

**İLERİ TEKNOLOJİ PROJELERİ (İTEP)
DESTEK PROGRAMI RAPORU
(19.08.2010)**

Ağustos 2010

İÇİNDEKİLER

Sunuş	7
1. Tarımsal Atıklardan Yüksek Katma Değerli Biyoürün Üretim ve Teknolojileri Çalışma Raporu	13
1.1. Giriş.....	15
1.2. Kavramsal Çerçeve.....	16
1.2.1. Tanımlar ve Çalışmanın Yöntemi.....	16
1.2.2. Biyokütle Değerlendirme ve Dönüşüm Teknolojileri.....	17
1.3. Dünyadaki Genel Durum.....	24
1.3.1. Dünya Biyoürün Pazarı.....	24
1.3.2. Dünyadaki Biyobazlı Ürün Sektörü İş Modelleri.....	26
1.3.3. Ülkelerin Geliştirdiği Politikalar ve Destek Mekanizmaları.....	27
1.4. Türkiye’de Tarımsal Atık Potansiyeli ve Biyobazlı Ürün Üretimi.....	31
1.4.1. Türkiye’de Biyo Bazlı Ürünlerin Kaynağı Olarak Tarımsal Üretim.....	31
1.4.2. Türkiye’de Tarımsal Üretim ve Tarım Politikaları ile ilgili Kurumlar.....	35
1.4.3. Türkiye Tarım Politikasında Teşvikler.....	36
1.4.4. Türkiye’de Tarımsal Atıkların Değerlendirilmesi Alanında Çalışmalar.....	36
1.5. Sonuç ve Öneriler.....	41
2. İleri Malzeme Teknolojileri ve Hassas Üretim Teknolojileri Çalışma Raporu	43
Sunuş.....	45
2.1. İleri Malzeme Teknolojileri.....	47
2.1.1. Kavramsal Yapı ve Kapsama İlişkin Çerçeve.....	47
2.1.1.1. Kavramsal Çerçeve.....	47
2.1.1.2. Kapsam.....	48
2.1.2. İleri Malzemelerle İlgili Dünyada ve Türkiye’de Durum.....	58
2.1.2.1. Dünyada Durum.....	58
2.1.2.2. Türkiye’de Durum.....	59
2.1.3. İleri Malzeme Çalıştayında Öne Çıkan Başlıca Konular.....	62
2.1.4. Sonuç ve Öneriler.....	63
Kaynaklar.....	64
2.2. Hassas Üretim ve Şekillendirme Teknolojileri.....	65
2.2.1. Alışılmış ve Alışılmamış (Ntm) İmalat Yöntemleri.....	65
2.2.2. Alışılmamış İmalat Yöntemlerinin Sınıflandırması.....	67
2.2.3. Alışılmamış İmalat Yöntemleri Kullanım Ölçütleri.....	70
2.2.4. Sonuç ve Türkiye’de Durum.....	70
Kaynaklar.....	71
Ek 1 - Hassas Üretim Yöntemlerine İlişkin Kısaltmalar.....	72

3. Yenilenebilir Enerji Üretim, Depolama ve Dağıtımına Yönelik Teknolojiler

Çalışma Raporu	73
3.1. Giriş.....	75
3.2. Kavramsal Çerçeve.....	76
3.2.1. Hidrolik Enerji.....	76
3.2.2. Rüzgar Enerjisi.....	77
3.2.3. Güneş Enerjisi.....	78
3.2.4. Jeotermal Enerji.....	80
3.2.5. Biyoenerji.....	81
3.2.6. Enerji Depolama.....	84
3.2.7. Akıllı Şebeke (Smart Grid).....	86
3.3. Yenilenebilir Enerji Teknolojilerinde Dünyadaki Eğilimler.....	87
3.3.1. Yenilenebilir Enerji Yatırımları ve Ar-Ge Harcamaları.....	88
3.3.2. Ülkelerin YE Teknolojileri Öncelikleri ve Destek Mekanizmalarına Örnekler.....	97
3.4. Türkiye’de Yenilenebilir Enerji.....	103
3.4.1. Enerji Tüketimi, Üretimi, Kurulu Güç ve Yenilenebilir Enerjinin Payı.....	103
3.4.2. İlgili Kurumlar ve Sorumlulukları.....	105
3.4.3. İlgili Mevzuat, Politika, Strateji ve Planlar, Standartlar.....	107
3.4.4. Teşvik Mekanizmaları.....	110
3.4.5. Yapılan Çalışmalar.....	111
3.4.6. Pazar Durumu ve Büyüme Potansiyeli, Öne Çıkan Teknoloji Alanları.....	112
3.5. Değerlendirme ve Öneriler.....	120
Kaynaklar.....	122

TABLolar LİSTESİ

Tablo 1.1. Biyokütle Kullanımı ile Üretilebilecek Biyoürünler.....	16
Tablo 1.2. Biyobazlı Ürün Pazar Hacmi (ABD Doları).....	28
Tablo 1.3. Ekilen alana göre Bazı Ürünlerin 2006, 2007, 2008 yıllarındaki üretim miktarları.....	32
Tablo 1.4. Bazı Ürünlerde % Yeterlilik Oranı.....	32
Tablo 1.5. Türkiye’de Bazı Tarla ve Bahçe Ürünleri Atık Miktarları.....	35
Tablo 1.6: Biyokütle Değerlendirme ve Dönüşüm Teknolojileri konusunda Türkiye’deki Akademik Çalışmalar.....	37
Tablo 1.7. TTGV Portföyünde Yer Alan Tarımsal Atıkların Değerlendirilmesi ile İlgili Projeler.....	41
Tablo 2.1. Farklı Özellikler İçin İleri Malzeme Sınıflandırmaları.....	48
Tablo 2.2. İleri Metalik Malzemeler.....	50
Tablo 2.3. İleri Seramik Malzemeler.....	51
Tablo 2.4. İleri Polimerik Malzemelerin Sınıflandırılması.....	52
Tablo 2.5. İleri Polimerik Malzemeler.....	52
Tablo 2.6. İleri Kompozit Malzemeler.....	54
Tablo 2.7. Nano Malzemeler ve Uygulama Alanları.....	57
Tablo 2.8. İleri Malzemelere İlişkin Pazar Projeksiyonu.....	58
Tablo 3.1. Fotovoltaik Kuşaklar.....	79
Tablo 3.2. Biyokütleden Elde Edilebilecek Yakıt Türleri.....	82
Tablo 3.3. Depolama Tekniklerinin Değerlendirilmesi.....	86
Tablo 3.4. Seçilmiş Yenilenebilir Enerji Göstergeleri (2006-2008).....	88
Tablo 3.5. Seçilmiş Yenilenebilir Enerji Göstergelerine Göre İlk 5 Ülke.....	89
Tablo 3.6. Türkiye’nin Birincil Enerji Üretimi ve Talebi (MTEP) (2008).....	103
Tablo 3.7. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Üretimindeki Mevcut Kurulu Gücü ve Potansiyele Göre Dağılımı.....	113

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Biyokütle Değerlendirme ve Dönüşüm Sistemleri (Yakıt Dışı)	18
Şekil 1.2. 2003 ve 2007 yılında Gelişmekte Olan Biyoplastik Kapasiteleri	26
Şekil 2.1. Devrimsel Kuvvetler ve Nanoteknoloji	55
Şekil 2.2. Nanoteknoloji Ürünlerine Bazı Örnekler	58
Şekil 3.1 Dünya Toplam YEK Kurulu Güç Kapasitesi (2008 yılı)	88
Şekil 3.2. Türkiye’de Birincil Enerji (MTPE) ve Elektrik Üretimi Öngörüsü (GWh)	105

Sunuş

2010 Yılı Çalışma Planı'nda, Vakfımızın desteklediği projelerin oluşturduğu portföyde ülkemiz için öngördüğü değerle orantısız temsil edildiği değerlendirilen teknoloji alanlarında, böylesi projelerin önünde engel olarak tespit edilen pazar tökezlemelerini bertaraf etmek ve ilgili teknoloji alanında gelişmeyi sağlamak üzere mevcut Teknoloji Geliştirme Projeleri desteğimizden boyut ve kapsam olarak daha esnek yapıda tasarlanacak bir destek mekanizmasının geliştirilmesi öngörülmüştür. Yeni geliştirilecek bu program ile TTGV projeleri fonlayan bir kurum olmanın ötesinde, ilgili alanlardaki fırsatların firmalar tarafından algılanmasına katkı sağlayarak firmaları yönlendirmeyi de hedeflemektedir. Bu kapsamda ;

- Tohumculuk ve ileri tarım teknolojileri,
- Çevre dostu öncelikli ileri malzeme ve yüksek hassasiyette üretim teknolojileri,
- Yenilenebilir enerji üretim, depolama ve dağıtımına yönelik ileri teknolojilere,

dair içerik ve program hedefi olarak yeni projelere örnek oluşturacak geliştirme ve uygulama projelerini teşvik edecek pilot uygulamanın 2010 yılı itibarı ile yürürlüğe konması hedeflenmiştir.

Belirtilen her bir öncelikli alan için TTGV bünyesinden birer çalışma grubu oluşturulmuş ve gruplar sorumlu oldukları konu için kavramsal çerçeve, dünyadaki ve Türkiye'deki durum ile Türkiye'de bu konularda çalışmaları olan ve/veya potansiyel şirket, kurum/kuruluşlarla ilgili bilgileri içeren birer rapor hazırlamışlardır. Raporlara, konunun uzmanlarının katıldığı çalıştaylarda yapılan değerlendirmeler ardından uzmanların katkıları ile son hali verilmiştir.

TTGV Bünyesinde oluşturulan uzman çalışma gruplarının raporları oluşturma aşamasında yapmış oldukları araştırmalar ve konuyla ilgili paydaşlarla yapılan görüşmeler sonrasında, "tohumculuk ve ileri tarım teknolojileri" ile ilgili olarak, başta TAGEM olmak üzere T.C Tarım ve Köyişleri Bakanlığı'na bağlı kuruluşların tohumculuk alanında yürüyen aktif ve kapsamlı programlarının olduğu görülmüştür. Bu nedenle, İTEP programımızın disiplinlerarası ve diğer sektör ve teknolojileri etkileyebilecek karakteri de dikkate alınarak ilgili bölüm kapsamı "Tarımsal atıklardan yüksek katma değerli biyoürün üretim ve teknolojileri" başlığı altında odaklanmıştır.

Tasarlanacak programla desteklemede öncelik verilmesi önerilen teknoloji alanları olarak şunlar belirlenmiştir ;

- **Tarımsal atıklardan yüksek katma değerli biyoürün üretim ve teknolojileri,**
- **İleri malzeme teknolojileri ve hassas üretim teknikleri,**
- **Yenilenebilir enerji üretim, depolama ve dağıtımına yönelik teknolojiler.**

Bu alanların öncelikli olarak seçilmesinde etkili olan başlıca unsurlar şunlardır;

- Yapılan ön araştırmalar sonucunda, seçilen alanların dünyada da öncelikli alanlar olarak algılandığı ve ülkemizde de bu alanlarda önemli bir potansiyelin mevcut olduğu gözlemlenmiştir. Bu alanlarda diğer ülkelerle kıyaslandığında teknoloji geliştirmede eşit fırsatlar mevcut olduğu ve destek programının bu yönde olumlu katkılar sağlayabileceği düşünülmektedir.
- Bu alanlar, öncü ve diğer sektör ya da teknolojileri etkileyen disiplinlerarası özellikleri nedeniyle değişik paydaşlar arasında Ar-Ge ve üretim işbirliği ağyapılarını tetikleyebilecek fırsatlar içermektedir.

Bu raporlarda söz konusu öncelikli alanlarla ilgili kavramsal çerçeve şöyle açıklanmıştır;

1- Tarımsal atıklardan yüksek katma değerli biyoürün üretim ve teknolojileri

Petrol kaynaklarının hızla tükenmekte oluşu ve sentetik ürün eldesine yönelik endüstriyel etkinliklerin yarattığı çevresel sorunların küresel boyutlara ulaşması biyoürün (biyobazlı malzeme/ürün) çalışmalarının önemini arttırmıştır. Bugün bilgi teknolojilerinde, biyokimya ve mühendislik alanlarında gerçekleşen gelişmeler ile tarımsal ve diğer sürdürülebilir kaynaklardan, çevresel değerler ile uyumlu yeni ürünler elde edilebilmektedir.

Bu çalışmada, biyoürünlerin kaynağı olarak, Türkiye’de yetişen ve özellikle ekim alanları geniş olan tarım ürünlerine odaklanılmış; söz konusu bitkilerin “üretilmelerini daha verimli kılmanın” önemli bir yolu olarak “bitkinin bütünsel olarak değerlendirilmesi” başka bir deyişle geleneksel kullanım dışında kalan alanlarda tarımsal atıkların kullanılması ele alınmıştır. Gıda, yem, lif, enerji ve diğer yüksek katma değere sahip ürünler elde edebilmek için bitkinin tamamının (tohum, çekirdek, sap, yaprak, her türlü atık) değerlendirilmesi öngörülmektedir.

Buna göre biyokütle değerlendirme ve dönüşüm teknolojileri; yonga levha ve yapı malzemesi üretimi, kompozit malzeme üretimi, fermantasyon, oksidatif proseslerle organik gübre/kompost üretimi, anaerobik (havasız) bozunma yöntemi ile gübre üretimi, sakkarifikasyon, biyo-film ve biyoplastik üretimi, piroliz, sıvılaştırma, süperkritik akışkan ekstraksiyonu başlıkları altında incelenmiş, sonuç olarak biyorafinasyon kavramı üzerinde durulmuştur. Biyorafineri sistemlerinde biyokütleden olabildiğince fayda sağlayabilmek için ard arda kullanılan dönüşüm teknolojileri vasıtasıyla ara ürünler de kullanılarak katma değeri yüksek ürünler oluşturulmakta çok az miktarda atık kalmaktadır.

Söz konusu teknolojilerin uygulamaları, Dünya’da Türkiye’ye oranla daha erken başlamış olup, ihtiyaçlar doğrultusunda ilk uygulamalar biyoyakıt için etanol üretimi ile öne çıkmıştır. Kyoto protokolünün imzalanması ile petrol bazlı ürünlerin yaygın olarak kullanıldığı sektörlerde, üreticilerin tercihi biyobazlı ürünler yönünde olmuştur.

Özellikle biyoplastikler konusunda, 2003 yılından itibaren dünya liderliğini koruyan A.B.D., Avrupa ve Asya Pasifik ülkelerinin bu konularda yaptığı Ar-Ge yatırımları sonucunda, bu alandaki liderliğini kaybetmiş; söz konusu üç bölgenin pazar payları eşit dağılım göstermiştir. Ayrıca, Avrupa Birliği Parlamentosu Rekabet Konseyi, 2006 yılında, gelişmekte olan biyoürünler sektörünü AB’nin stratejik hedefleri yönünde, önde gelen 6 öncelikli sektörden biri olarak belirlemiş ve sektör standartlarının oluşturulması yönünde çalışmaları başlatmıştır. Dünya’da biyobazlı ürünler konusunda KOBİ’ler büyük şirketlere göre daha çok faaliyet göstermektedir. Ayrıca, büyük firmaların KOBİ’lerle ortak proje geliştirdikleri görülmektedir.

Türkiye’de, biyöürünlere girdi olabilecek tarımsal atık potansiyeli bulunmaktadır. Ancak, atıkların toplanması ve taşınmasında karşılaşılan organizasyonel ve finansal zorluklar, atık değerlendirilmesi konusunda toplum bilincinin zayıf olması, bu konuda belirlenmiş ve uygulanmaya konmuş devlet politikalarının ve düzenlemelerin olmaması nedeniyle, yapılmış olan çok sayıda akademik çalışmaya rağmen, sınırlı sayıda firma tespit edilmiştir.

Oysa, Türkiye’de tarım sektörünün yarattığı istihdam ve ekonomik büyüklük hala ciddi bir öneme sahiptir. Ülkemizde gelenekselleşmiş kabul edilen teknolojilerden ileri teknolojilere kadar olan yelpazede, bu teknolojilerin üretilmeleri hatta uygulanmaları açısından ciddi bir boşluk vardır. Dolayısıyla biyöürünlerin üretilmeleri ile ilgili her teknolojinin geliştirilmesi ve uygulanması desteklenebilir görülmektedir. Öte yandan, ileri biyopolimerik malzemelerin üretilmesi için gereken “teknolojik karmaşıklık düzeyine” sahip biyorafinerilerin üzerinde çalışılması; gelişmiş ülkeler için de bu konular yeni olduğundan, Türkiye’nin önde giden ülkelerle arasındaki boşluğu atlayarak onlara yetişme şansını yakalamasına neden olacağından çok önemlidir.

Konu ile ilgili TTGV çalışma grubunca hazırlanan rapor Bölüm-1’de sunulmaktadır.

2- İleri malzeme teknolojileri ve hassas üretim teknikleri

Malzeme sektörü, ekonomide tüm faaliyetlere girdi sağlayan temel alanlardan biridir.

Bu niteliği açısından mikro-elektronik, biyoteknoloji ve nanoteknoloji ile birlikte sınav üretim karakterini dönüştürecek ana teknolojik alanlardan biri olarak kabul edilmektedir. Malzeme teknolojisindeki gelişmelerle birlikte ortaya çıkan yeni ürün ve yeni pazar oluşumları tüm sektörleri etkilemektedir. Diğer bir deyişle, malzeme teknolojileri enformasyon ve iletişim teknolojileri ile birlikte pek çok alandaki gelişmeye öncülük eden, yol açan ya da olanaklı kılan (enabling technology) bir özellik taşımaktadır. Özellikle son 20 yıldır giderek önem kazanan bir ileri teknoloji alanı olarak “İleri Malzemeler” tüm teknolojik gelişmelerde az ya da çok ama mutlaka ağırlığını ve önemini hissettirmektedir.

Etkinliği ve güvenilirliği geliştirilmiş, fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri daha üstün, daha hafif, daha az yer kaplayan, daha ucuz ve yeni işlevlere daha uygun, üstün performans gösteren, katma değeri yüksek malzeme ihtiyacı sürekli artmaktadır. İleri malzemeleri en geniş anlamda “yüksek saflıkta, yüksek teknolojik performansa ve yüksek bilgi içeriğine sahip ve dünya ekonomisine giderek artan bir ölçekte katkıda bulunan yüksek katma değerli malzemeler” olarak tanımlamak mümkündür. Ayrıca, “20. Yüzyılın ikinci yarısında, dünya ekonomisine önemli ölçekte pazar payıyla giren seramik, polimer, metal ve kompozitler olarak yüksek safiyete, yüksek teknik performansa ve yüksek bilgi içeriğine sahip artan entegre işlev çeşitliliği olan yüksek katma değerli malzeme” şeklinde de tanımlanmaktadır.

Temel olarak uygulama süreçlerine bakıldığında şu üç ana fazda da ileri malzeme teknolojilerinin kritik bir önemde olduğu görülmektedir;

I) Geleneksel malzemelerin (örnek olarak çelik, demir-dışı metaller, beton, plastikler, klasik seramikler) yeni üretim, süreç denetim ve geri kazanım teknolojileriyle, düşük maliyet ve artan işlevlilikle, katma değerlerinin artırılması. Bunun yanı sıra geleneksel malzemelerin ileri teknoloji uygulamalarına entegre edilmeleri, yeni malzeme sistemlerine uyumlu olarak performanslarının artırılması

II) Katma değeri yüksek, yeni ve gelişmiş özelliklere sahip yüksek safiyette, yüksek performanslı ve karmaşık işlevleri yerine getirebilecek “İleri Malzeme” uygulamaları. Buna uygun olarak ileri üretim ve süreç denetim teknolojilerinin uygulanması (örnek olarak “near - net shape” süreçler, kaplama teknikleri, toz metalurjisi, yeni ısıl işlem teknikleri)

III) Henüz sanayi sektörlerinde uygulamaya geçmemiş, ancak bilimsel bulgular itibariyle yüksek potansiyele sahip, geleceğin teknolojilerinde önemli atılımlar yaptırabilecek uzun dönemli çalışmalar. Örnek olarak Karbon-60, düşük basınç, düşük sıcaklık elmas kaplamalar, intermetalikler, karbonitrür (CN) sentezi, süper iletkenler, biyomimik malzemeler, nano-parçacık malzemeler, ultra-saf malzemeler gibi.

Uygulama açısından yukarıda belirtilen ayırımı uygun şekilde, ileri teknolojileriyle, gelişen işlevleri, uygulamaları ve nitelikleriyle ileri malzemeler grubu şu şekilde sınıflandırılmaktadır:

1. İleri metalik malzemeler
2. İleri seramikler
3. Yeni, ileri polimerik malzemeler
4. Kompozit malzemeler

Özel olarak bu malzemelerin üretimlerinde, genelde de üretim süreçlerinde giderek mikro hatta nano boyutlar ve geliştirilmiş yüzey özellikleri öne çıkmakta ve bununla da ilişkili şekilde daha hassas üretim teknikleri geliştirilmektedir. Böylece giderek önemleri artan ileri malzemelerin üretim ve şekillendirme süreçlerinde de 'hassaslık' ya da alışılmış yöntemlerden farklı şekilde 'alışılmamış' yöntem ve tekniklerin ağırlık kazanmaya başladığı görülmektedir. Böylece ürünlere ve daha dar çerçevede malzemelere daha üstün özellikler kazandırmak amacıyla hassas üretim ve şekillendirme teknolojileri yaygınlaşmaktadır.

Belirlenen **"İleri malzeme teknolojileri ve hassas üretim teknikleri" öncelikli alanında;** ileri malzemeler ve hassas üretim ve şekillendirme teknolojileri kapsamında kavramsal bir çerçeve oluşturulmaya çalışılmış, ardından dünyadaki ve ülkemizdeki durumla ilgili analizler yapılmıştır.

Konu ile ilgili TTGV çalışma grubunca hazırlanan rapor Bölüm-2'de sunulmaktadır.

3- Yenilenebilir enerji üretim, depolama ve dağıtımına yönelik teknolojiler

Yenilenebilir enerji sürekli devam eden doğal proseslerdeki var olan enerji akışından elde edilen enerjidir. Yenilenebilir enerji kaynağı ise enerji kaynağından alınan enerjiye eşit oranda veya kaynağın tükenme hızından daha bir çabuk şekilde kendini yenileyebilmesi ile tanımlanır. Güneş, rüzgâr, biyokütle veya biyoenerji, jeotermal ve hidrolik enerji "yenilenebilir enerji" kaynakları olarak isimlendirilmektedir.

Yenilenebilir enerji ile ilgili ilk politikalar 1987 yılında Birleşmiş Milletler Çevre ve Kalkınma Dünya Komisyonu tarafından tanımlanan "sürdürülebilir kalkınma" kavramı ve 1992 yılında imzaya açılan Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi ile gündeme gelmiştir. Bu tarihten itibaren sürdürülebilirliğin sağlanması enerji sektörünün bir önceliği olmuş, yenilenebilir enerji kaynaklarına öncelik verilmiş ve bu sayede yenilenebilir enerji teknolojilerinde önemli gelişmeler sağlanmıştır. Günümüzde dünyanın birçok ülkesinde yenilenebilir enerji; "enerji temin güvenliği", "enerjinin çeşitlendirilmesi", "enerjide ithalat bağımlılığının azaltılması", "iklim değişikliği ile mücadele", "istihdam yaratma" gibi yararları ile gittikçe daha fazla kullanılmaya başlanmıştır.

Yenilenebilir enerji piyasaları 1990'lı yıllardan beri güçlü bir şekilde büyümesini sürdürmektedir. Ülkeler ve kullanılan kaynaklar dağılımında ciddi farklılıklar olmamasına rağmen, küresel enerji talebinin yaklaşık sekizde biri (%18,3) yenilenebilir enerji kaynakları ile karşılanmaktadır. Dünya toplam yenilenebilir enerji kaynaklarının kurulu güç kapasitesi 2008 yılı sonunda aynı yıl bu alana yapılan 120 Milyar ABD doları yatırım ile toplam 1.141,8 GW'a ulaşmış olup, Türkiye'nin bu kurulu kapasiteye katkısı 14,2 GW'tır (%1).

Yenilenebilir enerji alanında 2008 ve 2009 yıllarında küresel anlamda bir çok politika hedefi belirlenmiş, eklenmiş veya değiştirilmiştir. Bugün en az 73 ülkede yenilenebilir enerji politika hedefleri ve bu

hedeflere yönelik araştırma, teknoloji geliştirme, demonstrasyon ve pazarda yayınına yönelik teşvikli/garantili tarife (feed-in tariff), vergisel ve kamu satın alımı gibi çeşitli teşvik sistemleri mevcuttur.

Türkiye’de de yenilenebilir enerji kaynaklarına yapılan yatırımlar 2005 yılından sonra hızla artış göstermekle birlikte, büyük hidroelektrik santralleri hariç toplam kurulu güç içerisinde hala çok düşük (%1,08) seviyelerdedir. Ayrıca toplam kurulu güç içerisinde şebekeye bağlı güneş santralleri yer almamaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları açısından oldukça şanslı olan Türkiye’nin fosil kaynak bağımlılığını azaltması ve temiz enerji tüketmesi için enerji portföyünü yenilenebilir enerjilere doğru kaydırması gerekmektedir. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı’nın 2010-2014 Stratejik Plan’ında yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik enerjisi üretimi içerisindeki payının 2023 yılında en az %30 düzeyinde olması hedeflenmektedir. Ancak bunu yaparken yenilenebilir enerji teknolojilerinin Türkiye’ye istihdam ve katma değer yaratmasına da önem verilmelidir.

Yenilenebilir enerji üretim, depolama ve dağıtımına yönelik teknolojilerin yerli olarak üretilmesini sağlamak üzere bu alanda Türkiye için kritik ve başarı şansı yüksek olabilecek araştırma, geliştirme ve yenileşim önceliklerini belirleme amacıyla yürütülen bu çalışma ile ilgili hazırlanan rapor Bölüm-3’de sunulmaktadır.

TÜRKİYE TEKNOLOJİ GELİŞTİRME VAKFI

İLERİ TEKNOLOJİ PROJELERİ ÇALIŞMASI

BÖLÜM 1: TARIMSAL ATIKLARDAN YÜKSEK KATMA DEĞERLİ BİYOÜRÜN ÜRETİMİ

Hazırlayanlar:

Emrah ALKAYA
Tülay AKARSOY ALTAY
Aylin BAŞAK ATA
Seda ÖLMEZ ÇAKAR
Pelin DURTAŞ

AĞUSTOS-2010

ANKARA

1. TARIMSAL ATIKLARDAN YÜKSEK KATMA DEĞERLİ BİYOÜRÜN ÜRETİMİ

1.1. Giriş

Petrol kaynaklarının hızla tükenmekte oluşu ve sentetik ürün eldesine yönelik endüstriyel etkinliklerin yarattığı çevresel sorunların küresel boyutlara ulaşması biyoürün (biyolojik temelli malzeme/ürün) çalışmalarının önemini artırmıştır. Tarımsal ve diğer sürdürülebilir kaynaklardan üretilebilen ve çevresel değerler ile uyumlu bir dizi yeni ürünün elde edilebilme olanağı ancak bilgi teknolojilerinde, biyokimya ve mühendislik alanlarında son dönemde gerçekleşen gelişmeler ile mümkün hale gelmiştir. Önümüzdeki 20 yıl içinde bu alanda büyük değişiklikler olacağı tahmin edilmektedir. Ancak değişimin yavaş olmasının en büyük sebepleri arasında petrol fiyatlarının hala ucuz olmasının yanısıra biyoürünlerin içerisinde en önemlilerini oluşturan, örneğin biyoplastikler gibi pek çok ürünün yüksek maliyetli üretimleri nedeniyle üretim kapasitelerinin düşük olması gösterilmektedir.

Türkiye’de yeni biyoürünler ve ilgili teknolojiler doğrultusunda bazı akademik çalışmalar gözlenirse de çıktılarının pazarlanabilir ürünler haline dönüştürüldüğü yaygın olarak gözlenmemektedir. Halbuki, bilgi değer zincirinde temel araştırmalardan edinilen bilginin uygulamalı araştırmalara girdi sağlaması, devamında bu bilginin pazarlanabilir ürünlere dönüştürülmesi ve bu dönüşümün geri bildirimlerinin değerlendirilerek Türkiye koşullarına uygun biyoürünlerin ve teknolojilerin saptanması son derece önemlidir.

Bu çalışma Türkiye’de yetişen ve özellikle ekim alanları geniş olan tarım ürünlerini esas almıştır. Söz konusu bitkilerin “üretmelerini daha verimli kılmamanın” önemli bir yolu olarak “bitkinin bütünsel olarak değerlendirilmesi” başka bir deyişle geleneksel kullanım dışında kalan alanlarda tarımsal atıkların kullanılması konu edilmiştir. Aşağıdaki açıklamalardan da izleneceği gibi Türkiye’de üretilen tarım ürünleri içerisinde ülke gereksinimlerinin geleneksel kullanımlarını aşan miktarlara rastlanmamaktadır. Hatta bazı tarım ürünleri ithalat yoluyla desteklenmektedir. Örneğin, Türkiye her yıl yaklaşık 2.5 milyar dolarlık yemeklik yağ ithal etmektedir. Bu nedenle biyolojik temelli malzeme/ürün üretiminin kısıtlı tarım alanlarında yetiştirilen tarım bitkileri ile yapılması veya kısıtlı miktardaki tarım ürünlerinin bu amaçla kullanımı; hem haksız bir sosyal kullanım olması hem de çevreye ve biyo çeşitliliğe yapabileceği muhtemel olumsuz etkiler nedeniyle bu çalışmaya konu edilmemiştir.

İleriki yıllarda, Avrupa Birliği (AB) üyeliğinden ötürü ortaya çıkması muhtemel kotalar nedeniyle tarımsal ürün fazlasının yakıt veya diğer ürünlere dönüşümü gündeme alınabilir. Örneğin, pirinç bitkisinden yüksek verimde biyoetanol üretilebilmektedir. Bu tarımsal ürünün bir kısmı beslenme amaçlı kullanıldıktan sonra sapı/samanı hayvan yemi olarak kullanılıp fazlası ile biyoetanol üretilebilmektedir. Japonya, ABD gibi bazı gelişmiş ülkelerde bu uygulamalara sıkça rastlanmaktadır.

Türkiye’de 50-65 Mton/yıl (milyonton) bitkisel atık ortaya çıkmaktadır¹. Bunların çok büyük bir kısmı değerlendirilemediğinden toplanma ve imha edilme gibi ek maliyetler yaratmakta ve ekonomik bir değere dönüştürülememektedirler. Her ne kadar lignoselülozik² yapılı biyokütleler olan bitkisel atıklar (tarımsal atıklar, orman atıkları, vb.) ile çalışmanın zorlukları bulunsa da, bu kompleks yapıyı oluşturan selüloz ve lignin maddeleri önemli birer polimer kaynağı olmaktadır ve kimyasal yapılarında bulundukları aromatik bileşikler ve birçok fonksiyonel grup sayesinde çeşitli kimyasalların ve ürünlerin üretimine olanak tanımaktadırlar.

¹ Türkiye’de Tarımsal Atıkların Değerlendirilmesi, Life03 TCY/TR/000061 Projesi Eğitim Notları, 2005

² Pek çok bitkinin temel yapıtaşını oluşturan selüloz ve lignin maddelerinin bir arada bulunduğu kompleks yapı.

1.2. Kavramsal Çerçeve

Bu bölümde, ilgili tanımlar verildikten sonra biyokütle dönüşüm teknolojileri de tartışılarak Türkiye için kritik olabilecek yüksek katma değerli ürünlerin bütünsel değerlendirilmesinde odaklanılması gereken konuları ortaya çıkarmaya esas teşkil edecek kavramsal bir çerçeve oluşturulmaya çalışılacaktır.

1.2.1. Tanımlar ve Çalışmanın Yöntemi

Tanımlar

Biyoürün kavramı, büyük ölçüde fosil kökenli maddelerin kullanımının yarattığı çevresel sorunlardan kaynaklanan gereksinimler sonucu gündeme gelmiştir. Biyokütle, canlılar tarafından üretilen ve bileşim olarak organik karbon içeren maddelere verilen genel isimdir. Tarım ve orman ürünleri, evsel organik atıklar, tarımsal/hayvansal atıklar ve organik endüstriyel yan ürünler/atıklar yüksek üretim miktarları nedeniyle gündemde bulunan biyokütle kaynaklarıdır. Bahsi geçen biyokütle kaynakları fosil bazlı kaynaklar yerine kullanılarak biyoenerji, endüstriyel kimyasallar ve çeşitli tüketim maddeleri gibi yüksek katma değerli biyoürünlerin üretiminde kullanılabilir olan maddelerdir. Biyokütleden endüstriyel ürün eldesi oldukça yeni bir kavram olmasına rağmen biyorafinasyon (biorefining) yaklaşımı ile petrol yerine organik atıklar da dahil olmak üzere çeşitli biyokütle kaynakları kullanılarak pek çok kimyasal madde (organik asitler, çözücü maddeler, esterler, monomerler, polimerler gibi), değerli ürünler (gübre, lif, biyoplastikler, vd.) ve yenilenebilir enerji (biyogaz, biyodizel, hidrojen, etanol, vd.) üretilmektedir. Aşağıdaki tablo da (Tablo 1.1) bu konudaki bazı örnekleri göstermek amacıyla verilmiştir.

Tablo 1.1. Biyokütle kullanımı ile üretilebilecek biyoürünler

Biyokütle (girdi)	Biyoürün (çıktı)
Arpa	Etanol, biyodizel, vd.
Kanola	Hidrolik yakıt, biyodizel, lubrikantlar, boya, endüstriyel yağ, vd.
Patates	Yapıştırıcılar, kozmetik madde, kağıt hamuru, biyodizel, polimerler, vd.
Şeker pancarı	Temizleyiciler, etanol, deterjan, librikantlar, biyogaz, vd.
Buğday	Biyodizel, yapı malzemesi, enzimler, etanol, vd.
Evsel ve orman atıkları	Biyoyakıt, biyogaz, gübre, kağıt hamuru, biyoplastik, tekstil hammaddesi, vd.
Algler	Enzimler, biyogaz, kozmetik maddesi, gıda katkı maddesi, vd.
Bakteriler	Endüstriyel temizleyiciler, enzimler, vd.
Deniz bitkileri	Etanol, biyogaz, vd.

Ancak tablodan farklı olarak bu raporda bazı tarımsal atıklar odak noktası olarak belirlenmiş ve bu doğrultuda değerlendirmeler yapılmıştır.

Dünya örneklerine bakıldığında biyokütleden ağırlıklı olarak enerji sorunlarını çözmek üzere yakıt (metan, biyohidrojen, biyoetanol, biyodizel vb.) elde edildiği görülmektedir. Ancak daha çok tarım ürünlerinden (mısır, şeker kamışı vb.) üretilen biyoyakıtları üretmek için harcanan yüksek miktarda enerji biyoyakıtların sağladığı enerjiden toplamda fazla olduğundan biyoyakıt üreticilerinin tutkal gibi yan ürünler elde ederek yakıt üretimini daha verimli kılmaya ihtiyaçları olduğu görülmektedir. Bununla birlikte tarım ürünlerinin biyoyakıtla dönüştürülmesi süreçleri sonucunda yüksek miktarda agro-endüstriyel atık oluşmaktadır. Bu atıkları kullanarak yeni malzemeler üretmek ve biyoyakıt sanayisinin ekonomik bir dengeye getirilmesi de gerekli görülmektedir. Böylece çevreye de en az atık bırakılmış olacaktır. Aşağıdaki bölümlerde tarımsal

atıkları içeren biyokütlenin etanol gibi büyük miktarlarda kullanılan kimyasallara dönüşmesi üzerinde durulacağı gibi, biyoplastikler gibi çok yeni ve elde edilmelerinde teknolojik karmaşıklık düzeyi yüksek ürünler üzerinde de durulacaktır.

Yaklaşım ve Yöntemler

Bu çalışmada özellikle A.B.D ve Kanada’da öne çıkan “bitkinin bütünsel olarak değerlendirilmesi – Whole Crop Utilization” yaklaşımı benimsenmiştir. Bu yaklaşım Türkiye’de henüz sadece akademik çevrelerce kabul görmekte olup gıda, yem, lif, enerji ve diğer yüksek katma değere sahip ürünler elde edebilmek için, bitkinin tamamının (tohum, çekirdek, sap, yaprak, her türlü atık) değerlendirilmesini öngörmektedir. Söz konusu yaklaşım bitkiden hem yem, hem lif, hem enerji, hem de yüksek katma değerli ürünler elde etmek için birden fazla teknoloji üzerinde araştırma yapmayı içermektedir. Yoğun bir emek ve yüksek maliyetler ile yetiştirilen bir bitkinin sadece yenebilir/kullanılabilir kısmının alınıp, bazı durumlarda üçte ikisine varan oranda geri kalanının atılması, aslında, verilen emeğin ve girdilerin de çöpe atılması anlamına gelmektedir. Kavramın özellikle ürünü yetiştiren çiftçi, ya da tarım politikalarını uygulamaya koyan kamu kurumlarınca uygulanır hale getirilmesi oldukça önemlidir.

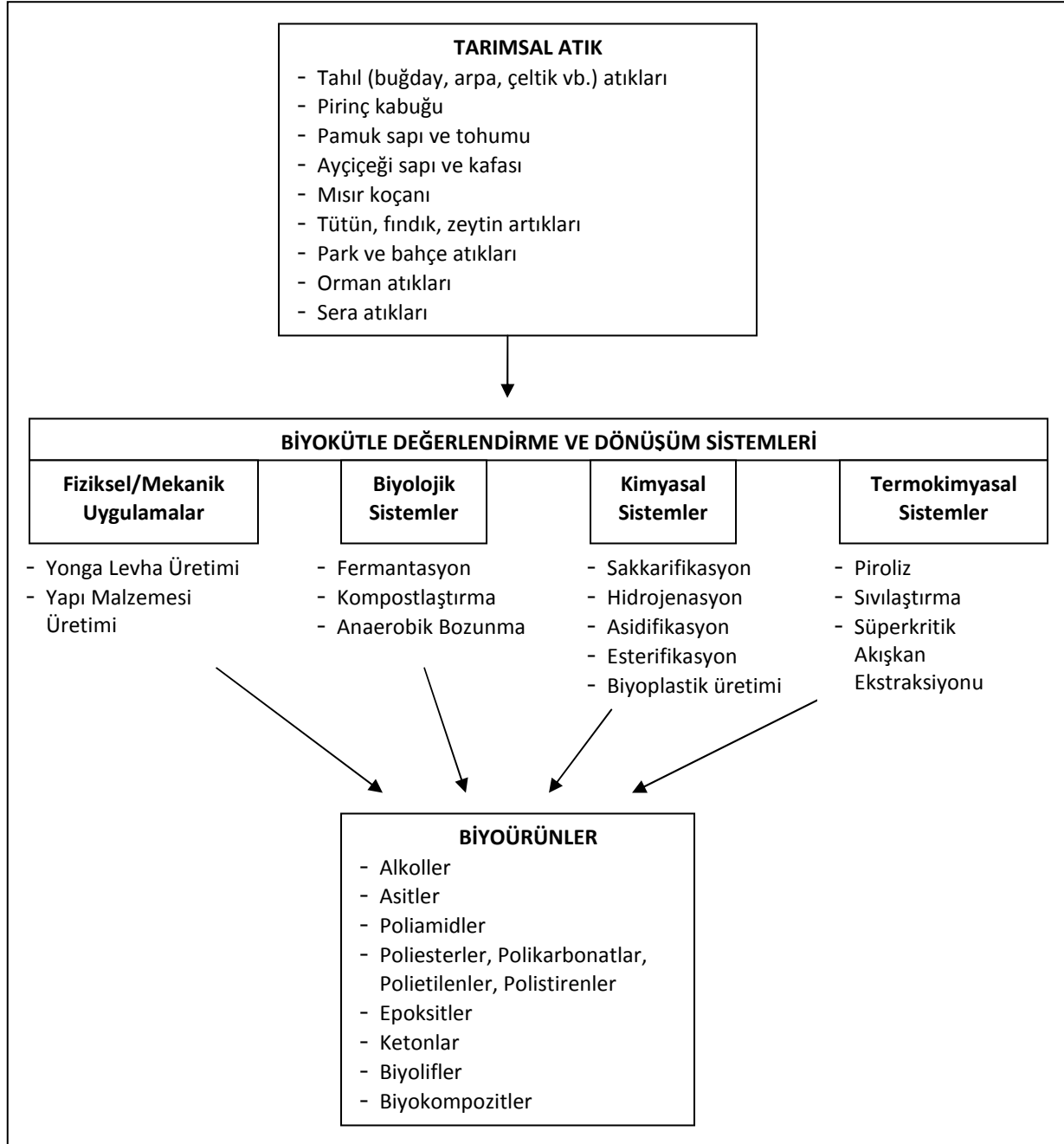
Rapora esas teşkil edecek Türkiye ile ilgili verilere ulaşılmakta zorlanılmıştır. Bu nedenle söz konusu verileri elde edebilmek için:

1. İnternet arama motorlarında ‘tarımsal atıkların değerlendirilmesi’ konusu için farklı anahtar kelimeler ile aramalar yapılmıştır.
2. TTGV portföyünde bulunan projeler gözden geçirilmiş, firmalar ve uzmanlar ile görüşülmüştür.
3. Konunun paydaşı olduğu düşünülen tarımsal araştırma enstitüleri, üniversitelerin ziraat fakülteleri, kimya mühendisliği, çevre mühendisliği ve biyoloji bölümleri, sektör örgütleri vb. ile doğrudan görüşülmüştür.
4. Bu alanda akademik çalışmasına ulaşılan araştırmacılar ile doğrudan görüşülmüştür.

Çalışmada uygun teknolojilerin değerlendirme kriterleri olarak verimliliğin yanısıra bilginin ekonomik faydaya dönüşmesi, sürdürülebilirlik, yenilenebilirlik ve yeniden kullanılabilirlik kavramları birer parametre olarak ele alınmıştır.

1.2.2. Biyokütle Değerlendirme ve Dönüşüm Teknolojileri

Biyokütleden yüksek katma değerli malzeme/ürün elde etmek amacıyla kullanılan pek çok teknoloji bulunmaktadır. Çalışma prensipleri göz önüne alındığında bu teknolojileri fiziksel/mekanik, biyolojik, kimyasal ve termokimyasal olarak dörde ayırmak mümkündür (Şekil 1.1). Bu teknolojiler kullanılarak tarımsal atıkları da içeren farklı biyokütlelerden biyokompozit, alkol, asit ve biyofilm gibi ürünler üretilebilmektedir. Raporun bu bölümünde, dünyada en yaygın kullanımı bulunan ve güncel araştırmalara konu olan biyokütle dönüşüm teknolojileri tartışılmış, ancak yakıt üretim boyutu kapsam dışında bırakılmıştır.



Şekil 1.1. Biyokütle Değerlendirme ve Dönüşüm Sistemleri (Yakıt Dışı)

Fiziksel/Mekanik Sistemler

Mekanik sistemler; üretim, toplama, ön işlem, kurutma, öğütme, tutkallama veya farklı bir kimyasallarla karıştırma ve presleme işlemlerini kapsamaktadır. Bu ve benzeri yöntemlerle tarımsal atıklardan yonga levha, yapı malzemeleri ve biyokompozit üretimi mümkün olmaktadır.

Yonga Levha ve Yapı Malzemesi Üretimi

Türk Standartları'na (TSE) göre yonga levha; odun parçalarından (odun parçaları, yonga, testere talaşı, rende talaşı vb.) veya lignoselülozik malzemelerden (keten, kenevir ipliği, kendir ipliği, suyu çıkarılmış şeker kamışı posası vb. odunlaşmış bitkilerden) elde edilen yongaların tutkalandıktan sonra, sıcak preslenmesiyle elde edilen levhadır³.

Yonga levhaların hazırlanmasında kullanılan hammaddelerin başında odun gelmektedir. Ayrıca yonga levha üretiminde yıllık bitkilerin odunsu kısımları, saman, saz, şeker kamışı, keten sapı, kenevir sapı, ayçiçeği, fındık, yerfıstığı kabukları ile pamuk tohumu kabukları da kullanılabilir⁴. Yonga levha üretimi için en iyi hammadde öncelikli olarak iğne yapraklı ağaçlardır, bunun yanı sıra diğer yapraklı ağaçlar da kullanılabilir.

Artan hammadde fiyatları nedeniyle yıllık bitkilerin, özellikle pamuk sapları, keten, kenevir, şeker kamışı, saman ve kenaf bitkisi^{5,6,7} üzerindeki araştırmalar artmıştır.

Kompozit Malzeme Üretimi

Tarımsal atıklar tuğla, beton ve alçı kompozit katkısı olarak da kullanılabilir. Lignoselülozik içerikli biyokütleler (pamuk, keten, kenevir, kenaf, sisal vb.) gibi tarımsal atıklar biyokompozit malzeme üretiminde de kullanılabilir. Biyokompozit uygulamalarda tarımsal atıklar temel olarak yonga levha üretiminde veya beton agrega olarak kullanımda olduğu gibi malzemenin mukavemetini arttırmaktadırlar. Bu özellikleri ile tarımsal atık katkısı ile oluşturulan biyokompozitler cam yünü veya karbon bazlı diğer kompozitlere alternatif oluşturmaktadırlar.

Biyolojik Sistemler

Fermantasyon

Endüstriyel fermantasyon yöntemi, kontrollü koşullarda yetiştirilen belirli mikroorganizmaların organik maddelerle oksijensiz ortamda beslenerek besinleri parçalamaları ve bu işlem sonucunda etanol, laktik asit vb. farklı ürünlerin üretilmesidir. Bu uygulamada uygun reaktör çeşidi kullanılarak sıcaklık ve pH gibi ortam koşulları optimum değerlerde tutulur. Fermantasyon sistemlerinde üretilmesi planlanan kimyasal maddeye göre yetiştirilen mikroorganizma çeşidi farklılık göstermektedir. Kullanılan mikroorganizma çeşidine bağlı olarak etanol ve metanol gibi alkollerin yanı sıra sitrik asit, asetik asit ve laktik asit gibi oldukça çeşitli kullanım alanı bulunan endüstriyel kimyasallar üretilmektedir.

³ Karakuş, B., 2007, Çeşitli bitkisel sera atıklarının yonga levha üretiminde değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi Orman Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Isparta.

⁴ Güler, C., 2001. Pamuk saplarından yonga levha üretimi olanaklarının araştırılması. Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora tezi, 150s, Bartın.

⁵ Younquist, J.A., English, B.E., Spelter, H., Chow, P., 1993. Agricultural Fibers in Composition Panels, Proceeding of the 27th International particleboard/composite materials symposium, Washington.

⁶ Mobarek, F., Nada, A. M., 1975. Hardboard From Undebarked Cotton Stalks. J. Of Appl. Chem. and Botechnology 25 (9) pp. 659-662.

⁷ Fadl, N.A., Sefain, M.Z., Magdi, Z., Rakka, M., 1978. Hardening of Cotton Stalks Hardboard, Indian Pulp and Paper, 33 (2),pp.3-4.

Örneğin biyoetanol gibi yaygın kullanılan bir madde de tarımsal atıkları da içeren tarımsal biyokütlenin mikroorganizmalar tarafından biyobozunması sonucunda elde edilebilmektedir. Tarımsal biyokütle olarak, bileşiminde şeker ve nişasta bulunan ürünler kullanılmaktadır. Gerekliğinde selülozlu ürünler de bu amaçla kullanılabilir. Selülozlu ürünlerin etanol üretim amacıyla kullanılabilmesi, tarımsal atıkların değerlendirilmesi konusunda önemli bir yol açmıştır. Biyoetanol fermantasyon prosesi temel olarak şu aşamalardan oluşmaktadır: (i) Hammaddenin fermantasyona hazırlanması, (ii) Saf maya katkısıyla fermantasyonun gerçekleştirilmesi, (iii) Damıtma yöntemiyle alkolün ayrılması, (iv) Arda kalan suyun ve bazı yan ürünlerin uzaklaştırılması amacıyla rektifikasyon ve dehidrasyon işlemleri⁸.

Oksidatif Proseslerle Organik Gübre/Kompost Üretimi

Kompost; organik atıkların oksijen varlığında ayrışması sonucu toprak benzeri bir maddeye dönüşmesi olarak tanımlanabilir. Kompostlaştırma ise organik atıkların biyolojik olarak parçalanabilen kısmının geri kazanılması ve yeniden değerlendirilmesidir. Kompostlaştırma ile toprak iyileştirici özelliği ve gübre değeri yüksek olan bir ürün elde edilir. Kompostlaştırma işlemiyle organik materyal içindeki bitkiler tarafından kullanılması zor olan bitki besin elementleri kullanılabilir hale gelir ve kompostlaştırma işlemi sırasında oluşan yüksek sıcaklıkla hastalık yapıcı patojenler ile yabancı ot tohumları yok edilmiş olur.

Organik atıkların kompostlaştırılabilmesi için materyal içerisinde oksijenli bakterilerin gelişip çoğalabileceği şartların oluşturulması gerekir. Kompostlaştırma amacına yönelik farklı sistemler geliştirilmiştir.

Anaerobik (Havasız) Bozunma Yöntemi ile Gübre Üretimi

Anaerobik bozunma sürecinde metan, biyohidrojen, uçucu yağ asitleri, gübre, vd. katma değerli ürünler elde edilebildiğinden, bu yöntem sadece bir arıtma değil, aynı zamanda yenilenebilir enerji ve biyobazlı ürün elde etme yöntemi olarak görülmelidir. Anaerobik bozunmanın bir arıtma yöntemi olarak kullanımının tarihçesi oldukça gerilere gitmekle birlikte, bu yöntem ile katma değerli biyobazlı ürün eldesine yönelik çalışmalar oldukça sınırlı ve yenidir⁹.

Anaerobik biyolojik bozunma: farklı tipteki mikroorganizmaların simbiyotik olarak yer aldığı birbirini izleyen üç aşamada gerçekleşen ardışık biyokimyasal bir işlemdir. Bu aşamalar (1) Hidroliz: kompleks ve çözünür olmayan organik maddelerin çözülmüş organik bileşiklere dönüşümü; (2) Asit Oluşumu (Asidojenesis+Asetojenesis): Asit oluşturucu bakterilerin, çözünür hale dönüşmüş organik maddeleri asetik asit başta olmak üzere uçucu yağ asitler (ağırlıklı olarak asetik, propiyonik ve bütrik asitler), hidrojen (H₂) ve karbondioksit (CO₂) gibi daha küçük yapıları maddelere dönüştürmesi ve (3) Metan oluşumudur (Metanojenesis)¹⁰.

Anerobik bozunma sonucu arda kalan stabilize olmuş organik maddeler azot (N), fosfor (P) gibi toprak için çok değerli besin maddeleri içerir. Bu özelliği ile anaerobik reaktörlerden çıkan biyokütle (arıtma çamuru) susuzlaştırıldıktan sonra organik gübre olarak kullanılabilir.

⁸ Güven, S., Güneşer, O., 2007, Biyoetanol Üretimi ve Önemi, Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi (1) 91-96

⁹ Alkaya E., Erguder T.H. and Demirel G.N. 2009 "Anaerobic semi-continuous co-digestion of dairy cattle manure and agricultural residues: Effect of operational parameters," Internationale Wissenschaftstagung Biogas Science 2009 Band:1 121–136.

¹⁰ Demirel G., 2006. Küçük Ölçekli Tesislerde Organik Atıklardan Biyogaz Eldesi. ODTÜ, Çevre Mühendisliği Bölümü.

Sakkarifikasyon

Biyokütleyi oluşturan polisakkaritlerin (selüloz, polyozlar) şekerlere hidrolizi sakkarifikasyon yöntemlerinin temelini oluşturmaktadır. Sakkarifikasyon işleminin ana ürünü selüloz ve kısmen manndan elde edilen glukozdur¹¹.

Birçok sakkarifikasyon metodunda selülozun hidrolizinden önce kolayca hidrolize olabilen polyozların uzaklaştırılmasını sağlamak amacıyla ön hidroliz işlemi uygulanmaktadır. Bu durum özellikle yüksek ksilan(xylan) içerigine sahip olan yıllık bitkilerin sakkarifikasyon işlemine tabi tutulması sırasında önem arz etmektedir. Bu ön hidroliz işlemleri ile odundan furfural, metanol, aseton, asetik asit, ksilitol ve sorbitol gibi yan ürünlerin elde edilmesi mümkün olmaktadır¹². Sakkarifikasyon yönteminde enzimler vasıtasıyla da hidroliz gerçekleştirilebilmektedir. Enzimatik hidroliz adı verilen bu yöntemde selüloz ve polyozlar enzimler yardımıyla daha basit yapıli şekerlere dönüştürülmektedir.

Kimyasal Sistemler

Biyofilm ve Biyoplastik üretimi

Son dönemde gündeme gelen biyoplastikler yenilenebilen biyokütleden (nişasta, selüloz vb.) yapılan yenilikçi plastiklerdir. Bu malzemeler, birçok uygulamada, daha önce kullanılan fosil plastiklerinin (çoğunlukla petrolden elde edilen) ve diğer plastik malzemelerin yerini alabilmektedirler. Biyoplastik üretimi endüstriyel kullanımda oldukça ileri seviyeye gelmiş olmakla birlikte, yaygın kullanımın sağlanabilmesi için çalışmalar devam etmektedir.

Günümüzde biyoplastik üretiminde en önemli hammadde nişastadır. Nişastayı biyoplastik haline getirmek için bir dizi işlem uygulanmaktadır. Son ürün olan termoplastik nişastada kristal bileşenler bulunmadığı için diğer polimer bileşenleri ile karıştırılmaya son derece uygun durumdadır. Diğer polimer bileşenler genellikle malzemelerin özelliklerini güçlendirmek için katılır, çünkü termoplastik nişasta su çekmeye meyilli olduğundan, yüzeyi yapışkanlaştırır ve fiziksel özellikleri iklim koşullarına göre değiştirir¹³.

Biyoplastik hammaddesi olarak kullanılabilen bir diğer kimyasal ise laktik asittir. Biyokütleden (pancar, mısır, tarımsal atıklar vb.) fermantasyon yolu ile üretilen bu kimyasal biyoplastik uygulamalarında ön plana çıkmaya başlamıştır. Bu uygulamada Laktobasil gibi mikroorganizmalar endüstriyel ölçekte kullanılırlar, glikozla etkileşen bu organizmalar, onu laktik aside dönüştürür. Polimerleşerek polilaktik asit (PLA) haline gelen laktik asit çok yönlülüğü nedeniyle biyoplastik üretiminde, farklı uygulamalara uygunluğu ile örnek bir malzemedir.

Burada bahsedilen ve kimyasal prensiplere dayan sistemler dışında onlarca kimyasal sistem bulunmaktadır. Hidrojenasyon, asidifikasyon ve esterifikasyon gibi farklı sistemlerin ard arda kullanıldığı bazı teknolojiler biyokütle dönüşümünde sıklıkla kullanılmaktadır.

¹¹ Fengel D. and Wegener, G., Wood Chemistry, Ultrastructure, Reactions Volume I., Walter de Gruyter, Berlin-New York, 1984.

¹² Stenzenberger, H.D., 1981. Utilization of lignocellulosic products for the production of chemical base materials. Pt.2 Disengagement of 5- Hydroxymethylfurfurole and 5-Acetoxyethyl furfurole Papier 35, No. 10A, V9-V18.

¹³ Arıkan A., 2009, Biyoplastikler, Ambalaj Bülteni, 26–29.

Termokimyasal Sistemler

Piroliz

Piroliz, organik materyallerin inert (kontrollü oksijen verilen) atmosfer ya da vakum ortamında ısı ile bozulması olayıdır. Isıtma veya kısmi yanma olan piroliz, biyokütleden ikincil yakıtların ve kimyasal ürünlerin üretiminde kullanılır. Pirolizin hammaddesi odun, kömür, biyokütle atıkları ve yerel atıklar, ürünleri ise; gazlar, sıvılar (yoğunlaştırılmış buharlar), tarlar, yağlar, katılar (char) ve küldür.

Elde edilen kimyasal ürünler, diğer prosesler için kimyasal besleme stoğu olarak veya doğrudan kullanım kolaylığı bakımından önemlidir. Randıman olarak, biyokütlenin doğrudan yanmasından elde edilen ısı ile ikincil yakıt ürünlerin yanmasından elde edilen ısı değerlerinin karşılaştırılmasında %80–90'a çıkan bir fark bulunmuştur¹⁴. Biyokütlenin termokimyasal dönüşüm yöntemlerinden en verimli ve en ekonomik olanı pirolizdir ve özellikle sıvı hidrokarbon üretiminde en çok kullanılan bir proses olarak dikkat çekmektedir¹⁵.

Biyokütlenin katalitik pirolizinden elde edilen sıvı ürünlerin miktarı ve dağılımına katalizörün etkisinin araştırıldığı çalışmalarda, katalizörün ürün verimine doğrudan etki ettiği görülmektedir¹⁶. Piroliz işlemlerinde nikel dolomit ve alkali, toprak alkali ve geçiş metali tuzları katalizör olarak kullanılmaktadır. Katalitik piroliz işlemlerinde genel olarak alkali metal karbonatları ve boraks'ta en yaygın kullanılan katalizörlerdendir. Ancak katalizör olarak kullanılan Na, Li ve K karbonatları piroliz dönüşüm oranını arttırırken sıvı üründen çok gaz ürün verimini arttırmaktadır. Sıvı ürün veriminin nispeten arttığı piroliz işlemlerinde ise TiO₂, ZnCl₂, AlCl₃, ZnO ve Fe₂O₃ katalizörleri kullanılmıştır.

Sıvılaştırma

Biyokütlenin sıvılaştırılması işleminde amaç gazlı bileşiklerin yanında yüksek verimlerde hidrokarbon ve fenolik ürünlerin üretimini de sağlamaktır¹⁷. Biyokütlenin sıvılaştırılmasında çözücü olarak su, yağ, aseton veya yüksek basınç ve sıcaklık kademelerinde ise alkol-su karışımları kullanılabilir¹⁸. Odunun sıvılaştırılması işlemi sayesinde polisakkaritler monosakkaritlere ve monosakkaritlerde furfural ve fenolik lignin gibi degradasyon ürünlerine dönüşebilmektedir¹⁹.

Süperkritik Akışkan Ekstraksiyonu

Doğal materyallerin, özellikle ısıya, ışığa ve oksijene hassas olan ve kalıntı istenmeyen gıda bileşenlerinin ayrıştırılması için süperkritik akışkanların kullanılmasının oldukça güvenli olduğu birçok araştırmacı tarafından belirlenmiştir. 1983-2003 yılları arasında, SC-CO₂ ile ekstraksiyon konusunda yapılmış yayınların sayısının ve bu alanda alınan patent miktarının 10 kat artması, endüstrinin de ilgisini

¹⁴ Twidell, J. W., Weir, A. D., Renewable Energy Resources, Firs Published, Cambridge Universty, Great Britain, 1986.

¹⁵ Soltey, E.J., Pyrolysis Oils from Biomass producing Analyzing and Upgrading, 376. American Chemical Society symposium, 1988, Washington D. C., 356–365.

¹⁶ Çağlar, A., 2004, Çay atığının katalitik pirolizi: sıvı ürün verimi üzerine katalizörlerin etkisi, Kastamonu Eğitim Dergisi, 12(2), 385-392.

¹⁷ Tozoglu, A., Sahin H.I., Bekar, I., Tarımsal atık bileşenlerinden kimyasal ve enerji üretiminde faydalanma, 5. Uluslararası İeri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09), 13-15 Mayıs 2009, Karabük, Türkiye

¹⁸ Fengel D. and Wegener, G., 1984., Wood Chemistry, Ultrastructure, Reactions Volume I., Walter de Gruyter, Berlin-New York.

¹⁹ Bobleter, O., Binder, H., 1980., Dynamischer hydrothermalen Abbau von Holz. Holzforschung. 34:48-51.

göstermektedir²⁰. SC akışkanlarla ekstraksiyon işlemi pek çok alanda uygulanabilir olup, alınan patentlerin özellikle gıda, ilaç ve kimyasal endüstri alanında yoğunlaştığı görülmektedir.

Süperkritik akışkanlar ile ticari olarak kahveden kafein uzaklaştırılması²¹, şerbetçiotu ekstraksiyonu²¹, süt yağının kolesterolünün azaltılması²², sığır etinden kolesterol ve yağ uzaklaştırılması²³, yumurta sarısından kolesterolün uzaklaştırılması²⁴, mısır, soya ve pamuk çekirdeğinden yağ eldesi²⁵, balıklardan yağ ekstraksiyonu²⁵, tütün atıklarından nikotin ekstraksiyonu²⁶ gibi birçok konuda çalışmalar yapılmış ve yapılmaktadır.

Teknolojilerinin Karşılaştırılması ve Biyorafinasyon Yaklaşımı

Yukarıda özetlenmeye çalışıldığı gibi, biyokütle dönüşüm sistemi olarak kullanılabilecek pek çok teknoloji vardır. Bu raporda bahsi geçen ve kategorik olarak fiziksel/mekanik, biyolojik, kimyasal ve termokimyasal olarak sınıflandırılan dönüşüm teknolojileri günümüz şartlarında en çok kabul gören teknolojilerdir. Bu teknolojileri belirli kriterler bazında kendi aralarında kıyaslamak mümkün olmakla birlikte, kapsamlı bir değerlendirme yapmak için ciddi kaynaklar (zaman, insan, finansal vd.) ayırmak gerekmektedir. Bir başka deyişle; her bir teknolojinin güçlü ve zayıf yönleri bulunmaktadır ve söz konusu biyokütle en uygun dönüşüm sistemini endüstriyel ölçekte başarıyla uygulayabilmek kapsamlı değerlendirmeler ve fizibilite çalışmalarını zorunlu kılar.

Tarımsal atıkları katma değerli ürünlere dönüştürmeye olanak tanıyan teknolojilerin karşılaştırılmasında zorluk doğuran bir diğer unsur da seçimi etkileyen faktörlerin çokluğudur. Tarımsal atığın kimyasal içeriği, miktarı, atıktan üretilen ürünün çeşidi, ürünün piyasa değeri, teknolojinin karmaşıklık düzeyi vb. kriterler bu teknolojiler arasında seçim yapmayı oldukça zorlaştırmaktadır. Yanısıra kamu politikalarının uygulanmasında biyolojik ve kimyasal teknikler içeren yeni proseslerin mi yoksa geleneksel proseslerin mi öne çıkarılacağı üzerinde karar verilmelidir.

Bununla birlikte, Bölüm 1.2’de aktarılan bu teknolojilerin kullanım yöntemleri ve çalışma prensipleri bazı genel yorumlar yapmaya olanak tanımaktadır:

Bahsi geçen teknolojilerden karmaşıklık düzeyi belki de en düşük olan fiziksel/mekanik sistemlerdir. Tarımsal atıkların lignoselülozik ve lif yapılarından yararlanarak malzemenin mukavemet gücünü artırma prensibine dayanan bu sistemlerle yonga levha ve yapı malzemelerinin yanı sıra bazı kompozit malzemeler üretilmektedir. Daha çok mobilya ve inşaat gibi yaygın sektörlere hitap etmesi sebebiyle bu uygulamalar üretilen atığın yerel olarak kullanımına olanak tanımaktadır.

Öte yandan raporun diğer bölümlerinde de bahsedildiği gibi günümüzde biyokütle dönüşüm teknolojileri daha çok biyoyakıt (biyoetanol, biyodizel, biyogaz, sentez gazı vb.) üretimi amacıyla kullanılmaktadır. Bu nedenle yukarıda bahsedilen teknolojilerden özellikle yakıt üretimi için de kullanılabilen gazlaştırma ve

²⁰ http://papius.ankara.edu.tr/tez/FenBilimleri/Doktora_Tezleri/2004/FD2004_80/Tezi icindekiler.pdf

²¹ http://kutuphane.taek.gov.tr/internet_tarama/dosyalar/cd/4115/pdf/213.pdf

²² <http://etd.lib.metu.edu.tr/upload/12604824/index.pdf>

²³ http://papius.ankara.edu.tr/arastirma/2003/a2003_28/proje.pdf

²⁴ <http://www.centallab.metu.edu.tr/rd/trk/anasayfa/cihazlar/oh/sae.php>

²⁵ Sihvonen M., Jarvenpaa E., Hietaniemi V. and Huopalahti R. 1999. Advanced in supercritical carbondioxide technologies. Trends in Food Science & Technology

²⁶ Laws, D.R.J., Bath, N.A., Ennis, C.S. and Wheldon, A.G. US Pat. No. (1980), pp 10

piroliz sistemleri endüstriyel ölçekte görece yaygın kullanım alanına sahiptir. Enerji üretimi önceliği ile geliştirilmiş bu termokimyasal sistemler işletme koşulları ve biyokütle çeşidinde yapılacak değişiklikler ile hedeflenen yakıt dışı ürünlerin üretimi için kullanılabilir. Bu yönüyle gazlaştırma, piroliz ve sıvılaştırma teknolojileri biyolojik ve kimyasal sistemlere oranla daha az bilinmezlik içermekte olup daha yaygın kullanıma sahiptir.

Bölüm 1.2’de bahsi geçen teknolojilerden biyolojik ve kimyasal sistemlerin karmaşıklık ve belirsizlik düzeyi bu rapora konu edilen diğer teknolojilere oranla daha yüksektir. Özellikle biyolojik sistemler mikro organizmaların kontrollü olarak yetiştirilmesi prensibine dayandığı için önemli oranda biyoteknoloji ve mühendislik bilgisine dayanmaktadır. Kimyasal sistemler ise bir dizi kimyasal reaksiyonun arda arda farklı reaktörlerde gerçekleşmesini gerektirdiği için birden fazla proses bilgisine ihtiyaç duymaktadır. Tüm bu unsurlara tarımsal atıkların lignoselülozik içerikleri nedeniyle karmaşık kimyasal yapılara sahip olmaları da eklendiğinde biyolojik ve kimyasal sistemlerin geliştirilmesi ve endüstriyel ölçekte uygulanması ileri teknoloji içeren çalışmalara konu olmaktadır.

Bu teknolojilerin bir bölümünü bir arada kullanarak aynı biyokütleden farklı ürünler üretmek de mümkün olmaktadır. Prensip olarak ham petrolden benzin, nafta, katran, kimyasal vb. üretimine olanak tanıyan rafinasyon yaklaşımına paralel bir yaklaşım ile biyokütleden farklı ürünler üretmek mümkün olmaktadır. Üretim süreci olarak petrol rafinasyonuna benzemesi nedeniyle biyorafinasyon olarak anılan bu kavram dünyada gün geçtikçe önem arz etmeye başlamıştır. Biyorafineri sistemlerinde biyokütleden olabildiğince fayda sağlayabilmek için ard arda kullanılan dönüşüm teknolojileri vasıtasıyla ara ürünler de kullanılarak katma değeri yüksek ürünler elde edilmesinde çok az miktarda atık oluşmaktadır. Dolayısıyla biyorafinasyon teknolojisi üzerinde ısrarla durulması önem kazanmaktadır.

1.3. Dünyadaki Genel Durum

Dünyada, insan nüfusu arttıkça ve tüketici talepleri değiştikçe, ülkeler sürdürülebilir ekonomik gelişmeyi sağlayabilmek için yeni hammaddeleri üretim süreçlerine eklemek durumunda kalmışlardır. Tüketim ürünlerinde kullanılan pek çok temel malzeme petrol bazlı sanayi ile karşılanmaktadır. 21. yüzyılın sonlarında petrol kaynaklarının tükenebilir kaynaklar olması, petrol bazlı ürünlerin fiyatlarının artması, petrol ürünlerinin kullanımının çevresel etkileri sonucunda ülkeler fosil temelli ürünleri ikame edebilecek yeni biyoürünler için Ar-Ge çalışmaları yapmaya başlamışlardır. Her ülke kendi gereksinimleri doğrultusunda bu alandaki çalışmaları destekleyen mekanizmalar oluşturmuş ve uluslararası ölçekte anlaşmalar yaparak bu alanı düzenlemeye çalışmışlardır. Bu yakıtların temiz enerji kaynağı olmaları nedeniyle organik atıklardan biyoyakıt eldesi ile ilgili Kyoto Anlaşması imzalanmış ve sera gazı emisyonlarını azaltmayı hedefleyen ülkelerde bu durum Ar-Ge etkinlikleri için ayrı bir motivasyon yaratmıştır.

1.3.1. Dünya Biyoürün Pazarı

Kimya sektöründe biyolojik temelli hammaddelerin kullanımı yeni değildir. Nişasta ve selülozun uzun yıllardır yüksek hacimlerde üretildiği ve kullanıldığı bilinmektedir. Örneğin, alkit reçinesi ve bazı polyamitler endüstriyel boyutlarda doğal kaynaklardan elde edilmektedir. Bugün biyoteknolojinin ulaştığı bu aşamada yeni pek çok biyoürünle karşı karşıya bulunduğumuzu söylemek mümkündür. Biyokütleden 1400’ün üzerinde biyoürün ve biyoyakıt üretildiğinden bahsedilmektedir. Raporumuzun kısıtlı hacmi içerisinde tüm bu ürünlerin pazar olanaklarından söz etmek mümkün olmayacağından, bu raporda etanol gibi büyük miktarlarda kullanılan bir kimyasalın ve biyoplastikler gibi çok yeni ve elde edilmelerinde teknolojik karmaşıklık düzeyi yüksek ürünlerin üzerinde durulmuştur.

Etanol Pazarı

2000’li yılların başında küresel etanol pazarı şekil değiştirmeye ve yeni fırsatlar yaratmaya başlamıştır. Ülkelerin etanol ile ilgili hedefleri ve yapılan Ar-Ge çalışmaları etanolün kimyasal girdi olarak kullanılmasından çok biyoyakıt olarak kullanılması yönündedir.

Etanolun araç yakıtı olarak değerlendirilme potansiyeli sebebiyle bu pazar hem büyümekte hem de rekabet artmaktadır. Geniş ölçekli selülozik etanol üretiminin gerçekleşmesi ve etanolun uluslararası dolaşımı ile ilgili hukuksal düzenlemelerin yapılması durumunda 2020 yılında ABD, Çin ve Hindistan’ın toplam yakıt tüketiminin %20’sini etanol ile karşılayacağı öngörülmektedir²⁷.

“Ethanol 2020: Küresel Pazar Anketi, Trend Analizi ve Tahminleri” raporuna göre 3 nesil etanol üretimi tanımlanmıştır: 1.Nesil (1G) geleneksel yerel üretim, ekonomi ve hammaddelerin kullanımı ile elde edilen etanoldür. 2. Nesil (2G) değişen küresel etanol ticaretinin takibi ve gelişmekte olan etanol ve etanol hammaddelerinin trendlerinin takibi ve sadece yerel üretimden değil küresel etanol üretiminden de faydalanılması olarak tanımlanmıştır. 3. Nesil (3G), daha fazla yakıt üretebilecek ve yatırımın geri dönüşümü daha yüksek olabilecek yeni teknolojilere dayanan etanol üretimidir. Aynı raporda yıllık etanol üretim miktarlarına göre sıralama: 1.ABD, 2.Brezilya, 3.Çin, 4.Hindistan, 5.Fransa, 6.Rusya, 7.Almanya, 8.Güney Afrika, 9.İspanya’dır.

Biyoplastik Pazarı

2007 yılında dünyadaki konvansiyonel biyoplastik ürünler toplamı 20,36 milyon tondur. Yapılan çalışmalarda, gelişmekte olan biyobazlı plastiklerin²⁸ konvansiyonel biyobazlı plastiklere oranının²⁹ %2’yi geçmediği ortaya konmuştur³⁰. Bu nedenle, gelişmekte olan biyobazlı ürünler ile ilgili Ar-Ge çalışmaları araştırmacılar için daha cazip olmaktadır. “Türünün tek örneği – One of a Kind” adı verilen bitkiler geliştirilerek bunlardan biyoplastik elde etme kapasitesinin artırılması yönünde çalışmalar yapılmaktadır. Biyobazlı plastiklere olan talebin artmasıyla bu tarz ürünleri elde etmek için kullanılan bitkilerin üretilmesi de ticari olarak daha çekici hale gelecektir.

ABD ve Avrupa’nın 2003 yılındaki biyoplastik ürünlerdeki liderlik pozisyonu 2007 yılında Asya Pasifik ülkeleri tarafından kırılarak dünya çapında dengeli bir dağılım oluşmuştur. Aşağıdaki şekilde görüldüğü üzere, Asya Pasifik Bölgesi biyoplastik ürün pazarında 3. Lider oyuncu olarak yer almaktadır. Asya Pasifik’i Güney Amerika, bu pazara yeni giren bir oyuncu olarak takip etmektedir. Güney Amerika’nın bu konuyla ilgili önemli yatırımları bulunmaktadır.³¹ Kısa sürede görülen bu hızlı değişimin altındaki nedenler ülke örneklerinin incelenme aşamasında tekrar ele alınmıştır.

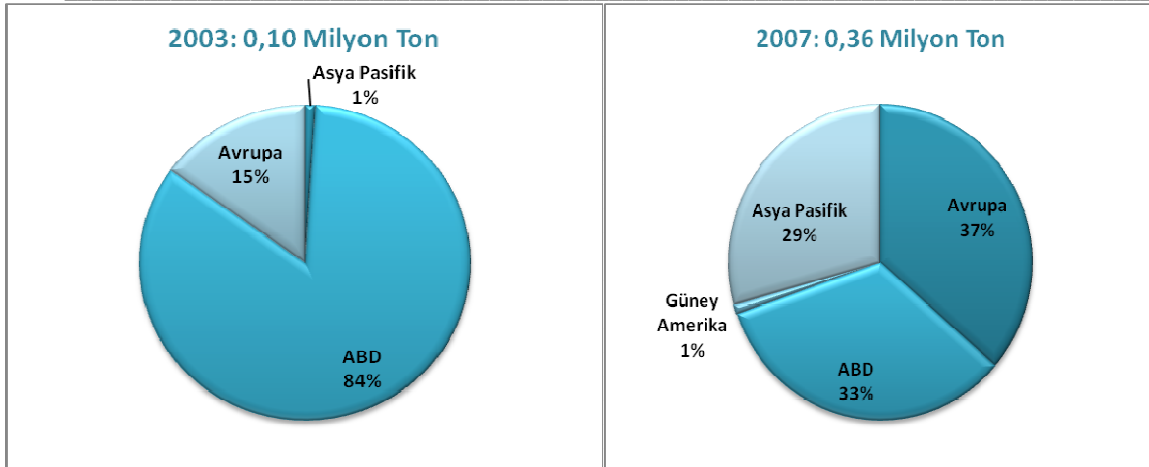
²⁷ Ethanol 2020: Global Market Survey, Next-Generation Trends, and Forecasts. May 2008

²⁸ Gelişmekte Olan(Yeni) Biyo-Ürünler: Biyoyakıtları, nişasta tabanlı etanol, tutkal, biyokimyasallar, biyobozunabilir plastikler.

²⁹ Konvansiyonel Biyo-Ürünler: Yapı malzemeleri, tesisat malzemeleri, kağıt ve kereste. Yıllardır tohum atıklarından geliştirilen biyo-ürünler.

³⁰ [Product Overview and Market Projection of Emerging Bio-Based Plastics](#), Group Science, Technology and Society (STS) Copernicus Institute for Sustainable Development and Innovation, Utricht University, November 2009

³¹ [Product Overview and Market Projection of Emerging Bio-Based Plastics](#), Group Science, Technology and Society (STS) Copernicus Institute for Sustainable Development and Innovation, Utricht University, November 2009



Şekil 1.2. 2003 ve 2007 yılında gelişmekte olan biyoplastik kapasiteleri

Dünya'daki toplam biyobazlı polimer pazarını özetlersek:

- 0.36 Mton gelişmekte olan biyoplastik
- 4 Mton selüloz
- Yaklaşık 15 Mton (gıda, yakıt ve plastik dışında kullanılan nişasta ürünleri)
- Yaklaşık 1 Mton alkit reçinesi

Dünyada yıllık toplam plastik üretiminin 300 Mton civarında olduğu düşünüldüğünde yıllık 20,36 Mtonluk üretim ile biyoplastikler toplam üretimin yaklaşık % 6.8'sine karşılık gelmektedir. 2007 yılında Dünya'daki toplam yeni biyobazlı plastik üretim kapasitesi 0,36 Mton'dur. 2013 yılında yeni biyobazlı plastiklerin kapasitesinin 2,3 Mton'a yükseleceği ve 2020 yılında 3,5 Mtona yükseleceği tahmin edilmektedir. Bu sektörde faaliyet gösteren firmaların yaptığı açıklamalar, 2020 yılında yeni biyobazlı plastiklerin büyük payı 1,3 Mton ile nişasta temelli plastiklerin alacağı yönündedir.

1980'li ve 1990'lı yıllarda biyobazlı ürünlere olan ilgi sınırlı atık yönetim kapasiteleri nedeniyle tetiklenmiştir. Biyobozunabilirlik özelliği ile de biyobazlı plastiklerin önemi artmıştır. Ayrıca, biyoplastiklerin dayanıklılıkları üzerinde son bir kaç yıldır çalışmalar yapılmaktadır. Farklı biyoplastiklerin yakın gelecekte ticarileştirilmesi beklenmektedir. Büyük kimya firmaları mevcut yapılarıyla kolayca entegre olabilen monomer ve polimerlere yönelmeye başlamıştır. Geniş kapsamda, bunlar petrokimyasal endüstrisindeki propilen ve etilenin yerini alacak bileşenler olacaktır.

Geçen 10 yıl içerisinde biyobazlı plastiklerdeki gelişmeler çok hızlı gerçekleşmiştir. Günümüzde, birçok firma bu alanda faaliyet göstermektedir. Bu firmalar geniş bir ürün yelpazesi üretmektedir. Araştırma ve geliştirme konusunda büyük çalışmalar devam ederek kimya bilimi ve teknolojisine olan ilgiyi güncel tutmaktadır. Bu sayede, bu konularda uzman yeni nesil bilim adamları ve mühendisler yetişmektedir. Tüm bu gelişmeler sadece niş bir pazara yönelik olan ve az sayıda uzmanın bildiği biyoplastiklerin daha geniş kitlelere yayılmasına neden olmuştur.

1.3.2. Dünyadaki Biyobazlı Ürün Sektörü İş Modelleri³²

Dünyada küçük ve orta ölçekli kuruluşlar (KOBİ'ler) biyobazlı ürünler konusunda büyük şirketlerden daha aktif olarak faaliyet göstermektedirler. Genellikle, KOBİ'ler bu teknolojinin gelişmesinde, üretiminde ve

³² [Product Overview and Market Projection of Emerging Bio-Based Plastics](#), Group Science, Technology and Society (STS) Copernicus Institute for Sustainable Development and Innovation, Utricht University, November 2009

ticarileşmesinde ilk adımı atan öncüler olmaktadır. Geçen 10 yıl içerisinde KOBİ'ler bu sayede pazarda genişleme imkanı bulmuşlardır. Biyoplastikler konusunda yıllarca sektörde faaliyet gösteren ve pazarda yer edinmiş bazı firmalar arasında Novamont, Biotec ve Rodenburg Biopolymers yer almaktadır. Son yıllarda pazarda kendine yer edinen firmalar olarak Cereplast, Tianan, PHB Industrial ve PaperFoam örnek olarak verilmektedir. Bu sektördeki bir başka görülen iş modeli ise, büyük bir kimya şirketinin büyük bir biyo sanayi şirketiyle ortaklaşa projeler geliştirmesi yönünde olmuştur. Buna örnek olarak DSM ve Roquette'in biyotabanlı süksinik asit üretimiyle ilgili ortak proje geliştirmesi verilebilir. Bir başka durum büyük biyo sanayi şirketinin kendi faaliyetini geliştirmesidir. Örn. Roquette'in PET için isosorbid üretimi gibi. İlave bir örnek KOBİ'lerle beraber ortaklaşa çalışmalar yapan büyük firmalar için verilebilir. Örneğin, ADM'nin Metabolix ile ortak çalışma yürütmesi gibi.

KOBİ'lerin biyobazlı hammadde üretiminde yaptığı çalışmalar sayesinde start-up'lar (başlangıç firmaları) için de bu sektörde fırsatlar oluşmuştur. Büyük petrokimya firmalarının hızlı büyüyen start-up'lardaki know-how'ı kara dönüştürme çabaları da gözlenmektedir.

1.3.3. Ülkelerin Geliştirdiği Politikalar ve Destek Mekanizmaları

Amerika Birleşik Devletleri

Amerika Birleşik Devletleri'nde de, şeker kamışı veya tahıllardan elde edilen etanolün kullanımı, hükümet programlarıyla teşvik edilmektedir. Biyoyakıtlara vergi istisnası getirilmiştir ve bu istisnanın yıllık karşılığının 1,4 milyar ABD doları olduğu tahmin edilmektedir. Ayrıca etanol tesislerinin kurulması için ihtiyaç duyulan kredilere garantör olarak destek olunmaktadır. 1986 yılında hükümet etanol üreticilerine bedava mısır dağıtarak mısırdan etanol üretimine destek olmuştur. 2005 yılında etanol ve biyodizel üretiminin, gelecek on yıl içerisinde 15 milyon m³'ten 28 milyon m³'e çıkarılmasını öngören kapsamlı bir enerji yönetmeliği imzalanmıştır. Kısa vadede bu artışın neredeyse tamamının mısırdan elde edilen etanol ile karşılanması beklenmektedir. Günümüzde Amerika çapında mısırdan yaklaşık 6,4 milyar m³ etanol üretilmektedir. Biyodizel üretimi 50 215 m³ civarındadır. 1996 ve 2000 yılları arasında etanol endüstrisinin ülke ekonomisine katkısı yaklaşık 51 milyar ABD Doları olmuştur.

Biyokimyasallar ve biyobazlı malzemeler/ürünler konusunda yapılan Ar-Ge çalışmalarının Amerika'nın öncelikli konuları arasında yer alması öngörülmüştür. Birleşik Devletler Tarım Departmanı 2000 yılında sayıları 200 olan biyobazlı ürünlerin araştırma çalışmalarını yapan start-up'ların 2003 yılında 600'ün üzerinde olduğunu belirlemiştir³³. Ulusal Araştırmalar Konseyi Amerika biyobazlı ürünler endüstrisi için 2090 yılına kadar olan hedeflerini belirlemiştir³⁴. Bu hedeflere göre halen %2 seviyelerinde olan biyoyakıt üretimlerinin 2020'de %10 seviyelerine 2090'da %50 seviyelerine çıkarılması öngörülmektedir. Aynı şekilde biyokimyasallar ve biyomalzemelerin üretimlerinde de önemli artışlar hedeflenmiştir. Halen %10 olan biyokimyasal üretim seviyelerinin 2090'da %90 seviyelerine çıkarılacağı tahmin edilmektedir.

Ayrıca ülke çapında çeşitli projeler başlatılarak, biyoteknoloji konularında çeşitli destek mekanizmaları ve projeler geliştirilmiştir. AND Enerji Dairesi, Abengoa Bioenergy, Alico Inc. BlueFire Ethanol, Broin Companies, Iogen ve Range Fuels'den oluşan konsorsiyum 2010 senesine kadar 385 milyon ABD doları

³³ Emerging Importance Of Bio-Based Products and Bio-Energy In The U.S. Economy: Information Dissemination and Training Of Students, Surendra P. Singh, Enefiok Ekanem, Troy Wakefield, Jr. and Sammy Comer, Tennessee State University, Nashville, ABD, 2003

³⁴ Biobased Industrial Products: Research and Commercialization Priorities; National Academies Press, Washington, DC, 2000

tutarında yatırım yaparak 6 eyalette selülozik etanol rafinerisi kurarak pilot ölçekte selülozik etanol çalışmaları gerçekleştirmektedir³⁵.

ABD Enerji Dairesi aynı zamanda Selülozik Biyoetanol Araştırma Merkezleri kurarak 2013 senesine kadar 375 milyon ABD doları bütçe ayırarak, biyoyakıt tüketiminin artırılmasına yönelik araştırmaları fonlamaktadır.

Avrupa Birliği

Avrupa Komisyonu tarafından 2006 senesinde hazırlanan “Putting Knowledge into Practice: A Broad-Based Innovation Strategy For The EU” raporunda biyoürünler pazarı öncelikli pazarlar arasında kabul edilmiştir. Bu rapora göre 2005 yılında, Avrupa Birliği çapında 50.000 ton biyoplastik üretiminin gerçekleştirildiği ve bu rakamın toplam üretimin %0,1’ini oluşturduğu belirlenmiştir. Gelişmekte olan bir fırsat pazarı olarak görülen biyoplastik pazarının 2010 sonunda toplam pazarın %5’ini karşılayacağı öngörülmektedir³⁶. Biyoürünler çalışma grubu tarafından Avrupa Komisyonu’na sunulan “Accelerating the Development of the Market for Bio-based Products in Europe” raporuna göre halen biyosolvent üretiminin toplam solvent üretime oranı %1,5 olan Avrupa’da orta vadede %12 oranının yakalanabileceğine yönelik öngörüler bulunmaktadır. 2007 senesinde otomobil sektöründe kullanılan biyopolimerlerin 50.000 ton, inşaat sektöründe kullanılan biyopolimerlerin 3.500 ton olduğu ancak 2010 sonunda sadece motor endüstrisinde 100.000 ton biyobazlı malzemelerin kullanılmasının öngörüldüğü belirtilmektedir³⁷. Tablo 1.2’de biyobazlı ürün pazarında küresel ve Avrupa çapındaki artış ve gelecek öngörülerini görülmektedir.

Tablo 1.2. Biyobazlı Ürün Pazar Hacmi (ABD Doları)

	2005	2010	2020
Küresel Pazar	77 milyar	125 milyar	250 milyar
Avrupa Pazarı	23 milyar	50 milyar	–

Ekonomik ve toplumsal değeri yüksek yeni gelişmekte olan pazarlarda yenileşim stratejilerini geliştirmek ve yeni politikalar oluşturmak amacıyla Avrupa Parlamentosu Rekabet Konseyi tarafından 2006 senesinde “Öncelikli Pazar Girişimi – Lead Market Initiative” adında bir girişim başlatılmıştır^{38 39}. Bu girişimin çalışma konuları Avrupa’nın yenileşim stratejisinde uygun olarak belirlenen 6 konuda 2011 senesine kadar eylem planları oluşturmaktır. Yukarıda bahsedilen verilerin ışığında biyobazlı ürünler de bu konular arasında belirlenmiştir. 2007 yılında biyolojik hammadde ve biyobazlı ürünlerin Avrupa çapında görüşülebilmesi için “Öncelikli Pazar Girişimi”ne bağlı olarak çalışacak Danışma Kurulu kurulmuştur. Bu danışma kurulu hükümet, sanayi ve akademiden çapraz disiplinlerde uzmanlıklara sahip yetkililerden oluşmaktadır. Bu danışma kurulu mevcut piyasa koşullarını, birlik çapında yasal

³⁵ Toward a biobased economy: examples from UK, Tom JENKINS, University of York, UK, Wiley InterScience, 2008

³⁶ Techno-economic Feasibility of Large-scale Production of Bio-based Polymers in Europe, European Commission Joint Research Centre- European Science and Technology Observatory- Institute for Prospective Technological Studies, 2005

³⁷ Accelerating The Development Of The Market For Bio-Based Products In Europe- Report Of The Taskforce On Bio-Based Products Composed In Preparation Of The Communication “A Lead Market Initiative For Europe”, Brussels, 2007

³⁸ Accelerating The Development Of The Market For Bio-Based Products In Europe- Report Of The Taskforce On Bio-Based Products Composed In Preparation Of The Communication “A Lead Market Initiative For Europe”, Brussels, 2007

³⁹ Putting Knowledge into Practice: A broad-based innovation strategy for the EU, Commission Of The European Communities- Communication From The Commission To The Council, The European Parliament, The European Economic And Social Committee And The Committee Of The Regions, Brussels, 2006

düzenlemeleri ve teknolojilerin durumunu inceleyerek yasal çerçevelerin hazırlanması için öneriler ve eylem planları geliştirecektir.

Avrupa Komisyonu ayrıca biyobazlı ürünler konusunda standartlarda eksiklikler olduğunu ve bu eksikliğin pazarın gelişmesine engel teşkil ettiğini belirlemiştir. Özellikle biyobazlı ürün içeriklerinin standart hale getirilmesi, çevresel etkilerinin değerlendirilmesi amacıyla standartların oluşturulmasına karar verilmiştir. 2008 yılında bu standartların belirlenmesi için 2 yönetmelik yayınlanmıştır⁴⁰.

Bu yönetmelikler;

- Her türlü biyobazlı ürünlerin standartlarının programlanması ile ilgili 52/2008 sayılı yönetmelik,
- Biyoyağlar ve biyopolimerlerin ön standartlarının belirlenmesi ile ilgili 53/2008 sayılı yönetmeliktir.

Her türlü biyobazlı ürünlerin standartlarının programlanması ile ilgili 52/2008 sayılı yönetmelik, Avrupa çapında halihazırda takip edilen her türlü biyobazlı ürünler için standartların gözden geçirilerek ihtiyaç duyulan araştırma alanlarını ve çalışma programlarını 2010 ortasına kadar belirlemek üzere çeşitli direktifleri içerir. Biyoyağlar ve biyopolimerlerin ön standartlarının belirlenmesi ile ilgili 53/2008 sayılı yönetmelikle de biyoyağlar ve biyopolimerler konusundaki standartların belirlenmesi önceliklendirilmiştir. Bu ürünlerin teknik özelliklerinin hazırlanması ve EN standardı haline getirilmesi öngörülmüştür. Bu standartların biyobozunurluk, ürün işlevselliği, sera gazı emisyonları ve hammadde tüketimi, ölçüm teknikleri, ömür zaman analiz ve test tekniklerini kapsayacak şekilde geliştirilmesinin gerekli olduğu belirtilmiştir. Bu yönetmelikleri desteklemek için komisyon tarafından teknik komiteler ve çalışma grupları oluşturulmuştur. Biyoyağlar ve biyopolimerler konusunda 2010 ortalarında ilk standart çalışmalarının yayınlanması öngörülmektedir.

Ayrıca Avrupa çapında ülke bazında çeşitli projeler yürütülmektedir. Almanya'da üniversiteler ve biyoteknoloji sektöründe faaliyet gösteren KOBİ'ler arasında ortak projeler geliştirilebilmesi için aralarında Bayer, Henkel, Incilico Biotechnology, Münster Üniversitesi, Heinrich Heine Üniversitesi gibi çeşitli şirket ve kurumun ortaklaşa yürüttüğü 40 milyon Avro bütçe ile desteklenen araştırmalar yürütülmektedir. Belçika'da AXTOLL, SPE, Alco-Bio-Fuel, BIORO gibi şirketler; Ghent Üniversitesi, Ghent Şehri yönetimi katılımlarıyla biyobazlı ekonominin gelişimine olanak sağlamak için 2006'da başlayan Ghent Biyoenerji Vadisi projesi sürdürülmektedir⁴¹.

Japonya

Yıllardan beri gelen mikro-organizmalar ile fermantasyon yoluyla gıda elde etme geleneğine sahip olan Japonya, endüstriyel biyoteknolojinin ilk uygulayıcıları arasında yer almıştır. Dünya çapında bir fermantasyon endüstrisine sahip olan Japonya, özellikle amino-asit pazarında uzmanlaşmıştır. Ayrıca, Japon şirketler biyokatalizörleri kullanan ilk şirketler arasında yer almıştır⁴². Mitsubishi Rayon akrilamid üretmek için enzim teknolojisini dünya ile ilk kez tanıştıran şirket olmuştur. Kaneka gibi diğer Japon şirketleri ise farmasötik yapı taşları üretiminde öncü olmuştur.

2003 yılında Japon biyoendüstrisinin 15 milyar ABD Doları hacmi olduğu tahmin edilmektedir. Bu hacmin %26'sı kimya sektörüne yönelik biyolojik bazlı ürünlerden oluşmaktadır. Ancak, ülkesindeki tarım alanları kısıtlı olduğundan tarım atıklarından elde edilebilecek ürün kapasitesi düşüktür. Ayrıca tarımsal atıkların taşınmasının maliyetli olması sebebiyle biyorafinerilerin tarım alanlarına yakın yerlerde kurulması konusunda çalışılmaktadır.

⁴⁰ Commission Of The European Communities- Commission Staff Working Document- Lead Market Initiative for Europe Mid-term progress report, Brussels, 2009

⁴¹ <http://www.bio-economy.net/bioeconomy/world/>

⁴² <http://www.bio-economy.net/bioeconomy/world/>

Japonya Hükümeti tarafından kurulan Biyoteknoloji Strateji Konseyi, 2002’de biyoteknoloji stratejileri yönergelerini kapsayan bir eylem planı yayınlamıştır. Bu eylem planında, 2007’den başlayarak, 5 yıl içerisinde Japonya biyoteknoloji araştırma fonlarını 2 katına ve bu konuda çalışan araştırmacı sayısını 3 katına çıkarmayı hedeflenmiştir. Bu artışın büyük kısmının endüstriyel biyoteknolojiye yönelik olması amaçlanmıştır.

Çin

1990-1999 yılları arasında Çin’deki tahıl üretimi hızla artmıştır. Hükümet, üretilen fazla tahılı almak ve depolamak için yüksek miktarda para harcamıştır. Bunun sonucunda, 2000 yılında hükümet etanol yakıt programı başlatmıştır. Çin’deki biyoyakıt pazarı hükümet tarafından düzenlenmektedir. Çin’deki NDRC (Ulusal Gelişim ve Reform Komisyonu) üretim ve tüketimi yönlendirmekten sorumludur. Ulusal Etanol Teşvik Grubu, arabalar için biyoyakıt geliştirilmesini teşvik etmektedir. Çin, 2020 yılı içerisinde biyoyakıtların toplam ulaşım enerji ihtiyaçlarının %15’ini karşılamasını hedeflemektedir.

1 Haziran 2006’da Yenilenebilir Enerji Kanunu yürürlüğe girmiştir. Bu kanun, Çin’deki yenilenebilir enerji kaynaklarının ulusal enerji stratejilerindeki önemini vurgulamak ve Çin’deki biyokütle teknolojilerinin geliştirilmesi için yapılacak yatırımları teşvik etmek amacıyla tasarlanmıştır. Yeni kanun, uzun dönemli, koordine şekilde yürüyen ve bütünlük içeren bir bakış açısıyla enerji politikalarına yeni bir yaklaşım getirmiştir. Ayrıca, biyokütle enerji projelerine finansal kaynak aktarımını da sağlamıştır⁴³.

Bioetanol kaynakları ve dönüştürme teknolojileri ile ilgili araştırmalar Çin Hükümeti’nin Sekizinci 5 Yıllık (1991-1995) Kalkınma Planı’ndan itibaren Kalkınma Planları’nda yer almıştır. Şu anda Hükümet, bioetanol üretim teknolojileriyle ilgili ar-ge programları oluşturmaktadır. Ulusal Geliştirme ve Reform Komisyonu ve Bilim ve Teknoloji Bakanlığı biyoteknoloji konusunda yapılacak ar-ge çalışmalarına hibe destek, vergi indirimleri ve düşük faizli kredilerle destek sağlamaktadır.

Ulusal High-Tech Programı çerçevesinde Çin, merkez ve bölgesel yönetimler, üniversiteler ve araştırma kuruluşlarının katılımıyla bu alanlarda çalışmalar yapılması ve bu sektörlerin inovasyon kapasitelerinin artırılması amacıyla projeler yürütmektedir⁴⁴.

Güney Amerika

Brezilya, 1980’lerden bu yana şeker kamışına dayalı çok yaygın bir etanol yakıtı endüstrisi geliştirmiştir. Yılda yaklaşık 15,1 milyar m³ etanol ile dünyadaki en büyük etanol yakıtı üreticisidir⁴⁵. Etanol sanayisinin gelişmesini desteklemek amacıyla çeşitli hükümet politikaları geliştirilmiştir. Örneğin Brezilya’da tüketilen benzinin en azından %25’i alkol içermek zorundadır. Araçların esnek yakıtlı veya benzin yerine saf etanolü yakabilecek özellikte olması sağlanmıştır. Böylece ülkenin petrole bağımlılığı azaltılmıştır.

Bir diğer Güney Amerika ülkesi olan Kolombiya’da da biyobazlı yakıtlar için bir program geliştirilmiştir. 2002 yılında hükümetin benzindeki oksijen miktarının zenginleştirilmesine dair bir yasayı hayata geçirmesiyle biyokütlelerden elde edilen etanola vergi avantajları getirilmiştir. Etanol programına bütünüyle olarak, bitkisel yağlardan yenilenebilir bir yakıt olarak biyodizel programı da geliştirilmiştir. Şeker üretim sürecinin ucuna etanolü de ekleme ve aynı enerji kaynaklarını kullanma kolaylığı nedeniyle, etanol üretimine ilgi büyük ölçüde mevcut şeker endüstrisinden gelmiştir. Hükümet ülke genelinde %10 etanol ve %90 benzin karışımının yaygınlaştırılmasına dair hedefini kademeli olarak hayata geçirmektedir.

⁴³ <http://www.bio-economy.net/bioeconomy/world/>

⁴⁴ Toward a biobased economy: examples from UK, Tom JENKINS, University of York, UK, Wiley InterScience, 2008

⁴⁵ <http://www.bio-economy.net/bioeconomy/world/>

Etanol tesisleri vergi avantajları ile özendirilmektedir. Kolombiya'daki ilk etanol yakıtı tesisi, 2005 Ekim ayında, Kauka bölgesinde, günde 300.000 litre kapasiteyle üretimine başlamıştır. 2006'nın Mart ayında, hepsi Kauka Vadisi'nde olmak üzere pek çok tesis, birleşik olarak günde toplam 1.050.000 litre ve ya yılda 357 milyon litre kapasite ile faal hale gelmişlerdir. Son eklenen yüksek kapasiteli damıtma tesisleri ile birlikte, toplam yatırımlar 100 milyon ABD Dolarının üzerine çıkmıştır. Kolombiya, %10 etanol karışımı benzin kullanabilme hedefine ulaşabilmek için, günlük 2.500.000 litre kapasiteye ulaşabilmeyi hedeflemektedir.

Güney Afrika Cumhuriyeti

1920'lerden 1960'lara kadar Güney Afrika Cumhuriyeti'nde şeker pancarından elde edilen etanolü yakıt katkısı olarak kullanmıştır. 1960'lı yıllarda düşen ham petrol fiyatlarıyla bu uygulama azalmıştır. Yükselen petrol fiyatları ile yeniden biyoyakıt üretimine ilgi artmaya başlamıştır. Aralık 2005'de Ulusal Biyoyakıt Stratejisi oluşturulmuştur. Bu stratejide enerji tarım ürünleri ve biyoyakıt değer zinciri ile ilgili iş alanları yaratılması hedeflenmiştir. Hükümet'in öngördüğü Biyoyakıt Stratejisi ile biyoyakıtların %4,5 oranında pazara girmesi ile 2013 yılına kadar taşımacılık pazarında tüketilen yakıtın (benzin ve dizelin) yerini alması hedeflenmektedir. Biyoyakıtlar konusunda gündeme getirilen politikalar biyobazlı endüstriyel ürünlerin geliştirilmesi konusunda geliştirilememiştir. Bu konuda çok az çalışma bulunmaktadır.

1.4. Türkiye'de Tarımsal Atık Potansiyeli ve Biyobazlı Ürün Üretimi

Bir önceki bölümde verilen dünya örneklerinden de görülebileceği gibi ülkelerin tarım politikaları ağırlıklı olarak biyokütleden enerji elde etmeye yöneliktir. "Bitkinin bütünsel olarak değerlendirilmesi – Whole Crop Utilization" yaklaşımı henüz yaygınlık kazanmamıştır. Dünya'daki gelişmelere paralel şekilde Türkiye'de de biyoürünler konusunda bir takım çalışmaların gerçekleştirildiği gözlenmektedir. Çoğu akademik düzeyde gerçekleşen bu çalışmalarda, farklı teknolojiler kullanılarak laboratuvar ve pilot ölçekte tarımsal atıklardan yonga levha ve yapı malzemesi üretimi, kompost ve çeşitli kimyasalların üretimi mümkün olmuştur.

Bu bölümde, biyobazlı ürünlerin kaynağı olarak tarım sektörüne daha yakından bakılmış, Türkiye'deki tarımsal atıklar konusu ele alınmış, tarımsal atıkların değerlendirilmesi konusunda yapılmış olan akademik çalışmalar ve bu alandaki gelişmelerin kamu ve özel sektöre yansımaları verilmeye çalışılmıştır.

1.4.1. Türkiye'de Biyobazlı Ürünlerin Kaynağı Olarak Tarımsal Üretim

Türkiye'de tarımsal atıkların değerlendirilmesi konusunu etraflıca değerlendirebilmek için öncelikle ülkemizde tarımsal üretime yakından bakmak anlamlı olacaktır. Bu nedenle aşağıdaki bölümlerde kısaca tarım sektörünün ülkemiz ekonomisindeki yeri, ülkemizde en çok üretilen ve dünyada rekabetçi olduğumuz ürünler ve tarım sektöründeki ana sorunlara değinilmiştir.

Türkiye'deki Tarımsal Üretime Genel Bakış

Ülkemizde tarım sektörü, ülke ekonomisindeki yeri geçmiş yıllara oranla azalmasına rağmen, ülkenin gayri safi milli hasılasına, ihracatına ve istihdamına yapmış olduğu katkıdan dolayı halen büyük önem taşımaktadır. 2007 yılında yayınlanan DPT Bitkisel Üretim Yüksek İhtisas Komisyonu Raporu'na göre, tarımın GSYİH içindeki payı 1980'li yıllardan bugüne %25'den %11 seviyesine düşmüştür. 'Profesyonel' tarımsal istihdam oranı ise, 2006 Hanehalkı İşgücü Araştırmasına göre %17 olarak ifade edilmiştir⁴⁶.

⁴⁶ Zeyneloğlu, S., Türkiye'deki Tarımsal İstihdamın Gerçek Boyutu: Doğru Yorumlar İçin Doğru Veriler

TÜİK 2008 verilerine göre, yaklaşık 24,5 Milyon hektar'lık tarım arazisinin %67,2'sinin tarla ürünleri, %17,2'sinin nadas alanları, %3,4'ünün sebze bahçeleri alanları, %2'sinin bağ alanı, %3,2'sinin ise zeytin alanları kaplamaktadır. Ekilen alan sıralamasına göre ise Türkiye'de en çok tahıllar, yağ bitkileri ve yumrulu bitkilerin yaygın olarak yetiştirildiği görülmektedir. Trakya Bölgesinde ayçiçeği, İç, Doğu ve Güneydoğu bölgelerinde tahıl, Güney Çukurova, Güneydoğu Anadolu Bölgesi ve Ege Bölgesinde yaygın olarak pamuk ve mısır üretimi, Marmara ve İç Anadolu Bölgelerinde ise patates ve şekerpancarı gibi yumrulu bitkilerin üretiminin yapıldığı ifade edilmiştir⁴⁷.

Türkiye'de son yıllardaki ekiliş miktarındaki değişikliğe bakıldığında (Tablo 1.3), arpa buğday, zeytin, pamuk ve şeker pancarında bir miktar düşüş yaşandığı, mısır, fındık ve çeltikte üretimin yaklaşık iki katına çıktığı, ayçiçeğinde çok az miktarda artış olduğu görülmektedir.

Tablo 1.3. Ekilen alana göre Bazı Ürünlerin 2006, 2007, 2008 yıllarındaki üretim miktarları (1.000 ton/yıl)

Yıl	Buğday	Şeker pancarı	Arpa	Mısır	Zeytin	Yaş Çay	Ayçiçeği	Fındık	Çeltik	Pamuk	Tütün
2006	20.010	14.452	9.551	3.811	1.766	1.121	1.118	661	696	977	98
2007	17.234	12.415	7.306	3.535	1.075	1.145	854	530	648	868	75
2008	17.782	15.488	5.923	4.274	1.464	1.100	992	800	753	673	93

Yukarıda sayılan ürünler kategorisinde Türkiye'nin buğday, arpa ve çay üretimde Dünya'da ilk on ülke içinde yer aldığı, pamuk, tütün, şeker pancarı, Antep fıstığı ve zeytin üretiminde ilk beş ülke içinde yer aldığı, fındıkta ise Dünya'da lider konumda olduğu bilinmektedir⁴⁸.

Diğer taraftan ülkemizde üretilen tarım ürünlerinin ithalat ve ihracat rakamlarına bakıldığında Türkiye'nin ağırlıklı olarak fındık, antep fıstığı, tütün, zeytinyağı, pamuk ihracatı yaptığı görülmekte olup, ithalatta ise yağlı tohumlar, pamuk, mısır ve pirincin başı çektiği tespit edilmektedir⁴⁹.

Dikkat çeken bir diğer husus, ihraç edilen ürünlerde ithalatın da gerçekleşmesidir. Bunun ürünlerde görülen kalite sorunu nedeni ile olduğu tahmin edilmektedir. Ayrıca, mısır, pirinç ve yağlı tohumlu bitkilerde talebi karşılayamama nedeni ile ithalat yoluna gidildiği de görülmektedir (Tablo 1.4).

Tablo 1.4. Bazı Ürünlerde % Yeterlilik Oranı⁵⁰

Ürün (ton)	2000/01	2001/02	2002/03	2003/04	2004/05	2005/06	2006/07	2007/08
Fındık	482,1	296,2	420,4	341,0	353,5	4180,4	1632,0	993,2
Antep fıstığı	106,1	191,1	101,5	105,4	106,4	106,2	105,3	105,4
Pamuk	89,8	97,8	109,0	97,7	94,9	85,4	99,7	99,9
Şeker pancarı	99,8	99,8	99,5	99,6	100,0	99,6	99,9	99,9
Çay	96,5	100,4	102,8	101,5	101,1	100,3	99,7	99,5
Arpa	102,3	111,8	102,1	94,8	99,2	108,9	100,7	97,3
Buğday	106,5	94,3	96,4	98,4	106,3	120,6	99,8	96,5
Mısır	73,8	64,9	65,8	66,9	85,8	93,2	86,5	81,4
Pirinç	41,3	40,6	35,7	69,3	49,0	63,8	71,3	60,5
Ayçiçeği	70,1	43,2	84,8	52,9	51,6	40,3	56,9	38,3

http://www.tuik.gov.tr/ias/ias09/bildiriler/I_OTURUM/sinan1.pdf Erişim Tarihi: 19 Mart 2010

⁴⁷ Türkiye'de Tarımsal Atıkların Değerlendirilmesi, Life03 TCY/TR/000061 Projesi Eğitim Notları, 2005

⁴⁸ DPT Bitkisel Üretim Özel İhtisas Komisyonu Raporu, 2007

⁴⁹ DPT Bitkisel Üretim Özel İhtisas Komisyonu Raporu, 2007

⁵⁰ Türkiye İstatistik Kurumu

Tarım Sektörünün Değerlendirilmesi

Türkiye'nin sahip olduğu bitkisel çeşitliliği ve coğrafi konumu nedeni ile pazarlama açısından sahip olduğu potansiyel avantaja rağmen, ülkemizde tarım sektörü istenilen noktaya henüz ulaşamamıştır.

Dokuzuncu Kalkınma Planı Bitkisel Üretim Özel İhtisas Komisyonu Raporu'nda diğer ülkelerin modern teknolojilerden yararlanma oranının yüksek oluşu, yüksek verimlilik, düşük maliyet ve tarımda gıda güvenliğine odaklanmış olmaları nedeniyle sektörde ülkemize göre üstünlükleri olduğu bildirilmiştir.

Sözü edilen rapora göre Türkiye'nin AB'ye katılım sürecinin tarım sektörüne hem olumlu hem de olumsuz etkileri olacaktır. Türkiye'nin özellikle AB'ye göre daha avantajlı olduğu ürünlerde (yaş sebze meyve, organik ürünler) üretimini arttırırken, tahıl, yağlı tohumlu bitkiler gibi daha az avantajlı ürünlerde üretimini azaltabileceği ifade edilmiştir. Kısaca özetlemek gerekirse, Türkiye'nin AB'ye üyeliğinin tütün, zeytincilik, buğday, arpa, mısır ve ayçiçeği üretimini olumsuz yönde etkileyeceği, pamuk üretiminin ise AB ile eşit şartlarda en rekabetçi alanlardan biri olduğu bildirilmiştir⁵¹. Pamuk üretiminde dünya sıralamasında altıncı olan Türkiye'nin bu tarımsal üründen vazgeçmesi doğru görülmemektedir. Öte yandan, ülkemizde pamuk üretiminin her yıl düştüğü ifade edilmiş; Akdeniz bölgesinde üretimin yok denecek kadar azaldığı, Ege Bölgesinde de Söke Ovası hariç belirgin düşüşlerin gözlemlendiği, pamuk ekilen alanların yerini hububat ve meyve bahçelerine bıraktığı ifade edilmiştir. Özellikle dünya piyasalarında pamuğun ucuz olması ve Gümrük Birliğinden dolayı pamukta koruma uygulaması yapılamaması, hükümetlerin uyguladığı düşük faizli krediler ve izlenen destek politikaları ile ithal pamuğun daha cazip hale gelmesi, ülkemizde girdi kalemlerindeki maliyetlerin yüksek oluşu, Tarım Satış Kooperatiflerine verilen desteğin kesilmesi buna neden olan en belirgin sebepler olarak verilmiştir⁵². Bugün ülkemizin net pamuk ithalatçısı konumunda olduğu ifade edilmiştir⁵³. Ancak pamuk bitkisi bütünsel olarak değerlendirilirse o zaman avantajlı bir ürüne dönüşebilecektir.

Tarımsal Atıkların Değerlendirilmesi Konusunda Ülke Politikası

Bitkisel ürünlerin geleneksel kullanım alanlarının dışında kullanılması ile ilgili olarak Dokuzuncu Kalkınma Planı Bitkisel Üretim Özel İhtisas Komisyonu Raporu'nda sadece bitkilerden biyoyakıt eldesi konusuna değinilmiştir. Raporda yağlı tohumlu bitkilerin biyodizel eldesi amacıyla gıda amaçlı ürünlerin yetiştirilemeyeceği 'marjinal' alanlarda ekilmesi gerektiğine değinilmiş, bu ürünlerin üretim artışlarının yavaş seyrettiğini, yeni türlerin üretime dahil edilmesi ile ekilen alanların genişleyeceği ve üretim miktarlarının artacağı görüşü dile getirilmiştir⁵⁴. Özellikle üretimi kolay olan kolza bitkisi başta olmak üzere, soya ve ayçiçeğinin biyodizel üretiminde, şeker pancarı, mısır ve buğdayın ise biyobenzin üretiminde kullanıldığı, bu bitkilerin üretiminde sorun olmadığı, fakat bu bitkilerden biyoyakıt üretilmesi için tesislerin kurulması ve mevzuatların oluşturulması gerektiği savunulmuştur⁵⁵.

Aynı raporun 'Dokuzuncu Kalkınma Planı Açısından Temel Yansımalar' bölümünde orta ve uzun vadeli politikalar kapsamında sanayi hammaddesinin üretiminin karşılanmasının esas alınması gerektiği; pamuk, buğday ve yağlı tohumlu bitkilerin üretimlerinin arttırılmasının önemli olduğu ifade edilmiş, bitkisel ürünlere sanayide katma değer sağlayacak şekilde kullanımının teşvik edilmesi gerektiği bildirilmiştir.

⁵¹ DPT Bitkisel Üretim Özel İhtisas Komisyonu Raporu, 2007

⁵² TZOB Pamuk Raporu, 2004, http://www.tzob.org.tr/tzob_web/rapor.htm, Erişim Tarihi: 19.03.2010

⁵³ DTM Pamuk Araştırma Raporu, 2000

<http://www.dtm.gov.tr/dtmadmin/upload/EAD/DisTicaretDegerlendirmeDb/pamuk.doc> Erişim Tarihi:19.03.2010

⁵⁴ DPT Bitkisel Üretim Özel İhtisas Komisyonu Raporu, 2007

⁵⁵ DPT Bitkisel Üretim Özel İhtisas Komisyonu Raporu, 2007

Ayrıca, tarıma dayalı sanayinin gelişmesi, rapor için yapılan GZFT (SWOT) analizinde bir fırsat olarak değerlendirilmiştir. Ayrıca, tarıma dayalı sanayinin gelişmesi, rapor için yapılan GZFT (SWOT) analizinde bir fırsat olarak değerlendirilmiştir.

Yukarıda değinilen kısa bölümlerin haricinde, Dokuzuncu Kalkınma Planı'nda ya da diğer kamu kurumlarının raporlarında konu ile ilgili politika veya hedeflere rastlanamamıştır. Ancak, DPT'nin Karadeniz Tarımsal Araştırmalar Enstitüsü bünyesinde kurulacak ve 2011 ortalarında faaliyete geçecek olan 'Enerji Bitkileri Araştırma Merkezi'ne 3,5 Trilyon TL'lik fon sağladığı öğrenilmiştir.

Yukarıdaki değerlendirmelerde açıklandığı üzere, AB, ABD, Japonya gibi gelişmiş ülkelerde olduğu gibi, Türkiye'de elimizdeki tarım ürünlerinin geleneksel uygulamalar dışında kullanılması mümkün gözükmemektedir. Ancak tarımsal atıkların değerlendirilmesi açısından büyük boşluklar söz konusudur.

Türkiye'de Biyobazlı ürünlerin kaynağı olarak Tarımsal Atıklar

Ülkemizde orta, doğu ve güneydoğu bölgelerimizde en çok yetiştirilen bitki olan buğday ve arpa üretiminde çok miktarda atık oluşmakta, bunu mısır ve pamuk üretiminden arta kalan atıklar takip etmektedir. Ülkemizdeki tarımsal atıkların yıllık toplam miktarı 50-65 Mton civarındadır⁵⁶. 'Türkiye'de Tarımsal Atıkların Değerlendirilmesi' konulu, AB Life Programı kapsamında desteklenen projede Türkiye'deki tarımsal atık tipleri, miktar ve özellikleri belirlenmiş, tarımsal atıkların değerlendirilmesi, bu alanda yeni teknolojilerinin gelişmesi ve bu alandaki her türlü sınırlamalara karşı çözüm önerisi getirilmesi amacıyla çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Söz konusu proje kapsamında tarımsal atıklar üç başlık altında değerlendirilmiştir: 1. Ürünlerin hasadından sonra tarlada kalan "Yıllık Ürün Atıkları", 2. Budama, kabuklar, çekirdekler vb. kalıntıların oluşturduğu "Çok Yıllık Ürün Atıkları", 3. Pamuk çırçır atığı, zeytinyağı endüstrisi atıkları, şarap ve çekirdek fabrikaları atığı gibi ürünlerin işlenmesi sonrasında ortaya çıkan "Tarıma Dayalı Endüstri Atıkları"^{57,58}.

Ancak, birçok çalışmada 'tarımsal atık' olarak genelde yukarıda sınıflandırmaya göre yıllık ürün atıkları kastedilmektedir. Ülkemizde tahıl ve yağlı tohumlu bitkilerden kaynaklanan tarımsal atıkların toplam miktarı 1999 yılı için 50-65 Mton olarak verilmiş ve bu rakamın %60'ının enerji üretiminde kullanılabileceği bildirilmiştir⁵⁹. Diğer taraftan tarımsal atıklardan enerji üretimi potansiyeli söz konusu olduğunda, Türkiye'nin OECD ülkeleri arasında 9,5 Mton ile 4. sırada olduğu rapor edilmiştir⁶⁰.

Ülkemizde tarımsal atıkların çok büyük bir kısmı, özellikle kırsal kesimde, doğrudan yakıt olarak kullanılmaktadır. Tarımsal atıkların şu an Türkiye'nin toplam yenilenebilir enerji tüketiminin %10'nu karşılmasına rağmen, ilgili teknolojiler kullanıldığında, Türkiye'nin toplam enerji tüketiminin %22-27'sinin karşılanabileceği ifade edilmiştir⁶¹.

Ancak belli bir biyokütleden yakıt elde etmenin yanı sıra asitler, plastikler, kompozitler gibi farklı malzemelerin elde edilmesi minimum atık elde edilmesini sağlayacağı gibi maksimum yararı da gerçekleştirmiş olacaktır. Üstelik önemli olan elimizdeki biyokütlenin hangi çıktı için uygun olduğunu

⁵⁶ Türkiye'de Tarımsal Atıkların Değerlendirilmesi, Life03 TCY/TR/000061 Projesi Eğitim Notları, 2005

⁵⁷ Kar, Y., Tekeli, Y., The Potential of Biomass Residues in Turkey and Their Importance as Energy Resources, Energy Sources, Part A.30, 483-493, 2008

⁵⁸ Türkiye'de Tarımsal Atıkların Değerlendirilmesi, Life03 TCY/TR/000061 Projesi Eğitim Notları, 2005

⁵⁹ Kar, Y., Tekeli, Y., The Potential of Biomass Residues in Turkey and Their Importance as Energy Resources, Energy Sources, Part A.30, 483-493, 2008

⁶⁰ IEA, Energy Policies of IEA Countries: Turkey 2001 Review Head of Publications Service, OECD, 2001

⁶¹ Kar, Y., Tekeli, Y., The Potential of Biomass Residues in Turkey and Their Importance as Energy Resources, Energy Sources, Part A.30, 483-493, 2008

saptamaktır. Bazı durumlarda eldeki biyokütleden yakıt elde etmektense diğer malzemeleri elde etmek daha ekonomik olabilmektedir.

Tablo 1.5’de, 2003 yılına ait atık miktarları verilmiştir. Bu verilere bakıldığında ilk dikkati çeken unsurlardan bir tanesi, ürünlerin üretim miktarlarına oranla oluşan tarım atıklarının ne denli fazla olduğudur. Örneğin, 2003 yılı verilerine göre hasadı yapılan toplam mısır bitkisinden 2.2 Mton mısır üretimi gerçekleştirilmiş buna karşılık 4 Mton kullanılabilir atık oluşmuştur. Benzer durum özellikle pamuk, tütün ve ayçiçeği üretimlerinde gözlenmiş, elde edilen tarım ürünlerine oranla %90–160 oranında atık oluştuğu kaydedilmiştir. Diğer tarımsal ürünlerde bu oran daha az olmakla birlikte tarım ürünlerinin tamamı düşünüldüğünde oldukça önemli oranda biyokütlenin atık olarak kaldığını söylemek mümkündür. Bu durum Bölüm. 1.1.2’de değinilen ve tarımsal atıkların da değerlendirilmesi prensibine dayanan “bitkinin bütünsel olarak değerlendirilmesi” yaklaşımının ülkemiz açısından ne derecede önemli olduğuna işaret etmektedir.

Tablo 1.5. Türkiye’de Bazı Tarla ve Bahçe Ürünleri Atık Miktarları

Ürünler	Ürün Miktarı (1.000 ton/yıl)	Atıklar	Kullanılabilir Atık Miktarı (1.000 ton/yıl)
Buğday	22.439	Saman	3.514
Arpa	8.327	Saman	1.344
Çavdar	253	Saman	54
Yulaf	323	Saman	48
Mısır	2.210	Sap	2.982
		Sömek	1.144
Pirinç	332	Saman	126
		Kabuk	62
Tütün	181	Sap	246
Pamuk	2.293	Sap	1.512
		Çırcır Atığı	586
Ayçiçeği	836	Sap	1.355
Zeytin	1.497	Prina	747
		Budama	221
Fındık	653	Kabuk	453
		Budama	1.742
Antep Fıstığı	43	Kabuk	4
		Budama	168

1.4.2. Türkiye’de Tarımsal Üretim ve Tarım Politikaları ile İlgili Kurumlar

Türkiye’de tarım politikasının oluşturulması ve işletilmesinden sorumlu ana kurum Tarım ve Köyişleri Bakanlığı’dır. Bunun dışında özellikle atıkların değerlendirilmesi konusunda birçok kurumun paydaş niteliğinde olduğu düşünülmektedir.

- Kamu Kurumları (Tarım ve Köyişleri Bakanlığı, Çevre ve Orman Bakanlığı, Devlet Planlama Teşkilatı, Dış Ticaret Müsteşarlığı)
- Araştırma Kurumları (Üniversitelerin Ziraat Fakülteleri, Kimya Mühendisliği Bölümleri, Malzeme Mühendisliği Bölümleri, Çevre Mühendisliği Bölümleri, Araştırma Merkezleri ve Enstitüler)
- Sivil Toplum Kuruluşları (Tarımsal Üretici Birlikleri, Tarım–Kredi Kooperatifleri, Dernekler)
- Üreticiler

- Geliştirilen teknolojiye yatırım yapacak/uygulayacak sanayiciler
- Kamusal Ar-Ge'ye ve özel sektör Ar-Ge'sine teşvik sağlayan kurumlar (TÜBİTAK, TTGV, Sanayi Bakanlığı)

1.4.3. Türkiye Tarım Politikasında Teşvikler

Tarım Politikamızda bir dizi teşvik aracı kullanılmıştır. Bu araçlar destekleme alımları, girdi sübvansiyonları, doğrudan ödemeler, ihracat teşvikleri ve genel hizmetler olarak gruplandırılabilir. Bu gruplar içerisinde yer alan araçlar; taban fiyat desteklemeleri, fark ödemeleri, teşvik primleri, ihracat ve ithalat sınırlamaları ve vergileri, ihracat sübvansiyonları, ihracat ve ithalat tekelleri, erken söküm teşvik primi, üretim teşvik primi, avans ödemeleri, emanet alım sistemi, ekim alanı sınırlamaları, üretim kısıtlaması tazminatları, doğal afet yardımları, ürün değiştirme ödemeleri, şeker pancarı posası iadesi, yatırımlarda hibe yardımlar, kredi sübvansiyonları, gübre sübvansiyonu, tohum destekleme primi, su ve elektrik sübvansiyonları, tarımsal mücadele ilaçları desteği, yem destek primi, hayvan ırkını ıslah primleri, araştırma, eğitim ve yayım hizmetleri, koruma kontrol denetim hizmetleri altyapı ve yapısal hizmetler, pazarlama ve tanıtım hizmetleri, stopaj vergisi, gelir vergisi muafiyeti, tüketici fiyatlarına müdahale ve katma değer vergisidir⁶².

Ancak, tarımsal atıkların değerlendirilmesi ya da enerji tarımı bugüne kadar ulusal tarım politikamızda yer almadığı için, bu alanda verilmiş herhangi bir destek ile karşılaşılmamıştır.

1.4.4. Türkiye'de Tarımsal Atıkların Değerlendirilmesi Alanında Çalışmalar

Akademik Çalışmalar

Ülkemizde tarımsal atıkların değerlendirilmesi ve/veya katma değerli ürünlere dönüştürülmesi konusunda yapılan çalışmaların çoğunlukla akademik çalışmalar olduğu göze çarpmaktadır. Bu akademik çalışmaların büyük bir bölümünde deneysel düzenekler kullanılarak laboratuvar ortamında çeşitli tarımsal atıklardan endüstriyel değeri bulunan biyomalzemeler/kimyasallar üretilmiştir. Çalışmaları gerçekleştiren akademisyenlerin hemen hepsinin birleştiği ortak nokta, ülkemizde var olan önemli derecedeki tarımsal atık potansiyelidir ve bu durum araştırmaların çıkış noktasına işaret etmektedir.

Dünya'nın diğer bölgelerinde ve çoğunlukla gelişmiş ülkelerde yapılmış çalışmalara sıklıkla atıfta bulunan araştırmalar, ülkemizde hayata geçirilecek endüstriyel ölçekte uygulamaların önünü açabilecek potansiyele sahiptir. Diğer taraftan ülkemizde tarımsal atıkların pazar değeri olan ürünlere dönüştürülmesi için gerekli olan insan kaynağının önemli bir bölümüne sahip olması açısından üniversiteler ve araştırma kurumları önemli birer paydaş konumundadır. Bu nedenle raporun bu bölümünde ülkemizde yapılmış bazı araştırma çalışmalarına yer verilmiş, yapılan bu çalışmalar teknolojiler bazında sınıflandırılarak özetlenmiştir.

Bölüm 1.2'de aktarılan "Biyokütle Değerlendirme ve Dönüşüm Teknolojileri" konusunda Türkiye'de yapılmış ve yapılmakta olan akademik çalışmalar aşağıda verilmiştir. (Tablo 1.6)

⁶² DPT Bitkisel Üretim Özel İhtisas Komisyonu Raporu, 2007

Tablo 1.6: Biyokütle Değerlendirme ve Dönüşüm Teknolojileri konusunda Türkiye'deki Akademik Çalışmalar

Çalışma Konusu	Araştırmacılar	Üniversite/Bölüm/Bölge	Çalışma İsmi/Yılı	Girdi Malzeme	Çıktı Ürün
YONGA LEVHA ÜRETİMİ	Çiğdem ÇELİK Erol GÜRDAL	İstanbul Teknik Üniversitesi, Mimarlık Bölümü, İstanbul	Yerfistığı Kabuğunun Agrega Olarak Kullanım Olanakları, 2005	Yerfistığı Kabuğu	Çimento Bağlayıcılı Hafif Malzeme
	Fatih MENGELOĞLU M.Hakkı ALMA	Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi., Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, Kahramanmaraş	Buğday Saplarının Kompozit Levha Üretiminde Kullanılması, 2002	Buğday Sapı	Kompozit Levha
	İbrahim BEKTAŞ* Cengiz GÜLER** Hülya KALAYCIOĞLU***	* Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi. Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, Kahramanmaraş ** Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Orman End. Müh. Bölümü, Düzce *** Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, Trabzon	Ayçiçeği Saplarından Üre-Formaldehit Tutkalı ile Yonga levha Üretimi, 2002	Ayçiçeği Sapı	Yonga Levha
	Cengiz GÜLER* Ramazan ÖZEN** Hülya KALAYCIOĞLU***	* Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, Kahramanmaraş ** Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, Zonguldak *** Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, Trabzon	Pamuk Saplarından Üretilen Yonga levhaların Bazı Teknolojik Özellikleri, 2001	Pamuk Sapı	Yonga Levha
	Ertuğrul ALTUNTAŞ	Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, Kahramanmaraş	Borlu Polimer – Odun Kompozitleri, 2008	Odun ve Yerfistığı Kabuğu	Kompozit Levha
	Yalçın ÇÖPÜR Cengiz GÜLER Cihat TAŞÇIOĞLU Ayhan TOZLUOĞLU	Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, Düzce	Incorporation of Hazelnut Shell and Husk in MDF Production, 2008	Fındık Dış ve İç Kabuğu	MDF Levha

	Yalçın ÇÖPÜR Cengiz GÜLER M. AKGÜL Cihat TAŞÇIOĞLU	Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü,Düzce	Some Chemical Properties of Hazelnut Husk and Its Suitability for Particleboard Production, 2007	Fındık Kabuğu	Kompozit Panel
YAPI MALZEMESİ ÜRETİMİ	Mehmet EMİROĞLU* Servet YILDIZ** M.Halidun KELEŞTEMUR***	*Düzce Üniversitesi,Yapı Eğitimi Bölümü,Düzce ** Fırat Üniversitesi, Yapı Eğitimi Bölümü, Elazığ *** Fırat Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Bölümü, Elazığ	Katı Atıklarla Elde Edilmiş Betonlarda Dayanım Azalma Faktörünün Belirlenmesi, 2009	Kayısı Çekirdeği Kabuğu (Katkı Malzemesi Olarak)	Beton İçinde
	Sedat KARAMAN* Sırrı Şahin** İbrahim ÖRÜNG** Köksal PABUÇCU***	* Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, Tokat ** Atatürk Üniversitesi, Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, Erzurum *** Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Biyoloji Bölümü, Tokat	Ağaç Yaprağı Ve Pomza Katkılı Alçı Kompozitlerin Tarımsal Yapılarda Kullanılabilme Olanaklarının Araştırılması, 2006	Ağaç Yaprağı	Kompozit Malzeme
KOMPOST ÜRETİMİ	Aysun PEŞKEN, Atilla GÜNAY	Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Samsun	Kültür Mantarı (Agaricus bisporus (L.) Sing. Yetiştiriciliğinde Çay Atığı ve Buğday Sapı Karışımından Hazırlanan Kompostların Kullanımı, 2009	Çay Atığı, Buğday Sapı	Kompost Gübre
	Mehmet AKYÜZ, Sevda KIRBAĞ	Fırat Üniversitesi, Biyoloji Bölümü, Elazığ	Bazı Tarımsal ve Endüstriyel Atıkların Pleurotus spp. Üretiminde Kompost Olarak Değerlendirilmesi, 2009	Buğday Sapı, Pamuk Sapı, Mısır Sapı, Pirinç Kepeği, Mercimek Atığı, Fasulye Sapı, Soya Sapı	Kompost Gübre
PİROLİZ	Atıla ÇAĞLAR	Gazi Üniversitesi, Kastamonu Eğitim Fakültesi, Kastamonu	Çay Atığının Katalitik Pirolyzi: Sıvı Ürün Verimi Üzerine Katalizörlerin Etkisi, 2004	Çay Atığı	Pirolyz Kimyasalı
	Atıla ÇAĞLAR	Gazi Üniversitesi, Kastamonu Eğitim Fakültesi, Kastamonu	Biyokütlenin Katalitik Pirolyzi: Biyokütlenin Yapısal Bileşiminin Sıvı Ürün Verimine Etkisi, 2007	Çay Atığı, Pamuk Kozası, Zeytin Çekirdeği	Pirolyz Kimyasalı
SIVILAŞTIRMA	Ayhan DEMİRBAŞ	Şırnak Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Şırnak	Direct and Alkaline Glycerol Liquefaction of Hazelnut Shell, 2010	Fındık Kabuğu	Ham Sıvı Ürün

Çalışma Konusu	Araştırmacılar	Üniversite/Bölüm/Bölge	Çalışma İsmi/Yılı	Girdi Malzeme	Çıktı Ürün
SÜPERKRİTİK AKIŞKAN EKSTRAKSİYONU	Esra YIKAR, Iyana SAHAKYAN, Nalan AKGÜN	Yıldız Teknik Üniversitesi Kimya Mühendisliği Bölümü, İstanbul	Gıda Sektörü Atıklarından Süperkritik Karbondioksit ile Yağ Eldesi, 2006	Turunçgil Kabuğu Zeytinyağı Prinası	Bitkisel Yağ
	Ali SINAĞ, Burçin USKAN, Selen GÜLBAY	Ankara Üniversitesi, Kimya Bölümü, Ankara	Hidrotermal yöntemle biyokütleden değerli kimyasalların eldesi, 2008	Mısır Taneleri	Asitler, Aldehitler, Fenoller
FERMANTASYON	Sayit SARGIN, Yekta GÖKSUNGUR	Ege Üniversitesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, İzmir	Çeşitli Tarımsal Atık ve Yan Ürünlerin Katı Kültür Fermantasyonu ile Laktik Asit Üretiminde Kullanılabilirliklerinin İncelenmesi, 2007	Buğday Kepeği, Fındık Kabuğu, Elma Kabuğu	Laktik Asit
	Ali ŞIK*, Sibel ÜNYAYAR**	* İnönü Üniversitesi, Biyoloji Bölümü, Malatya ** Mersin Üniversitesi, Çevre Mühendisliği, Mersin	Pamuk Sapı ile Phanerochaete chrysosporium ve Funalia trogii'nin Yarı-Katı Fermentasyonu Sonucu Olusan Lakkaz, Peroksidaz, Ligninaz ve Selülaz Aktiviteleri, 1998	Pamuk Sapı	Çeşitli Enzimler
	Bilal BALKAN, Figen ERTAN	Trakya Üniversitesi, Biyoloji Bölümü, Edirne	Production of a-Amylase from P. Chrysogenum, 2007	Buğday Kepeği, Mısır Yaprağı, Buğday Samanı, Çavdar Samanı	α-Amilaz Enzimi
	Emrah ALKAYA*, Serkan KAPTAN*, Leyla ÖZKAN*, Sibel DEMİRER**, Göksel N. DEMİRER*	* Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Ankara ** Villanova Üniversitesi, İnşaat ve Çevre Mühendisliği Bölümü ABD,	Recovery of acids from anaerobic acidification broth by liquid-liquid extraction	Şeker Pancarı Atıkları	Organik Asitler
BİYOPLASTİK	NİHAL EDİZ Yavuz BEYATLI	Gazi Üniversitesi Biyoloji Bölümü, Ankara	Bacillus Cinsi Bakteriler Tarafından Biyoplastik Üretimi, 2005	-	-
	Miraç YILMAZ* Yavuz BEYATLI**	* Gazi Üniversitesi, Biyoloji Eğitimi Bölümü, ** Gazi Üniversitesi, Biyoloji Bölümü, Ankara	Biyoplastik: Poli-Beta-Hidroksibütirat (PHB), 2003	-	-
	Betül KAYSERİOĞLU* Ufuk BAKIR** Levent YILMAZ** Nuri AKKAŞ***	* Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Mühendislik Bilimleri Bölümü, ** Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Kimya Müh. *** Başkent Üniversitesi, Ankara	Use Of Xylan, An Agricultural By-Product, In Wheat Gluten Based Biodegradable Films: Mechanical, Solubility And Water Vapor Transfer Rate Properties, 2003	Ksılan+Buğday gluteni	Kompozit Biyofilm
	Betül KAYSERİOĞLU* Ufuk BAKIR** Levent YILMAZ** Nuri AKKAŞ***	* Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Mühendislik Bilimleri Bölümü, ** Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Kimya Müh. *** Başkent Üniversitesi, Ankara	Drying Temperature and Relative Humidity Effects on Wheat Gluten Film Properties, 2003	Buğday Gluteni+Gliserol	Kompozit Biyofilm
	Emel GÖKSU* Mehlika KARAMANLIOĞLU** Ufuk BAKIR*** Levent YILMAZ*** ÜküYILMAZER***	* Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Mühendislik Bilimleri Bölümü, ** Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Biyoteknoloji Böl., *** Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Kimya Müh.	Production and Characterization of Films from Cotton Stalk Xylan, 2007	Pamuk sapından elde edilen ksılan+ Buğday gluteni	Kompozit Biyofilm

Kamu ve Özel Sektör Çalışmaları

Türkiye’de kamu ve özel sektör kurumlarında bu alanda yapılan çalışmaları ortaya koymak üzere gerçekleştirilen araştırmada bilgi kaynaklarına farklı şekillerde ulaşılmaya çalışılmıştır. Bu çalışmalar sonucu hem kamuda hem de özel sektörde bu alanda çok sayıda faaliyete rastlanmasa da, tarımsal atıkların değerlendirilmesi konusunda bir uyanış ve farkındalık yaratılmaya çalışıldığı gözlenmektedir. Nitekim Tarım Kredi Kooperatifleri Merkez Birliği web sitesinde Sakarya Üniversitesi’nden araştırmacıların hazırladığı ‘Organik Atıkların Değerlendirilmesi; KOMPOST’ isimli bir çalışmaya yer verilmiş; geçmiş yıllarda Antalya’da Tarım İl Müdürlüğü ve Çevre Orman İl Müdürlüğü’nce ortaklaşa “Sera ve Tarla Üretim Atıkları ile Kimyasal atıkların Değerlendirilmesi’ konulu bir toplantı yapılmış ve bu bölgede sera atıklarının değerlendirilmesi gerektiği üzerinde durulmuştur.

Sera meyve ve sebze üretimini yaklaşık üçte birini karşılayan Antalya Bölgesinde yerel yönetimlerin de özellikle sera atıklarının değerlendirilmesi konusunda duyarlılık gösterdikleri tespit edilmiştir.

Bu çalışmada özel sektör çalışmalarının boyutunu belirlemek için izlenen bir diğer yöntem de TTGV firma/proje portföyünün taranmasıdır. TTGV veritabanındaki ‘agro/biyoteknoloji ve kimya’ alanında proje önerisi sunmuş firmalar taranmış, bu firmalardan bazıları ile görüşülmüş, faaliyet alanları ile ilgili bilgi alınmıştır (Tablo 1.7).

Teknoyad A.Ş. ve Tikta A.Ş. nin gerçekleştirdiği iki projede hammadde olarak aslında tarımsal atıklar değil, tarımsal ürünler kullanılmaktadır. Ancak, bu projelerde kullanılan teknolojinin tarımsal atıkların değerlendirilmesi amacıyla da kullanılabilir olması nedeni ile bu iki proje listeye dahil edilmiştir. M.T.D. Ltd. Şti. ve Yapar Yem A.Ş.’ye ait projelerde ise, biyokütleden biyoyakıt üretmek amacıyla yararlanılmıştır. Her ne kadar biyokütleden yakıt üretimi bu rapor dahilinde özellikle ele alınmamış olsa da; firmalar, portföyümüzde bu türde projelerin olduğunu göstermek adına listede yer almışlardır. Ayrıca, M.T.D. Ltd. Şti. ile yapılan görüşmede, firmanın yakında sera atıklarından biyoyakıt üretimi konusunda çalışmaya başlayacağı öğrenilmiştir. Are Dekorasyon Ltd. Şti.’ne ait projede de, asıl olarak mobilya imalatı artıkları değerlendirilmekle birlikte, orman artıklarının da hammadde olarak kullanılması düşünülmektedir.

İnternet yoluyla bilgisine ulaşılan bir firmanın yerfıstığı kabuğu, tütün ve çay atıklarından briket odun ürettiği (Amir Ltd. Şti.-Osmaniye), bir firmanın tarım atıklarından kompozit levha üretimi yaptığı (Yıldırım Kardeşler Ltd. Şti.- Adana), zeytinyağı üreten BOLTAÇ firmasının ise kendi üretim atıklarını (pirina) değerlendirerek yine işletmenin enerji tüketimini karşılamak üzere çalışmalar yaptığı öğrenilmiştir. BOLTAÇ’ın bu projesi, Avrupa Komisyonu tarafından LIFE programı altında fonlanan ‘Türkiye’de Tarımsal Atıkların Değerlendirilmesi’ isimli bir proje kapsamında durum çalışması olarak gerçekleştirilmiştir.

Yapılan görüşmeler ve elde edilen bilgiler ışığında, özellikle Türkiye’de biyokütleden enerji üretilmesi, aynı zamanda tarımsal atıklardan biyofilm ve kompozit levha üretimi gibi konularda ciddi bir akademik birikimin olduğu düşünülmektedir. Ancak, laboratuvar ve pilot ölçekte gerçekleştirilen çalışmaların çok büyük bir kısmının sanayiye yansımadağı görülmektedir.

Tablo 1.7. TTGV Portföyünde Yer Alan Tarımsal Atıkların Değerlendirilmesi ile İlgili Projeler

Firma Adı	Proje No	Proje İsmi	Şehir
TEKNOYAD A.Ş.	552/D45	Süper Kritik Akışkan Teknolojisi İle Doğal Ekstreler Üretimi	İstanbul
TİKTA A.Ş.	618/D47	Tıbbi ve Aromatik Bitkilerden Uçucu ve Kokulu Yağ Üretimi Teknolojilerinin Geliştirilmesi ve Üretim Prosesleri	Ankara
M.T.D. Ltd.Şti.	759/D54	Mikro-Alglerden Yüksek Yağ İçerikli Biyomas ve Endüstriyel Yakıt Üretimi	Ankara
YAPAR A.Ş.	-	Çeşitli Organik Atıkların Çevreye Duyarlı Düşük Maliyetle Katı Yakıt Olarak Geri Dönüşümünün Araştırılması ve Uygulanması	Düzce
ARE Dekorasyon Ltd. Şti.	577/D46	Plazma Yöntemi İle Lignoselulozik-Polimerik Kompozit Malzeme Üretimi	Isparta
CONVEX Ltd. Şti.	860/D57	Tarım Atığı (Pirinç Atığı) ve Çimento Karışımı ile Gürültü Koruma Duvarlarında Kullanılacak Kompozit Panel Üretim Çalışması	İstanbul
İKSA Ltd.Şti.	909/D60	Lignoselülozik Biyokütlenin Yeşil Kimya Uygulamaları ile Ayrıştırılması ve Biyokimyasal/Kimyasal Yöntemler ile Yüksek Katma Değerli Ürünlere Dönüştürülmesi	Ankara

1.5. Sonuç ve Öneriler

Türkiye’de tarım sektörünün yarattığı istihdam ve ekonomik büyüklük hala ciddi bir öneme sahiptir. Buna karşın sektörün varolan gücünü arttırabilmesi, hatta sürdürülebilmesi için sektör faaliyetlerinin her sürecinde günümüzün ileri teknolojilerinin uygulanması, giderek bu teknolojilerin Türkiye’de üretilmesi zorunlu gözükmektedir. Verimliliği arttırmanın diğer bir etmeni de tarımsal ürünlerden olabildiğince fayda sağlayabilmek yönünde çalışma yapmaktır. Tarımsal faaliyet sonucunda nihai ürün olarak değer kazanmayan sap, saman, yaprak vb. tarımsal atıkların da ekonomiye kazandırılması bu yaklaşımın ayrılmaz bir parçasıdır. Üstelik tarımsal atıkların değerlendirilmesi ve teknolojik katma değerli ürünlere dönüştürülmesi çevresel sürdürülebilirlik ve hammadde güvenliği ile de paralellik göstermektedir. Dolayısıyla, teknoloji stratejileri açısından temel araştırmalardan uygulamalı araştırmalar aşamasına ulaşmış bilimsel bilginin pazarda yer almak üzere “biyokütle dönüşüm teknolojilerine” evrilmesinin gerçekleştirilmesi bu konuda gelişmiş ülkelerde olduğu kadar Türkiye’de de önem arz etmelidir.

Tarımsal atıkların değerli ürünlere dönüştürülmesine olanak tanıyan sistemler ve teknolojiler çeşitlilik göstermektedir. Bu teknolojilerin bazıları örneğin kompozit levha üretimi, yapı malzemesi katkısı vb. özellikle AB üye ülkeleri gibi gelişmiş ülkelerde konvansiyonel olarak nitelenebilecek kadar geniş çapta kabul görmüştür. Bunun yanı sıra tarımsal atıktan birden fazla ürün üretimine olanak tanıyan “biyorafineriler” gibi ileri teknoloji barındıran, karmaşıklık düzeyi yüksek sistemleri geliştirmek için üzerlerinde çalışmalar sürdürülmektedir.

Türkiye’de, tarımsal atıkların değerlendirilmesinde kullanılan, gelenekselleşmiş kabul edilen teknolojilerden ileri teknolojilere kadar olan yelpazede, bu teknolojilerin üretilmeleri hatta uygulanmaları açısından ciddi bir boşluk vardır. Dolayısıyla biyoürünlerin üretilmeleri ile ilgili her teknolojinin geliştirilmesi ve uygulanması desteklenebilir görülmektedir. Öte yandan, ileri biyopolimerik malzemelerin üretilmesi için gereken “yüksek teknolojik karmaşıklık düzeyine” sahip biyorafinerilerin üzerinde çalışılması; gelişmiş ülkeler için de bu konular yeni olduğundan, Türkiye’nin önde giden ülkelerle arasındaki boşluğu atlayarak onlara yetişme şansını yakalamasına neden olacağından çok önemlidir. Ancak bu ciddi hamleyi yapabilmenin koşulu; ilgili tüm aktörlerin (sanayicilerin, üniversitelerin ilgili bölümlerinin, kamu kurumlarının) aktif katılımını ve işbirliğini sağlamak, daha da önemlisi uzun erimli ulusal teknoloji

politikalarını üretmektir. Üstelik biyorafinerilerden birden fazla ürün elde edilmesi de rafinerilerin ekonomik değerini arttıran bir etmendir.

Yine tarım politikalarımızın “bitkinin bütünsel olarak değerlendirilmesi – Whole Crop Utilization” yaklaşımı” ile ele alınması bu bakış açısı dünyada da yeni yaygınlaşmaya başladığından Türkiye için bir şans olarak değerlendirilebilir.

Bu rapordan anlaşılmaktadır ki, Türkiye’de tarımsal atıklardan yakıt dışı ürün üretimi konusunda yoğun bir akademik ilgi ve çalışma mevcuttur. Ancak bu akademik çalışmaların nitelik ve nicelik bakımından sahip olduğu değer sanayiye aktarılamamıştır. Bu nedenle tarımsal atıkların değerlendirilmesi ve yüksek katma değerli ürüne dönüştürülmesi yaklaşımı Türkiye için yenileşimci bir alana işaret etmektedir. Ancak bu durum sanayiden gelebilecek proje önerilerinin kısıtlı olduğu anlamına da gelmektedir. Bu nedenle geliştirilecek destek modelinde “güdümlü örnek projeler”e de yer verilmelidir. Böylece konu hem kamu hem de özel sektörde daha büyük yankılar uyandırabilecektir. Yine, TTGV tarafından tarımsal atıkların değerlendirilmesi ile ilgili olarak gerçekleştirilen çalıştay sonuçlarına dayanılarak söylemek gerekirse; demonstrasyon projelerinin destek kapsamına alınması da yararlı olacaktır.

Tarımsal atıkların toplanma, taşınma ve depolanma zorluğu, atıkların çeşitli ve yüksek miktarda oluşu, karmaşık lignoselülozik yapıları itibarıyla biyolojik ve kimyasal dönüşüm reaksiyonlarına karşı dirençli oluşları vb. nedenlerle aşılması çok da kolay olmayan zorluklar bulunmaktadır. Bu zorlukların aşılp tarlalarda düzensiz ve kontrolsüz şekilde bırakılan, zaman zaman yakılarak çevresel sorunlara yol açan tarımsal atıkların yönetimi için atılacak adımlar da yenileşimci adımlar olarak değerlendirilmeli ve desteklenmelidir.

Tarımsal atıkların dönüşümüne olanak tanıyan teknolojilerin finansal açıdan desteklenmesi bu teknolojilerin sanayici/girişimci tarafından hayata geçirilmesi için şüphesiz bir hareketlenme sağlayacaktır. Fakat ulusal çapta sürdürülebilir ve tekrarlanabilir bir yapı oluşturabilmek için, kamunun ve özellikle yerel yönetimlerin de desteğini alarak akademik camiada varolan bilgi birikimin hayata geçirilebilmesi gerekmektedir. Bu nedenle birden fazla aktörün rol aldığı büyük çapta işbirlikleri içeren teknoloji odaklı projelere finansman desteği sunulması ve başarıya ulaşan proje çıktılarının ulusal çapta yaygınlaştırılması gerekmektedir. Politika geliştiricilerin mevzuat ve teşvik boyutunda yapacakları iyileştirmeler ise bu alanda önemli bir sektör yaratabilecek derecede etkili olacaktır.

Dünya’daki iş modellerine bakıldığında, Dow Chemicals gibi büyük firmaların bu tarz işlerle uğraşan küçük firmalarla ortak işler (joint venture) yaptığı görülmektedir. Büyük firmalar pazardaki trendleri daha iyi takip ettiklerinden küçük firmaları daha doğru yönlendirebileceklerdir. Bu nedenle büyük kimya, plastik, vs. firmalarının ufak firmalarla ortak projeler geliştirmesi teşvik edilmelidir.

Biyotabanlı ürünler arasında Türkiye için önemli ve uygun olanların geliştirilmesi, bunların üretimleri ile ilgili süreç ve teknolojilerin geliştirilmesi doğrultusunda öngörü çalışmaları yapılması ve yol haritalarının çıkartılması için çalışmalar yapılarak ilgili kurumlara öneriler götürülmelidir. Kamu alımlarında yenilenebilir ve yeniden kullanılabilir biyoürünlerin tedarikine ayrıcalık tanınmasının önemini belirten çalışmalar gerçekleştirilmelidir.

Öncelikle tarımsal atıkların envanteri yeniden çıkarılmalıdır. Dünya’daki örneklerle bakıldığında, halkın birincil olarak atıkların yeniden kullanımı ile ilgili bilinçlendiği görülmektedir. Halkın bilinçlenmesine katkı veren çalışmalar da desteklenmelidir. Biyotabanlı ürünler konusunda ülkemizde pazar koşullarını oluşturmaya yönelik standartların geliştirilmesi, bu ürünlerin etiketlenmesi gibi çalışmaların yapılması da ilgili kurumlara önerilmelidir. TTGV’de gerçekleştirilen çalışmaların sonuçları TAGEM gibi ilgili kurumlarla paylaşarak bu doğrultuda işbirlikleri geliştirilmelidir.

TÜRKİYE TEKNOLOJİ GELİŞTİRME VAKFI

İLERİ TEKNOLOJİ PROJELERİ ÇALIŞMASI

BÖLÜM 2: İLERİ MALZEMELER VE HASSAS ÜRETİM TEKNOLOJİLERİ

Hazırlayanlar:

**T. Deniz ARPACI
Evren BÜKÜLMEZ
Mahmut KİPER**

AĞUSTOS-2010

ANKARA

2. İleri Malzemeler ve Hassas Üretim Teknolojileri

Sunuş

Malzeme sektörü, ekonomide tüm faaliyetlere girdi sağlayan temel alanlardan biridir.

Bu niteliği açısından mikro-elektronik, biyoteknoloji ve nanoteknoloji ile birlikte sınıai üretimin karakterini dönüştürecek ana teknolojik alanlardan biri olarak kabul edilmektedir. Savunma, havacılık, mikro-elektronik, iletişim ve otomotiv sektörlerinde kullanılacak ileri malzemelerin ortaya çıkışı; malzeme biliminin bu gereksinimleri karşılayabilecek çok disiplinli, proses ağırlıklı bir alana dönüşmesiyle birlikte ilerlemektedir.

Malzeme teknolojisindeki gelişmelerle birlikte ortaya çıkan yeni ürün ve yeni pazar oluşumları tüm sektörleri etkilemektedir. Diğer bir deyişle, malzeme teknolojileri enformasyon ve iletişim teknolojileri ile birlikte pek çok alandaki gelişmeye öncülük eden, yol açan ya da olanaklı kılan (enabling technology) bir özellik taşımaktadır. Özellikle son 20 yıldır giderek önem kazanan bir ileri teknoloji alanı olarak “İleri Malzemeler” tüm teknolojik gelişmelerde az ya da çok ama mutlaka ağırlığını ve önemini hissettirmektedir.

Etkinliği ve güvenilirliği geliştirilmiş, fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri daha üstün, daha hafif, daha az yer kaplayan, daha ucuz ve yeni işlemlere daha uygun, üstün performans gösteren, katma değeri yüksek malzeme ihtiyacı sürekli artmaktadır. İleri malzemeleri en geniş anlamda “yüksek saflıkta, yüksek teknolojik performansa ve yüksek bilgi içeriğine sahip ve dünya ekonomisine giderek artan bir ölçekte katkıda bulunan yüksek katma değerli malzemeler” olarak tanımlamak mümkündür. Ayrıca, “20. Yüzyılın ikinci yarısında, dünya ekonomisine önemli ölçekte pazar payıyla giren seramik, polimer, metal ve kompozitler olarak yüksek safiyete, yüksek teknik performansa ve yüksek bilgi içeriğine sahip artan entegre işlev çeşitliliği olan yüksek katma değerli malzeme” şeklinde de tanımlanmaktadır.

Uygulama açısından yukarıda belirtilen ayrıma uygun şekilde, ileri teknolojileriyle, gelişen işlevleri, uygulamaları ve nitelikleriyle ileri malzemeler grubu şu şekilde sınıflandırılmaktadır:

1. İleri metalik malzemeler
2. İleri seramikler
3. Yeni, ileri polimerik malzemeler
4. Kompozit malzemeler
 - 4a. Polimer Bazlı Kompozitler
 - 4b. Metal bazlı kompozitler
 - 4c. Seramik bazlı kompozitler

Belirtilen bu malzeme gruplarında da temel davranış özelliklerine göre;

1. MEKANİK,
 - Basma, çekme, kesme, burulma ve darbe dayanımı yüksek,
 - Sürtünmesi düşük,
 - Aşınması az,
 - Plastik,
 - Elastik,
 - Yutucu,
 - Hafif,

-
- İzotropik,
 - Yönlenmiş,
 - Tok,
 - Hücresel yapılı,
2. ISIL,
- Yüksek sıcaklığa dayanan,
 - Sıcaklık darbesine dayanan,
 - Isıyı iyi ileten,
 - Isıyı yansıtan,
 - Isıyı ısıtan,
 - Isıyı soğuran ve depolayan,
3. OPTİK,
- Işığı iyi geçiren,
 - Işığı çoğaltan,
 - Işığı yansıtan,
 - Işıyan,
 - Işığı soğuran,
 - Işığı dönüştüren,
4. ELEKTRİK,
- Yalıtkan,
 - Yarı-iletken,
 - Kötü iletken,
 - İletken,
 - Süper iletken,
 - Yük depolayan,
5. MANYETİK,
- Manyetik geçirgen,
 - Manyetikleşebilen,
 - Manyet,
6. BİYOLOJİK,
- Doku uyumlu,
 - Kan uyumlu,
 - Hücreyle arayüzlenen,
7. KİMYASAL,
- Yüksek saflıkta,
 - Asit dayanımlı,
 - Korozyon dayanımlı,
 - Katalist,
 - Soğurucu,

- Algılayıcı,
- İnert,

gibi dallandırmalar mümkün gözükmemektedir.

İlave olarak, özel olarak bu malzemelerin üretimlerinde, genelde de üretim süreçlerinde giderek mikro hatta nano boyutlar öne çıkmakta ve bununla da ilişkili şekilde daha hassas üretim teknikleri geliştirilmektedir. Böylece giderek önemleri artan ileri malzemelerin üretim ve şekillendirme süreçlerinde de 'hassaslık' ya da alışılmış yöntemlerden farklı şekilde 'alışılmamış' yöntem ve tekniklerin ağırlık kazanmaya başladığı görülmektedir. Böylece ürünlere ve daha dar çerçevede malzemelere daha üstün özellikler kazandırmak amacıyla hassas üretim ve şekillendirme teknolojileri yaygınlaşmaktadır.

Yukarıda değinilen konuları değişik boyutları ile ele almayı hedefleyen bu çalışmanın ilk evresinde ileri malzemeler ve hassas üretim ve şekillendirme teknolojileri kapsamında kavramsal bir çerçeve oluşturulmaya çalışılmış, ardından dünyadaki ve ülkemizdeki durumla ilgili bazı değerlendirmeler sunulmuştur. Ardından 12 Mayıs 2010 tarihinde gerçekleştirilen ve ekte bilgileri sunulan 'İleri Malzemeler ve Hassas Üretim ve Şekillendirme Teknikleri Çalıştay'ında katılımcıların görüşleri dikkate alınarak rapor geliştirilmiş ve Türkiye için kritik ve başarılı şansları yüksek olabilecek bazı ileri malzeme uygulama alanları ve konuları da belirlenmiştir.

2.1. İleri Malzeme Teknolojileri

2.1.1. İleri Malzeme Teknolojileri: Kavramsal Yapı ve Kapsama İlişkin Çerçeve

2.1.1.1. Kavramsal Çerçeve

İleri malzeme terminolojisi teknolojinin evrimine paralel olarak gündeme gelmiş ve teknolojik ilerlemelerin etkisi ve katkısına bağlı şekilde malzemelerin artık

- a. Geleneksel malzemeler,
- b. İleri malzemeler şeklinde sınıflandırılması gerekli hale gelmiştir.

Bu ayrımın özellikle 20. yüzyılın ikinci yarısından itibaren dünya ekonomisinde giderek önemi artan ve pazar payları büyümeye başlayan malzeme gruplarıyla anlam kazanmaya başladığı görülmektedir. Bu malzeme gruplarını 'ileri' başlığı altında metalik, seramik, polimer ve kompozit malzemeler olarak sınıflandırmak mümkündür. Bu grupların ileri ya da teknik olarak adlandırılmalarının temelinde diğer bir deyişle bu tür malzemeleri geleneksel malzemelerden farklılaştıran unsurlar olarak; yüksek safiyet, yüksek teknik performans, yüksek bilgi içeriği, yüksek entegre işlev ve yüksek katma değer özelliklerinin öne çıktığı görülmektedir. Tahmin edileceği gibi, ayırım için kesin bir skala yoktur ve ilerlemelere bağlı olarak kısa bir süre içinde ileri malzeme olarak nitelenebilecek bir ürün geleneksel hale gelebilmektedir. İleri malzeme bilim ve teknolojilerini geleneksel malzeme sistemlerinden ayıran dinamik nitelik ve temel öğeler olarak şunlar öne çıkarılmaktadır;

- Ar-Ge yoğun
- jenerik yapı
- çok-disiplinli ve çok-teknolojili nitelik
- bilimsel temel ilkelere bağlı
- bütünlük özelliklere sahip

- kümülatif etki potansiyeline sahip
- artan maliyette ve yüksek riskte yatırım gerektiren
- hızla artan bir pazar potansiyeli
- gelişimleri uzun süreçler gerektiren
- uluslararası şiddetli rekabet ortamı yaratan

2.1.1.2. Kapsam

Farklı unsurlara göre malzeme sınıflandırmaları aşağıdaki Tablo'da sunulmaktadır. (Tablo 2.1.)

Tablo 2.1. Farklı Özellikler İçin İleri Malzeme Sınıflandırmaları

<p>Malzemelerin temel niteliklerine bağlı olarak sınıflandırılması:</p> <ul style="list-style-type: none">➤ Metal;➤ Seramik;➤ Polimer;➤ Kompozit. <p>Malzemelerin temel davranışlarına bağlı sınıflandırılması:</p> <ul style="list-style-type: none">➤ Yalıtkan Malzemeler;➤ Yarı-iletkenler;➤ İletkenler;➤ Süperiletkenler;➤ Manyetik Malzemeler;➤ Ferroik Malzemeler;<ul style="list-style-type: none">○ Ferroelektrik Malzemeler;○ Ferromagnetik Malzemeler;○ Ferroelastik Malzemeler. <p>Malzemelerin morfolojilerine bağlı olarak sınıflandırılması:</p> <ul style="list-style-type: none">➤ Tek Kristal;➤ Polikristal;➤ Camsı ve amorf;➤ Hibrid;➤ Düşük Boyut (Low Dimensional);➤ Parçacık ve Küme (Particulate and Cluster);➤ İnce film (Thin film);➤ Tabakalı ve Gözenekli (Intercalated and Porous). <p>Fonksiyonlarına Göre Sınıflandırma:</p> <ul style="list-style-type: none">➤ Yapısal Malzemeler;➤ İşlevsel Malzemeler.

Günümüzde farklı alanlar için ileri malzeme olarak adlandırılabilen bazı uygulama örnekleri şöyle verilebilir;

- Daha hafif ve dayanımlı malzemelerin kullanıldığı yeni nesil otomobiller;
- Katalitik konvertör teknolojisinde yeni ve ileri malzemelerle yaşanan sürekli gelişim;
- Elektronik endüstrisinde kullanılan kuasi-kristal örnekleri;
- Karbon elyaf takviyeli kompozitler;
- Yanık yaralarına karşı etkin "bio-deri" (sentetik biyoloji);

➤ Uzay havacılık ve güç santrallerinde kullanılan türbin kanatları...

Bu tür uygulamalarda malzeme ve süreç işlevselliğini ve uygulama alanlarını öne çıkaracak şekilde;

- Biyoişlevsel malzemeler,
- Elektronik Malzemeler (EMO)
- Elektrooptik malzemeler,
- Manyetik malzemeler,
- Nükleer malzemeler,
- Enerji (depolama) malzemeleri,
- Triboloji,
- Algılama malzemeleri,
- Korozyondan korunma malzeme ve süreçler vb. üst başlıklara göre de sınıflandırma yapmak mümkündür.

Özetle, farklı özelliklere göre pek çok klasifikasyon mümkün olmakla birlikte, İleri malzemeler için daha kapsayıcı ve çerçevelemeyi kolaylaştıran bir çerçeve olduğu için malzemelerin temel niteliklerine bağlı bir sınıflandırma anlamlı olmaktadır. Bu kapsamda İleri Malzemeleri 'Sunuş' bölümünde belirtilen şekilde şöyle bir sınıflandırmaya tabi tutmak mümkündür;

1. İleri metalik malzemeler
2. İleri seramikler
3. Yeni, ileri polimerik malzemeler
4. Kompozit malzemeler
 - 4a. Polimer Bazlı Kompozitler
 - 4b. Metal bazlı kompozitler
 - 4c. Seramik bazlı kompozitler

1- İleri Metalik Malzemeler

Metalik malzeme teknolojilerinde toz metalurjisi, vakumda ergitme gibi yeni üretim teknolojileri yanında mevcut geleneksel malzemelerin yüzey kalitelerinin artırılması için de lazer, kimyasal ve fiziksel kaplamalar gibi yeni yüzey teknikleri geliştirilmiştir. Ayrıca yeni alaşımlamalar yapılarak daha üstün özelliklere sahip yeni malzemeler elde edilmiştir. Yeni malzemeler üretilirken malzemeye üretim aşamasında atomik düzeyde müdahale edilerek malzemenin yapısı kontrol edilebilmekte ve istenen tokluk, süneklik, sertlik, sıcaklık dayanımı, korozyon dayanımı gibi özellikler elde edilebilmektedir.

Niobyum, vanadyum ve titanyum ile mikroalaşımlanmış çelikler, dubleks alaşımlanmış paslanmaz çelikler, ultra-dayanımlı çelikler, nikel, kobalt ve titanyum bazlı süper alaşımlar, intermetalik malzemeler, alüminyum lityum alaşımları gibi ileri hafif alaşım malzemeleri önemli örneklerdir. Diğer taraftan alüminyum ve magnezyum alaşımlarının otomotiv sektöründeki uygulamaları, düşük yoğunlukta geliştirilmiş olan alüminyum-lityum alaşımlarının havacılıktaki

uygulamaları ileri metalik malzemelerin günlük hayatımıza girişine örnek teşkil etmektedir. Sinterleme, sıcak presleme, toz metal enjeksiyonu gibi metotlarla metal tozları sıkıştırılarak yüksek özelliklere sahip parçalar elde edilebilmekte ve “toz metalurjisi” olarak adlandırılan ileri bir üretim teknolojisi kullanılarak ileri metalik malzemeler elde edilebilmektedir. Benzeri şekilde vakumda ergitme yoluyla üretilen yüksek özelliklere sahip magnezyum alaşımı parçalar otomotiv ve havacılık sektöründe başarıyla kullanılmaktadır. Genellikle nikel-titanyum alaşımlarından elde edilen ve şekil hafızalı alaşımlar (shape memory alloys) olarak isimlendirilen yeni malzemeler belli sıcaklıklarda geometrik şekil değişikliği göstermekte ve bu davranışı hafızasına alarak tekrarlayabilmektedir. Ferromanyetik demir, nikel, kobalt gibi metaller üzerinde yapılan çalışmalar sonucu yeni manyetik alaşımlar elde edilerek çok yüksek çekim kuvvetine sahip sürekli magnetler yapılabilmektedir.

Aşağıdaki listede bu kapsam için fonksiyonlarına göre bir sınıflandırma sunulmaktadır:

Tablo 2.2. İleri Metalik Malzemeler		
İŞLEVI	MALZEME	UYGULAMA
Mekanik		
Yüksek dayanım	İnce ve tek kristal alaşım	Uzay havacılık
Süperplastiklik	Süperplastik Al	Havacılık
Titreşim sönümlenme	Mg; Mg-Cu	Anti-titreşim
Isıl		
Isıl dayanım	Ni &Co bazlı süperalaşım	Gaz türbin
Elektriksel		
Süperiletkenlik	Nb-Ti; Nb-3 Sn	Nükleer
Yarı-iletkenlik	Amorf Si	Güneş pili, sensör
Manyetik		
Yüksek manyetizma	Sm-Co	Manyetik kayıt, motor
Yüksek manyetik geçirgenlik	Amorf alaşımlar	Transformer çekirdek
Diğer		
Hidrojen taşıma	Fe-Ti	Hidrojen depolama
Süper hız elektron	Ga-Arsenik	Devre
Şekil hafıza	Ni-Ti	Biyomalzemeler

Kaynak: Baykara T. ‘İleri malzeme Teknolojileri’ Aralık 2009

2- İleri Seramik Malzemeler

İleri seramik malzemelerin önemi sahip oldukları süper özelliklerden kaynaklanmaktadır. İleri seramikler geleneksel seramiklere göre yapılarının daha ince ve rafine olması nedeniyle tercih edilmektedir. Günümüzde ileri seramikler için, rafine seramikler, ileri teknoloji seramikleri, yüksek performanslı seramikler, süper seramikler, mühendislik seramikleri, ultra seramikler, hiper seramikler gibi terimler de kullanılmaktadır. Geleneksel seramikler doğal hammaddelerden üretilirken, ileri seramiklerin hammaddeleri sentezleme yöntemiyle yapay olarak hazırlanmaktadır. Yapay olarak hazırlanan hammaddeler istenmeyen maddelerden arındırılmış, saf halde ve istenen fiziksel özelliklerdedir. Yapay hammaddelerin üretiminde çoğu zaman ileri teknoloji yöntemleri kullanılmaktadır. İleri seramikleri geleneksel seramiklerden ayıran en

önemli özelliği, ince seramiklerin pudra halinde çok ince tozlardan üretilmeleridir. Günümüzde üretilen ileri seramiklerde, genellikle mikron ve/veya mikron altında tozlar kullanılmakta ve böylece tamamen yoğun seramikler üretilmektedir. İleri seramikler başlıca Alümina (Al_2O_3), Zirkonya (ZrO_2), Magnezya (MgO), Berilya (BeO) gibi saf oksitlerden ve oksit olmayan seramiklerden (karbürler, nitrürler, sülfürler, silisitler, borürler) oluşmaktadır. İleri seramikler a) fonksiyonel seramikler b) yapısal seramikler olarak sınıflandırılmaktadır. Fonksiyonel seramikler elektronik, elektromekanik, optik, opto-elektronik veya manyetik fonksiyonları olan seramikleri içermektedir. Yapısal seramikler ise daha karmaşık olup özellikle yüksek sıcaklığa dayanıklı makine (veya konstrüksiyon) parçalarını içermektedir. Aşağıdaki tabloda ileri ya da diğer adıyla teknik seramiklerin fonksiyonlarına göre temel bir sınıflandırması sunulmaktadır.

Tablo 2.3. İleri Seramik Malzemeler		
İŞLEVİ	MALZEME	UYGULAMA
Mekanik		
Yüksek sıcaklık dayanımı	Silikon Nitrür, SiC	Gaz türbin, dizel motor
Kesme dayanımı	BN, TiC, TiN, WC, B_4C	Kesici takımlar
Yağlama	BN, Mo_2S	Katı yağlayıcı
Aşınma dayanımı	Alümina, B_4C	Aşınma parçaları, deliciler, Isı değiştiriciler, kaynak ısı nozül, yüksek frekans pota
Isıl		
Isıl dayanım	Alümina, S_3N_4 , SiC	Elektrotlar
Isıl yalıtım	TiO_2 , Al_3N_4 , ZrO_2	Yalıtkanlar, izolatörler
Isı transfer	B_2O_3 , alümina	Elektronik, filtre
Optik		
Işık geçirgenlik	Alümina, $Y_2O_3-ThO_2$, Ba_2O_3	Laser malzemeleri, Yüksek basınçlı sodyumlu lambalar, özel amaçlı lambalar, ışık modülasyon ve vana malzemeleri
Işık indüklenme	SiO_2	Optik lensler, fiber, sensör
Floresans	Ga-arsenit, Nd- Y_2O_3 cam	Lazer, diyetlar
Elektrik		
Süperiletkenlik; Yarıiletkenlik	$Y_2O_3-Ba_2O_3-Cu_2O_3$; ZnO, Ba_3TiO_4 , Pb-	Magnet, varistör, güneş pili
Piezoelektrik	Kurşun Zirkontitanat	Sensör, ignitor, vibratör, osilatör,
Yalıtım; İletkenlik	Alümina, SiC, Baryumtitanat	minyatür ısıtıcı eleman, termistör,
İyonik iletkenlik	ZiO_2 , beta-alümina	Devre, mikrokondenser
		Sensör, katı elektrolit
Manyetik		
Manyetizma	Yumuşak ve sert ferrit, Baryum oksit	Ferrit mıknatıs, teyp, hafıza, ısı sensörü
Biyolojik		
Biyoseramikler	Alümina, Si_3N_4 , apatitler, implant, biyocam	Suni diş, kemik ve eklemler
Kimyasal		
Absorplama	Köpük SiO_2 , alümina	Absorban, katalist
Katalist	Zeolit	Katalist
Korozyon	ZiO_2 , alümina	elektrotlar

Kaynak: 1-Baykara T. 'İleri malzeme Teknolojileri' Aralık 2009

2-Rahaman M.N. Ceramic Processing and Sintering, 2003

3- İleri Polimerik Malzemeler

Plastiklerin uygulama alanının artması, malzeme özelliklerinin hızla iyileşmesi ve tasarım teknolojilerindeki gelişmeler paralelinde, plastik parça şekilleri de giderek daha karmaşık hale gelmekte ve bu tür parçaları üretebilecek yeni teknolojiler geliştirilmektedir. Plastik sanayisi içinde gelişen ileri plastik ve polimerik malzemeler yaygın kullanım alanı bulmaktadır. Bu malzemelerin genel olarak sınıflandırılması aşağıdaki tabloda (Tablo 2.4) özetlenmiştir. Özellikle çağdaş otomobil tasarımlarında polimerik malzemeler otomotiv iç aksesuarları, çamurluklar ve benzeri yapısal elemanlar olarak yaygın bir kullanım alanına sahiptir.

Tablo 2.4. İleri Polimerik Malzemelerin Sınıflandırılması

Kategori	Süreç	Fiyat	Örnekler
Yaygın kullanılan polimerler Yüksek miktarda üretilen, düşük maliyet ve kolay süreçler	Çok yüksek sıcaklık gerektirmez esnek üretim şartları	Düşük	PVC, düşük yoğun polietilen, yüksek yoğun polietilen, polipropilen
Mühendislik polimerleri Üstün ısı dayanım, mukavemet, dayanıklılık, üstün korozyon dayanımı, elektriksel özellikler	Yüksek sıcaklık ekipmanı gerekli, sınır proses teknolojisi	Orta ölçekte	Poliamidler, Poliasetaller, modifiye polifenilen oksit, polikarbonat, polietilen, tereftalat, polibütillen tereftalat, ABS
Yüksek performans Polimerleri Süper ısı dayanım, çok üstün mukavemet, optik özellikler, elektriksel özellikler	Çok yüksek sıcaklık ekipmanı gerekli, hassas proses teçhizatı; polimerizasyon süreci kompleks	Yüksek-çok yüksek	Polifenilensülfid, polisulfon, polieterimid, poliamidimid, polieterketon, sıvı kristal polimerleri

Aşağıdaki tabloda da (Tablo 2.5) ileri polimerler fonksiyonlarına göre sınıflandırılmıştır.

Tablo 2.5. İleri Polimerik Malzemeler		
İŞLEVİ	MALZEME	UYGULAMA
Mekanik		
Yüksek dayanım; dayanıklılık	Poliester;	Yapısal elemanlar
elastiklik	poliamit	#
Şok ve ses sönümlenme	Sentetik lastik	#
Yüzey koruma	Köpük plastikler	#
Yapışkanlık	Kaplama filmler	Kaplama elemanları
	Polikloropren	Yapıştırıcılar
Isıl		
Isıl dayanım;	Poliimit, silikon reçine;	Isıl dayanımlı elemanlar
Isıl yalıtım	Silikon lastik	Düşük sıcaklık uygulama;
Isı transfer	Köpük plastik	İzolasyon
Optik		
Işık geçirgenlik	Polimetil metakrilat asit, polikarbonat	Optik fiber, plastik lens
Foto aktiflik	Foto-set plastik; Sıvı kristal	Kopyalama
Çift kırınım		Ekran

Elektrik		
İletkenlik	Poliasetilen	Pil, kablo
Yalıtkanlık	Polimit, PET	Devre kartı, kondenser
Enerji dönüşüm	Poliviniliden florit, doplanmış PA	Sensör, transdüser
Ayrıştırma		
İyon değiştirici	Stiren ve akril grupları	İyon değiştiriciler
Ayrıştırıcı	Selülöz asetat grubu	Ters osmosis
Biyolojik	PET, silikon polimer	Suni kan taşıyıcı, suni kalp
Kan uyum; Doku uyum		Suni deri, organ ve kemik
Kimyasal		
Dayanım	Polikloropren, butadyen akrilonitril	Depo tank
Korozyon	Polibütan-1, poliamit, neopren	Çatı kaplama, deniz inşaat

Kaynak: Baykara T. 'İleri malzeme Teknolojileri' Aralık 2009

4- Kompozit Malzemeler

Kompozit malzeme tanımı, temel olarak iki veya daha fazla malzemenin bir arada kullanılmasıyla oluşturulan ve meydana geldiği malzemelerden farklı özelliklere sahip yeni tür malzemeleri belirtmek için kullanılmaktadır. Kompozitlerin sahip olduğu yüksek özellikler kompozit malzemelerin bir çok endüstriyel uygulamada tercih edilmesini sağlamaktadır. Kompozit malzemelerin genel olarak sağladığı avantajlara bakıldığında; 1. Farklı mekanik özellikler elde etmek amacıyla istenen özelliği sağlayabilecek kompozit malzeme üretilebilmektedir. 2. Kompozit malzemeler kimyasallara, korozyona ve hava şartlarına dayanıklılık gösterebilmektedir. 3. Karmaşık parçaların yekpare şekilde üretilebilmesi nedeniyle birçok küçük/ara parça ve bu parçaların montajlanması işlemleri asgari düzeye indirilebilmekte ve üretim süresi kısalmaktadır. 4. Yüksek dayanım sağlanabilmektedir. 5. Hafiftirler ve bu özellikleri nedeniyle özellikle havacılık ve otomotiv sanayinde giderek ağırlıkları artmaktadır.

Kompozit malzemeler bir matriks malzeme yapısı ile bu yapı içine katılan takviye malzemelerin bir araya getirilmesi yoluyla oluşmaktadır. Kompozit malzemelerde kullanılan matriksler, polimerlerden (termosetler ve termoplastikler) metallere ve seramiklerden oluşmaktadır. Dolayısıyla kompozit malzemeler kendi içinde Polimer bazlı (matriksi polimer olan) kompozitler, Metal bazlı (matriksi metal olan) kompozitler ve Seramik bazlı (matriksi seramik olan) kompozitler olarak sınıflandırılmaktadır. Kompozit malzemelerin %90'ı polimer esaslı matrikslerle üretilmektedir. Metal matriksler çok pahalı ve çalışmaları zordur. Seramik matriksler ise kırılma olmalarından dolayı yeterli dayanımları yoktur ve kullanım alanları yüksek ısı ile kullanılan yerlerle sınırlanmaktadır. Tüm diğer matriks alternatifleri içinde ticari olarak en uygun olan plastik matriksler arasında en çok kullanılan termoset esaslı olan polyeşter ve epoksi reçineleridir. Aşağıda temel fonksiyonlarına göre ileri kompozitlerin genel bir sınıflandırılması sunulmaktadır. (Tablo 2.6)

Tablo 2.6. İLERİ KOMPOZİT MALZEMELER

İŞLEVİ	MALZEME	UYGULAMA
Mekanik Yüksek dayanım+ hafiflik	<u>Polimer-bazlı kompozitler:</u> Matriks: epoksi, florokarbon, mühendislik plastikleri, termoset(kauçuklar, reçineler, yapıştırıcılar)/termoplastik (plastik malzemeler ve blendleri-HIPS+PE,PBT+PET) Takviye: -dolgu(talk, kalsit, zeolit) - güçlendirici (cam elyaf, karbon elyaf vb.) - fonksiyonel (TiO ₂ , bor vb.)	Uzay-havacılık, otomotiv, demiryolu, elektronik, biyoloji, gemi-inşa, spor malzemeleri, inşaat, yapısal elemanlar, savunma,yanmazlık, titreşim sönümleme, ısı yalıtım, iletken/yalıtkan, yüzey özellikleri
Isıl Isıl dayanım + Yüksek dayanım	<u>Metal bazlı kompozitler:</u> Matriks: Al, Cu, Ti, Ni Takviye: seramik, boron, metal fiberler <u>Seramik-bazlı kompozitler:</u> Matriks: alümina, Si ₃ N ₄ Takviye: seramik, metal fiberler	Nükleer, gaz türbin, uçak, ısı değiştiriciler Nükleer, gaz türbin, uçak, roket nozül
Isıl yalıtım	Cam fiber+polimerik yalıtım malzemeleri	Fiber ve diğer elyaf bazlı kompozit malzemeler

Kaynak: Baykara T. 'İleri malzeme Teknolojileri' Aralık 2009 ve 12 Mayıs İleri Malzemeler Çalıştayı Sonuçları

5- Yüzey İşlemleri/Modifikasyonları

Sürtünme, aşınma, yağlama, korozyon, dekoratif, vb. amaçlarla ilişkili olarak ısıl işlem, kaplama vb. malzemenin yüzeyine mekanik ve işlevsel çeşitli özellikler katan yüzey işlemi ve modifikasyonları konularındaki ileri uygulamaları da ileri malzeme kapsamında değerlendirmek yanlış olmayacaktır. Çünkü, uygulandığı yer, uygulama prosesi ve sağladığı özellikler bakımından yüzey işlem uygulamalarını da geleneksel ve ileri olarak sınıflandırmak veya ayırmak mümkündür. Bu kapsamda malzeme sınıflandırmasında olduğu gibi kaplama sınıflandırmalarında da kaplama malzemelerine bağlı olarak polimerik, metalik ve seramik kaplamalardan söz edilebilir. Ya da sağladığı özellikler itibarıyla bir sınıflandırma yapılabilir. Bu kapsamda yüksek sürtünme, elektronik, biyomedikal fonksiyonlar kazandıran kaplama ya da yüzey uygulamalarının geleneksel süreçlerden ayrılması anlamlı olacaktır. Bu tür kaplamaları; tribolojik, elektronik, korozyon, fotonik, biyoaktif kaplamalar olarak nitelemek mümkündür.

6- Nanoteknolojiler ve Bu Yöntemlerle Üretilen Nanomalzemeler

Nanoteknoloji temelde bir ölçeği ifade etmektedir. Çok kısaca nesnelerin nano ölçekte imaline olanak veren her teknolojiyi bu kategoriye sokmak yanlış olmayacaktır. Nanometre(nm), metrenin milyarda biri kadar bir uzunluk ölçüsüdür. Diğer bir deyişle, 1 nanometre, milimetrenin milyonda, mikronun ise binde birini ifade eder. Nanoteknoloji ile ilgili çalışmalar 0.1-100 nanometre(nm) arasında yoğunlaşmıştır. Bu ölçeklerin atomik ve moleküler ölçekler olduğundan hareketle bir diğer nanoteknoloji tanımı da şöyledir: 'Bir şeyleri - bu şey ölçme, tahminleme, gözleme ya da üretme olabilir- atomik ve moleküler ölçekte yapabilme yeteneği ve ortaya çıkan yenilik veya uygulamaların gene bu ölçekte özümsemesi'. Nanoteknolojilerin ilk ortaya atıldığı yıllarda, atomik güç mikroskobu gibi atom boyutunda gözlem ve işlem yapabilen sistemlerin de başarısıyla 'dünyanın atomlardan hareketle yeniden yapılandırılması' popüler bir tanım olarak kullanıldı. Ancak işlevsel düzlemde düşünüldüğünde 'maddenin nano boyutta yapılan yapısal değişikliklerle boyut ve yapıdan kaynaklanan özelliklerinin ve işlevselliğinin

kontrollü olarak değiştirilmesi bilimi' en son kullanılan nanoteknoloji tanımıdır. Nanoteknolojilerin uygulamalarında son yıllarda güvenilirlik, tümleştirilebilirlik ve sorumluluk öne çıkan üç öge olarak görülmektedir.



Şekil 2.1. Devrimsel Kuvvetler ve Nanoteknoloji

(Kaynak: Özbay, E. "Günümüzde Nanoteknoloji Uygulamaları", PPT

Nano boyutlarda ortaya çıkan yeni özellikleri makro boyutlardaki özelliklerden tahmin etmek mümkün değildir. Nanoteknolojilere bu kadar fazla önem verilmesinin ve olağanüstü bir hızla uygulama alanlarının gelişmesinin temel nedeni nano ölçeğin sağladığı avantajlardır (Şekil 2.1). Başlıca avantajları ise maddenin boyutu küçüldükçe yüzey alanı ile hacim arasındaki orantı büyümesinden kaynaklanır ve nano ölçekte malzeme karakter ve özellikleri değişir. Örneğin; nano-boyutlu gümüş anti-mikrobiyal olmaktadır, nano-boyutlu altın daha düşük sıcaklıkta ergimekte, nano-boyutta bakır elektrik iletkenliğini kaybetmektedir, nano-boyutlu şeker suda daha iyi çözünmekte; daha iyi buzlanmakta, nano kumaşlar kir tutmaz ve koku tutmaz özellikler kazanabilmektedir.

Belli bir disiplinle ilişkilendirilemediği ve disiplinlerarası bir özellik gösterdiği için nanoteknolojiyi karakterize edebilmek oldukça güçtür. Buna rağmen şayet üretim yöntemlerine dayanan bir karakterizasyon yapılması istenirse; yukarıdan aşağıya (top-down) ve alttan üste (bottom-up) şeklinde bir kategorizasyon yapmak mümkündür (Saxl,2000).

Yukarıdan aşağı yönteminde, nanoölçekte yapıların özel makina ve/veya oyma teknolojileri ile imali kastedilmektedir. Ancak buradaki uygulamaların minyatürizasyondan çok daha farklı olduğunu ve nanoölçekte artık fiziğin farklı kurallarının devreye gireceği unutulmamalıdır. Alttan üste nanoteknoloji uygulamalarında ise, yeni organik ya da inorganik yapılar atom atom ya da molekül molekül dizilerek elde edilmektedir.

Kullanılan malzemelerin giderek küçülen ve atomsal/moleküler boyutlara indirgenen ölçeklerde bilimsel ve teknolojik gelişimleri ve buna bağlı olarak malzemelerin atom/molekül düzeyde kontrol, geliştirme, bileştirme ve fabrikasyonunun mümkün olması, artık "yığılma" noktasına gelen "bilgi" kavramında yeni ve kuantum bazlı depolama, haberleşme, iletişim ve süreçleri gibi

İhtiyaç ve gelişmeler nanoteknolojileri öne çıkarmıştır. Hemen tüm alanlarda nano uygulamalar ve nanoteknoloji ivmesel bir önem kazanmakta ve aynı hızla pazar payını yükseltmektedir.

Nanoteknoloji, nesnelerin nano ölçekte imali ile ilgili olduğu için çalışmaların yoğunlukla nanomalzemelerde yoğunlaştığı görülmektedir. Malzeme bilim ve teknolojilerindeki nano ölçekteki çalışmaların nanoteknoloji uygulamalarının temelini oluşturacağı belirtilmektedir (Saxl,2000). Gerçekten de nanomalzeme alanında, yeni malzemelerden kaplamalara kadar çok büyük ilerlemeler kaydedilmiştir. Örneğin, geliştirilen nanotüpler, çelik malzemenin 1/6 ağırlığında olmasına rağmen 50-100 kez arası daha fazla dayanıma sahiptir. Nanoteknolojiler yapı sektöründe de yapıstırıcılar, beton, kaplama, döşeme, cam, aydınlatma cihazları, boru tesisatları ve diğer inşaat malzemeleri gibi alanlarda kullanılan nano-malzemeler ile sınırsız bir gelişmeye açıktır. Örneğin, beton hazırlamada kullanılan akışkanlaştırıcıların özel tasarımı sayesinde yalıtım gerektirmeyen hidrofobik (su itici) yapı ve bozulmaya karşı yüksek koruma sağlayan betonarmelerin hazırlanması mümkündür. Bunun yanı sıra harç içinde kullanılan organik fiberler ile karma, esnek ve hafif betonarme yapılar olana sağlanmaktadır. Çok yüksek performanslı beton (ultra high performance concrete - UHPC) nanoteknolojik olarak betonun geliştirilmiş bir halidir. Bu gelişim sayesinde ham madde kullanımı azaltılarak daha hafif yapılar oluşturulabilmekte ve bu özelliğe ek olarak bu yapıların dayanıklılıklarıyla birlikte sağlıkları da artmış olmaktadır.

Tıp ve eczacılık alanında hem teşhis ve hem tedavi amaçlı nanoteknoloji uygulamalarında da büyük ilerlemeler kaydedilmiştir. Nanoteknolojideki gelişmelere paralel olarak bu teknolojilerde olduğu kadar başta enerji-özellikle yeni güneş pilleri ve aydınlatma- ve savunma olmak üzere pek çok teknolojide dramatik değişiklikler öngörülmektedir. NANOelektronik ilk uygulamalar mikroyongaların (microchip) depolama kapasitesini yükseltmek amacıyla kullanılmaya başlanmıştır.

Nanomalzemelerdeki beklenen gelişmelere bağlı olarak örneğin elmas kadar sert ve sağlam, alüminyumdan daha hafif, ısı ileten, radyasyon kalkanı, kablosuz iletişimde, ısıyı elektrige dönüştürebilen, kendi kendini tamir edebilen malzemeler ve enerji toplayan, depolayan ve ileten akıllı kaplamaların mümkün olacağı öngörülmektedir. Nanomalzemelerin ilginç özellikleri hemen hemen her alanda; savunma, tekstil, otomotiv, inşaat, kimya, optik, ilaç sanayiinde devrim yaratacaktır. Sürtünmesiz yüzeyler sayesinde taşıtlarda motor yağı değiştirme sorunu ortadan kalkabilecek, kir tutmayan tekstil ürünleri sayesinde belki çamaşır makinelerinin kullanımı sınırlanabilecek, giysilerimiz yeni işlevler üstlenecektir. Nanoteknolojinin öncelikle malzeme ve biyoteknoloji alanlarında gelişeceği, ancak 10-15 yıl sonra elektronik ve spintronikte, özellikle moleküler elektronikte ağırlığını hissettireceği beklenmektedir. Günümüzde nanobiyoteknoloji, nanotıp konusunda yapılan yoğun araştırmalar yakın bir gelecekte tedavi yöntemlerinde devrimsel gelişmeler olacağını göstermektedir. Bütün bu uygulama alanları yanında nanoteknolojiye savunma sanayiinde ve istihbarat ile ilgili teknolojilerde yoğun talep bulunmaktadır. İlk nanoteknoloji araştırmaları, ABD askerinin mobilitesini artırmak üzere 45 kg olan savaş teçhizatını azaltmak yeni işlevleri olan teçhizatlar eklemek amacı ile başlamıştı. Şimdi bu araştırmalar çok çeşitli alanlarda artan bir hızla sürdürülmektedir. Aşağıdaki tabloda malzemedan uygulamaya kadar nanoteknolojilerin etkisi sadece kısmi olarak özetlenmiştir.

Tablo 2.7 Nano Malzemeler ve Uygulama Alanları		
Temel Ürünler	Ara Ürünler	Uygulamalar
İnorganik nanoparçacıklar Metal oksitler, nanokiller, metaller, fullerenler, karbon siyahı	Katalizörler Membranlar ve filtreler Pigmentler ve boyalar	Tıp ilaç taşıma, biyoçipler, implantlar, antimikrobiyaller, yerel tanı, yerel teşhis
Organik nanoparçacıklar Polimer dispersiyonları, ilaçlar, boyalar, makromoleküller (dendrimerler vs.)	Aşındırıcılar Doldurucular ilaç ve ilaç taşıyıcılar Metal yapraklar Tekstil	Kozmetik Güneş kremleri, Dudak boyları, diş macunları
Nano gözenekli malzemeler Aerojeller, zeolitler vs.	Fiberler İşaretleyiciler Superiletkenler Gaz depolama Paketleme	Otomobil Lastikler, yapım malzemeleri, katalizörler, ön camlar, yakıt pilleri Bilişim Teknolojisi Veri depolama, ekranlar, Lazer diyotlar, fiberler
Nanokompozitler Seramikler, metaller/alaşımlar, polimerler, fonksiyonleştirilmiş nanoparçacıklar, organik yarıiletkenler, ferroakışkanlar vs.	Kaplayıcılar Termoelektrik İletken polimerler Organik yarıiletkenler	Enerji Güneş pilleri, bataryalar, yakıt pilleri, kapasitörler Yapı Malzeme Beton Yalıtım Kaplama

Kaynak . Prof. Y. Menceloğlu

2006 yılında 22 ülkede 250 civarında nano ürün üreten şirketin bulunduğu, 2007 yılı itibariyle bu sayının 580 şirketin üzerine çıkarak şirket sayısında iki mislinden daha büyük bir artış olduğu, 2009 yılına gelindiğinde ise 1015 nano ürün üreten şirketin faaliyet gösterdiği belirtilmektedir. Ürünler ağırlıklı giyim, kozmetik, kişisel bakım, beslenme, spor malzemeleri, güneş kremi ve kaplamalarda yoğunlaşmaktadır.

Günümüzde kullanılmakta olan bazı nano-ürünlere örnek olarak şunlar verilebilir;

- Minibüs ve otomotivde çamurluklar
- Korozyon ve çizilmeye karşı dayanıklı boya, kaplama
- Gözlük ve oto camlarda koruyucu ve parlama-giderici kaplama
- Metal işleme uçları
- Güneş kremleri ve kozmetikler
- Dayanıklı tenis topları, daha uzağa gidebilen golf topları
- Daha hafif ve dayanıklı tenis raketleri, kızaklar, bisikletler
- Kir tutmaz elbise ve çarşafklar
- Yanık ve yara bantları ve sargıları
- Mürekkep
- Otomotiv katalitik konvertörler
- Batarya ve yakıt pilleri



Şekil 2.2. Nanoteknoloji Ürünlerine Bazı Örnekler

Aşağıda sunulan bazı ileri malzeme konularının tahmini pazar payları ve büyüme hızları dikkate alındığında kapsamlı ve bütünleşik politika ve yeterli kaynak gereksiniminin önemi daha iyi anlaşılmaktadır. Sonuç olarak 2015 yılında sonra nanoteknoloji ürünlerinin küresel üretiminin %18'ini oluşturması beklenmektedir.

İLERİ MALZEME	DÜNYA PAZARI -tahmini- milyon \$	BÜYÜME HIZI
Nanomalzeme	14,000	% 9.3
İleri malzemeler: Enerji, Katalist, Yapısal	325	%30
Nanoseramikler	700	%9.0
Nanoelektronikler için ileri malzemeler	30	>%40
Nanotüpler	150	%20
Nanokompozitler	150	%18
Nanofiber	40	%36
İleri malzemeler: elektronik, manyetik, optoelektronik	500	%16
İleri malzemeler: biyo, ecza, kozmetik	170	%27

Kaynak: 21 Ağustos 2008 itibarıyla dünyada nanoteknoloji-malzeme ürünleri www.nanotechproject.org

2.1.2. İleri Malzemelerle İlgili Dünyada ve Türkiye’de Durum

2.1.2.1 Dünyada Durum

Giriş bölümünde değinildiği gibi, ileri malzeme teknolojileri pek çok alandaki gelişmeye öncülük eden, yol açan ya da olanaklı kılan (enabling technology) bir özellik taşımaktadır. Bu özelliği nedeniyle ülkelerin ulusal ATGİ politikalarında kritik olan alanlarla ilişkili ileri malzeme araştırmaları ve uygulamaları ağırlıklı bir yer tutmaktadır.

Nanomalzeme için bu söylenenler daha da geçerli olmaktadır. Nanoteknoloji alanındaki bilimsel çalışmalara ayrılan kaynaklar çok büyük boyutlara ulaşmıştır. Bu alana sadece ABD’de 2010 yılında 1.64 milyar ABD \$’nın üstünde kaynak ayrılmıştır. ABD nin nanoteknoloji alanını ayrı bir bütçe kalemi olarak desteklemeye başladığı 2001 yılından bu yana toplam destek 12 milyar ABD \$’nın üstündedir. Avrupa Birliği 7. Çerçeve Programı’nda malzeme bilimi ve nanoteknolojiyi öncelikli alanları arasına alarak araştırmalar için 6 yıl sürede 4.8 milyar Avro kaynak ayırmıştır. Kore, 2001 yılında Nanoteknoloji Teşvik Yasası kurmuş, nanoteknoloji araştırmaları için 4 milyar dolar kaynak ayırmış ve 2015 yılına kadar 20.000 nanoteknoloji uzmanı yetiştirmek üzere plan

yapmıştır. Bu alanda sürdürülen temel bilimler ve teknolojik Ar-Ge çalışmaları ivmesel bir hızla artmaktadır. Özellikle temel araştırmalarda referans alınan Science Citation Index (SCI) veritabanı esas alınarak yapılan bir araştırmaya göre; 1989-1998 yılları arasında nanoteknoloji alanındaki yayınlarda yıllık artış hızı %27 gibi olağanüstü bir rakama ulaşmıştır. Bu çalışmaların ¼'ü ABD'de yapılmaktadır. ABD, Japonya, Çin, Rusya, Fransa ve İngiltere toplam araştırmaların %70'ine sahiptir.

Bu büyüklüklerde yapılan Ar-Ge çalışmalarında elde edilen sonuçların günlük hayata da hızla gireceğini tahmin etmek hiç de zor değildir. Nitekim, Amerikan Ulusal Nanoteknoloji İnişiyatifi Değerlendirme Komitesi tarafından yayımlanan makalede, 2014 yılına kadar nanoteknoloji ürünlerinin günlük yaşamın pek çok alanına gireceği ve küresel yıllık cirosunun 2,6 trilyon ABD \$'nı bulacağı öngörülmektedir

Burada kritik olan unsur, özellikle nanoteknoloji uygulamalarında teknolojinin gelişim hızının ve ticari piyasalarının çevre ve canlı sağlığı güvenliği ve emniyeti ile ilgili direktif ve uygulamaların önünde gidiyor olmasıdır. Nanoteknolojinin ölçeği düşünüldüğünde bu durumun sonuçları bu ürünleri üreten şirketlerde bile endişeye yol açmaktadır.

Özetlemek gerekirse, başta gelişmiş ülkeler olmak üzere, her ülkenin ulusal politikalarında rekabetçi sektörleri ve ürünleri ile ilişkilendirilmiş ileri malzemelerin ağırlıklı yer aldığı görülmektedir. Bu politikalarda çok büyük kaynaklar yanında bu alanın disiplinlerüstü özelliği nedeniyle güdümlü projeler, işbirliği ağyapıları, mükemmeliyet merkezleri vb. çok kapsamlı uygulamalar mevcuttur.

2.1.2.2 Türkiye'de Durum

Türkiye'de bazı strateji dokümanlarında ileri malzemelerin öncelikli alan olarak yer aldığı görülmektedir. Bu kapsamda DPT, TARAL ve TÜBİTAK'ın Vizyon 2023 dokümanları verilebilecek önemli örneklerdendir. Vizyon 2023 çalışmasının tematik alanlarından birinin bir alt bileşeni olarak ele alınmış olan ileri malzemelerle ilgili dokümanda özetle bu alanın jenerik özelliğinden bahsedilerek bu kapsamda aşağıdaki şu konulara ağırlık verilmesi önerilmektedir;

- Bor Teknolojileri
- Kompozit Malzeme Teknolojileri
- Polimer Teknolojileri
- Akıllı Malzeme Teknolojileri
- Manyetik, Elektronik ve Optoelektronik Malzeme Teknolojileri
- Hafif ve Yüksek Mukavemetli Malzeme Teknolojileri

Ayrıca Türkiye'nin ihtiyaçları dikkate alınarak bu konularla da ilişkili şekilde özellikle şu konulardaki çalışmalara ağırlık verilmesi önerilmiştir;

1. Geleneksel malzemelerde yeni ve çeşitlendirilmiş ürünler geliştirebilmek (yüksek vasıflı çelikler, çok işlevli ve akıllı camlar, elyafli kompozit çimento vb.)
2. Yüksek performanslı, ultra-hafif ve yüksek dayanımlı organik, inorganik ve kompozit malzemeler ve üretim yöntemlerini geliştirebilmek.
3. Hidrojen depolayan malzemeler geliştirebilmek.
4. Elektro-optik malzemeler geliştirebilmek.

Türkiye'de nanoteknolojinin önemi önce bilim çevrelerinde, daha sonra sanayi kuruluşlarında vurgulanmış, medyada sık sık yer almaya başlamıştır. Son zamanlarda Rand Corporation ülkeleri nanoteknolojideki potansiyellerine göre 4 gruba ayırmış: Birinci grupta ABD, Almanya, Japonya, İngiltere, Kore, İsrail gibi ülkeler bulunmaktadır. Maalesef Türkiye üçüncü grupta yer almıştır. Bu arada DYO, Arçelik, Petrol Ofisi gibi tanınmış şirketler nanoteknolojiyi bazı ürünlerinde kullanmaya başlamışlardır. Küçük ölçekli şirketlerde de ürünlerini geliştirmek için nanoteknolojiyi kullanma eğilimi başlamıştır. Nanoteknoloji araştırmalarında kullanılacak cihazları yapan kuruluşlar da bulunmaktadır. Üniversitelerde nanoteknoloji odaklı araştırma merkezleri kurulmakta, üstün nitelikli bilimsel araştırmalar yapılmaktadır

TÜBİTAK-MAM Malzeme Enstitüsü Müdürü Doç. Dr. Tarık Baykara'nın referanslarda yer verilen çalışmasında Türkiye'de değişik araştırma kurum ve kuruluşlarında karbon nanotüpler, aerogeller, zeolitler, dendrimerler, self-assembly nanoparçacıklar, nanoteller ve nanoelektromekanik sistemler (NEMS) konularında farklı aşamalarda projeler yürütüldüğü belirtilmektedir.

Üniversitelerimizdeki metalurji ve malzeme mühendisliği bölümlerinde pek çok ileri malzeme odaklı çalışma yürütüldüğü, kimya mühendisliği bölümlerimizde de yeni ya da ileri polimerlerle ilgili önemli çalışmalar yapıldığı bilinmektedir. Bu kapsamda özellikle ODTÜ, İTÜ, Anadolu, Sabancı, Bilkent (UNAM ve Nanotam), Gazi, Marmara, Sakarya, Kocaeli, YTÜ ile Gebze ve İzmir Yüksek Teknoloji Enstitülerinde değişik konularda projeler yürütülmektedir.

Ülkemizdeki bazı sanayi sektörlerinin de ağırlıklı olarak ileri malzeme sayılabilecek bazı malzemeleri kullandığı görülmektedir.

Bilindiği gibi Türkiye'nin imalat sanayi tekstil ve konfeksiyon başta olmak üzere geleneksel sektörlerle dayalı yapısı devam etmektedir. Ancak imalat sanayinde ağırlıklı bir net ithalatçı konumu sürmektedir. İleri malzemelerle ilgili olarak da yukarıda değinildiği gibi konumuz bu tür malzemeleri alarak ürünlerde kullanmak şeklindedir. Ülkemizin önemli strateji dokümanlarında yer alıpta uygulama şansı bulmuş ileri malzemelerle ilgili bir plan ya da alt grup bazında detaylandırılmış bir program da bulunmamaktadır. En detaylı plan olarak kabul edilebilecek Vizyon 2023 Malzeme Paneli çalışması daha ileri aşamalara ulaşamamıştır.

Bu konuda bazı üniversite/araştırma kurumu bünyelerinde ve az sayıda spin-off şirkette dünya ölçeğinde önemli araştırma ve geliştirmelerin yapıldığı bilinmektedir. Anadolu Üniversitesi bünyesindeki Seramik Araştırma Merkezi, Bilkent'teki UNAM vb. ileri ve yetkin araştırma merkezleri ile MAM Malzeme Enstitüsü, Sabancı Üniversitesi Nanoteknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi gibi çok önemli uygulamalı araştırma ve geliştirme merkezlerimiz olmakla birlikte, ülkemiz adına ileri malzeme alanında kritik bir büyüklüğe ulaştığımız söylenemez.

Makale sayıları 2000-2009 arasındaki 10 yıllık dönemde yaklaşık 8 kat artmasına rağmen, 2005 yılında yayımlanmış nanoteknoloji makalelerinin analizine dayanan bir çalışmada Türkiye en çok nanoteknoloji makalesi yayımlayan ülkeler arasında 29. sırada gösterilmiştir.

Temel olarak araştırmaları belli konulara yönlendirecek ve belirlenmiş alanlarda işbirliği ağ yapılarını ve mükemmeliyet merkezlerini teşvik edecek teşvik ve yönlendirmelerin yeterli olmadığı gözlenmektedir. Hem ulusal hem de uluslar arası bağlantıları yüksek üniversitelerin sayısının artırılması yoluyla uluslar arası düzeyde ileri teknoloji bilgisine ulaşılması ve bunun yurt içindeki diğer üniversiteler içinde hızla yayılabilmesi sağlanabilir. Bu bir bilim politikası önerisi

olarak da önem taşımaktadır. Hem uluslar arası düzeyde kaliteli ve özgün bilgiye ulaşılabilmesi hem de bunun hızlı bir şekilde yayılabilmesi amacıyla ulusal bilimsel ağ yapıları içinde bu konumdaki üniversitelerin desteklenmesi ve sayısının artırılması sağlanmalıdır. Bu tür uygulamaların hızla potansiyelleri harekete geçirebileceğini SSM'in son dönemlerde uygulamaya başladığı Ar-Ge'ye dayalı tedarik ve stratejik planlarının paylaşımı yaklaşımının olumlu sonuçlarından görmekteyiz. SSM'in bu tavrı savunma sanayi alanında ve bu kapsamda da ileri malzeme araştırmalarında önemli bir hareketlilik sağlamıştır. Buna bağlı olarak savunma teknolojileri kapsamında bazı ileri malzeme konularının öne çıkacağı öngörülmektedir. Anılan çalışmasında Dr. Baykara orta dönemde bu konularla ilgili şu alanları şanslı görmektedir;

- Zırh Teknolojileri
- Görünmezlik/kamuflej Teknolojileri (RAM, GAS, MS-Sis, MS-görünmezlik, bukalemun kaplama ve diğer)
- Roket ve Güdüm Malzemeleri (Magnezyum, Özel Alaşımlar-Invar, Seramikler, Nozül Kaplama, Nozül Malzemeleri ve diğer)
- İleri Kompozit Teknolojileri (ileri mühendislik plastikleri)
- İleri kaplama teknolojileri
- Karbon nanotüplerin yapısal malzeme uygulamaları
- 21. Yüzyılın ileri teknolojilerle donatılmış piyadesi
- KBRN savunmasında ileri malzemeler (karbon, filtre ve dekontaminasyon malzemeleri ve diğer)
- Özel amaçlı sensörler için akıllı, çok-fonksiyonlu malzemeler ve kaplamalar.

Görüşme yapılan Anadolu Üniversitesi Malzeme Bilimi ve Mühendisliği öğretim üyeleri tarafından ülkemiz için önemli bir potansiyel alan olan ileri seramikler konusunda öne çıkarılabilecek konular olarak şunlar vurgulanmaktadır;

- Zararlı Maddelerin Kısıtlanması /restriction of hazardous substances) kriterlerince yasaklanan kurşun içermeyen üretimler (ör: kurşunsuz piezoelektrik seramik),
- Euro6 taleplerini karşılayacak şekilde ileri termal özellikli ve normal seramik filtrasyon ürünleri (kara taşıtları egzoz gazları, baca gazları, dizel partikül ve su arıtma filtreleri gibi)
- Çevresel diğer filtrasyon uygulamaları (kataliz sistemde kullanılacak tozlar),
- Organik bor bileşikleri ve bor nitrür, bor karbür gibi uç ürünler için yüksek saflıkta ve nanoboyutta toz üretimleri ve bu ürünlerle ve geliştirilen kaplamalarla yüksek sürtünme ve aşınma direnci uygulamaları,
- Biyomalzemeler (biyopolimer, biyoseramik, biyometal ve kaplamalar),
- Yenilenebilir enerji sistemleri için ileri malzeme ürünleri (ör. PV'ler için Si üretimi ve CVD kaplama, off-shore rüzgar santralleri için SiNi rulman vb.)
- Havacılık malzemeleri üretimi (ör. Yeni nesil uçak gövdeleri için Cafiber takviyeli epoksi)
- Hassas kompozit delme için seramik uçlar.

Ayrıca, mekanik dayanımı yüksek ve hafif kompozit malzemelerin geliştirilmesinde kullanılan bir hammadde olan karbon elyafın 2009 yılından itibaren Türkiye'de üretilmeye başlanması ile birlikte pek çok sanayi kolunda önemli geliştirme çalışmaları olanaklı hale gelmiştir.

2.1.3 İleri Malzeme Çalıştayında Öne Çıkan Başlıca Konular

TTGV tarafından hazırlanan 'İleri Malzemeler ve Hassas Üretim Teknikleri Raporu'nun geliştirilmesi amacıyla 12 Mayıs 2010 tarihinde gerçekleştirilen ve ekte bilgileri sunulan çalıştayda katılımcılara dünya için olduğu kadar ülkemiz için de önemli olduğu düşünülen aşağıdaki şu üç kritik faz için (A,B,C) hangi ileri malzeme alan ve konularında proje faaliyetlerinin yürütülmesinin yararlı olabileceği sorulmuştur;

- a. **Geleneksel Sektörlerde Seviye Yükseltme:** Geleneksel malzemelerin (örnek olarak çelik, demir-dışı metaller, beton, plastikler, klasik seramikler) yeni üretim, süreç denetim ve geri kazanım teknolojileriyle, düşük maliyet ve artan işlevlilikle, katma değerlerinin artırılması, bunun yanı sıra geleneksel malzemelerin ileri teknoloji uygulamalarına entegre edilmeleri, yeni malzeme sistemlerine uyumlu olarak performanslarının artırılması geleneksel sektörlerde önemli ilerlemeler sağlayabilmektedir. Ülkemiz sanayinin ağırlıklı geleneksel sektörlerde geleneksel ürünlere dayandığı gözönüne alınırsa bu sektörlerde ve ürünlerde sıçrama sağlayabilecek, daha yüksek katmadeğer potansiyeli olan ileri malzeme alanlarında yapılabilecek çalışma konuları.
- b. **Evrensel İleri Teknoloji Uygulamaları:** Dünyada sanayi uygulamaları belli bir aşamaya gelmiş ancak ülkemizde henüz yaygınlık kazanmamış yüksek katmadeğerde,yeni ve gelişmiş özelliklere sahip, yüksek safiyette, yüksek performanslı ve karmaşık işlevleri yerine getirebilecek ileri malzeme ve bu kapsamda ileri üretim ve süreç denetim teknolojileri ve konuları.
- c. **Geleceğin Potansiyel Teknolojileri:** Henüz dünyada da kritik bir büyüklükte sanayi uygulamalarına geçmemiş, ancak bilimsel bulgular itibarıyla yüksek potansiyele sahip, geleceğin teknolojilerinde önemli atılımlar yapılmasına öncülük edebilecek uzun dönemli çalışmalar.
- d. **Bu kategoriler dışında diğer önemli görülen konular.**

Çalıştay katılımcılarınca bu başlıklarda öne çıkarılan alanlar ve konular şunlar olmuştur;

A- Geleneksel Sektörlerde Seviye Yükseltme: Cryogenic ısıtma teknikleri, Isı kalkanı, Solar soğurma, Hassas Döküm, İşlevsel cam seramikleri, Yeni (Borlu, katkı vb.) çimento ve klinker üretim teknolojileri, Yüksek mukavemetli zırh malzemeleri, Nükleer malzemeler, Her türlü korozyondan korunma amaçlı malzemeler ve süreçler, Kurşunsuz lehim, Teknik tekstil, Aşınmaya dayanımlı malzemeler, Isı özellikleri geliştirilmiş malzemeler, İşlevsel polimerik malzemeler (Pcb vb.) , Fotokatalitik, Antibakteriyel işlevler kazandırılmış ürünler, İşlevsel geleneksel seramikler (ör.seramik sektörü için nem kontrollü karolar ve iklimik sistemler), Toz metalurji projeleri, Yüksek mukavemetli boru çelikleri, Güneş pilleri.

B- Evrensel İleri Teknoloji Uygulamaları: Tek kristalli malzemeler ve büyütme süreçleri. (Nd yağ, silikon, germanyum vb), Elektronik manyetik ve optik malzemeler ve üretim süreçleri, Poroz metal malzemeler, Özel alaşımlar ve bunların kaynağı, Elmas kaplamalar ve kendi kendine ayakta duran elmas, Şekil ve boyut kontrollü anisotropik malzemeler, Şeffaf seramikler, Modern elektrolitik süreçler, İnovatif ve hibrit kaplama süreçleri, Lazer katkı üretim süreçleri, Enerji depolama malzemeleri ve piller, Solar soğurucu malzemeler, Yaşam kalitesini artırıcı nano ve biyo malzemeler, tıbbi malzemeler ve süreçler, Enerji korunumuna yönelik malzeme ve süreçler (örneğin tribolojik, korozyondan korunma), Lazer kristali, Nükleer malzemeler, Biyoenerji

uygulamaları, Organik polimerler, Cam üzerine işlenebilecek elektronik devreler, Organik yarı iletkenler, LED'ler, Elektronik, manyetik ve optik gereç üretimine yönelik malzemeler, İletken polimerler, Silikon wafer'a alternatif malzemeler-egzotik yarı iletkenler(alternatif yarı iletken malzemeler), Kriyonegenik ısı işlem teknikleri, Vakum kaplama teknikleri, Malzeme modelleme(makro ve moleküler düzeyde döküm de dahil.),

C. Geleceğin Potansiyel Teknolojileri: Güvenli nano-malzemeler, Çevreye zarar veren maddeler içermeyen alternatif işlevsel malzemelerin geliştirilmesi (Ör. Kurşunsuz piezo elektrik malzemeler), Akıllı algılama ve itkilme malzemeleri, Akıllı işlevsel malzemeler (kendi kendini yenileyen boyalar), Çeşitli işlevler yüklenebilecek yeni tip sensörler, Kendi kendine düzene giren yapılar, İntermetalik (Kitlesel ve kaplama olarak), Enerji üreten/depolayan malzemeler, Rejeneratif tıp, Organik bazlı fotovoltaiik, Katalizörler, Zeolitler, Çok işlevli kaplamalar, Sert malzemeler, Yeni yakıtlar ve yakıt teknolojileri

D. Diğer: Modern üretim süreçlerine yönelik tüm üretim altyapı cihazlarının geliştirilmesi (vakum pompalar, temiz ortam filtre vb.) , Modern tanımlama tekniklerinin geliştirilmesi, Malzeme karakterizasyonu yapan cihazların imalatı, Biyomimetik malzemeler ve sağlık uygulamaları, Biyolojik üreme proseslerinden örneklenerek yeniden yapılandırılma ve/veya biyolojik sistemlerin üretim sistemleri için yeniden kullanılma uygulamaları.

2.1.4 Sonuç ve Öneriler

Yukarıda belirtilen başlıca konu ve alanlar yanında diğer başlıklarda da, ana alıcının devlet olduğu başta medikal sanayi olmak üzere bazı alanlarda Ar-Ge'ye dayalı tedarik yaklaşımının benimsenerek bu kapsamda kamu otoritelerince orta ve uzun vadeli strateji ve yerli sanayiden beklentilerin açıklanması temel sektörlerde kritik önemi bulunan ileri malzeme çalışmalarında önemli bir ivmelenme sağlayabilecektir.

Bunun yanında hala geçerliliğini koruyan ve güçlü olduğumuz otomotiv, gemicilik, tekstil, mobilya gibi sektörlerde de ileri malzeme girdilerinin önemli katma değer sağlayabildiği göz önüne alınarak ve Türkiye'nin dış pazarlar açısından coğrafi konum avantajını da dikkate alarak bu yönde strateji ve destekler sağlanmasının da önemli olduğu düşünülmektedir.

Öte yandan Türkiye'de ileri malzeme içerikli ürün ve sistemlerin geliştirilmesinde karşılaşılan temel bazı problemler olduğu gözlenmektedir.

Bu kapsamdaki ilk sorun, bu tür uygulamaların disiplinlerüstü işbirlikleri ve ortak çalışmalar gerektirmesine rağmen değişik nedenlerle ülkemizdeki sistem ve alışkanlıkların bunun tersi bir özellik göstermesidir. Örneğin biyomedikal bir ürün geliştirilmesi için malzeme, polimer, tıp doktoru, kimya ve biyoloji disiplinlerinden uzmanların ortak çalışmasına ihtiyaç vardır. Her bir konuda yetkin bir insan kaynağımız olmasına rağmen gerek devlet satın alma politikasının Ar-Ge'ye dayalı tedarik sistemini öne çıkarmaması, gerek destek sistemlerinin bu yönde bir ağırlığının olmaması ve gerekse de araştırma kültürümüzden gelen bazı alışkanlıklarla henüz bu yönde bir yeterlilik yoktur.

Diğer bir konu da bir önceki tespitin de bir sonucu olarak, geliştirilen ürünler önemli ama bir sistemin parçası konumundadır. Oysa esas katma değer sağlayan unsurun parçanın yer aldığı sistem olduğu düşünülürse kritik Ar-Ge çalışmaları ve uzmanlık birikimleri ile gerçekleştirilen çalışma çıktıları genellikle yurtdışı entegratörlere kazanç sağlamaktadır.

Sonuç olarak Türkiye’de ileri malzemeler alanında özellikle üniversite ve araştırma kurumlarında çok önemli ve değerli bir insan kaynağı bulunmaktadır. Bu potansiyelin harekete geçirilmesi ise ülkemiz için kritik ve önemli uygulama alanlarında yol gösterici program ve özendirici teşviklerle ve bu tür uygulamaların disiplinlerüstü bir özellik taşıdığı dikkate alınarak ilgili tüm uzmanlık gruplarını bir araya getirecek sistemlerin kurulması ve desteklenmesi ile mümkün olabilecektir. Diğer önemli bir hususta özendirici ve yönlendirici teşviklerin esas katma değer sağlayan unsurlara yöneltilmesi ve bu kapsamda da kritik de olsa bir malzeme geliştirilmesi ya da üretiminden çok, bu malzemenin kullanılacağı sistemi öne çıkaracak şekilde kurgulanmasıdır.

Teşekkür: Çalışmanın bu bölümünde, TÜBİTAK MAM Malzeme Enstitüsü Müdürü Doç. Dr. Tarık Baykara’nın Aralık 2009’da MSB Ar-Ge’de yaptığı ‘İleri Malzeme Teknolojileri’ sunumundan önemli ölçüde yararlanılmıştır. Sunumunu ve görüşlerini bizle paylaşan Doç Dr. Tarık Baykara’ya ve dokümanın hazırlık aşamalarında görüştüğümüz Prof. Dr. Muharrem Timuçin, Prof. Dr. Ferhat Kara, Prof. Dr. Nuran Ay, Prof. Dr. Aydın Doğan, Prof. Dr. Ülkü Yılmaz, Prof. Dr. Güngör Gündüz, Doç Dr. Ender Suvacı, AKSA Ar-Ge Koordinatörü Doç. Dr. Yalçın TANES, NUROL Teknoloji firmasından Genel Müdür Murat SERT ve Ar-Ge Müdürü Barış KÖKÜÖZ ile çalışmanın son haline gelmesindeki katkıları nedeniyle ekte bilgileri sunulan ‘İleri Malzeme Teknolojileri ve Hassas Üretim ve Şekillendirme Teknikleri Çalıştayı’ katılımcılarına katkılarından dolayı teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- Arnall,A., Future Technologies, Today’s Choices, Environmental Trust, 2003
- Baykara, T. ‘İleri Malzeme Teknolojileri’, PPT, MSB-ArGe, Aralık 2009
- İstanbul Ticaret Odası, “İleri Malzeme Teknolojileri Sektör Raporu”, Mert Özcömert , Ekim 2005
- Coven,R., Ribbon to the Stars, Science News, 2002
- Eker Aysegül Akdoğan ‘İleri Teknoloji Malzemeleri’ , PPT, YTÜ, 2004,
- <http://Nanotechweb.org>
- Rahaman M.N., Ceramic Processing and Sintering,2003
- Saxl, O., Opportunities for Industry in teh Application of Nanotechnology, London Office of S&T, 2000
- <http://www.nano.gov>
- TÜBİTAK, Üretim Süreç ve Teknolojileri Stratejisi, Vizyon 2023 Projesi Üretim Süreç ve Teknolojileri Strateji Grubu, Ağustos 2004, Ankara
- World Trade Organisation, www.wto.org
- Özbay, E. “Günümüzde Nanoteknoloji Uygulamaları”, PPT, Ulusal Elektro-Optik Konferansı, 2 Mayıs 2006
- Özbay, E. “Günümüzde Nanoteknoloji Uygulamaları”, PPT, Ulusal Elektro-Optik Konferansı, 2 Mayıs 2006
- Menceloğlu, Y. ve Kırca M. “Nanoteknoloji Ve Türkiye, TÜSİAD Rekabet Stratejileri Dizisi-11, Kasım 2008

2.2. Hassas Üretim ve Şekillendirme Teknolojileri

2.2.1. Alışılmış ve Alışılmamış(Ntm)⁶³ İmalat Yöntemleri

Üretim yöntemleri birincil ve ikincil üretim yöntemleri olarak ikiye ayrılabilir. Birincil üretim yöntemleri malzemeye temel şekil ve boyut vermede kullanılır. Bunlardan bazıları döküm, şekillendirme ve toz metalürjidir. İkincil üretim yöntemleri ise, son şeklin, boyutun ve yüzey özelliklerinin daha hassas kontrolü için kullanılmaktadır. Malzeme kaldırma işlemleri ağırlıklı olarak ikincil üretim yöntemlerine girmektedir. Malzeme kaldırma işlemleri de Alışılmış (Geleneksel) üretim yöntemleri ve Alışılmamış (Geleneksel) olmayan üretim yöntemleri olmak üzere ikiye ayrılabilir.

Alışılmış üretim yöntemlerine tornalama, kalıplama, frezeleme, şekillendirme, delik açma, taşlama örnek gösterilebilir. Alışılmış yöntemlerin bazı ortak özellikleri şunlardır:

- Gerilme ile talaş kaldırma: Alışılmış süreçlerde talaş kaldırma işlemi, torna klemi, freze bıçağı, taşlama taşı gibi kesici takımlar kullanılarak yapılır. Mekanik kuvvet kullanımı ile malzemede plastik deformasyon ve kayma gerilmeleri yaratılıp talaş kaldırma gerçekleştirilir.
- Kesici takım ile iş malzemesi arasında talaş kaldırma esnasında fiziksel temas ve birbirlerine göreceli hareket.

Alışılmış yöntemlerin bazı avantajları şunlardır:

- Söz konusu yöntemler uzun yıllardan beri kullanıldığından mevcut yüksek teknoloji birikimi.
- Alışılmış yöntemleri kullanan tezgahların basit ama yüksek verimli olması
- Kolay kullanıcı/operatör eğitimi
- Doğal sınırlamaların dışın yüksek esneklik. İlerleyen bilgisayar teknolojisi ile otomasyona uygun tezgah üretiminin mümkün olması

Ancak, alışılmış üretim yöntemlerinin ortak sınırlamaları ve zayıflıkları da vardır. Bunlardan bazıları:

- Kaçınılmaz takım aşınması,
- İş malzemesinin mekanik özellikleri ile sınırlı olan işleme özelliği: Takım malzemesinin iş malzemesinden daha sert ve daha yüksek nitelikli olma zorunluluğu,
- Yüksek dayanımlı malzemeler için yüksek kesme kuvvetlerinin gerekmesi ve bunun neticesinde karşılaşılan hassasiyet sorunları ve tezgah tasarım sınırlamaları,
- İşleme hızının malzeme dayanımı ile ters orantılı olması nedeniyle bu durumun yeni gelişen üstün nitelikli malzemelerin kullanımını kısıtlaması,
- Kesme bölgesindeki ısınmanın işleme hızını sınırlaması,
- Göreceli hareketin düzlemsel/doğrusal ya da dairesel olmasından dolayı iş parçası yüzeylerinin de düzlem ya da silindirik olacak şekilde sınırlı olması, talaş kaldırmanın sadece doğrusal veya dairesel olabilmesi,

⁶³ NTM: Non-traditional machining processes

- Takım titreşiminin yarattığı sorunlar,
- Takım ile malzeme arasındaki fiziksel temas ve kuvvet uygulanma zorunluluğu nedeni ile alışılmış yöntemlerin daha çok orta boyutlu işler için uygun olması, küçük boyutlu işlerde yaşanan güçlük. Halen kesici takımların küçük boyutlarda üretiminin olası olmaması.

Göründüğü gibi, alışılmış üretim yöntemleri uzun yıllardan beri kullanılmalarına rağmen halen bazı uygulama sınırlamaları ve zayıflıkları vardır ve bu yöntemlerin doğası ve malzeme işleme (talaş kaldırma) ilkeleri de dikkate alındığında bu sınırlamaları ve uygulama içindeki zayıflıkları tümüyle ortadan kaldırmak olası görülmemektedir. Bu durum, sınırlama ve zayıflıkları ortadan kaldıracak yeni teknoloji arayışlarına yönelmiş ve alışılmamış üretim yöntemlerinin doğmasına ve gelişmesine neden olmuştur. Alışılmamış üretim yöntemleri, özellikle ikinci dünya savaşından sonra gelişmiş ve yaygın uygulama alanı bulmaya başlamıştır. İlk alışılmamış üretim yöntemleri 1950-1970 yılları arasında doğmuştur. Özellikle elektronik ve bilgisayar teknolojisindeki gelişmelerin, havacılık ve uzay endüstrisinin talepleri sonucunda bugünkü konuma ulaşılmıştır.

Alışılmış talaş kaldırma yöntemleri olarak tornalama, delik delme, frezeleme, taşlama vb, yöntemler anlaşılırken alışılmamış üretim yöntemleri, alışılmış talaş kaldırma işlemlerini kullanmayan imalat yöntemleri olarak tanımlanabilir. Alışılmış yöntemlerden farklı olarak bu yöntemlerde fiziksel temas ve göreceli hareket yerine mekanik kuvvet uygulamadan çeşitli enerji türlerini kullanarak malzeme işlenmesi, aşındırılması ve şekillendirilmesi sağlanmaktadır. Genellikle düşük yoğunluklu enerji dar bir alanda odaklanıp denetlenip işleme olayını gerçekleştirilir ve bunun için uygun bir takım veya odaklayıcı düzen kullanılır. Alışılmamış üretim yöntemlerinin alışılmış yöntemlerden ayıran bazı karakteristik özellikler şunlardır:

- Malzeme kaldırmada talaş oluşumu meydana gelme zorunluluğu yoktur. AJM⁶⁴ örneğinde mikroskobik büyüklükte çipler oluşurken elektrokimyasal işlemede malzeme kaldırma atomik düzeydeki elektrokimyasal çözünme nedeniyle oluşmaktadır.
- Fiziksel bir araç kullanılmadan uygulanabilir. Lazer jet talaşlı imalat örneğinde, işleme lazer ışını tarafından yürütülmektedir.
- Aracın iş parçasından daha sert olması gibi bir şart yoktur. Örnek olarak EDM⁶⁵'de bakır, sertleştirilmiş çeliklerin işlenmesinde kullanılabilir.
- Geleneksel olmayan üretim süreçlerinde malzeme kaldırma için mekanik enerji kullanılması gibi bir zorunluluk yoktur. Mekanik enerjinin kullanıldığı yöntemlerin yanı sıra elektrokimyasal çözünmenin kullanıldığı yöntemler de vardır.

Alışılmamış üretim yöntemlerinin üstünlükleri ve gelişimin nedenleri şu başlıklar altında toparlanabilir:

Malzeme İşlenebilirliği: Metalurji ve malzeme mühendisliğindeki gelişmeler neticesinde alışılmış mühendislik malzemelerinden çok daha iyi özelliklere sahip yeni malzemeler geliştirilmiştir. Bu gelişmeler özellikle elektronik ve havacılık endüstrisinde uygulama alanı bulmuştur. Bu yeni malzemeler alışılmış malzemelere göre daha sert ve daha yüksek mukavemet özellikleri taşımaktadır. Seramik ve seramik tabanlı takım malzemeleri, lif destekli kompozit malzemeler, karbidler, titanyum gibi malzemeler örnek olarak gösterilebilir. Bu yeni malzemelerin alışılmış yöntemlerle işlenmesinde zorluklarla karşılaşılırken alışılmamış üretim yöntemlerinde işleme

⁶⁴ AJM: Abrasive Jet Machining - Aşındırıcı Jet İşleme

⁶⁵ EDM: Electro-discharge machining – Elektro-erozyon

mekanizmasında ısı enerjisi, elektrik enerjisi veya atomik boyutta mekanizmaların kullanılması yeni geliştirilen malzemelerin sertlik, dayanım ve diğer mekanik özelliklerinin istenen seviyede tutulmasını sağlamıştır.

İş Parçası Şekli: Alışılmış imalat yöntemleri kesici takımlara verilen hareketlerin sınırlı olması nedeni ile genel olarak düz yüzey veya silindirik yüzeylerle sınırlıdır. Bu durum tasarım değişiklikleri ile çözülmeye çalışılsa da her zaman için önemli bir sınırlama meydana gelmektedir. Alışılmamış üretim teknikleri uygulandığında dairesel olmayan ve/veya çok küçük boyutlu deliklerin delinmesi, alışılmış yöntemlerle ulaşılamayan alanların işlenmesi, çok küçük boyutlu hacimlerin işlenmesi kolaylıkla mümkün olmaktadır.

Otomatik Veri Aktarımı: Temel olarak mekanik kuvvet uygulaması ilkesine dayanan alışılmış yöntemlerde NC, CNC, CAD/CAM veya CIM gibi çağdaş denetim sistemlerine veri ve bilgi aktarılmasında zorluklar bulunmaktadır. Alışılmamış üretim yöntemleri ise işleme mekanizmaları sayesinde veri aktarımına ve denetimine uygun özellikler taşımaktadır.

Hassasiyet İstemleri: Tasarım mühendisliği ve müşteri istemlerinin eğilimi doğrultusunda giderek daha hassas malzeme işleme mekanizmaları gerekmektedir. Nanoteknoloji olarak bilinen boyutlarda alışılmış yöntemlerin ve hatta bazı alışılmamış yöntemlerin de kullanılma olanağı kalmamakta, bu yöntemlerin yerini atom düzeyinde parçacıkların yer değiştirmesine dayalı yeni alışılmamış hassas işleme yöntemleri almaktadır.

Minyatürleşme: Son yıllarda iş parçası boyutlarının giderek küçülmesi daha az malzeme kullanımına ve daha hızlı işleme yol açmakta, bu sayede imalat maliyetleri azaltıldığı gibi çok daha iyi nitelikli fakat pahalı malzeme kullanma olanağı doğmaktadır. Ayrıca gelişen mikromakineler ile daha önce olanaksız olarak kabul edilen yeni uygulama alanları ve teknolojiler yaratılmıştır. Gelişen duyucu (sensör) teknolojisi ile bu eğilim daha da kuvvetlenmiştir. Bugün çok küçük boyutlu sensörlerin ve motorların mekatronik kavramlar çerçevesinde entegrasyonu ile daha önceleri yapılmı olanaksız kabul edilen birçok ürün geliştirilmiş ve kullanılmaktadır.

2.2.2. Alışılmamış Üretim Yöntemlerinin Sınıflandırması

Malzeme işleme ve şekillendirme amacına yönelik çok sayıda öneriler olmasına karşın bir malzeme işleme tekniğinin alışılmamış üretim yöntemi olarak tanımlanabilmesi için malzeme işleme ilkelerinin farklılığı ile birlikte bu tekniğin ticari düzeyde veya en az uygulama laboratuvarı düzeyinde denenmiş ve uygulanmış olması gerekir. Halen alışılmamış yöntemlerin toplam sayısı 70-80 civarında kabul edilmektedir ve bunlardan 50-55 kadarı laboratuvar aşamasını geçmiş ve endüstride uygulama alanı bulabilmiştir.

Uygulanan tezgâh yapısı, endüstriyel uygulama yaygınlığı gibi çok kesin olmayan farklı sınıflandırma kriterleri olsa da anlaşılabilir ve net olması açısından alışılmamış üretim işlemlerini, malzeme kaldırmada kullanılan enerjinin doğasına göre sınıflandırmak mümkündür:

Mekanik Enerji Kullanılan Alışılmamış Üretim Yöntemleri: Bu yöntemler çoğunlukla aşındırıcı parçacık ve tozların hızlandırılması ile oluşan kinetik enerjinin, çarpma ile gerilme yaratması ve bu gerilmelerin malzeme işleme amacı ile kullanılması ilkesine dayanmaktadır. Ortak işleme ortamı su veya havadır. Tüm mekanik enerjili yöntemler malzemenin iletken ya da yalıtkan olmasından bağımsız olarak işleme olanağı sağlar. Bu özellik, mekanik enerjili yöntemlerinin, elektriksel işleme yöntemlerine göre önemli bir üstünlüğüdür. Mekanik enerjili yöntemlerin

içinde en geniş endüstriyel uygulama alanı bulmuş yöntemler USM (UAM), AWJM, WJM, AJM yöntemleri olarak sıralanabilir. Mekanik enerjinin kullanıldığı yöntemlerle ilgili raporun sonunda (Ek 1) yer almaktadır.

Kimyasal Enerji Kullanılan Alışılmamış Üretim Yöntemleri: Bu yöntemlerdeki ortak özellik, kontrollü kimyasal aşınma ile hassas şekilde malzeme işlenmesidir. Genellikle, aşınması istenmeyen yüzeyler uygun bir koruyucu madde (maske) ile kaplanır. Açıkta kalan yüzeylere aşındırıcı kimyasal sıvı püskürtülür veya iş parçası bu sıvı içine daldırılır. İş malzemesinin sıvı ile temas süresi işleme miktarı ve/veya derinliğini belirler. İşleme hızı genellikle sıvı özelliklerine bağlı olmakla birlikte sıvı yoğunluğu tipik olarak 0.025 mm/dak doğrusal işleme hızları verecek şekilde ayarlanır. Bu grup imalat yöntemlerinin belli başlıca başlıkları Kimyasal İşleme (Frezeleme) (ChM), Fotomiyaselleme (PCM), Kimyasal Partlatma (ELP), ve Isıl Kimyasal İşleme (TCM)'dir.

Elektro Kimyasal Enerji Kullanan Alışılmamış Üretim Yöntemleri: Bu yöntemler elektrolitik bir sıvı içinde bulunan iki iletken elektrodun aşındırılması ilkesine dayanır. Düşük gerilim (6, 12-24 V) ve yüksek akım (1000, 3000, ve daha yüksek A) koşulları uygulanır. Yöntemin çok değişik endüstriyel uygulamaları vardır. Belli başlı başlıklar altında Elektrokimyasal İşleme (ECM), Elektro Kimyasal Taşlama (EKG) ve Elektro Jet Sondaj (EJD) sıralanabilir.

Isı Enerjisi Kullanan Alışılmamış Üretim Yöntemleri: İş parçasından malzeme kaldırmak için için yoğunlaştırılmış ısı enerjisi kullanılmaktadır. Isıl enerji kaynağı olarak elektrik boşalımı, elektron ışını ve lazer ışını gibi yöntemler kullanılmaktadır. Bütün bu yöntemlerde malzeme yüzeyinde oluşan odak noktasında ulaşılan sıcaklıklar, bilinen bütün malzemelerin erime ve buharlaşma sıcaklıklarının çok üzerindedir. Bu nedenle ısı enerjisi kullanan yöntemlerle bilinen bütün malzemelerin işlenmesi mümkündür. Bu gruba giren yöntemler daha fazla çeşitlilik gösterse de özellikle Elektro-Erozyon (EDM) ve Lazer ile İşleme (LBM) yöntemleri öne çıkmaktadır. EBM, ve PAM gibi diğer yöntemlerin de endüstri de uygulama alanları geniştir.

Alışılmamış üretim yöntemlerini Güncel endüstriyel ve teknolojik durumu ve yakın gelecekteki gelişme potansiyeli göz önüne alındığında, EDM ve LBM en önemli iki işleme yöntemi gibi görünmektedir. Ayrıca WEDM, PCM, AJM, WJM kendi uygulama alanlarında çok önemli ve vazgeçilmez yöntemlerdir. Temel ilkeler göz önüne alındığında ise gelecek yıllarda giderek önem kazanma potansiyeli olan yöntemler ise ECM ve diğer elektro kimyasal enerji kullanan yöntemlerdir. PPM ve benzer bazı yöntemler ise tümüyle firma tekelinde görülmektedir. AFM benzeri yöntemler ise özel uygulamalarda çok başarılı olmuşlar ancak bu uygulamalar ile sınırlı kalmışlardır.

Alışılmamış üretim yöntemlerini endüstriyel uygulamalardaki yaygınlıklarına göre şu şekilde sınıflandırmak mümkündür:

Endüstride çok yaygın olarak kullanılan	Endüstride daha az kullanılan yöntemler	Özel işler için kullanılan yöntemler
AJM, WJM, USM, ECG, ECM, CHM, PCM, EDM, WEDM, LBM, EBM, PAM	TAM, HDM, AWJM, RUSM, ECD, ECG, ECDG, ECH, ECP, ECS, ECT, ES, STEM, EBM, EDG, LBT.	PPM, EEM, LSG, TFM, AFM, ELP, TCM, EDS.

Alışılmamış üretim yöntemlerinden öne çıkan EDM ve LBM yöntemlerinin üzerinden genel olarak geçmek faydalı olacaktır:

EDM: EDM yönteminin en önemli özelliklerinden birisi, işlenen malzemenin mekanik özelliklerinden bağımsız uygulanabilir olmasıdır. Yöntemde, elektrot ve iş parçasına gerilim uygulandığında elektrottan (katot) kopan elektronlar iş parçasına doğru ivmelenerek ilerler. Elektronların hareketi dielektrik içerisinde bir sızıntı akımı oluşturur ve bu bölgedeki dielektrik sıvıyı buharlaştırır. Buharlaşan sıvı içerisinde akım hızla artar ve sonunda elektrotla iş parçası arasında bir plazma kanalı oluşur. Bu kanal, yüksek sıcaklık sebebiyle gerek iş parçasından gerekse takımdan malzeme eritir. Plazmanın sönmelerini takiben buharlaşmanın tamamı ergiyiğin bir kısmı dielektrik sıvıya karışır. Böylece, elektrot ve iş parçası yüzeyinde küçük bir 'oyuk' oluşur. Çok sayıda plazma kanallarından oluşan oyuklar yüzeyin işlenmesini sağlar. Anlatılan işlemlerin tersine iş parçası (katot, +) ve elektrot (anot, -) olarak yüklenerek elektro erozyon işlemi yapıldığında ise iş parçası yüzeyinde oluşan 'oyuk' büyüklükleri azalır ve yüzey pürüzlülüğü de geri düşer.

LBM: Lazer ışını demeti işleme (LBM), istenmeyen malzemenin buharlaşması için tutarlı bir ışık demetinin uygulanmasıyla gerçekleştirilir. LBM, özellikle doğru yerleştirilmiş delik açmak için uygundur. Seramik, silikon, elmas ve grafit gibi tüm mikroelektronik yüzeyler üzerinde hassas işleme için kullanılabilir. Mikroelektronik işlemeye örnek olarak, kesme, tüm yüzeylerde delme, cam veya plastik görüntüler desenlendirme ve yarı iletken çip kesme verilebilir.

MEMS - Mikro Elektro-Mekanik Sistemler: Mikro-elektro-mekanik sistemler (MEMS) küçük ölçekli elektro-mekanik düzeneklerin ve sistemlerin incelendiği disiplinler arası bir bilim dalıdır. İlgili sistemlerin karakteristik boyutu çoğunlukla birkaç mikrondan (μm) birkaç cm'ye kadar değişmektedir. Literatürde mikro-mekanik sistemler, mikro sistem teknolojisi (MST) ve mikro-mühendislik gibi isimlerle de anılmaktadır. Kimi bilimsel çevrelerde, bu bilim dalı nano-teknoloji olarak da anılmaktadır. Ancak nano-teknoloji çoğunlukla bir nanometreden bir mikrona kadar değişen boyuttaki sistemleri kapsar ve MEMS'in aksine, ilgilendiği sistemleri atomik seviyeden başlayarak oluşturmaya çalışır. Mikro-elektro-mekanik sistemler (MEMS) günümüzde var olan mekanik ve elektrik sistemlerin entegre ve minyatürize versiyonları olup mikron boyutlarında olan bu sistemleri, nanoelektromekanik sistemler (NEMS) vasıtası ile nanoteknoloji uygulamaları için de kullanmak mümkündür. MEMS kavramının ortaya çıkması esas olarak entegre devre çalışmalarında yaşanan gelişmelerin ışığında olmuştur. Kalıba alma, kaplama teknolojileri, ıslak oyma metodları, kuru oyma metodlarında yaşanan gelişmeler mikro aygıt yapımını mümkün kılmıştır. Mikro-elektro-mekanik sistemlerin boyutları 1 ile 100 mikrometre arasında değişim gösterir. Bu küçük boyutlarda standard fizik kuralları genellikle geçersizdir. MEMS yapılarında yüzey alanının hacime oranı oldukça yüksektir bu sebep ile yüzey etkileri (elektrostatik kuvvetler, ıslatma) hacim etkilerine (eylemsizlik, termal kütle) baskın gelir.

Son olarak hızlı prototipleme (rapid prototyping) tekniğine değinmek yerinde olacaktır. Bilgisayarda çizilen tasarımların seri üretime geçmeden önce prototiplerinin hazırlanması ve bu prototiplerin çeşitli testlerden geçmesi gerekmektedir. Bu süreç geleneksel yöntemlerle yapıldığında günler hatta haftalarca sürebilir. Hızlı prototiplemede ise, saatler içinde bilgisayarda hazırlanan üç boyutlu CAD çizimlerinden direkt olarak elle tutulur birebir fiziksel modeller elde edilebilmektedir. Bu yöntemde fiziksel modeller tabandan başlayarak katman katman yüzeylerin üst üste eklenmesiyle oluşturulmaktadır. Yöntemle elde edilen prototipler hem görsel hem de fonksiyonel açıdan test edilebilirler. Olası tasarım değişikliklerine bu prototipler üzerinden karar verilerek gerekli değişiklikler süratle uygulanabilir.

2.2.3. Alışılmamış İmalat Yöntemleri Kullanım Ölçütleri;

Alışılmamış Üretim Yöntemleri, alışılmış yöntemlere göre daha pahalı ve kullanımı özel uzmanlık isteyen yöntemlerdir. Bu nedenle alışılmamış imalat yöntemlerinin kullanımına karar verilebilmesi için aşağıdaki ölçütlerden en az birinin sağlanması gerekir.

- Sert, yüksek dayanç veya kırılmalık gibi mekanik özellikler,
- Karmaşık geometri, küçük boyut ve yüksek hassasiyet,
- Olağan iş parçalarına göre çok küçük boyutlar.

2.2.4. Sonuç ve Türkiye’de Durum

Alışılmamış Üretim Yöntemleri, çağdaş imalat mühendisliği uygulamasında sağladıkları geometrisel ve boyutsal avantajlar ve esnek üretim sistemlerindeki gelişmelere paralel şekilde giderek gelişmekte ve yaygınlaşmaktadır.

Ülkemizde bu teknolojiler henüz çok yaygın değildir. Ancak ülkemizde belli bir kapasiteye sahip havacılık, otomotiv, savunma, tıbbi cihaz, optik ve mikro elektronik paketleme endüstrilerinde özellikle Orta (500 µm-10 mm) ve mikro ölçeklerde (0.1-500 µm) ve üstün yüzey kalitesine sahip ürünlere olan talep her geçen gün artmaktadır. Otomotiv gibi sektörlerde Mekanik parçalar yerine elektrik-elektronik-mekatronik parçaların kullanımının artması ve mekatronik elemanların hassas üretim metotları ile üretilmesi zorunluluğu söz konusu talebi ayrıca arttırmaktadır. Hızlı prototipleme giderek yaygınlaşan bir imalat yöntemi haline gelmiştir. Metal, polimer ve seramik gibi malzemelerden imal edilmiş fonksiyonel minyatür parçaların seri üretimi konusundaki çalışmalar hızla devam etmektedir. Mikro üretim işlemleri, mikro fabrikasyon için malzemeler, minyatür işleme merkezleri, enstrümantasyon ve ölçme stratejileri konularında özellikle aşağıdaki kapsamlarda hassas üretim teknolojilerinde önemli gelişmeler olmaktadır:

- Mikro işleme teknikleri
- Mikro şekil verme
- Malzemelerin mikro seviyede işlenebilirlikleri
- Mikro kalıp tasarımı ve üretimi
- Mikro üretim tekniklerinin modellenmesi ve benzetimi
- Minyatür işleme merkezlerinin tasarımı ve kurulumu
- Olanak veren teknolojiler: metroloji, sensörler, izleme ve kontrol
- Mikro montaj ve mikro fabrikalar

Ülkemizde de, yukarıda belirtilen sektörler başta olmak üzere hassas üretim teknolojileri giderek yaygınlaşmaktadır. Bu gelişmelere paralel olarak hassas üretim ve hassas ölçüm yapacak cihazların üretilmesi, gerekli şekilde kalibre edilmesi giderek önem kazanan bir husustur ve halen ülkemizde bu konuda bazı eksiklikler görülmektedir.

Teşekkür: Çalışmanın bu bölümünde, ATILIM ÜNİVERSİTESİ MEKATRONİK/ÜRETİM Mühendisliği Bölümü'nden Öğretim Üyesi Prof. Dr. Abdülkadir Erden'in Alışılmamış (Geleneksel Olmayan) İmalat Yöntemleri çalışmasından büyük ölçüde yararlanılmıştır. Dokümanın hazırlık aşamalarında görüştüğümüz Orta Doğu Teknik Üniversitesi'nden Prof. Dr. S.Engin KILIÇ, Prof.Dr. Mustafa İlhan GÖKLER, Yrd. Doç. Erhan İlhan KONUKSEVEN'e katkılarından dolayı teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- Erden, A. 'Alışılmamış (Geleneksel Olmayan) İmalat Yöntemleri'
- Salman Ö, Kayacan M. Cengiz. 'Sertleştirilmiş Toz Metal Malzemenin EDM ile İşlenmesiyle Oluşan Yüzey Pürüzlülüğünün İncelenmesi'
- IIT Kharagpur. 'Module 9 Non-Conventional Machining Version 2 ME'
- <http://www.kocaeli.abigem.org>
- www.engineershandbook.com

Ek 1. Hassas Üretim Yöntemlerine İlişkin Kısaltmalar

Üretim Yöntemi	Simge	İngilizce isim
Aşındırıcı Akış ile işleme	AFM	Abrasive Flow Machining
Aşındırıcı Jet ile işleme	AJM	Abrasive Jet Machining
Basınçlı Su Jeti ile işleme	WJM	Water Jet Machining
Hidrodinamik işleme	HDM	Hydrodynamic Machining
Aşındırıcı Su Jeti ile işleme	AWJM	Abrasive Water Jet Machining
Aşındırıcı Su Jeti ile Tornalama	AWJT	Abrasive Water Jet Turning
Düşük Gerilmeli Taşlama	LSG	Low Stress Grinding
Sünek ilerlemeli Taşlama	CFG	Creep Feed Grinding
Isıl Yardımlı İşleme	TAM	Thermally Assisted Machining
Tümden Şekil İşleme	TFM	Total Form Machining
Ultrasonik (Ses Ötesi) İşleme	USM	Ultrasonic Abrasive Machining
Dönel Ultrasonik İşleme	RUM	Rotary Ultrasonic Machining
Toz Parçacıkları ile işleme	PPM	Powder Particle Machining
Elastik Emisyon ile işleme	EEM	Elastic Emission Machining
Manyetik Aşındırıcı Toz ile Parlatma	MAP	Magnetic Abrasive Polishing
Elektro Kimyasal İşleme	ECM	Electrochemical Machining
Elektro Kimyasal Çapak Temizleme	ECDB	Electrochemical Deburring
Elektro Kimyasal Delik Delme	ECD	Electrochemical Drilling
Elektro Kimyasal Taşlama	ECG	Electrochemical Grinding
Elektro Kimyasal Erozyon Taşlama	ECDG	Electrochemical Discharge Grinding
Elektro Kimyasal Honlama	ECH	Electrochemical Honing
Elektro Kimyasal Lepleme	ECL	Electrochemical Lapping
Elektro Kimyasal Parlatma	ECP	Electrochemical Polishing
Elektro Kimyasal Bileme	ECS	Electrochemical Sharpening
Elektro Kimyasal Dilme	ECS	Electrochemical Slitting
Elektro Kimyasal Tornalama	ECT	Electrochemical Turning
Elektro Kimyasal Sıvı Jeti	ES	Electrochemical Stream
Şekli Boru ile Elektrolitik İşleme	STEM	Shaped Tube Electrolytic Machining
Telli Elektro Kimyasal Kesme	WECM	Wire Electrochemical Machining
Vurumlu Elektro Kimyasal İşleme	PECM	Pulsed Electrochemical Machining
Telli Elektrokimyasal Erozyon İşleme	WECDM	Wire Electrochemical Discharge Machining
Elektro Parlatma	ELP	Electro-Polishing
Kimyasal İşleme (Frezeleme)	CHM	Chemical Machining (Milling)
Fotokimyasal İşleme	PCM	Photochemical Machining
Kimyasal Boşaltma	CHB	Chemical Blanking
Kimyasal Dağlama	CHE	Chemical Etching
Isıl Kimyasal İşleme	TCM	Thermo Chemical Machining
Lazer Yüklü Kimyasal İşleme	LCP	Laser Loaded Chemical Machining
Patlamalı Kimyasal İşleme	CM	Combustion Machining
Isıl Enerji Yöntemi	TEM	Thermal Energy Method
Elektron Işını ile İşleme	EBM	Electron Beam Machining
Elektro Erozyon ile İşleme	EDM	Electric Discharge Machining
Elektro Erozyon ile Taşlama	EDG	Electric Discharge Grinding
Elektro Erozyon Testere	EDS	Electric Discharge Sawing
Telli Elektro Erozyon ile Kesme	WEDM	Electric Discharge Wire Cutting
Dönel Elektro Erozyon	REDM	Rotary Electric Discharge Machining
Lazer Işını ile İşleme	LBM	Laser Beam Machining
Lazerli Hamaç	LBT	Laser Beam Torch
Lazer Yüklü Kimyasal İşleme	LCP	Laser Induced Chemical Processing
Plazma ile İşleme	PAM	Plasma Beam (Arc) Machining
Plazma Yardımlı İşleme	PaM	Plasma Assisted Machining
Elektro Temas ile İşleme	ECM	Electro Contact Machining
İyon Işını ile İşleme	IBM	Ion Beam Machining
İyon Işını ile Sıçratma İşleme	IBSM	Ion Beam Sputter Machining
Tepkimeli İyon Işını ile İşleme	RIBE	Reactive Ion Beam Etching
İyon Işını ile Tohumlama	IBIP	Ion Beam Implantation Process

Bu tablo, Atılım Üniversitesi Mekatronik/Üretim Mühendisliği Bölümü'nden Öğretim Üyesi Prof. Dr. Abdülkadir Erden'in Alışılmamış (Geleneksel Olmayan) İmalat Yöntemleri çalışmasındaki çizelge 1'den faydalanılarak oluşturulmuştur.

TÜRKİYE TEKNOLOJİ GELİŞTİRME VAKFI

İLERİ TEKNOLOJİ PROJELERİ ÇALIŞMASI

BÖLÜM 3 YENİLENEBİLİR ENERJİ ÜRETİM, DEPOLAMA VE DAĞITIMINA YÖNELİK TEKNOLOJİLER

Hazırlayanlar:

Deniz BAYHAN
Serkan BÜRKEN
Ayşe KAYA DÜNDAR
Kemal İŞİTAN
Ferda ULUTAŞ

AĞUSTOS-2010

ANKARA

3. Yenilenebilir Enerji Üretim, Depolama ve Dağıtımına Yönelik Teknolojiler

3.1. Giriş

1970'lerde yaşanan enerji krizi, özellikle enerji açısından dışa bağımlı olan Avrupa ülkeleri, ABD ve Japonya gibi ülkelerde enerji korunumu, tasarrufu ve yeni kaynak arayışlarını gündeme getirmiştir. Ayrıca endüstri devrimiyle başlayan ağır fosil yakıt bağımlılığı nedeniyle ortaya çıkan sera etkisi, dünyanın ortalama sıcaklığını tehlikeli bir biçimde artırmaya başlamış, petrol, kömür ve doğalgaz gibi fosil yakıtların kullanımı sonucu atmosferde başta karbondioksit olmak üzere, sera etkisi yapan gazların miktarı hızla artmıştır.

Yenilenebilir enerji ile ilgili ilk politikalar 1987 yılında Birleşmiş Milletler Çevre ve Kalkınma Dünya Komisyonu tarafından tanımlanan "sürdürülebilir kalkınma" kavramı ve 1992 yılında imzaya açılan Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi ile gündeme gelmiştir. Bu tarihten itibaren sürdürülebilirliğin sağlanması enerji sektörünün bir önceliği olmuş, yenilenebilir enerji kaynaklarına öncelik verilmiş ve bu sayede yenilenebilir enerji teknolojilerinde önemli gelişmeler sağlanmıştır. Günümüzde dünyanın birçok ülkesinde "enerji arz güvenliği", "enerjinin çeşitlendirilmesi", "enerjide ithalat bağımlılığının azaltılması", "iklim değişikliği ile mücadele", "istihdam yaratma" gibi yararları ile gittikçe daha fazla kullanılmaya başlanmıştır.

Yenilenebilir enerji piyasaları 1990'lı yıllardan beri güçlü bir şekilde büyümesini sürdürmektedir. Ülkeler ve kullanılan kaynaklar dağılımında ciddi farklılıklar olmamasına rağmen, küresel enerji talebinin yaklaşık sekizde biri, toplam enerji üretiminin de %18,3'ü yenilenebilir enerji kaynakları ile karşılanmaktadır⁶⁶. Yenilenebilir olarak adlandırılan rüzgâr, güneş, jeotermal, biyoenerji, küçük hidroelektrik santraller ve okyanus enerji kaynakları kurulu güç kapasitesi 2008 yılı sonunda toplam 280 GW'a ulaşmıştır. Yürütülen politikalar sayesinde 2010 yılı hedeflerine yakın görülen Avrupa Birliği, enerji sektöründeki yenilenebilir enerji payını 2020 yılında %20'ye, 2040 yılında ise %50'ye çıkarmayı hedeflemektedir.

Uluslararası Enerji Ajansı'nın (IEA) hazırladığı "Dünya Enerjisine Bakış-2009" adlı raporda fosil esaslı yakıt fiyatlarının yüksekliği, enerji güvenliği ve iklim değişikliği öncelikleri nedeniyle, 2030 yılı itibarıyla küresel enerji tüketiminde yenilenebilir enerjinin oranının 2007'deki %18 değerinden 2030 yılında %22'ye çıkacağı öngörülmektedir. Makower vd. (2009)'nin yapmış olduğu projeksiyona göre yenilenebilir enerjilerin pazar payları önümüzdeki 10 yıl sonunda toplam 325,1 milyar dolara ulaşacaktır. Geleceğin en önemli üç yenilenebilir enerji endüstrisi olarak görülen rüzgar gücünün, biyoyakıtların ve güneş pilinin üretim değerlerinin sırasıyla; 139,1 milyar dolar, 105,4 milyar dolar ve 80,6 milyar dolar olması beklenmektedir (Makower vd., 2009: 2)⁶⁷. Greenpeace ve EREC (Avrupa Yenilenebilir Enerji Konseyi) tarafından Ocak 2007'de hazırlanan raporda da; eğer doğru politikalar uygulanırsa 2050 yılı itibarıyla küresel enerji ihtiyacının yarısının yenilenebilir enerjiler tarafından sağlanabileceği ifade edilmektedir.

Türkiye'de yenilenebilir enerji kaynaklarına yapılan yatırımlar 2005 yılından sonra hızla artış göstermekle birlikte, hidroelektrik santralleri hariç toplam kurulu güç içerisinde hala çok düşük (%2,6) seviyelerdedir. Ayrıca toplam kurulu güç içerisinde şebekeye bağlı güneş santralleri yer almamaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları açısından oldukça şanslı olan Türkiye'nin fosil kaynak bağımlılığını azaltması ve temiz enerji tüketmesi için enerji portföyünü yenilenebilir enerjilere doğru kaydırması gerekmektedir. Ancak bunu yaparken yenilenebilir enerji teknolojilerinin Türkiye'ye istihdam ve katma değer yaratmasına da önem verilmelidir.

TTGV, yenilenebilir enerji üretim, depolama ve dağıtımına yönelik teknolojilerin yerli olarak üretilmesini sağlamak üzere bu alanda Türkiye için kritik ve başarı şansı yüksek olabilecek araştırma,

⁶⁶ International Energy Agency (IEA), "Renewables in global energy supply, fact sheet", OECD/IEA, Paris 2007

⁶⁷ Yenilenebilir Enerji Kaynakları: Dünya Piyasalarındaki son gelişmeler ve politikalar (Dr. Hakan Kum, Kasım 2009)

geliştirme ve yenileşim önceliklerini belirleme amacıyla bir çalışma yürütmektedir. Bu çalışmada yenilenebilir enerji üretim, depolama ve dağıtımına yönelik teknolojiler kapsamında kavramsal bir çerçeve oluşturulmaya çalışılmış, ardından dünyadaki ve ülkemizdeki durumla ilgili bazı bilgiler sunularak, Türkiye için kritik ve başarı şansı yüksek olabilecek yenilenebilir enerji uygulamaları önerilmiştir.

3.2. Kavramsal Çerçeve

Yenilenebilir enerji (YE) sürekli devam eden doğal proseslerdeki var olan enerji akışından elde edilen enerjidir. Yenilenebilir enerji kaynağı ise enerji kaynağından alınan enerjiye eşit oranda veya kaynağın tükenme hızından daha çabuk bir şekilde kendini doğal olarak yenileyebilmesi ile tanımlanır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından enerji üretiminde farklı yöntemler kullanılmaktadır. Kullanılan yöntemlerin uzun yıllardır biliniyor olmasına bağlı olarak, yenilenebilir enerjiler “geleneksel ve yeni” olarak ikiye ayrılır. Odun, bitki ve diğer organik maddelerin geleneksel yollarla yakılmasını içeren geleneksel biyokütle ve büyük hidrolik enerji “geleneksel yenilenebilir kaynakları” olup, bu kaynaklardan uzun yıllardan beri yararlanılmakta ve dünya enerji tüketiminde belli bir yer tutmaktadır. Güneş, rüzgâr, modern biyokütle veya biyoenerji (enerji ormancılığı, ağaç ve orman endüstrisi atıkları, hayvansal atıklar ve kentsel atıkların işlenerek sanayi, ulaştırma ve ticaret sektöründe kullanılması), küçük hidrolik, gel-git/akıntı, dalga, okyanus ve jeotermal enerji ise “yeni yenilenebilir enerji” kaynakları olarak isimlendirilmektedir.

Türkiye’deki potansiyel de göz önünde bulundurularak raporda aşağıdaki yenilenebilir enerji kaynakları ele alınmıştır:

- Hidrolik Enerji
- Rüzgar Enerjisi
- Güneş Enerjisi
- Jeotermal Enerji
- Biyoenerji

Yenilenebilir enerji kaynakları ve bu kaynaklardan üretilen enerjinin depolama, iletim ve dağıtım ile ilgili kavramsal tanımlama aşağıda yapılmış, bu teknolojiler ile ilgili öne çıkan araştırma ve geliştirme (Ar-Ge) önceliklerine bir sonraki bölümde yer verilmiştir.

3.2.1. Hidrolik Enerji

Yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan hidrolik enerji veya hidroelektrik en eski enerji kaynaklarından biridir. Hidrolik enerji kaynağı sudur. Sudan elde edilen enerjinin birçok türü mevcuttur. Bunların en başında yer alan hidroelektrik santralleridir (HES). HES’lerin ana bölümleri cebri borular, hidrolik türbinler, jeneratörler, transformatörler, regülatörler ile su akışını ve elektrik dağıtımını denetleyen yardımcı donanımlardır.

Hidrolik santrallerde en kritik bileşen türbindir. Hidrolik türbin, suyun hidrolik enerjisini döner çarklar (rotorlar) yardımıyla mekanik enerjiye çeviren makinalardır. Hidrolik türbinler “reaksiyon türbinleri” ve “aksiyon türbinleri” olmak üzere iki ana gruba ayrılırlar.

Reaksiyon tipi türbinlerde, türbin rotoru kanatçıkları arasındaki suyun giriş basıncında bir düşüş meydana gelir. Su basıncında meydana gelen bu düşüş, suyun ivmelenmesini sağlar. Francis tipi hidrolik türbinler ile Kaplan tipi hidrolik türbinler reaksiyon türbinleri grubuna girmektedir. Hidrolik türbinlerin kullanım alanları hidrolik düşü ve türbinden geçecek su debisine göre değişmektedir. Kaplan tipi hidrolik türbinler yüksek su debilerinde ve düşük düşülerde, Francis tipi hidrolik türbinler ise genel olarak orta yükseklikteki su düşülerinde ve orta değerlerdeki su debilerinde kullanılırlar.

Aksiyon tipi türbinlerde, suya daralan bir boru sisteminden (nozul) geçirilerek hız kazandırılır ve su jeti oluşturulur. Türbin çarkı üzerinde çukur çanak şeklindeki kanatlara su jetinin çarparak su hızının değişmesi sonucu türbinin dönmesi sağlanır. Bu sistemde çark kanatlarında basınç değişimi ortaya çıkmaz ve türbin kapalı bir ortama gereksinim duymaz. Pelton ve Michell-Banki (Crossflow ya da Ossberger türbini) tipi türbinler bu gruba girmektedir. Pelton tipi hidrolik türbinler, çok yüksek hidrolik düşümler ve küçük su debileri, Michell-Banki ise genellikle düşük güçteki nehir tipi santrallerde tercih edilmektedirler.⁶⁸

Hidrolik santrallerde barajın yapılması oldukça zahmetli ve maliyeti yüksek bir süreç gerektirmektedir. Fakat bütün bu dezavantajına rağmen HES yapımı tamamlandıktan sonra enerji üretim maliyeti çok düşüktür. Ayrıca HES'lerin sel ve taşkınları önleme, tarım arazilerini sulama, erozyonu önleme gibi ait oldukları habitata faydalı özellikleri de mevcuttur. Fosil yakıtlı santraller kadar çok hava ve çevre kirliliği yaratmamakla birlikte, doğal çevreye olumsuz etkileri olduğu konusunda bazı eleştiriler de bulunmaktadır. Büyük hidroelektrik santralleri de yenilenebilir enerji kaynağı olarak sınıflandırılmakla birlikte önemli çevresel sorunları yaratabilmekte ve "yeşil" enerji olarak adlandırılmamaktadır.

Hidroelektrik santral teknolojileri belli bir olgunluk seviyesine gelmiş olsa da son zamanlarda özellikle AB ülkelerinde **küçük hidroelektrik santral** kavramı gelişme göstermiştir. Bunda amaç küçük akarsulara sabit yatırım miktarı az, fakat verimli HES'ler kurabilmektir. Verimliliği üst seviyede olan jeneratörlerle çalışacak bu HES'ler düşük debideki sudan enerji elde etmek üzerine tasarlanmaktadır.

3.2.2. Rüzgar Enerjisi

Rüzgar enerjisi, rüzgarı oluşturan hava akımının sahip olduğu hareket (kinetik) enerjisidir. Rüzgar türbinleri rüzgardaki kinetik enerjiyi önce mekanik enerjiye daha sonra da elektrik enerjisine dönüştüren sistemlerdir. Bir rüzgar türbini genel olarak kule, jeneratör, hız dönüştürücüleri (dişli kutusu), elektrik-elektronik elemanlar ve pervaneden oluşur. Rüzgar türbinlerinde senkron sistemler de kullanılmaktadır. Senkron rüzgar türbinlerinde dişli kutusu yerine çok kutuplu alternatörler kullanılmaktadır. Rüzgar türbinleri çeşitli özelliklerine göre (ölçek, rotor çapı, güç gibi) sınıflandırılabilirler. Dönme eksenine göre de rüzgar türbinleri üçe ayrılır:

a) Dikey/düşey eksenli rüzgar türbini: Bu tip türbinde kanatlar yere dik olan bir eksen üzerinde yer almaktadır, türbin mili düşeydir ve rüzgarın geliş yönüne diktir. Ayakta durabilmesi için tellerle yere sabitlenmesi gereken bu rüzgar türbini tipi düşük bir verime (yaklaşık %35) sahiptir ve emniyeti göreceli olarak daha azdır. Daha çok deney amaçlı üretilmiştir. Başarılı bir ticari uygulamasına rastlanmamıştır.

b) Yatay eksenli rüzgar türbinleri: Ticari amaçlı türbinlerin hemen tamamı bu gruba girmektedir. Bu tip rüzgar türbinlerde yere dikey bir kulenin üzerinde yere paralel döner bir göbek (hub) mevcuttur ve rotor bu döner tabla üzerine yerleştirilmiştir. Bu şekildeki türbinlerden enerji üretiminde verim alınabilmesi için rüzgarın geliş yönü, dolayısıyla kule ve kanatlardaki esneme önem kazanmaktadır. Bu türbinlerin betz verimi yaklaşık %45-55'dir. Kapasite faktörü (emre amadelik) ise %30-35 arasındadır.

Yatay eksenli türbinlerin iki ve üç kanatlı olmak üzere iki yaygın çeşidi bulunmaktadır. Günümüzde en çok kullanılan tip olan üç kanatlı yatay eksenli rüzgar türbinlerinin üretim verimleri daha yüksektir, daha estetik görünümü vardır, daha az ses yapar ve daha az kuş ölümüne sebep olurlar. Rüzgar türbini tasarımında önemli noktalar şunlardır:

- Kanat Konstrüksiyonu: Bir rüzgar türbini kanadının düşük ağırlıkta, güçlü, ucuz ve yorulma karakteristiğinin iyi olması beklenir. Rüzgar türbin kanatlarının üretiminde polimerik kompozit

⁶⁸ Hidroelektrik Santrallerin Modellenmesi, Ebru Özbay, Muhsin Tunay Gençoğlu, 5.Yenilenebilir Enerji Sempozyumu, Diyarbakır, 2009

teknolojisinden yararlanılmakta olup genellikle takviye malzemesi olarak dokunmuş cam elyafı, polimer matriks olarak epoksi reçine ve sandviç yapılar kullanılmaktadır. Küçük ölçekli türbinler fiberglas, alüminyum ya da lamine edilmiş ahşap malzemededen yapılabilir.

- Göbek (hub): Göbeğin türbin içindeki görevi rotoru bir arada tutmak ve rüzgardan elde edilen hareket enerjisini aktarma organlarına iletmektir. Göbek tasarımında kanatların nasıl bağlanacağı, bağlantının esnek yoksa sabit mi olacağı gibi konular tasarım sürecinde önem kazanmaktadır.
- Aktarım elemanları: Rotordan gelen enerjiyi jeneratöre iletirler. Mekanik ve doğrudan tahrik (direct drive) olmak üzere iki çeşidi mevcuttur.
- Rotor kontrolü: Kanat ve göbekten oluşan rotorun rüzgar yönüne göre kontrolü türbin verimini etkileyen önemli bir konudur.
- Kule: rotoru tutan bu türbin elemanının rüzgar estiğinde üzerinde oluşacak kuvvete karşı esnemesi ve yaşayacağı sehim önem kazanmaktadır.

c) Eğik eksenli rüzgar türbini: Dönme eksenleri düşeyle, rüzgar yönünde açı yapan rüzgar türbinleridir. Bu türbinlerin kanatları ile dönme eksenleri arasında belirli bir açı bulunmaktadır. Yaygın bir kullanım alanı yoktur.

Ekonomik ve çevresel nedenlerle rüzgar türbinleri genellikle gruplar halinde inşa edilmektedir. Bunlara “rüzgar çiftlikleri” denilmektedir. Büyük bir rüzgar çiftliği çok sayıda (düzinelerce) rüzgar türbinlerinden (yaklaşık 100 adet) oluşabilir. Bir rüzgar türbini “off-shore” (deniz üstü) olarak adlandırılan okyanus yüzeylerine de montajlanabilirler. Okyanuslarda kurulan rüzgar türbinlerinin güçlü esen rüzgar avantajı bulunmaktadır. Ancak açık denizlerdeki kesintisiz ve yüksek rüzgar hızları, deniz kaynaklı olarak çıkan korozyon sorunları ve yüksek derinlikler nedeniyle off-shore sistemlerde kullanılacak türbin komponentlerinin karakteristikleri karadaki sistemlerden farklıdır. Bu nedenle rüzgar ölçümleri büyük önem kazanmıştır. Ayrıca bu türbinlerin montaj, bakım ve işletme masrafları karadaki türbinlere göre daha pahalı ve zor olmaktadır.

3.2.3. Güneş Enerjisi

Güneş enerjisi bilinen en eski ve en temel enerji kaynağıdır. Güneş ışığından enerji elde edilmesine dayalı bir teknolojidir. Dünya yüzeyine gelen toplam güneş enerji miktarı, dünyanın toplam enerji ihtiyacının binler mertebesinde katıdır. Fiziksel potansiyelden çok daha düşük olmakla birlikte tahmin edilen toplam teknik potansiyel günümüzün enerji tüketiminin 40 katıdır⁶⁹.

Güneş ışınlarından yararlanmak için pek çok teknoloji geliştirilmiştir. Bu teknolojilerin bir kısmı güneş enerjisini ışık ya da ısı enerjisi şeklinde doğrudan kullanırken, diğer teknolojiler güneş enerjisinden elektrik elde etmek şeklinde kullanılmaktadır. Güneş enerjisinin ısı enerjisi olarak pratikte kullanım olanakları evlerde sıcak su, ısıtma, soğutma; endüstride proses ısısının elde edilmesi; tarımda sulama, kurutma ve pişirme olarak özetlenebilir.

Güneş enerjisini elektrik ve ısıya dönüştürme sürecinde kullanılan teknolojiler yüksek nitelikli teknolojiler olarak sınıflandırılmaktadır. Güneş enerjisi teknolojileri yöntem, malzeme ve teknolojik düzey açısından çeşitlilik göstermekle birlikte iki ana gruba ayrılırlar: düşük sıcaklık sistemleri ve yoğunlaştırıcı sistemlerden oluşan “ısı güneş teknolojileri” ve yüzeylerine gelen güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren fotovoltaik piller de denen “güneş pilleri”.

Güneş enerjisi maliyetlerinin önümüzdeki 10-15 yıl içerisinde sürdürülen Ar-Ge çalışmaları sonucunda ucuzlaması beklenmektedir. 2 yıl önce 6-7 milyon Euro/MW’a kurulan santraller şu anda 1,5-2,5

⁶⁹ de Vries, B., D. van Vuuren, M. M. Hoogwijk. Renewable energy sources: Their global potential for the first-half 21st century at a global level: An integrated approach. Energy Policy 35: 2590–2610 de Vries et al. 2007

milyon Euro/MW'a kurulabilmektedir. Güneş-PV teknolojisi ile elektrik üretim maliyetleri Avrupa'da 18-25 eurocent/kWh; ABD'de ise 12-20 eurocent/kWh düzeyindedir. Maliyetler kullanılan teknolojinin verimliliği ve maliyeti, bölgenin aldığı güneş enerjisi miktarı, sunulan teknolojinin kurulum maliyeti, bölgesel satış hacmi ve devletin sağladığı diğer teşvik ve kredilere bağlı olarak değişmektedir.

3.2.3.1. Fotovoltaik Sistemler

Fotovoltaik sistemlerin fiyatları son 5 senedir düzenli olarak düşmektedir. Şu anda modül fiyatları 2,60-3,30 \$/watt düzeyindedir. Şebekeye dahil edildiklerinde fiyatları 8-10 \$/watt seviyesine çıkmaktadır. Gelecekte 0,25-0,35 cent/kWh fiyata sahip olması beklenmektedir. Fotovoltaik teknolojilerin dört kuşağa ayrıldığı kabul edilir. Bu kuşaklar, ilgili teknolojiler ve özellikleri şöyledir:

Tablo 3.1. Fotovoltaik Kuşaklar

Kuşak	Teknoloji	Avantaj	Dezavantaj
1	Tek Kristalli Silikon/Silisyum Levha (C-Si)	- Geniş spektral emme aralığı - Yüksek taşıma kapasitesi	- Pahalı üretim teknolojilerine ihtiyaç duyulması - Yüksek enerjili fotonların çoğundan, enerjinin ısıya dönüşmesi nedeniyle yararlanılamaması
2	İnce film: - Amorf silikon (a-Si) - Çoklu kristalli silikon - Kadmiyum tellür (Cd-Te) - Bakır indiyum galyum diselenit (CIGS) alaşımı	- Düşük üretim maliyeti - Azaltılmış kütle - Çatılara yerleştirilme kolaylığı - Panellerin hafif ya da esnek malzemeler üzerine yerleştirilebilmesi	- Daha düşük verim (%6-%12) - Amorf silikonun kararlı olmaması - Kadmiyum tellür ile ilgili toksisite tartışmaları
3	- Nanokristal güneş pili - Fotoelektrokimyasal (PEC) hücreler - Polimer güneş pilleri - Boya ile duyarlaştırılmış hücreler (DSSC)	- Düşük enerjili yüksek verimli üretim teknolojileri - Düşük malzeme maliyeti (Polimer güneş pilleri için) - Şarj edilebilme ve yükseltilebilme potansiyeli (DSSC için) - Düşük seviyeli ışık koşullarında çalışabilme (PEC için)	- Birinci kuşağa göre daha düşük verim - Çevresel etkiler nedeniyle verimin zamanla azalması (Polimer güneş pilleri için) - Elektrodların zamanla bozulması (PEC için)
4	Hibrit nanokristal-polimer hücreler	- Düşük malzeme maliyeti - Dönüşüm verimliliğinin iyileştirilme potansiyeli - Kolay montaj	- Birinci kuşağa göre daha düşük verim - Çevresel etkiler nedeniyle verimin zamanla azalması - Polimer-nanokristal uyumu optimizasyonu

Kaynak: Gerald Gourdin, *Solar Cell Technology Current State of the Art, Introduction to Green Chemistry, Fall 2007*

Polimer yapılı güneş pilleri ve hibritler henüz ticarileşme aşamasında değildir. Fiyatları ve finansal geri dönüş sürelerinde düşüşler sağlanması gerekmektedir. DSSC'nin ilk ticari tesisi G24'lerin inisiyatifi çerçevesinde kurulmuştur. Dünyada PV üretim piyasası ve tesisleri sene bazında katlanarak artmaktadır. Maliyetleri düşürmek ve PV teknolojilerinin verimini arttırmak üzerine çalışmalar sürdürülmektedir.

3.2.3.2. Yoğunlaştırılmış Güneş Enerjisi (CSP)

Yoğunlaştırılmış Güneş Enerjisi güneş enerjisinin belli mekanizmalar aracılığıyla odaklanarak yoğunlaştırılmasını ve bu yoğunlaştırma sonucu çıkan enerjiden elektrik elde edilmesini içeren

teknolojidir. CSP teknolojileri ancak yüksek güneş enerjisi ışınları ile verimli çalışabilmektedirler. CSP için en uygun alanlar Orta Doğu, Afrika, Avustralya, Güneybatı Amerika, Güney Amerika'nın bazı bölgeleri, Türkiye'den Hindistan ve Çin'e uzanan Orta Asya bölgesi ve Avrupa'nın güney ülkeleri olarak tanımlanmıştır.⁷⁰ Yoğunlaştırılmış güneş enerjisinin avantajlı bazı özellikleri şunlardır:

- Kullanıma göre güç üretimi;
- 140 yıla kadar uzayabilen tesis kullanım ömrü;
- Yıllık 80 MWh'a kadar üretim kapasitesi;
- Depolama ve hibritleştirmeden faydalanarak dağıtılabilir güç edinimi ve peak'lerden daha az etkilenme imkanı;
- Uzak uygulamalar ve şebeke destekleme açısından dağıtılabilir güç teminini.

CSP teknolojileri halen yatırım maliyetleri kurulu güç (kW) başına yaklaşık 2.500-3.500 ABD Doları civarındadır. Elektrik üretiminin yanı sıra CSP teknolojisinin binalarda veya endüstriyel proseslerde ısıtma/soğutma amaçlı, su arıtmasında veya hidrojen üretimi gibi çok geniş mevcut ve potansiyel kullanım alanı vardır.

Ticari olarak piyasada bulunan CSP teknolojileri dört kategoride sınıflandırılırlar:

- Parabolik oluk tipi kolektörler (çizgisel veya küçük alan yoğunlaştırma); verimleri düşük (%15) ancak takip sistemi ucuz ve basittir. Küçük büyük tüm uygulamalarda kullanılabilir. 25 yıldır kullanımdadırlar.
- Doğrusal fresnel tipi reflektörler (çizgisel yoğunlaştırma); verimleri düşük (%10), kurulum ve takip sistemi ucuz ve basittir.
- Merkezi alıcı sistemler (güneş kuleleri - noktasal yoğunlaştırma); 700 °C'nin üzerinde sıcaklık elde edilebilen ve verimlilikleri %15-25 arasında değişen sistemler 10-20 MW güç değerleri ile kurulurlar.
- Parabolik çanaklar (noktasal yoğunlaştırma); küçük modüllerden oluştuğu için şebekeden uzak ve enerji ihtiyacı duyulan şantiye, maden ocakları, radar istasyonları ya da uzak köyler gibi yerlerin yakınında küçük boyutlarda sadece elektrik üretimi amacıyla kurulmaktadır. 3-25 kW çıktısı olan sistemler büyük sistemlere de entegre edilebilirler. Verimlilikleri yüksektir (%30) ve sistemi soğutmak için su ihtiyacı yoktur. Genellikle "stirling motoru" ile birlikte kullanılmaktadır ancak bu motorların teknolojisi yaygın değildir. Ticari olarak büyük sistem uygulaması bulunmadığından maliyeti henüz bilinmemektedir.

3.2.4. Jeotermal Enerji

Jeotermal kaynaklar, dünyanın doğal ısısına ek olarak, yeryüzü altında bulunan her türlü enerjiden ortaya çıkan veya bundan yaratılan ya da türetilen doğal ısı, tüm çözünmüş mineraller, yeraltında ısınmış akışkanlar, tuzlu sular, bileşik gazlar ve buhar gibi kaynaklardır. Jeotermal enerji bu kaynakların oluşturduğu enerjiden doğrudan veya dolaylı yollardan faydalanmayı kapsamaktadır. Jeotermal enerjinin, üretilen akışkanın sıcaklığına bağlı olarak birçok uygulaması olabilmektedir. 140°C üzeri sıcaklığa sahip kaynaklardan, günümüz teknolojisi ile, elektrik enerjisi üretilebilmektedir. Daha düşük sıcaklıktaki kaynaklardan veya elektrik enerjisi üretimi sonrası atık akışkan kullanılarak doğrudan ısı uygulamalar yapılabilmektedir. Bu enerji türü mekanların ısıtılması, havalandırma, endüstriyel prosesler, kurutma, turizm ve kar eritme gibi faaliyetlerde kullanılabilir. Jeotermal enerjiden elektrik enerjisi üretiminde çeşitli santral tipleri kullanılmaktadır: kuru buharlı, buhar ayırmalı, buhar ayırma ve su buharlaştırmalı, buhar ayırma ve çok kademeli su buharlaştırmalı,

⁷⁰ IEA, The International Energy Agency; World Energy Outlook 2008.

kuyudan pompayla jeotermal sıvı çekilen sıvı buharlaştırmalı ve ikinci bir termodinamik çevrim sıvısı kullanan santraller.

Dünya'nın bir çok yerinde kullanılabilir nitelikte jeotermal rezervler bulunmaktadır, ayrıca bu rezervler diğer yenilenebilir enerji türündeki gibi iklimsel veya mevsimsel şartlardan etkilenmemektedir.

Jeotermal enerji diğer yenilenebilir enerjilerde olduğu gibi yerel kaynaklara bağlı olduğundan, çıkarıldığı çevrede iş olanakları yaratır. Jeotermal enerjinin kullanımı sonucunda üretilen elektriğin fiyatı konvansiyonel olarak üretilen elektrikle rekabet edebilecek kadar düşüktür ve 7-8 cent/kWh⁷¹ düzeyindedir. Tesis kapasitesine de bağlı olmakla birlikte, jeotermal tesislerin kurumu genelde kolaydır, inşaat süresi 1-2 yıl civarında olup, tesisin tipine ve yerine göre değişkenlik gösterebilir. Tesis alan ihtiyacı asgari düzeydedir. 1 MW'lık enerjiyi 30 sene boyunca üretebilmek için sadece 400 m²'lik bir alan yeterli olmaktadır. Uzun tesisat ömrü bulunmaktadır. Tesislerin verimliliği %90 ile %100 arasında değişmektedir. Bu oran kömürden elektrik üretim tesislerinde %75, nükleer enerji ile elektrik üretim tesislerinde ise %65 civarındadır.

Öte yandan, jeotermal kuyulardan kaynaklanan akışkanlar (kuru buhar kuyuları hariç) kimyasal olarak kompleks bir yapıya sahip olup, yüksek miktarda erimiş katı madde ve gaz içermektedir. Akışkan içindeki CO₂, H₂S gibi yoğunlaşmayan gazların düzeyi sistem tasarımında önemli olup, bu tip gazların çeşitli yollarla sistemden alınarak farklı amaçlarla kullanılması araştırılan konular arasındadır. Bazı CO₂ baskın tesislerde CO₂'den kuru buz eldesi söz konusu olabilmektedir.

Rezervuardan yüzeye çıkana dek su-kaya etkileşiminde bulunan akışkan sıcaklık etkisiyle yoğun olarak mineral içermektedir. Bu tuzluluğu yüksek akışkan Bor, Arsenik gibi doğal kirleticiler de içermekte olduğundan jeotermal üretim kuyularından elde edilen akışkanlar reenjeksiyon kuyularına yoğun tuzlu su olarak enjekte edilmektedir. Jeotermal sahalarda belli başlı sorunlardan biri de kabuklaşmadır. Kalsiyum karbonat ve silika çökelimleri kuyu içinde ve yüzey ekipmanlarında birikerek zamanla kuyuların üretimlerinin düşmesine neden olmaktadır. Bu amaçla kuyularda inhibitör olarak adlandırılan çözeltiler sürekli olarak kullanılmakta ve bu sorunu önemli ölçüde çözmektedirler. Jeotermal sahalarda dinamik sahalardan sürekli izlenmesi gereken alandır. Reenjeksiyon ile sıcak akışkanın çevreyi kirletmesi önlenirken öte yandan rezervuarın sürekliliği (sahanın hidrolik ve ısıl açıdan beslenmesi) sağlanmaktadır. Jeotermal enerji ile ilgili dikkate alınması gereken bir diğer konu da jeotermal suyun yerin dibinden yüksek miktarlarda çıkarılması nedeniyle mikro sismik aktivite yaratılabilmesidir.

3.2.5. Biyoenerji

Biyoenerji, canlı organizmalar ya da bunların metabolik yan ürünlerinden elde edilen yenilenebilir bir enerji türüdür. Biyoenerji terimi biyoyakıtlardan elde edilen enerji türlerinin hepsini ifade eder. Biyoenerjinin üretildiği çok çeşitli biyolojik kaynakların tümüne genel anlamda **biyokütle** denir. Biyokütle, bitkiler, ağaçlar ve tarım bitkilerinin oluşturduğu bütün organik maddeleri tanımlayan bir terim olarak fotosentez ile güneş enerjisinin toplandığı ve depolandığı ortamlardır.

Dünya üzerinde yer alan biyokütlenin yaklaşık %90'ı ormanlarda bulunmaktadır ve bunlardan elde edilecek enerji sayesinde iklim değişimi, çölleşme, erozyon gibi problemleri azaltıp verimlilik, ekosistem sağlığı ve biyolojik çeşitlilik sağlama potansiyeline sahiptir.

Odun (enerji ormanları, çeşitli ağaçlar), yağlı tohum bitkileri (kolza, ayçiçek, soya v.b.), karbohidrat bitkileri (patates, buğday, mısır, pancar, enginar, v.b.), elyaf bitkileri (keten, kenaf, kenevir, sorgum, miskantus, v.b.), protein bitkileri (bezelye, fasulye, buğday v.b.), bitkisel artıklar (dal, sap, saman, kök,

⁷¹ Renewable Energy, RD&D Priorities, OECD/IEA, 2006. (Üretici satış fiyatı)

kabuk, v.b.), hayvansal atıklar ile kentsel ve endüstriyel atıklar biyokütle enerji teknolojileri kapsamında değerlendirilmekte ve mevcut yakıtlara alternatif çok sayıda katı, sıvı ve gaz yakıtlarına ulaşılmaktadır.

Biyokütlenin doğrudan yakılmasıyla elde edilen ısı dünyada en çok uygulanan biyoenerji elde etme yöntemidir ve çoğunlukla fosil yakıt alternatifleriyle rekabet edebilir düzeydedir, ayrıca fosil yakıtlara göre çok az emisyon üretir. Bununla birlikte ne kadar kuru olursa olsun biyokütle, her zaman fosil yakıtlardan daha az enerji yoğunluğuna sahiptir. Diğer bir deyişle, aynı miktarda ısı elde edebilmek için fosil yakıtlara göre daha fazla biyokütle kullanmak gerekir. Bu durum toplama, depolama ve taşıma masraflarını artırdığından, ekonomik çözümler için en doğru olanı biyokütlenin bulunduğu yerde tüketilmesi ya da sadece kısa mesafelere taşınmasıdır. Biyoenerji konusunda atıkların toplanması (belediyelerden, ormanlardan, tarım alanlarından vb.), proses edilmesi ve enerji üretimine hazır hale getirilmesi önemli bir araştırma alanı oluşturmaktadır.

Son yıllarda, biyokütlenin doğrudan yakılmasının yanı sıra, hidroliz, fermantasyon, gazlaştırma, sentezleme ve piroliz gibi “dönüştürme teknolojileri” de öne çıkmaktadır. Söz konusu yöntemler ile sıvı biyoyakıt, sentetik yakıt ve gaz biyoyakıt üretimi gerçekleştirilebilmektedir. Biyokütleden çeşitli dönüştürme teknolojileri ile elde edilebilecek yakıt türleri aşağıdaki tabloda özetlenmiştir.

Tablo 3.2. Biyokütleden Elde Edilebilecek Yakıt Türleri

Biyoyakıt Grubu	Biyoyakıt	Üretim Prosesi
Sıvı Biyoyakıt	Biyometanol, biyodizel, biyo-dimetiler	İleri enzimatik hidroliz, sentezleme ve fermantasyon
Sentetik Yakıt	Sıvı biyokütle, sentetik dizel, sentetik gaz, biyometanol, ağır alkol (butanol karışımları), dimetil-eter	Gazlaştırma, sentezleme ve piroliz
Gaz Biyoyakıt	Biyogaz , biyohidrojen	Fermantasyon, gazlaştırma ve sentezleme

Aşağıda, söz konusu yakıtlardan son yıllarda öne çıkan biyometanol, biyodizel, biyogaz-biyohidrojen ve sentetik gaza ilişkin ayrıntılı bilgiler verilmektedir.

3.2.5.1. Biyometanol

Biyometanol içerisinde etil alkol bulunan şeker, şekerle çevrilebilen selüloz veya nişasta gibi maddelerin fermantasyonu sonucu elde edilen alkol türüdür. Şekerden ve nişastadan biyolojik fermantasyon yoluyla biyometanol elde etme teknolojik olarak olgunluk seviyesine erişmiştir ve ticari uygulaması vardır. Biyometanol eldesi özellikle tarımsal atığı çok fazla olan ülkelerde ekonomik olmaktadır. Uluslararası Enerji Kurumu şekerden elde edilecek etanolün dünya petrol ihtiyacının %2'sini karşılayabileceğini tahmin etmektedir. Ticari etanol üretim süreçlerinde hala teknik iyileştirmeler (nişastayı şekerle hidroliz yoluyla dönüştürecek enzim teknolojisinde, bakterilerde, su ayrıştırma metodolojisinde iyileştirmeler gibi) yapmak mümkündür.

Biyokütleden elde edilen biyometanol araçlarda benzin ile karıştırılarak veya tek başına kullanılabilir. Etanol daha düşük enerji yoğunluğuna sahip olmasına rağmen yüksek oktan sayısı nedeniyle yüksek basınçlı motorlarda benzinden daha etkili yanar. Selüloz esaslı etanol sanayisi 2008 yılında ticari ölçekli fabrikaların kurulmasıyla büyük gelişim göstermiştir. Biyometanol sadece ulaştırma sektöründe değil elektrik üretiminde, kojenerasyon uygulamalarında, küçük ev aletlerinde ve kimyasal madde üretiminde de kullanılabilen bir biyoyakıttır.

3.2.5.2. Biyodizel/Biyomotorin

Biyodizel/biyomotorin ayçiçek, soya, kanola vb. gibi yağlı tohum bitkilerinden elde edilen yağlar veya atıkyağların bir katalizör eşliğinde kısa zincirli bir alkol ile (metanol veya etanol) reaksiyonu sonucunda açığa çıkan ve yakıt olarak kullanılan bir üründür. Biyodizel herhangi bir dizel motorda

herhangi bir modifikasyona gerek kalmadan kullanılabilir. Oksijene zincir yapısı biyodizeli, petrol kökenli motorinden ayırır. Son yıllardaki Ar-Ge çalışmalarının sonuçlarına göre deniz yosunu olarak bilinen algler de iyi bir biyodizel hammaddesidir.

Biyokütleden dizel-tipi yakıtların üretiminde iki yol izlenmektedir; transesterifikasyon ve hidrojenleştirme yöntemi. Transesterifikasyon biyomotorin üretiminde en yaygın kullanılan yöntemdir. Günümüzde hidrojenleştirme teknolojisinin kullanımı çok kısıtlıdır ancak bu yolla elde edilen yenilenebilir yakıtın kalitesi transesterifikasyon işlemi ile elde edilenden daha yüksektir. Biyomotorin üretimindeki en önemli faktör hammaddenin düzenli ve sürekli sağlanmasıdır.

3.2.5.3. Biyogaz - Biyohidrojen

Biyogaz, hayvansal, bitkisel ve diğer organik atıkların oksijensiz ortamda ayrışması sonucu ortaya çıkan bir gaz karışımıdır. Biyogaz üretiminde hayvansal, bitkisel artıklar ve diğer organik atıklar ayrı ayrı ya da birlikte kullanılabilir. Temiz ve mavi bir alev sahip olan biyogaz belirgin kokusu sayesinde borularda kaçak olması durumunda anlaşılabilir.

Oksijensiz ortamlarda bulunan organik maddeler içindeki yağ, protein ve karbonhidrat gibi kompleks maddeler, hidroliz sürecinde şekerlere, amino asitlere ve yağ asitlerine çevrilir. Bu ürünler sonraki aşamada asidojenler tarafından bozularak uçucu yağ asitleri, CO₂ ve hidrojene dönüştürülür. Son aşamada bu ürünler metanojenler tarafından metan gazına çevrilir. Bu süreç sindirici adı verilen oksijensiz ortamda organik maddenin bozunumu ile veya doğal olarak evsel organik atıkların depolandığı düzenli çöp depolama alanlarında oluşmaktadır.

Bunun yanı sıra reaktör konfigürasyonlarında ve işletme koşullarında yapılan değişiklikler neticesinde son ürün olan metan gazı üretmek yerine ara ürünler olan uçucu yağ asitleri ve hidrojen üretimi gerçekleştirilebilmektedir. Kontrollü bir şekilde metan üretiminin engellendiği bu yöntem biyoteknoloji alanında gelişmekte olan bir uygulamadır ve bu yolla elde edilebilen *biyo-hidrojenin*, varolan teknik ve ekonomik sorunların aşılmasıyla birlikte yaygınlık kazanabileceği düşünülmektedir.

3.2.5.4. Sentetik Gaz

Sentetik gaz (syngas) “gazlaştırma” olarak bilinen yöntem ile biyokütle, kömür, linyit ve katı atık gibi maddelerden elde edilen gaz yakıttır. Gazlaştırma prosesi yüksek sıcaklıkta (800–1000 °C), kontrollü basınç (0–30 Atm) ve kısmi oksijen sağlanan ortamda gerçekleşmektedir⁷² (Boyle G.,2004). Gazlaştırma ile elde edilen sentetik gaz büyük oranda karbon monoksit (CO), hidrojen (H₂) ve azot un (N₂) yanı sıra az miktarda karbon dioksit (CO₂) metan (CH₄) ve farklı hidrokarbonlar içermektedir. Gazlaştırma yakmadan farklı bir prosestir. Yakmada ürün olarak karbondioksit (CO₂) ve su buharı oluşmaktadır. Ayrıca yakma prosesi sırasında dioksin ve furan gibi toksik özellikli bileşikler oluşmaktadır. Termal gazifikasyonda ise dioksin ve furan emisyonu önemli derecede azaltılmaktadır.⁷³

Sentetik gazın içeriği ve dolayısıyla ısı kapasitesi kullanılan hammadde, işletme sıcaklığı, basınç, katalizör vb. parametrelere göre genellikle 2.5 – 20 MJ/Nm³ arasında değişmektedir.⁷⁴ Doğal gazın 39 MJ/Nm³ mertebelerinde ısı değere sahip olduğu düşünüldüğünde sentetik gaz doğal gazın sahip

⁷² Renewable Energy: Power for a Sustainable Future, Boyle, G. (2004)

⁷³ Investigation into Municipal Solid Waste Gasification for Power Generation, Advanced Energy Strategies Inc., 2004.

⁷⁴ Department of Mechanical and Aerospace Engineering (MAE), Gasifier and Syngas <http://maecourses.ucsd.edu/mae198/content/gasifier.shtml>, University of California, San Diego, 2007

olduğu enerjinin yarısından azına sahiptir. Ancak üretilen sentetik gazın temizlenme ve ayrıştırma gibi işlemlerden geçirilmesi sonucunda ısı kapasitesi daha yüksek gazlar ve ürünler elde edilebilmektedir.

Gazlaştırma ile elde edilen sentetik gazdan Entegre Gazlaştırma Kombine Çevrim (IGCC) enerji üretim santrallerinde yüksek verimle elektrik üretiminde yararlanılabilmektedir. Katalitik dönüşüm gibi farklı yöntemler ile de sentetik gazdan hidrojen, metanol, amonyak, metan, etanol, propanol, dimetileter, etilen, propilen, asetik asit, aseton, metil etil keton, sentetik benzin, sentetik dizel gibi sıvı hidrokarbonlar ve organik kimyasal maddeleri, alifatik hidrokarbonlar ve daha birçok farklı türde kimyasal madde üretmek mümkündür.⁷⁵

3.2.6. Enerji Depolama ^{76, 77, 78}

Günümüzde modern enerji sistemleri arz güvenilirliği, sistem stabilitesi, enerji kaynaklarının daha verimli kullanılması, iletim/dağıtım problemlerinin ve maliyetlerinin minimize edilmesi gibi birçok nedenlerle enerjinin depolanmasını zorunlu kılar. Elektrik üretim ve dağıtımında önemli olan güç eğrisini pürüzsüz bir şekle getirmektir. Akıllı şebekelerde bu dengeleme gerçek zamanlı dinamik olarak yapılabilmektedir. Akıllı sistemlerde hem dağıtılmış üretime hem de depolamaya ihtiyaç vardır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının tüketim merkezlerine uzak olması, düzenli olmaması ve hava tahminin yeteri kadar doğru yapılamaması nedeniyle, enerji depolama sistemlerinin geliştirilmesi ön plana çıkmıştır. Depolama olanaklarının artması yenilenebilir enerjiden daha fazla yararlanılmasına ve yenilenebilir kaynakların şebekeye daha fazla katkı vermesini sağlayacaktır.

Enerjinin elektrik olarak depolanması pahalıdır ve teknolojik olarak verimli değildir. Enerji depolama sistemlerinin bir çoğu dolaylı depolama sistemleridir. Diğer bir ifadeyle elektriğin diğer enerji formlarına dönüşümüdür. Enerjinin mekanik, kimyasal ve ısı olarak depolanması mümkündür. Buna yönelik çok sayıda teknoloji bulunmakla birlikte söz konusu teknolojilerin gelişmişlik düzeyleri farklılık göstermektedir. Depolama teknikleri uygulama alanlarına göre dört ana başlık altında sınıflandırılmaktadır:

- Yerleşim alanlarından uzak bölgelerde, güç çevirici ve acil durum terminallerinin beslenmesi için kullanılan “düşük güç seviyesi” uygulamaları
- Yerleşim alanlarından uzak bölgelerde bağımsız elektrik sistemleri için kullanılan “orta güç seviyesi” uygulamaları
- Şebeke bağlantı uygulamaları (peak dengeleme)
- Güç kalitesi kontrol uygulamaları

Yukarıda belirtilen ilk iki uygulama, enerjinin kinetik, kimyasal, basınçlı hava, hidrojen (yakıt pili), süper kapasitör ya da süper iletkenler aracılığıyla depolanabildiği “küçük-ölçekli” sistemlere, son iki uygulama ise enerjinin yer çekimi enerjisi (hidrolik sistemler), ısı enerjisi, kimyasal enerji (akümülatör, akım pilleri) ya da sıkıştırılmış hava olarak depolandığı “büyük-ölçekli” sistemlere yöneliktir.

Enerji depolama sistemleri kullanılan teknolojiye göre;

- Manyetik enerji (Süper kapasitörler)
- Elektrik enerjisi (Süper iletken manyetik enerji depolama)
- Mekanik enerji (Pompa depolamalı HES’ler, sıkıştırılmış hava depolama, volanlar)

⁷⁵ Temiz Enerji Üretimi için Gazlaştırma Teknolojisi, Mustafa Tolay vd., UTES’2008.

⁷⁶ Hızla Gelişen Endüstri - Enerji Depolama Sistemleri, Ayla Tutuş, ICCI 2010

⁷⁷ Energy Storage systems – Characteristic and comparisons, H. Ibrahim, A. Ilinca, J. Perron, 2007

⁷⁸ Hydrogen and Fuel Cells: Solutions to Energy and Environmental Problems, M. Suha Yazıcı, Gökhan Kepoğlu, ICCI 2008

➤ Kimyasal enerji (Bataryalar/piller, vs.)

olarak sınıflandırılabilir.

Pompa depolamalı HES'ler ve sıkıştırılmış hava depolama ile istenilen büyüklükte saatlik, günlük, haftalık veya mevsimlik depolamalar yapılabilmektedir. Bu santrallerden 20 MW'ın üzerinde kurulu güce sahip olanlar genellikle kısa dönem arz güvenliği, sistem stablitesinin sağlanması ve frekans kontrolü gibi amaçlar için kullanılırken, küçük ölçekli olanları kesintili enerji kaynaklarının sistemi bozucu etkilerini azaltmak, süreklilik kazandırmak verimliliklerini ve pazarda rekabet gücünü artırmak için birlikte planlanmaktadır.

Pompa depolamalı HES teknolojisi halen uygulanmakta olup, çoğunlukla 100 MW mertebelerindeki tesislerde kullanılmaktadır. Enerji talebinin düştüğü dönemlerde suyun yüksek seviyede bir rezervuara pompalanması, enerji talebinin arttığı dönemde de suyun alçak seviyedeki rezervuara aktarılırken enerji üretilmesi prensibine dayanmaktadır. Benzer şekilde, sıkıştırılmış hava depolama tekniğinde ise, elektrik fazlası ortamdaki havanın kompresör aracılığıyla sıkıştırılarak geçirimsiz bir ortamda (doğal ya da yapay boşluklar, tuz mağaraları, terk edilmiş madenler, vb.) depolanması için kullanılmakta, elektrik talebi arttığında ise söz konusu sıkıştırılmış hava ile türbinlerin çalıştırılarak elektrik üretilmesi sağlanmaktadır.

Volanlar (flywheel), yakıt pilleri, süper kapasitörler gibi sistemler ise küçük ölçekli kW boyutunda depolama yapabilen sistemlerdir. Uzay araçlarında, meteoroloji istasyonlarında, büyük parklarda, kırsal alanlarda, bazı askeri uygulamalarda, laptop bilgisayarlarda, küçük elektronik cihazlar için portatif sarj istasyonu olarak, yerleşim alanlarından uzak bölgelerde güç kaynağı olarak kullanılabilen, ulaşım ve haberleşme alanlarının yanında son yıllarda kesintili karaktere sahip yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretimi yapan santraller ile hibrit olarak planlanmaktadır. Teknik ve ticari anlamda henüz istenilen olgunluğa ulaşamamıştır. ABD ve Avrupa'da çok ciddi çalışmalar yapılmakta, yakın gelecekte ticari olarak yaygınlaşabilecek düzeye geleceği düşünülmektedir.

Öte yandan, son yıllarda "Hidrojen Ekonomisi" kavramına özellikle vurgu yapılmakta, bu kavram ile enerjinin fosil yakıtlar yerine hidrojenden sağlandığı bir sisteme geçiş ifade edilmektedir. Hidrojen, doğrudan yakıt olarak kullanımının yanı sıra yakıt pilleri aracılığıyla sağladığı enerji depolama olanağı ile de öne çıkmaktadır. Bu sistemde, üretilmiş olan elektrik enerjisi, suyun elektroliz yöntemi ile hidrojene dönüştürülmesi için kullanılmakta, daha sonra hidrojende depolanan enerji, hidrojenin yakıt pili aracılığıyla suya dönüştürülmesi sırasında tekrar açığa çıkmaktadır. Söz konusu teknoloji halen yüksek maliyetli olmakla birlikte, uluslararası düzeyde de araştırmaların yoğunlaştığı ve umut vadeden bir alan olarak görülmekte, yenilenebilir enerjiden üretilen elektriğin depolanması açısından da üzerinde durulmaktadır.

Tablo 3.3'te çeşitli depolama teknolojileri, avantaj-dezavantaj, uygulama alanı ve verimlilik açısından karşılaştırılmaktadır.

Tablo 3.3. Depolama Teknolojilerinin Değerlendirilmesi

Depolama Tipi	Avantajları	Dezavantajları	Uygulama alanları	Verimlilik
Pompa Depolamalı HES'ler	1-Yüksek Güç Kapasitesi 2-Oldukça yüksek enerji kapasitesi 3-Düşük maliyet	1-Özel alan gerekmesi 2-Düşük verimlilik	- Döner veya devamlı yedek - Ucuz enerjiyi pahalı enerjiye dönüştürmek	%70-85
Sıkıştırılmış Hava Depolamalı Elektrik Santralleri	1-Yüksek Güç Kapasitesi 2-Oldukça yüksek enerji kapasitesi 3-Düşük maliyet	1-Özel alan gerekmesi 2-Gaz bağlantısı	- Döner veya devamlı yedek - Ucuz enerjiyi pahalı enerjiye dönüştürmek	%70-80
Akım Pilleri	1-Orta Güç Kapasitesi 2-Yüksek enerji kapasitesi	Düşük güç yoğunluğu	- Değişkenliği azaltmak - Döner veya devamlı yedek sağlamak	%75-85
NaS pilleri	1-Orta Güç ve enerji kapasitesi 2-Yüksek güç yoğunluğu 3-Yüksek verimlilik	1-Yüksek maliyet 2-Üretim zorluğu	- Değişkenliği azaltmak - Kesintisiz güç temini	%85-90
Li-ion pilleri	1-Orta Güç ve enerji kapasitesi 2-Yüksek güç yoğunluğu 3-Yüksek verimlilik	1-Yüksek maliyet 2-Özel bir devreler sistemi gerektirmesi	- Değişkenliği azaltmak - Kesintisiz güç temini	%90-95
Volan	1-Yüksek Güç Kapasitesi	1-Düşük Enerji Kapasitesi 2-Düşük güç yoğunluğu	- Güç kalitesi	%90-95
Kapazitörler	1-Yüksek verimlilik 2-Uzun döngü ömrü	1-Düşük güç yoğunluğu	- Güç kalitesi	%90-95
Hidrojen Depolama	1-Yüksek güç ve enerji kapasitesi	1-Yüksek maliyet 2-Düşük verimlilik	- Değişkenliği azaltmak - Döner veya devamlı yedek sağlamak	Düşük
Şarj edilebilen hibrit sistemler	1-Geniş bir alana yayılabilmekte 2-Güç sistemi için düşük maliyet	1-Yönetmek zor	- Değişkenliği azaltmak - Döner veya devamlı yedek sağlamak	%80-90

1-Güç Kapasitesi (MW)-Gücün depolanabildiği ve kullanılabilirdiği max. oran

2-Enerji Kapasitesi (MWh)-Depolanabilen toplam enerjinin rezervuarı doldurma suresine eşitliği

3-Güç yoğunluğu-Her birim hacim depolamanın enerji kapasitesi

3.2.7. Enerjinin İletim ve Dağıtım, Akıllı Şebeke (Smart Grid)

Bir ülkenin tamamının ya da belirli bölgelerinin elektrik enerji gereksimini karşılayabilecek bir biçimde üretim ile tüketim merkezleri arasındaki enerji alış verişini sağlayan enerji taşıma sistemine enterkonnekte sistemi denir. Bu kapsamda iletim, elektrik enerjisinin, tüketicilerin kullandığı gerilime düşüren indirici merkezlere aktarılmasıdır. İletim sistemi enerjiyi taşıyan, indirici merkezleri birbirine bağlayan hatlar ve indirici merkezlerden oluşmaktadır. Dağıtım ise, iletim tesislerinden çıkan enerjinin tüketiciye ulaştırılması olup, dağıtım sistemi bu amaçla tesis edilen hatlar, trafo merkezleri ve benzer tesislerden oluşmaktadır. İletim ve dağıtımdaki en önemli unsurlardan biri üretim ve tüketimin her an dengede tutulmasıdır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen elektriğin stabil olmaması, söz konusu elektriğin sisteme aktarılmasında bir engel olarak ortaya çıkabilmektedir.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının enerji şebekelerine entegrasyonu, enerji üretiminde merkezi üretimden dağıtılmış üretime geçişin bir göstergesidir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı için iletim ve dağıtım sistemlerinin bunlara hazır olması gerekmektedir ve bu da akıllı şebekeler yoluyla sağlanabilmektedir.

Akıllı şebeke, akım kontrolünü optimize eden ve alternatif enerji üretimini destekleyen enerji iletim ve dağıtım sistemlerinin dijital bir versiyon yükseltimi olarak kabul edilebilir. Akıllı bir iletim sistemi problemlili bölgeleri hızlı bir şekilde izole ederek geniş çaplı enerji kesintilerinin önüne geçmekle kalmaz, sistem çökmeleri sonrasında tekrar toparlanma sürecini düzenleyip otomatikleştirebilir ve hızlandırabilir. Bu yapı, dağıtım sistemlerinde hızlı iletişime sahip röleler ve kullanıcıyı bilinçlendiren kayıp kaçak oranlarını belirleyebilen ve çift yönlü okuma yapabilen sayaçlar ile oldukça etkin bir konumdadır. Ayrıca, klasik sistemlerden farklı olarak yenilenebilir enerji kaynaklarının katılımı ile değişen yük akışı yapılarına uyum sağlayabilen bir yapıdadır.

Bilgisayar sistemleri ve akıllı sayaçlarla enerji üretim, dağıtım ve tüketiminin çok daha verimli düzeylere yükseltilmesini sağlayan Akıllı Şebeke yatırımları ile enerji tüketiminden %60'lara varan bir verimlilik elde edildiği belirtilmektedir. Mevcut konvansiyonel elektrik şebekelerindeki verimliliğin %33 gibi düşük bir seviyede olduğu dikkate alındığında akıllı şebeke yönetiminin büyük bir pazar potansiyeli taşıması beklenmektedir. Akıllı şebeke bileşenleri aşağıdaki teknoloji alanlarını içermektedir:

- Elektrik iletim ve dağıtım altyapısı
- Son kullanıcı sistemleri
- Dağıtılmış üretim ve depolama
- Bilgi yönetimi

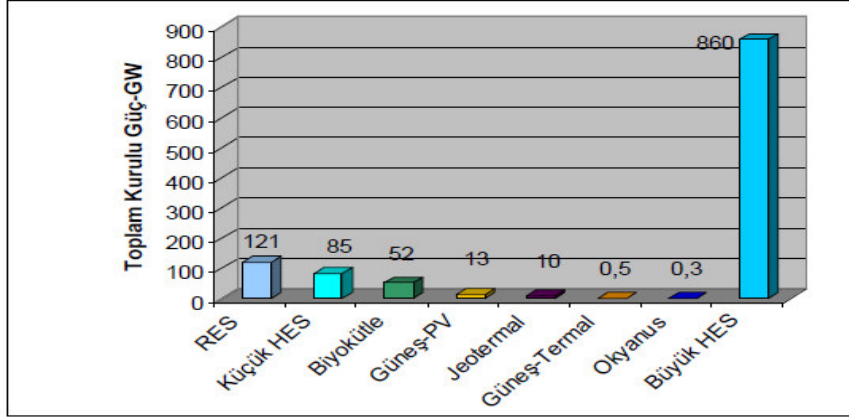
Akıllı bir şebeke için trafolar, röleler gibi tüm sistem elemanlarının akıllı olması gerekmektedir. Koruma ve haberleşme teknolojisinin elektromekanik yapıdan dijital yapıya geçmesi gerekir. Ayrıca, yüksek bant seviyesine sahip yüksek hızlı iletişim gereksinimi vardır. Çünkü, tüm sistemin birbiri ile haberleşmesi gerekir. Bu kadar büyük sistem ve haberleşme ile başa çıkabilecek (saniyede milyonlarca veri) bir bilgisayar gücü de gerekmektedir.⁷⁹

3.3. Yenilenebilir Enerji Teknolojilerinde Dünyadaki Eğilimler

Yenilenebilirler olarak adlandırılan rüzgâr, güneş, jeotermal, biyoenerji, küçük HES ve okyanus enerji kaynakları kurulu güç kapasitesi 2008 yılı sonunda toplam 280 GW'a ulaşmıştır. Bu kapasiteyi oluşturan ilk altı ülke Çin, ABD, Almanya, İspanya, Hindistan ve Japonya'dır. Gelişmekte olan ülkelerin payı ise 119 GW ile toplam kapasitenin %43'ünü oluşturmaktadır. Büyük HES kategorisinde ise dünya kurulu gücü 860 GW'tır. Büyük hidrolik santrallerin kurulu güç kapasiteleri de dahil edildiğinde dünya toplam YE kapasitesi 2008 yılı sonu itibarıyla 1141,8 GW'a ulaşmaktadır. Hidrolik kaynaklar dışında kalan yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretimi, bunlara yönelik teknolojilerin gelişmişliği ve ticarileşmesi oranında artış eğilimi sergilemektedir. Büyük HES ler hariç yenilenebilir enerji kaynaklarına en güçlü katkı rüzgâr enerjisinden gelmektedir. Rüzgâr enerjisi kurulu güç kapasitesi 2008 yılı sonunda %29 büyüyerek 121 GW'a ulaşmıştır.⁸⁰

⁷⁹ Akıllı Şebeke Teknolojisi, Dr. Hasan Basri Çetinkaya, SIEMENS San. ve Tic. A.Ş., Ağustos 2009.

⁸⁰ REN21 – Renewables Global Status Report – 2009 Update



Şekil 3.1 – Dünya Toplam YEK Kurulu Güç Kapasitesi (2008 yılı)

Kaynak: REN21 - Renewables Global Status Report – 2009

Birçok ülkenin yenilenebilir enerji hedefleri 2008 yılında yenilenmiş, revize edilmiş veya genişletilmiştir (Tablo 3.4.). Politika değişikliği yenilenebilir enerji pazarının hızla büyümesine neden olmuş, 2008 yılı sonrasında en az 73 ülkede enerji politikaları oluşturulmuş ve hedefler belirlenmiştir. AB’de 2020 yılında nihai enerji tüketimindeki yenilenebilir enerjinin payı ile ilgili mutabakat 2008’de sağlanmıştır. 2009/28/EC sayılı Yeni Yenilenebilir Direktifi ile de AB yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı konusunda her bir üye ülkenin hedeflerini belirlemesi zorunluluğunu getirmiştir.

Tablo 3.4. Seçilmiş Yenilenebilir Enerji Göstergeleri (2006-2008)

Göstergeler	2006	2007	2008
YE İçin Yeni Kapasite Yatırımı (Milyar Dolar)	63	104	155,4
YE Kapasitesi (Giga Watt, Hidroenerji Hariç)	207	240	280
YE Kapasitesi (Giga Watt, Hidroenerji Dâhil)	1020	1070	1140
Rüzgâr Gücü Kapasitesi (Giga Watt)	74	94	121
Şebekeye Bağlı Güneş Pili Kapasitesi (Giga Watt)	5,1	7,5	13
Güneş Enerjisi (Su Isıtma) Kapasitesi (Giga Watt-Termal)	105	126	145
Etanol Üretimi (Yıllık, Milyar Litre)	39	50	67
Biyodizel Üretimi (Yıllık, Milyar Litre)	6	9	12
Ulusal YE Politikasına Sahip Ülke Sayısı	62	66	73
YE Üretimine Yasal Teşvik Veren Ülke Sayısı	43	49	63
YE Hedeflerini Kesin Oran Olarak Belirleyen Ülke Sayısı	40	44	49
Biyoyakıt Kullanımını Zorlayıcı Yasaya Sahip Ülke Sayısı	52	53	55

Kaynak: REN21. Renewable Energy Policy Network for the 21st Century; (2009), Renewables Global Status Report: 2009 Update, REN21 Secretariat, Paris, France, s.9.

3.3.1. Dünyadaki Yenilenebilir Enerji Yatırımları, Ar-Ge Faaliyetleri ve Harcamaları

Ülkelerin sosyal, siyasi ve ekonomik yapıları ile teknoloji geliştirme kapasiteleri enerji Ar-Ge bütçesinin şekillendirilmesinde önemli rol oynamaktadır. Küresel bazda 2008 yılında yenilenebilir enerji alanında 120 Milyar ABD Dolar yatırım yapılmıştır. Bu rakam 2006 yılı yatırımının yaklaşık iki katıdır. Amerika Birleşik Devletleri (ABD) 2008 yılında rüzgar enerjisine ve etanole yaptığı yatırımla en büyük yatırımcı olmuştur. Aynı yıl Ar-Ge’ye harcanan tutar 15 Milyar ABD Dolarıdır. Ar-Ge harcamasının yanı sıra girişim sermayesi ve risk sermayesi yatırımları da 2007 yılında ki 9,8 Milyar ABD Dolar değerinden 13,5 Milyar ABD Dolarına yükselmiştir. Bu alanda Avrupa Yatırım Bankasının tek başına sağladığı kredi tutarı 2,6 Milyar ABD Dolarıdır.

Tablo 3.5. yenilenebilir enerji alanında dünyadaki ilk 5 ülkeyi göstermektedir. Toplam 12 kritere göre sınıflandırılmış olan dünya liderliği sıralamasında, ABD'nin altı kriterde birinci konumda olduğu görülmektedir. Avrupa'nın iki öncü ülkesi, Almanya ve İspanya olarak göze çarpmaktadır. Almanya 12 kriterin 10'unda ilk beş ülke arasındadır. İspanya da 12 kriterin 7'sinde, Çin'le birlikte ilk beş ülke arasında yer almayı başarmıştır⁸¹.

Tablo 3.5. Seçilmiş Yenilenebilir Enerji Göstergelerine Göre İlk 5 Ülke

Yıllık Miktar (2008)	#1	#2	#3	#4	#5
Yeni Kapasite Yatırımı	ABD	İspanya	Çin	Almanya	Brezilya
Rüzgâr Gücü Artışı	ABD	Çin	Hindistan	Almanya	İspanya
Şebekeye Bağlı Güneş Pili Artışı	İspanya	Almanya	ABD	G. Kore	Japonya
Güneş Enerjisi (Su Isıtma) Artışı	Çin	Türkiye	Almanya	Brezilya	Fransa
Etanol Üretimi	ABD	Brezilya	Çin	Fransa	Kanada
Biyodizel Üretimi	Almanya	ABD	Fransa	İspanya	Hindistan
Mevcut Kapasite (2008)	#1	#2	#3	#4	#5
Toplam YE	Çin	ABD	Almanya	İspanya	Hindistan
Rüzgâr Gücü	ABD	Almanya	İspanya	Çin	Hindistan
Biyokütle Enerjisi	ABD	Brezilya	Filipinler	Almanya	İsveç
Jeotermal Enerji	ABD	Filipinler	Endonezya	Meksika	İtalya
Şebekeye Bağlı Güneş Pili	Almanya	İspanya	Japonya	ABD	G. Kore
Güneş Enerjisi (Su Isıtma)	Çin	Türkiye	Almanya	Japonya	İsrail

Kaynak: REN21. Renewable Energy Policy Network for the 21st Century; (2009), *Renewables Global Status Report: 2009 Update*, REN21 Secretariat, Paris, France, s.9.

Yenilenebilir enerji teknolojilerindeki gelişmeler ve öne çıkan Ar-Ge alanları ile ilgili aşağıdaki bölümlerde, Uluslararası Enerji Kurumu (International Energy Agency – IEA) ve Avrupa Yenilenebilir Enerji Araştırma Kurumu (European Renewable Energy Research Agency – EUREC) tarafından hazırlanan 2009 yılı raporları ile AB 7. Çerçeve Programının Yenilenebilir Enerji Sektöründeki öncelikli alanları konusunda hazırlanan rapordan yararlanılmıştır^{82,83, 84}.

3.3.1.1. Küçük Hidrolik Enerji

Günümüzde hidrolik kaynaklar, küresel toplam elektrik arzının %16'sını oluşturmaktadır. Dünya çapında küçük hidroelektrik güç kapasitesi 2004-2008 arasında yılda 4-6 GW eklenen kapasiteyle 85 GW'a ulaşmıştır. 2008 yılında yenilenebilir enerjiye yapılan yatırımın %5'i hidroelektriğe aittir. Küçük HES lerin büyük çoğunluğu Çin'de bulunmaktadır.

Avrupa'da büyük ölçekli hidroelektrik kaynaklarının gelişimi tamamlanmış durumdadır. Hidrolik kaynakların enerji arzındaki payının daha fazla artırılabilmesi için çığır açacak teknolojik gelişmelere, büyük Ar-Ge projelerine veya harcamalarına ihtiyaç bulunmamaktadır. Buna karşın sosyal ve çevresel etkilerin azaltılması, toplumun geniş kesimli kabulünün sağlanması, uluslararası su paylaşım problemlerinin giderilmesi öncelikli konular arasındadır.

Araştırma fırsatları düşük maliyetli, yüksek verimli alçak irtifa hidro türbinlerine odaklanmıştır. Ayrıca hidrolik enerji teknolojilerinin başta rüzgar olmak üzere diğer yenilenebilir enerji teknolojileriyle entegrasyonunun sağlanması, hidrolik-hidrojen karma sistemlerin geliştirilmesi ve mevcut

⁸¹ Yenilenebilir Enerji Kaynakları: Dünya Piyasalarındaki Son Gelişmeler ve Politikalar, Dr. Hakan KUM, Nevşehir Üni. İktisat Bölümü, Kasım 2009

⁸² IEA, Rapor: Global Gaps in Clean Energy Research, Development, and Demonstration, Aralık 2009

⁸³ EUREC Agency, Rapor: Research Priorities for Renewable Energy Technology by 2020 and beyond, 2009

⁸⁴ EUREC Agency, Rapor: FP7 Research Priorities for the Renewable Energy Sector, Mart 2005

santrallerde çevreye uyumlu, düşük maliyetli ve verimi yüksek malzeme/parça iyileştirme ve geliştirme gibi alanlarda önemli fırsatlar bulunmaktadır.

Hidrolik enerji konusundaki Ar-Ge öncelikleri aşağıdaki şekilde belirlenmiştir:

- Düşük hızlı ve alçak irtifaya (<5m) uygun doğrudan tahrik sistemli jeneratör geliştirme;
- Su altında kullanılabilen turbo-jeneratörler geliştirme;
- Santral performans kontrol ve izleme sistemleri geliştirilmesi;
- Çevresel etkisi düşük türbin geliştirilmesi;
- 1MW altındaki güçler için uygun türbin tasarlanması;
- Türbinlerin hareketli parçaları ve suya maruz kalan parçalarda iyileştirmeler yapılması;
- Şebekeye entegrasyon sistemleri geliştirilmesi.

3.3.1.2. Rüzgar Enerjisi

Son otuz yıllık dönemde rüzgar enerjisi pazarı çok güçlü bir büyüme göstermiştir. 2008 yılında 51,4 milyar dolarlık bir düzeye ulaşmıştır. Destek politikalarının etkisinin de olduğu bu büyüme teknolojik gelişmeyi de tetiklemiştir. Teknolojik gelişim rüzgardan elektrik elde etme maliyetinde çok büyük iyileştirmeler sağlayarak rüzgar teknolojisini günümüzde rekabetçi konuma taşımıştır.

Dünyadaki mevcut rüzgar enerjisi kurulu gücü 2009 yılı sonu itibarıyla 157.899 MW'dır. Kapasitenin %75'ini sırasıyla şu beş ülke pazarı oluşturmaktadır: Amerika, Almanya, İspanya, Çin ve Hindistan. Türbin gücü 1980'lerdeki 30 kW değerinden 2009 yılında 7,5 MW değerine ulaşmıştır. Güç şebekesine bağlanan rüzgar türbinlerinin gücü 1-3 MW arasında değişmektedir. 5-6 MW gücündeki daha büyük türbinlerin üretimi henüz küçük boyuttadır ve bu türbinler asıl olarak "off-shore" pazarına yöneliktir. Ancak yeni stratejiler uygulayan Almanya gibi ülkelerde verimi artırmak için düşük-güçteki türbinlerin daha yüksek güçteki türbinlerle değişimi yapılmaktadır. Günümüzde en büyük rotor çapı da 126 metredir.

Günümüzün standart rüzgar türbinleri rüzgarı elektriğe dönüştürme oranında maksimum verimlilik oranı olan %50'yi yakalamıştır. Bu oran teorik olarak olabileceği ispatlanan %59,3 verimlilik oranına (Gasch/Twele 2007) oldukça yakındır.

Özel sektör Ar-Ge harcamaları ile ilgili olarak Avrupa Komisyonu tarafından 13 adet en büyük rüzgar enerjisi türbin üreticileri esas alınarak yaptığı araştırma sonuçlarına göre, AB-27 ülkelerinin 2007 yılı toplam özel sektör harcaması 292 Milyon Euro olarak hesaplanmıştır. Pazarın %60'ını AB esaslı firmalar oluşturduğundan dünya bazında toplam özel sektör Ar-Ge harcamasının 725 milyon ABD Doları olduğu tahmin edilmektedir.

Rüzgar enerjisi teknolojisi ile ilgili Ar-Ge önceliklerinin maliyetleri düşürme ve işletimi rekabetçi kılmaya yönelik olarak malzeme, yarı-iletken güç sistemleri ve enformasyon teknolojisi alanlarında olması beklenmektedir. Öncelikler şu şekilde belirlenmiştir:

- Rüzgar kaynağı ve durumu ile ilgili iyileştirilmiş *izleme ve tahmin sistemleri* geliştirilmesi (2015 yılı hedefleniyor; bu tür tahminler yatırım fizibilitesi yapabilmek ve değişken rüzgar gücünün sisteme entegrasyonu için olmazsa olmaz sistemlerdir.);
- Rüzgar tarlalarının işletimini verimli kılmak ve maliyetlerini azaltmak amacıyla *uzaktan kontrollü işletim ve bakım sistemleri* geliştirilmesi;
- Rotor ve aktarma organlarında ağırlık azaltımı; daha büyük ve daha güçlü (8-10 MW) rotor kullanımını sağlayacak ve kulede çeliğe bağımlılığı azaltacak *hafif* ve daha *dayanıklı malzeme* geliştirme çalışmaları (çalışmalar devam ediyor);
- *Rotor kanatlarının aerodinamiğindeki geliştirmeler* ile üretim maliyetinde artış yaratmadan, değişken hızlı türbinlerin veriminde artış sağlama ve gürültü kirliliğini azaltma çalışmaları;

- 200 metre su derinliğinde en az işletim ve bakım maliyeti ile çalışacak “off-shore” uygulamaları ve soğuk ve zorlu hava koşulları için *yeni nesil türbin tasarımları* (yeni nesil tasarımlarının önemli bir özelliği bozulma olasılığı olan parça sayısını azaltmayı hedeflemesidir);
- Rüzgar türbinlerini bina yoğun alanlara kurma yönünde eğilimlere cevap verecek şekilde, rüzgar haritalarının ölçeğinin küçültülmesi, akışkanlar mekaniği sistemi kullanılarak binalar arası rüzgar akış ve türbülansını anlamak üzere modeller geliştirilmesi, türbülans altında çalışacak rüzgar türbini geliştirilmesi ve yapısal alanda rüzgar türbinleri ile entegre olacak yeni bina tasarımları yapılması;
- Jeneratörlerde verimliliği artırmak için süper-iletken teknolojisi konusunda geliştirmeler yapılması;
- Güç sistemleri, depolama ve talep-esaslı (demand-based) iletim teknolojilerinde geliştirmeler yapılması.

3.3.1.3. Güneş Enerjisi

Son yıllarda ülkeler güneş enerjisi teknolojilerine milli gelirden ciddi paylar ayırmaya başlamışlardır. IEA tarafından hazırlanan “World Energy Outlook 2008” raporuna göre özellikle *güneş enerjisi yoğunlaştırıcı teknolojileri* ile üretilen elektrik maliyeti önümüzdeki 5 yıl içinde diğer kaynaklarla yapılacak üretim maliyetlerini yakalayacaktır. Bu öngörü büyük ölçüde bu konuda yapılacak Ar-Ge çalışmalarına ayrılacak mali kaynakların zamanlamasına ve büyüklüğüne bağlıdır.

Güneş enerjisini elektrik ve ısıya dönüştürme sürecinde kullanılan teknolojiler yüksek nitelikli teknolojiler olarak sınıflandırılmaktadır. Güneş-elektrik dönüşümünün bugün ticarileşen ve ticarileşmeyen farklı yöntemleri bulunmaktadır. Ticarileşmiş PV teknolojisi alanında dünyanın kurulu kapasitesi ortalama %40 yıllık artışla bugün 15 GW değerine ulaşmıştır. Ancak dünya enerji üretiminde hala sadece %0,1 paya sahiptir (15 TWh/yıl). 2008 yılı başına kadar dünyada kurulu fotovoltaik panellerin gücünün yarısının kurulu olduğu Almanya’nın bu konudaki liderliği 2008 yılında İspanya’ya geçmiştir. Kurulu kapasitenin %75’ine kamu destek politikaları nedeniyle Almanya, İspanya ve Japonya sahiptir. Amerika Birleşik Devletlerinin uzay programında fotovoltaik teknolojilerinin özel bir yeri bulunmaktadır. Ancak bugün bu teknolojilerde teknoloji ve ürün geliştirme yeteneği Amerika, Avrupa, Japonya gibi ülkelere Çin gibi farklı ülkelere de yayılmış durumdadır. Çin’de dünya düzeyinde ilk ona giren en az üç tane fotovoltaik şirketi bulunmaktadır.

Güneş enerjisi alanındaki Ar-Ge faaliyetleri genel olarak, güneş pilleri (PV), güneş ısıtma-soğutma teknolojileri ve güneş enerjisine dayalı termal elektrik ve ısı uygulamaları (yoğunlaştırılmış güneş enerjisi - CSP) olmak üzere üç ana başlık altında sınıflandırılmaktadır.

Güneş ısıtma pazarı yılda yaklaşık %16 büyümeye göstermektedir. 2008 yılı sonu itibarıyla mevcut kapasite 165 GW olup küresel toplam ısıtma ihtiyacının %0,2’sini karşılamaktadır. Toplam kapasitenin büyük çoğunluğu Almanya, Japonya, Çin ve Türkiye’de bireysel evlerde su ısıtma ihtiyacını karşılamaktadır.

CSP uygulamaları ise güneş enerjisi alanında önemli potansiyeli bulunan ancak henüz gelişme aşamasında olan teknolojileri kapsamaktadır. Halen dünyada yoğunlaştırılmış güneş enerjisi kurulu güç kapasitesi 500 MW olup, toplam kurulu gücün yarısı ABD’de bulunmaktadır. İspanya da bu konuda önemli pazara sahiptir.

Ülkelerin güneş enerjisine kamu kaynaklarından ayırdıkları toplam Ar-Ge harcamasının %50’den fazlası ABD, İtalya ve Almanya tarafından yapılmaktadır. Gelişmekte olan ülkelere güneş enerjisi teknolojilerinde yeterince büyümeye sağlanamamasının önemli bir nedeni bu ülkelere fosil yakıtlara verilen kamu destekleridir.

Avrupa Komisyonu'nun 2009 yılında yayınladığı izleme raporuna göre PV teknolojisi için Avrupa'nın kamu fonlarıyla gerçekleştirdiği toplam Ar-Ge yatırımı 384 M Euro'dur. Buna paralel olarak CSP teknolojisi için kamu fonlaması yine 2007 yılı için 36 M Euro olmuştur.

IEA'nın tahminlerine göre 2050 yılında PV güç kapasitesinin 3000 GW'a, CSP kapasitesinin 630 GW'a (2,200 TWh üretim) ulaşması beklenmektedir. 2050 yılı hedeflerine ulaşılabilmesi için de küresel olarak bu konuda yapılacak Ar-Ge çalışmaları için kamu tarafından yaklaşık olarak 900 M ABD Doları kaynak ayrılması gerekmektedir.

Akdeniz Ülkeleri Birliği'nin en önemli projelerinden biri olan "Akdeniz Güneş Planı" (MSP), 1995 yılında Barselona süreci ile başlamış, 2007 yılında Avrupa Komşuluk Politikasına dahil edilmiş ve Temmuz 2008'de de Akdeniz Ülkeleri Birliği'nin oluşumu ile yayınlanmıştır. Planın başlıca hedefi 2020 yılına kadar güney Akdeniz bölgesinde 20 GW mertebesinde yenilenebilir enerji kaynağından elde edilen elektrik kapasitesine ulaşmaktır. Bu kapasitenin 3-4 GW'lık kısmının PV, 6-6 GW'lık kısmının rüzgar ve 10-12 GW'lık kısmının da Yoğunlaştırılmış Güneş Enerjisi (CSP) tarafından karşılanması beklenmektedir. Bununla birlikte Avrupa genelinde elektrik bağlantısının kurulması için gerekli altyapıların da tamamlanması hedeflenmektedir. Akdeniz Güneş Planı çerçevesinde oluşturulan 'Transgreen' ve 'Desertec' gibi projelerde enerjinin Akdeniz üzerinden taşınması için Fas'tan İspanya'ya Cebelitarık Boğazı boyunca, Cezayir'den Fransa'ya Balear Adaları yoluyla, Tunus'tan İtalya'ya, Libya'dan Yunanistan'a ve Mısır'dan Türkiye'ye Kıbrıs üzerinden uzanacak 1400 megavat gücünde elektrik akımı sağlayacak çift yönlü hatların yerleştirilmesi planlanmaktadır.

Avrupa'daki elektrik tüketiminin yüzde 15'ini karşılamak için 40 yıl içinde Orta Doğu ve Kuzey Afrika'da rüzgar ve güneş panelleri kurmayı amaçlayan "Desertec" projesinde, Sahra Çölü'nde üretilen enerjinin, iletim kayıplarını yüzde 10'un altında tutacak 20 tane yüksek gerilim hattıyla Avrupa'ya ulaştırılması öngörülmektedir. 400 milyar avro değerindeki proje için aralarında Deutsche Bank, Siemens, ABB, RWE, München Re, MAN Solar Millenium, HSN Nordbank'ın da yer aldığı 12 büyük şirket, "EU-MENA Desertec Industry Initiative" adı altında bir girişim grubu oluşturulmuştur. Akdeniz Güneş Planı 2050 yılında tamamlandığında EU-MENA ülkelerinin toplam karbondioksit salımının 2000 yılındaki seviyelerinin %38 altına düşürülmesi hedeflenmektedir.⁸⁵

a) Fotovoltaik Sistemler (PV)

Güneş enerjisinden elektrik elde etmenin maliyetini düşürebilmek, rekabetçi kılmak için PV teknolojisinde yeni geliştirmeler yapmak gerekmektedir. Teknolojide beklenen gelişmeler şunlardır:

- Güneş hücrelerinin ve modüllerin teknik performansının iyileştirilmesi, elektriğe dönüşüm oranlarında artış sağlanması (2020 yılında %30'lara varan verim sağlanması);
- Mevcut güneş pili hücre teknolojilerinde c-Si'de pil kalınlığını azaltmak, pil tasarımını yenilemek veya ince film teknolojisinde ara yüzlerdeki problemleri gidermek gibi iyileştirmeler yapılması;
- PV sistemlerinin şebekeye bağlanmaları, stabil ve kaliteli şebeke uygulamaları için akıllı-şebeke, depolama teknolojileri, çok fonksiyonlu çeviriciler gibi teknik çözümler getirilmesi;
- Güneş pillerinde yeni ve ileri malzemeler (polimer/molekül esaslı organik güneş pilleri, esnek, çok katmanlı, hibrit uygulamalar, termofotovoltaikler gibi) geliştirilmesi;
- Nanokablolar vb. nanoteknoloji uygulamalarıyla foton dönüşümünün geliştirilmesi;
- Alternatif yarı-iletken malzemeler araştırılması;

⁸⁵ European Photovoltaic Industry Association website, www.epia.org

- PV'nin inşaat malzemesi olarak kullanımı için farklı tasarımlar geliştirilmesi;
- PV teknolojilerinin geri dönüşümü için geliştirme ve uygulamalar yapılması.

b) Yoğunlaştırılmış Güneş Enerji ve Yakıt Sistemleri (CSP)

CSP sistemlerde Ar-Ge öncelikleri yüksek proses ısı ile sistem verimliliğini (%25'lere çıkartmaya) artırmaya, malzeme kullanımını azaltmaya, ileri imalat teknolojileri ve otomasyon süreçleri ve ileri dağıtım stratejileri geliştirmeye odaklanmış olup aşağıdaki alanlarda çalışmalar yürütülmektedir:

- Malzeme araştırmaları
 - Farklı ortamlara, özellikle yüksek ısıya dayanıklı, alternatif ısı transfer akışkanları (tuz, gaz, buhar gibi) ile çalışacak parçalar
 - Alıcılar, reaktörler ve termal ısı depolama sistemlerinde yüksek-ısıya dayanıklı yapı malzemeleri
 - Parabolik çanakların tasarım ve malzemesinde iyileştirmeler
 - Yeni malzeme ömür artırma çalışmaları
- Isı ve kütle transferi
 - Birleşik ısı ve kütle transfer problemlerinin analizi için sayısal araçlar ve malzeme çalışmaları
 - Düşük su tüketimi ile soğutma sistemleri optimizasyonu
- Sistem teknolojisi
 - Yüksek ısı alıcıları ve güç modülleri
 - Yüksek ısıya dayanıklı büyük depolama sistemleri
 - Güneş kuleleri için ileri helyostat tasarımı ve izleme kavramları
 - Sistem davranışlarını modellemek ve doğrulamak için büyük ölçekli (10-50 MW kapasiteli) demonstrasyonlar/uygulamalar
- Maliyet düşürücü iyileştirme çalışmaları
- Büyük güneş tarlalarında yoğunlaştırma parçalarının optik ve mekanik performanslarını belirlemek ve izlemek için ölçüm teknolojileri
- Otomatik kontrol ve bakım sistemleri
- Güneş yakıtları (yakıt pili için hidrojen üretimi gibi) geliştirme çalışmaları
- CSP ile birlikte çalışacak su arıtma sistemleri geliştirilmesi

c) Güneş Isıtma ve Soğutma Sistemleri

Günümüzde güneş enerjisi termal sistemleri ağırlıklı olarak yüzme havuz ısıtması, evsel sıcak su elde edilmesi ve küçük ölçek alan ısıtması amaçlı kullanılmaktadır. Güneş termal enerjisinin büyük ölçekli binalarda veya endüstriyel sistemlerde soğutma veya kurutma amaçlı kullanımı henüz az sayıdadır. Uygulamaları artırmak için güneş enerjisi destekli ısıtma ve soğutma sistemleri ile ilgili Ar-Ge öncelikleri aşağıdaki gibi belirlenmiştir:

- Yüksek performanslı kolektörlerin tasarımı ve geliştirilmesi (küçük ölçekli güneş enerjisi soğutma sistemleri için)
- Depolama hacmini azaltacak kompakt ısı depolama sistemleri
- Endüstriyel uygulamalar için büyük ölçekli güneş ısıtma ve soğutma sistemleri
- Bina dış yüzeyleri ve çatılar için kolektör ve dış yüzey veya çatıyı birlikte içeren bütünleşik malzeme çalışmaları
- Optik kaplamalar, yansısız ve kendini temizleyen malzeme çalışmaları
- Güneş ısı uygulamaları için polimer esaslı malzemeler

- Elektrik ve ısıtmayı birlikte sağlayacak fotovoltaik-termal sistemler

3.3.1.4. Jeotermal Enerji

Jeotermal santrallerin dünyada kurulu güç kapasitesi 2008 yılı itibariyle 10.470 MWe'a çıkmış olup, 56.800 GWh/yıl mertebelerinde enerji üretilmektedir. Ancak bu dünya enerji tüketiminin %1'inden daha düşük bir değere denk gelmektedir.

Jeotermal kapasite açısından en zengin ülkeler Şili, Peru, ABD, Kanada, İtalya, Rusya, Çin, Japonya, Filipinliler ve Endonezya'dır. Yeni teknolojilerle düşük kaynama noktası olan sıvılar kullanılarak çok daha düşük ısılarda elektrik elde edilmesi bugün artık mümkün olduğundan, Almanya gibi ülkelerde de jeotermal kapasitenin kullanımı yaygınlaşmaya başlamıştır. Bilinen anlamda bir jeotermal ülkesi olmayan İsveç de sığ derinliklerdeki ısı enerjisini kullanan ısı pompası teknolojisi ile son yıllarda jeotermal enerji kullanım istatistiklerinde üst sıralara tırmanmıştır.

Başta ABD ve Avustralya olmak üzere pek çok ülkede jeotermal enerjiye ilişkin önemli ölçüde devlet destekleri bulunmaktadır. ABD'de Mayıs 2009'da açıklanan Jeotermal Destek Paketi'nde (yeni teknolojiler, GIS uygulamaları, envanter çalışması vb.) jeotermal Ar-Ge çalışmaları için 350 M ABD Dolar ayrıldığı belirtilmiştir. Avustralya'da da yedi jeotermal pilot proje için devlet 2008 yılı içinde, 220 milyon Avustralya doları tahsis etmiştir.

Jeotermal enerji henüz ticari anlamda diğer enerji kaynaklarıyla karşılaştırıldığında tam rekabetçi konuma gelememiştir. Jeotermal santral toplam yatırım maliyetinin %15-40'ı kuyu sondajı ile ilgilidir. Uluslararası ölçekte jeotermal enerji ile ilgili Ar-Ge öncelikleri aşağıdaki şekilde belirlenmiştir:

- Jeotermal tesislerin kurulumunda büyük bir yatırım maliyeti getiren sondaj/kuyu açma işleminin maliyetini azaltmak üzere mikro, lazer veya füzyon tekniklerinin geliştirilmesi,
- Petrol ve doğal gaz kuyuları ile soğuk su sondajlarından belirgin farklılıklar gösteren jeotermal sondajların maliyetini azaltmak için jeotermale uygun tekniklerin geliştirilmesi,
- Yerinde ölçüm teknolojilerinde (fiber optik kablo, yüksek ısı algılayan radar gibi) geliştirmeler;
- Isıyı elektrığe dönüştürmede kullanılan yöntemlerde geliştirmeler,
- Jeotermal kaynağın termal, kimyasal, hidrolik ve mekanik davranışlarının sistematik ölçülmesine yönelik modelleme çalışmaları,
- Sondaj yapılan sığ derinliklerdeki yüksek ısı katmanlarında (500C'ye kadar) yüksek akış hızına sahip akışkanların proses edilmesine ilişkin geliştirmeler (ileri jeotermal sistemler),
- Isı pompalarının geliştirilmesi ve özellikle yüzeydeki jeotermal kaynakların da değerlendirilmesi üzerine araştırmalar,
- Düşük sıcaklıkta elektrik eldesini sağlayan Rankine ve Kalina benzeri termodinamik çevrimlerinin verimini arttıracak çalışmaların yapılması,
- Düşük-orta düzey ısı bölgeleri için jeotermal ısı pompalarının tek başına veya güneş enerjisi gibi farklı bir enerji kaynağı ile birlikte kullanımına ilişkin geliştirme çalışmaları,
- Hidrokarbon/jeotermal ortak üretimine ilişkin çalışmalar (petrol ve gaz üretim alanlarında bulunan jeotermal akışkanların kullanımı),
- Jeotermal enerji üretimini etkileyen kırık oluşturma (fracturing) ve yönetimi ile ilgili metodolojiler geliştirme,

3.3.1.5. Biyoenerji

Biyokütlenin dünya enerji tüketiminin %14'ünü karşıladığı tahmin edilmektedir ki bu rakam 1.257 milyon ton petrolden elde edilebilen enerji demektir. "BLUE Map"⁸⁶ senaryosuna göre biyoenerji kullanımının 2050 yılında dünya enerji tüketiminin %23'üne erişeceği beklenmektedir. Biyoenerjinin %20'sinin ulaşım biyoyakıtlarında (ulaşım yakıt talebinin %26'sının biyoyakıtlardan karşılanacağı tahminlenmesi yapılmaktadır), %20'sinin elektrik üretiminde, %60'ının da biyokimyasallarda, ısıtma, pişirme ve sanayi süreçlerinde kullanılacağı tahmin edilmektedir.

Avrupa Komisyonunun yeni yayınlanan raporuna (Investing in the Development of Low Carbon Technologies COM2009 519/4) göre önümüzdeki 10 yıl için biyoenerji alanındaki kamu ve özel sektör yatırım gereksinimi yaklaşık 9 Milyar Avrodur. Bunun 4,5 milyar Avrosunun lignoselülozik hammaddenin termo-kimyasal reaksiyonun (thermo-chemical pathways from lignocellulosic feedstock) optimizasyonunda, 3.4 milyar Avrosunun biyokimyasal reaksiyonlarda, kalan 1 milyar Avronun da biyokütle hammaddesi araştırmaları ve yeni değer zinciri çalışmalarında kullanılması hedeflenmektedir.

Biyoenerji teknolojilerine en fazla Ar-Ge yatırımını ABD, Brezilya, Kanada, Fransa ve İsveç yapmaktadır. 2000 yılından itibaren Japonya ve Finlandiya'nın biyoenerji Ar-Ge harcamalarında önemli artışların kaydedildiği tesbit edilmektedir. Ancak dünyada biyoyakıt üretimine yönelik politikalar sonucunda, Brezilya, Endonezya ve Malezya gibi ülkelerde yağmur ormanlarının yok olduğuna ve gıda üretimine ayrılması gereken alanların biyoyakıt hammaddesi üretimine ayrılması nedeni ile gıda üretiminin azalması sonucu gıda fiyatlarının artması ve bu yüzden yoksul ülkelerin açlığa mahkum edileceğine dair çok önemli eleştiriler de bulunmaktadır.

Dünya biyoetanol pazarının en büyük aktörleri Brezilya ve Amerika'dır. Dünya biyoetanol pazarının yaklaşık %40'ına sahip olan Brezilya'nın 2008 yılında sahip olduğu büyük ölçekli etanol üretim tesis sayısı 400, biyodizel üretim tesis sayısı ise 60'dır. Biyoetanol üretiminde Brezilya ve Amerika'dan sonra Çin, AB ve Hindistan gelmektedir. AB biyoyakıtlar eylem planında hedefi 149 MTEP olarak belirlemiştir. AB'de üretilen etanolun %30'u akaryakıtta kullanılmaktadır. 2009 yılı sonu itibariyle Avrupa'daki etanol üretim kapasitesi yıllık 3 milyar litrenin üzerindedir. (FRA, 2009). İspanya, Polonya, Fransa, İsveç ve Almanya ağırlıklı olarak buğdaydan üretilen biyoetanol uygulamalarında aktif durumdadır (Acaroğlu, 2007).

Bitkisel yağlar ve bunlardan elde edilen yakıtlar içinde özellikle "biyodizel/biyomotorin"e olan ilgi dünya çapında giderek artmaktadır.. Biyodizel üretiminde dünyadaki en büyük aktör AB olup, hammadde olarak genellikle kanola bitkisi kullanılmaktadır. 1990'lı yıllarda başlayan biyodizel üretimi büyük bir trend ile artarak yükselmeye devam etmektedir. En büyük üretici ülke Almanya ve Fransa'dır. ABD'de biyodizel üretimi genellikle soyadan yapılmakta olup üretim her yıl artmaktadır. Brezilya'da da son yıllarda biyodizel üretimi için soya ve yerfıstığı ekimleri hızla yaygınlaşmaktadır.

Avrupa Biyoyakıt Teknoloji Platformunun 2006 yılında hazırladığı yol haritasına göre, 2010 yılına kadar birinci kuşak biyoyakıtlar olarak bilinen biyodizel, biyogaz, biyoetanol gibi klasik yöntemlerle üretilen biyoyakıtların, 2010'dan sonra, hammaddeleri gıda dışı ürünler olan ikinci kuşak biyoyakıtların üretilmesi ve kullanılması öngörülmektedir. İkinci kuşak biyoyakıtlarda gıda ve yem dışındaki hammaddelere öncelik verilerek üretim teknolojilerinin geliştirilmesi ve uygulanması hedeflenmektedir. Ayrıca raporda Avrupa Birliği'nde 2020 yılından sonra "**biyorafineri**" kavramının da yerleştirilmesi de öngörülmüştür.

Gelecekteki biyoenerji Ar-Ge öncelikleri IEA'nın 2009 yılındaki raporunda çevresel, finansal ve toplumsal değerler doğrultusunda şu şekilde gruplandırılmıştır:

⁸⁶ Uluslararası Enerji Ajansının (IEA-International Energy Agency) 2050 yılında CO₂ emisyonunu %50 azaltmaya yönelik yeni teknolojilerin uygulamaya konmasına yönelik olarak 2008 yılında hazırladığı senaryo

- Sürdürülebilir biyokütle üretimi konusunda çalışmalar yapılması;
- Yeni biyokütle hammaddeleri geliştirilmesi;
- Düşük maliyetli termo-kimyasal ve biyokimyasal esaslı yeni dönüştürme teknolojilerinin ve farklı enzim ve katalizörlerin geliştirilmesi;
- Selüloz açısından zengin olan odunsu atıklar vb. biyokütleden düşük maliyetli yüksek verimli enerji elde edilmesine yönelik farklı proses geliştirme çalışmaları yapılması;
- Odun artıklarının işlenerek içten yanmalı motorlarda, yakıt hücrelerinde ya da doğalgaz tesislerinde kullanılmak üzere sentetik gaz üretilmesine olanak sağlanması;
- Biyokütleden daha yüksek verimlilikte enerji üretimi için döngüde organik sıvı kullanan Organik Rankine Döngüsü'nün kullanımı çalışmaları yapılması.

3.3.1.6. Enerji Depolama Sistemleri

Yenilenebilir enerji kaynaklarının tüketim merkezlerine uzak olması, düzenli olmaması ve değişken hava ve mevsim koşullarına bağlı olması nedeniyle, enerji depolama sistemlerinin geliştirilmesi ön plana çıkmış olup, bu alandaki teknolojilerin kısa-orta vadede geliştirilmesi gerektiği vurgulanmaktadır.

Enerji depolama sistemlerinin önemi gerek şebeke yönetimi gerekse yenilenebilir enerjiden daha etkin bir şekilde yararlanılabilmesi kapsamında giderek artmaktadır. 2007 yılında 2,4 milyar ABD Doları olan enerji depolama pazarının 2012 yılında 600 milyar ABD Doları olması beklenmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının şebeke bağlantılarındaki problemleri depolama ve hızlı ve akıllı bir şebekenin varlığı ile optimum çözüme ulaşabilecektir.

Yerleşim alanlarından uzak bölgelerde, güç çevirici ve acil durum terminallerinin beslenmesi için kullanılan “düşük güç seviyesi” uygulamaları için kurşun pili halen en iyi çözüm olarak görülmekte, Li-iyon pili ise daha yüksek performansa sahip olmakla birlikte yüksek maliyeti nedeniyle yaygınlaşmamaktadır. Yerleşim alanlarından uzak bölgelerde bağımsız elektrik sistemleri için kullanılan “orta güç seviyesi” uygulamaları için, kurşun ve lityum dışında sıkıştırılmış hava, yakıt pili ve akım pili yöntemlerine dikkat çekilmekte ancak sıkıştırılmış hava için kendiliğinden deşarj olma, yakıt pili için maliyet ve düşük performans, akım pilleri için ise yüksek bakım maliyeti gibi dezavantajlar vurgulanmaktadır. Şebeke bağlantı uygulamaları (peak dengeleme) için ise sıkıştırılmış hava ve akım pilleri öne çıkmakta ancak saha uygulamaları eksikliği vurgulanmaktadır. Son olarak güç kalitesi kontrol uygulamaları için ise, hidrolik ve ısı depolamanın yanı sıra süper iletken manyetik depolamaya da dikkat çekilmektedir.

Bu kapsamda genel olarak depolama tekniklerinin geliştirilmesi için

- Güç elektroniği alanında iyileştirme ve optimizasyon çalışmaları;
- Depolama - iletim - güç elektroniği - kontrol sistemleri, vb. dahil olmak üzere “bütüncül” sistem yaklaşımı üzerine çalışmalar;
- Yenilenebilir enerji kaynaklarının çeşitli depolama yöntemleri ile entegrasyonuna yönelik çalışmalar ve
- Süperkapasitör ve uzun ömürlü volanlara yönelik çalışmaların

gerekli olduğu vurgulanmakta; Li-iyon pillerinin yüksek performansına karşın maliyetinin yüksek olduğu ve pillerin geri dönüşüm ve atık yönetimi konularında da Ar-Ge ihtiyacının bulunduğu belirtilmektedir.⁸⁷

⁸⁷ Energy Storage Systems – Characteristics and comparisons, H. Ibrahim, A. Ilinca, J. Perron, 2007

Enerji depolama ile ilgili daha spesifik Ar-Ge önceliklerinin ise aşağıdaki kapsamda olması beklenmektedir:

- Özgül enerjisi 350 Wh/kg ve üzerinde olan Li-iyon ve özgül enerjisi 120 Wh/kg ve üzerinde olan NiMH (nikel metal hidrür) pillerinin geliştirilmesi;
- Elektrik enerjisini elektronik yolla depolayan süper kapasitörlerin geliştirilmesi;
- Enerji depolamada kullanılacak malzemelerin, süperiletken ve süperkapasitör/süperkondansatör enerji depolama sistemlerinin geliştirilmesi;
- Süperiletkenlerin enerji iletiminde kullanılması;
- Süperiletken manyetik enerji depolama (SMES) sistemlerinin yakıt pili, yenilenebilir enerji ve elektrik enerjisi sistemlerinde uygulanması.

3.3.1.7 Enerji İletim Sistemi - Akıllı Şebeke (Smart Grid)

Akıllı şebeke konusunda farklı ülkelerin kamu Ar-Ge harcamaları incelendiğinde 2009 yılı tahminlerine göre toplam 420 M ABD Dolar harcama içinde başı çeken ilk beş ülke; Japonya, İtalya, ABD, Almanya ve Kore'dir. 2007 yılında 49 milyon olan akıllı sayaç sayısı 2009 yılında 73 milyona erişirken, dünya çapındaki Akıllı Şebeke yatırımlarının 2008 yılındaki 12 milyar ABD Dolar seviyesinden 2014 yılında 33 milyar ABD Dolara tırmanması beklenmektedir.

Akıllı şebeke uygulamalarında gereksinim duyulan teknolojilerin bir çoğu halihazırda geliştirilmiş teknolojilerdir, ancak entegre edilmeleri gerekmektedir. Ayrıca her ülkeye ait farklı şebeke yapısı olduğundan, gerek akıllı sistemler gerekse yenilenebilir enerji kaynakları entegrasyonunda sistem analizleri devam ettirilerek en uygun koşullar araştırılmaktadır. Bu konudaki Ar-Ge öncelikleri aşağıdaki şekilde belirlenmiştir:

- Parça ve sistem entegrasyon metodolojileri geliştirilmesi;
- Sistem işletim, yönetim ve kontrol metodolojileri geliştirilmesi;
- Altyapıya ait teknolojiler (süper iletken cihazlar, depolama teknolojileri, güç çevirme teknolojisi gibi) geliştirilmesi;
- Son kullanıcı etkileşimi ile ilgili yenileşim çalışmaları;
- Sistem güvenliği;
- Sistem uygulama projeleri.

3.3.2. Ülkelerin Yenilenebilir Enerji Teknolojileri Öncelikleri ve Destek Mekanizmalarına Örnekler

2008 yılında birçok ülke yenilenebilir enerji konusunda politika oluşturmuş veya mevcut politikalarını daha ayrıntılı ve zorlayıcı hale dönüştürmüştür. 2009 yılının başlangıç dönemi itibariyle en az 73 ülkede resmi hükümet politikaları oluşturulmuş bulunmaktadır. Bu alanda ilk politika belirleyen ülke ABD (1978) olmuş ve onu Almanya (1990) izlemiştir. Avrupa'nın bir diğer yükselen yıldızı İspanya (1994) da ulusal yenilenebilir enerji politikalarını 16 yıl önce belirlemiştir. Avrupa Birliği 2020 yılına kadar gerçekleştirilmesi düşünülen hedeflerini her ülke için ayrı ayrı belirlemiştir.

3.3.2.1. Amerika Birleşik Devletleri

ABD Enerji Bakanlığı (DOE) 2009 yılında Amerikan ekonomisini yeşillendirme taahhüdüne uygun olarak yenilenebilir enerji projelerini desteklemek üzere yeni programlar açıklamıştır.

- Güneş Enerjisi Teknolojileri Programı ile aşağıdaki alt-başlıklarda destek programları 117,6 M ABD Doları toplam bütçe ile yürürlüğe konmuştur. Program hem finansal hem de teknik destek içermektedir.

- Erken aşamadaki güneş teknolojilerinin dört firmada desteklenerek (12 M ABD Doları) bu teknolojilerin ticarileşmesinin sağlanması
- Küçük işletmelerde temiz enerji yenileşim projelerinin desteklenmesi (18 M ABD Doları)
- Güneş enerjisi ile ilgili yeni teknoloji geliştirme projelerinin desteklenmesi (proje başına ortalama 2 M ABD Doları olmak üzere toplam 87 M ABD Dolar)
- Yoğunlaştırılmış Güneş Enerjisi (CSP) Araştırmalarına destek programı ile enerji depolama teknolojileri ve kömür santralleri ile rekabet edebilecek CSP sistem parçaları tasarım ve geliştirme çalışmalarının desteklenmesi hedeflenmiştir. Programın bütçesi bir proje için yaklaşık 4 M ABD Doları olmak üzere toplam 52,5 M ABD Dolarıdır.
- Yeni Rüzgar Enerjisi Projeleri destek programı ile 28 projenin 13,8 M ABD Doları kadar (proje başına ortalama 0,5 M ABD Doları) desteklenmesi hedeflenmiştir. Projeler rüzgar türbin kuleleri, kanatlar, dişli kutusu, yağlayıcılar ve jeneratörler konusunda yapılacak iyileştirmeleri, ileri imalat teknolojilerini, rüzgar türbin işletmelerinin performans izleme sistemlerini, rüzgar ölçüm ve tahminleme sistemlerini, talep simülasyon modellerini kapsamaktadır.
- Akıllı Şebeke uygulama projeleri destek programı 47 M ABD Dolar bütçeli bir program olup, elektrik iletim ve dağıtım performansını artırıcı çalışmaların desteklenmesi hedeflenmektedir.
- Bölgesel enerji verimliliği ve yenilenebilir enerji proje uygulamaları için toplam 212 M ABD Dolar kaynak ayrılmıştır.
- Biyoyakıt Araştırmaları programı ile üç yıl süreyle temel araştırmalar için toplam 6,3 M ABD Doları kaynak aktarılması hedeflenmiştir.

Yukarıda listelenen destek programlarının yanı sıra 2010 Şubat ayında üç büyük güneş enerjisi santraline 1,37 Milyar ABD Doları kredi garantisi sağlamak üzere bir genelge yayınlanmıştır. Bu yatırımlar ile ABD'nin güneş enerjisi kurulu kapasitesinin ikiye katlanması hedeflenmektedir.

3.3.2.2. Almanya

Almanya'nın yenilenebilir enerji politikası tarife garantisi (feed-in tariff) şeklinde uygulanan devlet sübvansiyonlarına dayanmaktadır. 2000 yılında "Electricity Feed-in Law" da yapılan bir değişiklik ile yenilenebilir enerji üreticilerinden gelen enerjinin teknolojik-spesifik olarak belirlenen tarifelerle 20 yıl boyunca şebekeye alımı garanti edilmiştir.

Son yirmi yıl içinde Almanya'nın yenilenebilir enerjiye yaklaşımı kamu tarafından finanse edilen Ar-Ge odağından, yeni teknolojilerin pazarda uygulamasının teşvik edilmesine kaymıştır. Bu politikalar sonucunda Almanya'da yenilenebilir enerji kaynakları ile üretilen elektrik kapasitesinde önemli artış kaydedilmiştir. Ancak kurulu kapasite üretim ve katkı sağlama ile aynı anlamı taşımamaktadır. 2008 yılı verilerine göre rüzgar enerjisinin toplam elektrik üretimi içindeki payı %6,3, biyokütle esaslı elektrik üretiminin payı %3,6 ve hidroelektrik üretiminin payı %3,1'dir. En çok sübvansiyon edilen fotovoltaik piller ile üretilen elektrik üretiminin payı ise göz ardı edilebilecek boyutlardadır (%0,6). Bu verilerden de hareketle yayınlanan çeşitli raporlar Almanya'nın Ar-Ge çalışmalarını desteklemek yerine, pazar odaklı tarife garantisi yoluyla yenilenebilir enerjiyi desteklemesinin yüksek maliyetler doğurduğunu ve emisyon azaltılması, istihdam artırması, enerji güvenliği sağlanması veya teknolojik yenileşim yaratması gibi olumlu sonuçlar doğurmadığını göstermektedir⁸⁸.

⁸⁸ RWI Report, Oct 2009, Economic impacts from the promotion of renewable energies: The German experience

3.3.2.3. İtalya

Yenilenebilir enerji stratejileri 1999 yılında “White Paper” ile duyurulmuştur. Biyokütle ve güneş enerjisinin öncelikli alanlar olarak belirtildiği strateji dokümanında hedef 2012 yılına kadar YEK'den enerji üretimini ikiye katlamak olarak belirtilmiştir.

Uygulanan destek programlarından bazı örnekler aşağıda verilmiştir;

- “Biyoklimatik Mimari” isimli 9,3 M ABD Dolar bütçeli program ile bina mantolaması ve bina elemanlarının enerji verimliliğini artıracak Ar-Ge çalışmaları desteklenmiştir.
- “10,000 Fotovoltaik Çatı” isimli 7,8 M ABD Dolar bütçeli program ile üç yıl içinde 50 MW kapasiteli 10,000 adet fotovoltaik tesis kurulması hedeflenmiş, PV araştırmalarının binalara kalın film ile PV entegrasyonu, PV teknoloji maliyetini aşağıya çekmek ve PV'nin sokak aydınlatması ve telekomünikasyon gibi niş alanlara uygulanmasına odaklanmıştır.
- Güneş enerjisi depolama ile ilgili Ar-Ge çalışmalarına Ulusal Araştırma Programları listesinde yer verilerek özel bir fonlama ile desteklenmesi sağlanmıştır.
- Biyokütleden enerji elde edilmesi ile ilgili ilk destek programı 1993 yılında yayınlanmıştır. Program kapsamında akışkan yataklı gazlaştırma, flaş piroliz, selülozun etil alkole biyodönüşümü gibi çevrim teknolojileri ile biyokütle ekimi desteklenmiştir.
- Kamu rüzgar enerjisi (RE) Ar-Ge programı teknolojilerin ticarileştirilmesi, RE ürünlerin sertifikasyonu ve RE kaynakların izlenmesi konularına odaklanmıştır. Hedef 2012 yılında rüzgar enerjisi kapasitesinin 2,500 MW'a çıkartılmasıdır.
- İtalya dünyanın en fazla jeotermal enerjisi üreten ülkelerden biridir, ancak bu alan öncelikli alan olarak ulusal programda yer almamaktadır ve yatırımların %99'u özel sektör tarafından finanse edilmektedir.

3.3.2.4. İspanya

İspanya'da yenilenebilir enerji ile ilgili gelişmeler 1980 yılında, 2. petrol krizi sonrasında yayınlanan yasa ile başlatılmıştır. 1997 yılında yayınlanan Elektrik Sektör Yasası ile elektrik pazarı yeniden düzenlenerek, 2010 yılında enerji talebinin %12'sinin yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanması hedefi konmuştur. Ancak 2005 yılında bu hedefin erişilmesinin mümkün olmadığı anlaşılarak, 2005-2010 yılı için enerji verimliliğini artırmaya yönelik yeni bir Yenilenebilir Enerji Geliştirme Planı ve Aksiyon Planı hazırlanmıştır.

İspanya günümüzde Avrupada birinci, dünya sıralamasında ikinci en büyük güneş termal elektrik kapasitesine (232 MW, 2009 yılı); Avrupa'da ikinci, dünyada dördüncü kurulu rüzgar enerjisi kapasitesine (19,000 MW); Avrupa'da ve dünyada ikinci büyük fotovoltaik kapasitesine (3,000 MW) ve üçüncü en büyük küçük hidrolik enerji kapasitesine (16,000 MW) sahip ülke konumundadır. Bu başarı ülkede uygulanan ekonomik destek mekanizmasına (feed-in-tariff) ve ulaştırma sektörünün biyoyakıt kullanma zorunluluğuna ilişkin geliştirilen politikaya bağlanmaktadır. İspanya özel sektör firmalarının yenilenebilir enerji ile ilgili Ar-Ge ve inovasyon çalışmaları için harcadıkları tutarın en az altı katı kadar bu alana yatırım yapmıştır⁸⁹.

İspanya komisyonun yenilenebilir enerji ile ilgili 2009 yılı Direktifini dikkate alarak 2010 yılında 2011-2020 Yenilenebilir Enerji Planını, Yenilenebilir Enerji ve Enerji Verimliliği Yasasını ve Sürdürülebilir Ekonomi Yasasını hayata geçirmiştir.

⁸⁹ Renewables Made in Spain, IDAE (Enerji Farklılaştırması ve Tasarrufu Merkezi), Mart 2010

İspanya’da rüzgar alanında faaliyet gösteren 75 sanayi bölgesi ve bu bölgelerde de 700’den fazla firma bulunmaktadır. Sanayi bölgelerinin 18’i rüzgar türbin montaj tesisidir. Sektörün ihracat rakamları yıllık 3 milyar Avro’ya ulaşmıştır.

İspanya’da Bakanlar Konseyi 2009 yılında solar termal elektrik teknolojilerinin 2013 yılında 2,400 MW değerşne ulaşmasına ilişkin yol haritası oluşturma yolunda anlaşmaya varmıştır. Solar termal elektrik teknolojilerinden en yaygın olarak kullanılanı parabolik alıcılardır. Bu konuda faaliyet gösteren İspanyol firmalar ABD, Fas, İsrail, Birleşik Arap Emirlikleri gibi ülkelerde projeler yürütmektedirler. Solar termal elektrik sektörünün İspanya’daki araştırma öncelikleri şunlar olarak belirlenmiştir; termal depolama, emici tüplerde iyileştirme, aynalarda iyileştirme ve soğutma su miktarında azaltma.

Kişi başına fotovoltaik kapasite kullanımı açısından İspanya dünya lideri konumundadır. Teknolojide önemli atak 2008 yılında yeni yasa ile sağlanmıştır. Madrid Politeknik Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsünün 30 yıllık geçmişi bulunmaktadır. Fotovoltaik konusunda çalışan özel sektör firmaları değer zincirinin her aşamasında yer almaktadır. Kristal hücre üretiminin önemli parçası olan polisilikon konusunda çalışmalar İspanya için öne çıkan Ar-Ge alanlarıdır ve bu konudaki çalışmalar devlet desteği ile yürütülmektedir.

Hidroelektrik enerji İspanya’nın enerji arzında önemli rol oynamaktadır. Hidroelektrik sektörü 150 yıla dayanan geliştirme çalışmaları sonucunda yüksek seviyede teknolojik verimliliğe ulaşmıştır. İspanya’da güç santralleri ekipman üretimi yapan firmalar bulunmaktadır. Bu firmalar santral verimliliğini yükseltecek şekilde yeni türbin tasarımları ve pompa istasyonu otomasyon sistemleri üzerine çalışmaktadırlar.

3.3.2.5. Japonya

Japonya’nın 2008 yılında hazırlanmış “2050 yılı Yenilenebilir Enerji Vizyonu” başlıklı bir politika dokümanı bulunmaktadır. Dokümanda 2050 yılında elektrik tüketiminin %60’ının YEK’lerden karşılanması hedefi konmuştur. Yine 2008 yılında “Japonya Yenilenebilir Enerji Platformu” (JREPP) oluşturulmuştur. Platform 2050 yılı hedeflerine uygun olarak politikalar üretmektedir.

Japonya’da yenilenebilir enerjinin yaygınlaştırılması için iki yaklaşım kullanılmaktadır. Birinci yaklaşım yenilenebilir enerji teknolojilerinin ticarileşmesini sağlama amaçlı yapılan Ar-Ge çalışmalarının kamu kaynaklarından desteklenmesi, diğer yaklaşım ise yenilenebilir enerji pazarı oluşturmaya yönelik yasal mevzuat çalışmalarıdır. Kamu destekleri genel amaçlı olmayıp hedefe yönelik teknolojileri desteklemektedir. Örneğin 1970 petrol krizi sonrasında güneş enerjisi alanında yapılan çalışmalara çok büyük kaynak ayrılmış, 1990’lardan sonra destek düzenli olarak PV araştırmalarına aktarılmıştır. Her ne kadar güneşten PV ile enerji elde etme hala ticari olarak çok rekabet edebilir olmasa da, istikrarlı fonlama politikası ile dünya çapında güneş enerjisi imalatçı firmaları yaratmıştır. Bugün en büyük altı PV firmanın dördü Japon firmasıdır.

3.3.2.6. Finlandiya

Finlandiya’da kamunun YE ile ilgili politikaları AB ülkelerinden özellikle pazar yayılımı açısından oldukça farklıdır. Güneş ve rüzgar ile ilgili Fin pazarı AB’nin %0,1’inden daha düşüktür. Avrupa’nın ormansız biyokütle üretimi açısından lider bir ülkesi olmasına rağmen, biyo-pelet alanında Avrupa’da 10. sırada yer almaktadır. Doğrudan enerji destek politikası olmamakla birlikte, güçlü yenileşim politikası sayesinde YE teknolojileri ile ilgili Ar-Ge destek programları bulunmaktadır.

İç pazarın yetersizliği firmaları ihracata yöneltmiştir. Rüzgar ve güneş alanında faaliyet gösteren sanayi üretiminin %90’ını ihraç etmektedir. Sanayi özellikle hammadde ve parça üretimine

yoğunlaşmıştır. Ancak iç pazar yaratılması ile ilgili politikaların eksikliği ve bu konudaki desteklerin yetersizliği güneş ve rüzgardaki ihracat rakamlarının gittikçe azalmasına neden olmaktadır.

Finlandiya'nın aksine Danimarka ve Almanya firmaları iç pazar yaratacak kamu politikalarının varlığı nedeniyle dünya pazarlarında gittikçe büyüyen oranlarda yerlerini almışlardır. Bu örnekler iç pazar ve sanayi başarısı arasında doğru ilişki olduğunu göstermektedir⁹⁰. İspanya'da ulusal rüzgar pazarı ve sanayinin yükselişi de aynı olguyu doğrulamaktadır.

3.3.2.7. İsveç

Enerji ile ilgili araştırma ve teknoloji geliştirme projeleri ağırlıklı olarak İsveç Enerji Kurumu (STEM) tarafından yürütülmekte ve desteklenmektedir. Mevcut program 2005 yılında başlamıştır ve 2011 yılına kadar devam edecektir. Program kapsamında altı konu başlığında projeler desteklenmektedir: yakıt bazlı enerji sistemleri, binalarda enerji kullanımı, ulaşım, enerji yoğun sanayiler, elektrik üretimi ve dağıtımı ve enerji sistemleri.

Program çerçevesinde STEM 2009 yılının son yarısında 812 Milyon SEK tutarında aşağıdaki üç demonstrasyon projesinin/tesisinin desteklenmesi onayını vermiştir. Ancak bu destek projelere Avrupa Komisyonu tarafından da onay verilmesi durumunda yürürlüğe konmaktadır. Projeler şunlardır:

- Siyah likörden biyoyakıt elde edilmesi (500 M SEK)
- Düşük kalitede orman atıklarından yüksek kalitede biyoyakıt elde edilmesi (222 M SEK)
- LignoBoost kavramının tam boyutlu uygulaması (90 M SEK)

Proje esaslı desteklerin yanı sıra İsveç Enerji Kurumu, ticarileşme potansiyeli bulunan enerji ile ilgili fikirleri olgunlaştırmada yeni kurulmuş enerji firmalarına sermaye, bilgi ve ilişkiler ağı sağlayarak destek olmaktadır. STEM sermaye desteği olarak enerji ile iyi ilişkilendirilmiş, iyi bir iş kavramı (business concept) ve ekibi olan firmalara şartlı kredi sağlamaktadır. Destek sağlanan firmalar STEM'in portföyüne girerek yatırımcılara sunulmaktadır.

3.3.2.8. Hindistan

Hindistan dünyanın dördüncü büyük ekonomisi ve beşinci en büyük sera gazı çıkaran (2 Gt, World Energy Outlook 2009) ülkesidir. Sera gazı emisyonu 1990 ile 2005 yılları arasında %65 artış göstermiştir (IEA, 2007) ancak ekonomideki büyüme aynı zamanda emisyon yoğunluğunda düşme sağlamaktadır.

Hindistan'ın ana enerji kaynağını kömür oluşturmaktadır (%39), bunu biyokütle ve atık (%29), fuel-oil (%25) ve doğal gaz (%5) takip etmektedir. Yenilenebilir enerji kapasitesi toplam enerji kapasitesinin %4'ü kadardır (16.82 GW Mart 2010, Kaynak: Yeni ve Yenilenebilir Enerji Bakanlığı). Yatırımların büyük çoğunluğu 2002-2007 yılları arasında yapılmıştır. Rüzgar enerjisi üretiminde de dünya dördüncüsüdür. 2020 yılı hedefi toplam elektrik üretiminin %25'inin yenilenebilir enerji kaynakları ile sağlanmasıdır (REN21Map⁹¹).

Hindistan Kyoto Protokolüne taraf bir ülkedir ve Protokolün Temiz Geliştirme Mekanizması na (Clean Development Mechanism - CDM) 345'in üzerinde kayıtlı biyokütle ve rüzgar enerjisi projesi ile aktif katılım sağlamaktadır. Yeni ve Yenilenebilir Enerji Bakanlığı bulunmaktadır. Yenilenebilir enerji ile ilgili

⁹⁰ Global market penetration of new renewable energy technologies -assessing future growth rates and energy impacts, P.D.Lund, 2008

⁹¹ www.ren21.net/map/

ilk etkili politika oluşumu 2003 yılında “Electricity Act” yoluyla olmuştur. 2006 tarihli Kırsal Elektriklendirme Politikası 80,000 köyden 18,000 köyün yenilenebilir enerji ile elektrikleştirilmesini şart koymaktadır.

Rüzgar enerjisi ile ilgili olarak Hindistan Yenilenebilir Enerji Geliştirme Ajansı tarafından yatırımcılara düşük faizli uzun vadeli krediler kullanılmaktadır. Demonstrasyon projeleri için de kamu destekleri mevcuttur.

Güneş enerjisi ile ilgili projelere sermaye ve satış destekleri sağlanmaktadır. Fotovoltaik teknoloji alanında yabancı yatırımcıyı çekebilmek için devlet ortak projelerde %74'e kadar yabancı yatırımı doğrudan onaylamaktadır. Fotovoltaik parçalar ve ham maddeler özel tüketim vergisinden muaftır. Bazı yerleşim yerlerinde binalarda güneş enerjili su ısıtma sistemleri kullanımı zorunlu tutulmaktadır. Ayrıca kamu 2008 yılında büyük ölçekli şebeke bağlantılı solar projelerini desteklemek üzere feed-in-tariff programını uygulamaya koymuştur.

Elektrik üretimine yönelik biyokütle projeleri çeşitli devlet yardımları, gelir ve tüketim vergisi indirimleri ve hızlandırılmış amortisman gibi desteklerden yararlanmaktadırlar. Petrol ve Doğal Gaz Bakanlığı Nisan 2008 tarihinde etanol katkılı benzin kullanımını zorunlu hale getiren bir programı yürürlüğe koymuştur. Ayrıca etanol üretimi ve ticarileşmesine yönelik Ar-Ge çalışmalarını teşvik etmek üzere biyoyakıtlar konusunda ulusal politika oluşturma çalışmaları yürütülmektedir.

3.3.2.9. Çin

Ocak 2006'da yürürlüğe giren “Yenilenebilir Enerji Yasası” ve 2007 yılında hazırlanan Orta ve Uzun Vadeli Yenilenebilir Enerji Kalkınma Planı, Çin'in yenilenebilir enerji endüstrisi ve ulusal pazarın gelişimi için çok önemli mihenk taşı olmuştur. Yasada toplam enerji ihtiyacının yenilenebilir enerjiden karşılanma oranları 2010 yılı için %10, 2020 yılı için de %15 olarak belirlenmiştir. 2009 yılı değeri %9 olarak gerçekleşmiştir.

Çin'in 2009 yılı toplam elektrik üretimi 3,7 TkwH (trilyon kw saat), yıllık tüketimi de 3,6 TkwH'dir. Toplam kurulu kapasitesi de 874 GW'dır (China's National Development and Reform Commission – 2009). Yenilenebilir enerji üretiminde 152 GW kurulu güç kapasitesi ile dünya liderlerindedir. 2007 yılında Almanya'dan sonra en büyük ikinci yatırımcı ülke olarak yenilenebilir enerji yatırımları 12 Milyar ABD Doları olarak gerçekleşmiştir. Rüzgar türbini üretiminde 2009 yılında Danimarka, Almanya, İspanya ve ABD'yi geride bırakarak 25 GW üretme kapasitesi ile ABD ve Almanya'nın arkasından dünyanın en büyük üçüncü rüzgâr türbini üreticisi olmuştur. Ayrıca güneş panelleri üretiminde de son iki yıldır Batıyı geçerek dünyanın en büyük imalatçısı haline gelmiştir. Bu iki sanayi son yıllarda ulusal bazda yaklaşık 400.000 istihdam artışı sağlamıştır.

Enerji donanımında ihracat liderliğine oynayan Çin, bu sektörde dünyanın en büyük iç pazarı (her yıl %15 artan bir iç talep) gibi bir avantaja sahiptir. Elektrik şebekesini geliştirmek için önemli kamu harcamaları bulunmaktadır. 2005 yılı öncesi çok az sayıda rüzgar türbin üreticisinin olduğu Çin'de bugün 70'in üzerinde 0.75-3 MW kapasitede rüzgar türbin imalatçısı, 100'ün üzerinde parça imalatçısı bulunmaktadır.

Yenilenebilir Enerji Yasası'nda Çin'deki yenilenebilir enerji gelişimini yönlendirmek üzere dört program tanımlanmıştır: yenilenebilir enerji üretiminden kaynaklanan ek maliyetin son kullanıcı ile paylaşıldığı bir program; şebekeye bağlanan tüm yenilenebilir enerji üretimi için tarife garantisi; tüm yenilenebilir enerji üretiminin şebeke firmaları tarafından satın alınma zorunluluğu; 2010 ve 2020 yılları için konan yenilenebilir enerji hedefleri.

Çin'de mali destekler hem merkezi hükümet hem de yerel yönetimler tarafından sağlanmaktadır. Ulusal bazda sağlanan destekler şunlardır:

- Yenilenebilir enerji teknolojisi anahtar ekipmanlarının geliştirilmesi, üretilmesi ve demonstrasyonu (toplam 585 M ABD Dolar destek tutarı);
- Yenilenebilir enerji üretim sistemlerinin kurulması için destek;
- Kırsal alanlarda şebeke dışı güneş PV ve küçük ölçekli rüzgar enerjisi uygulamalarının desteklenmesi (2000-2003 yılları arasında 1.000'in üzerinde köydeki uygulama desteklenmiştir);
- Kırsal alanlarda hane içi uygulamaların desteklenmesi;
- Daha verimli enerji kullanımını sağlamak üzere çok çeşitli atıkların toplanması ve proses edilmesinin desteklenmesi (ormansız atıklardan elde edilen her bir ton biyokütle pelet için 19-22 ABD Doları ödeme yapılması).

Ulusal bazda sağlanan desteklerin yanı sıra Çin Hazine Kurumu da kırsal kesimlerde küçük rüzgar türbin kullanımını hedefleyen rüzgar enerjisi, güneş ısıtma sistemleri ve biyogaz projelerini faizsiz kredilerle desteklemektedir⁹².

3.4. Türkiye'de Yenilenebilir Enerji

3.4.1. Enerji Tüketimi, Üretimi, Kurulu Güç ve Yenilenebilir Enerjinin Payı

2008 yılı verilerine göre Türkiye'de kişi başına düşen birincil enerji tüketimi 1.495 kgpe (kg petrol eşdeğeri), elektrik enerjisi tüketimi ise 2.791 kWh olmuştur. Dünya ortalaması birincil enerjide 1.820 kgpe olup, elektrik tüketiminde gelişmiş ülkelere ait ortalama tüketim 8.900 kWh'tir. Buna göre, Türkiye'de kişi başı enerji tüketim miktarının uluslararası standartların altında olduğu görülmektedir⁹³.

4.4.1.1. Birincil Enerji

Türkiye'nin birincil enerji talebi, küresel krizin etkilerinin görüldüğü 2008 yılı hariç, yıllar içinde sürekli olarak artmıştır. 1990 yılında 80 Mtep (milyon ton eşdeğer petrol) altında olan birincil enerji talebi, 2008 yılında yaklaşık 108 Mtep olmuştur⁹⁴.

Söz konusu birincil enerji talebine (tüketimine) karşılık birincil enerji üretimimiz 2008 yılı verilerine göre yaklaşık 29 Mtep olup, üretimin talebi karşılama oranı %27,5 seviyelerindedir. Buna göre ülkemizin birincil enerjideki dışa bağımlılığı yaklaşık %73 oranındadır. Tablo 3.6'da, birincil enerji talep ve üretimimizin kaynaklara göre dağılımı verilmektedir. Aynı Tablo'da birincil enerji kaynaklarının toplam üretim ve talepteki oranları da yer almaktadır.

Tablo 3.6. Türkiye'nin Birincil Enerji Üretimi ve Talebi (MTEP) (2008)⁹⁵

Kaynaklar	Kömür	Yenilenebilir		Petrol	Doğalgaz	Toplam
		Biyokütle (Odun+Bitki) (*)	Diğer (**)			
Birincil Enerji Üretimi	16,7	4,8	4,5	2,3	0,9	29,2
Üretim içindeki payı (%)	57,1	16,5	15,4	7,8	3,2	100,0
Birincil Enerji Talebi	31,4	4,8	4,5	31,8	33,8	106,3
Talep içindeki payı (%)	29,5	4,5	4,3	29,9	31,8	100,0
Üretimin Talebi Karşılama Oranı (%)	53,1	100,0	100,0	7,1	2,8	27,5

(*) Basit yakma işlemleri ile kullanımı içermektedir.

(**) Yaklaşık %70'i hidrolik olup, küçük-büyük HES ayrımı yapılmamaktadır.

⁹² REN21 – Recommendations for Improving the Effectiveness of renewable Energy Policies in China – October 2009

⁹³ Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, 2007 – 2008 Türkiye Enerji Raporu.

⁹⁴ Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2010-2014 Stratejik Planı.

⁹⁵ Oğuz Türkyılmaz, Türkiye'nin Enerji Görünümü, TMMOB, VII. Enerji Sempozyumu, 2009, Ankara.

Buna göre, yenilenebilir enerjinin toplam enerji talebi içindeki payı %8,8 iken, toplam üretimimiz içindeki payı ise yaklaşık %32'ye denk gelmektedir. Yenilenebilir enerji, %100 oranında yerli kaynakların kullanılmasını sağlamakta, doğrudan dışa bağımlılık oranını azaltmaktadır. Ülkemizdeki mevcut yenilenebilir enerji esas olarak hidroelektrik ve biyokütle kaynaklıdır.

3.4.1.2. Elektrik Enerjisi

Elektrik Üretimi, Tüketimi, Kurulu Güç

2006 yılında 176,2 milyar kWh olan elektrik tüketimi 2007 yılında %7,8 artışla 191,6 milyar kWh'e ulaşmıştır. 2008 yılındaki toplam tüketim ise, krizin etkileri ile %3,3 oranındaki daha düşük bir artışla 198 milyar kWh olmuştur. Son 6 yılda Türkiye'nin elektrik enerjisi tüketimi artışı %47'dir. Bu artış Dünya ülkeleri arasında en yüksek artışlardan biridir.

Elektrik üretim kapasitesi, 2008'de 41.748 MW iken, Kasım 2009 itibariyle kurulu güç 44.600 MW'a⁹⁶, Haziran 2010 itibariyle ise 45.225 MW'a ulaşmıştır. Kurulu gücün yaklaşık %33'ü yenilenebilir enerjiye dayanmakta olup, bunun da yaklaşık %95'ini hidroelektrik santraller, %3,5'ini rüzgar, geri kalanını da diğer (jeotermal, çöp gazı) kaynaklar oluşturmaktadır⁹⁷. Kurulu güçteki yenilenebilir enerjinin payında özellikle 2008-2010 döneminde önemli bir artış gözlenmiş, rüzgarda 1029,2 MW, jeotermalde 94,2 MW seviyelerine gelinmiştir⁹⁸. 2008 yılı elektrik üretimindeki kaynakların dağılımına bakıldığında ise, %48,2 ile doğalgazın ilk sırayı aldığı, bunu %21,1 ile linyitin izlediği görülmektedir. Hidroelektrik %16,8'lik bir paya sahipken diğer yenilenebilir enerji kaynaklarının (rüzgar, jeotermal, biyogaz) toplam payı %0,6'nın altındadır⁹⁹.

Elektrik İletimi

Yukarıda, elektrik tüketim miktarları olarak verilen değerler brüt değerler olup, kayıp ve kaçakları da içermektedir. Kayıp ve kaçaklar toplam elektrik tüketiminin ortalama %15,6'sını oluşturmaktadır¹⁰⁰. Bu değer uluslararası standartlara göre çok yüksektir. Örnek olarak AB ülkelerinde bu oran %7 seviyelerindedir.

Mevcut iletim sistemi, 380 kV ana iletim sistemi (220 kV dahil) ve 154 kV iletim sistemi olarak iki gerilim seviyesindedir. Çok az ve eskiden kalma 66 kV iletim sistemi de vardır. İletim hatlarının uzunluğu yıllar içinde sürekli artmakta olup, son 20 yılda %47 oranında artarak 2008 yılı verilerine göre 46.667 km'ye ulaşmıştır.

İletim hattında kalitenin düştüğü ve arıza katsayısının, kesintilerin yine Avrupa ülkelerine göre çok yüksek olduğu yapılan yorumlar arasındadır. Ayrıca trafoların ve hatların dengeli dağıtılmadığı, dolayısıyla güç aktarımı ve iletim sorunlarının olduğu, kurulan santraller ile iletim hatları arasındaki koordinasyonun yetersizliğinin de tam kapasite kullanımında ve iletimde darboğaz yarattığı belirtilmektedir. Enterkonnekte sistemdeki dengesizlikler pek çok sorunun nedeni olarak gösterilmektedir¹⁰¹.

Yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen elektriğin enterkonnekte sisteme verilmesine getirilen sınırlama ve koşulların önemli bir bölümü de mevcut iletim sistemindeki yetersizlik ve sorunlardan kaynaklanmaktadır.

⁹⁶ Oğuz Türkyılmaz, Türkiye'nin Enerji Görünümü, TMMOB, VII. Enerji Sempozyumu, 2009, Ankara.

⁹⁷ EPDK, Uluslar arası Enerji Kongresi, 8-9 Ekim 2009, Ankara.

⁹⁸ EPDK Lisans Verileri, Temmuz 2010

⁹⁹ T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2008 Yılı Genel Enerji Dengesi.

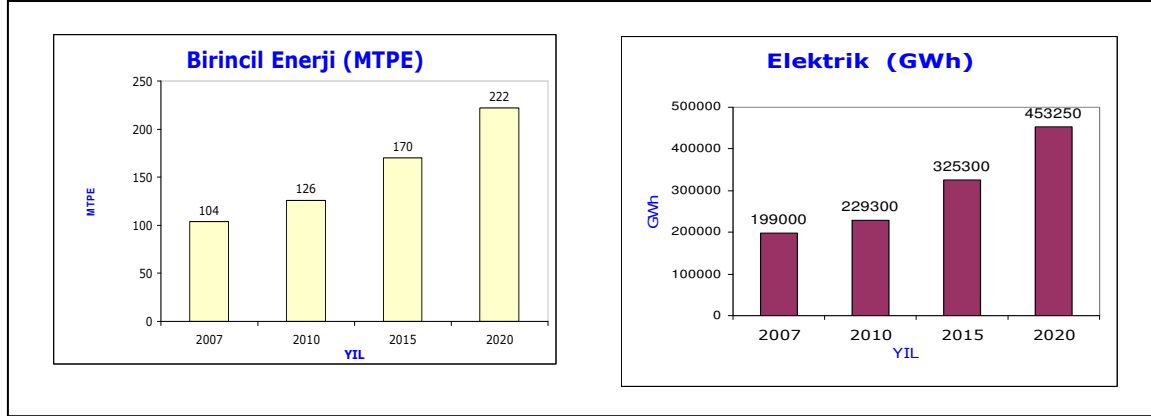
¹⁰⁰ TEİAŞ, Şebeke Kaybı İstatistikleri (1984-2008).

¹⁰¹ Türkiye Elektrik Sistemi (Enterkonnekte Sistem), H. Güzide Erkuş, EMO Ankara Şb. Enerji Komisyonu Üyesi, 10 Ocak 2009.

3.4.1.3. Projeksiyonlar ve Yenilenebilir Enerjinin Payı

Birincil enerji ve elektrik enerjisi talebi için yıllara göre yapılan projeksiyonlar Şekil 2’de verilmektedir. Buna göre, 2020 yılına gelindiğinde birincil enerji talebinin bugünkü değerinin yaklaşık 2, elektrik tüketiminin ise 2,3 katına çıkacağı öngörüsü yapılabilmektedir.

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2023 yılında yerli kaynaklarımızın tamamının (bütün linyit ve taşkömürü kaynaklarının ve hidroelektrik potansiyelimizin tamamının elektrik enerjisi üretimi amacıyla değerlendirilmesi), yenilenebilir enerji kaynaklarının ise azami ölçüde kullanılmasını ve yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik enerjisi üretimi içerisindeki payının 2023 yılında en az %30 düzeyinde olmasını hedeflemektedir¹⁰². Konuya ilişkin ayrıntılar Bölüm 3.4.3.’de verilmektedir.



Şekil 3.2. Türkiye’de Birincil Enerji (MTPE) ve Elektrik Üretimi Öngörüsü (GWh)¹⁰³

3.4.2. İlgili Kurumlar ve Sorumlulukları

3.4.2.1. Kamu Kurumları

Devlet Planlama Teşkilatı (DPT), kamudaki tüm yatırım alanlarında olduğu gibi, enerji yatırımları için de yıllık yatırım programlarını değerlendirerek onaylar ve onayladığı yatırım programını izler. **Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB)**, enerji ve tabii kaynaklarla ilgili hedef ve politikaların tespiti; enerji ve tabii kaynakların hedef ve politikalara uygun olarak araştırılması, geliştirilmesi, üretilmesi ve tüketilmesinden sorumludur. Bu kapsama yenilenebilir enerji kaynakları da dahildir. **Enerji Piyasası Denetleme Kurulu (EPDK)**, elektriğin nihai tüketiciye sunulmasını temin etmek ve elektrik enerjisi konusunda lisans verilmesine yönelik işleri yerine getirmekten sorumludur. **Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİE)**, su kaynaklarından ve diğer kaynaklardan elektrik enerjisi üretim imkanlarının belirlenmesi ve mühendislik hizmetlerinin verilmesinden, rüzgar potansiyelinin belirlenmesi, rüzgar atlası ve güneş haritaları hazırlanmasına katkı sağlanması ve biyokütle ile ilgili deneme çalışmalarının yapılmasından sorumludur. Çevre ve Orman Bakanlığı’na bağlı **Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (DSİ)** su kaynaklarının planlaması, yönetimi, geliştirilmesi ve işletilmesinden sorumlu olurken, **Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü (DMİ)** güneş ve rüzgar ölçümlerine yönelik çalışmaları yapmaktadır.

3.4.2.2. Kamu Şirketleri

Türkiye Elektrik İletim A.Ş. (TEİAŞ) genel olarak elektrik iletim faaliyetlerinden ve EPDK tarafından incelenen başvuruların bağlantı açısından incelenmesinden; **Elektrik Üretim A.Ş. (EÜAŞ)** mülkiyeti kamuya ait termik ve hidrolik santrallerin işletilmesi ve bakımından, elektrik üretim tesisleri ile ilgili görüş hazırlanmasından; **Türkiye Elektrik Ticaret ve Taahhüt A.Ş. (TETAŞ)** mevcut enerji alım ve satım

¹⁰² T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Stratejik Planı (2010-2014).

¹⁰³ TÜBİTAK -MAM Enerji Enstitüsü

anlaşmalarını devralmak ve yeni elektrik alım ve satış sözleşmelerini yapmaktan; **Türkiye Elektrik Dağıtım A.Ş. (TEDAŞ)** nihai tüketicilere elektriğin dağıtılması, dağıtım tesislerinin yenilenmesi, elektriğin üreticiden alınıp abonelere satılmasından ve rüzgar enerjisi üretim tesislerinin dağıtım sistemine bağlantısını yapmaktan sorumludur.

3.4.2.3. Üniversiteler ve Araştırma Kurumları

TÜBİTAK, diğer alanlarda olduğu gibi yenilenebilir enerji alanında da bilimsel araştırmaların yapılmasını sağlamakta, ilgili Ar-Ge projelerini desteklemektedir. **TÜBİTAK MAM Enerji Enstitüsü**'nün görevi, enerji teknolojileri alanında çağdaş bilgi ve teknolojik yöntemlerle araştırma ve geliştirme yapmak olup, yenilenebilir enerji ve enerji depolama teknolojileri de bu kapsamdadır.

Yenilenebilir enerji, üniversitelerin pek çok çalışma, proje ve Ar-Ge faaliyeti yürüttükleri bir alandır. Üniversite bünyesinde faaliyet gösteren enstitü ve merkezlerden bazıları aşağıda listelenmiştir:

- Dokuz Eylül Üniversitesi Jeotermal Araştırma ve Uygulama Merkezi
- Ege Üniversitesi Güneş Enstitüsü
- Hacettepe Üniversitesi Yeni ve Temiz Enerji Araştırma ve Uygulama Merkezi
- İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü
- İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Jeotermal Enerji Araştırma Merkezi
- Ortadoğu Teknik Üniversitesi Güneş Araştırma ve Uygulama Merkezi
- Orta Doğu Teknik Üniversitesi Su Araştırmaları Merkezi
- Süleyman Demirel Üniversitesi Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Uygulama Merkezi
- Süleyman Demirel Üniversitesi Jeotermal Enerji, Yeraltı Suyu Kaynakları ve Uygulama Merkezi

3.4.2.4. Sivil Toplum Kuruluşları (STK) ve Platformlar

Yenilenebilir enerji, enerji depolama ve iletimi alanındaki ilgili STK'lar arasında,

- Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi (DEK – TMK)
- Hidroelektrik Santralleri Sanayii İş Adamları Derneği (HESİAD)
- Rüzgar Enerjisi ve Su Santralleri İş Adamları Derneği (RESSİAD)
- Rüzgar Enerji Santralleri Yatırımcıları Derneği (RESYAD)
- Türkiye Rüzgar Enerjisi Birliği (TÜREB)
- Türkiye Elektrik Sanayi Birliği (TESAB)
- Eurosolar Derneği
- Güneş Enerjisi Sanayicileri ve Endüstrisi Derneği (GENSED)
- Biogaz Yatırımı Geliştirme Derneği
- Alternatif Enerji ve Biyodizel Üreticileri Birliği (ALBİYOBİR)
- Pancar Ekicileri Kooperatifleri Birliği (PANKOBİRLİK)
- Jeotermal Derneği
- Jeotermal Enerji Kaynaklarını Araştırma ve Değerlendirme Vakfı
- Temiz Enerji Vakfı (TEMEV)
- Elektrik Üreticileri Derneği (EÜD)
- Elektrik Dağıtım ve Perakende Satış Hizmetleri Derneği (ELDER)
- Elektromekanik Sanayiciler Derneği (EMSAD)
- Akümülatör ve Geri Kazanım Sanayicileri Derneği

yer alırken, özellikle son yıllarda enerji alanındaki platform ve kümelenme oluşumları da dikkati çekmektedir. Bu kapsamda, Ulusal PV Teknolojileri Platformu, TÜGİAD-İTÜ Yeni Enerji Platformu (TİYEP), ETKB-EÜAŞ-TTGV-OSTİM Yerli Enerji Teknolojileri Ar-Ge Platformu, OSTİM Yenilenebilir Enerji Kümelenmesi ve Çukurova - İnovasyona Dayalı Enerji Kümelenmesi sayılabilir.

3.4.3. İlgili Mevzuat, Politika, Strateji ve Planlar, Standartlar

3.4.3.1. Enerji Politikası ve Stratejiler

Türkiye'nin Enerji Politikası, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nca; enerjinin, ekonomik büyümeyi gerçekleştirecek ve sosyal gelişmeyi destekleyecek şekilde; zamanında, yeterli, güvenilir, rekabet edilebilir fiyatlardan, çevresel etkiler de göz önünde tutularak tüketiciye sağlanması şeklinde tanımlanmaktadır. Bu bağlamda, Bakanlığın ana enerji politika ve stratejileri:

- Stratejik petrol ve doğal gaz depolama kapasitesinin artırılması,
- **Kaynak ve ülke çeşitlendirilmesi,**
- **Yerli kaynakların kullanımı ve geliştirilmesine öncelik verilmesi,**
- **Farklı teknolojilerin kullanımı, geliştirilmesi ve yerli üretimin artırılması,**
- Ülkemizin enerji ticaret merkezi olma potansiyelinden en iyi şekilde yararlanılması,
- Talep yönetiminin etkinleştirilmesi ve verimliliğin artırılması,
- **Yakıt esnekliğinin artırılması (üretimde alternatif enerji kaynağı kullanımına olanak sağlanması),**
- Orta Doğu ve Hazar petrol ve doğal gazının piyasalara ulaştırılması sürecine her aşamada katılım sağlanması,
- Enerji sektörünün, işleyen bir piyasa olarak şeffaflığı ve rekabeti esas alacak şekilde yapılandırılması,
- Bölgesel işbirliği projelerine katılım ve entegrasyon,
- **Her aşamada çevresel etkilerin göz önünde bulundurulması**

şeklinde özetlenmektedir¹⁰⁴. Söz konusu stratejilerin önemli bir bölümü “yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması”nı da destekleyen stratejiler olarak görülmektedir.

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın 2010-2014 Stratejik Plan'ında¹⁰⁵ ve Elektrik Enerjisi Piyasası ve Arz Güvenliği Strateji Belgesi'nde¹⁰⁶ ise, daha spesifik hedeflere rastlanmaktadır. Buna göre;

- 2023 yılında yerli kaynaklarımızın tamamının, yenilenebilir enerji kaynaklarının ise azami ölçüde kullanılması (Bütün linyit ve taşkömürü kaynaklarının ve hidroelektrik potansiyelimizin tamamının 2023 yılına kadar elektrik enerjisi üretimi amacıyla değerlendirilmesi),
- Yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik enerjisi üretimi içerisindeki payının 2023 yılında en az %30 düzeyinde olması,
- Yapımına başlanan 5.000 MW'lık hidroelektrik santrallerin 2013 yılı sonuna kadar tamamlanması,
- 2009 yılı itibari ile 802,8 MW olan rüzgar enerjisi kurulu gücünün, 2015 yılına kadar 10.000 MW'a, 2023 yılına kadar da 20.000 MW'a çıkarılması,
- 2009 yılı itibari ile 77,2 MW olan jeotermal enerjisi kurulu gücünün, 2015 yılına kadar 300 MW'a, 2023 yılına kadar 600 MW'a çıkarılması

¹⁰⁴ Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, 2007 – 2008 Türkiye Enerji Raporu.

¹⁰⁵ T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı 2010-2014 Stratejik Planı, 2009.

¹⁰⁶ Yüksek Planlama kurulununun 18/5/2009 tarih ve 2009/11 sayılı kararına göre DPT tarafından Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'na gönderildi.

- Bakanlığa bağlı, ilgili ve ilişkili kuruluşlarca yürütülen Ar-Ge yatırımlarının da 2015 yılına kadar, 2009 yılı Ar-Ge yatırımlarına göre %100 oranında artırılmasının ve
- Güneş enerjisinin elektrik üretimi amaçlı kullanımının yaygınlaştırılmasının

hedeflendiği görülmekte, güneş ve biyoenerji için “spesifik hedeflerin” belirlenmediği dikkati çekmektedir.

3.4.3.2. Enerji Alanındaki Yasal Düzenlemeler

Yüksek talep artışının karşılanması, yeterli yatırım yapılması ve ekonomik verimliliğin artırılması için, ülkemizde 2000 yılı sonrasında enerji sektöründe rekabeti öngören yeni bir yapılanmaya gidilmiştir. Bu kapsamda, enerji piyasasını ilgilendiren çeşitli kanunlardan, doğrudan yenilenebilir enerji ile ilgili olanlar aşağıda sıralanmıştır:

- Elektrik Piyasası Kanunu (2001)
- 5015 Sayılı Petrol Yasası Kanunu (2003)
- Arz güvenliğine ilişkin 5784 sayılı Elektrik Piyasası Kanunu ve Bazı Kanunlarda Değişiklik Yapılmasına Dair Kanun (2008)
- Elektrik Piyasasında Üretim Faaliyetinde Bulunmak Üzere Su Kullanım Hakkı Anlaşması İmzalanmasına İlişkin Usul ve Esaslar Hakkında Yönetmelik (2003)
- Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun (2005)
- Bitkisel Atık Yağların Kontrolü Yönetmeliği (2005)
- Enerji Verimliliği Kanunu (2007)
- Jeotermal Kaynaklar ve Mineralli Sular Kanunu (2007)

Arz güvenliğine ilişkin 5784 sayılı Elektrik Piyasası Kanunu ve Bazı Kanunlarda Değişiklik Yapılmasına Dair Kanun uyarınca, yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı, kurulu gücü 500 kW altında olan üretim tesisleri lisans alma ve şirket kurma yükümlülüğünden muaftır.

Biyodizel ise 04.12.2003 tarihinde 5015 Sayılı Petrol Piyasası Kanunu’nda, “harmanlanan ürünler” arasında yer verilmiş ve Özel Tüketim Vergisi (ÖTV) muafiyeti getirilmiştir. Ancak 2006 yılında “Gelir Vergisi Kanunu, Amme Alacaklarının Tahsil Usulü Hakkında Kanun, Özel Tüketim Vergisi Kanunu ve Vergi Usul Kanununda Değişiklik Yapılması Hakkında Kanun¹⁰⁷” ile biyodizelden ÖTV alınmasına karar verilmiştir.

Öte yandan, Avrupa Birliği Müktesebatının Üstlenilmesine İlişkin Türkiye Ulusal Programı¹⁰⁸ kapsamında, 2003/30/AT sayılı AB Direktifi ile uyumlu olarak “Biyoyakıtların Yaygınlaştırılmasına İlişkin Kanun”un yayınlanarak, yerli tarım ürünlerinden üretilen biyoyakıtların kullanımının teşvik edilmesi plan dahilinde olup, öngörülen uyum takvimi “2011 sonrası” olarak belirtilmektedir.

Yenilenebilir enerji alanındaki en önemli düzenleme 2005 yılında yayınlanmış olan “**Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun**” dur. Kanun’da yenilenebilir enerji kaynakları kapsamına hidrolik, rüzgâr, güneş, jeotermal, biyokütle, biyogaz, dalga, akıntı enerjisi ve gel-git gibi fosil olmayan enerji kaynakları girmektedir. Kanun ile yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretilmesi teşvik edilmekte ve bu amaçla:

- Yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen elektriğin, elektrik dağıtım şirketleri tarafından 5-5,5 Avro Cent/ kWh bedelle satın alınması 10 yıl boyunca garanti altına alınmakta;
- Üreticilere serbest piyasada 5,5 Avro Cent/ kWh sınırı üzerinde satış hakkı verilmekte;

¹⁰⁷ 30.03.2006 tarih ve 5479 sayılı Resmi Gazete.

¹⁰⁸ 31 Aralık 2008 tarih ve 27097 (5. Mükerrer sayılı) Resmi Gazete.

- Enerji üretim tesis yatırımları, kullanılacak elektro-mekanik sistemlerin yurt içinde imalat olarak temini, güneş pilleri ve odaklayıcı üniteler kullanan elektrik üretim sistemleri kapsamında yapılacak Ar-Ge ve imalat yatırımları, biyokütle kaynaklarını kullanarak elektrik enerjisi veya yakıt üretimine yönelik Ar-Ge tesis yatırımları Bakanlar Kurulu kararı ile teşviklerden yararlandırılabilir;
- Yeterli jeotermal kaynakların bulunduğu bölgelerdeki valilik ve belediyelerin sınırları içinde kalan yerleşim birimlerinin ısı enerjisi ihtiyaçlarını öncelikle jeotermal ve güneş termal kaynaklarından karşılamaları esas alınmakta;
- Orman veya Hazine'nin özel mülkiyetinde ya da devletin hüküm ve tasarrufu altında bulunan her türlü taşınmazın kullanılması halinde tesis, ulaşım yolları ve şebekeye bağlantı noktasına kadarki enerji nakil hattı için kullanılacak araziye ilişkin olarak Çevre ve Orman Bakanlığı veya Maliye Bakanlığı tarafından bedeli karşılığında izin verilmekte, kiralama yapılmakta, irtifak (kullanma) hakkı veya kullanma izni verilmekte;
- 2012 yılı sonuna kadar devreye alınacak tesislerden ulaşım yollarına ve şebekeye bağlantı noktasına kadar ki enerji nakil hatlarından yatırım ve işletme dönemlerinin ilk on yılında izin, kira, irtifak hakkı ve kullanma izni bedellerine %85 indirim uygulanmaktadır.

Kanun kapsamında uygulanacak teşviklerle ilgili olarak Kanun değişikliği önerisi 2008 yılında hazırlanmış ancak henüz kabul edilmemiştir. 2010 yılı içinde Teklif'in "revize edilerek" yürürlüğe girme olasılığı bulunmaktadır. Söz konusu teklife göre; güneş, rüzgar, biyokütle ve jeotermal gibi yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarına verilecek alım garantisinin 10 ile 20 yıl arasında olması öngörülmüş, yerli ekipmanların kullanılması durumunda garanti edilen alım fiyatında ek avantajlar öngörülmüştür¹⁰⁹. Söz konusu Kanun Teklifi'nin gündeme gelmesini takiben, gelişmeler enerji sektörü tarafından yakından takip edilmekte, planlanan yatırımlar bekletilmekte, oluşan belirsizlik yatırımlar önünde bir engel haline gelmektedir.

3.4.3.3. Kyoto Protokolü ve İklim Değişikliği Stratejisi

Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi'ne (BMİDÇS) yönelik Kyoto Protokolü'ne Katılmamızın Uygun Bulduğuna Dair Kanun Tasarısı Resmi Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe girmiştir.¹¹⁰ Türkiye Kyoto Protokolü'ne taraf olurken 2008-2012 yılları arasında emisyon azaltıcı bir yükümlülük almamış olup, bu nedenle Kyoto Protokolü mekanizmalarından faydalanamamaktadır. Türkiye'nin 2012 sonrası emisyon azaltım hedefleri de henüz belirlenmemiştir. Enerji talebinde beklenen artış ve planlanan yatırımlar çerçevesinde, bu hedeflerin dikkatle belirlenmesi gerektiği açıktır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı bu bağlamda da önem arz etmektedir.

Bu kapsamda hazırlanan Aralık 2009 tarihli Türkiye İklim Stratejisine¹¹¹ göre; Türkiye'nin İklim Değişikliği kapsamındaki ulusal vizyonu, "iklim değişikliği politikalarını kalkınma politikalarıyla entegre etmiş; enerji verimliliğini yaygınlaştırmış, temiz ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını artırmış, iklim değişikliğiyle mücadeleye 'özel durumları' çerçevesinde aktif katılım sağlayan ve yüksek yaşam kalitesiyle refahı tüm vatandaşlarına düşük karbon yoğunluğu ile sunabilen bir ülke olmak"tır.

Stratejik hedefler kapsamında;

- Azaltım ve uyum faaliyetlerini yürütebilmek için ihtiyaç duyulan mali kaynaklara erişimin artırılması
- Temiz üretim teknolojisi, Ar-Ge ve inovasyon kapasitesinin geliştirilmesi, teşvik mekanizmalarının oluşturulması

Enerji alanında,

¹⁰⁹ http://www.tbmm.gov.tr/develop/owa/tasari_teklif_sd.onerge_bilgileri?kanunlar_sira_no=69688

¹¹⁰ 5836 sayılı Kanun 17 Şubat 2009 tarih ve 27144 sayılı Resmi Gazete.

¹¹¹ Ulusal İklim Değişikliği Strateji Belgesi, T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı, Aralık 2009, (25.12.2009).

- Kısa vadede, temiz ve yüksek verimli kaynaklara yönelim,
- Orta vadede, binalarda enerji verimliliği, sıfır emisyonlu teknolojilerin kullanımı ve teşviki
- Uzun vadede enerji yoğunluğunun 2020 yılına kadar 2004 seviyesine indirilmesi, toplam elektrik tüketimi içinde yenilenebilir enerji kaynaklarının payının %25'e çıkarılması ve %7 karbondioksit sınırlaması

Sanayi alanında;

- Orta vadede, teşvik mekanizmaları ve gönüllü karbon piyasalarının yaygınlaşması
- Uzun vadede, temiz üretim teknolojilerinin "iklim dostu yenilikçi teknolojilerin" tercih edilmesini sağlamak üzere özendirici mekanizmaların devreye alınması

Teknoloji Geliştirme, Teknoloji Transferi alanında;

- Orta vadede, teknoloji ihtiyaç değerlendirmesi yapılarak, karbon piyasasında teknoloji transferinin sağlanmasına yönelik mekanizmalar oluşturulması ve temiz üretim teknolojisi Ar-Ge ve inovasyon kapasitesinin geliştirilmesi,
- Uzun vadede, temiz teknolojileri teşvik etmek üzere yenilikçi finansman seçenekleri geliştirilerek, iklim dostu teknolojilere yönelik Ar-Ge faaliyetlerinin artırılması ve finansman sağlanması hedeflenmektedir.

Finansman alanında ise;

- Kısa vadede, temiz teknoloji yatırımları desteklenip geliştirilerek, yeni finansman kaynakları bulunması,
- Orta vadede, düşük karbonlu ekonomiye yönelim hızlanacak, teşvik mekanizmaları oluşturulması, uzun vade ise yasal düzenlemelerin yapılması öngörülmektedir.

3.4.3.4. Standartlar

Türk Standartları Enstitüsü tarafından konuya ilişkin olarak yayınlanmış standartlar arasında

- Rüzgâr türbinleri konusu TS IEC 61400 serisi standartlar
- Isıl Güneş Enerji Sistemleri ve Bileşenleri konusunda yayımlanan üç standart serisi; TS EN 12975, TS EN 12976, TS EN 12977
- Jeotermal Kaynaklarda Verimlilik ve Performans konulu TS 11927 Standardı
- TS EN 14214: Otomotiv Yakıtları – Yağ Asidi Metil Esterleri (YAME/BİYODİZEL) Standardı

yer almaktadır¹¹².

3.4.4. Teşvik Mekanizmaları

3.4.4.1. Yatırım Teşvikleri

Yasal düzenlemeler ile uygulamada olan ve tasarı halindeki teşvik mekanizmalarına ilişkin yasal düzenleme Bölüm 3.4.3.2.'de açıklanmıştır. Mevcut yasal teşvikler ile hidroelektrik santralleri (HES) ve bir ölçüde de rüzgar santrallerine yönelik yatırımlar ekonomik olmakta, diğer alanlardaki yatırımların (özellikle güneş ve biyokütle-biyogaz) geri dönüş süreleri asgari 8-10 yıl seviyelerinde seyretmektedir. Dolayısıyla ülkemiz genelinde, halen hidroelektrik ve rüzgar dışında, ancak az sayıdaki çöp gazı ve küçük (ör: 7.5 MW) jeotermal tesisi yatırımına rastlanabilmektedir.

Yenilenebilir enerji yatırımları için yararlanılan diğer finansal kaynaklar arasında banka kredileri ve gönüllü karbon piyasası yer almaktadır. Bankaların, büyük çoğunluğu yurtdışı kaynaklı olmak üzere, "yenilenebilir enerji yatırımları" için kullandıkları özel kredi paketleri bulunmaktadır. Avrupa Yatırım Bankası, Dünya Bankası ve Temiz Teknoloji Fonu gibi kaynaklarla yenilenebilir enerji

¹¹² Standard Dergisi, Sayı: 560, Ocak 2009, TSE.

yatırımları için oldukça uygun şartlarda kredi sağlayan bankaların başında TSKB, TKB ve İş Bankası gelmektedir. Kredilerin ortalama vadesi 8-9 yıl ve ortalama faiz oranı %4-4,5 seviyelerindedir.

Gönüllü Karbon Piyasası, Kyoto Protokolü kapsamında olmayan ülkeler ve sektörlerde geçerli olan, sera gazlarını “gönüllü” olarak azaltmak isteyen kuruluşların yararlandığı bir piyasadır. Türkiye’de gerçekleştirilen yenilenebilir enerji yatırımları ile sağlanan sertifikalı CO₂ azaltım miktarları halen 3 €/ton CO₂ fiyatı ile alıcı bulmaktadır. Gönüllü karbon ticaretinden yararlanan projelerin banka kredilerinden de yararlanmaları söz konusu olabilmektedir. Yatırımcı ile yapılan anlaşmalar 2x10 ya da 3x7 olmak üzere toplam 20 ya da 21 yıllık yapılmakta ve doğrulanan CO₂ azaltım miktarları ve belirlenen piyasa fiyatı üzerinden satışlar gerçekleşmekte, yatırımcı için yıllara yayılan bir kazanç sağlanmaktadır. Bu olanak Türkiye’de yenilenebilir enerji yatırımlarının fizibilitesini iyileştiren önemli bir unsur olarak ortaya çıkmaktadır.

DPT’nin 2010-2012 Dönemi Yatırım Programı¹¹³ kapsamında güvenilir hammadde kaynaklarına ve erken geri dönüş oranına sahip projelere öncelik verileceği belirtilmektedir. Yine genel bir yaklaşımla, doğal kaynakların etkin kullanımı ve çevrenin korunmasına yönelik projelere öncelik verileceği de ifade edilmektedir. Yenilenebilir enerjiye doğrudan atıfta bulunulmamaktadır.

3.4.4.2. Ar-Ge Teşvikleri

TÜBİTAK, Sanayi ve Ticaret Bakanlığı, TTGV gibi kuruluşlar tarafından, genel amaçlı olarak sağlanan Ar-Ge destekleri, yenilenebilir enerji alanını da içermektedir. Öte yandan, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı 2010-2014 Enerji Stratejisi kapsamında, 2010 yılında “Enerji Sektöründeki Ar-Ge Projelerinin Desteklenmesi” amacıyla EN-AR Programını uygulamaya koyarak, 2014 yılına kadar 50 milyon TL’lik destek sağlamayı hedeflemektedir.

DPT’nin 2010-2012 Dönemi Yatırım Programı¹¹⁴ kapsamında; Teknolojik Araştırma sektöründe geleceğe yönelik olarak nanoteknoloji, biyoteknoloji, hidrojen ve yakıt pili teknolojileri, sanayi politikasının öncelik vereceği sektörlerdeki araştırmalar, yerli kaynakların katma değere dönüştürülmesini amaçlayan Ar-Ge faaliyetleri öncelikli alanlar arasında yer almaktadır. Söz konusu öncelikler, yenilenebilir enerji alanındaki faaliyetleri de desteklemektedir.

Bunun dışında, Türkiye’nin halen yararlanmakta olduğu AB programları da (Çerçeve programları, CIP Programı, vb.) olası teşvikler arasında değerlendirilebilir.

3.4.5. Yapılan Çalışmalar

Yenilenebilir enerji üretimi, depolanması ve iletimi konularında ülkemizde yapılmakta olan teknik çalışmalar (uygulama ve araştırma projeleri, Ar-Ge çalışmaları, akademik çalışmalar) kurumların çalışmalarından örnekler vererek aşağıda özetlenmektedir:

- Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı: Pilot uygulama olarak 2 MW’lık rüzgar türbini tasarım ve üretimi, Jeotermal Envanter Kitabı
- Çevre ve Orman Bakanlığı: Biyokütle kömür karışımlarının yakma teknolojileri, yenilenebilir enerji tabanlı tahrik sistemleri
- Tarım ve Köyişleri Bakanlığı: Biyodizel üretimine yönelik hammadde çalışmaları
- EİE: Rüzgar enerjisi kaynak alanlarının belirlenmesi, rüzgar ve güneş istasyonları, güneş, rüzgar ve biyokütle enerjisi potansiyel atlasları, biyoenerji üzerine pilot tesis ve laboratuvar, biyokütle kömür karışımlarının yakma teknolojileri ve bu karışımlardan sıvı yakıt üretimi, yakıt

¹¹³ T.C.Başbakanlık Devlet Planlama Teşkilatı Müsteşarlığı’nın 17 Eylül 2009 tarihli Genelgesi ve Genelge uyarınca 2010-2012 Dönemi Yatırım Programı Hazırlama Rehberi

¹¹⁴ T.C.Başbakanlık Devlet Planlama Teşkilatı Müsteşarlığı’nın 17 Eylül 2009 tarihli Genelgesi ve Genelge uyarınca 2010-2012 Dönemi Yatırım Programı Hazırlama Rehberi

pilli kojenerasyon sistemi, demonstrasyon amaçlı 150 litre/parti kapasiteli biyodizel üretim tesisi

- TEİAŞ: TUBİTAK-BİLTEN, ODTÜ ve Hacettepe, Dokuz Eylül, Yıldız Teknik Üniversiteleri ile birlikte Türkiye elektrik iletim sisteminde güç kalitesine etki eden bileşenleri ve reaktif güç akışını Türkiye genelinde izlemek, problemlerini tespit etmek, değerlendirmek ve karşı önlemleri hayata geçirmek amacıyla TUBİTAK tarafından finanse edilen “Güç Kalitesi Milli Projesi”
- Kocaeli Üniversitesi – İzaydaş (Kocaeli Büyükşehir Belediyesi): Üniversite sanayi işbirliğinde kademeli biyogaz üretimi Ar-Ge çalışmaları
- TÜBİTAK MAM: Yakıt pili teknolojileri ve uygulamaları, gaz teknolojileri (gaz temizleme, hidrojen üretim, dönüşüm, depolama teknolojileri, akredite LPG, doğal gaz, rafineri ve reformer gaz analizleri) yakma, gazlaştırma (biyokütle-kömür gazlaştırma, akışkan yatak), yenilenebilir enerji teknolojileri ve uygulamaları, araç teknolojileri, güç elektroniği teknolojileri, batarya teknolojileri, yakıt ve yakıt pili teknolojileri, PV modül üretim hattı, biyodizel, biyoetanol, enerji depolama sistemleri
- ODTÜ: Biyogaz ve biyokütle teknolojileri, biyoyakıtla çalışan küçük gaz türbini, güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştürme teknolojileri, güneş kollektör performans çalışmaları, MW Boyutunda yerli rüzgar türbini ve ileri teknolojinin geliştirilmesi
- İTÜ: Küçük ölçekli rüzgar türbinleri performans ölçüm laboratuvarı, güneş pilleri test ve araştırma laboratuvarı, akü teknolojileri test ve araştırma laboratuvarı, yenilenebilir enerji teknolojileri ve işaret işleme laboratuvarı, rüzgar-güneş-hidrojen hibrit enerji sisteminin tasarımı ve gerçekleştirilmesi, su pompalarının ve küçük su türbinlerinin hidrolik testlerinin yapılacağı hidrolik test laboratuvarının kurulması
- Süleyman Demirel Üniversitesi: Güneş, rüzgar-dalga, hidrolik, jeotermal, biyokütle-biyogaz, hidrojen enerjisi ve yakıt hücreleri, güneş bacası ile elektrik üretimi, jeotermal ısı pompası
- Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü: Biyodizel laboratuvarı, güneş pillerinde verimliliği artırıcı tasarımlar ve endüstriyel uygulamalar
- Ege Üniversitesi: Organik güneş pilleri, rüzgar enerjisi ve fotovoltaik sistemlerden elektrik üretimi, güneş enerjisi destekli biyogaz üretimi ve vakumlu termal güneş kollektörleri üretimleri, güneş evi, yoğunlaştırılmış güneş ışınımlı fotosentez, güneş enerjisi destekli jeotermal ısı pompaları
- Yıldız Teknik Üniversitesi: Güneş, rüzgar ve biyogaz enerjilerinin çevresel etkileri
- Uludağ Üniversitesi: Biyodizel-biyoyakıt çalışmaları
- Hacettepe Üniversitesi: Güneş toplaçları yapımı ve verim hesapları
- Zonguldak Karaelmas Üniversitesi: Hidrojen depolama
- TOBB-ETÜ: Su türbini geliştirilmesi
- Temiz Enerji Vakfı (TEMEV): Güneş enerjisi ile su pompalama sistemi

3.4.6. Pazar Durumu ve Büyüme Potansiyeli, Öne Çıkan Teknoloji Alanları

Bölüm 3.4.3.'de de belirtildiği gibi, 2020 yılında birincil enerjide ve elektrik enerjisinde talep 2008 yılı değerlerinin yaklaşık 2 katı olacaktır. Özellikle 2008 yılında küresel krizin etkileri tüm sektörlerde olduğu gibi enerji sektörü yatırımlarında da bir azalmaya sebep olmakla birlikte, bu azalmanın sınırlı olması beklenmektedir. Ekonomik durgunluktan sonra ortaya çıkacak kapasite kullanım oranlarının artışıyla birlikte enerji arz talep dengesizliğinin daha da kritik bir noktaya geleceği, dolayısıyla enerji yatırımlarına devam edileceği öngörülmektedir. Türkiye'de 2020 yılına kadar tüm enerji sektörüne 130 milyar ABD Doları yatırım yapılması gerektiğine işaret eden enerji piyasası uzmanlarına göre, özel

sektör firmalarının yılda en az 3-4 milyar ABD Doları tutarında yatırım yapması öngörülmektedir¹¹⁵. Bölüm 3.4.3.'de değinilen stratejiler doğrultusunda, enerji sektöründeki bu büyümede yenilenebilir enerji yatırımlarının önemli bir pay alacağı öngörülmektedir. Tablo 3.7'de yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik üretimindeki mevcut kurulu gücü ile yine elektrik üretimi için öngörülen potansiyelleri karşılaştırmalı olarak verilmektedir.

Tablo 3.7. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Üretimindeki Mevcut Kurulu Gücü ve Potansiyele Göre Dağılımı

	Mevcut Kurulu Güç (MW) ¹¹⁶	Potansiyel (MW) ¹¹⁷
Hidrolik	13.792,1	41.834
Rüzgar	1029,2	48.000
Jeotermal	94,2	2000
Güneş	3 ¹¹⁸	56.000 ¹¹⁹
Biyokütle	43,9	3.000 ¹²⁰

Her ne kadar yenilenebilir enerji kaynaklarının potansiyelleri için verilen değerler farklı kaynaklarda değişkenlik gösterse de mevcut kurulu güçler ile potansiyeller arasında önemli bir fark olduğu açıktır.

Aşağıda, yenilenebilir enerji kaynakları ile ilgili değerlendirmeler ayrı başlıklar altında verilmekte, her kaynak için öne çıkan teknolojilere vurgu yapılmaktadır. Ancak, yenilenebilir enerji kaynaklarının etkin kullanımı, fizibilitelerinin iyileştirilmesi ve öngörülen potansiyellerin daha fazla kurulu güce dönüştürülmesi için **“enerji depolama”** ve batarya teknolojileri kritik bir teknoloji alanı olarak uzmanlar tarafından vurgulanmaktadır. Bu vurgu, Vizyon 2023 kapsamındaki Enerji ve Doğal Kaynaklar Paneli çıktılarında yer alan “hidrojen, yakıt hücreleri, enerji depolama gibi ileri enerji teknolojilerindeki Ar-Ge etkinliğini artırıp, ekonomiklik kazananları uygulamaya geçirmek” ifadesiyle de örtüşmektedir. Öte yandan **“scada”** ve **“akıllı şebeke”** teknolojileri de benzer gerekçelerle yenilenebilir enerji için genel olarak kritik teknolojiler arasında yer almakta, **“motor teknolojilerinin yanı sıra, telemetri, izleme ve kontrol sistemleri ile ilgili yazılım”** teknolojilerinin geliştirilmesi her alanda olduğu gibi bu sektörde de öne çıkmaktadır.

4.4.6.1. Hidrolik Enerji

Veriler halen ülkemizdeki hidrolik potansiyelin 1/3'ünün kullanımda olduğu yönündedir. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın 2010-2014 Stratejik Planı ve Elektrik Enerjisi Piyasası ve Arz Güvenliği Strateji Belgesi uyarınca, 2023 yılına kadar tüm hidrolik potansiyel, büyük-küçük HES ayrımı yapılmaksızın, kurula güce dönüştürülecektir. Henüz kullanımda olmayan yaklaşık 27.000 MW'ın 2.682 MW'ını DSİ yatırım programında olan ve inşaatı devam eden tesisler oluşturmakta, 22.533 MW'ı için de özel sektör hali hazırda müracaat etmiş durumdadır¹²¹. Mevcut kurulu güç içinde yaklaşık 2000 MW'lık akarsu tipi (barajsız) santral yer almaktadır.

¹¹⁵ <http://arama.hurriyet.com.tr/arsivnews.aspx?id=11226745>

¹¹⁶ EPDK Lisnas Verileri, Temmuz 2010

¹¹⁷ <http://www.eie.gov.tr/YEK.html>

¹¹⁸ 3 MWp (pik): Türkiye Cumhuriyeti Başbakanlık Yatırım Destek Ve Tanıtım Ajansı Çevre Teknolojileri Ve Yenilenebilir Enerji Sektörü Raporu, Aralık 2009

¹¹⁹ 380 milyar kwh/yıl karşılığı termik santral kurulu gücü

<http://www.esider-meter.org.tr/index.php/enerjibtn/guenebntn/111-gueller-turkiyenin-gunes-termik-enerji-potansiyeli-yilda-380-milyar-kilovatsaat>

¹²⁰ Yaklaşık 4 milyar m³ biyogaz ve 25 Milyon kwh/yıl karşılığı kurulu güç: GAP Bölgesi Çiftlik Atıklarından Biyogaz Üretme Potansiyelinin İncelenmesi, Bülent Armağan, Hakan Yıldız, Abdulkadir Arslan, Lütfi Özgül, Harran Üniversitesi, VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, UTES 2008 17-19 Aralık 2008, İstanbul

¹²¹ EÜAŞ, Yerli Enerji Teknolojileri Ar-Ge Platformu HES Çalıştayı, 24 Mart 2010

Gerçekleştirilen yatırımlarda, başta türbin olmak üzere santral ekipmanları yurt dışından ithal edilmektedir. Çoğunlukla Çin ve Hindistan'dan gelen düşük maliyetli ve düşük kaliteli ürünler kullanılmaktadır. Halen HES ekipmanları yerli imkanlarla üretilmemekte, ancak sektör bu ekipmanların üretilmesi için yeterli altyapının ve kapasitenin olduğunu öngörmektedir. Yaklaşık 5 yıllık bir süre içinde sonuç almaya yönelik Ar-Ge çalışmalarının hızlandırılması ve teşviklerin yoğunlaşması ile sektörde yerli üretimin söz sahibi olabileceği düşünülmektedir. Yeni işletmeye girecek olan tesisler için "türbin ve aksesuarları", "jeneratör (turbo jeneratör) ve aksesuarları", "elektrik sistemleri, SCADA" teknolojileri öne çıkmaktadır. Bu alanda, yeni işletmeye girecek olan santrallerin yanı sıra, işletmedeki tesislerin rehabilitasyonu da başlı başına bir pazar fırsatı olarak görülmektedir. Bu kapsamda da, rehabilitasyon ve modernizasyon hizmetleri, yedek parça temin hizmetleri ve test hizmetleri alanındaki teknolojiler öne çıkmaktadır. Yerli markaların oluşturulması halinde başta Afrika ve Türkiye Cumhuriyetleri olmak üzere dış pazarların da bir fırsat olabileceği öngörülmektedir. Bu alanda, ETKB, EÜAŞ, TEMSAN ve özel sektördeki motivasyon ve istek dikkati çekmektedir¹²².

Bu yaklaşım, Vizyon 2023 kapsamındaki Enerji ve Doğal Kaynaklar Paneli çıktılarında yer alan "özellikle küçük hidroelektrik santral teknolojisinde yetkinlik kazanarak, ekonomik hidro potansiyelinin tümünün devreye sokulması" hedefi ile de örtüşmektedir.

Hidrolik türbin tasarımlarında maliyeti etkileyen en önemli unsurlardan biri, her projede tasarımın o projeye özgü debi ve düşü değerlerine göre yapılması gereğidir. Bu nedenle seri imalat yapılamamaktadır. Ancak son dönemde çalışmalar "tipleştirme ve standartlaşma" yönünde ilerlemekte, yerli üreticilerimiz açısından da bu yaklaşım önemli bir fırsat olarak görülmektedir. Dolayısıyla yerli üreticilerimiz için en önemli Ar-Ge alanlarından birinin debi ve düşü açısından en yoğun aralıkları kapsayacak şekilde "türbin tipleştirme" olması gerektiği vurgulanmaktadır. Ayrıca, yerli üreticilerimiz teşvik edilebilmesi için kamu politikalarının da büyük önem arz ettiği, bu kapsamda yerli üreticilerden, yabancı tedarikçilere göre daha düşük türbin veriminin talep edilmesi suretiyle de destek sağlanabileceği belirtilmektedir.¹²³

Enerji depolama konusu kapsamında ise, dünyada yerleşmiş bir teknik olarak uygulanan, deniz suyunun da kullanılabilirdiği pompa depolamalı HES yaklaşımına dikkat çekilmektedir.¹²⁴

Öte yandan, bu sektörde HES'lere, özellikle de yüksek kapasitede olanlara, STK'ların tepkisi önemli bir unsur olup, dikkate alınması gereken bir husustur.

3.4.6.2. Rüzgar Enerjisi

Rüzgar enerjisinde mevcut kurulu güç 2009 yılı verilerine göre 803 MW olup, Temmuz 2010 itibarıyla ulaşılan santral sayısı 31, toplam kurulu güç ise 1.029 MW'tır. Mevcut santrallerin kapasiteleri 0,85 – 90 MW aralığında oldukça geniş bir yelpazeyi kapsamakta, ortalama kapasite ise yaklaşık 34 MW olmaktadır.

Türkiye'deki toplam rüzgar potansiyeli ise 48.000 MW olarak ifade edilmektedir. 2023 yılı kurulu güç için belirlenen hedef 20.000 MW olmakla birlikte, bu alanda faaliyet gösteren özel sektör, "enerji depolama" uygulamalarının hayata geçirilmesi ile bunun daha da yüksek değerlere ulaşabileceğini ifade etmektedir¹²⁵. Halen EPDK tarafından değerlendirilmekte olan yaklaşık 32.000 MW'a denk gelen 724 lisans başvurusu bulunmakta, bugüne kadar verilmiş olan 97 lisansın karşılığı ise 3.275 MW olmaktadır.¹²⁶ Sonuç olarak, bu piyasanın da büyümeye açık olduğu ve özel sektörün ilgisini çekmekte

¹²² Yerli Enerji Teknolojileri Ar-Ge Platformu HES Çalıştayı, 24 Mart 2010

¹²³ Prof. Dr. Mete Şen, İTÜ

¹²⁴ Hızla Gelişen Endüstri - Enerji Depolama Sistemleri, Ayla Tutuş, ICCI 2010

¹²⁵ Yeni Enerji Teknolojileri'nde Üniversite –Sanayi İşbirliği Zirvesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, 1 Mart 2010

¹²⁶ EPDK Lisans Verileri, Temmuz 2010

olduğu açıktır. Uzmanlar rüzgarda “off-shore” olanağının ise Türkiye için sınırlı olduğunu belirtmektedir.

Rüzgar santral sistemleri de büyük oranda ithalat yoluyla farklı ülkelerden temin edilmektedir. Öte yandan, sınırlı sayıda da olsa türbin, kanat, kule, güç ve dağıtım transformatörleri, şalt, otomasyon sistemleri, şarj kontrol cihazları, invertörler, akü bankası, alternatör ve kanat için kompozit malzeme alanlarında faaliyet gösteren firmalar bulunmaktadır. Bunlardan bir kısmı yabancı firmalarla oluşturulan ortaklıklar aracılığıyla faaliyet göstermektedir. Örnek olarak sektörün önde gelen firmalarından Demirer Holding, Alman Enercon GmbH ile ortak olarak kurduğu Enercon Aero Rüzgar Endüstrisi A.Ş. ile Ege Serbest Bölgesinde rüzgar enerjisi sistem ekipmanları üretimi yapmaktadır.

Rüzgar santral yatırımının yaklaşık %70’i türbin, %30’unu türbin harici ekipmanların oluşturduğu ifade edilmekte, türbinlerin bir çok parçasının, kule ve kanatların Türkiye’de yapılabildiği belirtilmektedir¹²⁷. Türk firmalar tarafından üretilen mevcut türbinlerin gücü 100-250 kW aralığındadır.

Öte yandan, rüzgar enerjisi dönüşüm sistemlerinde verimliliği artırmak için jeneratör bölümlerinde bazı mekanik ve elektronik iyileştirmeler yapılmaktadır. Ancak yapılan bu iyileştirmeler malzeme ve aerodinamik açıdan doğru bir biçimde tasarlanmış kanatlar ile bütünleşik olarak kullanılmadığı sürece istenilen sonuçlara ulaşmak mümkün olamamaktadır. Yine Enercon’un Türkiye’deki üretim tesisi olan Aero Rüzgar Endüstrisi A.Ş., rüzgar türbin sistemlerinin artık Ar-Ge aşamasını tamamlamış ve öğrenme-deneyim eğrilerinin (%92-95) hemen hemen en üst noktasına gelmiş ürünler olduğunu ifade etmektedir. Bu noktadan sonra rüzgar türbinlerinin kanat bölümleri için yapılan iyileştirmeler kompozit malzeme teknolojisi üzerinde yoğunlaşarak dayanım/ağırlık oranı parametresinin artırılmasına yönelik olarak devam etmektedir¹²⁸.

Sonuç olarak bu alanda da Ar-Ge çalışmaları, büyük kapasiteli rüzgar türbini geliştirmesi, üretimi ve pazarlaması, turbo jeneratör, gelişmiş kule konseptleri, gelişmiş rotor teknolojileri, ayrıca rüzgar santral yönetimi ve şebeke yönetimi konusunda yazılım çalışmaları ile kanatlarda kullanılacak kompozit malzeme (dayanıklı/ hafif) üzerinde yoğunlaşmalıdır.

3.4.6.3. Güneş Enerjisi

Türkiye’de güneş enerjisi potansiyeli çok yüksek olmakla birlikte, güneşten ısı haricinde elektrik üretimi amaçlı kullanım son derece sınırlıdır. Bunun en önemli nedeni yatırım maliyetlerinin yüksekliğidir. 3.2. Bölüm’de değinilen Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanunda Değişiklik Yapılmasına Dair Kanun Teklifi, özellikle güneş yatırımları için bir umut olarak görünmektedir. ETKB stratejilerinde güneş için spesifik hedefler belirlenmemiştir. Öte yandan, yeterli kamu teşviği olmasa da güneş teknolojilerinde “know-how”ın oluşmasının gerekliliği özellikle araştırma kurumları tarafından vurgulanmaktadır¹²⁹.

Uzmanlar yoğunlaşılması gereken teknoloji alanları arasında PV’de ince film teknolojisi/ nano-kaplama ve yoğunlaştırılmış solar enerji (CSP) teknolojilerini saymaktadırlar. CSP alanında Zorlu Enerji’nin patentleri mevcuttur. Ege Üniversitesi ve Süleyman Demirel Üniversitesinde de çalışmalar yürütülmektedir. Bu alanda ayrıca, akü, sayaç teknolojileri, test-izleme teknikleri, Stirling motor, CSP borularında hassas malzeme teknolojilerine ve silikona teknolojilerine de dikkat çekilmektedir. Ayrıca, özellikle tarımda lokal çözümler üretmek bakımından ısı pompaları ile üretilen elektriğin kullanılması da yine uzmanlar tarafından belirtilen uygulama alanları arasındadır. Özellikle CSP’nin ülkemizde

¹²⁷ Erol Demirer - Demirer Holding, Rüzgar Enerjisi Sektörü’nde Yatırım, Rüzgar Türbinleri ve Ekipmanlarının Yerli Kaynaklar Kullanılarak Tasarımı ve Üretimi Paneli, İSO, 7 Mayıs 2008

¹²⁸ Cenk Sevim - Aero Rüzgar Endüstrisi A.Ş., Rüzgar Türbin Kanat Üretim, Rüzgar Türbinleri ve Ekipmanlarının Yerli Kaynaklar Kullanılarak Tasarımı ve Üretimi Paneli, İSO, 7 Mayıs 2008

¹²⁹ Yeni Enerji Teknolojileri’nde Üniversite –Sanayi İşbirliği Zirvesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, 1 Mart 2010

yaygınlaşma potansiyelinin yüksek olduğu vurgulanmaktadır¹³⁰. Ayrıca güneş enerjisi sistemleri imal etmekte kullanılan teknolojiler konusunda da çalışma yapılmasının önemli olduğu düşünülmektedir. Halen ilgili tüm kesimlerden 45 üyesi bulunan Ulusal PV Teknolojileri Platformu tarafından belirlenecek öncelikli alanların takip edilmesi de yol gösterici olabilecektir.

3.4.6.4. Jeotermal Enerji

Türkiye jeotermal kaynaklar açısından da zengin bir ülkedir. Resmi kaynaklara göre toplam jeotermal potansiyeli 31.500 MW ısı, 2000 MW elektrik olarak verilmektedir. Aynı kaynaktan, görünür (açığa çıkmış) ısı kapasite 4000 MWt olarak verilmektedir.¹³¹ Öte yandan, yapılan akademik bir çalışmaya göre, ülkemizde 110 sahada bulunan 276 jeotermal oluşum bulunmakta, sıcaklıkları 22,5 – 200°C arasında değişen söz konusu kaynaklar için toplam görünür kapasite 4500 MWt (20°C referans sıcaklığa göre) olarak tespit edilmiştir.¹³²

Türkiye'nin ısıtma amaçlı jeotermal enerji kullanma kapasitesi (kurulu güç) 1300 MWt (megavat termal) olup, ayrıca termal turizmde (kaplıca) kullanılan jeotermal ısının kapasitesi de 410 MWt'tır. Dolayısıyla Türkiye'nin toplam kurulu jeotermal ısı kapasitesi 1710 MWt'tır. MTA'nın bugüne kadar yapılan çalışmalarla 190 adet sahayı belirlediği, bunlardan 20'sinin elektrik, 120'sinin ısıtma, kalanının da balneolojik olarak kullanılabilmesi belirtilmektedir.¹³³

Elektrikte ise halen 94,2 MW (7 tesis) olan kurulu gücün 2023 yılına kadar 600 MW'a çıkarılması hedeflenmektedir.

DPT 9. plan dönemi (2007 - 2013) için jeotermal elektrik üretimi, ısıtma (konut, termal tesis vb), sera ısıtma, kurutma, termal turizm hedeflerine ulaşılmasına yönelik olarak verilen yatırım tutarları dikkate alındığında, toplam 3,25 Milyar ABD Dolar'lık yatırımın gerekli olduğu, 2013'teki hedeflere ulaşıldığı takdirde yaratılacak ekonomik büyüklüğün 16 Milyar ABD Doları/yıl olacağı öngörülmektedir¹³⁴.

Tespit edilmiş olan sahalarda rezervuara ilişkin parametrelerin ve kapasitenin yeterince bilinmemesinin yatırımlar açısından risk oluşturduğu, bu çerçevede jeotermal kaynak arama etkinliğinin artırılarak uluslararası standartların sağlanması ve dağınık haldeki mevcut verilerin derlenmesi ve teknik bilgi eksikliğinin giderilmesi gereği üzerinde durulmaktadır.¹³⁵ Ülkemizin jeolojik yapısına uygun arama, jeokimya ve rezervuar mühendisliği alanlarındaki araştırma ihtiyacı öne çıkmaktadır.

Özellikle elektrik üretimi amaçlı jeotermal türbinlerinin geliştirilmesi ülkemiz için önemli bir potansiyeldir. Jeotermal akışkanlarından oluşacak potansiyel kabuklaşmayı engelleyecek kimyasal engelleyicilerin geliştirilmesi, jeotermal akışkanla birlikte üretilen karbon dioksitin ekonomik kullanımı yöntemlerinin araştırılması (tarımda-seracılıkta kullanım, kuru buz eldesi gibi), jeotermal akışkanın reenjeksiyonu, sığ derinliklerdeki ısı enerjisini kullanan ısı pompası teknolojisi öne çıkan araştırma alanlarıdır. Ancak jeotermal enerjinin, diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına göre daha fazla risk ve çevresel etki içerdiği de dikkate alınmalıdır. Sondaj teknikleri konusunda yeterliliği bilinen TPAO, TPIC, MTA gibi devlet kurumları veya AME gibi özel şirketlerin sahip olduğu olanaklarla sondaj

¹³⁰ TÜBİTAK-MAM

¹³¹ http://www.eie.gov.tr/turkce/YEK/jeotermal/13turkiyede_jeotermal_enerji.html

¹³² Basel E., Serpen U., Satman A., Turkey's Geothermal Energy Potential: Updated Results, Proceedings, 35th Workshop on Geothermal Reservoir Engineering, California, 2010

¹³³ Akkuş İ., Türkiye'nin Jeotermal Kaynak Zenginliği, Yatırım Olanakları, Uygulamalar, Sorunlar ve Çözüm Önerileri, ICCI 2010

¹³⁴ Bakır N., Jeotermal Enerji Nedir?, Standard Dergisi, Sayı: 560, Ocak 2009, TSE

¹³⁵ Akkuş İ., Türkiye'nin Jeotermal Kaynak Zenginliği, Yatırım Olanakları, Uygulamalar, Sorunlar ve Çözüm Önerileri, ICCI 2010

sırasındaki patlama riski minimum olmakla birlikte, jeotermal sistemlerdeki teknolojiler kadar güvenlik, analiz, vb. teknolojiler de önem kazanmaktadır.

3.4.6.5. Biyoenerji

Biyokütle, yakıt ve elektrik üretimi için önemli bir potansiyele sahip olmasına rağmen ülkemizde büyük ölçüde basit yakma işlemleri ile kullanılmakta veya gömülerek bertaraf edilmektedir. Özellikle organik atıklardan yararlanıldığı durumlarda, atık yönetimi açısından önemli avantajlarının yanı sıra, biyodizel, biyoetanol, sentetik gaz (syngas) ve biyogaz gibi farklı enerji kaynaklarını ihtiva eder.

a) Biyodizel ¹³⁶

Ülkemizde 2003 yılında 5015 Sayılı Petrol Piyasası Kanunu'nda biyodizelin ÖTV dışında tutulması nedeniyle yatırımlar dünyaya paralel biçimde hızla artmıştır. Ancak söz konusu muafiyetin 2006 yılında kaldırılması sonrasında üretim maliyetleri zaten yüksek olan biyodizel için konan bu ÖTV, üreticileri sıkıntıya sokmuştur. Yağlı tohum fiyatlarındaki artışla ÖTV birleşince birçok üretici biyodizel üretemez hale gelmiştir. Mevcut durumda 50 civarındaki lisanslı biyodizel üretim tesisinin yıllık 2 milyon ton'a varan kurulu kapasitesinin büyük bir bölümü atıl bir durumda beklemektedir.

Biyodizel, esas olarak, atık yağdan üretildiğinde, atık bertarafında da hizmet ettiği için daha anlamlı olmaktadır. Diğer taraftan, Tarımsal Reform ve Uygulama Projesi (ARİP) kapsamında arz fazlası olan tütün ve fındık ürünlerinin arz açığı olan ürünlere kaydırılması hedeflenmiştir. Bu kapsamda çiftçiler biyodizel üretiminde hammadde olarak kullanılabilir bitkilere de yönlendirilmektedir. Dünya Bankası ile yapılan bu anlaşma gereği alternatif ürün projesi için 161.6 milyon dolarlık kaynak ayrılmıştır. Bu çerçevede verimli tarım arazilerinden ziyade pek çok Avrupa ülkesinde olduğu gibi toprağı zenginleştirmeye yönelik olarak, verimsiz tarım arazilerinin bu tür bitkilerin yetiştirilmesinde kullanılması gerekmektedir.

İlgili uzmanlar, ülkemizde biyodizel teknolojileri konusunda herhangi bir teknoloji eksikliğinin olmadığını, biyodizel üretiminin durma nedeninin vergilendirme politikalarıyla ilgili olduğunu vurgulamaktadır. Bu konuda sağlıklı bir tarım ve vergilendirme politikasının tesisi, ülke çıkarları ve yapılan yatırımların boşa gitmemesi açısından önem taşımaktadır.

b) Biyoetanol ¹³⁷

Biyoetanol benzinle farklı oranlarda karıştırılabildiği gibi doğrudan yakıt olarak da kullanılabilir. İçten yanmalı motorlarda herhangi bir modifikasyona ihtiyaç duyulmadan %10 miktarında harmanlanarak kullanılabilir. Türkiye'de benzine %5'e kadar biyoetanol karıştırılabilmek olanağına rağmen biyoetanölün benzinle harmanlanan %2'lik kısmı ÖTV'den muafır.

Ülkemizde Petrol Ofisi tarafından mısır ve buğdaydan biyoetanol üretilerek "yurtsever yakıt" adı altında piyasaya verilmiştir. Bu yakıt kurşunsuz benzine %2 oranında katılarak 25-50 Milyon ABD Doları bir ithalat tasarrufu sağlanmıştır. 2007 yılında Çumra (Konya) Şeker Fabrikası bünyesinde biyoetanol üretimine geçmiştir. Fabrika günlük, 280.000 litre ve yıllık ise 84.000.000 litre üretim kapasitesine sahiptir. Ayrıca 2001 yılında Bursa Kemalpaşa'da 40.000 lt/gün kapasiteli bir biyoetanol işletmesi kurulmuştur. Çumra ve Kemalpaşa'daki üretimlerin, Türkiye'nin şu andaki ihtiyacı olan biyoetanölü karşılayacak kapasitede olduğu bildirilmektedir. Şu anda Türkiye'nin toplam üretim kapasitesi 132.000 m³'tür. Bu üretimin 84.000 m³'lük kapasitesi yani %60'lık kısmı Konya Şeker tarafından karşılanmaktadır.

Biyoetanol üretimi amacıyla şeker pancarı ekimi artmış ve endüstri ile tarım arasındaki köprü şekerpancarı ile kurulmuştur. Bu vesileyle 84.000.000 litre biyoetanol üretimi için Konya ve civarında

¹³⁶ EİE, ETKB, Biyosiad

¹³⁷ TÜBİTAK-MAM, Pankobirlik, Konya Şeker Fabrikası.

750-800 bin ton pancar ekimi gerekmiştir. Böylelikle çiftçi de ekim alanını 150 dekar arttırarak daha fazla gelir elde etmiştir.

2003/30/AT sayılı AB Direktifi uyarınca, 2005 yılında %2 olarak belirlenen biyoetanolün benzindeki minimum oranının, 2006 yılında alınan karar ile 2010 yılı sonuna kadar %5'e çıkarılması öngörülmüştür. Ülkemizin AB uyum programı çerçevesinde de yer alan söz konusu Direktif doğrultusunda biyoetanol ihtiyacının artabileceği sonucuna varılmaktadır.

Ülkemizde biyoetanol üretiminde de teknolojik olarak bir eksiklik söz konusu olmamakla birlikte, üretim süreçlerinin iyileştirilmesi konusu dünyada da öne çıkmaktadır. Burada da, belirleyici olan bu konudaki enerji, tarım ve vergilendirme politikalarıdır.

c) Biyogaz

Ülkemizin potansiyeli biyokütle açısından çok yüksek olmakla birlikte genelde 1950 li yıllardan şu ana kadar yeterli biyogaz tesisi kurulamamıştır. Ülkemizde çok az sayıda katı atık düzenli depolama alanı mevcut olup sadece birkaç alanda çöp gazı tesisi kurulmuştur ve toplam kurulu güç yaklaşık 33 MW'tır. Sadece endüstriyel anlamda çıkan organik atıkları bertaraf etmek üzere Pakmaya, Fritolay Cargil gibi gıda sektöründe faaliyet gösteren işletmeler ile mevcut çöp sahalarında kurulmuş ITC gibi firmalar biyogaz üretimi ve biyogazdan elektrik enerjisi üretimi gerçekleştirmektedirler. Bunun yanı sıra bazı büyükşehir belediyeleri (Ör: Ankara Büyükşehir Belediyesi) merkezi evsel atıksu arıtma tesislerinde oluşan arıtma çamurlarından biyogaz üretmekte ve tesislerinin belirli oranda elektrik ihtiyaçlarını bu şekilde karşılamaktadırlar.

Biyokütle-biyogaz projeleri, sadece enerji üretimi değil, aynı zamanda "atık yönetimi" açısından da kritik öneme sahiptir. Örneğin organik atıklardan (tarımsal, hayvansal, evsel ve endüstriyel) biyogaz üretimi hem önemli bir sorun olan atığın bertarafını sağlamakta, hem de yüksek kaliteli organik gübre üretimine olanak tanımaktadır.

Evsel organik atıklar veya enerji bitkileri ile birlikte büyük ve küçük baş hayvan çiftliklerinden çıkan gübrelerin kullanıldığı biyogaz üretim tesisleri kurulmasının belediyeler açısından önemli bir fırsat olduğu öngörülmektedir. Ülkemizde biyogaz alanında Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ege Üniversitesi Gazi Üniversitesi, Akdeniz Üniversitesi, Kocaeli Üniversitesi, Süleyman Demirel Üniversitesi ve TÜBİTAK-MAM gibi araştırma kurumlarında kapsamlı çalışmalar yürütülmektedir. Bununla birlikte, İzaydaş-Kocaeli Büyükşehir Belediyesi gibi kamu kurumlarında ve ITC gibi özel sektör kuruluşlarında Ar-Ge çalışmalarının hızlandığı görülmektedir. Uygulamaların yaygınlaşmasının önünde bulunan teknik darboğazların giderilmesine yönelik olarak Ar-Ge çalışmalarının proses hızlarının artırılması, işletimi kolay (uzmanlık gerektirmeyen) kırsalda kullanılabilecek paket tesislerin geliştirilmesi, selülozik atıkların hidrolizi, yüksek katı miktarlarında (katı fazda) işletilebilen reaktör tasarımları, ko-bozundurma ve mikroorganizma immobilizasyonu konularına odaklanması beklenmektedir. Bu alanlarda gerçekleştirilecek Ar-Ge çalışmalarının yanı sıra ilgili yasanın yürürlüğe girmesi ile ülkemizde biyogaz tesislerinin nitelik ve nicelik bakımından hızlı bir şekilde gelişeceği düşünülmektedir.

d) Sentetik Gaz

1995 yılından itibaren dünyanın pek çok ülkesinde yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanan gazlaştırma yöntemiyle sentetik gaz üretimi bugün en hızlı gelişen enerji teknolojilerinden birisi haline gelmiştir.¹³⁸ Ticari ölçekte işletilen gazlaştırma sistemleri pek çok ülkede uygulanmakta olup kimi alanlarda enerji santrallerinin yerini almaya başlamıştır.

¹³⁸ Tolay M., Yamankaradeniz H., Daraminos G., Hirschfelder H., Vostan P., "Temiz enerji üretiminde gazlaştırma teknolojisi", VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, UTES'2008 17-19 Aralık 2008, İstanbul

Ülkemizde ise konu ile ilgili çalışmalar daha çok akademik düzeyde gerçekleştirilen Ar-Ge faaliyetleri ve pilot ölçekte deneme amaçlı kurulan tesisler ile sürmektedir. Doğrudan yakma ile karşılaştırıldığında çok düşük baca gazı emisyonlarına neden olması yönüyle gazlaştırma teknolojisi özellikle sahip olduğumuz yerli kömür kaynaklarının çevre dostu ve sürdürülebilir kullanımına yönelik araştırmalara konu edilmektedir. Enerji üreticisi sanayi kuruluşları tarafından yürütülen Ar-Ge projelerine verilebilecek örneklerden bir tanesi yerli kömürlerin gazlaştırılması ile ilgili olarak ZORLU Enerji tarafından TÜBİTAK ve TTGV'nin desteğiyle yürütülmektedir. Kömür ve biyokütle gazlaştırma konusunda deneyim sahibi TÜBİTAK-MAM Enerji Enstitüsü'nün de teknik desteğiyle yürütülen bu çalışma kamu-özel sektör işbirliğine de örnek teşkil etmektedir. TÜBİTAK ve TTGV desteğiyle yürütülen bir diğer bir çalışma ise ITC firması tarafından evsel katı atıkların gazlaştırılmasına yönelik yürütülen Ar-Ge projesidir. Proje ile geliştirilmekte/ iyileştirilmekte olan gazlaştırma sistemiyle üretilen sentetik gaz hali hazırda elektrik üretiminde kullanılmaktadır.

Ülkemiz üniversitelerinde özellikle mühendislik bölümlerinde sentetik gaz üretimi ve kullanımına yönelik yürütülen çok sayıda proje, tez, yayın vb. akademik çalışma bulunmaktadır. Sentetik gazın karmaşıklık düzeyi yüksek bir dizi termokimyasal reaksiyon sonucu oluşması ve üretim sürecini etkileyen pek çok parametrenin bulunması bu alanı akademik araştırmalar için oldukça uygun kılmaktadır. Üniversitemizde, hammadde çeşidi, işletme sıcaklığı ve basınç, oksijen kontrolü, katalizör etkisi, ürün karakteristiği, gaz temizleme, saflaştırma ve yakma sistemleri gibi konuların hemen hepsinde gerçekleştirilen uluslararası düzeydeki çalışmalar sanayiye aktarılmayı beklemektedir.

3.4.6.7. Enerji Depolama

Enerjinin depolanması konusunda ülkemizde dikkate değer bir uygulama bulunmamaktadır. Bu durum hem yenilenebilir enerjinin payının artırılması hem de genel şebeke yönetimi açısından eksiklikler yaratmaktadır. TÜBİTAK MAM'da yakıt pili – hidrojen teknolojilerine yönelik çalışmalar yürütülmekte, batarya teknolojileri üzerine çeşitli firmalar çalışmalar yapmaktadır. Bu alanın, güç elektroniği alanında iyileştirme ve optimizasyon çalışmaları, depolama - iletim - güç elektroniği - kontrol sistemleri, vb. dahil olmak üzere "bütüncül" sistem yaklaşımı üzerine çalışmalar, yenilenebilir enerji kaynaklarının çeşitli depolama yöntemleri ile entegrasyonuna yönelik çalışmalar, yakıt pilleri de dahil olmak üzere her boyutuyla geliştirilmeye açık olduğu düşünülmektedir.

3.4.6.8. İletim ve Dağıtım¹³⁹

TEİAŞ'ın, Elektrik İletim Sisteminin Güçlendirilmesi Projeleri kapsamında yeni enerji iletim hatları, kablolar, trafo merkezleri, tevsiat ve yenileme projeleri yer almaktadır. Elektrik iletim sisteminin kaliteli, güvenilir ve kesintisiz işletilmesini sağlamak üzere SCADA/EMS sistemlerinin kurulmaya devam ettiği belirtilmektedir. Elektrik İletim Sisteminin genişlemesine paralel olarak iletişim altyapısının da genişletildiği, bu yapının içerisinde kuranportörler, fiber optik hatlar, fiber optik kablolar ve Türk Telekom A.Ş. den kiralanan hatların bulunduğu ifade edilmektedir.

Uluslararası enterkoneksiyonlardan maksimum faydanın sağlanabilmesi için sistemlerin senkron paralel çalışması hedeflenmiştir. Bu konuda ülkemizin önceliği Avrupa Elektrik İletim Koordinasyon Birliği (UCTE) sistemi ile entegrasyon çalışmaları olarak ifade edilmektedir. Türkiye elektrik sisteminin UCTE sistemine paralel bağlantısının sağlanabilmesi amacıyla Avrupa Birliği ülkeleri ile ortak proje grubu ve çalışma grupları oluşturulmuştur.

¹³⁹ www.teias.gov.tr, <http://www.kontrolkalemi.com/forum/guc-kalitesi-enerji-verimliliği-harmonikler/26102-uluslararası-enerji-baglantılarında-akilli-sebeke.html>, http://dektmk.org.tr/pdf/enerji_kongresi_10/mustafabircan.pdf, http://www.emo.org.tr/ekler/47a80f7236cc2c3_ek.pdf, ICCI 2009 Enerji Kongresi.

UCTE (Avrupa Elektrik İletimi Koordinasyonu Birliği) enterkoneksiyonu öncesi, frekans kontrolü, üretim - tüketim dengesi, gerilim ve reaktif güç kontrolü, savunma ve oturan sistemin toparlanmasına ilişkin raporlarla birlikte çeşitli teknik analizlerin hazırlanması gerekmektedir. Elektriğin kalitesinin göstergelerinden birisi olan frekans, üretim ve tüketimin dengede olması durumunda 50.00 Hz dir. Üretimin tüketimden fazla olmasında frekans yükselir, az olması durumunda ise düşer. UCTE standartlarında frekans sapması ± 20 mHz iken ülkemizde yaklaşık ± 100 mHz'dir. Bu alanda bir gelişim potansiyeli olduğu düşünülmektedir.

Gerek mevcut iletim sistemi kalitesinin artırılması, gerekse sisteme dahil olacak yenilenebilir enerji kaynaklı elektriğin artırılması açısından Akıllı Şebeke uygulamaları önemli bir teknoloji olarak görünmektedir.

3.6. DEĞERLENDİRME VE ÖNERİLER

Yenilenebilir enerji piyasası önceki bölümlerde değinildiği şekilde hem Dünya'da, hem de Türkiye'de özellikle 90'lı yıllardan beri büyümesini sürdürmektedir. Bu büyüme özellikle 2000'li yıllarda gittikçe güçlenmiştir. Dünya toplam yenilenebilir enerji kaynaklarının kurulu güç kapasitesi 2008 yılı sonunda aynı yıl bu alana yapılan 120 Milyar ABD Dolar yatırım ile toplam 1.141,8 GW'a ulaşmış olup, Türkiye'nin bu kurulu kapasiteye katkısı 14,2 GW'tır (%1).

Yenilenebilir enerji alanında 2008 ve 2009 yıllarında küresel anlamda bir çok politika hedefi belirlenmiş, eklenmiş veya değiştirilmiştir. Bugün en az 73 ülkede yenilenebilir enerji politika hedefleri ve bu hedeflere yönelik araştırma, teknoloji geliştirme, demonstrasyon ve pazarda yayınına yönelik teşvikli/garantili tarife (feed-in tariff), vergisel ve kamu satın alımı gibi çeşitli teşvik sistemleri mevcuttur. Enerji politikalarının en önemli amaçlarından biri yenileşimci ürün ve teknolojilere olan talebi artırmak, dolayısıyla teknolojinin ticarileştirilmesini sağlamaktır.

Güncel bir çalışmada yenilenebilir enerji alanında geliştirilen teknolojilerin ticarileşmesine en etkin politika araçları; teşvikli tarife (feed-in tariff) uygulaması, demonstrasyon destekleri, fosil yakıt kullanımını azaltıcı sübvansiyonlar, Ar-Ge destekleri, teknoloji performans standartları ve kamu alım politikaları olarak ortaya çıkmıştır¹⁴⁰.

TTGV olarak yenilenebilir enerji ile ilgili yapılan bu çalışmada literatür ve çeşitli ulusal ve uluslararası güncel rapor taramaları, uzman görüşmeleri ve 24 Mayıs 2010 tarihinde yapılan çalıştay sonucunda ilgili alandaki yasal mevzuat, politikalar, kaynak ve teknolojik kapasite ve ulusal pazar dikkate alınarak aşağıdaki teknolojik alanlarda firmaların **Ar-Ge, yenileşim ve demonstrasyon projelerinin** desteklenmesinin uygun olabileceği görüşüne varılmıştır.

Hidrolik Enerji

Öncelikli Ar-Ge faaliyet alanları belirlenirken "Yerli Enerji Teknolojileri Araştırma- Geliştirme Platformu" tarafından 24 Mart 2010 tarihinde gerçekleştirilen "Hidroelektrik santral ekipmanları yerli üretim imkânları - Ortak akıl çalıştay"nda elde edilen çıktılar da dikkate alınmıştır.

- HES'ler için türbin ve jeneratör tasarımı ve verim artırma çalışmaları
- Türbin tiplendirme ve standartlaşma çalışmaları
- Türbin ve jeneratör modelleme ve test sistemleri
- Su altında çalışacak parçalarda ömür uzatma çalışmaları
- Santral otomasyon sistemleri
- Bir veya birden çok santral için uzaktan performans kontrol, bakım ve yönetim sistemleri

¹⁴⁰ M.J.Bürer, R.Wüstenhagen, Energy Policy 37, 2009

Rüzgar Enerjisi

- Jeneratörlerde verim arttırma konusunda iyileştirme çalışmaları (özellikle 500 kW ve altı kurulu güç santralleri öncelikli olabilir)
- Rotor ve aktarma organlarında tasarım ve üretim çalışmaları
- Kanatlar için tasarım ve hafif ve dayanıklı ileri/ kompozit malzeme geliştirme çalışmaları
- Büyük kapasiteler için “büyük dişli” üretimi ve “alternatör test imkanı” oluşturulması
- Uzaktan kontrollü santral otomasyon (santral yönetim) sistemleri
- Rüzgar kaynağı veri toplama, talep izleme ve tahminleme sistemleri

Güneş Enerjisi

- Güneş ışınları ölçüm ve izleme sistemleri
- Fotovoltaik (PV) teknolojisinde verim artırıcı iyileştirme çalışmaları
- Yerli ekipman ve parça kullanımı olan pilot PV güneş enerji santral uygulamaları
- Yoğunlaştırılmış güneş enerjisi (CSP) teknolojisinin ticarileştirilmesine uygun süreç ve parça geliştirme çalışmaları
- Güneş enerjisi PV depolama sistemleri
- Güneş enerjisi CSP depolama sistemleri
- Silikon bazlı PV üretim teknolojileri
- İnce film makina/teçhizat üretim teknolojileri
- PV inverter (çevirici) ve BOS (balance of system) komponent geliştirme çalışmaları
- Güneş termal enerjisini büyük ölçekli binalarda veya endüstriyel sistemlerde ısıtma, soğutma ve kurutma amaçlı kullanmak üzere demonstrasyonlar

Jeotermal Enerji

- Sondaj ve yerinde ölçüm sistemlerinde geliştirme çalışmaları
- Türbin geliştirme
- Karbon tutma teknolojisi ile ilgili geliştirme ve demonstrasyonlar
- Jeotermal akışkanla birlikte üretilen karbon dioksitin ekonomik kullanımı yöntemlerinin araştırılması (tarımda-seracılıkta kullanım, kuru buz eldesi gibi)
- Yüksek sıcaklıklara uygun dalgıç pompaları, motor ve aksesuarları geliştirilmesi
- Düşük sıcaklıklarda kullanılacak ısı pompaları imalatı
- Geniş kapsamlı ve entegre uzaktan kontrollü otomasyon sistemleri – örneğin inhibitör sistemlerinde reenjeksiyon için monitoring sistemlerinin kurulması
- Genç volkanik sistemlere bağlı jeotermal potansiyelin araştırılması (fizibilite çalışması)

Biyoenerji

- Biyo-kimyasal (biyogaz, biyohidrojen, biyoetanol) dönüşüm sistemleri
- Fiziko-kimyasal (biyodizel) dönüşüm sistemleri
- Termo-kimyasal (yakma, gazlaştırma, piroliz, biyometanol, mangal kömürü oluşturulması) dönüşüm sistemleri

Yukarıdaki dönüştürme teknolojisi alanında yapılması gerekli Ar-Ge çalışmalarına ek olarak çalıştay sonrası alınan yazılı görüşlerde aşağıdaki alanlar da öne çıkan alanlar olarak belirlenmiştir:

- Atık ve diğer biyokütle türleri için bir envanter oluşturulması ve atık türü başına birim biyogaz eldesi verimlerinin belirlenmesi

- İşletimi kolay kırsalda kullanılabilir paket tesislerin geliştirilmesi
- Proses hızlarının artırılmasına yönelik Ar-Ge yapılması
- Yüksek katı fazda işletilebilen reaktör tasarımı
- Biyoyakıt proses atıklarının değerlendirilme teknolojilerinin geliştirilmesi
- Biyoyakıt hammaddelerinin ve biyoyakıtın ekonomik depolanma tekniklerinin geliştirilmesi ve demonstrasyonu
- Biyoyakıt-biyorafineri entegrasyonu
- Gıda dışı hammaddelerden biyoyakıt üretimi
- Biyogazın doğal gaz niteliğinde zenginleştirilmesi ve doğal gaz yerine kullanılması
- Biyokütle depolanması

Enerji Depolama ve İletim

- Süper-iletken ve süper-kapasitör/süper-kondansatör teknolojisinde ticari ürün uygulama çalışmaları
- Batarya teknolojileri geliştirme çalışmaları
- Hidrojen depolama teknolojisinde demonstrasyonlar
- Hidrojenin doğal gazla ilavesi ve bunun boru hatları ile iletilme teknolojileri
- Isı pompa tasarım ve geliştirme çalışmaları
- Elektrik iletim ve dağıtım performansını artırmak üzere, şebeke alt yapısına ait süper iletken cihazlar, depolama ve güç çevrim teknolojilerinde geliştirme çalışmaları
- Birden fazla yenilenebilir enerji sisteminin birlikte çalışabilmesi için entegrasyon ve sistem yönetim çalışmaları, bununla ilgili demonstrasyonlar

Herbir yenilenebilir enerji kaynağı başlığı altında verilen yukarıdaki öncelikli Ar-Ge faaliyetlerinin yanısıra, enerji sistemlerine yönelik yerli tasarım ve üretimin gelişimi için makine, ekipman ve test düzeneklerinin geliştirilmesi için yapılacak Ar-Ge çalışmaları da büyük önem taşımaktadır. Ayrıca yenilenebilir enerji sistemlerinin maliyeti ve süreklilik sorunundan dolayı hibrid sistemlerin gelişimi ve bu çerçevede demonstrasyon projelerinin hazırlanması da öncelikli alandır. Türkiye'nin yenilenebilir enerji kaynak kapasitesi hemen hemen tüm bileşenler bazında bu alanda araştırma ve teknoloji geliştirme faaliyetleri sürdürmeye uygundur. Ancak kapasitenin ticarileşebilmesi için iç pazarın oluşması ve kamusal politikalarla desteklenmesi gerekmektedir.

Kaynaklar

- Advanced Energy Strategies, Inc, (2004). *Investigation into Municipal Solid Waste Gasification for Power Generation*. Alameda California.
- Akkuş İ., 2010. Türkiye'nin Jeotermal Kaynak Zenginliği, Yatırım Olanakları, Uygulamalar, Sorunlar ve Çözüm Önerileri. *ICCI 2010 - Uluslararası Enerji ve Çevre Fuarı ve Konferansı*. İstanbul, 12-14 Mayıs 2010.
- Altuntaşoğlu, Z.T., 2008. *Rapor: Yenilenebilir enerjilerde son durum, hedefler ve uygulanan politikalar*. Yeni Enerji Mart-Nisan 2008.
- Armağan, B., Yıldız, H., Arslar, A., Özgül, L., 2008. GAP Bölgesi Çiftlik Atıklarından Biyogaz Üretme Potansiyelinin İncelenmesi. *VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu*. İstanbul, 17-19 Aralık 2008
- Bakır N., 2009. Jeotermal Enerji Nedir?. *Standard Ekonomik ve Teknik Dergi*, 560(1), s. 72-81.
- Basel E., Serpen U., Satman A., 2010. Turkey's Geothermal Energy Potential: Updated Results. *Proceedings, Stanford University. Thirty-Fifth Workshop on Geothermal Reservoir Engineering*. Stanford, California, 1-3 Şubat 2010
- Boyle G., 2004. *Power for a Sustainable Future: Renewable Energy*. 2nd Ed. Oxford University Press.

- Bürer, M. J., & Wüstenhagen, R., 2009. Which renewable energy policy is a venture capitalist's best friend? Empirical evidence from a survey of international cleantech investors. *Energy Policy*, 37(12), s. 4997-5006.
- Cansın, Y., Sohtaoğlu, N.H., 2009. OECD/IEA ülkelerinin Ar-Ge harcamalarındaki eğilimler kapsamında yenilenebilir enerji teknolojilerindeki gelişmelerin incelenmesi. *EMO V. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu*. Diyarbakır, 19-21 Haziran 2009
- Çetinkaya, H.B., 2009. Akıllı Şebeke Teknolojisi. *Rüzgar ve Güneş Santralleri Şebeke Bağlantısı Teknik ve Ekonomik Sorunlar Paneli*. Ankara, 28 Şubat 2009
- Demirer, E., 2008. Rüzgar Türbinleri ve Ekipmanlarının Yerli Kaynaklar Kullanılarak Tasarımı ve Üretimi Paneli. *Rüzgar Enerjisi Sektörü'nde Yatırım (Sunum)*. İstanbul, 7 Mayıs 2010.
- Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, 2008. *2007 – 2008 Türkiye Enerji Raporu*. Ankara, Aralık 2008
- EPDK, 2009. Uluslar Arası Enerji Kongresi Sunumları. Ankara, 8 Ekim 2009.
- Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2009. *2010-2014 Stratejik Planı*. Ocak 2009.
- Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2008. *2008 Yılı Genel Enerji Dengesi Tablosu*
- Enea Italia Consulta, 2000. *Analysis of Italy's R&D Programs Report*. <http://eiconsulta.com/italy.html> (E.T: 4 Ağustos 2010)
- Erkuş, H.G., 2009. *Türkiye Elektrik Sistemi (Enterkonnekte Sistem) (Sunum)*. Nevşehir, 10 Ocak 2009
- EUREC Agency, 2009. *FP7 Research Priorities for the Renewable Energy Sector*. Brussel, 2009.
- EUREC Agency, 2009. *Research Priorities for Renewable Energy Technology by 2020 and beyond, 2009*. Brussel, 2009.
- Hidroelektrik Santral Ekipmanları - Yerli Üretim İmkanları Ortak Akıl Çalıştayı. TTGV. Ankara, Mart 2010
- IEA, 2009. *Global Gaps in Clean Energy Research, Development, and Demonstration*. Paris, Aralık 2009
- İbrahim, H., Ilinca, A., Perron, J., 2007. Energy Storage systems – Characteristic and comparisons. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12(6), s. 1221-1250
- Kuban, B. 2010. Türkiye Güneş Enerjisine Hızlı Giriş Yapmalı. *USİAD*, 40.
- REN21, 2009. *Renewables Global Status Report*. Paris, 13 Mayıs 2009
- Japonya Ekonomi, Ticaret ve Sanayi Bakanlığı, 2008. *Cool Earth-Innovative Energy Technology Program*. Mart 2008.
- T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı, 2009. *Ulusal İklim Değişikliği Strateji Belgesi*. Ankara, 25 Aralık 2009
- TEİAŞ, *Şebeke Kaybı İstatistikleri (1984-2008)*
- Tucker, E., 2009. US Government Continues to Fund Renewable Energy R&D. *Renewable Energy World.Com*. <http://www.renewableenergyworld.com/rea/news/article/2009/08/us-government-continues-to-fund-renewable-energy-r-d> (E.T: 4 Ağustos 2010)
- Tunç, Ş. 2010. Türkiye'de Güneş Enerjisi ile Elektrik Üretimini Geleceği. *USİAD*, 40.
- Tutuş, A., 2010. Hızla Gelişen Endüstri - Enerji Depolama Sistemleri. *ICCI 2010 - Uluslararası Enerji ve Çevre Fuarı ve Konferansı*. İstanbul, 12-14 Mayıs 2010.
- Türkyılmaz, O., 2009. TMMOB, VII. Enerji Sempozyumu. *Türkiye'nin Enerji Görünümü*. Ankara, 17-19 Aralık 2009
- University of California Department of Mechanical and Aerospace Engineering (MAE), (2007). *Gasifier and Syngas*. <http://maecourses.ucsd.edu/mae198/content/gasifier.shtml>, (E.T: 4 Ağustos 2010)
- Ünlü, N., 2010. Yenilenebilir Enerji Teknolojileri Uygulamaları (Sunum), TTGV, Ankara, Mart 2010
- Yazıcı, M.S., & Kepoğlu, G., 2008. Hydrogen and Fuel Cells: Solutions to Energy and Environmental Problems. *ICCI 2008- 14. Uluslararası Enerji ve Çevre Teknoloji Sistemleri Fuar ve Konferansı*. İstanbul, 16-17 Mayıs 2010.

-
- Yeni Enerji Teknolojilerinde Üniversite–Sanayi İşbirliği Zirvesi Sunumları, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Mart 2010.