

ANALİTİK HİYERARŞİ PROSES YÖNTEMİ İLE RÜZGAR TÜRBİN SEÇİMİ

Ahmet SARUCAN¹, Mehmet Cabir AKKOYUNLU², Aydoğan BAŞ³

¹Selçuk Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, KONYA

²Bartın Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, BARTIN

³Tübitak, ANKARA

sarucan@selcuk.edu.tr, mehmetcabira@hotmail.com, aydoganbas@hotmail.com

ÖZET: Bu çalışmada kuruluş yeri önceden tespit edilen bir rüzgâr türbini için uygun türbin markası seçiminde dikkat edilmesi gereken kriterler belirlenmiştir. Kriterlere uygun hiyerarşik bir yapı oluşturulmuş ve bu yapıya göre belirlenen markalar arasından en iyi rüzgâr türbini seçim kararına, Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) yöntemi uygulanmıştır. Bu yolla elde edilen sonuçlar değerlendirilmiş ve alternatif rüzgâr türbini markaları arasından hangisinin seçileceği detaylı olarak incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Rüzgâr enerjisi, Rüzgâr türbini, Analitik hiyerarşi süreci (AHS)

Wind Turbine Selection Using Analytic Hierarchy Process

ABSTRACT: In this study, the criteria that need to be considered for the selection of an appropriate wind turbine brand were settled based on a predetermined location of wind turbine. A hierarchical structure was established and Analytical Hierarchical Process (AHP) method was applied on the decision of selection for the best wind turbine among candidate turbine brands by means of this structure. Results obtained by this way were evaluated and the turbine which is selected among alternative turbine brands was investigated in detail.

Key Words: Wind energy, Wind turbine, Analytic Hierarchy Process (AHP)

GİRİŞ

Rüzgâr türbinleri, rüzgârdan elde ettikleri kinetik enerjiyi elektrik enerjisine çevirirler. Modern rüzgâr türbinleri 2-3 kanatlıdır. Bir rüzgâr türbininden elde edilen enerji o bölgedeki rüzgâr hızının küpü ve kanat uzunluklarının karesi ile doğru orantılıdır. Çeşitli büyüklükte ve markada rüzgar türbinleri mevcuttur. Enerji sistemlerine yapılan yatırımların teknolojik, sosyo-ekonomik ve çevresel özelliklere göre değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu değerlendirme süreci bir karar verme çalışmasını ortaya çıkarmaktadır.

AHP yöntemi birçok alanda olduğu gibi enerji sektöründe elektriğin üretimde de kullanıldı. Pilavachi ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmalarda, 7 kritere bağlı olarak 9

farklı elektrik enerjisi üretim şeklinin değerlendirmesi (Pilavachi, 2009) ve 10 santralin 9 kriterle incelenmesi yapıldı (Pilavachi, 2009). Ayrıca yapılan başka bir çalışmada AHP metodu kullanımıyla güç santrallerinin yaşam standartlarına etkisinin çoklu kriterle değerlendirilmesi gösterildi (Pilavachi, 2008). Akash ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada ise AHP yöntemiyle elektrik üretim santrallerinin çoklu kriterle seçimi incelendi (Akash,1999).

Ekonomik, teknik, sosyal ve çevresel etkenlerin belli bir teknik-ekonomik yaklaşımla dikkate alındığında çözüm bulunmaya çalışılan problem, rüzgâr enerjisi santrallerinin kurulumunda kullanılacak olan farklı türbin markalarından hangisinin tercih edilmesi gerektiği ile ilgilidir. Uygulamanın

gerçekleştirilebilmesi için bazı varsayımlar ve kısıtlamalara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu kısıt ve varsayımlar genellikle daha iyi bir karşılaştırma sonucu elde etmek için belirlendi (Baş, 2009):

- Tesis kuruluş yeri olarak Konya ili Selçuklu ilçesi Kampus bölgesi seçildi.
- Rüzgâr hızı 50m yükseklik için 6,5 m/s, 80m yükseklik için ise 7,5 m/s olarak kabul edildi. Bu veri daha önce yapılmış olan rüzgâr ölçüm değerlerine göre belirlendi (Köse, 2003).
- Türbin işletme maliyetleri genel olarak son iki yılda yapılmış aynı marka türbinlerden oluşan yatırımlardan örnek alındı.
- Türbin yatırımında kullanılan türbin sayısı ortalama olarak 20 alındı.
- Türbin markalarından kapasiteleri eşit olan türbinler seçilerek daha objektif sonuçlar elde edilmeye çalışıldı. Bu bağlamda belirlenen 6 markadan Vestas markalı türbin dışında bütün türbinlerin güçleri 1,5 MW olarak alındı (Vestas firmasının 1,5 MW gücünde türbin üretmemesi nedeniyle en yakın değer olarak 1,65 MW alınmıştır).

Türbin markası seçmede ve etkenlerin analizinde karar verme yöntemi olarak AHP kullanıldı. AHP, kişileri nasıl karar vermeleri gerektiği konusunda bir yöntem kullanmaya zorunlu kılmak yerine, onlara kendi karar verme mekanizmalarını tanıma olanağı sağlayıp, bu şekilde daha iyi kararlar vermelerini amaçlayan yöntemdir (Evren, 1992). Bu çalışmanın amacı, giderek önemi artan yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan rüzgâr enerjisinin üretimi için seçilecek olan en uygun türbin markasının belirlenmesidir. Çalışmada ilk adımı seçimde dikkate alınacak etkenlerin belirlenmesi ve bu etkenlerle ilgili verilerin toplanması oluşturmaktadır. Bunun devamında belirlenen ana etkenler ve alt etkenlerin değer tabloları ve bu tablolara göre de önem matrislerinin belirlenmesi gelmektedir. Belirlenen etkenler aynı zamanda bir şebeke diyagramında belirtilir. Oluşturulan matrisler ile gerekli hesaplamalar yapılarak önem derecesi en yüksek yani en uygun olan türbin markası seçilir.

ANALİTİK HİYERARŞİ YÖNTEMİ

AHP yöntemi 1970'li yıllarda Thomas L. Saaty tarafından geliştirildi. AHP'de ilk adım, karar vericinin amacı doğrultusunda kriterlerin ve ona ait olan alt kriterlerin belirlenip, hiyerarşik yapının oluşturulmasıdır. Bu yöntemde, öncelikle amaç belirlenir ve bu amaç doğrultusunda seçimi etkileyen kriterler ortaya konur. Daha sonra kriterler göz önüne alınarak potansiyel alternatifler belirlenir ve karar için hiyerarşik bir yapı oluşturulur (Dağdeviren, 2001).

Alternatiflerin ve kriterlerin kendi aralarında karşılaştırılması için ikili karşılaştırma karar matrisleri oluşturulur. Bu matrislerin oluşturulmasında Saaty tarafından önerilen Tablo 1'deki önem skalası kullanılır. 2, 4, 6, 8 gibi değerler önem derecesinde yer almayan ara değerlerdir. Örneğin karar verici 5 ve 7 arasında kararsız kalırsa 6 değerini kullanabilir. İkili karşılaştırmalar, AHP'nin en önemli adımıdır. Diğer bir adımda oluşturulan ikili karşılaştırmalar matrisi normalize hale getirilir. Her bir sütun değerinin ayrı ayrı ilgili sütun toplamına bölünmesi ile normalleştirilmiş matris elde edilir. Elde edilen bu matrisin satır ortalaması alınarak her bir kriterin önem ağırlıkları bulunur.

Karar vericinin kriterler arasında kıyaslama yaparken tutarlı davranıp davranmadığını ölçmek için Tutarlılık Oranı'nın (T.O.) hesaplanması gerekir. Bu hesaplamada n kriter sayısına bağlı olarak rasgele indeks sayıları kullanılır. Hesaplamalar sonucunda bulunan değer 0,10 ve altında ise oluşturulan karşılaştırma matrisinin tutarlı, aksi durumda karar matrisi tutarsızdır denilir ve ikili karşılaştırmalar matrisinin yeniden düzenlenmesine gidilir. AHP'nin son adımı kriterlerin önem ağırlıkları ile alternatiflerin önem ağırlıklarının çarpımı ve her bir alternatife ait öncelik değerinin bulunmasıdır. Bu değerlerin toplamı 1'e eşittir. En yüksek değeri alan alternatif, karar problemi için en iyi alternatiftir (Dağdeviren, 2001).

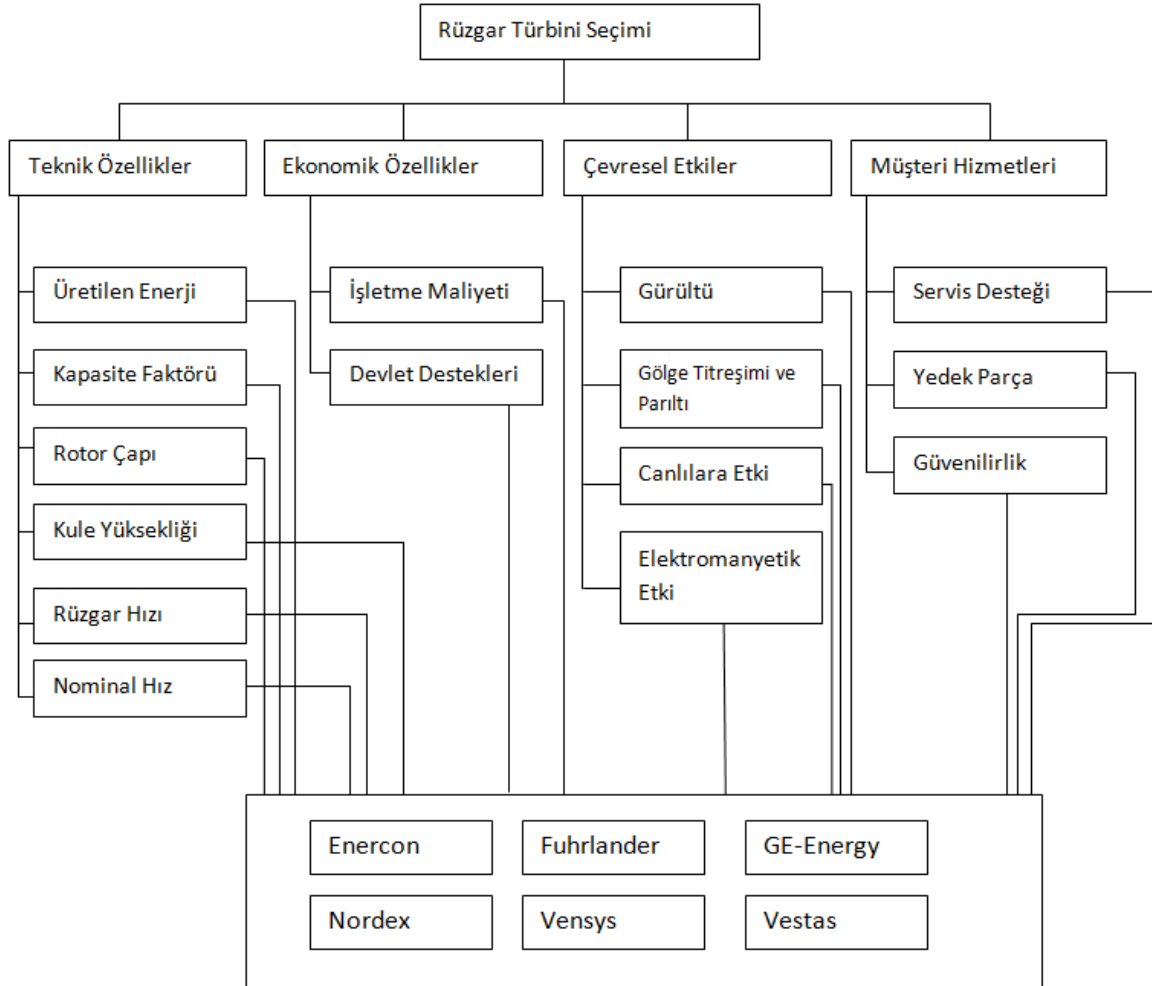
Tablo 1. Önem skalası.

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

TÜRBİN SEÇİMİNDEKİ KRİTERLERİN BELİRLENMESİ

Bir rüzgâr türbini santralinde kullanılacak olan türbinlerin seçiminde birçok faktör etkili

olmaktadır. Bu faktörler; teknik özellikler, ekonomik özellikler, çevresel etkiler ve müşteri hizmetleri ana kriterleri altında alt kriterler olarak düzenlendi. Bu kriterlerden oluşturulan hiyerarşi Şekil 1’de gösterildi (Baş, 2009).

**Şekil 1.** Kriterlerin hiyerarşik yapısı.

Teknik Özellikler

Rüzgâr türbini seçiminde dikkate alınan belli başlı teknik özellikler aşağıdaki gibi belirlendi (Baş, 2009);

- Üretilen enerji: Rüzgâr türbininin normal şartlarda senede üretebileceği ortalama enerji miktarıdır. Rotor çapı, rüzgâr hızı vb. etkenlere bağlıdır. Üretilen enerji bir türbinin yılda ortalama ürettiği elektrik miktarıdır.
- Rotor çapı: Rotor çapı rüzgâr türbininin kanatlarının süpürmüş olduğu alan ile ilişkilidir. Rotor çapı rüzgâr türbinini yerden yüksekliğine göre değişmektedir. Normal şartlarda rüzgâr türbininin kanatları yerden 25 metre yüksekte kalacak biçimde rotor çapı ayarlanabilir. Rotor çapı genişliği 10 metre ile 90 metre arasındaki türbinler yaygın olarak kullanılmaktadır. Türbin rotorunun çapı büyüdükçe üretilen enerji artar.
- Kapasite faktörü: Türbinin anma gücünü zamanın yüzde kaçlık bir diliminde sağlayabildiğini gösteren orandır.
- Kule yüksekliği: Yerden yükseldikçe türbülans azaldığı ve rüzgar hızı arttığı için kule yüksekliği önemlidir. Günümüzde tüp veya kafes şeklindeki kuleler genellikle 20 ile 100 metre arasında değişen yüksekliklerde kullanılmaktadır. Rüzgâr hızı yükseklikle arttığından kule yüksekliği arttıkça rotor dönme hızı artar.

- Devreye giriş/çıkış rüzgâr hızı: Türbin kanatlarının dönmeye başladığı minimum rüzgâr hızına 'giriş hızı', türbin kanatlarının dönmemesinin tehlike oluşturacağı ve bu nedenle otomatik olarak kendisini kapatacağı rüzgâr hızına da 'çıkış hızı' denmektedir. Türbinin çalışma zamanını artırabilmek için giriş hızı düşük olan türbinlerin seçilmesi mantıklıdır.

- Nominal hız: Rüzgar türbininden maksimum kapasiteyle enerji üretiminin olduğu rüzgar hızına 'nominal hız' denir. Yani maksimum gücün elde edilebileceği en düşük hızdır. Nominal hızın mümkün olduğu kadar düşük olması rüzgâr türbinlerinin verimini artıracaktır.

Belirlenen bu özelliklere göre türbinlerin sahip oldukları değerler için Tablo 2 oluşturuldu.

Ekonomik Özellikler

Ekonomik özellikler türbinler işletme maliyeti ve devlet desteklerine göre değerlendirildi. İşletme maliyetleri olarak türbin maliyeti, bakım onarım giderleri ve kurulum giderleri toplamının birim türbin başına maliyetleri € para birimi olarak ve verilecek devlet destek oranları türbin kapasitelerine göre belirlenerek olarak Tablo 3'de sunuldu.

Tablo 2. Türbinlerin teknik özellikler tablosu.

| Türbin Markası | Enercon (1,5MW) | Fuhrlander (1,5MW) | GE-Energy (1,5MW) | Nordex (1,5MW) | Vensys (1,5MW) | Vestas (1,65MW) |
|--|--------------------|-----------------------|----------------------|-------------------|-------------------|--------------------|
| Üretilen Enerji (kWh/yıl) | 3 720 000 | 4 134 000 | 4 150 000 | 3 942 000 | 4 344 000 | 6 360 000 |
| Kapasite Faktörü (Cp) | 0,283 | 0,315 | 0,316 | 0,3 | 0,33 | 0,44 |
| Rotor Çapı (m) | 70 | 77 | 82,5 | 77 | 77 | 82 |
| Kule Yüksekliği (m) | 82 | 85 | 80 | 90 | 85 | 80 |
| Devreye Giriş/Çıkış Rüzgâr Hızı (m/s) | 3 / 25 | 3 / 25 | 3 / 20 | 3 / 25 | 3 / 22 | 3,5 / 20 |
| Nominal Hız (m/s) | 13 | 13 | 12,5 | 13 | 13 | 13 |

Çevresel Etkiler

Türbinler, çevreye karşı oluşturdukları gürültü, gölge titreşimi ve parıltı, canlılara etki ve elektromanyetik etkilerine göre değerlendirildi. Türbinlerin canlılara olan etki düzeyi eşit alındı. Gölge titreşimi ve parıltı etkileri ise türbinlerin rotor çaplarına ve yüksekliklerine göre oluşturabilecekleri gölge boyutundan yola çıkılarak değerlendirildi ve bu konuda markalara 1 ile 5 arasında puanlar verildi. Elektromanyetik etkide ise türbinlerin kanat dönme hızlarından yararlanılarak Tablo 4 oluşturuldu.

Müşteri Hizmetleri

Bu başlık altında türbin markaları müşterilerine sağladıkları servis desteği, yedek parça ve marka güvenilirliklerine göre karşılaştırıldı. Bu karşılaştırmalar yapılırken markaların web adreslerinde verdikleri bilgiler, garantiler, yapmış oldukları rüzgâr enerjisi santrali ve türbin sayılarından yararlanıldı. Bu bilgiler sonucunda türbin markalarına 1' den 10' a kadar değer verilerek Tablo 5 oluşturuldu.

Tablo 3. Türbinlerin ekonomik özellikler tablosu.

| Türbin Markası | Enercon (1,5MW) | Fuhrlander (1,5MW) | GE-Energy (1,5MW) | Nordex (1,5MW) | Vensys (1,5MW) | Vestas (1,65MW) |
|---------------------|--------------------|-----------------------|----------------------|-------------------|-------------------|--------------------|
| İşletme Maliyeti(€) | 1 800 000 | 1 850 000 | 1 900 000 | 1 850 000 | 1 750 000 | 2 000 000 |
| Devlet Destekleri | 0,283 | 0,315 | 0,316 | 0,3 | 0,33 | 0,44 |

Tablo 4. Türbinlerin çevresel etki tablosu.

| Türbin Markası | Enercon (1,5MW) | Fuhrlander (1,5MW) | GE-Energy (1,5MW) | Nordex (1,5MW) | Vensys (1,5MW) | Vestas (1,65MW) |
|----------------------------|--------------------|-----------------------|----------------------|-------------------|-------------------|--------------------|
| Gürültü (dB) | 104 | 103,3 | 105 | 102 | 103 | 103,2 |
| Gölge Titreşimi ve Parıltı | 4 | 3 | 3 | 4 | 3 | 3 |
| Canlılara Etki | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Elektromanyetik Etki | 6-19,5 | 10-19 | 8-18 | 9-19 | 7-16 | 8-19 |

Tablo 5. Müşteri hizmetleri değer tablosu.

| Türbin Markası | Enercon (1,5MW) | Fuhrlander (1,5MW) | GE-Energy (1,5MW) | Nordex (1,5MW) | Vensys (1,5MW) | Vestas (1,65MW) |
|----------------|--------------------|-----------------------|----------------------|-------------------|-------------------|--------------------|
| Servis Desteği | 8 | 9 | 10 | 9 | 8 | 10 |
| Yedek Parça | 9 | 8 | 9 | 9 | 8 | 9 |
| Güvenilirlik | 8 | 9 | 9 | 10 | 8 | 10 |

RÜZGÂR TÜRBİN SEÇİMİ

Ana kriterler ve alt kriterler belirlendikten sonra AHP yönteminin adımlarının uygulanarak en uygun türbinin seçilmesi hesaplanır. Örneğin ana kriterlerin kendi aralarında kıyaslanması yapılarak Tablo 6'da görüldüğü gibi ikili karşılaştırmalar matrisi oluşturulur. Oluşturulan ikili karşılaştırmalar matrisi kullanılarak her bir kritere ait öncelik değeri bulunur. Hesaplamalar sonucunda teknik özelliğin 0,54 değeri ile birinci, ekonomik özelliğin 0,32 değeri ile ikinci, müşteri hizmetlerinin 0,09 değeri ile üçüncü ve çevresel

etkilerin 0,05 oranı ile sonuncu sırada yer aldığı belirlenir. Bu matrisinin tutarlılık oranı 0,055 olarak hesaplanıp matrisin tutarlı olduğu sonucuna varılır.

Aynı hesaplamalar AHP yöntemini kullanarak alt kriterler içinde yapılır. Her bir alt kriterin kendi aralarında öncelik değerleri hesaplanır. En uygun türbin seçimine karar vermek için bulduğumuz değerlerin bileşik göreceli önemler vektörü oluşturulur (Tablo 7'de görüldüğü gibi). Bunun sonucunda belirlenen altı türbin markasının öncelik değerleri bulunur.

Tablo 6. Ana kriterlerin ikili karşılaştırmalar matrisi.

| Kriter | Teknik | Ekonomik | Çevresel | Müşteri |
|----------|--------|----------|----------|---------|
| Teknik | 1 | 3 | 8 | 5 |
| Ekonomik | 0,33 | 1 | 9 | 4 |
| Çevresel | 0,13 | 0,11 | 1 | 0,5 |
| Müşteri | 0,20 | 0,25 | 2 | 1 |

Tablo 7. Bileşik göreceli önemler matrisi.

| Türbin Markası | Teknik Özellikler | Ekonomik Özellikler | Müşteri Hizmetleri | Çevresel Etkiler | Önem derecesi | Göreceli Önem |
|----------------|-------------------|---------------------|--------------------|------------------|---------------|---------------|
| Enercon | 0,0954 | 0,2027 | 0,0929 | 0,0848 | 0,5418 | 0,1285 |
| Fuhrlander | 0,1397 | 0,1452 | 0,1441 | 0,0927 | 0,3153 | 0,1395 |
| GE-Energy | 0,1465 | 0,0957 | 0,2630 | 0,0965 | x 0,0933 | = 0,1389 |
| Nordex | 0,1069 | 0,1317 | 0,1534 | 0,1007 | 0,0496 | 0,1187 |
| Vensys | 0,2066 | 0,2980 | 0,0836 | 0,1300 | | 0,2201 |
| Vestas | 0,3046 | 0,1264 | 0,2630 | 0,1093 | | 0,2348 |

SONUÇ

Yapılan bu çalışmada türbin markaları olarak Enercon, Fuhrlander, Nordex, Vensys, GE ve Vestas markaları seçildi. Bu türbin markaları teknik özellikler (rotor çapı, üretilen enerji v.b.), ekonomik özellikler (işletme maliyeti, devlet

destekleri), çevresel etkiler (gürültü, elektromanyetik etki v.b.), müşteri hizmetleri (servis, yedek parça v.b.) kriterleri ile değerlendirilmiştir. Sonuç olarak dikkate alınan kriterlere ve elde edilen bileşik göreceli önemler matrisine göre en yüksek göreceli öneme sahip olan Vestas markalı 1.65 MW gücündeki türbin

seçildi. Bu türbinin göreceli önem derecesi tabloda da belirtildiği gibi 0,2348 olarak bulundu. İkinci olarak 0,2201 değeriyle Vensys, üçüncü olarak 0,1395 değeri ile Fuhrlander, dördüncü olarak 0,1389 değeriyle GE, beşinci olarak 0,1285 ile Enercon, sonuncu olarak ise Nordex markalı türbin seçilir. Burada Vensys ve Vestas

markalarının diğerlerine göre oldukça yüksek önemlilik derecesine sahip olduğu açıkça gözlenmektedir. Mali kısıtların göz önüne alınması durumunda Vestas markası yerine Vensys markası da tercih edilebilir. Bu çalışma yatırım planlama, farklı bölge-arazi seçim çalışmaları ile desteklenerek geliştirilebilir.

KAYNAKLAR

- Akash, B. A., Mamlook, R., Mohsen, S. M.1999. Multi-criteria selection of electric power plants using analytical hierarchy process, *Electric Power Systems Research*, Cilt 52, Bölüm 1, ss. 29-35
- Baş, A., Akkoyunlu, M.C. 2009. AHP Yöntemi ile Rüzgar Türbini Seçimi, *Endüstri Mühendisliği Uygulaması*, Selçuk Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Konya.
- Dağdeviren, M, Eren, T. 2001. Tedarikçi firma seçiminde analitik hiyerarşi prosesi ve 0-1 hedef programlama yöntemlerinin kullanılması, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, Cilt 16, No 2, 41-52
- Evren, R., Uluengin F. 1992.“Yönetimde karar verme”, İstanbul Teknik Üniversitesi Matbaası, İstanbul, 67-88.
- Köse, F. 1999. Selçuk Üniversitesi Kampus Bölgesi Rüzgar Enerjisi Potansiyeli Belirleme Ölçümleri, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri, Konya.
- Pilavachi, P. A., Stephanidis, D. S., Pappas, V. A., Afgan, N. H. 2009. Multi-criteria evaluation of hydrogen and natural gas fuelled power plant technologies, *Applied Thermal Engineering*, Cilt 29, Bölüm 11-12, ss. 2228-2234
- Pilavachi, P. A., Chatzimouratidis, A. I. 2009. Technological, economic and sustainability evaluation of power plants using the Analytic Hierarchy Process, *Energy Policy*, Cilt 37, Bölüm 3, ss. 778-787
- Pilavachi, P. A., Chatzimouratidis, A. I. 2008. Multicriteria evaluation of power plants impact on the living standard using the analytic hierarchy process, *Energy Policy*, Cilt 36, Bölüm 3, ss. 1074-1089

