

OECD/IEA ÜLKELERİNİN AR-GE HARCAMALARINDAKİ EĞİLİMLER KAPSAMINDA YENİLENEBİLİR ENERJİ TEKNOLOJİLERİNDEKİ GELİŞMELERİN İNCELENMESİ

Yusuf CANSIN ⁽¹⁾

Nazif Hülâgü SOHTAOĞLU⁽²⁾

⁽¹⁾ İ.T.Ü. Enerji Enstitüsü, Enerji Bilim ve Teknoloji Doktora Programı, Maslak 34469 İSTANBUL
E-posta: ycansin@gmail.com

⁽²⁾ İ.T.Ü. Elektrik-Elektronik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü, Maslak 34469 İSTANBUL
E-posta: nazif@elk.itu.edu.tr , sohtaoglu@gmail.com

ÖZET

Yenilenebilir enerji teknolojilerine yönelik araştırma ve geliştirme faaliyetleri değişen siyasi, ekonomik, sosyal, çevresel, iklimsel vb. koşullardaki ihtiyaçların yönetilebilmesinde önemli roller üstlenmektedir. Buna karşın, OECD/IEA ülkelerinde, yenilenebilir enerjiye yönelik ar-ge harcamalarının kamu kesimi toplan enerji ar-ge harcamalarındaki payında çok dikkat çekici gelişmeler kaydedilmemiştir. Bu çalışma kapsamında OECD/IEA ülkelerinin kamu kesimi enerji ar-ge harcamalarının faaliyet alanlarına dağılımı verilmiş, yenilenebilir enerji ar-ge harcamalarındaki eğilimler ile ilgili teknolojilerdeki gelişmeler incelenmiştir. Analiz sonucunda, ülkelerin ekonomik, siyasi ve sosyal yapısı, teknoloji geliştirme kapasitesi, coğrafi ve iklimsel özelliklerin belirleyici olduğu kaynak potansiyeli ve enerji güvenliğine yönelik algılamaları doğrultusunda ülkeler arasında belirgin farklılıklar gözlenmekle birlikte, genel olarak güneş, biyokütle ve rüzgar enerjilerine yönelik ar-ge faaliyetlerine ilginin yoğunlaştığı saptanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Yenilenebilir enerji ar-ge harcamaları; Yenilenebilir enerji ar-ge alanları; Yenilenebilir enerji ar-ge politikaları; Enerji ar-ge harcamaları; Enerji ar-ge alanları; Enerji ar-ge politikaları.

1. GİRİŞ

1970'lerdeki petrol krizlerinden günümüze kadar geçen kırk yıla yaklaşan süreçte, enerji talebinin ekonomik fiyatlarla, kesintisiz ve güvenilir sağlanması, özellikle 1992 yılında imzalanan KYOTO protokolünden itibaren, küresel iklim değişikliğinin hafifletilmesi ve çevrenin korunması, enerji politikalarının öncelikli amaçları arasında yer almaktadır. Bu amaç kapsamında, her ne kadar talep tarafında enerjinin etkin ve verimli kullanılması, arz boyutunda ise yenilenebilir enerji kullanımının artırılması önemli roller üstlense de, günümüzde yeterli miktarda enerjiye erişemeyen veya erişirken sosyal, siyasi, ekonomik vb. maliyetleri yüklenmek zorunda kalan toplumlar bulunmakta, ayrıca iklim değişikliği ve çevre kirliliği gibi sorunlar önemini artırarak devam etmektedir.

Yenilenebilir enerji kaynak çeşitlerinin önemli bölümüne Dünya'nın her yerinde, yeteri kadar ve sürekli şekilde erişebilmek mümkün olup fosil yakıtlar ile nükleer enerji türlerinde olduğu gibi, rezervlerin tükenmesine ilişkin kısıtlar bulunmamaktadır. Bunlara karşın, yenilenebilir enerji potansiyeli coğrafi ve iklimsel değişimlere oldukça duyarlıdır. Değişken karakterli potansiyelden artan düzeyde ve sürdürülebilir şekilde faydalanabilmek için güneş, biyokütle veya

rüzgâr gibi yenilenebilir enerji alt faaliyet alanlarındaki dönüşüm teknolojilerinin daha da geliştirilmesi ve enerji sistemindeki konumlarının güçlendirilmesi gerekmektedir [1]. Dolayısıyla ülkelerin toplam araştırma ve geliştirme (ar-ge) bütçeleri ve/veya bileşenler ayrımındaki enerji ar-ge programları çok önemli işlevler yüklenmektedir.

Yenilenebilir enerji teknolojilerinin küresel enerji piyasalarındaki konumunun güçlenmesi, öncelikle ayrımsız her türlü bileşenin ilk yatırım ve işletme maliyetlerinin düşürülmesine, bunlara yönelik teknolojilerde köklü gelişmelere, küresel ölçekte güç ve biyoyakıt üretiminin ve ticaretinin artırılmasına ve yenilenebilir teknolojilerin mevcut enerji sistemleri ve piyasalarıyla hızla entegrasyonuna bağlıdır [1]. Son zamanlarda fosil yakıt maliyetlerinde gözlemlenen hızlı artış eğilimiyle birlikte, yenilenebilir enerji maliyetlerinde gerçekleşen önemli azalışlar, yenilenebilir enerji teknolojilerinin enerji piyasasında güçlenmesine fırsatlar tanımaktadır. Dolayısıyla günümüzde yenilenebilir enerji kaynakları, fosil tabanlı enerji kaynakları ile karşılaştırıldığında, maliyet, etkinlik ve verimlilik açılarından rekabet edebilir duruma gelmişlerdir.

Geçmişteki deneyimler ile günümüzde, enerjiyle ilişkilendirilebilecek alanlardaki eğilimler dikkate



alındığında, enerji güvenliğinin yalnız başına enerjiye erişim sorunu olarak değil, arz güvenliği, ekonomi, ekoloji, teknoloji, siyasi-askeri ve sosyal boyutları bulunan karmaşık bir olgu olarak ele alınması gerekmektedir [2]. Kuşkusuz her bir boyut kendi özelinde enerji güvenliğinin sağlanmasında önemli roller üstlense de, teknoloji gelişiminin sunduğu ve/veya sunabileceği imkânlar enerji ile ilişkilendirilebilecek her türlü sorunun çözümünde belirleyicilik üstlenmektedir. Bu çalışma kapsamında, enerji güvenliğinin sadece teknoloji boyutuna ilişkin analizler, enerji ar-ge harcamaları ekseninde ele alınmıştır. Enerji temel faaliyet alanına yönelik, her türdeki kamu ve özel kesim ar-ge bütçelerini birlikte barındıran verilere eksiksiz ulaşabilmek mümkün olmadığından, zorunlu olarak, yalnızca Uluslar arası Enerji Ajansı (International Energy Agency, IEA) üyesi ülkelerin resmi bütçelerine dayalı enerji ar-ge harcamalarının irdelenmesi yoluna gidilmiştir. Çalışma kapsamında kullanılan “ar-ge” ifadesi, enerji zincirinin bütün halkalarına yönelik, bilimsel, teknolojik ve endüstriyel alanlarda gerçekleştirilen, araştırma, geliştirme ile uygulama faaliyetlerini içermektedir

2. YENİLENEBİLİR ENERJİNİN KONUSU

Ülkeler ve bileşenler ayrımında ciddi farklılıklar olmasına rağmen, küresel enerji talebinin yaklaşık sekizde biri yenilenebilir enerji kaynakları ile karşılanmaktadır. Gıda üretimine ikame olan veya bilinçsiz ve yoğun tüketimi doğal çevreye tehdit oluşturabilen biyokütle ile hidrolik kaynaklar, yenilenebilir enerji arzının önemli kısmını oluşturmakta, buna karşın toplam yenilenebilir enerji potansiyelinin büyük bölümünü oluşturan güneş, rüzgâr, jeotermal ve diğer yenilenebilir enerji kaynaklarının toplamdaki payları, artış eğilimine rağmen, göreceli olarak düşük düzeylerde kalmaktadır. Gelişmiş ülkelerde teknolojinin yoğun kullanıldığı rüzgâr, güneş, işlenmiş biyokütle ve organik atıklar başta olmak üzere, yenilenebilir enerjinin genellikle modern veya dönüştürülmüş formları kullanılmaktadır. Az gelişmiş ülkelerde ise, kırsal bölgelerde ısınma ve yemek pişirme amacıyla, biyokütle ve hayvansal atıkların doğrudan kullanımı önemli düzeylerde [1].

Küresel toplam elektrik enerjisi üretiminin yüzde 18.3 gibi önemli bölümü yenilenebilir enerji kaynakları tarafından karşılanmaktadır. Bu oranın yüzde 87’sini, günümüzde hala en ekonomik elektrik üretim alternatifleri arasında yer alan, hidrolik kaynaklar tek başına oluşturmaktadır [3]. Geriye kalan yenilenebilir enerji türlerinden biyokütle, rüzgâr, organik atık, jeotermal, güneş vb. diğer kaynaklardan elektrik üretimi, bunlara yönelik teknolojilerin gelişmişliği ve ticarileşmesi oranında, artış eğilimi sergilemektedir. Fakat, yüksek büyüme

oranlarına rağmen bu kaynakların elektrik enerjisi üretimine katkısı düşük seviyelerdedir.

3. TOPLAM ENERJİ AR-GE HARCAMALARI

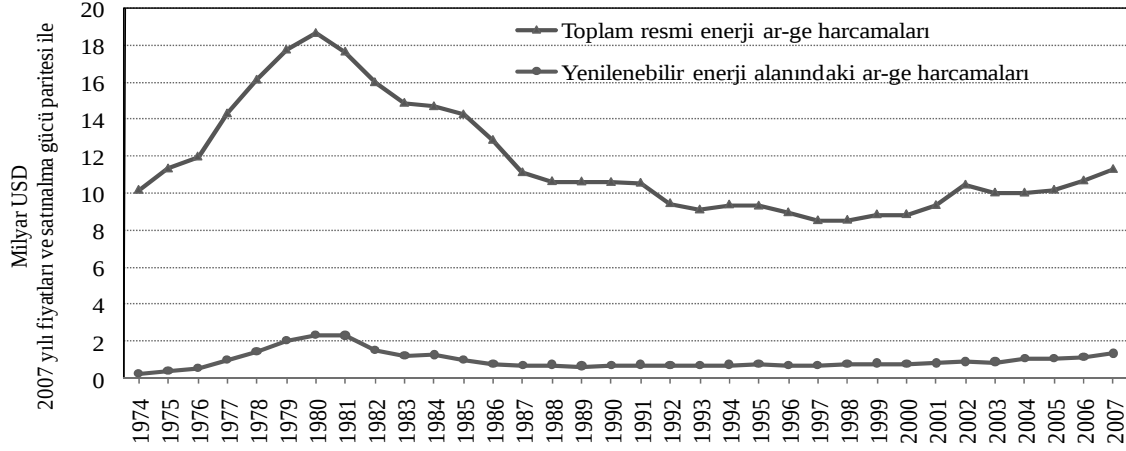
Ülkelerin sosyal, siyasi ve ekonomik yapıları ile teknoloji geliştirme kapasiteleri, enerji güvenliğine yönelik algılamaları, enerji ar-ge bütçelerinin şekillendirilmesinde önemli işlevler yüklenmektedir. Ayrıca, enerji ar-ge faaliyetlerine ayrılan bütçenin toplam büyüklüğü ve bileşenler ayrımında dağılımı ile bunların uzun vadedeki istikrarı, kamunun ekonomik ve siyasi desteğini ortaya koyması açısından önem taşımakta, hatta özel sektörün yatırım önceliklerini saptayabilmesi yönünde büyük katkılar sağlamaktadır [4].

OECD/IEA üyesi ülkelerin toplam resmi enerji ar-ge harcamaları, 2007 yılı fiyatları ve satın alma gücü paritesi ile 11.34 milyar USD’dir [5]. 1970’lerden günümüze kadar geçen dönemde, Amerika B.D. ve Japonya başta olmak üzere OECD/IEA üyesi ülkeler, düzenli olmamakla birlikte, teknoloji gelişimini önemli derecede desteklemiştir. 1970’li yıllarda yaşanan petrol krizleri sonucunda üye ülkelerin toplam resmi enerji ar-ge bütçeleri hızla artarak, 1980 yılında en yüksek değerine ulaşmıştır. Bununla birlikte enerji güvenliğine yönelik kaygıların göreceli olarak hafiflemesine bağlı olarak 1980-1987 döneminde, resmi enerji ar-ge bütçelerinde üçte ikilere varan kısıtlamalara gidilmiştir. İzleyen dönemde 1997 yılına kadar enerji ar-ge harcamaları daha istikrarlı seyretmiştir. 1997 yılından itibaren ise, kısmen iklim değişikliği tartışmaları öne çıkmakla birlikte, küresel enerji talebinin hızla büyümesi, enerji ar-ge harcamalarında artış eğilimine yol açmıştır. OECD/IEA üyesi ülkelerin toplam resmi enerji ar-ge harcamalarında kaydedilen gelişmeler toplu olarak Şekil 1’de [5] verilmiştir.

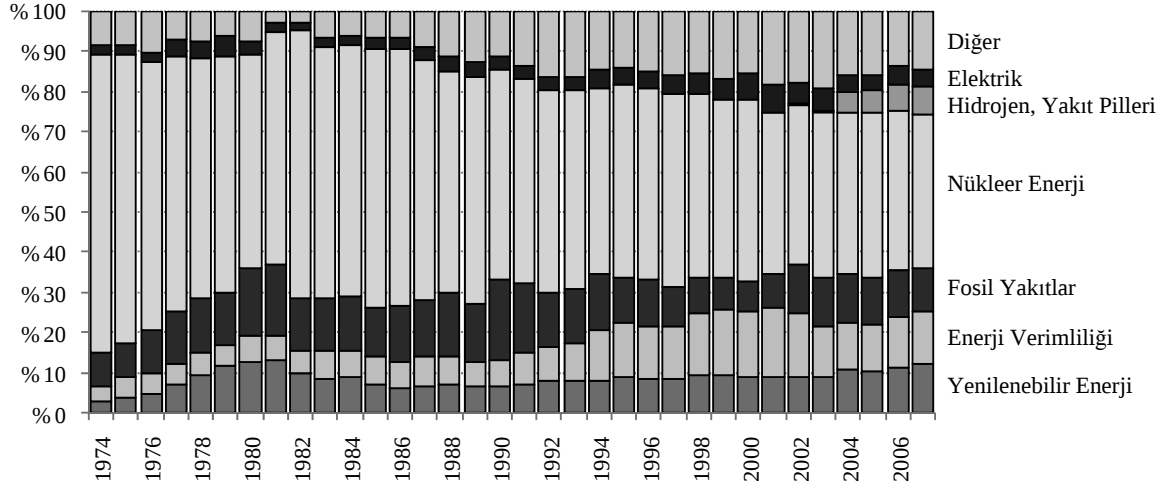
OECD/IEA ülkelerinin toplam resmi enerji ar-ge harcamalarında kaydedilen gelişmeler, Şekil 2’de verilmiştir [5]. Son yıllarda, enerji verimliliği, yenilenebilir enerji ve elektrik enerjisine yönelik ar-ge harcamalarının toplamdaki paylarında artış eğilimleri, buna karşın nükleer enerji ile fosil yakıtların paylarında ise düşüş eğilimleri öne çıkmaktadır. Sıklıkla düzenlenen ulusal ve uluslararası her türlü toplantı ve sempozyumlarda, yenilenebilir enerji kullanımının artırılması şiddetle savunulmasına, hatta bu konunun birçok ülkenin ulusal enerji güvenlik programlarında öncelikli yer almasına rağmen, OECD/IEA üyesi ülkelerin toplam resmi ar-ge harcamalarından yenilenebilir teknolojileri sadece yüzde 12 pay alırken, her türlü karşıt görüşe rağmen, nükleer enerjinin üçte birden daha fazla pay alması dikkat çekmektedir. Diğer yandan teknolojileri oldukça gelişmiş ve ticarileşmiş fosil yakıtlara yönelik ar-ge faaliyetlerinin özel

sektör tarafından yürütülmesinin beklenmesine rağmen, aynı şekilde, fosil yakıtlara yönelik ar-ge faaliyetleri resmi bütçelerden önemli oranda pay

alabilmekte, dolayısıyla söylemler ile uygulamalar birbiriyle uyumsuzdur.



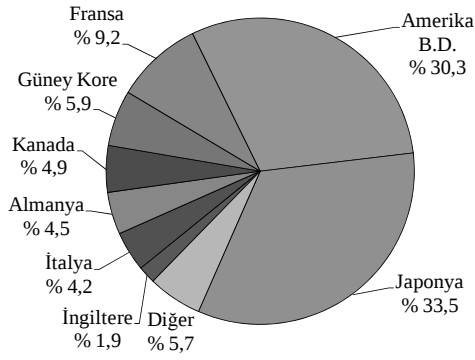
Şekil 1: OECD/IEA ülkelerinin toplam resmi enerji ar-ge harcamalarında kaydedilen gelişmeler.



Şekil 2: OECD/IEA ülkelerinin toplam resmi enerji ar-ge harcamalarının faaliyet alanlarına yüzde olarak dağılımı.

İnceleme döneminde, OECD/IEA üyesi ülkelerin kamu kesimi toplam enerji ar-ge yatırımlarının yaklaşık üçte ikisi Amerika B.D. ve Japonya tarafından gerçekleştirilmiştir. Japonya, Fransa ve Güney Kore'nin enerji ar-ge faaliyetleri nükleer enerji alanında yoğunlaşırken, Amerika B.D., Kanada ve Almanya'nın ar-ge harcamaları daha homojen yapı sergilemektedir. 2006 yılı verilerine göre, OECD/IEA ülkelerinin toplam resmi enerji ar-ge harcamalarının neredeyse tamamını yürüten

ülkelerin toplamdan aldıkları paylar, Şekil 3'de sunulmuştur [5]. Enerji kaynakları yönünden fakir ve aynı zamanda küresel enerji rezervlerine fiziki olarak uzak olan, dolayısıyla göreceli olarak daha fazla enerji güvenliği kaygıları taşıyan Japonya, tek başına Avrupa Birliği üyesi ülkelerin toplamından daha fazla ar-ge bütçesi ayırarak, enerji güvenliğinin sağlanmasında teknoloji gelişimine verdiği önemi ortaya koymaktadır.



Şekil 3: 2006 yılındaki toplam enerji ar-ge harcamalarında ülkelerin payları.

Enerji ar-ge faaliyetlerine ilişkin literatür incelendiğinde [6-10], küresel ölçekteki enerji ar-ge faaliyetlerinin yalnızca birkaç ülke tarafından yoğun olarak yürütüldüğü ve bu çalışmaların enerjiyle ilişkilendirilebilecek sorunları aşmada yetersiz kaldığı değerlendirilmektedir. OECD/IEA ülkelerindeki enerjiye yönelik teknoloji gelişimi için ihtiyaç duyulan ar-ge faaliyetlerinin başarısızlıkla sonuçlanması, bir takım nedenler veya yetersizlikler nedeniyle kısıtlanması ya da tamamen vazgeçilmesi hatta, enerji piyasalarının yeniden yapılandırılmasına bağlı olarak hükümetlerin ar-ge faaliyetlerini özel sektöre bırakması veya teknoloji gelişiminde belirleyici olan uzun vadeli, hacimli ar-ge faaliyetlerini kısması, özel sektörün ise riski az, hacmi küçük ve kısa vadeli kar amaçlı yatırımlara yönelerek uzun vadeli çalışmalardan uzaklaşmaları veya sınırlı alanlara odaklanmaları enerji teknolojilerinin geliştirilmesine bir takım riskler yüklemektedir [2].

Tablo 1: OECD/IEA ülkelerinin toplam yenilenebilir enerji ar-ge harcamalarının faaliyet alanlarına dağılımı (milyon USD).

	Toplam	Güneş	Biyoenerji	Rüzgâr	Jeotermal	Okyanus	Hidrolik	Diğer
Almanya	103.529	59.988	15.054	11.809	16.381	0.000	0.299	0.000
Amerika B.D.	243.126	83.895	92.086	39.319	23.348	0.000	0.508	3.971
Avustralya	..	..	..	..	..	..	..	..
Avusturya	16.577	2.281	13.577	0.014	0.000	0.000	0.385	0.320
Belçika	..	..	..	..	..	..	..	..
Çek Cum.	..	..	..	..	..	..	..	..
Danimarka	27.058	4.864	11.940	9.774	0.000	0.419	0.000	0.061
Finlandiya	33.354	1.108	29.024	2.960	..	..	..	0.261
Fransa	61.150	30.525	24.087	2.087	3.074	0.183	0.445	0.746
Güney Kore	95.794	30.627	10.619	22.495	4.471	1.386	0.885	25.312
Hollanda	54.366	12.991	35.351	6.022	..	..	..	..
İngiltere	82.419	16.960	6.774	47.906	0.255	6.766	0.013	3.745
İrlanda	2.232	0.023	0.491	0.182	0.020	0.041	0.022	1.452
İspanya	37.372	19.099	7.188	9.480	0.000	1.607	0.000	0.000
İsveç	34.604	3.145	26.286	2.700	0.000	0.832	1.151	0.490
İsviçre	22.609	14.665	3.666	0.611	1.222	0.000	2.445	0.000
İtalya	43.420	38.595	2.412	2.412	0.000	0.000	0.000	0.000
Japonya	228.363	156.693	61.547	8.807	0.000	0.000	0.000	1.316
Kanada	67.094	11.225	43.117	7.425	0.430	0.867	2.840	1.190
Lüksemburg	..	..	..	..	..	..	..	..
Macaristan	8.258	0.000	8.059	0.199	0.000	0.000	0.000	0.000
Norveç	5.256	1.716	1.192	1.490	0.000	0.298	0.560	0.000
Polonya	..	..	..	..	..	..	..	..
Portekiz	0.528	0.230	0.066	0.154	0.009	0.068	0.000	0.000
Slovakya	..	..	..	..	..	..	..	..
Türkiye	2.425	0.206	0.877	0.281	0.896	0.058	0.107	0.000
Yeni Zelanda	2.936	0.561	0.774	0.053	0.947	0.461	0.141	..
Yunanistan	..	..	..	..	..	..	..	..
Toplam	1,172.400	489.397	394.187	176.180	51.053	12.986	9.81	38.864
Pay (%)		41.74	33.62	15.03	4.35	1.11	0.84	3.31

4. YENİLENEBİLİR ENERJİ AR-GE HARCAMALARI

1974-2007 döneminde, yenilenebilir enerjiye yönelik ar-ge harcamaları toplam enerji ar-ge eğilimlerine benzer şekilde gelişmiştir. Bu kapsamda, 1987 yılından itibaren kararlı ancak yavaş bir yükselişten söz edebilmek mümkündür. Bu

dönemde güneş ile rüzgâr enerjisine olan ilgi süreklilik göstermiştir. Jeotermal enerjiye 1970'lerde önemli miktarlarda yatırım yapılmış olmakla birlikte, izleyen yıllarda bu ilgi hızla azalmıştır. Ülkelerin resmi yenilenebilir enerji ar-ge harcamalarındaki eğilimler, Şekil 1'de verilmiştir [5].

Amerika B.D. ve Japonya başta olmak üzere, Almanya, Güney Kore ve İngiltere, OECD/IEA ülkelerinin

toplam yenilenebilir enerji ar-ge harcamalarının yaklaşık üçte ikisini üstlenmektedir. Bununla birlikte yenilenebilir enerji ar-ge harcamaları, ülkelerin yenilenebilir kaynak potansiyelleri, ekonomik ve bilimsel altyapıları ile siyasi tercihlerine bağlı olarak bileşenler ayrımında ülkeler arasında değişiklikler göstermektedir. Ülkelere göre irdelendiğinde Japonya'nın güneş enerjisine, Amerika B.D.'nin biyoenerji ve jeotermal enerjiye, İngiltere'nin ise rüzgâr ve okyanus enerjisine yöneldikleri saptanmaktadır [11].

2007 yılı verilerine göre, OECD/IEA üyesi ülkelerin toplam resmi yenilenebilir enerji ar-ge harcamaları, satınalma gücü paritesi ile 1.36 milyar USD'dir. Karşılaştırılabilirlik maksadıyla, IEA

4.1 Güneş Enerjisi

Güneş enerjisi alanındaki ar-ge faaliyetleri genel olarak, güneş pilleri, güneş ısıtma-soğutma teknolojileri ile güneş enerjisine dayalı termal elektrik ve ısı (GTE-I) uygulamaları olmak üzere üç ana başlık altında sınıflandırılabilir. Elektrik şebekelerine kolaylıkla bağlanabilen veya şebekeden bağımsız olarak kullanılabilen esnek ve modüler yapıları güneş pilleri, diğer enerji kaynakları ile bütünleşik çalışabilmektedirler. Bununla birlikte, mekân ısıtma ve soğutma ihtiyacının büyüklüğü göz önüne alındığında, geçtiğimiz 30 yılda ticari uygulamaları olgunlaşan güneş ısıtma ve soğutma teknolojileri, fosil tabanlı yakıtlara iyi bir seçenek oluşturabilmektedir. GTE-I uygulamaları ise güneş enerjisi alanında önemli potansiyele bulunan ancak, henüz gelişme aşamasında olan teknolojileri kapsamaktadır. Dünyada bütün enerji türlerinin kaynağını oluşturan güneş enerjisinden daha fazla yararlanılabilmesi, günümüz koşullarında teknolojinin daha da geliştirilmesini gerektirmektedir.

1974-2007 döneminde yürütülen ar-ge faaliyetleri sonucunda, güneş pili ve sistemleri, güneş kolektörleri ve güneş enerjisinden aktif ve pasif yöntemlerle faydalanma yöntemleri geliştirilmiş, mevcut enerji sistemine kısmen de olsa entegrasyon sağlanmış, dolayısıyla güneş ısıtma-soğutma ve termal elektrik ve ısı uygulamaları farklı ölçeklerde ve çeşitli alanlarda ticari olarak yaygın şekilde kullanılmışlardır [11]. Bununla birlikte, özellikle güneş pili ve sistemlerine yönelik teknoloji gelişimi başlangıç aşamasında olup, ilerleyen dönemlerde daha fazla kamu desteğine ihtiyaç duymaktadır. Bu dönemde Amerika B.D., Japonya ve Almanya'nın güneş enerji teknolojilerine yoğun ilgilerinin bulunduğu, ar-ge öncelikleri kapsamında Amerika B.D., Almanya, İsviçre ve İsveç'in güneş ısıtma ve soğutma, Japonya ve Almanya'nın güneş pili, İtalya ve İspanya'nın ise GTE-I uygulamalarına yönelik ar-ge faaliyetlerine önemli destek sağladıkları gözlenmektedir.

ülkelerinin resmi yenilenebilir enerji ar-ge harcamalarının faaliyet alanlarına dağılımı, Tablo 1'de verilmiştir [5]. Veriler irdelendiğinde, teknolojisi gelişmekte olan ve yakın gelecekte enerji arzına önemli katkısı beklenen güneş, biyoenerji ve rüzgâr teknolojilerine yönelik ar-ge harcamalarının toplamdan yüzde 90 gibi önemli pay aldığı görülmektedir. Buna karşın teknolojisi daha gelişmiş olan hidrolik ve jeotermal enerji ile teknoloji gelişmişlik düzeyi başlangıç aşamasında bulunan okyanus enerjisine yönelik resmi ar-ge harcamalarına ilginin zayıf olduğu gözlenmektedir. 2006 yılı için yenilenebilir enerji ar-ge alanlarındaki bileşenlere göre eğilimler, toplamdaki paylarına göre ülkeler ayrımında aşağıda ayrıntılandırılmıştır.

Günümüzde güneş enerjisine yönelik ar-ge harcamaları içerisinde, güneş pillerine yönelik ilginin diğerleriyle karşılaştırıldığında daha fazla olduğu gözlenmektedir. 2006 yılı için güneş enerjisine yönelik ar-ge harcamalarının yaklaşık yüzde 90'ını gerçekleştiren ülkelerin toplamdan aldıkları paylar ile faaliyet alanlarına dağılımı, Tablo 2'de verilmiştir [5]. Buna göre Japonya, en fazla güneş enerjisi ar-ge harcaması yapan ülke olarak öne çıkmakta ve bunun neredeyse tamamının güneş pili teknolojilerine ayrıldığı görülmektedir. Teknolojik gelişmişlik düzeyi yüksek olan ve ticarileşme sürecini tamamlayan, dolayısıyla ilave ar-ge faaliyetleri piyasa koşullarına bırakılan güneş ısıtma ve soğutma teknolojilerine, Almanya, İtalya ve İngiltere başta olmak üzere birçok ülke kamu desteğini hala sürdürmektedir. Buna karşın, teknolojisi gelişme aşamasında olan ve henüz ticari uygulamaları bulunmayan GTE-I teknolojilerine, İtalya, İspanya ve Almanya ilgi göstermekte, hatta İtalya ve İspanya bu alana öncelikli olarak bütçe ayırmaktadırlar.

Tablo 2: 2006 yılı itibarıyla seçilmiş ülkelerdeki güneş enerji ar-ge harcamalarının toplamdaki payları, (%).

Ülkeler	Toplam	Isıtma-Soğutma	Güneş Pili	GTE-I
Almanya	12.26	1.58	9.26	1.41
ABD	17.14	..	..	..
Fransa	6.24	0.40	5.84	0.00
G. Kore	6.26	0.91	5.35	0.00
İngiltere	3.47	2.68	0.78	0.00
İspanya	3.90	0.17	1.07	2.66
İtalya	7.89	0.99	3.20	3.70
Japonya	32.02	2.10	29.92	0.00
Toplam	89.17	8.83	55.42	7.77

4.2 Biyoenerji

Biyokütle kaynakları, çok çeşitli orman ve tarımsal kaynakları, bunların atık ile türevlerini, kentsel ve endüstriyel biyoatıkları kapsamaktadır. Katı, sıvı veya gaz formundaki biyoyakıtlar doğrudan fosil yakıtları ikame etme potansiyele taşıyan yegane yenilenebilir enerji kaynaklarıdır. Dolayısıyla,



özellikle ulaştırma sektöründe petrolün yerine ikame edilebilmesi ve geleneksel fosil tabanlı enerji teknolojileriyle kısa sürede entegrasyon açısından önemlidir. Bununla birlikte biyoyakıt üretiminden, tüketiciye sunulması sürecinde sürdürülebilirliğin sağlanabilmesi özellikle tarım sektöründe gıda-enerji dengesinin korunmasını ve önceliklerin yeniden tanımlanmasını gerektirmektedir.

Özellikle elektrik üretiminde, mekan ısıtmada ve ulaştırma sektöründe ihtiyaç duyulan yakıtlara olan talebin hızla artması, buna karşın, fosil yakıt üretim maliyetlerinin sürekli artması ve özellikle petrol fiyatlarının aşırı yükselmesi ile iklim değişikliğinin önemini sürdürmesi, biyoenerji teknolojilerine ilgiyi artırmaktadır. Gerçekleştirilen ar-ge faaliyetleri ve diğer destek mekanizmaları sayesinde, çeşitli biyokütle yakma teknolojileri, biyogaz üretimi ve mekan ısıtma alanlarında maliyetler önemli derecede azaltılmış, hatta bazı ülkelerde biyogaz ve biyodizel yakıt üretiminde önemli gelişmeler sağlanmıştır [11]. Biyoenerji teknolojilerine en fazla yatırımın açık ara farkla Amerika B.D. ile Kanada ve İsveç'ten kaynaklandığı, özellikle 2000 yılından itibaren ise Japonya ve Finlandiya'nın biyoenerji ar-ge harcamalarında önemli artışların kaydedildiği tespit edilmektedir.

Biyoenerji alanındaki ar-ge faaliyetleri, taşıt biyoyakıt üretimi, diğer biyokütle tabanlı yakıt üretimi, ısı ve elektrik uygulamaları ve diğer biyoenerji uygulamaları olmak üzere dört ana başlık altında sınıflandırılmıştır. 2006 yılı itibarıyla biyoenerji ar-ge harcamalarının yaklaşık üçte ikisini gerçekleştiren ülkelerin toplam biyoenerji ar-ge harcamalarındaki payları ile faaliyet alanlarına yönelik eğilimleri, Tablo 3'de sunulmuştur [5]. İsveç, Kanada ve Fransa taşıtlara yönelik biyoyakıt, İsveç ve Japonya diğer biyoyakıt, Finlandiya ısı ve elektrik uygulamaları, Hollanda ise diğer faaliyet alanlarındaki ar-ge faaliyetlerine öncelik vermişlerdir. Gelecekteki biyoenerji ar-ge öncelikleri ise, çevresel, finansal ve toplumsal değerler doğrultusunda yeterli ve ucuz hammaddenin üretilmesini, dönüşüm teknoloji-lerinin geliştirilmesini, biyo-rafinerilerin finansmanını, biyokütleden hidrojen üretimini ve küresel ölçekte büyük miktarlarda ve sürdürülebilir şekilde enerji tarımına geçilmesini kapsamaktadır [11].

Tablo 3: 2006 yılı itibarıyla seçilmiş ülkelerde biyoenerji ar-ge harcamalarının toplamdaki payları, (%).

Ülkeler	Toplam	Biyoyakıt		Elektrik ve Isı	Diğer
		Taşıt	Diğer		
ABD	23.4	..	..	..	..
Japonya	15.6	0.0	0.0	15.5	0.1
Kanada	10.9	3.0	0.9	5.5	1.6
Hollanda	9.0	..	1.6	0.6	6.8
Finlandiya	7.4	..	..	7.4	..
İsveç	6.7	4.4	1.6	0.7	0.0
Toplam	72.9	7.4	4.1	29.6	8.4

4.3 Rüzgar Enerjisi

Rüzgar enerjisine yönelik ar-ge faaliyetleri sonucunda, Almanya, İspanya, Amerika B.D., Danimarka ve Hindistan başta olmak üzere bir çok ülkede kurulu rüzgar gücü hızla artmış, bağlı olarak rüzgar enerjisi klasik termik ve hidrolik santraller ile rekabet edebilir düzeye gelmiştir. Buna karşın, rüzgar enerjisi potansiyelinden daha fazla yararlanabilmek ve rüzgar enerjisinin elektrik sistemlerine entegrasyonunu güvenilir şekilde sağlayabilmek için rüzgar rejimindeki belirsizliklerin yönetilmesi, her alanda maliyetlerin daha da düşürülmesi, rüzgar teknolojisi kullanımının yaygınlaştırılması ve çevresel etkilerin en düşük seviyeye getirilmesi gerekmektedir. Bu amaçlar doğrultusunda özel sektörün ticari maksatlı ürün ve parça geliştirmeye yönelik ar-ge faaliyetlerinin yanı sıra, kamunun özellikle temel ve jenerik araştırmaları kısmen veya tamamen desteklemesi gerekmektedir.

İnceleme döneminde, Amerika B.D., Almanya, Hollanda, İngiltere, İtalya, Danimarka ve İsveç, rüzgar enerjisine yönelik ar-ge faaliyetlerine toplam bütçeden önemli kaynak ayırmışlardır. 2000 yılından itibaren ise bu ülkelerden İtalya ve İsveç'in ilgisinin azaldığı, buna karşın Güney Kore, Japonya ve İspanya'nın ilgisinin yoğunlaştığı saptanmaktadır. Bununla birlikte, yenilenebilir enerji öncelikleri kapsamında, İngiltere yenilenebilir enerji ar-ge bütçesinin yüzde 58'ini, Danimarka ise yüzde 36'sını rüzgâr enerjisine ayırmıştır.

Geçtiğimiz dönemde rüzgar enerjisiyle ilgili ar-ge faaliyetleri genellikle türbin tasarımlarına yoğunlaşmıştır. Bununla birlikte gelecekte, rüzgar enerjisine yönelik ar-ge öncelikleri kapsamında, güç performans tahminlerinin iyileştirilmesi, mühendislik uygulamalarının geliştirilmesi ve standardizasyonda belirsizliklerin azaltılması, depolama teknolojilerinde maliyetlerin düşürülmesi ve daha büyük, dolayısıyla daha verimli olan santrallerin kullanımının yaygınlaştırılmasına yönelik ar-ge faaliyetlerine ilginin artması beklenmektedir [11].

4.4 Jeotermal Enerji

Hemen hemen Dünya'nın her yerinde kullanılabilir nitelikte jeotermal rezervler bulunmakta, ayrıca bu rezervler diğer yenilenebilir enerji türlerindeki gibi iklimsel veya mevsimsel şartlardan etkilenmemektedir. Bununla birlikte günümüzde elektrik üretimi veya ısıtma maksadıyla 71 ülkede jeotermal enerjiden faydalanılmaktadır. Diğer gelişmiş teknolojilerde olduğu gibi kullanım miktarının artırılması ve yaygınlaştırılması için üretim maliyetlerinin azaltılması, kaynakların sürdürülebilir şekilde kullanılması, yeni jeotermal

teknolojilerinin geliştirilmesi ile ar-ge çalışmaları ve ticarileşme sürecinde kamu desteğinin sürdürülmesi gerekmektedir.

1974-1984 döneminde, Amerika B.D. ile Japonya'nın jeotermal enerji ar-ge faaliyetlerine yoğun ilgilerinin bulunduğu, buna karşın ilerleyen yıllarda Japonya'nın jeotermal enerjiye yönelik ar-ge faaliyetlerinde kamu desteğini bıraktığı, Almanya'nın ise öncelikli tercihleri arasına girdiği görülmektedir. Bu ülkelerden başka önemli jeotermal rezervleri tespit edilen ve aralarında Türkiye'nin de bulunduğu birçok ülkede, jeotermal enerji ar-ge faaliyetleri düşük düzeylerde desteklenmektedir.

4.5. Okyanus Enerjisi

Okyanus enerjisinin, diğer yenilenebilir enerji türleriyle karşılaştırıldığında, kamu ve özel sektörden yeteri kadar destek alamadığı görülmektedir. Henüz teknolojisi başlangıç düzeyinde olan okyanus enerji sistemlerinde, oldukça güçlü dalga ve akımlara dayanabilecek malzemelerin geliştirilmesi ön plana çıkarken, aynı zamanda düşük maliyet, güvenlik, güvenilirlik, basitlik, çevresel etkiler, toplumsal kabul ve bunlara yönelik yüksek risk düzeyleri önemini sürdürmektedir.

Özellikle 1980'li yılların başında, Amerika B.D., İngiltere, Japonya ve Kanada okyanus enerjisi ar-ge faaliyetlerine önemli bütçeler ayırmasına karşın, gelişen süreçte, İngiltere hariç diğer ülkelerin konuya ilgilerinin zayıfladığı görülmektedir.

4.6 Hidrolik Enerji

Günümüzde hidrolik kaynaklar, küresel toplam elektrik arzının yüzde 16'sını oluşturmaktadır. Hidrolik kaynakların enerji arzındaki payının daha fazla artırılabilmesi için çığır açacak teknolojik gelişmelere, hacimli ar-ge harcamalarına veya su kaynaklarının geliştirilmesinde radikal değişikliklere ihtiyaç bulunmamaktadır. Buna karşın sosyal ve çevresel etkilerin azaltılması, dolayısıyla toplumun geniş kesimli kabulünün sağlanması, uluslararası su paylaşımı problemlerinin giderilmesi, hidrolik enerji projelerin onayı, uygulanması ve geliştirilmesi öncelikli konular arasındadır. Ayrıca, hidrolik enerji teknolojilerinin, başta rüzgâr olmak üzere, diğer yenilenebilir enerji teknolojileriyle entegrasyonunun sağlanması, hidrolik-hidrojen karma sistemlerinin geliştirilmesi, küçük kapasiteli ve mevcut santrallerde malzeme iyileştirme ve geliştirme gibi alanlarda önemli fırsatlar bulunmaktadır.

Geçtiğimiz dönemde hidrolik enerjiye yönelik ar-ge harcamalarının önemli bölümünün Amerika B.D., Kanada, Norveç, İsviçre, Finlandiya ve Güney Kore tarafından yapıldığı belirlenmiştir. Hidrolik alanındaki alt faaliyetlerde, Amerika B.D., Norveç,

İsviçre ve Finlandiya büyük kapasiteli su santralleriyle ilgili ar-ge faaliyetlerini öncelikli desteklerken, Kanada, İsviçre, İspanya, Finlandiya, Japonya ve İsveç küçük kapasiteli su teknolojilerini tercih etmişlerdir. Su enerjisine yönelik kamu destekli ilave ar-ge ihtiyaçlarının sorgulandığı günümüzde, göreceli olarak düşük bütçelere rağmen, çok sayıda ülkenin özellikle küçük kapasiteli su enerjisine ilgisi devam etmektedir.

5. SONUÇLAR

Günümüzde enerjiyle ilişkilendirilebilecek sorunlar ve geleceğe yönelik beklentiler dikkate alındığında, yenilenebilir enerji kaynaklarının önemi bütün toplumsal kesimler tarafından kabul görmektedir. Buna karşın, yenilenebilir enerji alanında yeteri kadar ar-ge faaliyeti yürütülememekte veya ar-ge faaliyetlerine ayrılan kısıtlı kaynaklar etkin ve verimli kullanılamamakta ya da ar-ge faaliyetlerinin sonuçları uygulamaya geçirilememektedir.

Gelecekte yenilenebilir enerji kaynak kullanımının bir tercihten ziyade zorunluluk olabileceği göz önünde bulundurulduğunda, ülkelerin bir bütün halinde, maddi ve bilimsel imkânları ile etkili, verimli ve hedefe yönelik siyasi programları doğrultusunda ve kendi ölçeklerinde yürütecekleri ar-ge faaliyetleri, yenilenebilir enerji teknolojilerinin geliştirilmesi ve ticarileşmesi sürecinde önemli katkılar sağlayacaktır. Ayrıca, bu süreçte kamu desteğinde veya bağımsız olarak özel sektörün de aktif rol oynaması gerekmektedir. Dolayısıyla, teknoloji gelişimi sürecinde etkin rol oynayan, böylelikle enerji ar-ge faaliyetlerine yönelik riskleri paylaşan ülkeler, enerji güvenliklerine katkının yanı sıra, birçok yönden ekonomik, sosyal vb. diğer alanlarda önemli kazançlar elde edebileceklerdir.

Kar odaklı hareket eden özel sektörün öncelikleri ile kamu yararı gözetmesi gereken hükümetlerin özel sektörden beklentileri farklı olabileceğinden, özellikle orta ve uzun vadeli, yüksek risk taşıyan yenilenebilir enerji ar-ge faaliyetlerinde, kamunun özel sektörü özendirmesi gerekmektedir. Buna karşın, 1980'li yıllardan itibaren egemen olan enerji ar-ge faaliyetlerine yönelik kamu desteğinin kısıtlanması, azaltılması, hatta kaldırılmasına ilişkin siyasal ve ekonomik politikaların güç kazanmasının yanında, küresel, bölgesel ve ulusal enerji piyasalarında giderek şiddetlenen rekabet ortamı, enerji alanındaki orta ve uzun dönemli temel veya uygulamalı ar-ge faaliyetlerinin sayısında ve hacminde çok önemli gerilemelere neden olmuştur.

Coğrafi ve iklimsel çeşitliliğin belirleyici olduğu yenilenebilir enerji potansiyeli ile ülkelerin ekonomik imkânları, bilimsel altyapıları ve siyasi tercihlerine bağlı olarak, hükümetlerin yenilenebilir enerji ar-ge tercihleri farklılıklar göstermektedir. Kısa vadede önemli katkılar sağlayabileceği



düşünülen, yenilenebilir enerji teknolojilerinden biyokütle, güneş pilleri ve rüzgâr enerjisine yönelik ar-ge faaliyetlerine ilgi hızlı ve istikrarlı şekilde artarken, teknolojisi gelişmiş veya başlangıç düzeyinde olan jeotermal, okyanus ve güneş termal elektrik ve ısı uygulamalarının toplam resmi ar-ge bütçelerinden aldıkları paylar daha da azalmaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] International Energy Agency (IEA), “Renewables in global energy supply, fact sheet”, OECD/IEA, Paris, 2007.
- [2] Cansın, Y., “Enerji güvenliğinin değerlendirilmesine yönelik temel göstergelerin küresel eğilimler ile ulusal tehdit algılamaları ekseninde analizi”, İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü, yüksek lisans tezi, İstanbul, 2007.
- [3] International Energy Agency (IEA), “Key world energy statistics 2008”, OECD/IEA, Paris, 2008.
- [4] International Energy Agency, (IEA) “Reviewing R&D policies, guidance for IEA review teams”, OECD/IEA, Paris, 2007.
- [5] International Energy Agency (IEA), “Energy policies of IEA countries:1987-2005 reviews”, OECD/IEA, Paris, 1988-2007.
- [6] Nemet, G.F., Kammen, D.M., “U.S. energy research and development: declining investment, increasing need, and the feasibility of expansion”, Energy Policy 35 (2007) 746–755.
- [7] Sagara A.D., Zwaana B., “Technological innovation in the energy sector: R&D, deployment, and learning-by-doing”, Energy Policy 34 (2006) 2601–2608.
- [8] Sovacool B.K., “Resolving the impasse in American energy policy: The case for a transformational R&D strategy at the U.S. Department of Energy”, Renewable and Sustainable Energy Reviews 13 (2009) 346–361.
- [9] Jamasb T., Nuttall W.J., Pollitt M., “The case for a new energy research, development and promotion policy for The UK”, Energy Policy 36 (2008) 4610–4614.
- [10] Bosetti V., Carraro C., Massetti E., “Optimal energy investment and R&D strategies to stabilize atmospheric greenhouse gas concentrations”, Resource and Energy Economics 31 (2009) 123–137.
- [11] International Energy Agency (IEA), “Renewable energy: RD&D priorities, insights from IEA technology programs”, OECD/IEA, Paris, 2006.