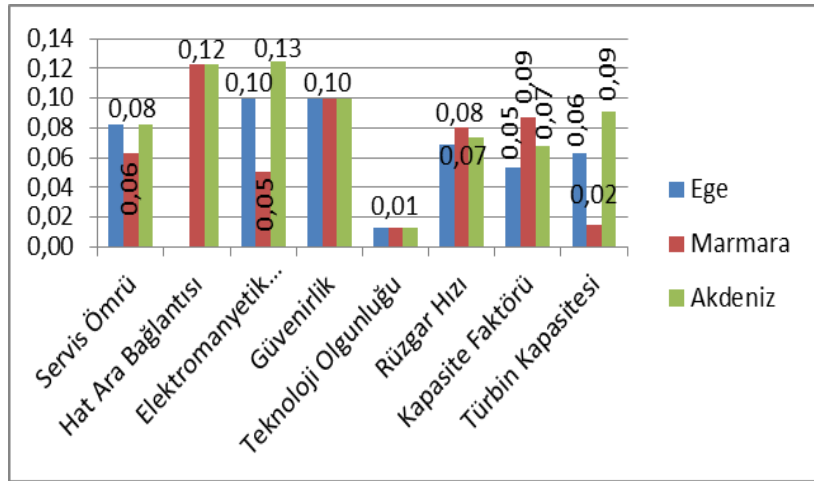
Alternatif Projeler (P)	Kriterler (m)	Kriter Skoru (X <sub>i</sub> )	Fayda Değeri U <sub>i</sub> (X <sub>i</sub> )	Kriter Ağırlığı (W <sub>i</sub> )	Ağırlıklı Değer V <sub>i</sub> = W <sub>i</sub> · U <sub>i</sub> (X <sub>i</sub> )	Toplam Değer V(P)=∑V <sub>i</sub>
Ege	Servis Ömrü	25	0,66	0,125	0,08	<b>0,48</b>
	Hat Ara Bağ.	30	0	0,125	0	
	Elk.Man.Karş.	7	0,8	0,125	0,10	
	Güvenirlilik	Y	0,8	0,125	0,10	
	Tekn.Olgun.	ÇA	0,1	0,125	0,01	
	Rüzgâr Hızı	7,5	0,55	0,125	0,07	
	Kap. Fakt.	31	0,43	0,125	0,05	
	Türbin Kap.	2.000	0,5	0,125	0,06	
Marmara	Servis Ömrü	20	0,50	0,125	0,06	<b>0,53</b>
	Hat Ara Bağ.	2	0,98	0,125	0,12	
	Elk.Man.Karş.	11	0,4	0,125	0,05	
	Güvenirlilik	Y	0,8	0,125	0,10	
	Tekn.Olgun.	ÇA	0,1	0,125	0,01	
	Rüzgâr Hızı	8,5	0,64	0,125	0,08	
	Kap. Fakt.	45	0,70	0,125	0,09	
	Türbin Kap.	800	0,12	0,125	0,02	
Akdeniz	Servis Ömrü	25	0,66	0,125	0,08	<b>0,68</b>
	Hat Ara Bağ.	2	0,98	0,125	0,12	
	Elk.Man.Karş.	3	1	0,125	0,125	
	Güvenirlilik	Y	0,8	0,125	0,10	
	Tekn.Olgun.	ÇA	0,1	0,125	0,01	
	Rüzgâr Hızı	8	0,59	0,125	0,07	
	Kap. Fakt.	37	0,54	0,125	0,07	
	Türbin Kap.	3.000	0,73	0,125	0,09	

Projelerin, her bir kritere göre değerleri, Şekil 8’de sunulmuştur. Sistem güvenilirlikleri ve teknoloji olgunluğu kriterlerinde, tüm projeler eşit değere sahiptir. Bu durum, Türkiye’de rüzgâr enerjisi teknolojilerinin yeni gelişmekte olması sebebiyle, türbinlerin yurt dışından temin edilmesinden ve tüm projeler için teknoloji transferi uygulanmasından kaynaklanmaktadır. Bu bağlamda, ithâl teknolojiler, ulusal teknoloji olgunluğunun düşük seviyelerde kalmasına neden olmaktadır. Rüzgâr enerjisi teknolojilerinde Ar-Ge çalışmalarının artırılması, projelerin teknoloji olgunluğu kriter değerini yükseltecektir. Ancak, bu aynı zamanda maliyet yükü getirecektir.

Servis ömrü ve türbin kapasitesi kriterlerinde, Ege ve Akdeniz bölgelerindeki projeler yüksek değere sahiptir. Bu durum, söz konusu projelerde daha yeni teknolojilerin kullanılmasından kaynaklanmaktadır. Rüzgâr türbini teknolojilerinin, her geçen gün daha yüksek kapasitelerde

enerji üretebilecek teknik özelliklere ulaştığı görülmektedir. Bu bağlamda, RES'lerin son teknolojiye uygun olarak türbin değişimlerinin yapılması, türbin kapasitesi kriter değerini yükseltecektir. Ancak, bu aynı zamanda maliyet yükü getirecektir. Rüzgâr hızı ve kapasite faktörü kriterlerinde, daha yüksek rüzgâr hızı ve kapasite faktörüne sahip bir alanda olması sebebiyle, Marmara Bölgesi'ndeki proje daha iyidir. Söz konusu kriterler, projelerin kurulum alanlarına ve meteorolojik farklılıklarına bağlı olarak değişim göstermektedir.

Elektromanyetik karışım kriterinde, Marmara Bölgesi'ndeki proje oldukça düşük değere sahiptir. Bunun sebebi, bölgede RES'ten etkilenen radar, seyrüsefer ve muhabere cihazlarının sayısının yüksek olmasıdır. Bu bağlamda, RES sistemlerinin radyo frekansını (RF) yansıtma özelliklerinin önlenmesi amacıyla, çeşitli yüzey ve boya teknolojilerinin geliştirilmesine yönelik Ar-Ge çalışmaları yürütülmektedir. Bu alandaki gelişmeler, söz konusu kriterle ait etkileri ortadan kaldıracaktır. Hat ara bağlantısı kriterinde, Ege Bölgesi'ndeki proje sıfır değerine sahiptir. Bunun sebebi, RES'in ulusal elektrik şebekesine olan ara bağlantı uzunluğunun oldukça fazla olmasıdır. Hat ara bağlantısının uzun olması, projelere aynı zamanda mali bir külfet yaratmaktadır.



Şekil 8. Projelerin, Teknik Alt Kriterlerinin Karşılaştırmaları

### *Ekonomik Kriteri*

Projelerin ekonomik ana kriter değerlerine ait hesaplamaları, Tablo 6'da gösterilmiştir. Altı farklı alt kriterle ait ağırlıklar, ekonomik ana kriteri altında eşit olarak (0,17) atanmıştır. Tablo 6 incelendiğinde, projelerin özellikle kurulu güçlerinin düşük olmasından dolayı, ekonomik anlamda

düşük değerlere sahip olduğu; Akdeniz Bölgesi'ndeki projenin göreceli daha iyi seviyede (0,36) bulunduğu görülmektedir.

**Tablo 6.** Ekonomik Kriter Değerleri

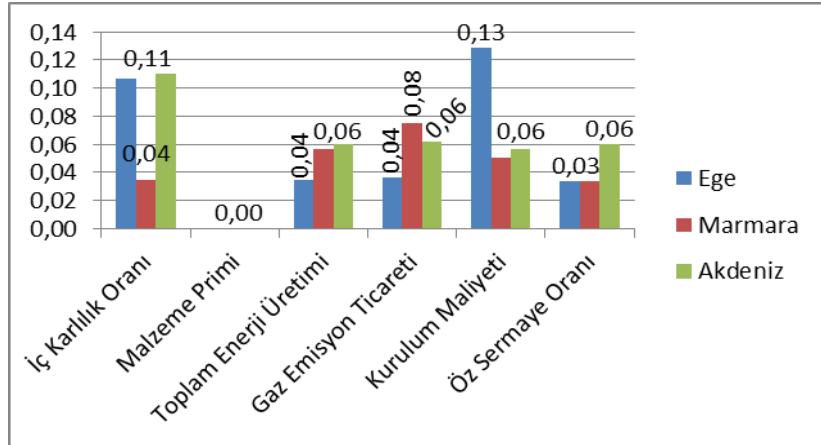
Alternatif Projeler (P)	Kriterler (m)	Kriter Skoru (X <sub>i</sub> )	Fayda Değeri U <sub>i</sub> (X <sub>i</sub> )	Kriter Ağırlığı (W <sub>i</sub> )	Ağırlıklı Değer V <sub>i</sub> = W <sub>i</sub> · U <sub>i</sub> (X <sub>i</sub> )	Toplam Değer V(P)=ΣV <sub>i</sub>
Ege	İç Kârl. Oranı	11,26	0,64	0,17	0,11	<b>0,35</b>
	Malz. Primi	0	0	0,17	0	
	Top. Enerji Ürtm.	2.992.220	0,21	0,17	0,04	
	Gaz Emis.Ticareti	251.241	0,22	0,17	0,04	
	Kurulum Maliyeti	789.474	0,77	0,17	0,13	
	Öz Sermaye Oranı	15	0,20	0,17	0,03	
Marmara	İç Kârl. Oranı	2,99	0,21	0,17	0,04	<b>0,26</b>
	Malz. Primi	0	0	0,17	0	
	Top. Enerji Ürtm.	5.083.100	0,34	0,17	0,06	
	Gaz Emis.Ticareti	580.858	0,45	0,17	0,08	
	Kurulum Maliyeti	1.500.000	0,3	0,17	0,05	
	Öz Sermaye Oranı	15	0,20	0,17	0,03	
Akdeniz	İç Kârl. Oranı	11,9	0,66	0,17	0,11	<b>0,36</b>
	Malz. Primi	0	0	0,17	0	
	Top. Enerji Ürtm.	5.319.050	0,36	0,17	0,06	
	Gaz Emis.Ticareti	459.278	0,37	0,17	0,06	
	Kurulum Maliyeti	1.419.100	0,34	0,17	0,06	
	Öz Sermaye Oranı	20	0,36	0,17	0,06	

Projelerin, her bir kritere göre değerleri, Şekil 9'da sunulmuştur. Malzeme primi kriterinde, tüm projeler sıfır değerine sahiptir. Bunun nedeni, projelerde tamamıyla ithâl malzemelerin kullanılmasıdır. Kurulum maliyeti kriterinde, Ege Bölgesi'ndeki proje en iyi seviyededir. Bunun sebebi, türbin maliyetleri haricindeki harcamaların düşük seviyede olmasıdır. RES projelerinde kurulum maliyetlerinin artmasına, ithâl teknolojilerin kullanılması neden olmaktadır. Malzeme primi ve kurulum maliyeti kriterleri bağlamında, RES teknolojilerinde yerli sanayinin geliştirilmesine duyulan ihtiyaç ön plana çıkmaktadır.

Toplam enerji üretimi kriterinde, tüm projeler düşük değere sahiptir. Bunun nedeni, projelerin kurulu güç seviyelerinin düşük olmasıdır. Söz konusu kriterde, üretim verimliliği daha yüksek seviyede olduğu için, Akdeniz Bölgesi'ndeki proje daha yüksek değere sahiptir. Bu bağlamda, RES'lerin yüksek kurulu güce sahip olmaları durumunda ve üretilen enerji

miktarı ile doğru orantılı olarak, elektrik satışından elde edecekleri gelir de artmaktadır. Gaz emisyon ticareti kriterinde, Ege Bölgesi'ndeki proje daha düşük değere sahiptir. Bunun sebebi, projedeki toplam enerji üretiminin düşük olmasıdır. Gaz emisyon ticareti, projelerin finansal risk azaltımları ve kredi tedarikleri için önemli bir faktördür. Söz konusu kriter, bu bağlamda, projelerin ekonomik amaçlarının değerlendirilmesinde ön plana çıkmaktadır.

Öz sermaye oranı kriterinde, Akdeniz Bölgesi'ndeki proje yüksek değere sahiptir. Bunun sebebi, proje öz sermayesinin toplam yatırım miktarındaki oranının yüksek olmasıdır. RES projeleri oldukça yüksek maliyetleri içerdiğinden, yatırımcının öz sermaye oranları da düşük seviyelerde kalmaktadır. İç kârlılık oranı kriterinde, Marmara Bölgesi'ndeki proje oldukça düşük değere sahiptir. Bunun nedeni, projeye yatırılan öz kaynakların verimliliğinin düşük olmasıdır.



Şekil 9. Projelerin, Ekonomik Alt Kriterlerinin Karşılaştırmaları

### Çevresel Kriteri

Projelerin çevresel ana kriterine ait hesaplamaları, Tablo 7'de gösterilmiştir. Yedi farklı alt kriterine ait ağırlıklar, çevresel ana kriteri altında eşit olarak (0,14) atanmıştır. Tablo 7 incelendiğinde, Ege Bölgesi'ndeki projenin çevresel açıdan en iyi seviyede (0,77) olduğu görülmektedir.

**Tablo 7.** Çevresel Kriter Değerleri

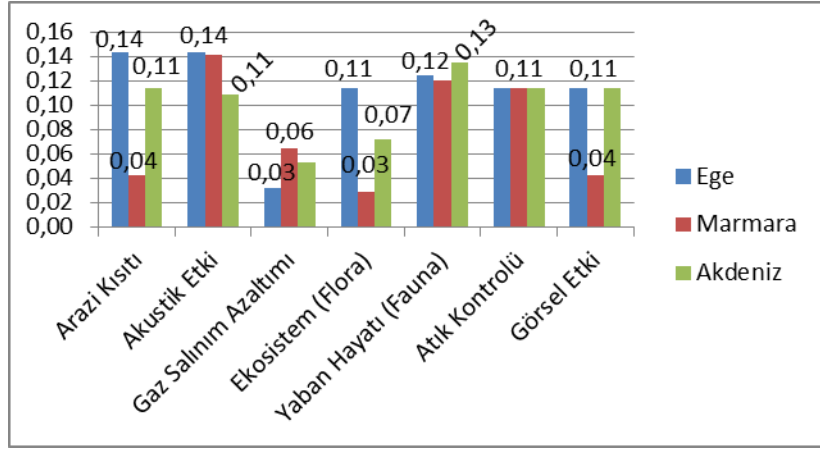
Alternatif Projeler (P)	Kriterler (m)	Kriter Skoru (X <sub>i</sub> )	Fayda Değeri U <sub>i</sub> (X <sub>i</sub> )	Kriter Ağırlığı (W <sub>i</sub> )	Ağırlıklı Değer V <sub>i</sub> = W <sub>i</sub> · U <sub>i</sub> (X <sub>i</sub> )	Toplam Değer V(P)=ΣV <sub>i</sub>
Ege	Arazi Kısıtı	ÇA	1	0,14	0,14	<b>0,77</b>
	Akustik Etki	4	1	0,14	0,14	
	Gaz Sal.Azalt.	34.229	0,22	0,14	0,03	
	Ekosistem	A	0,8	0,14	0,11	
	Yaban Hayatı	59.363	0,87	0,14	0,12	
	Atık Kontrolü	Y	0,8	0,14	0,11	
	Görsel Etki	A	0,8	0,14	0,11	
Marmara	Arazi Kısıtı	Y	0,3	0,14	0,04	<b>0,54</b>
	Akustik Etki	1	0,99	0,14	0,14	
	Gaz Sal.Azalt.	79.136	0,45	0,14	0,06	
	Ekosistem	Y	0,2	0,14	0,03	
	Yaban Hayatı	68.780	0,84	0,14	0,12	
	Atık Kontrolü	Y	0,8	0,14	0,11	
	Görsel Etki	Y	0,3	0,14	0,04	
Akdeniz	Arazi Kısıtı	A	0,8	0,14	0,11	<b>0,70</b>
	Akustik Etki	0,3	0,76	0,14	0,11	
	Gaz Sal.Azalt.	62.572	0,37	0,14	0,05	
	Ekosistem	O	0,5	0,14	0,07	
	Yaban Hayatı	28.270	0,94	0,14	0,13	
	Atık Kontrolü	Y	0,8	0,14	0,11	
	Görsel Etki	A	0,8	0,14	0,11	

Projelerin, her bir kritere göre değerleri, Ek-2

Tablo'da sunulmuştur. Atık kontrolü kriterinde, tüm projeler aynı değere sahiptir. Bunun sebebi, tüm projelerin atık kontrolü yönetmeliğini aynı seviyede gerçekleştirmeleridir. Bu bağlamda, projelerde atık yönetimi uygulamalarının detaylandırılması ihtiyacı ön plana çıkmaktadır. Ancak, projelere ait detaylandırılmış veriler bulunmamaktadır. Arazi kısıtı kriterinde, Ege ve Akdeniz bölgelerindeki projeler daha yüksek değere sahiptir. Bu, söz konusu projelerin kurulduğu alanların, bölge hassasiyetlerini daha iyi seviyede karşılamasından kaynaklanmaktadır.

Ekosistem kriterinde, Marmara Bölgesi'ndeki proje en düşük değere sahiptir. Bunun sebebi, projenin kurulduğu alanın, özel doğa alanına, milli parklara, orman arazilerine vb. yakın bulunmasıdır. RES bölgesindeki flora (bitki türü) durumu ve miktarının da değerlendirilmesi gerekmektedir. Ancak, projelerin söz konusu kritere ait verileri bulunmamaktadır.

Görsel etki kriterinde, Marmara Bölgesi'ndeki proje en düşük değere sahiptir. Bunun sebebi, RES'in yerleşim alanlarından görülebilecek şekilde yapısal görüntü kirliliği oluşturmamasıdır. Gaz salınım azaltımı kriterinde, tüm projeler düşük değere sahiptir. Bunun sebebi, projelerin kurulu güç seviyelerinin düşük olmasıdır. Akustik etki kriterinde, tüm projeler yüksek değere sahiptir. Bunun nedeni, RES'lerin yerleşim yerlerine uzak mesafelere yerleştirilmesidir.



Şekil 10. Projelerin, Çevresel Alt Kriterlerinin Karşılaştırmaları

### *Politik Kriteri*

Projelerin politik ana kriter değerlerine ait hesaplamaları, Tablo 8'de gösterilmiştir. Beş farklı alt kriterle ait ağırlıklar, politik ana kriter altında eşit olarak (0,20) atanmıştır. Tablo 8 incelendiğinde, tüm projelerin politik açıdan aynı seviyede (0,72) olduğu görülmektedir.

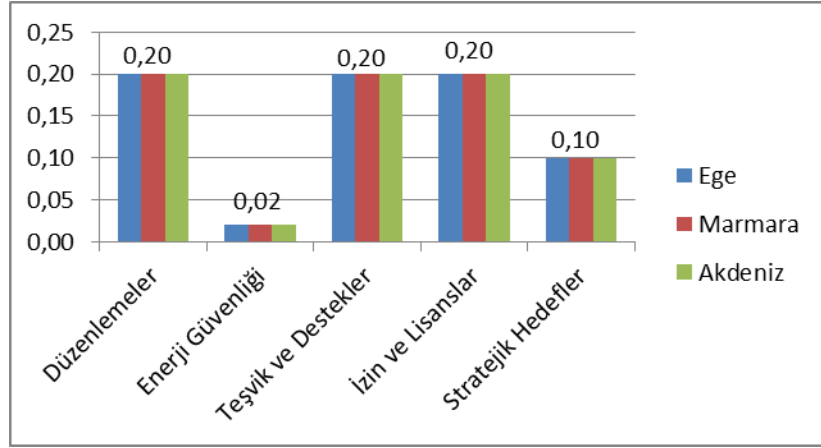
Projelerin, her bir kriterle göre değerleri, Şekil 11'de sunulmuştur. Enerji güvenliği kriterinde, tüm projeler düşük değere sahiptir. Bu, rüzgâr enerjisinin ülkenin toplam enerji üretimindeki payının, çok düşük olmasından kaynaklanmaktadır. Bu bağlamda, ülkenin enerjide dışa bağımlılığının azaltılması ve enerji kaynaklarının çeşitlendirilmesi amacıyla, RES projelerinin yaygınlaştırılması ön plana çıkmaktadır.



**Tablo 8.** Politik Kriter Değerleri

Alternatif Projeler (P)	Kriterler (m)	Kriter Skoru (X <sub>i</sub> )	Fayda Değeri U <sub>i</sub> (X <sub>i</sub> )	Kriter Ağırlığı (W <sub>i</sub> )	Ağırlıklı Değer V <sub>i</sub> = W <sub>i</sub> · U <sub>i</sub> (X <sub>i</sub> )	Toplam Değer V(P)=∑V <sub>i</sub>
Ege	Düzenlemeler	Var	1	0,20	0,20	<b>0,72</b>
	Enerji Güv.	ÇA	0,1	0,20	0,02	
	Teşv. & Dest.	Var	1	0,20	0,20	
	İzin ve Lisans.	Yok	1	0,20	0,20	
	Strtjk.Hedef.	30	0,5	0,20	0,10	
Marmara	Düzenlemeler	Var	1	0,20	0,20	<b>0,72</b>
	Enerji Güv.	ÇA	0,1	0,20	0,02	
	Teşv. & Dest.	Var	1	0,20	0,20	
	İzin ve Lisans.	Yok	1	0,20	0,20	
	Strtjk.Hedef.	30	0,5	0,20	0,10	
Akdeniz	Düzenlemeler	Var	1	0,20	0,20	<b>0,72</b>
	Enerji Güv.	ÇA	0,1	0,20	0,02	
	Teşv. & Dest.	Var	1	0,20	0,20	
	İzin ve Lisans.	Yok	1	0,20	0,20	
	Strtjk.Hedef.	30	0,5	0,20	0,10	

Düzenlemeler kriterinde, tüm projeler eşit değere sahiptir. Bunun sebebi, tüm projelerin, sadece Yenilenebilir Enerji Kanunu'na göre değerlendirilmesidir. Bu bağlamda, rüzgâr enerjisi politikalarının ayrı olarak geliştirilmesine ve bölgesel anlamda özendirici yasal mevzuata ihtiyaç duyulmaktadır. Teşvik ve destekler kriterinde, tüm projeler eşit değere sahiptir. Bunun sebebi, rüzgâr enerjisinden üretilen elektrik alım garantisinin, genel kapsamda uygulanmasıdır. Bu bağlamda, söz konusu desteklerin genişletilmesine, bölgesel ve kurulu güç seviyelerine göre çeşitlendirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır. İzin ve lisanslar kriterinde de, tüm projeler eşit değere sahiptir. Bunun nedeni, RES projelerinin işletmeye geçebilmesi için, söz konusu izinlerin ve lisansların alınmış olması zorunluluğudur. Bürokratik engellerden dolayı, söz konusu resmi izin ve lisansların onayı, oldukça uzun zaman almaktadır. Bu bağlamda, RES yatırımcılarının, projelerini bir an önce işletmeye alabilmelerine yönelik, bürokratik engellerin kaldırılmasına ve süreçlerin düzenlenmesine ihtiyaç duyulmaktadır.



Şekil 11. Projelerin, Politik Alt Kriterlerinin Karşılaştırmaları

### Sonuç ve Öneriler

Rüzgâr enerjisi, yenilenebilir enerji kaynakları içinde elektrik üretiminde en hızlı gelişen teknolojilerden biridir. Türkiye’de rüzgâr enerjisi uygulamaları başlangıç aşamasındadır. Rüzgâr enerjisi teknolojilerindeki ulusal Ar-Ge çalışmalarının genişletilmesiyle; hem ulusal ihtiyaçları karşılayabilen sanayi kurulacak, hem de enerji ekonomisi ve politikalarında yeni bir hamle yapılabilecektir. Son yıllarda, Türkiye’de rüzgâr enerjisine yönelik teşviklerin ve düzenleyici yasaların çıkarılmasına ve önemli yatırımların yapılmasına çalışılmaktadır. Ancak, rüzgâr enerjisinin toplam elektrik üretimindeki payının % 2 seviyelerinin altında olması, aynı zamanda orta ve uzun vadeli rüzgâr enerjisi hedeflerinden çok uzakta olduğumuzu göstermektedir. Tüm bunlara rüzgâr enerjisi teknolojilerindeki olgunluk seviyesinin yetersizliği ve teknik alanda yetişmiş insan gücünün eksikliği de eklendiğinde, rüzgâr enerjisi alanında alınacak daha çok yolun olduğu görülmektedir.

Rüzgâr enerjisi paydaş gruplarının amaçları, değerleri ve ilgi alanları farklılık gösterebilmektedir. Ancak her birinin, kurumsal amaçlarını en iyileyen kararları araştırmaları ve kararlarına analitik bir yaklaşım ile ulaşmaları beklenmektedir. Bu maksatla, RES projelerinin tüm yönleriyle değerlendirilebileceği çok amaçlı karar verme süreçlerini kapsayan yaklaşımlara ihtiyaç duyulmaktadır. Karar verici tarafından kıyaslanması istenen rüzgâr enerjisi projelerinin her biri, kendine özgü teknolojileri içerebildiği gibi aynı teknolojilere sahip projelerin farklı bölgelerde ve kurulu güçlerdeki uygulamalarını da içerebilmektedir.

Çalışmada, RES projelerinin sistem yaklaşımı içinde değerlendirilmesini sağlayan çok kriterli karar verme tekniklerinden AHS

ve Çok Amaçlı Fayda Analizinin kullanıldığı bir model, RETPAM, geliştirilmiştir. Önerilen modelin uygulanması kapsamında, Türkiye’de en fazla rüzgâr kaynak potansiyeli ve kurulu gücüne sahip olan Ege, Marmara ve Akdeniz bölgelerinde işletmede olan RES projelerinin “bölgesel farklılıkları” dikkate alınmıştır. Uygulamada, RES projelerinin bölgesel farklılıklarının hangi kriterler üzerinde etkili olduğunun tespit edilmesi hedeflenmiştir.

Yapılan analizler sonucunda elde edilen bulgular aşağıdadır:

- RES projelerinin bölgesel farklılıklara göre, sırasıyla, en fazla çevresel, teknik, sosyal ve ekonomik amaçlar altında değişim gösterdiği belirlenmiştir.
- Projelerin, coğrafi konumlarına bağlı olarak farklılık gösterdiği kriterler sırasıyla; arazi kısıtı, akustik etki, ekosistem, yaban hayatı, görsel etki, hat ara bağlantısı, elektromanyetik karışım, rüzgâr hızı, kapasite faktörü, istihdam, emniyet, toplumsal kabul ve kurulum maliyetinde oluşmuştur.
- RES projelerinin coğrafi konum farklılıkları, politik açıdan projeler arasında bir fark yaratmamaktadır. Bunun ana sebebi, tüm yenilenebilir enerji projeleri için Türkiye çapında aynı yasal düzenlemelerin uygulanmasıdır.

Çalışma sonuçlarına dayanarak sunulan öneriler şunlardır:

- RES projelerinin bölgesel farklılıklarının, ekonomik ve politik amaçlardaki etkilerinin artırılarak bölgesel kalkınmada fayda sağlanabileceği değerlendirilmektedir. Bu maksatla, kalkındırılmak istenen bölgelerdeki RES yatırımları için teşvik ve destekler, stratejik hedefler, primler ve kredi imkânları kapsamında farklı düzenlemeler sağlanmalıdır. Böylece yatırımcı, sermayesini kazancına bağlı olarak uygun bölgelerde değerlendirmek isteyecektir.
- Türkiye’de mevcut RES projeleri için uluslararası standartlara (Gold Standard , VCS , VER+ vb.) göre yabancı kurumlardan sertifikasyon alınmaktadır. Bu kapsamda RETPAM, rüzgâr enerjisi projelerinin geçerlemesi (Validation), doğrulanması (Verification) ve belgelendirilmesine (Certification) yönelik, ulusal anlamda yol gösterici bir uygulama olabilecektir.

RETPAM’ın kullanımı kapsamında ortaya çıkan belirgin özellikleri şunlardır:

a. RES projelerinin karşılaştırılmasına imkân sağlamaktadır. Ayrıca, daha ayrıntılı olarak ve ayırt edici şekilde kriter değerlendirmelerini ortaya koyabilmektedir.

b. RES proje süreçlerinde dikkate alınması gereken hususları, bir bütün olarak görmeyi sağlamaktadır. Özellikle yatırım kararları için fizibilite raporlarında kullanılabilmesi değerlendirilmektedir.

c. Proje kriterlerine ait değişikliklerin etkileri görülebilmekte, farklı paydaşların kriter ağırlıklarını dikkate almak ve uzlaşma amacıyla kullanılabilir.

d. Modelin, diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına (PV, HES, Biokütle, vb.) ait projeler için de kullanılabilmesi değerlendirilmektedir.

Modelin geliştirilmesine yönelik öneriler şunlardır:

a. Modelin farklı RES projelerinde uygulamaları geliştirildikçe, elde edilen sonuçlar ve tecrübeler ile veri tabanları oluşturulabilir. Bu kapsamda, modelde ihtiyaç duyulan deprem bölgeleri, önemli doğa alanları, rüzgâr hızları atlası vb. bilgilerin, coğrafi bilgi sistemleri ile desteklenen veri tabanını oluşturmak amacıyla modüller eklenebilir.

b. RES'lere ait ulusal veri tabanından, doğrudan veri çekebilecek düzenleme yapılabilir.

c. Paydaş grupları bazında senaryolara dayalı, fayda fonksiyonları ve kriter ağırlıkları geliştirilebilir.

d. Modelin, farklı yenilenebilir enerji kaynakları için kullanılabilmesi amacıyla, kriter grupları ve fayda fonksiyonları tanımlanabilir.

### Kaynakça

- Barin, A., Canha, L.N., Abadia, A.R., Magnago, K.F. ve Wottrich, B. (2009). Multicriteria analysis of the operation of renewable energy sources taking as basis the AHP method and fuzzy logic concerning distributed generation systems. *OJEEE*, 1 (1), 52-57.
- Beccali, M., Cellura, M. ve Mistretta, M. (2003). Decision-making in energy planning-application of the electre method at regional level for the diffusion of renewable energy technology. *Renewable Energy*, 28 (13), 2063-2087.
- Belkin, P. (2008). *The European Union's Energy Security Challenges*. CRS Report For Congress.

- Calost (2014). *Multi-Attribute Utility Analysis*. [http://calost.org/pdf/science-initiatives/oil-and-gas/OilandGas\\_Appendix5.pdf](http://calost.org/pdf/science-initiatives/oil-and-gas/OilandGas_Appendix5.pdf) adresinden alınmıştır.
- Cavallaro, F. ve Ciraolo, L. (2005). A multicriteria approach to evaluate wind energy plants on an italion island. *Energy Policy*, 33, 235-244.
- Chatzimouratidis, A.I. ve Pilavachi, P.A. (2008). Multicriteria evaluation of power plants impact on the living standard using the analytic hierarchy process. *Energy Policy*, 36 (3), 1074-1089.
- Çetindamar, D., Can, Ö. ve Pala, O. (2006). Technology management activities and tools: The practice in Turkey. *PICMET 2006 Proceedings*.
- Davoudpour, H., Rezaee, S. ve Ashrafi, M. (2012). Developing a framework for renewable technology portfolio selection: A case study at a R&D center. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16, 4291-4297.
- Elkarni, F. ve Mustafa, I. (1998). Increasing the utilization of solar energy technologies (set) in jordan; analytic hierarchy process. *Energy Policy*, 21 (9), 978-984.
- European Union (1995). *An energy policy for the european union*. White Paper, Brussels, COM(95) 682 final.
- ETKB, 2013. *Mavi Kitap 2013*. Ankara.
- Gedik, T., Akyüz, K.C. ve Akyüz, İ. (2005). Yatırım projelerinin hazırlanması ve değerlendirilmesi (iç karlılık oranı ve net bugünkü değer yöntemlerinin incelenmesi. *ZKÜ Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, (7), 7.
- Haralambopoulos, A. ve Polatidis, H. (2003). Renewable energy projects: Structuring a multi-criteria group decision-making framework. *Renew Energy*, 28, 961-973.
- IEA (2006). Renewable energy: Rd&D priorities. Insights from iea technology programmes. <http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/renewenergy.pdf> adresinden alınmıştır.
- Kirkwood, C.W. (1997). *Strategic decision making: Multi objective decision analysis with spreadsheets*. California: Duxbury Press.
- Lee, S.K., Yoon, Y.J. ve Kim, J.W. (2007). A study on making a long term improvement in the national energy efficiency and GHG control plans by the AHP approach. *Energy Policy*, 35 (5), 2862- 2868.
- Lee, H.I., Chen, W.C. ve Chan, C.J. (2008). A fuzzy AHP and BSC approach for evaluating performance of IT development in the manufacturing industry in Taiwan. *Exert Systems with Applications*, 34 (1), 96-107.
- Mateo, J.R. (2012). *Multi-criteria analysis in the renewable energy industry*. London: Springer.

- Mladineo, N., Margeta, J., Brans, J.P. ve Mareschal, B. (1987). Multicriteria ranking of alternative locations for small scale hydro plants. *European Journal of Operational Research*, 215-222.
- Polatidis, H., Haralambopoulos, D., Munda, G. ve Vreeker, R. (2006). Selecting an appropriate multi-criteria decision analysis technique for renewable energy planning. *Energy Sources*, 181–193.
- Tzeng, G., Tsaor, S., Laiw, Y. ve Opricovic, S. (2002). Multicriteria analysis of environmental quality in Taipei: Public preferences and improvement strategies. *Journal of Environmental Management*, 65, 109-120.
- Uluşans, İ.E., Kocaman, Y. ve Şarman S. (2009). Yenilenebilir enerji üretim kaynakları ve insan merkezli tasarım projeleri için ergonomik ilkeler. *TMMOB Makina Mühendisleri Odası Bülteni*, 129, 16-18.
- Wang, X. ve Feng, Z. (2002). Sustainable development of rural energy and its appraising system in China. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 6 (4), 395-404.
- Wang J.J., Jing Y.Y., Zhang C.F. ve Zhao, J.H. (2010). Review on multicriteria decision analysis aid in sustainable energy decision making. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13, 2263-2278.
- Yu, O.S. (2006). *Technology portfolio planning and management: Practical concepts and tools*. Los Altos, CA, USA: Springer.
- Zhi, H., Zheng, Y. ve Wen, J. (2012). Planning and dispatching of hybrid renewable power system based on portfolio theory. *Energy Procedia*, 14, 241-246.

## Ek-1

Tablo 9. Kriter Tanımlamaları

Kriterler	Hedef	Birim	Beklenen Değer	
Sosyal	İstihdam	Projenin işletme aşamasında istihdam edilen toplam çalışan sayısını tanımlar.	Sayı	Yüksek
	Emniyet	RES projesinin, toplum ve insanlarda oluşturacağı yan etkilerine karşı alınan tedbirlerin seviyesi tanımlanır. Alınacak tedbirler sayesinde, projenin olası sosyal ve bireysel riskleri azaltılmaya çalışılmaktadır.	ÇA/A/O/Y/ÇY	ÇY
	Toplumsal Kabul	Bölge halkının, RES projesine yönelik tutumunu tanımlar.	ÇA/A/O/Y/ÇY	ÇY
	Sosyal Fayda	RES projesinin, istihdam haricinde bölgede yarattığı sosyal kalkınma (toplumsal etkileşim, çevrenin güzelleştirilmesi, sosyal sorumluluk projesi vb.) durumu tanımlanır.	ÇA/A/O/Y/ÇY	ÇY
Teknik	Servis Ömrü	Sistemin beklenen serviste kalma ömrünü tanımlar. Servis ömrü, sistemde kullanılan teknolojinin teknik ömrünü gösterir.	Yıl	Yüksek
	Enerji Nakil Hattı (Hat Uzunluğu)	RES'te üretilen enerjinin, herhangi bir elektrik şebeke hattına bağlantı durumunu tanımlar. Ele alınan örnek RES projeleri, ürettiği elektriği ulusal elektrik şebeke ağına aktardığından dolayı, söz konusu kriter kapsamında enerji nakil hattının uzunluğu incelenmiştir.	Km.	Düşük
	Elektromanyetik Karışım (EMI)	RES'in oluşturduğu elektromanyetik karışımdan etkilenen radar, seyrüsefer ve muhabere cihazlarının miktarını tanımlar.	Sayı	Düşük
	Güvenirlilik	Sistemin tasarlandığı şekilde faaliyet gösterebilme yeteneğini tanımlar.	ÇA/A/O/Y/ÇY	ÇY
	Teknoloji Olgunluğu	RES'lere ait teknolojilerin, ulusal seviyedeki yaygınlığını tanımlar.	ÇA/A/O/Y/ÇY	ÇY
	Rüzgâr Hızı	RES'in kurulduğu sahadaki, ortalama rüzgâr hızını tanımlar. Verilen değerler, projeye ait bölgenin 50 m. yükseklikteki ölçülen ortalama rüzgâr hızlarıdır.	m/s	Yüksek
	Kapasite Faktörü	RES'in belli bir periyotta ürettiği toplam enerjinin, tam kapasitede üretebileceği enerjiye olan oranını tanımlar.	%	Yüksek
	Türbin Kapasitesi	RES'in toplam kurulu gücünü oluşturan, her bir türbinin kapasitesini tanımlar.	kW	Yüksek
Ekonomik	İç Kârlılık Oranı	Yatırım projelerini değerlendirme yöntemlerinden biridir ve öz kaynakların verimliliğini gösteren finansal bir göstergedir (Gedik vd., 2005).	%	Yüksek
	Malzeme Primi	Yurt içinden temin edilecek RES ekipmanları için projeye verilecek primleri tanımlar.	ABD Doları cent/kWs	Yüksek
	Toplam Enerji Üretimi	RES'in yıllık toplam enerji üretiminin, kilowatsaat cinsinden ifadesidir. Üretilen enerji miktarı ile doğru orantılı olarak elektrik satımından elde edilen gelir, projede ekonomik anlamda getiri sağlamaktadır.	Avro/Yıl	Yüksek

	Gaz Emisyon Ticareti	RES projesinin hayata geçmesiyle birlikte, yıllık sağlanacak ortalama CO <sub>2</sub> ve benzeri gaz (tCO <sub>2</sub> e/yıl) salınım azaltımını tanımlar.	(\$/Yıl)	Yüksek
	Kurulum Maliyeti	RES proje toplam maliyetinin, MW başına ortalama değerini tanımlar.	Avro/MW	Düşük
	Öz Sermaye Oranı	Projenin toplam yatırım miktarındaki mevcut öz sermaye oranını tanımlar.	%	Yüksek
Çevresel	Arazi Kısıtı	Projenin kurulacağı araziye yönelik, ilgili bakanlık iznini gerektiren kısıtların bulunup bulunmadığını tanımlar. Arazi kısıtları kapsamında, projeye ait alanın korunması gerekli duyarlı alanlarda bulunup bulunmadığı sorgulanmaktadır.	ÇA/A/O/Y/ÇY	ÇA
	Akustik Etki	RES projesinin, canlı yaşamını etkileyen veya rahatsızlık veren gürültü oranını tanımlar. Algılanan gürültü seviyesinde uzaklığın önemli rol oynadığı esasına dayanarak, türbinlerin en yakın yerleşim yerlerine olan mesafeleri dikkate alınmıştır.	Km.	Yüksek
	Gaz Salınım Azaltımı	RES projesinin işletmeye geçmesiyle birlikte, bir yılda sağlanacak ortalama CO <sub>2</sub> ve benzeri gaz salınım azaltım miktarını tanımlar.	tCO <sub>2</sub> e/yıl	Yüksek
	Ekosistem (Flora)	RES'in kurulum ve işletmesinden etkilenen, flora (bitki türü) durumu ve miktarı tanımlanır.	ÇA/A/O/Y/ÇY	ÇA
	Yaban Hayatı (Fauna)	RES projesinden etkilenen yaban hayatının durumu ve yaban hayvan türleri tanımlanır.	metrekare	Düşük
	Atık Kontrolü	RES projesinin kurulum ve işletmesi süresince oluşan atıkların, yer altı/üstü sularına ve toprağa karışmaması için proje kapsamında oluşturulan atık yönetiminin durumunu tanımlar.	ÇA/A/O/Y/ÇY	ÇY
	Görsel Etki	RES projesinin, bölgenin görsel yapısı üzerinde oluşturacağı estetik değişikliği tanımlanır.	ÇA/A/O/Y/ÇY	ÇA
	Politik	Düzenlemeler	Projeye yönelik yasal mevzuatın durumu tanımlanır.	Var/Yok
Enerji Güvenliği		Ülkenin enerji tedarikinde, politik tehditlerin bulunup bulunmadığı tanımlanır ve proje ile ulusal enerji güvenliğine sağlanacak katkı durumu gösterilir.	ÇA/A/O/Y/ÇY	ÇY
Teşvik ve Destekler		Rüzgâr enerjisine yönelik devlet destek ve teşviklerinin bulunup bulunmadığını tanımlar.	Var/Yok	Var
İzin ve Lisanslar		RES projesinin işletmeye geçmesi için alınması gereken resmi izinlerin bulunup bulunmadığını tanımlar.	Var/Yok	Yok
Stratejik Hedefler		Projenin ait olduğu enerji kaynağından, ülkenin toplam enerji üretiminde hedeflenen yüzdelik payını tanımlar.	%	Yüksek



## Ek-2

Tablo 10. Kriterlere Ait Çıkarımlar

Kriterler	Çıkarım
İstihdam (✓)	İstihdam edilecek işgücünün yeterli teknik bilgiye sahip olması, coğrafi konum ile doğrudan ilgilidir. Özellikle sektörel gelişmelerin olduğu bölgelerde işgücü imkânı yüksektir. Aynı zamanda, işsizlik oranı yüksek bölgelerin kalkınmasına sağlayacağı katkı açısından bakıldığında, projenin bölgesel konumunun önemli olduğu değerlendirilmektedir.
Emniyet (✓)	Projeler için risk durumu yaratan deprem, toprak kayması, terör vb. etmenlerin coğrafi konuma göre farklılık göstereceği değerlendirilmektedir.
Toplumsal Kabul (✓)	Bölge halkının RES projelerini, beklentileri doğrultusunda (iş imkânı, doğanın korunması vb.) kabul durumunu belirttiğinden dolayı, coğrafi konum önem kazanmaktadır. Az gelişmişlik, işsizlik oranının yüksek olması gibi bölgesel etkiler, toplumun projeye kabulünü kolaylaştırır.
Sosyal Fayda (✓)	Projelerin coğrafi konumu, kalkınmaya ihtiyaç duyulan bölgelerde hayata geçirilmesi açısından önemlidir.
Servis Ömrü (-)	Bölgesel farklılıkların, sistem servis ömründe etki yarattığı düşünülmektedir. Servis ömrü, RES teknik özellikleri ile bağlantılıdır.
Hat Ara Bağlantısı (✓)	Elektrik hat ve trafoların bölgesel mevcudiyet durumları, kriteri doğrudan etkilemektedir.
Elektromanyetik Karışım (EMI) (✓)	RES'in elektromanyetik yapısından etkilenebilecek sistemlerin (radar, muhabere cihazı vb.) varlığı, bölgesel olarak değişim gösterebilmektedir.
Güvenirlilik (-)	RES sistemlerinin, tasarlandığı seviyede çalışabilme durumları (güvenirlilikleri) sistemin teknik yapısına bağlıdır. Projenin kurulu bölgesi açısından farklılık göstermez.
Teknoloji Olgunluğu (-)	RES teknoloji ve teknik bilgi seviyesi, projenin teknik etkinliği açısından önemlidir.
Rüzgâr Hızı (✓)	RES'in teknik etkinliğini doğrudan yansıtır ve verimliliğini sağlar. Bölgesel olarak bu kriterlerde farklılık görülür.
Kapasite Faktörü (✓)	
Türbin Kapasitesi (-)	İleri teknoloji türbinler ile yüksek enerji üretimi sağlanabildiğinden, projenin teknik etkinliğinde önemli bir faktördür. Bölgesel farklılıklar kritere etki göstermez.
İç Kârlılık Oranı (-)	Projenin, yatırıma uygunluğunu yansıtan ekonomik bir göstergedir. Projenin kurulu gücüne bağlı değişim göstereceği değerlendirilmektedir.
Malzeme Primi (✓)	Yerli malzeme primi, projenin teknik yapısı ile doğrudan ilişkili olduğu değerlendirilmektedir. Bölgesel anlamda kalkınmanın sağlanmasında ve organize sanayi bölgelerinin teşvik edilmesinde önem taşımaktadır.
Toplam Enerji Üretimi (-)	Projeden üretilecek enerji miktarı, projenin kurulu gücü ile ilgilidir.

Gaz Emisyon Ticareti (-)	CO <sub>2</sub> gaz salınımının azaltımı projenin kurulu gücü ile ilgilidir.
Kurulum Maliyeti (✓)	Kurulum maliyetleri, projenin coğrafi konumuna bağlı olarak farklılıklar ve etkiler gösterebilir.
Öz Sermaye Oranı (-)	Proje öz sermayesinin, coğrafi konuma bağlı olarak farklılık göstermediği düşünülmektedir.
Arazi Kısıtı (✓)	Proje alanının çevresel duyarlılığını incelendiğinden, projenin coğrafi konumu açısından önemlidir.
Akustik Etki (✓)	RES'lerin yaratacağı gürültü etkisi, projenin coğrafi konumundaki yerleşim durumu ile doğrudan ilişkilidir.
Gaz Salınımı (-)	Proje ile engellenecek CO <sub>2</sub> salınım miktarı, coğrafi konuma bağlı bir farklılık göstermez.
Ekosistem (Flora) (✓)	Projenin, bitki türlerine olan etkileri, projenin kurulduğu coğrafi konum ile doğrudan ilişkilidir.
Yaban Hayatı (Fauna) (✓)	Projenin, canlı türlerine olan etkileri, projenin kurulduğu coğrafi konum ile doğrudan ilişkilidir. Özellikle kuşlara olan etkileri açısından, kuş göç yollarının bölgesel güzergâhlarında etkili olur.
Atık Kontrolü (-)	Proje atıklarının toprak, su ve havaya olabilecek etkilerinin, bölgesel farklılıktan etkilenmediği değerlendirilmektedir.
Görsel Etki (✓)	Proje yakınındaki nüfus durumu ve bölgesel cazibe alanlarının bulunması projenin görsel etkinliğinin, bölgesel önemini gösterir.
Düzenlemeler (-)	RES'lere yönelik yasal düzenlemeler, bölgesel olarak farklılık göstermemekte, genel çerçevede ele alınmaktadır.
Enerji Güvenliği (-)	Rüzgâr enerjisinin ulusal enerji güvenliğine katkısı, toplam enerji payındaki miktarı ile orantılıdır. Bu pay, oldukça düşüktür ve mevcut yapıda bölgesel olarak ayırteçiciliği bulunmamaktadır.
Teşvik ve Destekler (-)	RES'lere sağlanan teşvik ve destekler, coğrafi konum açısından farklılık göstermemektedir.
İzin ve Lisanslar (-)	RES'lere yönelik alınması gerekli tüm izinler genel bir yapıda düşünülmüştür. İzinler bölgesel anlamda farklılık göstermemektedir.
Stratejik Hedefler (-)	Rüzgâr enerjisindeki hedefler, proje ve bölgesel bazda ayrıntılandırılmamıştır. Tek bir ulusal hedef belirlenmiştir.

Not: (✓) işaretli kriterlerin, RES projelerinde bölgesel farklılıklara göre ayırt ediciliğinin bulunduğunu göstermektedir.

## **Extended Summary**

### **Technology Portfolio Analysis Model: An Application for Wind Energy in Turkey**

#### **Introduction**

Energy is the most crucial need in today's modern communities. Demand for energy is booming together with increasing population rate and spreading of energy-dependent technologies. Developing countries import a large portion of its energy requirements and energy is considered a key industry. Renewable energy sources have emerged as an important alternative to conventional energy sources to meet the energy needs. Wind energy is one of the fastest growing technologies in electricity production from renewable energy sources in Turkey as well as globally.

The major reasons to tend toward the wind energy can be assessed as sustainability, global climate change, environmental pollution, steadily rising energy prices and energy demands, depletion of conventional resources, energy security, energy markets, promoting indigenous energy supply, diversify energy supply, and reducing the carbon emissions. Despite the increase in the last decade, a number of difficulties experienced in wind energy projects shows that it can not be used enough wind potential in Turkey. Leading problems in expanding use of wind energy, are mostly seen for meeting the expectation of investors, formation of government policy and awareness of the users.

Wind energy industry has wide range of actors whose values, interests and objectives are different. All of them search for the best cost effective decision to better support their organizational strategies and goals. Shortly, it is a challenging task for wind energy planners to assess whole criteria while managing the process more efficiently and effectively. But, there does not exist a decision support system that takes into account the factors that should be considered in a holistic manner for the planners.

Based on the aforementioned determination, Wind Energy Technology Portfolio Analysis Model (RETPAM) that enables the technology portfolio analysis of Wind Power Plant (WPP) projects has been developed. RETPAM allows WPPs to be assessed from social, technical, economic, environmental, and political perspectives. RETPAM has been developed by using Analytic Hierarchy Process (AHP) and Multi-Attribute Utility Analysis as Multi Criteria Decision Making Methods (MCDM) and coded in Excel<sup>®</sup>. RETPAM has been used to evaluate three different WPPs with close installed capacities that have been deployed in different

geographical regions in Turkey. The purpose of the application has been to determine the effects of regional differences on the decision makers' objectives.

## **Methodology**

### **Technology Portfolio Analysis**

The purpose of technology portfolio analysis is the most appropriate allocation of resources from existing projects according to the results of a systematic evaluation for the purposes of decision-makers. The portfolio consists of projects with different technologies as it can be the same technology (Yu, 2006). Technological advances and complex energy systems force the decision makers to perform different purposes under many constraints. Especially due to the very high investment costs and states are at the bottom of the ladder for legal acts, wind energy projects require effective decision making mechanisms. Alternatives need to be assessed with the MCDM, diversely the traditional single-criteria decision making approach that only considers to be the most appropriate choice of low-cost (Mateo, 2012).

Literature review shows that portfolio analysis studies mostly apply to MCDM methods. Models remain inadequate for technology portfolio analysis in addressing the integrity of the system. Besides, there has been no qualitative and quantitative evaluation criteria in determining the purpose of decision-makers. And, it falls short to the number of criteria and its details. Lack of criteria can lead to incomplete assessment for determination of differences in WPPs.

RETPAM has the most obvious differences from the examples in the literature with dealing entirely the steps of portfolio process and working through the criteria of WPP projects. In this study, AHP and swing weight methods are used in order to determine the weight of criteria. Multi attribute utility analysis is used to assign a value to a criterion's score.

### **Multi-Attribute Utility Analysis**

Application of the multi attribute utility analysis requires utility functions that show the criteria under a common measurement. Utility function reflects the nature and range of each criterion. To this end, it is revealed utility function for all criteria (Mateo, 2012).

Utility function is a tool that assigns numerical index for different scores of a particular criterion and, scales the preferences of the decision makers. In other words, the utility function correlates criterion scores with preference levels. Utility function value is represented with  $U_i(x_i)$  where  $x_i$  represents score of  $i$  criterion. In every case,  $U_i(x_i)$  has a value between 0

(the worst) and 1 (the best). Utility functions mostly use two different functions, one is the piecewise linear and the other is exponential function.

When criteria scores have an infinite number of levels, there exist a great number of value exchanges between the scores. Thus, exponential utility functions are used. The structure of the function is defined according to the increasing or decreasing value of the criterion's score (Kirkwood, 1997).

### **Model Development (RETPAM)**

Development of the model, RETPAM, was based on the steps of decision process related to the technology portfolio analysis. First of all, wind energy framework has been established to clearly identify the objectives of the decision makers. All issues should be taken into account in the process of WPP projects is demonstrated by the help of this framework. Then, the major objectives are considered that decision makers may have, and these are grouped under Social, Technical, Economic, Environmental and Political (STEEP) aspects in a way that can reflect the aims of different stakeholder groups. A decision matrix is designed by detailing the main criteria until obtaining subcriteria that are measurable.

### **Model Application**

The model was applied for assessment of the 3 different Wind Power Plants (WPPs) at different regions (Aegean, Marmara and Mediterranean) in Turkey. The power capacity of WPPs is around 30 MW. The main purpose of the application is to present the effects of regional differences on the STEEP aspects.

The data are collected in two different ways. Technical data are obtained from General Directorate of Renewable Energy (YEGM). And, the others are obtained from validation reports (Gold Standard , VCS , VER+, etc.) of carbon trading and sustainable index about related WPP.

### **Results of the Application**

The application concluded that the projects have the best values that are located in Aegean and Mediterranean regions. Achievement of the objectives for each project is discussed as follows:

In context of social aspect, value of the project is higher in the Aegean region. This result arises from the higher value of the project for safety, social acceptance and benefit criteria. Regarding the technical aspect, it has the highest value for the projects in the Mediterranean region whereas the lowest value is in the Aegean region. This difference is caused by the network interface line, electromagnetic interference, wind speed and turbine

capacity criteria. In context of economic aspect, all projects have values, but the project has a relatively higher value in the Mediterranean region. The reasons to get a low value are related to low power capacity, lack of domestic material contributory and high costs of imported turbines. In context of environmental aspect, It has the highest value for the project in Aegean region whereas the lowest value is in Marmara region. This result arises from terrain constraint, ecosystem and visual effect criteria. In context of political aspect, all projects has the same value. The major reason is that a common mechanism is operated for whole renewable energy projects and there is the absence of detailed regulation which can observe regional, financial and technical, etc. differences. It is necessary to carry out separate political arrangements for wind energy.

### **Conclusion**

Wind energy applications is in its early stages in Turkey. By expanding the national R&D activities in wind energy technology, an industry will be established that can meet the national needs, and new moves will be made in both energy economics and policy. In recent years, incentives and regulatory laws have been enacted for wind energy in Turkey. However, the level of wind energy share is below 2 % of total electricity production, reflects that we are far away from the medium and long term wind energy targets. If it is also considered that there is lack of technology maturity level and absence of skilled human power in wind energy sector, it is seen that there is still a long way to be in the wind energy field.

In this study, RETPAM has been developed that evaluates the WPPs in a system approach, by using Analytic Hierarchy Process (AHP) and Multi-Attribute Utility Analysis. The findings of this study can be summarized as follow: The regional differences of WPPs is the most meaningful respectively for environmental, technical, social and economic aspects. Besides, it does not have any specific effect for political objectives. The main reason is that the same regulation is applied for all renewable energy projects in Turkey.

There are some recommendations based on the results. Firstly, it is considered that regional impacts on economic and political goals will be beneficial for regional development. For this purpose, some incentives, financial supports, loan facility and contributions can be arranged for the investments in the region that is needed to be promoted. Secondly, the WPP projects are certified by the international institutions in Turkey. In this sense, RETPAM can be used as an instructive model for validation, verification and certification of the projects.