

## YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI VE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK ENDEKSİ

*Gökhan SEVİLGEN\**  
*Muhsin KILIÇ\*\**

**Özet:** Son yıllarda dünyadaki enerji gereksinimi, belirgin bir artış göstermektedir. Buna bağlı olarak temiz ve sürdürülebilir enerji kaynakları üzerindeki bilimsel araştırmalar ivme kazanmıştır. Bir enerji kaynağının var olması tek başına yeterli değildir aynı zamanda bu enerji kaynağının kapasitesi, çevreyle olan uyumu, ekonomik faktörler, devamlılığı gibi parametrelerde dikkate alınmalıdır. Bu parametreler göz önünde bulundurulduğunda “sürdürülebilirlik” ve “yenilenebilir” kavramları önem kazanmaktadır. Bu çalışmada, öncelikle sürdürülebilirliği değerlendirme araçları literatürde mevcut bilgilerle genel olarak ifade edilmiş ve indeks ve göstergelere dayanan sürdürülebilirlik araçları literatürde yer alan örneklerle açıklanmaya çalışılmış ve Türkiye şartları için örnek uygulamalar yapılmıştır. Daha sonra bazı yenilenebilir enerji kaynakları için küresel sürdürülebilirlik indeks ve göstergelerine değinilerek enerji kaynaklarının sürdürülebilirliğine ilişkin sonuç ve önerilerde bulunulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Enerji Kaynakları, Sürdürülebilirlik Kriterleri, Yenilenebilir Enerji

### Renewable Energy Resources and Sustainability Index

**Abstract:** In recent years, the world's energy requirement has shown a significant increase. Accordingly, there is a growing interest in scientific researching of clean and sustainable energy resources. The existing of energy resource alone is not enough but also the energy resource parameters such as capacity, adaptation to the environment, economical factors and continuity have to be considered. The concepts of “sustainability” and “renewable” are gaining importance considering these parameters. In this study, firstly the sustainability tools availability in literature is expressed in general. We tried to explain the sustainability tools based on indicators and index by giving example studies in literature and applied sample analysis in conditions of Turkey and then sustainability of some renewable energy resources is mentioned in global manner by using indicators and index and finally, suggestions about sustainability of energy resources were made.

**Keywords:** Energy resources, Sustainability criteria's, Renewable energy

## 1. GİRİŞ

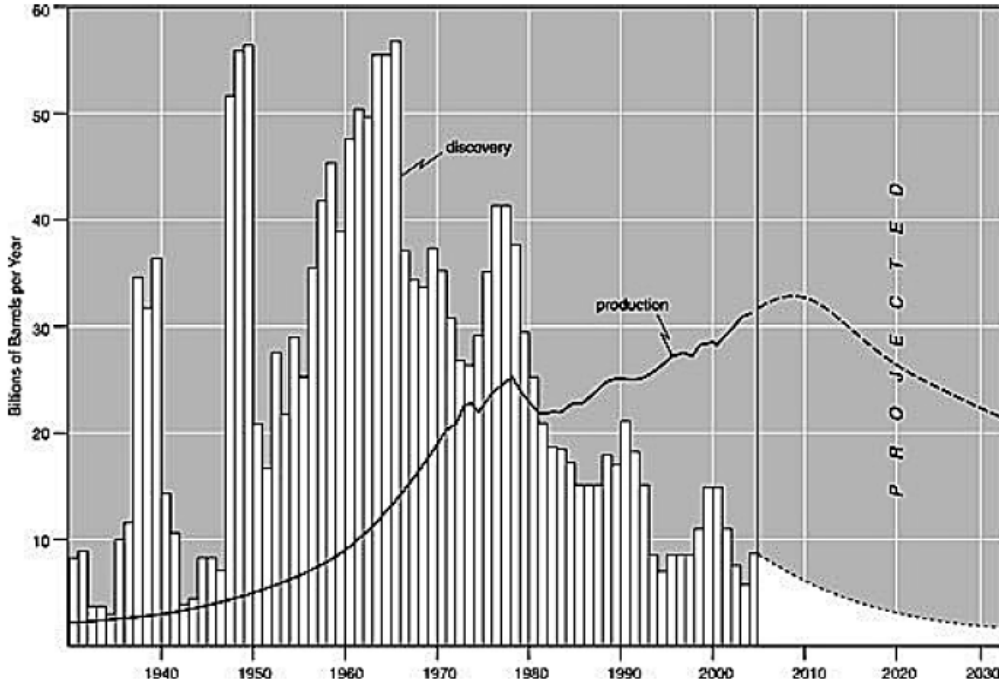
Günümüzde enerji ihtiyacı giderek artmakta ancak ihtiyacı karşılamak için kullanılan kaynaklar giderek azalmaktadır. Enerji ihtiyacı göstergelerinden biri dünyanın günlük petrol tüketimidir. Dünya yıllık petrol üretim rakamları ve keşifler Şekil 1’de yer almaktadır. 2009 yılında Dünya günlük petrol arzı yaklaşık 85 milyon varil iken talebin 87 milyon varil olduğu

\* Uludağ Üniversitesi, Orhangazi Meslek Yüksekokulu, Makine Programı, Orhangazi 16800, Bursa.

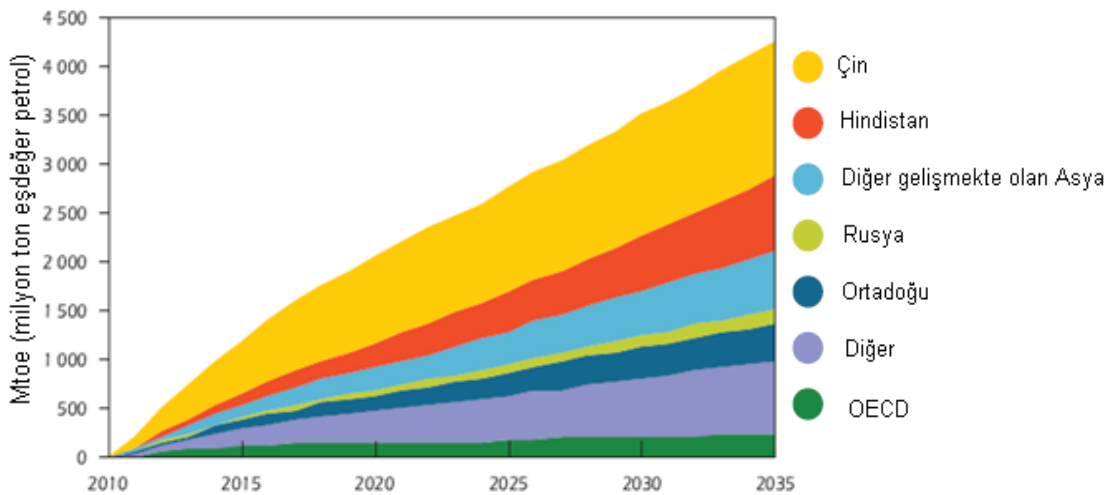
\*\* Uludağ Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Görükle 16059, Bursa.

İletişim Yazarı: G. Sevilgen (gsevilgen@uludag.edu.tr)

dikkate alındığında, sürdürülemez bir arz talep dengesizliği gözlenmektedir. Ayrıca 2030 yılında dünyanın günlük petrol tüketiminin yaklaşık 106.4 milyon varil olacağı öngörülmüştür (Ragheb, 2012). 2010–2035 yılları arasında (Şekil 2) küresel enerji ihtiyacının, 2010 yılı verilerine göre üçte bir oranında artacağı öngörülmektedir (Worldwide engagement for sustainable energy strategies, 2012). Dünya enerji ihtiyacının kaynaklar bazında yıllara göre dağılımı Tablo 1’de yer almaktadır (Kaygusuz, 2012).



**Şekil 1:**  
*Petrol üretimi ve keşifler (Ragheb, 2012)*



**Şekil 2:**  
*2010-2035 yılları arasında küresel enerji ihtiyacındaki artış  
(Worldwide engagement for sustainable energy strategies, 2012)*

**Tablo 1. Küresel enerji ihtiyacı (Kaygusuz, 2012)**

Enerji kaynağı	1980	2000	2008	2020
	(Mtep: milyon ton eşdeğer petrol)			
Kömür	1792	2292	3286	4124
Petrol	3107	3655	4320	4654
Gaz	1234	2085	2586	3046
Nükleer	186	676	723	920
Hidroelektrik	148	225	276	389
Biyokütle ve atıklar	749	1031	1194	1436
Diğer yenilenebilir	12	55	82	196
Toplam	7228	10,018	12,467	14,765

2010 yılı itibariyle birincil enerji kaynaklarının Türkiye'deki tüketim rakamlarına bakıldığında, toplam 108.80 Mtep (Milyon ton eşdeğer petrol) olduğu, 2011 yılı için bu rakamın toplam 118.80 Mtep değerine ulaştığı ifade edilmektedir (BP Statistical Review of World Energy, 2012). Diğer taraftan Türkiye toplam enerji ihtiyacının %50 'sinden fazlasını ihraç eden bir ülke konumundadır (Ozyurt, 2010).

**Tablo 2. Türkiye'de toplam birincil enerji tüketimi (BP Statistical Review of World Energy, 2012)**

Yıllar	Birincil Enerji Tüketimi (Mtep)
2006	96.20
2007	103.10
2008	102.70
2009	102.80
2010	108.80
2011	118.80

**Tablo 3. Toplam birincil enerji tüketiminin enerji kaynaklarına göre dağılımı (BP Statistical Review of World Energy, 2012)**

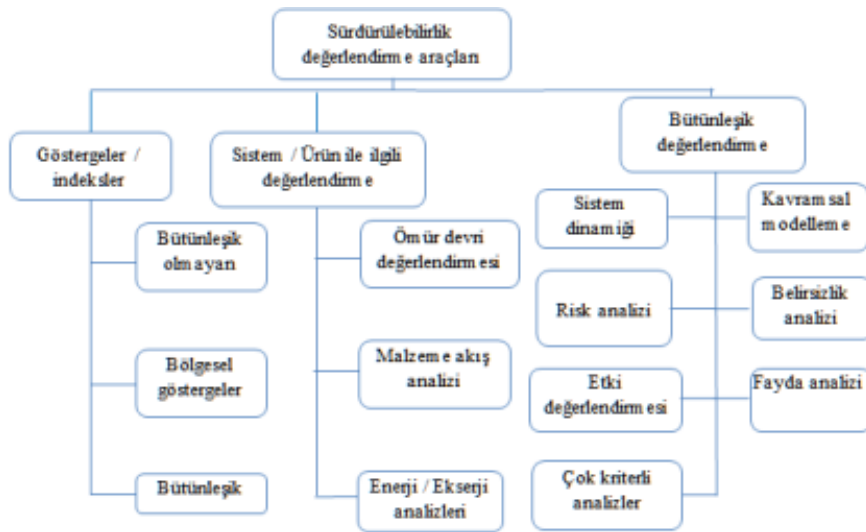
Enerji Kaynağı	Yıllar	
	2010 (Mtep)	2011 (Mtep)
Petrol	30.2	32.0
Doğal Gaz	35.1	41.2
Kömür	30.9	32.4
Nükleer Enerji	-	-
Hidroelektrik	11.7	11.8
Yenilenebilir Enerji Kaynakları	0.90	1.30
Toplam	108.8	118.8

Yukarıda yer alan örneklerden de anlaşılacağı üzere günümüzde enerji ihtiyacı her gün biraz daha artmakta ve buna bağlı olarak var olan enerji kaynaklarının daha verimli kullanılması gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Enerji kaynaklarının daha verimli kullanımı ve gelecek nesillere aktarımı "sürdürülebilirlik" kavramını ortaya koymaktadır. Günümüzde enerji kaynaklarının sürdürülebilirliği en önemli kriterlerden biri haline gelmiştir. Sürdürülebilirlik kavramının tüm dünyada resmen kabul görmesi Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonunun (WCED) "Ortak

Geleceğimiz” (1987) adlı raporunda belirtilen “sürdürülebilir kalkınma” tanımına dayanmaktadır. Bu tanıma göre sürdürülebilir kalkınma, “Gelecek nesillerin kendi ihtiyaçlarını karşılama yeteneğinden ödün vermeden bugünün ihtiyaçlarını karşılamak.” olarak tanımlanmıştır (Spangenberg, 2000; Meriç, 2004; Aksu, 2011). Kömür, petrol, doğal gaz, vb. yenilenemeyen kaynakların insanlar tarafından kullanılması ile oluşan çevre kirliliği ve iklim değişikliği gibi ortaya çıkan negatif sonuçlar, ekonomik, sosyal ve çevresel etkiler bakımından sürdürülemez bir duruma neden olmaktadır ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını ön plana çıkarmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynağı “Doğanın kendi evrimi içinde, bir sonraki kısa süreçte aynen mevcut olabilen enerji kaynağı “ olarak tanımlanabilir. Günümüzde yaygın olarak kullanılan fosil yakıtlar, yenilenemeyen enerji kaynakları içerisinde yer alırken, güneş, rüzgâr ve jeotermal gibi doğal kaynaklar yenilenebilir kaynaklara örnek olarak verilebilir. Enerji kaynaklarını yenilenebilir olması tek başına yeterli değildir aynı zamanda bu kaynağın kullanımını sağlayan teknolojik yöntemlerde önemlidir. Enerji sistemlerinin yenilenebilir, enerji kaynaklarının sürdürülebilir olması gerekmektedir (Aykal ve diğ., 2009). Bu bağlamda enerji kaynaklarının sürdürülebilirliği, yenilenebilir enerji kaynaklarının, enerji verimliliği yüksek teknolojilerle birlikte kullanımı ile sağlanabilir. Bu çalışmada ise sürdürülebilirliği değerlendirme araçları genel olarak ifade edilmiştir. İndeks ve göstergelere dayanan sürdürülebilirlik araçları literatürde yer alan örneklerle açıklanmaya çalışılmış ayrıca Türkiye şartları için örnek uygulamalar yapılmıştır. Bazı yenilenebilir enerji kaynakları için küresel sürdürülebilirlik indeks ve göstergelerine değinilerek enerji kaynaklarının sürdürülebilirliğine ilişkin önerilerde bulunulmuştur.

## 2. SÜRDÜRÜLEBİLİRLİĞİ DEĞERLENDİRME ARAÇLARI

Sürdürülebilirlik farklı değerlendirme araçları kullanılarak belirlenebilir. Sürdürülebilirliği değerlendirme araçları için çok farklı boyut ve faktörleri içerecek şekillerde bir sınıflandırma yapılabilir. Bu çalışmada, zaman karakteristikleri, belirli bir amaca yönelik odaklanma ve doğa toplum sistemlerinin entegrasyonu dikkate alınarak sürdürülebilirliği değerlendirme araçları, Şekil-3'teki gibi göstergeler ve indeks araçları, sistem veya ürün ile ilgili değerlendirme araçları, bütünleşik değerlendirme araçları olmak üzere üç ana başlık altında toplanmıştır(Ness ve diğ., 2007).



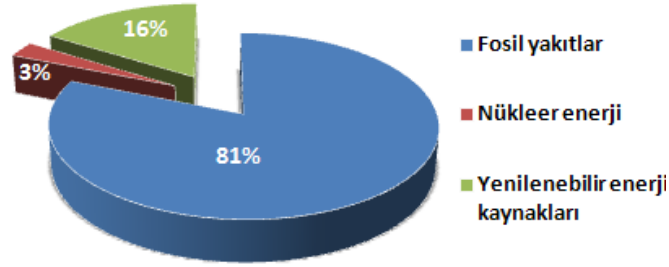
Şekil 3:

Sürdürülebilirliği değerlendirme araçlarının genel sınıflandırılması

Göstergeler ve indeksler grubunda yer alan değerlendirme araçları basit, herkes tarafından anlaşılabilir ve genellikle sayısal verilerden oluşur, ekonomik, çevresel ve sosyal içerikli bilgileri içerir. Ürün ile ilgili değerlendirme araçları ise, ürün tasarımı sistemlerini de dikkate alarak, kaynakların kullanımını ve çevresel etkileri ömür devri açısından değerlendirirler.

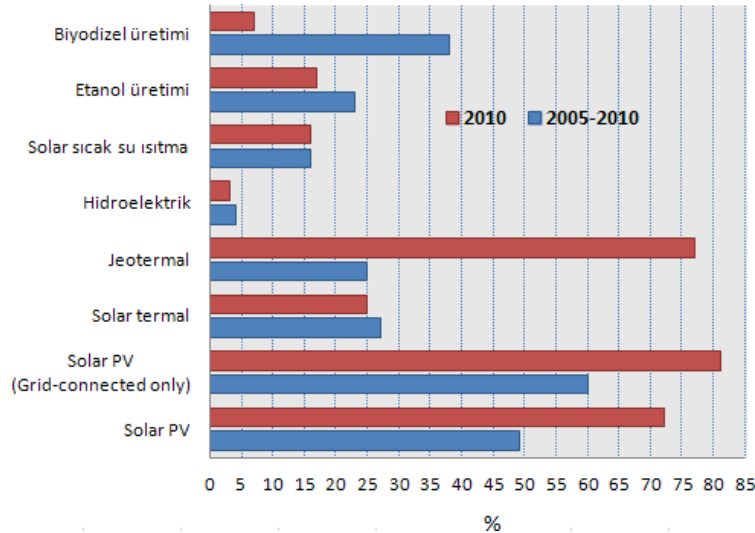
Son aşama olan bütünlük sistemleri ise bir senaryo dâhilinde doğa ve toplumu bir araya getiren bütünlük sistem analizi esasına dayanır. Bu çalışmada ise, öncelikle Dünya yenilenebilir enerji kaynakları üretim ve tüketim oranları üzerinde durulmuş daha sonra ise Türkiye’de 2006–2010 yılları arasında yenilenebilir enerji kaynakları ile ilgili rakamlar dikkate alınarak göstergeler ve indeksler içeren bir yöntem kullanılmış, elde edilen sayısal veriler sürdürülebilirlik açısından yorumlanmıştır.

Dünya 2009 yılı nihai enerji tüketiminin kullanılan enerji kaynakları bakımından yüzdeleri Şekil 4’te yer almaktadır. Tüketim oranlarına bakıldığında, yenilenebilir enerji kaynaklarının diğer enerji kaynaklarına göre oldukça düşük olduğu görülmektedir. Ancak Şekil 5’te yer alan ve 2005 sonu ve 2005–2010 yıllarını içeren süreçte yenilenebilir enerji kapasitesindeki büyüme oranları değerlendirildiğinde ise, belirgin bir kaynak kapasite artışı olduğu görülmektedir (Renewables Global Status Report, 2011). Bu artış bahsedilen dönem içerisinde daha çok güneş enerjisi ve jeotermal enerji kaynak kapasitelerinde gerçekleşmiştir.



Şekil 4:

2009 yılı için küresel nihai enerji tüketim oranları (Renewables Global Status Report, 2011)



Şekil 5:

2005 sonu ve 2010 yılı itibarıyla yenilenebilir enerji kapasitesi ve biyoyakıt üretiminde ortalama yıllık büyüme oranları (Renewables Global Status Report, 2011)

Yenilenebilir enerji üretim rakamı göstergesi olarak  $R$  sembolünü, Enerji üretim miktarı için ise  $E$  sembolünü kullanalım.  $R_{i,j}$  ile temsil edilen göstergede,  $i$ , yılları,  $j$  ise enerji kaynağının (güneş, rüzgar, ..... ) türünü belirtsin. Bu durumda  $R_{i,j}$  için (2.1)'deki gibi bir ifade yazılabilir.

$$R_{i,j} = 100x \frac{E_{i+1,j}}{E_{i,j}} \quad (1)$$

Belirli bir yıl için yenilenebilir enerjinin kaynağı için gerçekleşen üretim rakamının o yıl içerisinde toplam enerji üretim rakamı içerisindeki ağırlığını gösteren parametre  $W_{i,j}$  olsun.

$$W_{i,j} = \frac{E_{i,j}}{\sum E_{i,j}} \quad (2)$$

Dolayısıyla belirli bir enerji kaynağı için, sürdürülebilirlik ile ilgili gösterge, ağırlıklı toplam şeklinde (3) ifadesindeki gibi yazılabilir (Tsai, 2010).

$$S_i = R_{i,j} x W_{i,j} \quad (3)$$

Tablo 4'te Türkiye'de 2006–2010 yılları arasında bazı yenilenebilir enerji kaynakları toplam yerli üretim rakamları yer almaktadır.

**Tablo 4. Türkiye 2006-2010 yılları arasında bazı yenilenebilir enerji kaynakları için yerli üretim rakamları (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2012)**

Yıl	Yerli üretim(Bin Tep)					Toplam
	Rüzgar	Hidrolik+Jeotermal	Güneş	Biyoyakıt	Hay. ve Bit. Art.	
2006	11	3886	403	2	1146	5448
2007	31	3217	420	11	1116	4795
2008	73	3001	420	66	1134	4694
2009	129	3467	429	9	1136	5170
2010	251	5029	432	12	1166	6890

Yukarıda bahsedilen yöntem ve Tablo 4'teki veriler dikkate alınarak hesaplanan sürdürülebilirlik göstergeleri Tablo 5'te gösterilmiştir.

**Tablo 5. Yenilenebilir enerji kaynakları için yerli üretim göstergeleri**

Yıllar	Rüzgar		Güneş		Hidrolik/Jeotermal		Biyoyakıt Hay. ve Bit. Art.		$\sum R x W$	Artış yada Azalış
	$W$	$R$	$W$	$R$	$W$	$R$	$W$	$R$		
	2006	0.002	100	0.074	100	0.713	100	0.211		
2007	0.006	281.82	0.088	104.22	0.671	82.78	0.235	98.17	89.48	-10.52
2008	0.016	235.48	0.089	100	0.639	93.29	0.256	106.48	99.54	+10.06
2009	0.025	176.71	0.083	102.14	0.671	115.53	0.221	95.42	111.50	+11.96
2010	0.036	194.57	0.063	100.69	0.729	145.05	0.171	102.88	136.68	+25.18

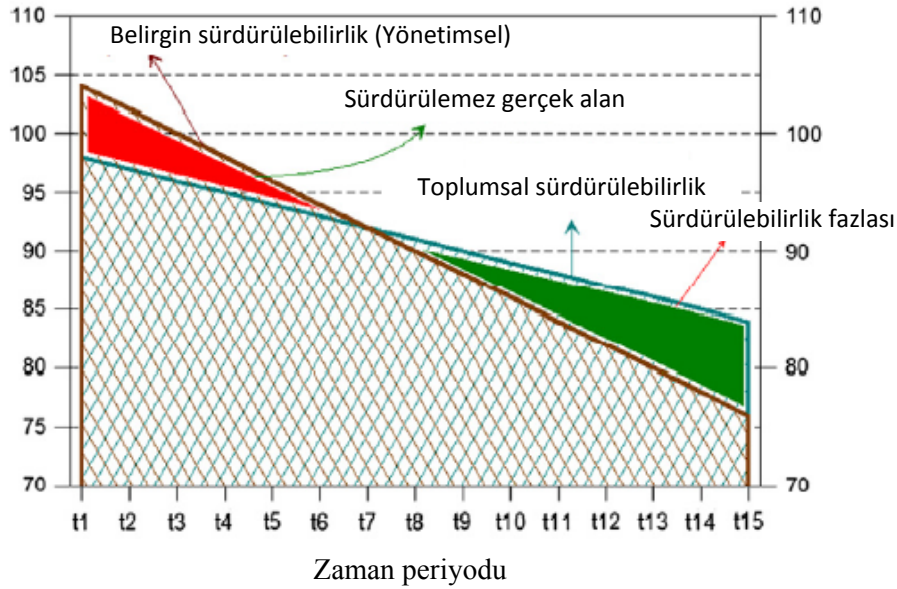
2006–2010 yıllık süreçte bazı yenilenebilir enerji kaynakları için uygulanan sürdürülebilirlik analizi sonucunda, özellikle 2010 yılı itibarıyla bakıldığında, yaklaşık %25 olmak üzere en

yüksek yerli üretim artışı sağlanmıştır. Sürdürülebilirlik ile ilgili göstergeler ve indeksler, İktisadi İşbirliği ve Gelişme Teşkilatı (OECD) ve BM ekonomik ve sosyal işler (UNDESA) birimleri referans alınarak tanımlanabilir. OECD'ye göre gösterge, olgu, alan veya çevrenin durumu hakkında bilgi veren bir parametredir. UNDESA'ya göre ise indeks, ağırlıklı parametrelerden veya göstergelerden oluşan bir dizidir. Burada kastedilen toplam, benzer özellikli birimlerin veya değişkenlerin, tek bir değişkende gösterilmesini sağlayan ve tüm bireysel seviyelerin yaklaşık toplamını gösteren işlemdir (OECD, 2002; UN DESA, 2000).

Örneğin bir ülkenin sürdürülebilirlik stratejisini gösteren değişkenlerin ölçümü seçilmiş olsun. Bu durumda sürdürülebilir kalkınma indeksi (ISD) aşağıdaki gibi tanımlanabilir.

$$ISD = \sum_{n=1}^N I_n \quad n = 1, \dots, N \quad (4)$$

Burada, indeks, toplam  $N$  tane seçilen göstergelerin ( $I_n$ ) toplamını ifade etmektedir.  $n$  tekil göstergesi ifade etmek üzere, ISD Sürdürülebilir kalkınma indeksini ifade etmektedir. Sürdürülebilirliği daha iyi ifade edebilmek ve ölçümünü gerçekleştirmek için Şekil-6'da yer alan grafik gösterilebilir. Bu grafikte dikey ekseninde yer alan rakamlar gerçek değerleri yansıtmayıp sadece sürdürülebilirliği kavramsal açıdan ifade etmek için kullanılmaktadır. Şekilde gösterilen alanlardan birisi sürdürülebilirlik hedeflerini içeren sürdürülebilirliği göstermekte, diğeri ise toplum tercihlerini de içeren sürdürülebilirliği göstermektedir. Bu alanlar eşit olduğunda, hedeflenen ve gerçekleştirilen sürdürülebilirliğin çakışık olduğu anlamına gelmektedir.



**Şekil 6:**  
Sürdürülebilir kalkınma göstergesi kavramı (Schöler ve diğ., 2012)

Ancak gerçekte hedeflenen ve gerçekleştirilen sürdürülebilirlik arasında farklılıklar mevcuttur. Bazen toplumsal tercihleri karşılamayabilir, bazen de bu beklentilerin üzerine çıkar. Beklentilerin üzerine çıktığı duruma sürdürülebilirlik fazlası olarak adlandırılır. ISD indeksi, tekil indeksleri tek bir indekse atayan ve enerji sektörü hakkında bilgi veren bir parametredir. Şekil 6'dan yararlanarak ifade edilen sürdürülebilirlik kavramı, belirli bir periyotta ( $t=1, \dots, T$ )

bir sistemin sürdürülebilirliğini ifade etmektedir. Şekil-6’da gösterilen alanların belirlenmesi oldukça karmaşık ve zordur. Literatürde “eşit sütunlar metodu” ve “eşit göstergeler metodu” gibi farklı metotlar mevcuttur. Eşit göstergeler metoduna göre göstergelerin sayısı önemli değildir ve (5)’teki gibi ifade edilebilir. Bu metoda göre  $F(n)$ ,  $n$ . göstergeye ait gerçek değeri,  $SD(n)$  ise sürdürülebilirlik hedefini göstermek üzere göstergelerin toplam değeri, gösterge sayısına bölünmektedir.

$$x_n = \frac{F(n)}{SD(n)}; \quad x_n \geq 1 - x_n = 1; \quad (5)$$

$$ISD = \left( \sum_{n=1}^N x_n \right) \frac{1}{N}$$

Bu metotlar hakkında detaylı bilgi literatürde yer alan kaynaklardan elde edilebilir (Schöler ve diğ., 2011; Schöler ve diğ., 2012). Bu ve buna benzer analizlerle sürdürülebilirlik kendi içinde gösterge ve indeksleri içeren sayısal analiz yöntemleri ile irdelenebilir. Enerji kaynakları için küresel sürdürülebilirlik göstergeleri 2009’da gerçekleştirilen bir çalışmaya göre maliyet ve CO<sub>2</sub> emisyonları da dikkate alınarak Tablo 6’daki gibi ifade edilebilir.

**Tablo 6. Ortalama elektrik üretim fiyatları ve gaz emisyon (CO<sub>2</sub> eş değeri) miktarları (Evans ve diğ. 2009)**

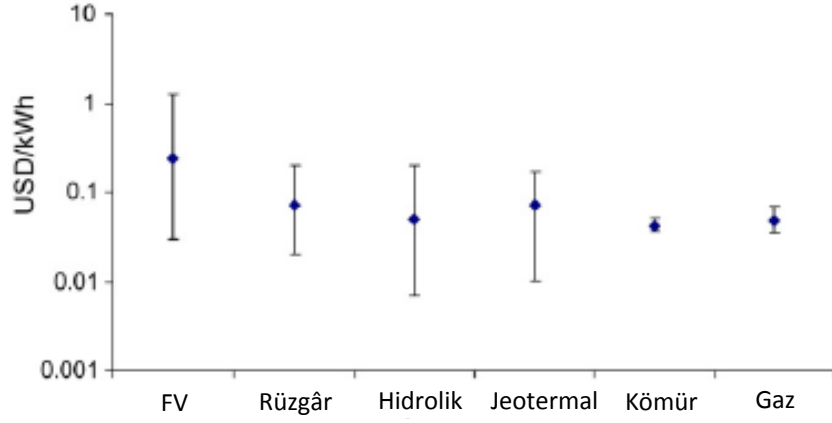
Enerji kaynağı	USD / kWh	g CO <sub>2-e</sub> / kWh
Fotovoltaik	\$0.240	90
Rüzgar	\$0.070	25
Hidrolik	\$0.050	41
Jeotermal	\$0.070	170
Kömür	\$0.042	1004
Gaz	\$0.048	543

2009’da gerçekleştirilen bir çalışmaya göre, elektrik üretim fiyatlarının geniş bir aralığa sahip olduğu belirtilmiş ve her bir enerji teknolojisine ilişkin elektrik üretim fiyatlarındaki değişim gösterilmiştir (Tablo 6, Şekil 7). Fotovoltaik enerji teknolojilerini kullanan elektrik üretim sistemlerinde, diğer enerji teknolojilerine kıyasla daha geniş bir elektrik üretim fiyatı aralığına sahip olduğu görülmektedir. Diğer taraftan bazı enerji teknolojilerinin elektrik üretim verimliliği rakamları aynı çalışmada Tablo 7’deki gibi ifade edilmiştir. Buna göre tabloda belirtilen enerji teknolojileri arasında en yüksek verim hidrolik teknolojilerinde olmasına rağmen, rüzgâr ve gaz teknolojilerini kullanan sistemlerde yaklaşık %50 gibi değere sahiptir (Evans ve diğ. 2009). Bazı yenilenebilir enerji kaynaklarının sürdürülebilirlik ile ilgili niteliksel sosyal etki değerlendirme kriterleri ise Tablo 8’de yer almaktadır.

**Tablo 7. Elektrik üretim verimliliği (Evans ve diğ. 2009)**

Enerji kaynağı	Verim
Fotovoltaik	% 4-22
Rüzgar	% 24-54
Hidrolik	> % 90
Jeotermal	% 10-20
Kömür	% 32-45
Gaz	% 45-53





**Şekil 7:**

*Farklı enerji kaynakları için elektrik üretim rakamları aralığı (Evans ve diğ. 2009)*

**Tablo 8. Niteliksel sosyal etki değerlendirmesi (Evans ve diğ. 2009)**

Enerji kaynağı	Etki	Şiddeti
Fotovoltaik	Toksinler	Düşük-yüksek
	Görsellik	Düşük
Rüzgâr	Kuş istilası	Düşük
	Gürültü	Düşük
	Görsellik	Düşük
Hidrolik	Yer değiştirme	Düşük-yüksek
	Tarımsal	Düşük-yüksek
	Nehirlere verdiği zarar	Düşük-yüksek
Jeotermal	Sismik aktivite	Düşük
	Kirlilik	Düşük-yüksek
	Gürültü	Düşük

Bazı yenilenebilir enerji kaynakları için bahsedilen ortalama elektrik üretim fiyatları ve gaz emisyon (CO<sub>2</sub> eş değeri) miktarları, elektrik üretim verimliliği, elektrik üretim rakamları aralığı, niteliksel sosyal etki değerlendirmesi ve ilgili enerji kaynaklarını kullanarak çalışan enerji sistemlerinin sınırlamaları gibi faktörler dikkate alınarak belirlenen sürdürülebilirlik sıralaması Tablo 9’da yer almaktadır.

**Tablo 9. Sürdürülebilirlik sıralaması (Evans ve diğ. 2009)**

Kriterler	Fotovoltaik	Rüzgâr	Hidrolik	Jeotermal
Fiyat	4	3	1	2
Emisyon(CO <sub>2</sub> -e)	3	1	2	4
Kullanılabilirlik ve sınırlamalar	4	2	1	3
Verim	4	2	1	3
Arazi kullanımı	1	3	4	2
Su tüketimi	2	1	3	4
Sosyal etkiler	2	1	4	3
Toplam	20	13	16	21

Bu sıralama ile ilgili detaylı bilgiler (Evans ve diğ. 2009) kaynağından elde edilebilir. Tablo 9’da yer alan değerlendirme kriterleri küresel ortalama veriler dikkate alınarak hesaplanmıştır. Yöresel, bölgesel ve coğrafi farklılıklara göre bu değerler değişiklikler gösterebilir. Bu kriterlere göre rüzgar enerjisi ile elektrik üretiminin en yüksek sürdürülebilir enerji sistemi olduğunu söyleyebiliriz.

### 3. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, öncelikle sürdürülebilirliği değerlendirme araçları literatürde mevcut bilgilerle genel olarak ifade edilmiş, indeks ve göstergelere dayanan sürdürülebilirlik araçları literatürde yer alan örneklerle açıklanmaya çalışılmış ve Türkiye şartları için örnek uygulamalar yapılmıştır.

Yenilenebilir enerji kaynakları için küresel sürdürülebilirlik indeks ve göstergeleri örnek uygulamalarla ifade edilmiştir. Ayrıca, enerji kaynaklarının sürdürülebilirliğinin, gösterge ve indekslerden oluşan sistematik bir yaklaşımla belirlenebileceği ve elde edilen bu verilerle enerji kaynaklarının sürdürülebilirliği hakkında önemli sonuçlara ulaşılabileceği gösterilmiştir. Enerji kaynaklarının sürdürülebilirliği hakkında yapılan bu çalışma ile aşağıda ifade edilen sonuçlar elde edilmiş ve bir takım önerilerde bulunulmuştur.

- 2010–2035 yılları arasında küresel enerji ihtiyacının, 2010 yılı verilerine göre üçte bir oranında artacağı ve Dünya enerji ihtiyacının günümüzde giderek artan bir önem kazanmakta olduğu belirtilmiştir.
- Enerji kaynaklarının sürdürülebilirliğinin, yenilenebilir enerji kaynaklarının mümkün olduğu kadar verimli enerji teknolojileriyle birlikte sağlanabileceği sonucuna varılmıştır.
- Genel olarak rüzgâr enerjisinin, verimli teknolojilerle kullanımı ile sürdürülebilirliği en yüksek enerji kaynakları arasında olduğu söylenebilir. Bu enerji kaynağını sırasıyla, hidrolik, fotovoltaik ve jeotermal enerji kaynakları izlemektedir.
- Fotovoltaik enerji teknolojilerini kullanan elektrik üretim sistemlerinde, diğer enerji teknolojilerine kıyasla daha geniş bir elektrik üretim fiyatı aralığına sahip olduğu ve maliyeti ve CO<sub>2</sub> emisyonları bakımından en düşük enerji teknolojilerinin ise Rüzgar Enerjisi ve Hidrolik enerjisi olduğu ifade edilmiştir.
- Türkiye koşullarında 2010 yılı itibarıyla, yenilenebilir enerji kaynaklarının üretiminde belirgin bir artış sağlandığı ifade edilmiştir. Ancak Türkiye’nin hali hazırda toplam enerji ihtiyacının %50 ‘sinden fazlasını ihraç eden bir ülke konumunda olduğu dikkate alındığında, yenilenebilir enerji kaynaklarının ve verimli enerji teknolojilerinin üretim kapasitelerinin arttırılmasının gerekliliği ifade edilmiştir.

### KAYNAKLAR

1. Aksu, C. (2011). Sürdürülebilir Kalkınma ve Çevre, Güney Ege Kalkınma Ajansı.
2. Aykal, F.D., Gümüş, B., Akça, Y.B. Ö. (2009). Sürdürülebilirlik kapsamında yenilenebilir ve etkin enerji kullanımının yapılarada uygulanması, *V. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu*, Diyarbakır 78-83.
3. BP Statistical Review of World Energy (2012). 42-43. <http://www.bp.com/> (Erişim tarihi: 29.07.2012)
4. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Resmi web sitesi, istatistik, raporlar, 2012. <http://www.enerji.gov.tr/> (Erişim tarihi: 29.07.2012)

5. Evans, A., Strezov, V., Evans T.J. (2009). Assessment of sustainability indicators for renewable energy Technologies, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13, 1082-1088.
6. Kaygusuz, K. (2012). Energy for sustainable development: A case of developing countries, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16, 1116-1126.
7. Meriç, B.T. (2004). Su kaynakları yönetimi ve Türkiye, *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 28 (1), 27-38.
8. Ness, B., Urbel-Piirsalu, E., Anderberg, S., Olsson, L. (2007). Categorising tools for sustainability assessment, *Ecological Economics*, 60, pp.498-508.
9. OECD (2002). OECD Working Group on Environmental Information and Outlooks. (2002). Aggregated environmental indices. Review of aggregation methodologies in use. Paris: OECS.
10. Ozyurt , O. (2010). Energy issues and renewables for sustainable development in Turkey, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14, 2976–2985.
11. Ragheb, M. (2012). Sustainable Energy and Resource Management, University of Illinois, Chapter-7, 5-6. <https://netfiles.uiuc.edu/mragheb> (Erişim tarihi: 11.07.2012)
12. Renewables Global Status Report (2011). , Renewable Energy policy Network for the 21st century(REN21).
13. Schöler, H., Fischer, W., Hake, J.F. (2012). Methods of measuring sustainable development of the German energy sector, *Applied Energy*, Article in press.
14. Schöler, H., Fischer, W., Hake J.F. (2011). ISD: A New Methodological Approach for Measuring the Sustainability of the German Energy System, Hindawi Publishing Corporation, *Economics Research International*, ID: 428326, 10 pages, doi:10.1155/2011/428326.
15. Spangenberg, J.H. (2000). Sustainable development concepts and indicators, Sustainable Europe Research Institute.
16. Tsai, W.T. (2010). Energy sustainability from analysis of sustainable development indicators: A case study in Taiwan, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14, 2131-2138.
17. UN DESA (2000). Report on the aggregation of indicators of sustainable development – background paper for the ninth session of the commission on sustainable development. (2000). United Nations Department of Economic and Social (UN DESA) Affairs, United Nations, New York.
18. Worldwide engagement for sustainable energy strategies (2012). International Energy Agency, 5. <http://www.iea.org/publications/> (Erişim tarihi: 29.07.2012)

Makale 07.08.2012 tarihinde alınmış, 21.11.2012 tarihinde düzeltilmiş, 23.11.2012 tarihinde kabul edilmiştir.

